

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: 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

Posouzení velikostí jízdních odporů automobilu v závislosti na
vybrané dopravní trase

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivo Celjak. CSc.

Autor diplomové práce: Bc. Jan Masopust

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. Jan MASOPUST**
Osobní číslo: **Z18143**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Zemědělská a dopravní technika**
Téma práce: **Posouzení velikosti jízdních odporů automobilu v závislosti na vybrané dopravní trase**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování

Cíl práce:

Cílem práce je stanovení jízdních odporů působících na automobil v závislosti na režimu jízdy a charakteru dopravní trasy.

Metodický postup:

1. Studium literatury týkající se řešené problematiky (jízdní odpory, dopravní trasy, prostředí) a vypracování rešerše.
2. Zpracování přehledu rozhodujících vlivů působících na jedoucí vozidlo.
3. Teoretický výpočet jízdního odporu u vybraných vozidel.
4. Zpracování metodiky pro sběr dat.
5. Stanovení jízdních odporů elektromobilu ve vybraných jízdních režimech.
6. Vyhodnocení výsledků.

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 Lehrmittel, Germany 2015, ISBN 978-3-8085-2163-2, 685 s.

Hromádka, 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, konštrukcia, 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 19. února 2019



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA 
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Budejovická 1920, 371 01 České Budějovice



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

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou 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.

V Českých Budějovicích dne: 20.4.2020

Podpis:

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Ivu Celjakovi CSc., za odborné vedení, připomínky a cenné rady, a hlavně za čas, který mi věnoval při konzultacích.

Abstrakt

Hlavním záměrem diplomové práce je analytická činnost ve vztahu k jízdám odporům, v závislosti na charakteru dopravní trasy, režimu jízdy a druhu užívaných osobních automobilů. Analýza směřuje k diferenciaci jízdám odporů a s nimi spojených technických a technologických faktorů, které určují velikost a možnosti řešení snižování jízdám odporů. Získání konkrétních veličin provedených analýzou vede ke stanovení velikosti jízdám odporů u vybraných vozidel a na celkové spotřebě energie pro pohyb automobilu. První část diplomové práce se opírá o adekvátní a příslušnou literaturu zaměřenou na analyzovaný předmět s přihlédnutím k hlavním faktorům, jako je například charakter dopravní trasy, prostředí a druh pohonu. Praktická část pojednává o měření jednotlivých druhů jízdám odporů na vybraném vzorku vozidel v závislosti na režimu jízdy a charakteru dopravní trasy.

Klíčová slova:

Jízdní odpory, dopravní trasa, prostředí, vozidlo, elektromobil

Abstract

The main aim of the thesis is the analytical activity in relation to the running resistance, which are inherent in the type of used vehicles. The analysis aims to differentiate driving resistances and related technical and technological factors, which determine the size and possibilities of solutions to reduce driving resistances. Obtaining specific variables carried out by the analysis leads to the determination of driving resistances for selected vehicles, even depending on the total fuel consumption. The first part of the thesis is based on adequate and relevant literature focused on the analyzed subject taking into account factors such as the character of road transport, environment and electromobility. The practical part deals with the measurement of individual types of driving resistance on a selected sample of vehicles depending on the driving mode and the character of the transport route

Key words:

Road resistances, economics of driving, fuel consumption, transport route, vehicle

1.	Úvod	1
2.	Literární přehled	2
3.	Rozdělení jízdních odporů.....	2
3.1	Odpor valivý	3
3.1.1.	Pneumatiky	6
3.1.2.	Dopady většího valivého odporu	7
3.1.3.	Způsoby snížení valivého odporu.....	8
3.2	Odpor vzdušný/aerodynamický	9
3.2.1.	Snížení aerodynamického odporu	10
3.2.2	Vlastnosti vzduchu	12
3.2.3	Měrná hmotnost vzduchu.....	12
3.3	Odpor stoupání	12
3.4	Odpor zrychlení.....	13
3.4.1	Rovnováha sil na vozidle	13
3.4.2	Směrová stabilita vozidla	14
3.5	Odpor přívěsu	15
3.6	Provozní hmotnost.....	15
4.	Silniční doprava	15
4.1	Silniční motorová vozidla	17
5.	Rozdělení dopravních komunikací a tras	17
5.1	Dálnice.....	17
5.2	Silnice	18
5.3	Účelové komunikace	19
5.4	Polní cesta	19
5.5	Údržba dopravních tras.....	19
6.	Vliv prostředí.....	19
6.1	Kongesce	20
6.2	Meteorologické podmínky	21
7.	Elektromobilita.....	22
7.1	Elektromobil.....	23
7.1	Základní prvky pohonu elektromobilu	23
8.	Cíl práce.....	25
9.	Metodika	26
9.1	Škoda Rapid.....	27
9.2	Škoda Citigo-e IV	28
9.3	Dopravní trasa.....	30

9.4	Podklady pro stanovení jízdních odporů.....	33
9.4.1	Okamžitá hmotnost.....	33
9.4.2	Čelní plocha automobilu	33
9.4.3	Součinitel odporu vzduchu.....	34
9.4.4	Úhel stoupání	36
9.4.5	Vítr (proud vzduchu)	36
9.4.6	Zrychlení.....	38
9.4.7	Zbývající faktory	38
10.	Použité pomůcky.....	39
11.	Měření jízdních odporů.....	41
11.1	První měření Škoda Rapid	42
11.2	Druhé měření Škoda Rapid	44
11.3	Třetí měření Škoda Rapid.....	46
11.4	První měření Škoda Citigo-e IV.....	49
11.5	Druhé měření Škoda Citigo-e IV.....	51
11.6	Třetí měření Škoda Citigo-e IV	53
12.	Vyhodnocení výsledků Škoda Rapid.....	55
12.1	Vypočítané hodnoty Škoda Rapid měření č. 1	56
12.2	Vypočítané hodnoty Škoda Rapid měření č. 2	57
12.3	Vypočítané hodnoty Škoda Rapid měření č. 3	57
13.	Vyhodnocení výsledků Škoda Citigo-e IV	58
14.	Závěr.....	61
15.	Použitá literatura	64
16.	Použité internetové zdroje.....	65
17.	Seznam obrázků	66
18.	Seznam tabulek.....	68

1. Úvod

Každým dnem na zemi narůstá počet automobilů, autobusů, nákladních vozidel, motocyklů a dalších dopravních zařízení. Z tohoto důvodu se čím dál tím více snaží automobilky vyřešit problematiku jízdních odporů, která je určující pro ekonomiku provozu, s níž dále souvisí snižování spotřeby a minimalizování výše znečišťujících látek s ohledem na ochranu životního prostředí. Pohyb bez dopravních prostředků je dnes již prakticky nemožný. V dobách minulých byly v těchto oblastech průkopníky závodní automobilky, které se snažily o nejrychlejší časy na trati pomocí výkonného hnacího agregátu, precizní aerodynamiky a dobrých jízdních vlastností, jež byly základem pro vítězné úspěchy. Využívalo se zde znalostí z různých vědních oborů, průmyslu, technických řešení a aplikace materiálů, které byly zpočátku vyvinuty pro letectví či dobývání vesmíru. Časem tyto inovativní technologie a materiály pronikly do automobilového průmyslu, kdy díky velké kvantitě byly i ekonomicky dostupnější. Hlavním aspektem, proč se o tyto prostředky dnešní automobilky a vývojáři snaží, je zlepšování jízdních vlastností, uživatelského komfortu a snižování spotřeby paliva, množství vypouštěných emisí z výfuků a výše zatíženosti životního prostředí, která dnes představuje jednu z důležitých priorit automobilového průmyslu. Tyto faktory jsou významnou měrou ovlivňovány zvolenou konstrukcí dopravního zařízení v závislosti na tvaru vozidla, jeho rozměrech, hmotnosti, volbě a umístění pohonného ústrojí, až po adekvátní výběr pneumatik ve vztahu k materiálu a velikosti včetně jejich správného nahuštění. Výsledné faktory jsou dále ve velké míře subjektivně ovlivňovány znalostí a dovedností konkrétního řidiče. Lidský faktor na efektivní užití vozidla má nezastupitelnou úlohu, ale prioritní posun představují inovativní metody, zlepšující se materiálůvá základna a technický a technologický vývoj nejen v oblasti automobilismu, nýbrž i narůstající posun v dalších vědních oborech.

2. Literární přehled

3. Rozdělení jízdních odporů

Jedním z hlavních parametrů energetické náročnosti vozidla jsou síly účinkující proti pohybu vozidla, zvané jízdní odpory. Valivé a vzdušné odpory brání vždy pohybu silničního vozidla. Jakmile vozidlo zrychluje, překonává odpor zrychlení a při jízdě do svahu zase odpor stoupání. Jestliže je za automobilem zapojen přívěs, hovoří se o odporu přívěsu. Odpory se dělí na:

- Odpor valivý
- Odpor aerodynamický
- Odpor stoupání
- Odpor zrychlení
- Odpor přívěsu

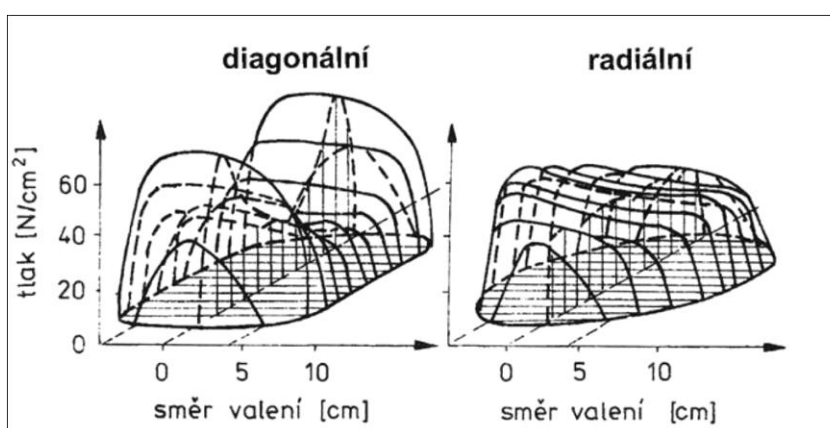
V principu se tedy mluví o faktu, že jízda se rovná překonávání odporů, a tedy velikost jízdních odporů podmiňuje parametry jízdy a její hospodárnost.

Dále pak jízdní odpory závisí na konstrukčních vlastnostech vozidla, jako jsou:

- Okamžitý technický stav vozidla
- Parametry prostředí, ve kterém se vozidlo pohybuje
- Vlastnosti vozovky [11]

3.1 Odpor valivý

Odpor valivý je energie, která se ztrácí při pohybu pneumatiky. Hlavním důvodem ztráty energie je neustálá deformace pneumatiky o povrch vozovky. S vozovkou se pneumatika dotýká pouze v určité vymezené ploše, která se označuje jako stopa. V přední části stopy ve směru valení dochází ke stlačování obvodu pneumatiky do roviny vozovky a v zadní části se obvod opět vyrovná do kruhovitěho tvaru. Rozklad měrných tlaků ve stopě pneumatiky je zobrazen na následujícím obrázku.

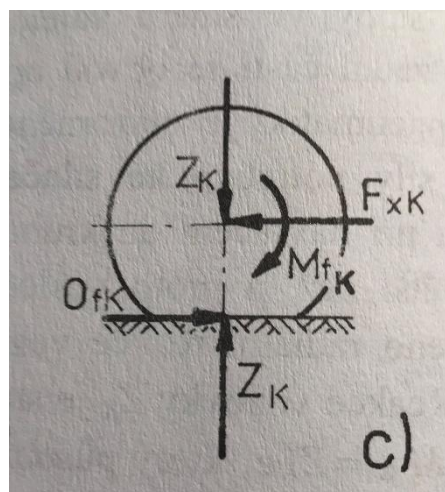
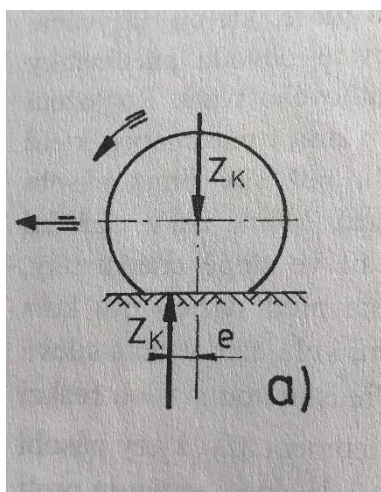


Obrázek 1- Deformace diagonální a radiální pneumatiky

„Vlivem ztrát v pneumatice, které se mění v teplo, jsou síly potřebné ke stlačení pneumatiky větší než síla, kterou působí pneumatika na vozovku při navrácení do kruhovitěho tvaru (hystereze). Měrné tlaky v přední části stopy jsou tedy větší, a proto výslednice elementárních sil ve stopě pneumatiky, tzn. svislá, přesněji řečeno radiální reakce vozovky Z_k je přesunuta před svislou osu kola hodnotu e , obr. 2. Reakce vozovky Z_k je stejně velká jako zatížení kola, tzn. vzniklá silová dvojnice neboli moment: $M_{fk} = Z_k * e$ [Nm]

,který působí proti otáčení kola. Předsunutou svislou reakci Z_k můžeme posunout do svislé osy kola, zavedeme-li moment M_{F_k} , který působí z vozovky na kolo. Moment M_{F_k} vyvolává vodorovnou reakci viz obr. 3, která směřuje proti pohybu kola, tzn. ve středu kola musí působit vodorovná síla $F_{xk} = O_{fk}$, aby vznikla opět silová dvojnice. Vodorovnou reakci O_{fk} nazýváme valivý odpor kola.“

[11]



Obrázek 2,3 - Silové poměry ve valícím se kole

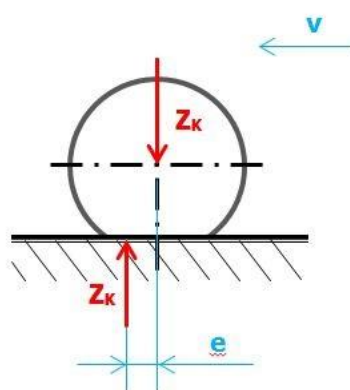
Podle obr. 3 platí, že:

$$M_{fk} = O_{fk} * r_d = Z_K * k \quad [\text{Nm}]$$

Neboli valivý odpor kola je :

$$O_{fk} = Z_k * O \frac{e}{l} = Z_k * f_K \quad [\text{N}] \quad [10]$$

Z hlediska matematiky lze valivý odpor formulovat jako vodorovnou sílu stanovenou jako O_f , jejíž velikost je určena součinem odezvy vozovky Z_k a koeficientu valivého odporu f_k viz obr.3.



Obrázek 3 - Součinitel valivého odporu

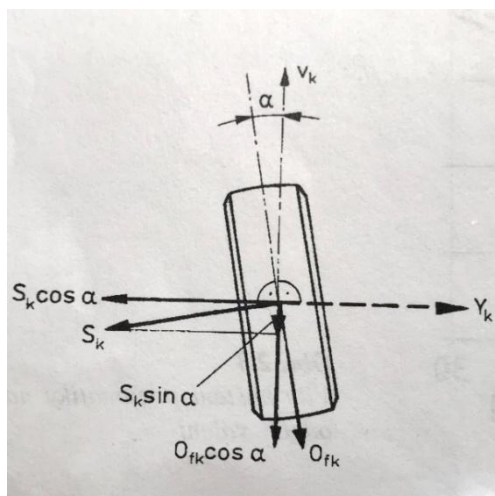
„Součinitel valivého odporu f_K závisí na povrchu vozovky. Z dalších vlivů je nejdůležitější vliv deformace a vliv rychlosti kola. Deformace pneumatiky závisí především na huštění. Při menším tlaku vzduchu v pneumatice dochází k větší deformaci. Vyrůstá deformační práce a současně stoupá i tlumící práce, která zvyšuje valivý odpor. Při vyšších rychlostech nestačí pneumatika v poměrně krátkém čase vyrovnávat deformace, které vzniknou v přední části stopy, proto v zadní části stopy vzniká menší měrný tlak než při nižší rychlosti. Tím se svislá reakce Z_K posouvá více dopředu viz obr.2, a součinitel valivého odporu zvyšuje také vlivem ztrát, které souvisejí s rozkmitáním oběžné plochy u bočních stěn pneumatiky. Při nízkých rychlostech – u osobních vozidel do 80 km/h u nákladních do 50 km/h – můžeme považovat součinitel valivého odporu nezávislý na jízdní rychlosti.“ [11]

Tabulka 1 – Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek

Povrch	f_K	Povrch	f_K
asfalt	0,01 – 0,02	travnatý terén	0,08 – 0,15
beton	0,015 – 0,025	hluboký písek	0,15 – 0,30
dlažba	0,02 – 0,03	čerstvý sníh	0,20 – 0,30
makadam	0,03 – 0,04	bahnitá půda	0,20 – 0,40
polní cesta – suchá	0,04 – 0,15	náledí	0,01 – 0,025
polní cesta – mokrá	0,08 – 0,20		

Vedle valivého odporu mají na vozidlo vliv ještě další odpory, které vykazují nežádoucí účinky. Může se jednat o odpor, ke kterému dochází vlivem sbíhavosti předních kol (nesprávně nastavená geometrie), a jelikož je velmi malý, prakticky se ve výpočtech neuvádí. Další přídavný odpor vzniká při jízdě po nerovných vozovkách (šotolina, štěrk či prašná cesta), kdy se důsledkem hrbolatosti, která způsobila deformace v pneumatikách, zvyšuje jízdní odpor. Svislé kmitání dopravního prostředku je tlumeno tlumiči, to znamená, že mechanická energie mění se v teplo a motor vozidla musí tyto úbytky překonávat. Při jízdě dochází ke kontaktu okolního vzduchu s koly vozidel, čímž vzniká vzdušný odpor kol. Ten se zpravidla neuvádí samostatně a je přičítán ke vzdušnému odporu celého vozidla.

K dalšímu jízděmu odporu dochází při zatáčení vozidla, kdy se kola odvalují se směrovými úchylkami. Viz obr. č.4.



Obrázek 4 - Silové poměry na kole vlivem směrové úchylky

3.1.1. Pneumatiky

Pneumatiky přispívají ke snížení valivého odporu. Výrazně se jimi zlepšuje říditelnost, a také se snižuje spotřeba paliva. Opotřebované pneumatiky s nízkým, nebo žádným dezénem běhounu, mohou mít nižší valivý odpor, ale nízkou přilnavost.

