

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika  
Katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky  
Vedoucí katedry:

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Stanovení emisí oxidu uhličitého v závislosti  
na velikosti jízdních odporů automobilu  
na vybrané dopravní trase**

Vedoucí diplomové práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor diplomové práce: Bc. Tomáš Zajíček, DiS.

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. Tomáš ZAJÍČEK, DiS.  
Osobní číslo: Z18151  
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství  
Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika  
Téma práce: Stanovení emisí oxidu uhličitého v závislosti na velikosti jízdních odporů automobilu na vybrané dopravní trase  
Zadávací katedra: Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky

#### Zásady pro vypracování

Cíl práce:

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

Metodický postup:

1. Studium literatury týkající se řešené problematiky (jízdní odpory, dopravní trasy, prostředí, výpočet emisí CO<sub>2</sub> na základě spotřeby paliva) a vypracování řešení.
2. Zpracování přehledu všech faktorů ovlivňujících jízdní odpory vozidla v pohybu.
3. Teoretický výpočet hodnot jízdních odporů vybraných vozidel.
4. Teoretický výpočet spotřeby pohonných hmot v závislosti na režimu jízdy, na charakteru dopravní trasy a technických parametrech automobilu.
5. Zpracování metodiky pro sběr dat hlavních faktorů ovlivňujících jízdní odpory a pro zjištění spotřeby paliva na zvoleném úseku dopravní trasy.
6. Sběr potřebných dat u vybraného automobilu ve vybraných jízdních režimech na zvoleném úseku dopravní trasy pro výpočet emisí oxidu uhličitého.
7. 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 Lehmmittel, Germany 2015, ISBN 978-3-8085-2163-2, 685 s.

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

Pošta, J.: Oprávenství 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 22. února 2019

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky  
370 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 elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

.....  
Datum

.....  
Podpis

## Abstrakt

Diplomová práce pojednává o emisní složce oxidu uhličitého jako skleníkovém plynu, který tvoří v současné době celosvětový problém v podobě globálního oteplování. Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) je produkován v největším množství uhelnými elektrárnami a dopravou zejména lodní, leteckou a silniční, která tvoří v této práci hlavní téma. Dnešní vozidla podléhají přísným emisním normám s hlavním požadavkem na snižující se maximální hranici produkovaného CO<sub>2</sub> danou konstrukční technologií vozidel se spalovacími motory bez ohledu na okolní faktory ovlivňující tuto produkci.

Cílem práce je stanovení emisní složky CO<sub>2</sub> produkované automobilem Mitsubishi Space Star. S tímto automobilem byly provedeny tři měřené jízdy na pěti úsecích vybrané dopravní trasy s charakterem převýšení a rovin promítnutých do jízdních odporů automobilu v návaznosti na spotřebu a množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>. Celkové hodnoty jsou vyhodnoceny a diskutovány v kapitole diskuse.

**Klíčová slova:** Oxid uhličitý; skleníkový plyn CO<sub>2</sub>; dopravní trasa; automobil; jízdní odpory; spotřeba; produkce emisí CO<sub>2</sub>.

## Abstract

The diploma thesis deals with an emission constituent of carbon dioxide as a greenhouse gas, which currently creates global problem in the form of global warming. The carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) is in the largest quantities produced by coal power plants and by traffic, particularly maritime transport, air and road transport, which constitutes the main topic in this work. Today's vehicles are subject to strict emission standards with the main demand for shrinking the upper limit of produced CO<sub>2</sub> with given design technologies of vehicles with combustion engines, regardless other external factors influencing this production.

The aim of the work is determination of the emission constituent CO<sub>2</sub> produced by the car Mitsubishi Space Star. There were three measurement runs at five sections of selected traffic routes with this car, with the elevation character and flat surfaces reflected in running resistances of cars following the consumption and the amount of produced CO<sub>2</sub>. The total values are evaluated and discussed in the discussion chapter.