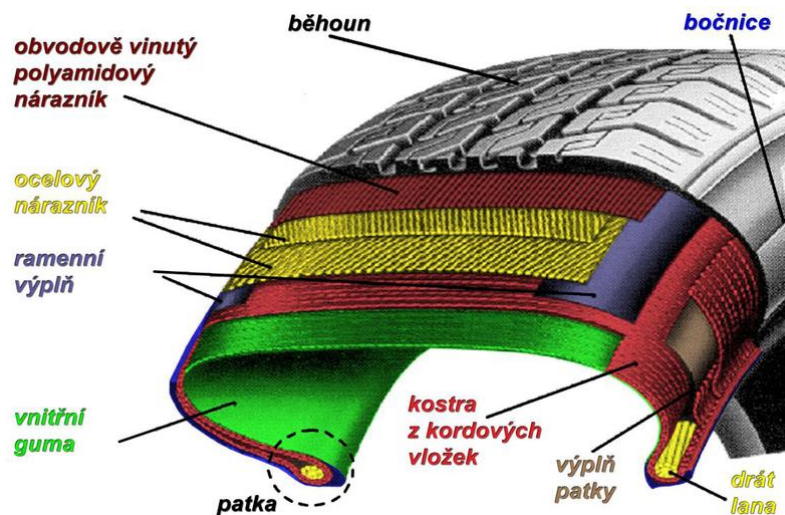
Požadavky na pneumatiky:

- přenášení hmotnosti vozidla
- zachycování a tlumení nárazů od vozovky
- přenos hnacích, brzdných a bočních vodících sil
- nízký valivý odpor (menší teplo a tření)
- dostatečná životnost
- valení s nízkou hlučností a nízkou vibračním odvalováním.

Konstrukce:

Pneumatika se skládá z pláště, u starších modelů s duší s ventilkem (dnes převážně již bezdušové), ochranné vložky do ráfku a ráfku, přičemž musí být

naplněna tlakovým médiem. Ochranná vložka se dnes používá pouze u motocyklů a mopedů kvůli tomu, aby byla duše dostatečně chráněna před poškozením vyčnívajícími drátěnými paprsky. Duše musí odpovídat velikosti pláště. [8]



Obrázek 5 - Konstrukce pláště pneumatiky a uspořádání kostry

3.1.2. Dopady většího valivého odporu

Byly vynaloženy roky výzkumu určujícího, jaké faktory vedou k většímu valivému odporu, a jak různé podmínky a pneumatiky nakonec ovlivní valivý odpor. Valivý odpor je to, proti čemu auto pracuje, aby dosáhlo a zůstalo v pohybu. Čím větší je valivý odpor, tím více energie bude motor automobilu vynakládat, při snaze dostat se na vyšší rychlost. Tato fluktuace může mít velký dopad na odebíraný výkon motoru vozidla, tím také na spotřebu paliva pro jízdu. Snížení valivého odporu je vhodný způsob, jak pomoci maximalizovat úsporu energie pro pohyb automobilu a prodloužit jeho životnost a také pneumatik. [1.1]

3.1.3. Způsoby snížení valivého odporu

Je mnoho způsobů, jak snížit nežádoucí účinky valivého odporu, kterým vozidlo vzdoruje při jízdě a které snižují spotřebu energie pro pohyb automobilu. Jsou to například:

- Správně nahuštěné pneumatiky – existuje mnoho důvodů, proč je velice důležité mít správně nahuštěné pneumatiky, ale jedním z nejčastěji přehlížených je účinek, který působí na valivý odpor. Když je pneumatika správně nahuštěna, stane se zaoblenou a je blíže k dokonalému kruhu a lépe dosedá na podložku vozovky. Také se stane tužší a lépe si udržuje tvar. Pokud je však pneumatika příliš nahuštěna, může mít nepříznivý vliv na jízdu s vozem. Je nutné mít správně nahuštěnou pneumatiku a kontrolovat její tlak měsíčně nebo před jakoukoliv delší jízdou, zejména s větším zatížením vozidla.
- Dodržování optimální rychlosti, protože s narůstající rychlostí se valivý odpor zvyšuje, a čím rychleji vozidlo jede, tím více přispívá k nárůstu opotřebení pneumatik. Proto je velice důležité dbát na rady výrobce pneumatik a dodržovat s nimi předepsané rychlosti.
- Kontrola běhounu – jak se pneumatika v průběhu času opotřebovává, valivý odpor se snižuje. Když pneumatiky ztrácejí běhoun a přilnavost, valí se hladce po povrchu. Hladká pneumatika s menší přilnavostí však ztrácí některé vlastnosti a omezí tak i výkon vozidla, takže jízda s opotřebovanými pneumatikami se stává nebezpečným způsobem, jak minimalizovat valivý odpor.
- Omezení zatížení – když se zvýší valivý odpor, vozidlo spotřebuje více energie a výkonu motoru ke zrychlení, které je v tuto chvíli téměř nepostřehnutelné, ale v průběhu času konstantního a nepřetržitého zatížení může vozidlo spotřebovat neadekvátně vysokou energii. Aby se pomohlo v boji proti tomuto jevu, měla by se hmotnost vozidel snižovat. [1.1]

Valivý odpor je nevyhnutelný jev, kterému je vystaveno každé vozidlo. Výrobci se snaží, aby co nejvíce snížili účinky valivého odporu, jenž působí na vozidlo a omezili tak nežádoucí ztráty. Konstrukteři pneumatik neustále pracují na výrobě lehčích, pevnějších a houževnatějších pneumatik s co největším dojezdem, které si při jízdě po silnicích udržují stálý tvar a styk s vozovkou. Bohužel ale stále existují pneumatiky, které s danými faktory problémy mají. Dalším faktorem jsou samotní řidiči, kteří své pneumatiky nadměru zatěžují a opotřebovávají nevhodnou jízdou. Dále je důležité kontrolovat správné nahuštění a hloubku dezénu. A v neposlední řadě dbát na fakt, že jakákoliv pneumatika má své omezené stáří, a proto je dobré je pravidelně po dvou až třech sezónách pneumatiky měnit. [8]

3.2 Odpor vzdušný/aerodynamický

Vzniká vytlačení vzduchu z prostoru před vozidlem do prostoru za vozidlo. Velikost se určí ze vztahu:

$$F_v = \frac{\rho}{2} * c_x * S * v^2$$

ρ ... hustota vzduchu ($1,23 \text{ kg/m}^3$)

c_x ... součinitel odporu vzduchu, zpravidla:

- Aerodynamicky velmi pečlivě řešené automobily 0,3 – 0,4
- Osobní automobily s běžnou karoserií 0,4 – 0,6
- Nákladní automobily 0,7 – 1,0
- Autobusy 0,6 – 0,8

S ... čelní plocha vozidla (m^2), není-li známa, lze přibližně užít vztah

$$S = B \cdot h, \text{ kde } B \text{ je rozchod kol a } h \text{ je výška vozidla.}$$

v ... rychlost vozidla vůči vzdušnému prostředí (tedy se započtením protivětru m/s) [3]

Návrháři vozidel, ať už se specializují na sportovní vozy, nákladní auta, běžná vozidla nebo dokonce motocykly, musí snižovat odpor vzduchu. Jednoduše řečeno, když se těleso pohybuje, vzduch kolem něj vytváří odpor v opačném směru pohybu. U vozidel má odpor vzduchu vliv na pohodlí cestujících, spotřebu energie pro pohyb, stabilitu a mnoho dalších faktorů, které ovlivňují odebíraný výkon motoru a celkovou rychlost. [1.2]

Aerodynamický odpor je síla, kterou přicházející vzduch působí na pohybující se vozidlo. Když se automobil pohybuje, vytlačuje vzduch a ovlivňuje tak rychlost a výkon vozidla. Výrobci se vždy snaží udržet a snížit aerodynamický odpor na možné minimum. Je to proto, že má negativní vliv na odebíraný výkon a účinnost vozidla. Velký čelní odpor některých vozidel představuje hodnotu součinitele odporu 1,30, zatímco nejnižší hodnotu součinitele odporu má konstrukce dešťové kapky.

V současné době mají vozidla průměrný součinitel odporu vzduchu 0,40, některá vozidla mají jen 0,26. O těchto vozidlech se říká, že mají nejlepší aerodynamický design. Síla, která je potřebná při pohybu vozidla vzduchem, také stoupá s rychlostí, takže nad 60 km.h-1 je nutné mít hodně síly a přítlaku, aby automobil překonával aerodynamický odpor a byl stále tlačěn k zemi se zachováním nejlepší trakce. Tyto principy se používají u sportovních a závodních automobilů.

Snížení odporu vzduchu může pomoci snížit odpor vozidla vůči proudu vzduchu. Pomáhá tak do určité míry snížit spotřebu energie pro pohyb, resp. paliva. Zlepšuje také další výkonové charakteristiky vozu, jako je manipulace a zrychlení.

3.2.1. Snížení aerodynamického odporu

Prvním hlavním faktorem je snížit součinitel odporu zefektivněním vnějšího těla vozidla. Zjednodušení těla vyžaduje použití charakteristických linií a přesný výpočet okolní vzdušné rychlosti proudění vzduchu. U některých vysokorychlostních automobilů výrobci instalují do zavazadlového prostoru zadní spoiler, aby do značné míry snížili odpor a zvýšili přítlak potřebný pro vysoké rychlosti, který zlepšuje stabilitu jak v příčném směru, tak i lepší a rychlejší průjezdnost zatáčkami. V neposlední řadě instalovaný spoiler zlepšuje i brzdný účinek.

Aby se aerodynamický odpor více snížil, využívají výrobci od první fáze koncepce charakteristické linie na vnějších částech karoserie automobilu. Tyto linie pomáhají plynule procházet vzduchem po těle a snižovat tak odpor vzduchu. Jako je to například u vozu Mercedes – Benz CLA, který disponuje součinitelem odporu vzduchu $c_x \dots 0,22$, což znamená, že je neaerodynamičtější sériovým vozidlem. Při jeho vývoji konstruktéři dbali i na co nejmenší čelní plochu vozu, protože právě tato plocha a koeficient odporu vzduchu určují celkový aerodynamický odpor. Tyto hodnoty vůz získal i díky prvkům, jako je například zakrytovaný podvozek a plocha podlážka vozu, která pomáhá uklidnit proudění vzduchu a nedovolí vytvářet turbulence, které by zvyšovaly odpor. [1.3]



Obrázek 6 – Charakteristické linie Mercedes Benz CLA

Aby se eliminoval aerodynamický odpor, výrobci obvykle pracují na moderních technikách a komponentech designu vozidel. Kromě hladkosti celkového tvaru vozidla mezi ně patří zefektivnění střešního nosiče, zadního spoileru, bočních zrcátek, rádiové antény, zahlobení stěračů čelního skla a kliky u dveří a mnoho dalších. Používají se také klíčové konstrukční kousky, jako je částečná přední mřížka, přepracované podložky karoserie a blatníky, upravený přední nárazník, přepracované kryty kol, zadní zavazadlový prostor ve tvaru člunu a podobně. [1.4]

Minimalizace odporu vzduchu a optimalizace aerodynamického výkonu zůstává jednou z klíčových výzev pro konstruktéry v automobilovém průmyslu. Již není výhradní doménou inženýrů závodních automobilů, ale má skutečný hmatatelný vliv na různé aspekty užitných vlastností spotřebitelských vozidel včetně spotřeby paliva, pohodlí cestujících a dalších. Nelze však popřít, že díky vývoji virtuálních a simulačních nástrojů bylo řešení tohoto problému mnohem snazší než dříve. [1.2]

3.2.2 Vlastnosti vzduchu

Vzduch je směsicí plynů tvořící atmosféru, která nám vytváří prostředí, ve kterém se pohybuje každé silniční vozidlo. Vzduch disponuje těmito vlastnostmi: měrná hmotnost vzduchu, teplota, tlak, vlhkost a viskozita. Nadále se však musí vzít v potaz i směr a rychlost proudění.

3.2.3 Měrná hmotnost vzduchu

Jedná se o fyzikální veličinu, která se vyčíslí mírou hmotnosti na jednotku objemu. Hlavní faktory ovlivňující měrnou hmotnost vzduchu jsou teplota vzduchu a tlak. Hustota vzduchu se definuje touto hodnotou: $\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

[2.1]

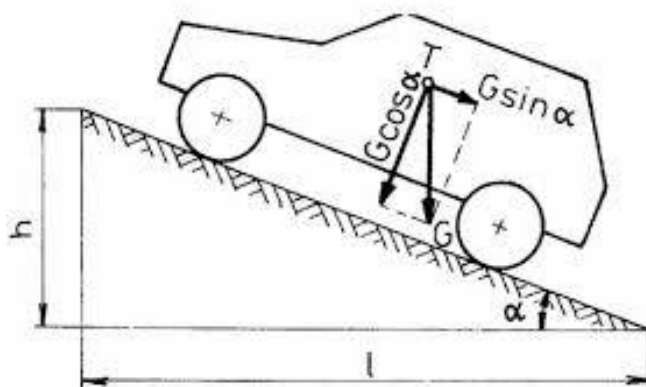
3.3 Odpor stoupání

K odporu stoupání dochází během jízdy vozidla do kopce, kdy velikost odporu určuje složka tíhy vozidla rovnoběžná s povrchem vozovky. Při stanovování odporu sklonu se vychází ze silového působení na vozidlo, které se pohybuje na nakloněné rovině. Stoupání vozovek se obvykle uvádí v procentech a udává, o kolik metrů stoupne vozovka na sto metrech. Pro stoupání v procentech platí také samozřejmě: $s = 100 * tg a$

Velikost odporu proti stoupání vyjádříme vztahem: $F^s = G * \sin a$ (N)

Pro překonání odporu proti stoupání je nezbytně nutné mít výkon:

$$P_s = F_s * v \quad (\text{W}) \quad [12]$$



Obrázek 7 - Odpor proti stoupání

3.4 Odpor zrychlení

Jedná se v zásadě o odpor setrvačné hmoty vozidla proti zrychlení, přičemž je nutné uvažovat nejen o zrychlení ve směru dopředného pohybu vozidla, ale také o zrychlení pohybujících se částí uvnitř vozidla, ať již konají pohyb posuvný, nebo rotační (písty, ojnice, hřídele, kola, převodová ústrojí atd.)

„Velikost odporu proti zrychlení, která plyne z II. Newtonova pohybového zákona, vyjadřuje vztah: $F_z = m * a * \vartheta$ (N)

Kde: m ... hmotnost vozidla (kg)

a ... zrychlení ve směru pohybu vozidla ($m * s^{-2}$)

ϑ ... součinitel vlivu pohybujících se hmot (1)

Vzorec znázorňující výkon, nezbytný pro překonání odporu proti zrychlení, je následující: $P_z = F_z * v$ (W) [12]

3.4.1 Rovnováha sil na vozidle

V rovnováze musí být neustále síly ovlivňující pohyb vozidla (hnací) a síly působící proti pohybu vozidla (jízdni odpory). Proto pro (tažnou) hnací sílu musí platit:

$$F_T = F_f + F_v + F_s + F_z \quad (N)$$

Je přirozené, že trvale působí pouze odpor proti valení a odpor vzdušný. Ten ovšem účinkuje v závislosti na druhé mocnině rychlosti (vozidla). Ostatní odpory působí podle okolností. [12]

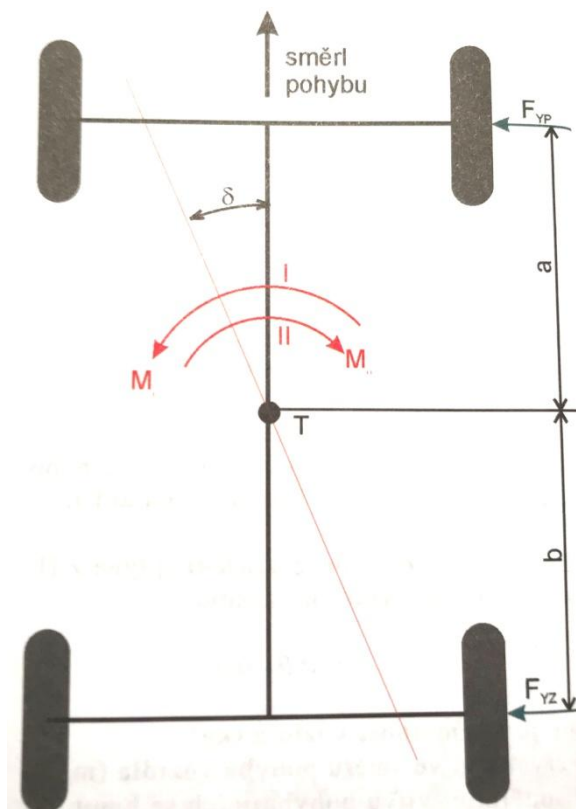
3.4.2 Směrová stabilita vozidla

Stabilita silničních motorových vozidel představuje zejména způsobilost udržovat žádaný směr jízdy (směrová stabilita) za všech podmínek.

Podle Zdeňka (2009) má na stabilitu vliv zejména:

- „Poloha těžiště vozidla vzhledem k nápravám
- Boční tuhost pneumatik
- Kinematika přední a zadní nápravy i řízení
- Pérování zajišťující správný styk kol s vozovkou
- Aerodynamická stabilita
- Poměr mezi zatížením přední a zadní nápravy“

„Síly působící na vozidlo při směrové úchylce, jsou síly, které při vychýlení vozidla z přímého směru o úhel δ vzniknou na kolech přední a zadní nápravy boční síly F_{yp} a F_{yz} viz obrázek 8. Tyto boční síly vytvoří vzhledem k těžišti T silový moment: $M = F_{yp} * a - F_{yz} * b$ (N*m), který bude působit buď ve směru I nebo II.“



Obrázek 8 - Síly působící na vozidlo

Vozidlo přetáčivé

Jedná se o pohyb směrově nestabilní, protože vozidlo se natáčí stále více do zatáčky. Vozidla tohoto typu se nazývají přetáčivá a jsou to zejména automobily s motorem vzadu.

Vozidlo nedotáčivé

Těžiště se u těchto vozidel nachází blízko přední nápravy. Moment se snaží směrovou úchylku zmenšovat a vozidlo musí být do zatáčky vedeno silou. Tato situace je příznačná pro vozidla s motorem vpředu. [12]

3.5 Odpor přívěsu

U přívěsu se musí vzít v potaz veškeré hodnoty jednotlivých ztrátových odporů stejně, jako u vozidla, které jej pohání. Jediný faktor, který je v tomto případě počítán společně, je vzdušný odpor. U vozidel, která jsou primárně určena pro tažné zařízení, se dopředu počítá s dimenzováním pohonného ústrojí s přihlédnutím na váhu nákladu. Tažné zařízení má přímou spojitost se zvýšením spotřeby paliva a se zhoršením jízdních vlastností. [11]

3.6 Provozní hmotnost

U provozní hmotnosti se vyznačují hlavní faktory, jako jsou hmotnost řidiče, paliva a ostatních kapalin (např. voda do ostřikovačů), přičemž se definuje, že objem palivové nádrže by měl být naplněn nad 90 %. Dále se připočítává celková hmotnost karoserie, kabiny, výbavy vozu (ta by měla být ve standardním provedení dle specifikací výrobce), náhradního kola včetně náradí. V případě znečištění (bláto, sníh) se připouští překročení nejvyšší povolené hmotnosti vozidla nebo jízdní soupravy o 3 %. Všechny tyto okolnosti se zohledňují do výpočtu provozní hmotnosti. [1]

4. Silniční doprava

Prostřednictvím silniční dopravy se přemísťují silničními motorovými vozidly osoby, věci a produkty výroby po pozemních komunikacích a ve volném terénu na místo spotřeby, osoby a zprávy na místo určení. Doprava je samostatným odvětvím ve sféře materiální výroby. K realizaci své úlohy doprava používá dopravní

prostředky, jimiž se doprava uskutečňuje a dopravní zařízení, které usnadňuje řízení silničního provozu.

Silniční dopravu lze rozdělit podle toho, co je přepravováno:

- nákladní (přeprava nákladu, tj. věcí a zvířat) a
- osobní (přeprava osob, tj. linková osobní doprava, kyvadlová doprava, příležitostná osobní doprava nebo taxislužba).

Povaha silniční přepravy zboží závisí kromě stupně rozvoje místní infrastruktury na vzdálenosti, po které je zboží přepravováno po silnici, na hmotnosti a objemu jednotlivé zásilky a na druhu přepravovaného zboží. Pro krátké a lehké vzdálenosti lze pro malé zásilky použít dodávku nebo pickup. U velkých zásilek je vhodnější kamion.

Silniční dopravu lze dále dělit i podle toho, či přepravní potřeby se touto dopravou uspokojují. Existuje silniční doprava:

- pro vlastní potřeby
- pro cizí potřeby

Národohospodářský sociální a kulturně společenský význam dopravy spočívá v tom, že ovlivňuje rozvoj výrobních sil budováním průmyslu a obchodní sítě, což se projevuje v růstu hospodářské prosperity státu. Přemísťuje zboží ve velkém rozsahu, a umožňuje tak snížit ceny zboží v místech spotřeby.

Negativa silniční dopravy:

- Ekologická zátěž životního prostředí
- Hluk
- Velký zábor půdy z hlediska celkové délky silniční infrastruktury
- Znečištění půdy a spodních vod vlivem provozu automobilů
- Kongesce (zácpy)
- Nehodovost
- Vysoká pořizovací cena

4.1 Silniční motorová vozidla

Dopravní prostředky, které se pohybují po silničních komunikacích, se dělí mezi tyto základní druhy:

- Osobní automobil
- Nákladní automobily
- Autobusy
- Motocykly
- Speciální vozidla
- Vozidla zvláštního určení
- Ostatní silniční vozidla [1.6]

5. Rozdělení dopravních komunikací a tras

Pozemní komunikace, respektive dopravní cesta, je využívána zejména k pohybu silničních a jiných vozidel a chodců včetně pevných prostředků, nezbytných k umožnění tomuto užívání a jeho bezpečnosti. Součástí pozemních komunikací (kromě účelových komunikací) jsou všechna zařízení, stavby, objekty a díla, které jsou potřebné pro zabezpečení a ochranu dálnic, silnic a místních komunikací a pro zajištění bezpečného, rychlého, plynulého a hospodárného provozu. Pozemní komunikace se dělí na tyto skupiny:

- Dálnice
- Silnice
- Místní komunikace
- Účelová komunikace [1.7]

5.1 Dálnice

Dálnice je užívána motorovými vozidly, jakožto pozemní komunikace pro vnitrostátní a mezinárodní dopravu. Je stavěna bez úrovnových křížení s vymezenými místy napojení pro vjezd a výjezd. Na dálnici se nachází oddělené jízdny pásy a je zde dovoleno jezdit pouze silničními vozidly, jejichž nejvyšší

přípustná rychlost musí být vyšší než 80 km.h^{-1} . Rychlostní komunikace dálničního typu jsou silnice pro motorová vozidla, které jsou oproti dálnicím ekonomicky méně náročné na výstavbu, ale mohou mít nevýhodu absence odstavného pruhu. Stejně jako u dálnic se u nich jedná o mimoúrovňové křížení a pro každý směr musí mít minimálně dva jízdní pruhy. Oproti dálnicím je zde i parametrový rozdíl, nemusí zde být levá krajnice, mají o půl metru užší zpevněnou krajnici (odstavný pruh), o půl metru užší střední dělicí pás a mohou mít větší stoupání a klesání. Z hlediska rychlosti je zde i jiný, nižší nárok na poloměr křižovatkových větví. [4]

- Rychlost na dálnicích je legislativou stanovena v obci na 80 km.h^{-1} , mimo obec 130 km.h^{-1} .
- Rychlost na silnicích pro motorová vozidla je legislativou stanovena v obci na 80 km.h^{-1} , mimo obec 130 km.h^{-1} .

Rakouskou specialitou dbající na bezpečnost silničního provozu, ale také na ochranu životního prostředí před emisemi, jsou IG-L zóny (Immisionsschutzgesetz-Luft), jejichž rychlostní omezení je stanovené na 100 km.h^{-1} . Úseky se sníženou rychlostí mají za cíl snížit množství emisí výfukových plynů a aktivují se preventivně nebo při naměření zvýšené koncentrace emisí v daném úseku. Nachází se převážně v horských oblastech, kde za překročení předepsané rychlosti, padají vysoké pokuty. [1.8]

5.2 Silnice

Silnice je pozemní komunikace určená pro všechna silniční vozidla a chodce. Platí zde legislativou stanovené rychlosti v obci 50 km.h^{-1} , mimo obec 90 km.h^{-1} , pokud není dopravními značkami a místními nařízeními stanoveno jinak. Silnice tvoří silniční síť a mají zpravidla jeden jízdní pruh oddělený buď plnou nebo přerušovanou dělicí čarou. Silnice se podle svého dopravního významu a určení dělí do těchto tříd:

- Silnice I. třídy – určena pro dálkovou a mezinárodní dopravu
- Silnice II. třídy – určena pro dopravu mezi okresy a městy
- Silnice III. třídy – určena ke spojení obcí nebo k napojení na ostatní pozemní komunikace

Silnice I. třídy je vystavěna jako rychlostní silnice s možností rychlé dopravy a je zde povolen vjezd pouze silničním motorovým vozidlům, jejichž nejnižší přípustná rychlost musí být vyšší než 80 km.h^{-1} [4]

5.3 Účelové komunikace

Účelová komunikace slouží jako spojení jednotlivých nemovitostí pro potřeby majitelů těchto nemovitostí, nebo ke spojení těchto nemovitostí s pozemními komunikacemi, nebo pro vjezd do zemědělských objektů (pole, kravín, atd.), nebo lesních pozemků a cest. Vlastník účelové komunikace může po projednání věci s Policií České republiky podat žádost, týkající se úpravy či omezení veřejného přístupu na účelovou komunikaci, náležitěmu silničnímu správnímu úřadu obecního úřadu obce s rozšířenou působností z důvodu ochrany oprávněných zájmů tohoto majitele. Účelová komunikace se může nacházet i v uzavřeném prostoru nebo objektu. [1.9]

5.4 Polní cesta

Polní cesta bývá zpravidla cestou účelovou, slouží převážně k zemědělským nebo lesnickým účelům. Může však plnit i vedlejší dopravní funkce, jako je vedení turistických tras (pěších, cyklistických, jezdeckých, lyžařských). [6]

5.5 Údržba dopravních tras

Včasnou údržbou dopravní trasy se zmírňuje (nikoliv odstraňuje) vliv povětrnostních podmínek (náledí, sněh, popadané větve a stromy) a odstraňují se závady způsobené užíváním dopravní trasy. [4]

6. Vliv prostředí

Prostředí, v němž se pohybují dopravní zařízení, má přímý vliv na jízdu, bezpečnost a radost z jízdy. Ovlivňuje ho nespočetné množství faktorů, mezi ty hlavní patří: kongesce (zácpy), meteorologické podmínky či úroveň zástavby, která je limitována legislativou o rychlosti na pozemních komunikacích dopravním značením. [7]

6.1 Kongesce

Kongesce neboli zácpy je stav, kdy dopravní zařízení nejsou schopna dosahovat průměrné rychlosti na pozemních komunikacích, která je na těchto komunikacích častá, res. plánovaná. Hlavní příčiny, které tento nežádoucí jev způsobují, jsou:

- Velký růst automobilové dopravy, kdy nadměrná zátěž přesahuje kapacitu dopravní komunikace
- Omezení, která vznikají při silničních pracích (oprava nebo stavba vozovky)
- Vznik dopravních nehod a jejich následné odstraňování
- Nevhodné plánování dopravních komunikací (špatně dimenzované křižovatky a jejich řešení)
- Častější provoz určitých částí měst, kde nastává větší proudění dopravních zařízení v jednom místě (obchodní centra, sportovní a kulturní místa, či v průmyslových částech kde je velký výskyt nákladních zařízení)
- Nízká úroveň veřejné dopravy v regionu měst, kde jsou lidé omezeni na dopravu vlastní
- Geografická poloha městského území, kde může být problém rozvoje dopravní infrastruktury (v okolí vodních toků, konfigurace terénu)

Tyto vyjmenované negativní faktory mohou mít za následek snížení výkonnosti dopravy, větší spotřebu u dopravních zařízení, a tím pádem i vyšší produkci škodlivých látek, časovou náročnost, nespokojenost posádek při jízdě, nesplnění časových zakázek v rámci dopravních zařízení a možnou ztrátu trhu a zakázek. Největší problém však zaznamenají samotní občané v obcích a v městech, neboť tyto faktory zvyšují hodnoty hluku, prachu a množství škodlivých látek. Také je zde rapidně snížena bezpečnost chodců a jejich mobilita.

Opatření, které se mohou zavést proti kongesci provozu, jsou následující:

- Zpoplatnění dopravy ve městech
- Rozvoj moderních integrovaných dopravních systémů
- Regulace dopravy v obcích a městech

- Rychlá a efektivní likvidace dopravních nehod, které vznikají na frekventovaných křižovatkách a cestách
- Lepší plánování dopravních uzavírek a včasné varování občanů
- Větší propagace a motivace k využívání MHD, cyklotras, chůze pěšky. [4]

6.2 Meteorologické podmínky

Provoz na silničních komunikacích je ovlivňován ve velké míře počasím, ať už se jedná o proudění větru, sněžení či námrazu, všechny tyto podmínky přímo ovlivňují jízdní odpory. Meteorologické podmínky působí na rychlost vozidel nebo jejich bezpečnost.

V dnešní době již existují možnosti, jak měřit a informovat řidiče o teplotě a stavu povrchu vozovky. K dostupnosti k těmto informacím z velké míry pomáhá ČHMÚ. V České republice se nachází až 250–300 měřicích stanic, které jsou rozmístěny libovolně po českých trasách s rizikem výskytu nebezpečných jevů.

Na vzniku nežádoucích meteorologických podmínek, jako je např. námraza, mají vliv i nadmořská výška, konstrukce vozovky a její umístění v terénu. Je známo, že vozovky s větším provozem jsou teplejší než méně frekventované komunikace. Je tomu tak z mnoha příčin, mezi které patří tření pneumatik, tepelné vyzařování motorů, promíchávání vzduchu nedovolující stagnaci, omezené vyzařování povrchu vlivem zastínění dopravními zařízeními. Minimální teploty se tak mohou lišit mezi intenzivně využitou komunikací a silnicí bez provozu až o 2°C. Tyto rozdíly se však mohou naměřit i mezi jednotlivými pruhy na dálnici. [2]

Problém nastává u teplot kolem 0 °C, kdy tvorba padajících srážek, se může měnit na padající sníh, který tvoří v kombinaci s větrem sněhové jazyky. Dále však vytváří náledí a námrazu. U teplot nad zámraznou hodnotou však srážky zůstávají v kapalném stavu. V případě, že nastane moment, kdy už kanalizační sítě nebo samotná vozovka nedokáže dostatečně odvádět vodu z povrchu vozovky, ztrácí pneumatiky přilnavost k vozovce a dostávají tzv. aquaplaning, což znamená sníženou ovladatelnost vozidla a do velké míry snížení bezpečnosti posádky vozidla.

Jedním z nejčastějších vlivů, se kterým se řidiči při jízdě setkají, je vítr. Znatelně tedy záleží na tom, odkud vítr fouká. Obecně řečeno, je lepší jet s vozidlem proti větru nebo po něm. Nebezpečný je boční vítr, který ovlivňuje zejména nákladní

automobily a autobusy s velkou boční plochou. Nejrizikovější jsou trasy na otevřených úsecích a na mostech, kde silný boční vítr koriguje směr jízdy. Dále však může způsobit i potíže v podobě spadlých větví, stromů a létajících předmětů. [9]

Stupeň	Vítr	Uzly	km.h ⁻¹	Na souši	Hladina moře	Výška vln v metrech
0	bezvětrí	< 1	< 1	kouř stoupá kolmo vzhůru	zrcadlo	< 0,03
1	vánek	1 - 3	1 - 5	směr větru lze poznat podle pohybu kouře.	vlnky	asi 0,03
2	větrík	4 - 6	6 - 11	listí stromů šelestí	světlejší hřbety vln	asi 0,13
3	slabý vítr	7 - 10	12 - 19	listy stromů a větvičky jsou v trvalém pohybu	lom vln	0,3 - 0,7
4	mírný vítr	11 - 16	20 - 28	vítr zvedá prach a útržky papíru	místa bílé hřebeny	0,6 - 1,2
5	čerstvý vítr	17 - 21	29 - 39	listnaté keře se začínají hýbat	nad vlnami vodní tříšť	1,2 - 2,4
6	silný vítr	22 - 27	40 - 49	telegrafní dráty sviští, používání deštníků je nesnadné	silná vodní tříšť	2,4 - 4
7	mírný víchř	28 - 33	50 - 61	chůze proti větru je obtížná, celé stromy se pohybují	bílá pěna na vlnách	4 - 6
8	čerstvý víchř	34 - 40	62 - 74	ulamují se větve, chůze proti větru je normálně nemožná	bílá pěna na vlnách	4 - 6
9	silný víchř	41 - 47	75 - 88	vítr strhává komíny, tašky a břidlice se střech	vysoké rolující vlny	asi 6
10	plný víchř	48 - 55	89 - 102	vítr strhává komíny, tašky a břidlice se střech	přepadající hřebenatky	6 - 9
11	vichřice	56 - 62	103 - 114	vítr působí rozsáhlá pustošení	vlny pokryté пеноu	> 14
12 - 17	orkán	> 62	> 117	ničivé účinky (vítr odnáší střechy, hýbe těžkými hmotami)	vlnobití, pěna ve vzduchu	> 14

Obrázek 9 - Beufortova stupnice síly větru

7. Elektromobilita

Elektromobilita nebo e-mobilita znamená použití elektrických automobilů, jakožto i e-kol nebo elektrokol, elektrických motorek, e-autobusů a e-nákladních vozidel. Jejich společným znakem je, že jsou plně nebo částečně poháněny elektricky, mají na palubě prostředky k ukládání energie a získávají svou energii hlavně z elektrické sítě. Elektrická auta jsou tichá, efektivní a s nízkými emisemi a dosud se používají hlavně ve městech, kde jsou ideální pro doručovací služby, taxíky a sdílení automobilů.

Tato technologie předpokládá, že na silnicích budou jezdit ekologická, tichá a efektivní vozidla. E-automobily a hybridní vozidla vydávají méně výfukových plynů než automobily se spalovacími motory. Elektromobilita je proto důležitým způsobem, jak to umožnit – pokud je energie získávána z obnovitelných zdrojů

energie. Skupina Boston Consulting Group předpovídá, že do roku 2030 bude mít elektrická vozidla tržní podíl až 50 procent.

Hybridní vozidla kombinují dvě technologie pohonných jednotek. Elektrickým pohonem obvykle zvládnou kratší vzdálenosti, ale jejich spalovací motor znamená, že bez problémů zvládnou i dlouhé cesty.

Emise mají vážný dopad na klima a životní prostředí. Stále více CO₂ vstupuje do atmosféry, což má za následek, že povrch i obal Země se ohřívá. Podle průzkumu Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) je automobilový provoz zodpovědný za 23 procent všech emisí CO₂ na celém světě s narůstající tendencí. Na rozdíl od benzínových a naftových automobilů nevydávají elektrická vozidla při jízdě žádné CO₂. E-automobily jsou CO₂ zcela neutrální, pouze pokud jsou baterie a elektrická energie k jejich výrobě vyráběny z obnovitelných zdrojů energie.

Spalovací motory by měly pomalu odcházet, protože fosilní paliva jako ropa, ze kterých se vyrábí benzín a nafta, jsou omezenými zdroji. Jak dlouho tyto zdroje vydrží, je otázkou. Podle studie „Statistický přehled světové energie 2017“ budou v současnosti známé světové zásoby ropy trvat při současných úrovních spotřeby téměř 50 let. Aby bylo možné zavést alternativní formy pohonných jednotek, nabízí mnoho zemí koupi elektrických automobilů, například Norsko je velmi dotuje. [2.2]

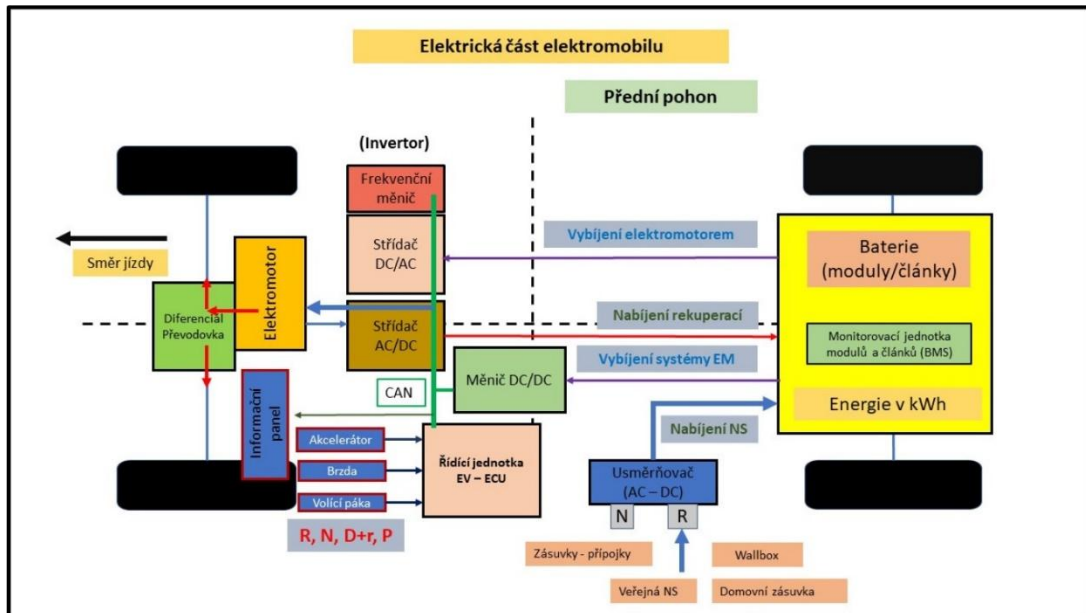
7.1 Elektromobil

Elektromobily jsou určeny k bezpečné a efektivní a pohodlné dopravě jedné nebo více osob na dopravní trase. Jedná se o motorové vozidlo kategorie L, M, S nebo N (podle legislativy), je poháněno jedním trakčním elektromotorem nebo více elektromotory, které jsou napájeny ze zásobníku elektrické energie (baterie) umístěné ve vozidle. Baterie jsou především dobíjeny za pomoci externí energie prostřednictvím nabíjecích stanic. Nabíječky jsou buď součástí automobilu, nebo jsou externí. Baterie mohou být nadále dobíjeny rekuperací energie.