**Key words:** Carbon dioxide; greenhouse gas CO<sub>2</sub>; traffic route; car; running resistance; consumption; emission production of CO<sub>2</sub>.

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Ivu Celjakovi, CSc. za poskytnuté informace, materiály a strávený čas s úpravou této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Autoprofi s.r.o. v Českých Budějovicích za poskytnutí automobilu Mitsubishi Space Star pro měření na vybrané dopravní trase se sběrem dat a informací o daném vozidle.

# Obsah

Úvod.....	10
1 Rešerše literatury.....	11
1.1 Pojem oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) .....	11
1.1.1 Vliv CO <sub>2</sub> na zdraví člověka .....	11
1.1.2 Výskyt v přírodě.....	12
1.1.3 Důvody velké koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší.....	13
1.1.3 Oxid uhličitý jako skleníkový plyn .....	14
1.2 Změny klimatického systému - globální oteplování planety.....	15
1.2.1 Změny klimatického systému .....	17
1.2.2 Příčiny změny klimatu a její dopady.....	20
1.3 Emise oxidu uhličitého .....	24
1.3.1 Kjótský protokol.....	24
1.3.2 Země s největší světovou produkcí CO <sub>2</sub> .....	25
1.3.3 Deset zemí s největší produkcí CO <sub>2</sub> v Evropě.....	27
1.3.4 Emise CO <sub>2</sub> letecké a lodní dopravy v Evropě .....	27
1.3.5 Emise CO <sub>2</sub> v evropské silniční dopravě.....	28
1.4 Produkce CO <sub>2</sub> ze spalovacích motorů .....	29
1.4.1 Pístový spalovací motor .....	30
1.4.2 Spotřeba paliva s produkcí CO <sub>2</sub> .....	31
1.4.3 Sbírka zákonů č. 173/2016.....	32
1.4.4 Stanovení spotřeby energie podle NEDC a WLTP .....	34
1.4.5 Vznik CO <sub>2</sub> s opatřením ke snížení emisí ve výfukových plynech .....	36
1.4.6 Euro normy emisních limitů .....	37
1.5 Hospodárnost spotřeby energie dopravních zařízení.....	38
1.5.1 Vozidlo s jízdními odpory .....	38
1.5.2 Vliv řidiče .....	40

1.5.3	Charakter dopravní trasy s vlivem prostředí.....	41
2	Cíl práce.....	43
3	Metodika.....	44
3.1	Měřený osobní automobil.....	44
3.1.1	Technická specifikace Mitsubishi Space Star.....	44
3.2	Stanovená dopravní trasa.....	46
3.2.1	Úsek č. 1 Pelejovice - Hvozdno.....	47
3.2.2	Úsek č. 2 Pelejovice - Hvozdno.....	47
3.2.3	Úsek č. 3 Hvozdno - Radonice .....	47
3.2.4	Úsek č. 4 Hvozdno - Radonice .....	47
3.2.5	Úsek č. 5 Radonice - Drahotěšice.....	47
3.3	Stanovené jízdní režimy automobilu .....	48
3.3.1	Pomalá jízda.....	48
3.3.2	Normální jízda .....	48
3.3.3	Sportovní jízda.....	48
3.4	Použitá zařízení pro měření.....	48
3.4.1	Samsung Galaxy A40.....	49
3.4.2	Kamera Lamax Action x8 Electra .....	49
3.5	Podmínky a postup měření .....	49
3.6	Postup výpočtu .....	51
3.6.1	Výpočet úhlu stoupání dílčího jízdního úseku.....	51
3.6.2	Základní vztahy pro výpočet jízdních odporů .....	51
3.6.3	Výpočet spotřeby paliva podle předpokládaného režimu jízdy ve vybraném úseku dopravní trasy .....	53
3.6.4	Podklady pro výpočet CO <sub>2</sub> z kombinované spotřeby paliva .....	53
4	Praktická část.....	54
4.1	Základní parametry a stanovené hodnoty .....	54