7.1 Základní prvky pohonu elektromobilu

Pohonný systém se u elektrických zařízení skládá z řídicí soustavy (měnič, invertor), jednoho nebo více elektromotorů, výkonné elektroniky, soustavy pro zachování energie (nabíječka, články baterie, ochranná jednotka, řídicí systém baterie) a mnoho dalších přídatných komponentů. Invertor u elektromobilu dovoluje

zvyšování a snižování napětí, obrací polaritu napětí. AC/DC měnič převádí střídavé vstupní napětí a proud na stejnosměrné výstupní napětí a proud. Názvem DC/DC měnič (stejnosměrný měnič) se obvykle vyznačuje elektrický měnič napětí určený pro změnu velikosti stejnosměrného napětí a proudu. [5]



Obrázek 10 – Základní prvky pohonu osobního elektromobilu

8. Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce je stanovení jízdních odporů, v závislosti na charakteru dopravní trasy, režimu jízdy a druhu užívaných osobních automobilů. Dílčím cílem je stanovení konkrétních hodnot jízdních odporů u vybraných vozidel pro výpočet celkové spotřeby energie pro pohyb automobilů s rozdílnými motory.

9. Metodika

Metodika umožňuje stanovení a následné vyhodnocení základních jízdních odporů na vybrané dopravní trase a jejich porovnání s realitou (údaje z palubního počítače). Měření proběhlo na dvou vybraných osobních automobilech s rozdílnou koncepcí pohonného ústrojí, rozměry a technickými vlastnostmi. Pro práci byly zvoleny dva automobily značky Škoda, které se řadí do rozdílných kategorií. Jedná se o vůz Škoda Rapid Spaceback, poháněný spalovacím motorem a Škoda Citigo-e IV s elektrickým pohonem (zapůjčený od CB Auto České Budějovice).

Samotné měření jízdních odporů bylo zahájeno kontrolou a doplněním předepsaného tlaku udávaného výrobcem pneumatik, doplněním paliva a dalších kapalin pro získání relevantních hodnot provozní hmotnosti. Tyto hodnoty byly ověřeny zvážením automobilu (pohotovostní váha vozidla + hmotnost řidiče, technického měřicího vybavení a spolujezdce, který tvoří zátěž, a hlavně napomáhá ke kontinuálnímu objektivnímu měření a vyhodnocení dat). Před měřením byla uvnitř vozidla instalována palubní kamera, která snímala samotnou trasu, konkrétní zařazený rychlostní stupeň, tachometr, kde byly zaznamenány otáčky motoru a rychlost vozidla. Měřicí zařízení bylo instalováno tak, aby nebránilo ve výhledu řidiči a nemohlo ovlivnit bezpečnost jízdy. Na začátku měření bylo na zvolené dopravní trase kalibrováno zařízení anemometr, pomocí kterého byl zaznamenáván směr a rychlost proudění vzduchu v krajině. Jízdy a měření byly zahájeny se zahřátým motorem, spuštěnou videokamerou a časovým měřicím zařízením. Po dobu jízdy byla dodržována předepsaná rychlost a klidný „komfortní“ režim jízdy. Během jízdy byly slovním komentářem zaznamenány potřebné informace pro efektivnější a přesnější vyhodnocení dat. S každým vozidlem byly uskutečněny tři testovací jízdy. Jízdní odpory byly vypočítány dle vyhotoveného programu v Excelu a celkově vyhodnoceny.

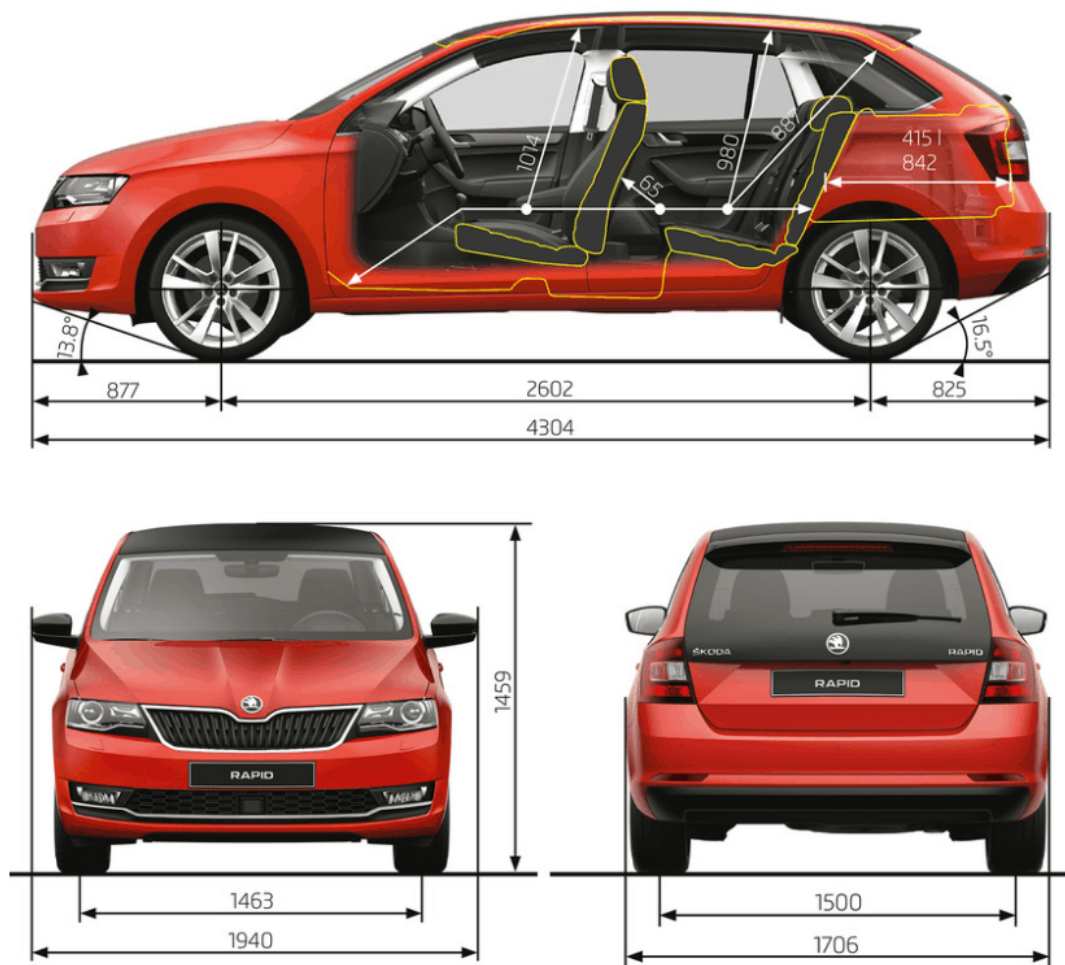
9.1 Škoda Rapid

První vybraný automobil je Škoda Rapid Spaceback ve specifikaci Monte Carlo. Jedná se o hatchback nižší střední třídy představen automobilkou Škoda Auto v roce 2012. V roce 2017 se vůz dočkal faceliftu, přepracování pohonných jednotek a modernizace. Dále se však vůz vyrábí i v karosářské variantě liftback, které jsou v České republice společně s hatchback(em) velice oblíbené. Vůz se těší velkým prodejním číslem v Rusku, Číně a Indii, kde je i po roce 2020 stále prodáván (v České republice a zbytku Evropy nahradila model Rapid Škoda Scala, která se vyrábí od roku 2019). O design vozu Rapid se postaral světoznámý designér Jozef Kabaň.



Obrázek 11 - Škoda Rapid Spaceback/liftback

Tento automobil je vybaven 3válcovým přeplňovaným zážehovým motorem o objemu 999 cm³ s maximálním výkonem 81 kW, který pohání přední kola. Hodnota točivého momentu je 200 Nm. Pohotovostní hmotnost u Rapidu činí 1165 kg. Automobil splňuje legislativní emisní podmínky pro Euro 6. Udávaná spotřeba výrobcem je mimo město 4 l/100 km. Pro výpočet jízdních odporů je potřeba stanovit čelní plochu vozidla, provozní hmotnost, součinitel odporu vzduchu, který udává výrobce automobilu.



Obrázek 12 - Rozměry Škoda Rapid Spaceback 1.0 tsi

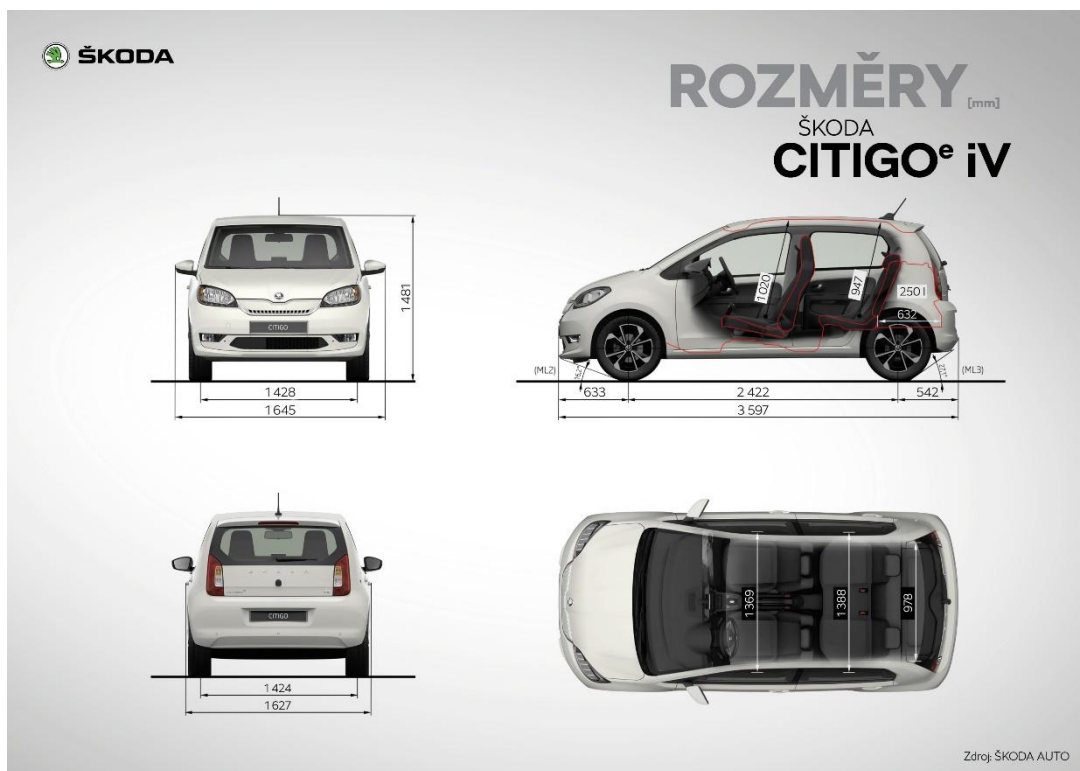
9.2 Škoda Citigo-e IV

Jako druhé dopravní zařízení a zástupce elektromobilů, byl zvolen nejmenší automobil z dílny Škoda, a to Škoda Citigo-e IV. Tento automobil, který se již prodává od roku 2011 se spalovacím motorem ve tří a pětidveřové variantě byl navržen pro městský provoz a spadá do kategorie mini automobilů. Výroba elektrického Citigo začala v roce 2019 společně se svými sourozenci z koncernu Volkswagen Group, a to VW up! a SEAT Mii. Jedná se o první čistě elektrický sériově vyráběný vůz značky Škoda.



Obrázek 13 - Škoda Citigo-e IV

Citigo-e IV je vybaven elektromotorem o výkonu 61kW, který pohání přední nápravu. Pro elektromobily je typickou vlastností to, že disponuje silným točivým momentem 212Nm, který je využitelný od nulových otáček. Díky těmto faktorům dosahuje rychlého a pružného zrychlení. Jako zdroj energie je v elektromobilu lithium-iontová baterie s dispoziční prací 36,8 kWh, která je uložena v podlaze automobilu. Baterie se skládá ze 168 článků a dle výrobce umožňuje dojezd 252 km. Spotřeba elektromobilu činí 14,8kWh/100 km, je však závislá na jízdním stylu a okolních podmínkách. Hodnoty zpětného proudového nabíjení elektromobilu mohou být různé v závislosti na druhu užitého nabíjecího zařízení. Rychlo nabíjecí stanice (CCS) na stejnosměrný proud o výkonu 40kW dobije na 80% kapacity zařízení za jednu hodinu. Wallbox na střídavý proud o výkonu 7,2 kW nabije na 80 % kapacity zařízení za 4 hodiny 6 minut, u domácích stanic o výkonu 2,3 kW trvá dobití 12 hodin 42 minut. Jedná se o zařízení, které svou jízdou neprodukuje žádné emise. Stejně jako u Škody Rapid je i zde nutné stanovit pro výpočet jízdních odporů parametry jako je čelní plocha vozidla, provozní hmotnost a další.



Obrázek 14 - Rozměry Škoda Škoda Citigo-e IV

9.3 Dopravní trasa

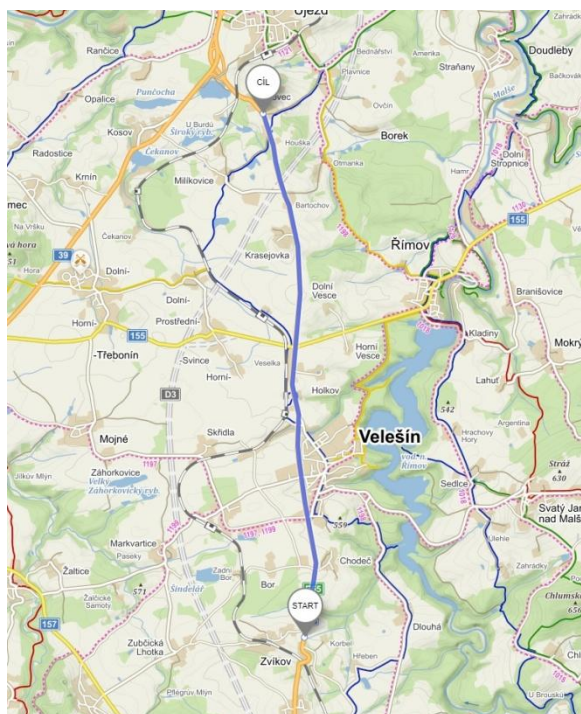
Pro sledovanou výzkumnou práci byla vybrána dopravní trasa z obce Zvíkov do obce Bukovec. Silnice s označením I/3 je silnicí 1. třídy a tvoří významný tah z Rakouska do Českých Budějovic ve směru na Prahu. Tato trasa je součástí mezinárodní silnice E55 vedoucí ze Švédského města Helsingborg do řecké Kalamaty. V současné době probíhá výstavba dálnice D3, která by měla výrazně odlehčit této lokalitě nadměrnému provozu. Dostavba dle ŘSD by měla být uskutečněna v roce 2024.

Dopravní trasa ze Zvíkova do obce Bukovec byla zvolena pro svou délku, stoupání, konfiguraci v závislosti na terénu a prostředí, překážky na vozovce, povrchem vozovky, rozmanitými poloměry zatáček, legislativními úpravami, kongescí provozu a převažujícím směrem proudění vzduchu. Trasa se vyznačuje plynulým konstantním provozem v otevřené krajině. Mezi Netřebicemi a městem Velešín je oblast s vyšším výskytem dopravních nehod z důvodu nepřehledných horizontů na trase, kde je uplatněn zákaz předjíždění. Dále je zde omezení v podobě výstavby dálnice D3 u obce Bartochov, kde je vybudována dočasná přeložka vozovky a platí zde omezení dopravy a rychlostní omezení na $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, neboť je zde četný výskyt stavební techniky a častý pohyb osob. Další v pořadí je železniční

přejezd osazený světelnou signalizací u Štilce, a v neposlední řadě je zde omezení v obci Litvínovice u Českých Budějovic, kde se nachází kruhový objezd, vzhledem k jeho špatné dimenzi, se zde tvoří každý den dopravní kongesce. U všech ostatních úseků je nutné uplatnění zvýšené pozornosti zejména s ohledem na nárazové boční větry. V zimní sezóně se vytváří sněhové jazyky nebo častá námraza vozovky. Silnice vede otevřeným prostorem s četnou migrací divoké zvěře z okolních lesů, častých cyklistů a chodců.

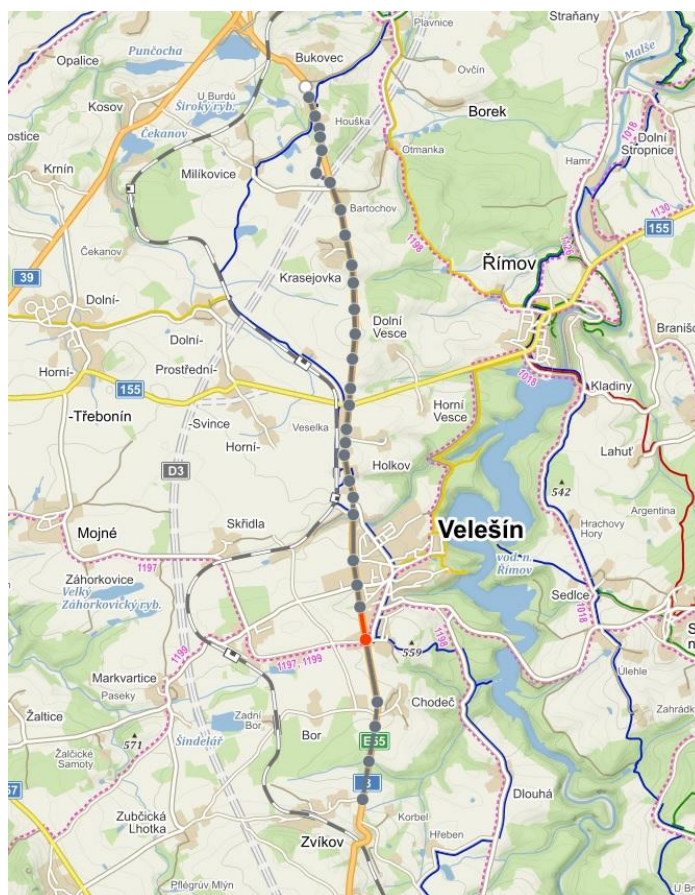
Jízdní režim je závislý na technice a způsobu řízení osobního auta řidičem a je charakterizován počáteční rychlostí, konečnou rychlostí, zrychlováním v určitém úseku, resp. zpomalováním na určité délce jízdní trasy. V tomto směru je zde přímá souvislost s časem potřebným pro průjezd jízdního úseku.

Po celou dobu jízdy byla na trase dodržována zásada bezpečné jízdy, předepsané rychlosti. Mimo obec do 90 km.h^{-1} a v obci do 50 km.h^{-1} . Naměřené údaje o jízdních odporech a průměrná rychlost byly stanoveny na základě údajů z palubního počítače a byly porovnány s teoretickým výpočtem u obou vozidel. Pro účely měření a co nejpřesnější stanovení hodnot byla trasa absolvována třikrát při stejném režimu jízdy u obou dopravních zařízení.

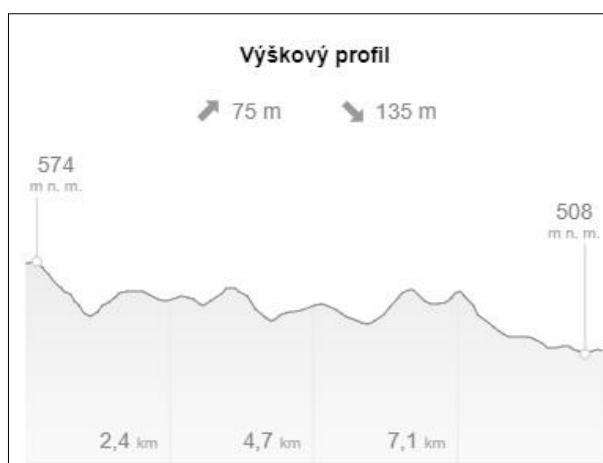


Obrázek 15 - Vybraná dopravní trasa

Celá trasa byla rozdělena na 26 samostatných měřících úseků v celkové délce 9,12 kilometrů a s výškovým převýšením 66 metrů. Celkový jízdní snímek je stanoven z následujících jízdních režimů v dílčích jízdních úsecích (automobil postupně projíždí uvedenými úseky dopravní trasy v režimu jízdy, který závisí na režimu jízdy v předchozím jízdním úseku):



Obrázek 16 – Detail měřících úseků na trase L



Obrázek 17 – Výškový profil dopravní trasy

9.4 Podklady pro stanovení jízdních odporů

9.4.1 Okamžitá hmotnost

Okamžitá hmotnost automobilu zahrnuje určitou variabilitu, která je dána provozní hmotností automobilu, což je teoretická hmotnost. Reálnou hmotnost automobilu na jízdním úseku ovlivňuje několik faktorů, například skutečný objem pohonných hmot, skutečný počet osob v automobilu, počet a hmotnost zavazadel, resp. převážených břemen, skutečná hmotnost osob v automobilu, úpravy automobilu, varianty kol a pneumatik a skutečná náplň provozních hmot.

Další parametry, které ovlivňují odevzdaný výkon motoru, jsou velikost a hmotnost kol. Při výpočtu lze zanedbat větší průměr kol a jejich hmotnost u velkého automobilu, které jsou podstatně vyšší než u malých automobilů, což s sebou nese vyšší požadavek na překonání jízdního odporu při zrychlení. Při výpočtu je uvažováno, že spotřebiče pro komfort řidiče a pro zajištění funkce „bezpečnostních asistentů“ jsou používány. Při výpočtu bylo uvažováno, že tlaky v pneumatikách jsou nastaveny podle výrobce při teplotě ovzduší na trase, což bylo před jízdami kontrolováno. Při jízdě došlo k minimálnímu zvýšení tlaku, takže základní hodnota součinitele odporu valení byla ponechána bez korekce.

Tabulka 2 - Okamžitá hmotnost

Automobil	Okamžitá hmotnost (kg)
Škoda Rapid Spaceback 1.0 tsi	1255
Škoda Škoda Citigo-e IV	1305

9.4.2 Čelní plocha automobilu

Závisí na jeho rozměrech (výška a šířka), technických parametrech (světla výška, velikost zrcátek, šířka pneumatik, průměr kol) a designovém provedení.

Tabulka 3 – Čelní plocha automobilu

Automobil	Šířka (mm)	Výška (mm)	Čelní plocha S (m²)
Škoda Rapid Spaceback 1.0 tsi	1706	1459	2,17
Škoda Škoda Citigo-e IV	1627	1481	2,10

9.4.3 Součinitel odporu vzduchu

Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která vyjadřuje určitou aerodynamickou čistotu obtékaného tělesa. Čím menší je hodnota c_x , tím menší odpor vzduchu na automobil působí.

Podíl na hodnotě součinitele odporu vzduchu horní části automobilu je 40 až 45 %, na spodní část (kola, podvozek) připadá 55 až 60 %, přičemž na kola a oblast podběhů (blatníků a lapačů nečistot) připadá 30 %. U moderních osobních automobilů je obecně v rozmezí 0,24 až 0,62. Záleží na kategorii automobilu, například sportovní automobily mají obecně hodnotu nižší než SUV, ale mezi kategoriemi Mini, Malé, Střední mohou být hodnoty rozmanité. Například menší automobil s nižším výkonem motoru a nižší hmotností může mít hodnotu součinitele odporu vzduchu vyšší, než větší a hmotnější automobil (malá kapka vody má stejnou hodnotu součinitele odporu vzduchu jako velká).

Obecně platí, že pokud se jízdní odpor vzduchu u jedoucího automobilu rychlostí nad 100 km.h⁻¹ sníží o desetinu, poklesne tím jeho spotřeba paliva o 2,5 procenta, takže hodnota součinitele odporu vzduchu nemá velký význam pro velikost hodnoty emisí na běžných, resp. krátkých vzdálenostech, ale význam při jízdě na dálnici se zvyšuje.

Tabulka 4 – Součinitel odporu vzduchu c_x u vybraných vozidel

Automobil	Součinitel odporu vzduchu c_x
Škoda Rapid Spaceback 1.0 tsi	0,322
Škoda Škoda Citigo-e IV	0,325

Při vyšších rychlostech síla odporu vzduchu vzrůstá s druhou mocninou rychlosti. Nepatrný význam má i teplota vzduchu. Například při teplotě vzduchu -40 °C je hustota 1,514 kg.m⁻³, při teplotě +40 °C je hustota vzduchu 1,127 kg.m⁻³.

Tabulka 5 – Závislost hustoty vzduchu na teplotě vzduchu

Teplota °C	-20	-10	0	5	10	15	20	25	30
Hustota vzduchu kg.m ⁻³	1,395	1,342	1,295	1,269	1,247	1,225	1,204	1,184	1,164

Další faktory, které ovlivňují součinitel odporu vzduchu, jsou dezén pneumatiky, šířka pneumatiky a provedení disku kola, které mají význam pro hodnotu součinitele odporu vzduchu. Pro snížení hodnoty c_x by měla být pneumatika úzká, bez dezénu a s hladkým diskem (bez ozdob, prohlubní a paprsků – loukotí). Například i plastický nápis na bočnici pneumatik zvýší koeficient o 0,001 ve srovnání s holou maketou shodného rozměru i dezénu. Ozdobné disky mohou zvýšit hodnotu až o 0,045 oproti klasickým, plechovým bez otvorů. Nejvhodnější jsou celoplošné kryty kol, resp. disky bez otvorů. Dezén pneumatik, šířka pneumatik a provedení disků mají vliv na hodnotu součinitele odporu vzduchu (nejen na hodnotu součinitele odporu valení).



Obrázek 18 Rozdílné typy pneumatik a provedení disků

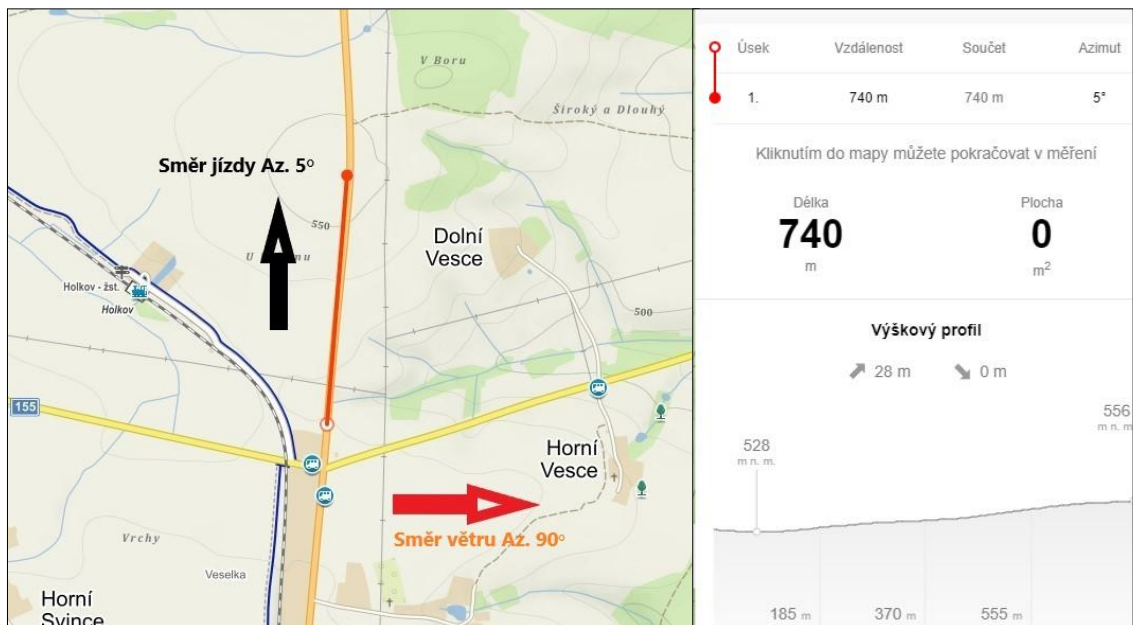
Moderní osobní automobily mají zpravidla pneumatiky HR (do 210 km.h⁻¹), pro něž platí součinitel k_p : 0,011817 při výpočtu odporu valení, vzhledem k jejich konstrukci (pneumatiky SR mají hodnotu součinitele nejvyšší, VR mají nejnižší, tento součinitel se zvyšuje se zvyšující rychlostí automobilu, například u pneumatik typu HR je součinitel k_p při rychlosti 60 km.h⁻¹ 0,0121, při 80 km.h⁻¹ je 0,0129 a při 120 km.h⁻¹ je to 0,0312).

9.4.4 Úhel stoupání

Úhel stoupání se určí výpočtem na základě identifikace dílčího úseku celkového jízdního snímku. Podle <https://mapy.cz/zakladni?mereni-vzdalenosti> (viz obrázek 19) se zjistí délka dílčího jízdního úseku. Z rozdílu výšek se vypočítá výška stoupání a podle obrázku 20, nebo podle tabulky 6 se vypočítá úhel stoupání.

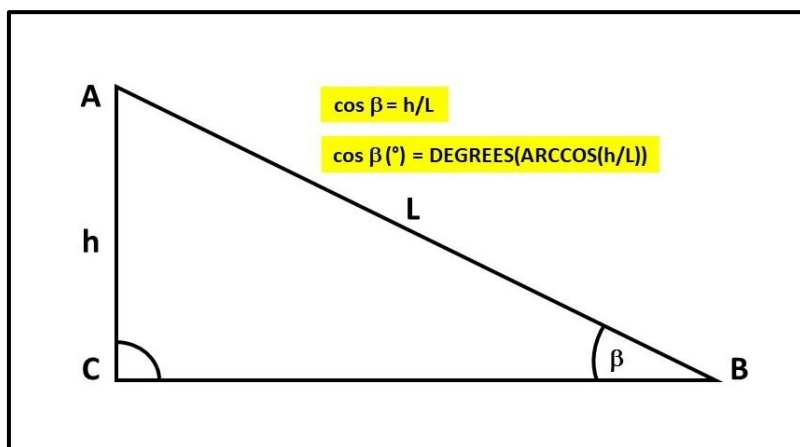
9.4.5 Vítr (proud vzduchu)

Vítr (proud vzduchu) je turbulentní s variabilitou směru a rychlosti proudění v čase. Směr větru se udává podle směru, odkud vítr vane pomocí azimutu (0 až 360°), nebo v meteorologii pomocí světových stran.



Obrázek 19 - Podklady pro výpočet úhlu stoupání, stanovení směru proudícího vzduchu (větru) a jízdních odporů v dílčím jízdním úseku

Pro stanovení rychlosti větru je potřeba provést alespoň tři měření v rozpětí času 15 minut a stanovit výslednou průměrnou hodnotu, pokud je pohyb automobilu převážně proti proudícímu větru ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$).



Obrázek 20 - Výpočet úhlu stoupání ze známých údajů dílčího jízdního úseku

Tabulka 6 - Program v Excellu pro výpočet úhlu stoupání

Výpočet úhlu stoupání (°)	2,2
Délka úseku L (m)	740
Převýšení h (m)	28
h/L	0,0377817838
cos β (°)	88

Jestliže se automobil pohybuje na rovině ve směru poryvů větru (ve směru převažujícího proudění vzduchu), sníží se například potřeba výkonu pro pohyb automobilu při rozdílu rychlosti jízdy automobilu a rychlosti větru o 20 km.h⁻¹ o 2,2 až 3,1 kW (v závislosti na kategorii automobilu, provedení zádě karoserie a na charakteru (doba trvání, odchylka od osy automobilu, změny směru proudění větru)). Úspora pohonných hmot při rychlosti osobního automobilu 66 km.h⁻¹ a rychlosti větru 86 km.h⁻¹ může být až 1,2 litrů na 100 km.

Tabulka 7 - Závislost velikosti výkonu ztraceného odporem vzduchu na rychlosti jízdy a na rychlosti proudění vzduchu

Rychlost jízdy OA (km.h ⁻¹)	Průměrná rychlost proudění vzduchu 1 m.s ⁻¹	Průměrná rychlost proudění vzduchu 5 m.s ⁻¹	Průměrná rychlost proudění vzduchu 10 m.s ⁻¹	Průměrná rychlost proudění vzduchu 15 m.s ⁻¹
80	4,86	6,68	9,36	12,48
100	9,33	12,10	16,08	20,61

9.4.6 Zrychlení

Průměrná hodnota zrychlení je u osobních automobilů (bez volby zrychlení při odvrácení hrozícího nebezpečí, resp. při nutném vjetí do proudu automobilů, jedoucích po hlavní silnici) $1,39 \text{ m.s}^{-2}$ (například rozjezd na 60 km/h = za 12 sekund). Maximální zrychlení u osobních automobilů je shodné $1,68 \text{ m.s}^{-2}$. Automobily zrychlují zpravidla rovnoměrně, pokud není řidič nucen reagovat na situaci v provozu na silnici, nebo vykazuje odchylky od běžné činnosti vlivem nevyvážené psychiky řidiče, nebo nestandardního chování pod vlivem úmyslů.

9.4.7 Zbývající faktory

Poloměry zatáček se zpravidla do výpočtu neuvažují, přestože se s úhlem natočení kol (směrová výchylka kola) progresivně zvyšuje odpor valení (například při hmotnosti automobilu 1000 kg , při rychlosti 50 km.h^{-1} a při úhlu natočení kol 0° je valivý odpor $360,7 \text{ N}$, při 1° je $400,2 \text{ N}$, při 2° je $486,6$, při 3° je $619,3$, při 4° je $767,9$, při 5° je $1022,6$, při 6° je $1293,8$).

Vliv směrové výchylky na součinitel valivého odporu progresivně vzrůstá s úhlem natočení kol. Například při úhlu 3° je $0,028$, při úhlu 6° je $0,095$ a při úhlu natočení kol 10° (maximální hodnota) je $0,26$.

Hustota vzduchu se v průběhu jízdy může měnit podle teploty vzduchu. Při teplotě vzduchu $10 \text{ }^\circ\text{C}$ je to $1,24 \text{ kg.m}^{-3}$, při konstantní vlhkosti 48% . Viz tabulka 5.

Hodnota tíhového zrychlení se na Zemském povrchu mění s nadmořskou výškou. Při výpočtu uvažujte hodnotu pro ČR: $9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

Při běžném zrychlování automobily nezrychlují s prokluzem hnacích kol. Nepočítá se zde s jednotlivými odpory zrychlení rotujících hmot (například motor, spojka, kola...), jsou dány součinitelem vlivu rotačních částí. Součinitel vlivu rotačních částí τ závisí na zařazeném převodovém stupni. U vyšších převodových stupňů je $1,02$, u nižších je $1,8$. Lze použít hodnotu $1,45$, vzhledem k rychlému řazení rychlostních stupňů na relativně krátké vzdálenosti.

Tlakové odpory, indukované odpory karoserie se neuvažují, jejich hodnota je při nízkých rychlostech vzduchu a pohybu automobilu s aerodynamickou karoserií velmi nízká.

10. Použité pomůcky

Pro měření bylo nutné použít vhodná měřicí zařízení pro sběr dat, která jsou nutná pro stanovení jízdních odporů.

Pro měření bylo nutné aplikovat měřicí zařízení. První jmenované je měřič parametrů prostředí „VOLTGRAFT VC - 4in1“, který je opatřen funkcemi, jako je měření úrovně zvukové hladiny, měření intenzity osvětlení a pro účely práce důležité hodnoty venkovní teploty a vlhkosti vzduchu.



Obrázek 21 – Měřicí zařízení pro teplotu, vlhkost vzduchu

Pro měření povětrnostních podmínek byla zvolena meteorologická stanice Vantage Vue. Tento bezdrátový přístroj byl použit pro zaznamenání směru (azimut) a rychlosti větru. Zařízení bylo instalováno na dopravní trase na několika místech pro co nejpřesnější hodnoty potřebné pro výpočet.



Obrázek 22 – Měřící zařízení pro určení síly a směru větru

Po naměření veškerých dat, která byla nasbírána měřícími zařízeními, informacemi z dopravní trasy a dopravních zařízení, byl pro výpočet vyhotoven program v Excelu. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8 pro výpočet veličin, které mají vazbu na výpočet odevzdaného výkonu na překonání jízdních odporů v jízdním úseku.

Tabulka 8 - Veličiny, které mají vazbu na výpočet výkonu odevzdaného na překonání jízdních odporů v jízdním úseku

Veličiny	Označení veličiny	Jednotky
Hmotnost vozidla + 2 osoby	m	kg
Součinitel odporu valení	f_v	
Čelní plocha vozidla	S	m^2
Součinitel odporu vzduchu karoserie	c_x	
Objemová hmotnost vzduchu	ρ	$kg.m^{-1}$
Úhel stoupání	s	°
Rychlost protivětru	v_v	$m.s^{-1}$
Průměr rychlosti jízdy vozidla	v_j	$m.s^{-1}$
Účinnost přenosu	η	
Výkon motoru	P_e	kW

Prokluz kol	δ	%
Zrychlení vozidla	a	m.s^{-2}
Tíhové zrychlení	g	m.s^{-2}
Úhel stoupání	s	o
Koeficient zrychlení pro OA	z	p.s.
Náporová rychlost	v_n	km.h^{-1}
Rychlost po zrychlení	v_a	m.s^{-1}
Rychlost před zrychlením	v_0	m.s^{-1}
Jízdní odpor	Hodnota (kW)	(kW)
Výkon „ztracený“ odporem valení		
Výkon „ztracený“ odporem stoupání		
Výkon „ztracený“ odporem zrychlení		
Výkon „ztracený“ odporem vzduchu		
Výkon „ztracený“ odporem při přenosu momentu		
Systémy ohřevu a bezpečnosti		
CELKEM:		

11. Měření jízdních odporů

Skutečný celkový jízdní snímek je stanoven z následujících jízdních režimů v dílčích jízdních úsecích, kdy automobil postupně projíždí uvedenými úseky dopravní trasy v režimu jízdy, který závisí na režimu jízdy v předchozím jízdním úseku. Celkové měření se provádí 3x.