4.2	Naměřené hodnoty .....	54
4.3	Vypočtené hodnoty .....	56
4.3.1	Hodnoty úhlu stoupání dílčích úseků .....	56
4.3.2	Hodnoty v režimu pomalé jízdy .....	57
4.3.3	Hodnoty v režimu normální jízdy.....	58
4.3.4	Hodnoty v režimu sportovní jízdy .....	59
4.3.5	Grafické zpracování výsledných hodnot.....	60
5	Diskuse .....	62
	Závěr .....	62
	Seznam použité literatury a zdrojů.....	66
	Seznam grafů .....	72
	Seznam obrázků.....	73
	Seznam tabulek.....	74
	Datový nosič .....	75

## Úvod

Žijeme v době 21. století, která představuje pro současnou generaci lidí vrchol automobilového průmyslu. Automobilky produkují velké množství nových převážně osobních automobilů s novými technologiemi a designem. Začíná se rychle rozvíjet elektromobilita. Téměř už každá významná automobilka vyrobila svůj první elektromobil, který můžeme potkat v provozu. Naproti tomu nová vozidla se spalovacími motory podléhají striktním emisním normám na snižování škodlivých látek ve výfukových plynech. Jednou z těchto látek je složka CO<sub>2</sub> patřící do skupiny skleníkových plynů podílející se na skleníkovém efektu. Vedle ostatních druhů dopravy a největšího globálního producenta tvořící uhelné elektrárny se CO<sub>2</sub> podílí ve velké míře na oteplování naší planety. Tento jev nazývaný také jako globální oteplování můžeme pozorovat na změnách klimatu v podobě tání ledovců v Antarktidě nebo v našich zeměpisných šířkách dlouhými výrazně teplými dny v letních i zimních měsících s minimálním úhrnem srážek deště a sněhu s následky extrémního sucha.

Kjótský protokol v čele s OSN se snaží snižovat rizika a následky globálního oteplování. Tvoří mezinárodní diskuse a summity s hlavními představiteli a vládou průmyslových zemí s velkou produkcí skleníkových plynů. Ti se zavazují úmluvou s pevným cílem snížení skleníkových plynů převážně emisí CO<sub>2</sub> na požadovanou hranici do stanovených let pro zlepšení klimatické situace a zpomalení růstu průměrně celosvětové teploty. Tento tlak je mimo velkých producentů vyvíjen i na země s menší produkcí emisí, kde stojí vedle výrobního průmyslu již zmiňovaná doprava.

V oblasti dopravy patří mezi největší producenty skleníkových plynů velké námořní lodě a zejména dopravní letadla, na která prozatím není kladen takový důraz jako na dopravu silniční. Z celého odvětví silniční dopravy je nejrozšířenější doprava automobilní, respektive osobní. Patří mezi největší producenty emisí a jsou na ni kladeny Evropskou unií velké nároky v podobě zavádění nových a přísnějších emisních norem. Výrobci evropských, ale i mimo evropských automobilek distribuující své automobily do Evropy tak musí neustále vyvíjet nové konstrukční prvky spalovacích motorů v podobě downsizingu, technologií vstřikování paliva řízené elektronickými systémy s návazností na výfukový systém a snižování provozní hmotnosti automobilů s jediným cílem dosáhnout nízké spotřeby paliva s odvislou produkcí emisních složek především CO<sub>2</sub> v gramech na jeden ujetý kilometr s hodnotou do maximální stanovené hranice.