Tabulka 9 – Parametry dopravní trasy

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Nadmořská výška na začátku úseku (m)	Nadmořská výška na konci úseku (m)	Rozdíl výšek (m)	Úhel stoupání (°)
0 – 1	464	554	531	- 23	0
1 - 2	532	531	550	+ 19	2,0
2 - 3	287	550	554	+ 4	0,8
3 - 4	763	554	550	- 4	0
4 - 5	411	550	543	- 2	0
5 - 6	341	543	556	+ 13	2,2
6 – 7	791	556	530	- 26	0

7 – 8	245	530	539	+ 9	2,1
8 – 9	273	539	536	- 4	0
9 – 10	311	536	546	+ 10	1,8
10 – 11	590	546	533	- 13	0
11 – 12	211	533	528	- 5	0
12 – 13	350	528	540	+ 12	2,0
13 – 14	317	540	555	+ 15	2,7
14 – 15	364	555	543	- 12	0
15 – 16	263	543	544	+ 1	0,2
16 – 17	223	543	555	+ 12	3,1
17 – 18	387	555	534	- 21	0
18 – 19	309	534	525	- 9	0
19 – 20	371	525	524	- 1	0
20 – 21	196	524	521	- 3	0
21 – 22	282	521	512	- 9	0
22 – 23	281	512	517	+ 5	1,0
23 – 24	147	517	512	- 5	0
24 – 25	232	512	508	- 4	0
25 – 26	179	508	513	+ 5	1,6
Celkem	9120				

11.1 První měření Škoda Rapid

- Datum výzkumu: 12.3.2020
- Průměrná rychlost 77 km/h
- Celkový čas 7 minut, 5 sekund
- Stav vozovky: v dobrém stavu, suchý povrch
- Kongesce: střední
- Meteorologické podmínky: teplota 11,5 °C, vlhkost vzduchu 29,2 %, srážky 0 mm, průměrná rychlost vzduchu 2,6 m.s⁻¹

Tabulka 10 – Hodnoty pro úsek měření č. 1 (Škoda Rapid)

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Rychlost na začátku úseku v ₀ (km.h ⁻¹)	Rychlost na konci úseku. v ₁ (km.h ⁻¹)	Čas na absolvování úseku (s)	Okamžitá spotřeba paliva podle PP (1/100 km)*
0 – 1	464	72	90	20,8	4,2
1 - 2	532	90	105	19,6	11,2
2 - 3	287	105	93	10,4	5,2
3 - 4	763	93	90	30,0	2,7

4 - 5	411	90	90	16,4	3,4
5 - 6	341	90	80	14,4	5,6
6 - 7	791	80	92	33,1	1,7
7 - 8	245	92	75	10,5	1,9
8 - 9	273	75	64	14,1	6,9
9 - 10	311	64	76	15,9	6,2
10 - 11	590	76	85	26,3	2,2
11 - 12	211	85	94	8,4	9,4
12 - 13	350	94	77	14,7	12,2
13 - 14	317	77	85	14,0	13,6
14 - 15	364	85	92	14,8	1,6
15 - 16	263	92	64	12,1	4,2
16 - 17	223	64	68	12,2	14,6
17 - 18	387	68	63	21,2	2,3
18 - 19	309	63	38	20,0	1,8
19 - 20	371	38	56	28,4	5,7
20 - 21	196	56	63	11,8	1,8
21 - 22	282	63	65	15,8	6,1
22 - 23	281	65	67	15,5	13,9
23 - 24	147	67	78	7,2	3,6
24 - 25	232	78	82	10,4	5,6
25 - 26	179	82	88	7,5	9,7

* odečítají se a zapisují se maximální hodnoty z palubního počítače (PP) pro měřený úsek, do měřeného úseku se vjíždí rychlostí dosaženou v minulém úseku (pokud se automobil nerozjíždí z nulové rychlosti), při vyjíždění z úseku se rychlost jízdy volí s ohledem na bezpečnost a na situaci na dopravní trase, nebo v okolním prostředí. Toto platí i pro nadcházející tabulky.

Tabulka 11 – Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 1 (Škoda Rapid)

Označení dílčího úseku	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)
0 - 1	4,16	0	8,75	6,13	4,86	0,20
1 - 2	5	11,64	8,93	10,32	4,86	0,20
2 - 3	5,08	4,73	0	10,07	4,86	0,20
3 - 4	4,69	0	0	8,62	4,86	0,20
4 - 5	4,62	0	0	8,23	4,86	0,20

5 - 6	4,36	11,16	0	7,07	4,86	0,20
6 - 7	4,41	0	3,71	7,30	4,86	0,20
7 - 8	4,28	10,46	0	6,72	4,86	0,20
8 - 9	3,57	0	0	4,04	4,86	0,20
9 - 10	3,59	7,52	6,63	4,12	4,86	0,20
10 - 11	4,13	0	3,37	6,07	4,86	0,20
11 - 12	4,59	0	11,10	8,16	4,86	0,20
12 - 13	4,38	10,20	0	7,35	4,86	0,20
13 - 14	4,15	13,05	5,37	6,33	4,86	0,20
14 - 15	4,54	0	4,84	8,09	4,86	0,20
15 - 16	4	0,93	0	5,70	4,86	0,20
16 - 17	3,38	12,21	2,49	3,47	4,86	0,20
17 - 18	3,36	0	0	3,46	4,86	0,20
18 - 19	2,59	0	0	1,72	4,86	0,20
19 - 20	2,41	0	4,81	1,42	4,86	0,20
20 - 21	3,05	0	5,04	2,67	4,86	0,20
21 - 22	3,28	0	1,11	3,19	4,86	0,20
22 - 23	3,39	3,94	1,02	3,37	4,86	0,20
23 - 24	3,72	0	13,66	4,50	4,86	0,20
24 - 25	4,10	0	3,50	6,06	4,86	0,20
25 - 26	4,36	8,12	7,76	7,17	4,86	0,20
Celkový průměr	3,968	3,614	3,542	5,821	4,86	0,20

11.2 Druhé měření Škoda Rapid

- Datum výzkumu: 15.3.2020
- Průměrná rychlost: 86 km/h
- Celkový čas: 5 minut, 28 sekund
- Stav vozovky: v dobrém stavu, suchý povrch
- Kongesce: nízká
- Meteorologické podmínky: teplota 10 °C, vlhkost vzduchu 36,6 %, srážky 0 mm, průměrná rychlost vzduchu 5,2 m.s⁻¹

Tabulka 12 – Hodnoty pro úsek měření č. 2 (Škoda Rapid)

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Rychlost na začátku úseku v ₀ (km.h ⁻¹)	Rychlost na konci úseku. v ₁ (km.h ⁻¹)	Čas na absolvování úseku (s)	Okamžitá spotřeba paliva podle PP (l/100 km)*
0 - 1	464	81	88	19,7	4,1
1 - 2	532	88	96	20,8	11,8
2 - 3	287	96	94	10,8	4,9

3 - 4	763	94	82	31,2	3,2
4 - 5	411	82	91	17,1	3,6
5 - 6	341	91	93	13,3	9,4
6 - 7	791	93	96	30,1	2,2
7 - 8	245	96	88	9,5	7,3
8 - 9	273	88	91	10,9	7,6
9 - 10	311	91	91	12,3	10,1
10 - 11	590	91	97	22,5	8,6
11 - 12	211	97	99	7,5	12,1
12 - 13	350	99	103	12,4	9,4
13 - 14	317	103	107	10,8	3,7
14 - 15	364	107	98	12,7	2,8
15 - 16	263	98	98	9,6	9,2
16 - 17	223	98	87	8,7	0,6
17 - 18	387	87	89	15,8	0,6
18 - 19	309	89	94	12,1	1,8
19 - 20	371	94	77	15,6	4,5
20 - 21	196	77	64	10,1	3,8
21 - 22	282	64	68	15,4	9,5
22 - 23	281	68	79	13,7	7,2
23 - 24	147	79	82	6,6	5,4
24 - 25	232	82	84	10,1	8,8
25 - 26	179	84	93	7,2	13,8

Tabulka 13 – Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 2 (Škoda Rapid)

Označení dílčího úseku	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)
0 - 1	4,33	0	3,47	8,17	4,86	0,20
1 - 2	4,72	10,98	0	10,20	4,86	0,20
2 - 3	4,87	4,54	0	11,17	4,86	0,20
3 - 4	4,51	0	0	9,10	4,86	0,20
4 - 5	4,44	0	5,56	8,69	4,86	0,20
5 - 6	4,72	12,08	1,55	10,11	4,86	0,20
6 - 7	4,85	0	0,94	10,87	4,86	0,20
7 - 8	4,72	11,53	0	10,25	4,86	0,20
8 - 9	4,59	11,22	2,77	9,52	4,86	0,20
9 - 10	4,59	9,61	0	9,53	4,86	0,20

10 – 11	4,82	0	2,87	11,00	4,86	0,20
11 – 12	4,82	0	2,84	11,03	4,86	0,20
12 – 13	5,18	12,05	3,84	13,33	4,86	0,20
13 – 14	5,38	16,92	4,39	14,81	4,86	0,20
14 – 15	5,39	0	0	14,46	4,86	0,20
15 – 16	5,03	1,17	0	11,99	4,86	0,20
16 – 17	4,74	17,11	0	10,26	4,86	0,20
17 – 18	4,51	0	1,25	8,98	4,86	0,20
18 – 19	4,51	0	4,31	8,96	4,86	0,20
19 – 20	4,39	0	0	8,31	4,86	0,20
20 – 21	3,62	0	0	4,99	4,86	0,20
21 – 22	3,39	0	2,05	4,10	4,86	0,20
22 – 23	3,77	4,39	7,95	5,44	4,86	0,20
23 – 24	4,13	0	4,71	6,92	4,86	0,20
24 – 25	4,26	0	2,10	7,79	4,86	0,20
25 - 26	4,54	8,45	13,36	9,24	4,86	0,20
Celkový průměr	4,57	4,617	2,46	9,585	4,86	0,20

11.3 Třetí měření Škoda Rapid

- a) Datum výzkumu: 17.3.2020
- b) Průměrná rychlost: 66 km/h
- c) Celkový čas: 6 minut, 54 sekund
- d) Stav vozovky: v dobrém stavu, suchý povrch
- e) Kongesce: střední - vysoký
- g) Meteorologické podmínky: teplota 14,6 °C, vlhkost vzduchu 31,6 %, srážky 0 mm, průměrná rychlost vzduchu 3,8 m.s⁻¹

Tabulka 14 – Hodnoty pro úsek měření č. 3 (Škoda Rapid)

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Rychlost na začátku úseku v ₀ (km.h ⁻¹)	Rychlost na konci úseku. v ₁ (km.h ⁻¹)	Čas na absolvování úseku (s)	Okamžitá spotřeba paliva podle PP (l/100 km)*
0 – 1	464	58	74	25,3	14,8
1 - 2	532	74	88	23,6	12,7
2 - 3	287	88	93	11,4	9,4
3 - 4	763	93	90	30,1	4,2
4 - 5	411	90	86	16,8	3,8
5 - 6	341	86	93	13,7	11,1

6 – 7	791	93	84	32,1	2,7
7 – 8	245	84	88	10,2	9,9
8 – 9	273	88	79	11,7	1,6
9 – 10	311	79	81	13,9	4,8
10 – 11	590	81	84	25,7	10,2
11 – 12	211	84	86	8,9	15,3
12 – 13	350	86	93	14,1	16,9
13 – 14	317	93	99	11,8	13,4
14 – 15	364	99	92	13,7	0,6
15 – 16	263	92	84	10,7	4,6
16 – 17	223	84	90	9,2	17,6
17 – 18	387	90	83	16,1	0,6
18 – 19	309	83	68	14,7	0,6
19 – 20	371	68	52	22,2	5,7
20 – 21	196	52	47	14,2	4,3
21 – 22	282	47	53	20,3	7,6
22 – 23	281	53	65	17,1	8,3
23 – 24	147	65	68	7,9	6,6
24 – 25	232	68	76	11,6	11,7
25 - 26	179	76	87	7,9	16,9

**Tabulka 15 – Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 3
(Škoda Rapid)**

Označení díličního úseku	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)
0 – 1	4,18	0	5,44	6,84	4,86	0,20
1 - 2	4,15	9,67	5,80	6,73	4,86	0,20
2 - 3	4,64	4,32	4,54	9,10	4,86	0,20
3 - 4	4,69	0	0	9,38	4,86	0,20
4 - 5	4,51	0	0	8,43	4,86	0,20
5 - 6	4,59	11,75	5,29	8,95	4,86	0,20
6 – 7	4,54	0	0	8,68	4,86	0,20
7 – 8	4,41	10,78	3,82	8,03	4,86	0,20
8 – 9	4,28	0	0	7,20	4,86	0,20
9 – 10	4,10	8,59	1,35	6,41	4,86	0,20
10 – 11	4,23	0	1,14	6,97	4,86	0,20
11 – 12	4,22	0	2,24	6,97	4,86	0,20
12 – 13	4,59	10,68	5,15	8,89	4,86	0,20

13 – 14	4,92	15,47	5,56	10,77	4,86	0,20
14 – 15	4,90	0	0	10,62	4,86	0,20
15 – 16	4,88	1,14	0	10,63	4,86	0,20
16 – 17	4,46	16,09	6,52	8,23	4,86	0,20
17 – 18	4,44	0	0	7,99	4,86	0,20
18 – 19	3,87	0	0	5,52	4,86	0,20
19 – 20	3,08	0	0	2,96	4,86	0,20
20 – 21	3,06	0	0	2,92	4,86	0,20
21 – 22	2,56	0	1,74	1,84	4,86	0,20
22 – 23	3,03	3,52	5,07	2,89	4,86	0,20
23 – 24	3,41	0	2,85	4,03	4,86	0,20
24 – 25	3,69	0	5,84	4,90	4,86	0,20
25 – 26	4,54	8,45	14,06	9,21	4,86	0,20
Celkový průměr	4,152	3,864	2,938	7,118	4,86	0,20

Pro získání věrohodných dat bylo potřeba zjistit následující doplňkové veličiny. Před měřením byla provedena kontrola hmotnosti automobilu, kdy byly doplněny pohonné a provozní hmoty pro zaručení správné okamžité hmotnosti, dále byl zkontrolován tlak v pneumatikách v souladu s hodnotami výrobce. Škoda Rapid byla vybavena zimními pneumatikami KUMHO WinterCraft 215/45 R16 při tlaku 230 kPa na přední nápravě a 250 kPa na zadní nápravě se součinitelem odporu valení HR 0,0121. Uvedené hodnoty mají přímou vazbu na stanovení velikosti výkonu ztraceného vlivem valivého odporu společně s hmotností automobilu, tíhovým zrychlením a dalšími veličinami. Před započítáním měření na dopravní trase byl motor automobilu připraven tak, aby měl provozní teplotu, byl vynulován palubní počítač, zkalibrováno měřící zařízení a připravena videokamera pro záznam jízdy. Při vjetí na měřící úseky bylo pro účely práce důležité, se snažit o běžný jízdní styl, který by zaručil optimální vypovídající hodnotu výsledků. I přes tyto snahy, byly výsledky po dobu měření značně ovlivněny úrovní kongesce na dopravní komunikaci. Z výsledků je patrné, že výjimku tvořilo měření č. 2, které oproti ostatním bylo projeto v kratším čase při rychlejší průměrné rychlosti. Toto měření probíhalo takřka bez vedlejšího provozu. Oproti tomu zbývající dvě měření byla za hustého provozu, proto se na trase muselo dbát na zásady bezpečného provozu, dodržování odstupu od ostatních dopravních zařízení a s dostatečným předstihem reagovat na zpomalování a zrychlování provozu, což se značně projevilo u hodnoty odporu zrychlení. Dalším faktorem, který značně ovlivňoval plynulost

jízdy byl samotný profil dopravní trasy a její svažitost, kdy trasa dovoluje při jízdě z kopce tzv. plachtit, což znamená úsporu energie. Avšak při stoupání do kopce je zde potřeba změna rychlostního stupně a dosažení výkonu ve vyšších otáčkách, což má za důsledek vyšší výdej energie za účelem zdolání daného převýšení. Všechna měření byla dále ve větší nebo menší míře ovlivněna decelerací na úsecích 19 až 22, kde v aktuálních dnech probíhala výstavba dálnice D3, vzhledem k vyššímu výskytu stavební techniky a pracích na silnici je zde omezen provoz dopravním značením. Po dokončení trasy u obce Bartochov byla na odstavném místě odečtena potřebná data z palubního počítače, na zpáteční cestě bylo na každém třetím úseku zastavováno z důvodu měření meteorologických podmínek (teplota, vlhkost, směr a síla větru). Po úplném ukončení jízdy byla všechna data z přístrojů a videozáznamu zpracována a vypočtena prostřednictvím programu v Excelu a zaznamenána do tabulky.

11.4 První měření Škoda Citigo-e IV

- a) Datum výzkumu: 13.3.2020
- b) Průměrná rychlost: 71 km/h
- c) Celkový čas: 7 minut, 43 sekund
- d) Stav vozovky: v dobrém stavu, suchý povrch
- e) Kongesce: vysoká
- f) Meteorologické podmínky: teplota 9,5 °C, vlhkost vzduchu 32,4%, srážky 0 mm, průměrná rychlost vzduchu 3,16 m.s⁻¹

Tabulka 16 – Hodnoty pro úsek měření č. 1 (Škoda Citigo-e IV)

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Rychlost na začátku úseku v ₀ (km.h ⁻¹)	Rychlost na konci úseku. v ₁ (km.h ⁻¹)	Čas na absolvování úseku (s)	Okamžitá spotřeba paliva podle PP (kWh/100 km)*
0 – 1	464	70	90	20,8	12,1
1 - 2	532	90	80	22,5	14,8
2 - 3	287	80	82	12,7	16,0
3 - 4	763	82	40	45,0	2,2
4 - 5	411	40	92	22,4	42,2
5 - 6	341	92	85	13,8	10,9
6 – 7	791	85	90	32,5	0,6
7 – 8	245	90	58	11,9	8,2
8 – 9	273	58	65	15,9	11,3

9 – 10	311	65	60	17,9	7,6
10 – 11	590	60	65	33,9	21,6
11 – 12	211	65	75	10,8	23,4
12 – 13	350	75	60	18,6	22,4
13 – 14	317	60	78	16,5	13,6
14 – 15	364	78	84	16,1	17,3
15 – 16	263	84	86	11,1	16,7
16 – 17	223	86	70	10,2	11,2
17 – 18	387	70	82	18,3	-0,6
18 – 19	309	82	76	14,0	-3,8
19 – 20	371	76	52	20,8	2,2
20 – 21	196	52	56	13,0	9,2
21 – 22	282	56	64	16,9	3,3
22 – 23	281	64	58	16,5	14,9
23 – 24	147	58	62	8,8	7,4
24 – 25	232	62	62	13,4	1,6
25 - 26	179	62	74	9,4	18,9

**Tabulka 17 – Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 1
(Škoda Citigo-e IV)**

Označení díličního úseku	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)
0 – 1	4,27	0	8,68	5,87	3,66	0,20
1 - 2	4,53	10,55	0	6,95	3,66	0,20
2 - 3	4,32	4,02	1,29	6,08	3,66	0,20
3 - 4	3,25	0	0	2,88	3,66	0,20
4 - 5	3,25	0	21,49	2,88	3,66	0,20
5 - 6	4,72	12,08	0	7,96	3,66	0,20
6 – 7	4,67	0	1,39	7,77	3,66	0,20
7 – 8	3,94	9,64	0	4,90	3,66	0,20
8 – 9	3,28	0	2,87	2,91	3,66	0,20
9 – 10	3,33	6,98	0	3,04	3,66	0,20
10 – 11	3,33	0	0,96	3,03	3,66	0,20
11 – 12	3,73	0	6,96	4,21	3,66	0,20
12 – 13	3,60	8,38	0	3,82	3,66	0,20
13 – 14	3,68	11,56	8,55	4,05	3,66	0,20

14 – 15	4,32	0	3,14	6,18	3,66	0,20
15 – 16	4,53	1,06	1,55	6,96	3,66	0,20
16 – 17	4,15	15	0	5,48	3,66	0,20
17 – 18	4,05	0	5,41	5,10	3,66	0,20
18 – 19	4,21	0	0	5,68	3,66	0,20
19 – 20	3,41	0	0	3,18	3,66	0,20
20 – 21	2,88	0	1,73	2,12	3,66	0,20
21 – 22	3,20	0	3,05	2,81	3,66	0,20
22 – 23	3,25	3,79	0	2,88	3,66	0,20
23 – 24	3,20	0	2,83	2,72	3,66	0,20
24 – 25	3,31	0	0	3	3,66	0,20
25 - 26	3,63	6,75	9,44	3,89	3,66	0,20
Celkový průměr	3,770	3,454	3,051	4,475	3,66	0,20

11.5 Druhé měření Škoda Citigo-e IV

- Datum výzkumu: 14.3.2020
- Průměrná rychlost: 72 km/h
- Celkový čas: 6 minut, 44 sekund
- Stav vozovky: v dobrém stavu, suchý povrch
- Kongesce: nízká - střední
- Meteorologické podmínky: teplota 8 °C, vlhkost vzduchu 37,6%, srážky 0 mm, průměrná rychlost vzduchu 2,6 m.s⁻¹

Tabulka 18 – Hodnoty pro úsek měření č. 2 (Škoda Citigo-e IV)

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Rychlost na začátku úseku v ₀ (km.h ⁻¹)	Rychlost na konci úseku. v ₁ (km.h ⁻¹)	Čas na absolvování úseku (s)	Okamžitá spotřeba paliva podle PP (kWh/100 km)*
0 – 1	464	60	78	24,2	17,8
1 - 2	532	78	84	23,6	24,0
2 - 3	287	84	85	12,2	8,7
3 - 4	763	85	90	31,3	9,9
4 - 5	411	90	92	16,2	12,1
5 - 6	341	92	85	13,8	7,3
6 – 7	791	85	98	31,1	3,4
7 – 8	245	98	85	9,6	13,2
8 – 9	273	85	82	11,7	23,9
9 – 10	311	82	78	13,9	1,2

10 – 11	590	78	80	26,8	5,6
11 – 12	211	80	84	9,2	24,5
12 – 13	350	84	88	14,6	22,8
13 – 14	317	88	94	12,5	19,8
14 – 15	364	94	90	14,2	6,9
15 – 16	263	90	79	11,2	19,0
16 – 17	223	79	88	9,6	2,3
17 – 18	387	88	84	16,2	-0,3
18 – 19	309	84	64	15,0	-0,6
19 – 20	371	64	60	21,5	6,7
20 – 21	196	60	62	11,5	14,1
21 – 22	282	62	64	16,1	16,6
22 – 23	281	64	76	14,4	12,8
23 – 24	147	76	80	6,7	8,4
24 – 25	232	80	84	10,1	9,9
25 - 26	179	84	89	7,4	27,5

**Tabulka 19 – Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 2
(Škoda Citigo-e IV)**

Označení dílečného úseku	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)
0 – 1	3,68	0	5,84	3,56	3,66	0,20
1 - 2	4,32	10,05	2,15	5,61	3,66	0,20
2 - 3	4,51	4,20	0,70	6,33	3,66	0,20
3 - 4	4,67	0	0,27	7,10	3,66	0,20
4 - 5	4,85	0	1,14	7,94	3,66	0,20
5 - 6	4,72	12,08	0	7,45	3,66	0,20
6 – 7	4,88	0	4,12	7,95	3,66	0,20
7 – 8	4,88	11,92	0	7,96	3,66	0,20
8 – 9	4,45	0	0	6,27	3,66	0,20
9 – 10	4,27	8,94	0	5,55	3,66	0,20
10 – 11	4,21	0	0,60	5,36	3,66	0,20
11 – 12	4,37	0	3,65	5,95	3,66	0,20
12 – 13	4,58	10,67	2,42	6,87	3,66	0,20
13 – 14	4,85	15,24	4,53	8,18	3,66	0,20
14 – 15	4,91	0	0	8,44	3,66	0,20
15 – 16	4,51	1,05	0	6,64	3,66	0,20
16 – 17	4,45	16,06	8,29	6,52	3,66	0,20
17 – 18	4,59	0	0	7,08	3,66	0,20

18 – 19	3,94	0	0	4,50	3,66	0,20
19 – 20	3,31	0	0	2,74	3,66	0,20
20 – 21	3,25	0	1,08	2,62	3,66	0,20
21 – 22	3,36	0	0,80	2,81	3,66	0,20
22 – 23	3,73	4,34	6,35	3,71	3,66	0,20
23 – 24	4,16	0	4,75	5,04	3,66	0,20
24 – 25	4,37	0	3,32	5,81	3,66	0,20
25 - 26	4,61	8,59	6,01	7,09	3,66	0,20
Celkový průměr	4,324	3,966	2,154	5,964	3,66	0,20

11.6 Třetí měření Škoda Citigo-e IV

- Datum výzkumu: 15.3.2020
- Průměrná rychlost: 79km/h
- Celkový čas: 6 minut, 51 sekund
- Stav vozovky: v dobrém stavu, suchý povrch
- Kongesce: střední
- Meteorologické podmínky: teplota 10,5 °C, vlhkost vzduchu 27,8%, srážky 0 mm, průměrná rychlost vzduchu 4,6 m.s⁻¹

Tabulka 20 – Hodnoty pro úsek měření č. 3 (Škoda Citigo-e IV)

Označení dílčího úseku	Délka dílčího úseku L (m)	Rychlost na začátku úseku v ₀ (km.h ⁻¹)	Rychlost na konci úseku. v ₁ (km.h ⁻¹)	Čas na absolvování úseku (s)	Okamžitá spotřeba paliva podle PP (kWh/100 km)*
0 – 1	464	64	83	22,7	13,1
1 - 2	532	83	79	23,6	16,9
2 - 3	287	79	81	12,9	17,4
3 - 4	763	81	84	33,2	8,6
4 - 5	411	84	86	17,4	7,8
5 - 6	341	86	92	13,7	21,2
6 – 7	791	92	94	30,6	6,6
7 – 8	245	94	81	10,8	5,8
8 – 9	273	81	77	12,4	17,5
9 – 10	311	77	80	14,2	5,5
10 – 11	590	80	83	26,1	5,9
11 – 12	211	83	86	8,9	7,4
12 – 13	350	86	86	14,6	23,4
13 – 14	317	86	89	13,0	22,7
14 – 15	364	89	94	14,3	15,3
15 – 16	263	94	89	10,3	9,8

16 – 17	223	89	82	9,4	10,7
17 – 18	387	82	92	16,1	0,6
18 – 19	309	92	65	14,1	-0,2
19 – 20	371	65	57	21,9	2,4
20 – 21	196	57	63	11,7	12,5
21 – 22	282	63	64	15,9	18,8
22 – 23	281	64	67	15,4	13,5
23 – 24	147	67	64	8,0	5,9
24 – 25	232	64	75	12,0	15,8
25 - 26	179	75	88	7,9	24,6

**Tabulka 21 – Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 3
(Škoda Citigo-e IV)**

Označení díličního úseku	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)
0 – 1	3,92	0	6,99	5,40	3,66	0,20
1 - 2	4,32	10,05	0	6,98	3,66	0,20
2 - 3	4,27	3,97	1,26	6,75	3,66	0,20
3 - 4	4,40	0	0,76	7,33	3,66	0,20
4 - 5	4,40	0	0,99	7,33	3,66	0,20
5 - 6	4,74	12,15	4,03	8,98	3,66	0,20
6 – 7	4,75	0	0,62	8,98	3,66	0,20
7 – 8	4,66	11,40	0	8,58	3,66	0,20
8 – 9	4,21	0	0	6,53	3,66	0,20
9 – 10	4,19	8,77	1,69	6,18	3,66	0,20
10 – 11	4,35	0	0,96	6,84	3,66	0,20
11 – 12	4,51	0	2,89	7,54	3,66	0,20
12 – 13	4,58	10,67	0	8,31	3,66	0,20
13 – 14	4,66	14,66	2,06	8,70	3,66	0,20
14 – 15	4,88	0	3,30	9,80	3,66	0,20
15 – 16	4,88	1,14	0	9,80	3,66	0,20
16 – 17	4,55	16,44	0	8,18	3,66	0,20
17 – 18	4,64	0	5,78	8,16	3,66	0,20
18 – 19	4,64	0	0	8,14	3,66	0,20
19 – 20	3,25	0	0	3,11	3,66	0,20
20 – 21	3,20	0	3,24	2,98	3,66	0,20
21 – 22	3,39	0	0,40	3,64	3,66	0,20
22 – 23	3,49	4,07	1,31	3,85	3,66	0,20
23 – 24	3,47	0	0	3,85	3,66	0,20
24 – 25	3,49	0	6,91	3,85	3,66	0,20

25 - 26	4,35	8,09	14,57	6,89	3,66	0,20
Celkový průměr	4,238	3,9	2,221	6,795	3,66	0,20

Měření u Škoda Citigo-e IV bylo provedeno obdobným způsobem jako u Škody Rapid, avšak s určitými rozdíly. Na počátku přípravy měření byl elektromobil nabitý na maximální dispoziční energii v bateriích a byla provedena kontrola tlaku pneumatik. Elektromobil byl vybaven zimními pneumatikami Hankook i-cept RS² 185/50 R16 nastavenými na předepsaný tlak výrobcem 250 kPa na přední nápravě a 250 kPa na zadní nápravě, součinitel odporu valení pro tyto pneumatiky je HR 0,0121. Stejně jako v předchozím měření bylo potřeba kalibrovat měřící zařízení, vynulování palubního počítače a aktivace videozáznamu. Protože se jedná o elektromobil, odpadla zde nutnost zahřátí automobilu na provozní teploty. Na dopravní komunikaci po dobu měření dovozovala Škoda Citigo-e IV plynulejší jízdu oproti Škodě Rapid, z důvodu automatické rekuperační převodovky a možnosti dosažení okamžitého výkonu a točivého momentu, který je dostupný od nejnižších otáček. Z tohoto důvodu dovozuje elektromobil plynulé lineární zrychlení. Při jízdě z kopce, nebo tam kde nebyla potřeba zrychlovat, byla využita rekuperace energie. Rekuperace má dva pozitivní faktory: nabíjení baterie získanou pohybovou energií a šetření brzdného obložení, neboť rychlost lze značně snížit brzděním samotným motorem. Na konci měření byly vyhodnoceny všechny veličiny potřebné pro výpočet jízdních odporů.

12. Vyhodnocení výsledků Škoda Rapid

Tabulka 22 – Výsledné hodnoty jízdních odporů Škoda Rapid

ŠKODA RAPID	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)	Celkový odevzdaný výkon (kW)
Měření č. 1	3,968	3,614	3,542	5,821	4,86	0,20	22,0
Měření č. 2	4,57	4,617	2,46	9,585	4,86	0,20	26,3
Měření č. 3	4,152	3,864	2,938	7,118	4,86	0,20	22,6

Z tabulky 22 lze odečíst, že při měření č. 1 byla hodnota průměrného výkonu (kW) potřebného k překonání všech jízdních odporů, které na automobil působily v daném úseku dopravní trasy, na němž se pohyboval po určitou dobu (h), 22,0 kW. Při měření č. 2 byla hodnota průměrného výkonu potřebného k překonání všech jízdních odporů 26,3 kW a při měření č. 3 byla hodnota průměrného výkonu potřebného k překonání všech jízdních odporů 22,6 kW.

Palivem pro pohon motoru Škoda Rapid byl benzín (BA) s výhřevností $Q = 46,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$, objemová hmotnost benzínu byla při jeho teplotě $\rho = 748 \text{ kg.m}^{-3}$. Pro absolvování jízdního úseku (JÚ) při měření č.1, č.2 a č.3 dopravní trasy délky $L = 9,12 \text{ km}$ potřeboval $T_1 = 425 \text{ s} = 0,118 \text{ h}$, $T_2 = 328 \text{ s} = 0,091 \text{ h}$, $T_3 = 414 \text{ s} = 0,115 \text{ h}$.

12.1 Vypočítané hodnoty Škoda Rapid měření č. 1

Tabulka 23 – Podklady pro výpočet č. 1 (Škoda Rapid)

Výkon odevzdaný na jízdním úseku	22,0	kW
Účinnost spalovacího motoru	0,35	
Výhřevnost paliva	46,4	MJ.kg^{-1}
Objemová hmotnost paliva	748	kg.m^{-3}
Délka jízdního úseku L	9,12	km
Čas strávený na jízdním úseku	0,118	h
Průměrná rychlost jízdy v jízdním úseku	77	km.h^{-1}

Tabulka 24 – Výpočet vykonané práce a výpočet pohonných hmot z jízdních odporů na úseku č.1 (Škoda Rapid)

Výkon při účinnosti 35% spalovacího motoru	$P_{j\acute{u}}$	62,857	kW
Práce vykonaná na JÚ za dobu T	$A_{j\acute{u}T}$	7,417	kWh
Přepočítání z kWh na MJ	$A_{j\acute{u}}$	26,702	MJ/JÚ
Výpočet spotřeby paliva v kg	M_c	0,575	kg/JÚ
Přepočítání spotřeby paliva na litry v JÚ	M_c	0,769	litr/JÚ
Přepočítání na spotřebu na 100 km	V_{100}	8,436	l/100km

Podle údajů PP byla průměrná spotřeba během prvního měření 5,9 l/100km

12.2 Vypočítané hodnoty Škoda Rapid měření č. 2

Tabulka 25 – Podklady pro výpočet č. 2 (Škoda Rapid)

Výkon odevzdaný na jízdním úseku	26,3	kW
Účinnost spalovacího motoru	0,35	
Výhřevnost paliva	46,4	MJ.kg ⁻¹
Objemová hmotnost paliva	748	kg.m ⁻³
Délka jízdního úseku L	9,12	km
Čas strávený na jízdním úseku	0,091	h
Průměrná rychlost jízdy v jízdním úseku	86	km.h ⁻¹

Tabulka 26 – Výpočet vykonané práce a výpočet pohonných hmot z jízdních odporů na úseku č.2 (Škoda Rapid)

Výkon při účinnosti 35 % spalovacího motoru	$P_{j\acute{u}}$	75,143	kW
Práce vykonaná na JÚ za dobu T	$A_{j\acute{u}T}$	6,838	kWh
Přepočet z kWh na MJ	$A_{j\acute{u}}$	24,617	MJ/JÚ
Výpočet spotřeby paliva v kg	M_c	0,531	Kg/JÚ
Přepočet spotřeby paliva na litry v JÚ	M_c	0,709	litr/JÚ
Přepočet na spotřebu na 100 km	V_{100}	7,777	l/100km

Podle údajů PP byla průměrná spotřeba během druhého měření 5,4 l/100km

12.3 Vypočítané hodnoty Škoda Rapid měření č. 3

Tabulka 27 – Podklady pro výpočet č. 3 (Škoda Rapid)

Výkon odevzdaný na jízdním úseku	22,6	kW
Účinnost spalovacího motoru	0,35	
Výhřevnost paliva	46,4	MJ.kg ⁻¹
Objemová hmotnost paliva	748	kg.m ⁻³
Délka jízdního úseku L	9,12	km
Čas strávený na jízdním úseku	0,115	h
Průměrná rychlost jízdy v jízdním úseku	66	km.h ⁻¹

Tabulka 28 – Výpočet vykonané práce a výpočet pohonných hmot z jízdních odporů na úseku č.3 (Škoda Rapid)

Výkon při účinnosti 35 % spalovacího motoru	$P_{j\dot{U}}$	64,571	kW
Práce vykonaná na JÚ za dobu T	$A_{j\dot{U}T}$	7,426	kWh
Přepočet z kWh na MJ	$A_{j\dot{U}}$	26,733	MJ/JÚ
Výpočet spotřeby paliva v kg	M_c	0,576	Kg/JÚ
Přepočet spotřeby paliva na litry v JÚ	M_c	0,770	litr/JÚ
Přepočet na spotřebu na 100 km	V_{100}	8,446	l/100km

Podle údajů PP byla průměrná spotřeba během třetího měření 6,0 l/100km

13. Vyhodnocení výsledků Škoda Citigo-e IV

Tabulka 29 – Výsledné hodnoty jízdních odporů Škoda Citigo-e IV

ŠKODA CITIGO-e IV	Výkon ztrac. odporem valení (kW)	Výkon ztrac. odporem stoupání (kW)	Výkon ztrac. odporem zrychlení (kW)	Výkon ztrac. odporem vzduchu (kW)	Výkon ztrac. odporem při přenosu momentu (kW)	Systémy ohřevu a bezpečnosti (kW)	Celkový odevzdaný výkon (kW)
Měření č. 1	3,770	3,454	3,051	4,475	3,66	0,20	18,6
Měření č. 2	4,324	3,966	2,154	5,964	3,66	0,20	20,3
Měření č. 3	4,238	3,9	2,221	6,795	3,66	0,20	21,1

Z tabulky 29 lze odečíst, že při měření č.1 byla hodnota průměrného výkonu (kW) potřebného k překonání všech jízdních odporů, které na elektromobil působily v daném úseku dopravní trasy, na němž se pohyboval po určitou dobu (h), 18,6 kW. Při měření č. 2 byla hodnota průměrného výkonu potřebného k překonání všech jízdních odporů 20,3 kW, při měření č. 3 byla hodnota průměrného výkonu potřebného k překonání všech jízdních odporů 21,1 kW. Vzhledem k faktu, že se jedná o elektromobil, se zde neuvažuje se stejnými veličinami pro výpočet, jako u Škody Rapid pro stanovení hodnoty vykonané práce v kWh (spotřeby energie v MJ). Na absolvování jízdního úseku (JÚ) při měření č.1, č.2 a č.3 automobil Škoda Citigo-e IV projel dopravní trasu délky $L = 9,12$ km, potřeboval $T_1 = 463$ s = 0,129 h, $T_2 = 404$ s = 0,112 h, $T_3 = 411$ s = 0,114 h.

Výpočet vykonané práce (MJ) u elektromobilu na dopravní trase při mechanické účinnosti 92 % se stanoví dle výpočtu:

$$A = P_0 * t * h \quad (kWh)$$

$$h = P/P_0 \rightarrow P = P_0 = P/h$$

$$A = P * t \quad (kWh)$$

Tabulka 30 – Vykonaná práce v kWh na dopravní trase (Škoda Citigo-e IV)

	Měření č.1	Měření č.2	Měření č.3	Jednotky
Výkon odevzdaný na jízdním úseku	18,6	20,3	21,1	kW
Čas strávený na jízdním úseku	0,129	0,112	0,114	h
Průměrná rychlost jízdy v jízdním úseku	71	72	79	km.h ⁻¹
Přepočet z kWh na MJ	8,638	8,185	8,661	MJ/JÚ

Podle údajů PP byla průměrná spotřeba během prvního měření 14,4 kWh/100 km, při druhém měření 15,6 kWh/100 km, třetí měření prokázalo spotřebu 14,9 kWh/100 km.