# 1 Rešerše literatury

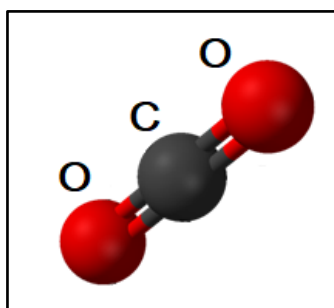
## 1.1 Pojem oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý s chemickým označením CO<sub>2</sub> je plyn bez chuti a zápachu s přirozeným zdrojem uhlíku. Při vyšší koncentraci např. v uzavřeném prostoru se může člověku vyskytnout v ústech slabě nakyslá chuť. Může také tvořit pevné skupenství, které je známé jako suchý led. Je těžší než vzduch a je významným plynem při tvorbě tzv. skleníkového efektu, neboť jeho molekuly absorbují sluneční záření. Podílí se také na zeslabování ozónové vrstvy. [46]

Obsah oxidu uhličitého v ovzduší zvyšují procesy spalování fosilních paliv v uhelných elektrárnách. V případě vysokého obsahu CO<sub>2</sub> v ovzduší a jeho vdechování lidmi se považuje za toxický. Při koncentraci do 2 % se lidský organismus přizpůsobí jeho množství, při 5 % může za půl hodiny vyvolávat závratě, únavu, dezorientaci a zhoršené dýchání. U koncentrace 7 - 10 % přichází pozvolné bezvědomí. Při nadechnutí člověka v prostoru s koncentrací vyšší jak 10 % CO<sub>2</sub> nastává okamžité bezvědomí. [13, 21]

Oxid uhličitý je klíčovou součástí potravního řetězce většiny živých tvorů. Používá se jako „bublínky“ v sycených nápojích, pivu a šampaňském, nebo jako chladicí medium. Uplatňuje se jako ochranný plyn při svařování, v hasicích přístrojích, v zemědělství jako látka podporující růst rostlin. Používá se také k sycení vody v rybnících pro podporu vodních řas, které se mohou použít k výrobě biopaliv. [36]

Jeho molekula představuje sloučeninu dvou atomů kyslíku a jednoho atomu uhlíku.



Obrázek 1 – Model molekuly oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) [46]

### 1.1.1 Vliv CO<sub>2</sub> na zdraví člověka

Oxid uhličitý v podobě plynu je ve velké míře nebezpečný pro člověka skrze vdechnutí. Nízké koncentrace CO<sub>2</sub> nejsou zdraví škodlivé. Vysoké koncentrace však mohou vytěsnit kyslík ze vzduchu, a pokud má lidské tělo k dispozici méně kyslíku,

než se běžně v ovzduší nachází, může takový nedostatek způsobit např. zrychlené dýchání, zrychlený tep, bolest hlavy, emocionální rozrušení, únavu atd. Větší množství oxidu uhličitého v ovzduší může vést také k nevolnosti a zvracení. Symptomy se vyskytují mnohem rychleji spolu s fyzickou námahou. V tabulce 1 jsou uvedeny účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus při různých koncentracích. Podle dosavadních výzkumů způsobují koncentrace okolo 1 000 ppm pocit ospalosti a vydýchaného vzduchu (odlišné u různých osob). Tato hranice se nazývá Pettenkoferovo kritérium a nad tuto koncentraci se může vzduch zdát vydýchaný a těžký, u některých osob se objevuje pocit únavy a ospalosti. Pro zvyšující se koncentrace do 5 000 ppm je typická bolest hlavy, nad 5 000 ppm mohou osoby vystavené této koncentraci počítat s přímým zdravotním rizikem. [7]

**Tabulka 1 – Zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> ovlivňující lidský organismus [7]**

<b>Koncentrace CO<sub>2</sub></b>	<b>Účinky CO<sub>2</sub> na lidský organismus</b>
<b>cca 350 – 400 ppm</b>	úroveň venkovního prostředí
<b>do 800 – 1 000 ppm</b>	doporučená úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách - Pettenkoferovo kritérium
<b>1 200 – 1 500 ppm</b>	doporučená maximální úroveň CO <sub>2</sub> ve vnitřních prostorách
<b>1 000 – 2 000 ppm</b>	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
<b>2 000 – 5 000 ppm</b>	nastávají možné bolesti hlavy
<b>5 000 ppm</b>	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
<b>&gt; 5 000 ppm</b>	nevolnost a zvýšený tep
<b>&gt; 15 000 ppm</b>	dýchací potíže
<b>&gt; 40 000 ppm</b>	možná ztráta vědomí (35 000 - 50 000 ppm – vydechovaný vzduch dospělého člověka)

Při styku s kůží, oxid uhličitý kůži nedráždí. Přímý kontakt se zkapalněným plynem však může chladit nebo zmrazit pokožku a mohou tak vzniknout omrzliny. K takové expozici však v běžném prostředí nedochází, protože se oxid uhličitý nachází v ovzduší v plynném stavu. Při kontaktu s očima může způsobit mírné podráždění, ale běžné koncentrace na oční sliznici nepříznivě nepůsobí. [7]

### **1.1.2 Výskyt v přírodě**

Oxid uhličitý je běžnou součástí zemské atmosféry, přičemž jeho koncentrace je průměrně 0,04 % (rok 2013). V ovzduší kolísá v závislosti na místních podmínkách, na výšce nad povrchem a relativní vlhkosti vzduchu v ovzduší. V důsledku zejména průmyslových emisí jeho průměrná koncentrace ve vzduchu stále roste. V půdě je

obsažen celkem dvakrát více než v atmosféře a v oceánu až padesátkrát více než v atmosféře.

Lokálně velmi vysoká koncentrace je v místech výronu sopečných plynů ze země ve vulkanicky aktivních oblastech a v některých přírodních minerálních vodách. Vzhledem k tomu, že je těžší než vzduch může se v takových místech hromadit a představovat nebezpečnou past pro zvířata i lidi. V oblastech, kde se vulkanický oxid uhličitý postupně uvolňuje do vodních ploch (jezer), může při seismické aktivitě dojít k náhlému uvolnění a zaplavení okolní krajiny nedýchatelným plynem. Ročně tak vulkanická aktivita dodává do ovzduší Země přibližně 130 až 230 milionů tun CO<sub>2</sub>, to představuje řádově 1 až 2 % lidské produkce CO<sub>2</sub>.

Oxid uhličitý byl také nalezen v mezihvězdném prostoru. Je hlavní složkou atmosfér planet Venuše a Mars. Spektroskopicky byl prokázán i v několika kometách. [21, 44, 46]

### **1.1.3 Důvody velké koncentrace oxidu uhličitého v ovzduší**

V přírodě funguje přirozený koloběh, při němž se CO<sub>2</sub> dostává do atmosféry a zase z ní odchází. Rostliny tento plyn využívají k výrobě energie, kterou potřebují k růstu. Zvířata naopak tuto energii spalují a vytvářejí CO<sub>2</sub> vydechováním podobně jako lidé. Vlivem industrializace a procesů vyvolaných průmyslovou revolucí však začalo lidstvo do ovzduší vypouštět velké množství oxidu uhličitého, které způsobuje rychlé oteplování naší planety.

Při výrobě elektrické energie pomocí fosilních paliv vzniká během hoření velké množství CO<sub>2</sub>, které se následně dostává do atmosféry. Podobně i při těžbě a následném zpracování zemního plynu se uvolňuje a dostává se do atmosféry. Velká množství vznikají i při mnoha průmyslových procesech jako jsou rafinace ropy, výroba železa a oceli, cementu nebo čpavku. K dalším významným zdrojům oxidu uhličitého patří emise z osobních i nákladních automobilů, lodí nebo letadel, ale i kotle používané pro vytápění budov.