Tabulka 31 – Celkové výsledky spotřeby energie v MJ u Škoda Rapid a Škoda Citigo- e IV

Spotřeba energie v MJ	Měření č. 1	Měření č. 2	Měření č. 3	Výsledný průměr
Škoda Rapid	26,702	24,617	26,733	26,017
Škoda Citigo-e IV	8,638	8,185	8,661	8,494

Výpočet spotřebované energie na 100 km

- a) Přepočítání výhřevnosti z MJ.kg⁻¹ na kWh.kg⁻¹

$$Q_{kWh} = \frac{Q_{MJ}}{3,6} = \frac{46,4}{3,6} = 12,9 \text{ (kWh.kg}^{-1}\text{)}$$

- b) Přepočítání kWh.kg⁻¹ na kWh.l⁻¹

$$Q_{kWhkg} = (Q_{kWhl} \cdot r) / 1000 = (12,9 \times 748) / 1000 = 9,649 \text{ (kWh.l}^{-1}\text{)}$$

Jeden litr používaného paliva disponuje energií 9,649 kWh.

- c) Výpočet energie při průměrné spotřebě benzínu

Při průměrné spotřebě 8,436 litrů na 100 km je to $8,436 \times 9,649 = 81,39$ kWh.100 km⁻¹. Motor automobilu Škoda RAPID spotřeboval na jízdním úseku při měření č.1 energii 81,39 kWh.100 km⁻¹, to je 293,0 MJ.100 km⁻¹. Ze všech měření jsou hodnoty uvedeny v tabulce 32.

Elektrický motor automobilu Škoda Citigo e IV spotřeboval 18,6 kWh.100 km⁻¹ (podle měření č.1 Škoda Citigo-e IV), to je $18,6 \times 3,6 = 66,9$ MJ.100 km⁻¹. Ze všech měření jsou hodnoty uvedeny v tabulce 32.

Následné výpočty byly aplikovány stejným způsobem pro stávající měření

Tabulka 32 – Spotřeba energie na 100 km (Škoda Rapid/Citigo-e IV)

	Škoda Rapid	Škoda Citigo-e IV	Jednotky
Měření č. 1	293,0	66,9	MJ.kWh.100 km ⁻¹
Měření č. 2	270,1	73,1	MJ.kWh.100 km ⁻¹
Měření č. 3	293,4	76,0	MJ.kWh.100 km ⁻¹
Celkový průměr	285,5	72	MJ.kWh.100 km ⁻¹

14. Závěr

Cílem práce bylo stanovení jízdních odporů, v závislosti na charakteru dopravní trasy, režimu jízdy a v závislosti na pohonu osobních automobilů a výpočet celkové spotřeby energie pro pohyb automobilů s rozdílnými motory. Jízdní odpory byly stanoveny jednoduchými výpočty s využitím veličin, zjištěných na reálné dopravní trase a v reálném prostředí pomocí základního přístrojového vybavení. Pro splnění cíle byl tento postup dostačující.

Pro účely práce byly vybrány dva osobní automobily. Jedním byl automobil Škoda Rapid s benzínovým spalovacím motorem a druhým elektromobil Škoda Citigo-e IV. Automobily byly podrobeny testům na stejné dopravní trase při téměř shodných vlivech prostředí.

Na základě jízdních odporů bylo vypočteno, že spotřeba energie na 100 km vychází ve prospěch elektromobilu Škoda Citigo-e IV o hodnotu 213,5 MJ na ujetých 100 km.

Hlavním důvodem rozdílné hodnoty energie vynaložené pro pohyb automobilů, jsou pohonné jednotky (spalovací benzínový motor/elektromotor). Elektromotor pracuje s vyšší účinností, a přesto dosahuje pružnějšího zrychlení, takže nezpomaluje tolik okolní provoz, neboť zde není potřeba přerazování rychlostních stupňů a výkon společně s točivým momentem se zde nachází od nulových otáček. Při zpomalování, resp. při brzdění, může elektromobil tzv. rekuperovat energii, což znamená dobíjení energie za jízdy, zatímco benzínový motor neustále během svého chodu spotřebovává energii i při jízdě z kopce nebo při tzv. plachtění. Dalším faktorem, který je ku prospěchu elektromobilitě, je účinnost pohonných jednotek. Dnešní moderní spalovací motory pracují s teoretickou účinností až 35 %, zbylých 65 % zůstává nevyužito, kdežto u elektromotoru je hodnota účinnosti 92 až 96 %. Znatelným rozdílem je i fakt že elektromobil při své jízdě neprodukuje žádné emise, takže je šetrný k životnímu prostředí. Dalším aspektem je i konstrukční řešení daných pohonných jednotek, kdy je motor elektromobilu složen z podstatně menšího počtu komponentů, nedochází zde k takovému tepelnému a mechanickému namáhání součástí, což se značně projeví při výrobě a servisu daných automobilů. V dnešní době se trend elektromobility neustále rozrůstá a i kvůli emisním limitům

jsou automobilky nucené se elektromobilitou více zabývat a investovat nemalé peníze do jejich vývoje.

Jak bylo uvedeno výše, pro pohyb automobilů jsou v současné době používány především spalovací pístové motory. Pokud by spalovací motor pracoval se 100% účinností pro zážehový motor, který pohání automobil o hmotnosti 1000 kg, spotřeboval by 1,12 litrů benzínu na 100 km ujeté dráhy, jestliže by energetický obsah benzínu byl 32 MJ.l^{-1} (stanoveno podle přílohy č. 4, nařízení vlády č. 173/2016 S.). Spalovací pístové motory ale se 100 % účinností nepracují (ani žádné jiné). Účinnost benzínového, pístového spalovacího motoru je při optimálním režimu zatížení 28 až 35 % (například sáláním se sníží o 8 %, výfukem 30 %, chlazením 27 %, mechanickými ztrátami 10 %). Motory ale nejsou v tomto optimálním režimu kontinuálně provozovány, vzhledem k charakteru dopravní trasy a prostředí, v němž se pohybují. Účinnost bývá nižší. Navíc je určitá část energie spotřebována pro zajištění správné funkce příslušenství motoru, zajištění asistenčních a bezpečnostních systémů automobilu, osvětlení automobilu a pro chod spotřebičů zajišťujících komfort řidiče a spolucestujících. Ne vždy je automobil provozován ve správném technickém stavu, což může být příčinou dalších energetických ztrát. Automobil s benzínovým motorem využívá pro pohyb dispoziční energii benzínu s účinností přibližně 26 %.

Z přehledu registrovaných automobilů, je patrné, že neustále roste hodnota vydané energie na pohyb osobních automobilů. S tím úzce souvisejí produkované emise škodlivin a skleníkového plynu CO_2 , protože, což je uvedeno výše, s hmotností automobilu roste také spotřeba energie pro pohyb, takže také pohonných hmot. Emise CO_2 mají vazbu na spotřebu pohonných hmot. Při spotřebě benzínu 5 litrů na 100 kilometrů vytvoří motor automobilu emise $5 \times 23,21 = 116 \text{ g CO}_2$ na 1 kilometr. Výpočet je založen na emisních faktorech vycházejících z chemických rovnic spalování benzínu a motorové nafty, které vyjadřují obsah uhlíku v palivu.

Vysoká spotřeba energie pro pohyb automobilů je umožněna díky dostupné, levné a koncentrované energii ve fosilním palivu, jehož zdrojem je ropa. V současné době se na základě „optimistických prognóz“ týkající se vydatnosti tohoto zdroje, vytvořila struktura současné mobility, což postupně změnilo velikost automobilů, dopravní infrastrukturu a došlo k útlumu (úpadku) železniční dopravy, která disponuje lepší energetickou efektivitou. Návrat k železniční dopravě nelze v brzké

době očekávat, takže je nutné přistoupit k využití energeticky méně náročných hnacích agregátů.

Elektricky poháněné automobily jsou zaváděny s cílem výše uvedená negativa zmírnit a umožnit trvale udržitelný rozvoj automobilové dopravy, ale cesta provozování velkých a hmotných elektromobilů (přes 1650 kg) je v současné době překážkou.

Evropská komise vydala nařízení sledovat reálnou spotřebu každého nového automobilu, který se od roku 2020 objeví na trhu. V automobilu musí být instalováno zařízení oficiálně nazývané FCM (Fuel Consumption Monitor), které fyzicky nebo vzdáleně dovolí kontrolovat spotřebu energie (litry, kilowatthodiny). Od 1. ledna 2020 se povinnost evidovat reálnou spotřebu energie dotkne každého nově homologovaného automobilu a současně začne platit dvanáctiměsíční přechodné období pro automobily, které se na trh dostaly dříve. Od roku 2021 budou jakékoliv úlevy zrušeny a všechny nově zaregistrované automobily budou muset udávat věrohodné informace o spotřebě energie. Současné automobily již takovým zařízením disponují, ale pouze malé procento řidičů tento údaj sleduje.

Lidé si velmi často vytvářejí falešnou realitu ve svém vědomí (podle sebe) na základě své inteligence a získaných zkušeností. Pokud se setkají se skutečnou realitou (například, že jim někdo vysvětlí a ukáže, že dělají chybu), která je v rozporu s jejich falešnou realitou, chápou ji jako útok na svoji svobodu (například, že spotřebovávat více energie pro pohyb automobilu je nesmysl). Proto se brání (někdy všemi způsoby) skutečnou realitu přijmout a reagovat na ni. To je důvod, proč lidé odmítají učinit osobní kroky ke snížení vlivu dopravy na klimatické změny tím, že by si pořídili malý automobil s nízkou spotřebou energie, nebo elektromobil.

Tato diplomová práce předkládá výsledky, které poskytují reálné hodnoty vydané energie pro pohyb automobilů s rozdílnými hnacími agregáty, resp. skutečnou realitu.

15. Použitá literatura

- 1) Alena, H. Vehicle registration year, age, and weight – Untangling the effects on crash risk, *Accident Analysis & Prevention* Volume 123, February 2019, Pages 1-11
- 2) BOGREN, J. — GUSTAVSSON, T. — LINDQVIST, S., 1992. A description of a local climatological model used to predict temperature variations along stretches of road. *Meteorological Magazine*, Vol. 121, No. 1440, s. 157-164
- 3) BRADÁČ, Albert. Rádce majitele automobilu: (do přihrádky automobilu). Praha: Linde, 1998. 549 s. ISBN 80-7201-119-7.
- 4) CELJAK, Ivo. Dopravní zařízení I. České Budějovice, 2017. Interní učební text. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích.
- 5) CELJAK, Ivo. Konstrukce a provoz elektricky poháněných automobilů. České Budějovice, 2018. Interní učební text. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
- 6) ČSN 73 6109 Projektování polních cest
- 7) Fouzi, H. Road traffic density estimation and congestion detection with a hybrid observer-based strategy, *Volume 46*, April 2019, 101411
- 8) GSCHEIDLE, Rolf. Příručka pro automechanika. 3., přeprac. vyd. Přeložil Iva MICHŇOVÁ, přeložil Zdeněk MICHŇA, přeložil Jiří HANDLÍŘ. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. 685 s. ISBN 978-80-86706-17-7.
- 9) GUSTAVSSON, T., 1991. Analysis of local climatological factors controlling risk of road slipperiness during warm-air advections. *International Journal of Climatology*. Vol. 11, s. 315-330
- 10) VÁVRA, Pavel et al. *Strojnické tabulky*. 2. vyd.. vyd. Praha: SNTL, 1984. 672 s.
- 11) VLK, F. *Dynamika motorových vozidel*. 2 vyd. Brno. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2003 a. 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- 12) ZDENĚK, Jan. *Automobily Podvozky (1)*. 2. vyd. vyd. Brno, 2009. 245 s. ISBN 978-80-87143-11-7

16. Použité internetové zdroje

- 1.1) <https://procarmechanics.com/rolling-resistance-and-impact-on-car-performance/> („staženo dne: 27. 12. 2019“)
- 1.2) <https://www.simscale.com/blog/2017/06/air-resistance-vehicle-design/> („staženo dne: 27. 12. 2019“)
- 1.3) https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/aerodynamika-mercedes-benz.A130708_210416_automoto_vok („staženo dne: 7.1.2020“)
- 1.4). <https://carbiketech.com/aerodynamic-drag/> („staženo dne: 7.1.2020“)
- 1.5) <https://www.dlprofi.cz/33/charakteristika-silnicni-dopravy-uniqueidmRRWSbk196FNf8jVUh4EtV7cB531hbAdbEKSf2cVzw/?justlogged=1> („staženo dne: 15.1.2020“)
- 1.6) https://www.autoklub.cz/wp-content/uploads/2018/11/vet-vyhlaska_c-341-2014_sb-priloha_c-2_k_1-1-2018.pdf („staženo dne: 16.1.2020“)
- 1.7) <http://zakony.centrum.cz/zakon-o-pozemnich-komunikacich/cast-1> („staženo dne: 17.1.2020“)
- 1.8) <https://rakousko24.cz/doprava/ig-1-na-rakouskych-dalnicich/> („staženo dne: 18.1.2020“)
- 1.9) <http://zakony.centrum.cz/zakon-o-pozemnich-komunikacich/cast-1-paragraf-7> („staženo dne: 18.1.2020“)
- 2.1) <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3323-teorie-vlhkeho-vzduchu-i> („staženo dne: 21.2.2020“)
- 2.2) <https://www.infineon.com/cms/en/discoveries/electromobility/> („staženo dne: 5.3.2020“)

17. Seznam obrázků

- 1) Deformace diagonální a radiální pneumatiky, zdroj: (VLK,2000)
- 2) Silové poměry ve valícím se kole, zdroj: (VLK,2000)
- 3) Součinitel valivého odporu, zdroj:
<http://www.autolexicon.net/cs/articles/odpor-valivy/> („staženo dne: 22. 12. 2019“)
- 4) Silové poměry na kole vlivem směrové úchylky, zdroj: (VLK,2000)
- 5) Konstrukce pláště pneumatiky a uspořádání kostry, zdroj:
<https://www.ibz.cz/zakladni-informace> („staženo dne: 22. 12. 2019“)
- 6) Mercedes Benz CLA („staženo dne: 7.1.2020“)
- 7) Odpor proti stoupání („staženo dne: 12.1.2020“)
- 8) Síly působící na vozidlo, zdroj: (ZDENĚK,2009)
- 9) Beufortova stupnice síly větru zdroj:
<http://www.converter.cz/tabulky/beaufortova-stupnice.htm> („staženo dne: 21. 2. 2020“)
- 10) Základní prvky pohonu osobního elektromobilu, zdroj: (Celjak, 2018)
- 11) Škoda Rapid Spaceback/liftback, zdroj: <https://www.se.pl/auto/testy/skoda-rapid-spaceback-czy-skoda-rapid-liftback-ktora-wersje-wybrac-aa-PdAJ-GbhV-mdpD.html> („staženo dne: 23.2.2020“)
- 12) Rozměry Škoda Rapid Spaceback 1.0 tsi, zdroj: <https://www.autazive.cz/wp-content/uploads/rapid-rozm%C4%9Bry.png> („staženo dne: 24.2.2020“)
- 13) Škoda Citigo-e IV, zdroj: <https://www.auto.cz/jak-jezdi-prvni-elektromobil-skoda-vyzkouseli-jsme-nove-citigoe-iv-132238> („staženo dne: 24.2.2020“)
- 14) Rozměry Škoda Škoda Citigo-e IV, zdroj: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/tiskove-mapy/skoda-na-autosalonu-iaa-2019-tiskova-mapa/skoda-citigoe-iv-po-meste-bez-emisi/> („staženo dne: 24.2.2020“)
- 15) Vybraná dopravní trasa, zdroj: <https://mapy.cz> („staženo dne: 27.2.2020“)
- 16) Detail měřících úseků na trase L, zdroj: <https://mapy.cz> („staženo dne: 4.3.2020“)

- 17) Výškový profil dopravní trasy, zdroj: <https://mapy.cz> („staženo dne: 4.3.2020“)
- 18) Rozdílné typy pneumatik a provedení disků, zdroj: <https://www.google.com/> („staženo dne: 4.3.2020“)
- 19) Podklady pro výpočet úhlu stoupání, stanovení směru proudícího vzduchu (větru), jízdních odporů v dílčím jízdním úseku, zdroj: <https://mapy.cz> („staženo dne: 4.3.2020“)
- 20) Výpočet úhlu stoupání ze známých údajů dílčího jízdního úseku, zdroj: vlastní
- 21) Měřicí zařízení pro teplotu vlhkost vzduchu, zdroj: vlastní
- 22) Měřicí zařízení pro určení síly a směru větru, zdroj: <http://www.davis.cz/> („staženo dne: 3.3.2020“)

18. Seznam tabulek

- 1) Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek, zdroj: (VLK,2000)
- 2) Okamžitá hmotnost, zdroj: vlastní
- 3) Čelní plocha automobilu, zdroj: vlastní
- 4) Součinitel odporu vzduchu c_x u vybraných vozidel, zdroj: vlastní
- 5) Závislost hustoty vzduchu na teplotě vzduchu, zdroj: vlastní
- 6) Program v Excelu pro výpočet úhlu stoupání, zdroj: vlastní
- 7) Závislost velikosti výkonu ztraceného odporem vzduchu na rychlosti jízdy a na rychlosti proudění vzduchu, zdroj: vlastní
- 8) Veličiny, které mají vazbu na výpočet výkonu odevzdaného na překonání jízdních odporů v jízdním úseku, zdroj: vlastní
- 9) Parametry dopravní trasy, zdroj: vlastní
- 10) Hodnoty pro úsek měření č. 1 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 11) Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 1 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 12) Hodnoty pro úsek měření č. 2 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 13) Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 2 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 14) Hodnoty pro úsek měření č. 3 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 15) Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 3 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 16) Hodnoty pro úsek měření č. 1 (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 17) Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 1 (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 18) Hodnoty pro úsek měření č. 2 (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 19) Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 2 (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 20) Hodnoty pro úsek měření č. 3 (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 21) Výsledky měření odevzdaného výkonu pro úsek měření č. 3 (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 22) Výsledné hodnoty jízdních odporů Škoda Rapid, zdroj: vlastní
- 23) Podklady pro výpočet č. 1 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 24) Výpočet vykonané práce a výpočet pohonných hmot z jízdních odporů na úseku č.1 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 25) Podklady pro výpočet č. 2 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní

- 26) Výpočet vykonané práce a výpočet pohonných hmot z jízdních odporů na úseku č.2 (Škoda Rapid), zdroj: vlastní
- 27) Podklady pro výpočet č. 3 (Škoda Rapid) , zdroj: vlastní
- 28) Výpočet vykonané práce a výpočet pohonných hmot z jízdních odporů na úseku č.3 (Škoda Rapid) , zdroj: vlastní
- 29) Výsledné hodnoty jízdních odporů Škoda Citigo-e IV, zdroj: vlastní
- 30) Vykonaná práce v kWh na dopravní trase (Škoda Citigo-e IV), zdroj: vlastní
- 31) Celkové výsledky spotřeby energie v MJ u Škoda Rapid a Škoda Citigo- e IV, zdroj: vlastní
- 32) Spotřeba energie na 100 km (Škoda Rapid/Citigo-e IV) , zdroj: vlastní