Dalším faktorem, který nemalou měrou přispívá ke zvyšování množství CO<sub>2</sub> v atmosféře je kácení lesů. V důsledku úbytku zeleně dochází k oslabení přirozené regulace obsahu skleníkových plynů v ovzduší a menší počet rostlin (vegetace celkově) nedokáže vstřebat nadbytek oxidu uhličitého. [36]



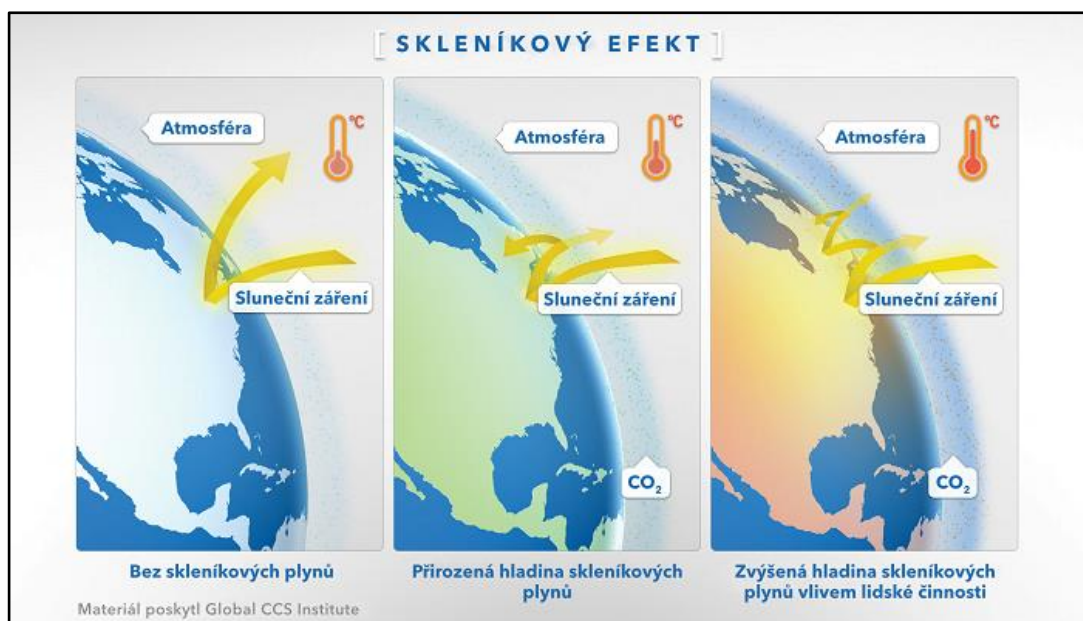
**Obrázek 2 – Hlavní faktory ovlivňující množství CO<sub>2</sub> v atmosféře [36]**

### 1.1.3 Oxid uhličitý jako skleníkový plyn

Oxid uhličitý je naprosto nezbytný pro život na Zemi. Zabraňuje úniku určité části tepla vytvořené slunečními paprsky zpět do vesmíru. Díky tomu je na naší planetě dostatečné teplo, umožňující přežití živých organismů. Bez skleníkového efektu by byla teplota na zemském povrchu o 30 – 40 °C nižší. Mezi běžné skleníkové plyny, které se přirozeně vyskytují v atmosféře a zachycují určitou část slunečního tepla, patří mimo CO<sub>2</sub> také vodní páry, metan, ozón a oxid dusný. Jsou to sloučeniny, které díky svým fyzikálním vlastnostem propouštějí krátkovlnné záření horkých těles, a naopak pohlcují dlouhovlnné záření těles chladnějších. Skleníkové plyny se zahřívají a s nimi i jejich okolí. Zjednodušeně by se skleníkové plyny daly definovat jako plyny, které mají schopnost pohltit tepelné (infračervené) záření.

Skleníkový efekt podporuje:

- spalování fosilních paliv a pohonných hmot;
- odlesňování a vypalování lesů;
- obdělávání půdy;
- pěstování obilí;
- chov dobytka;
- hnilobné procesy ve skládkách komunálního odpadu. [15, 36]



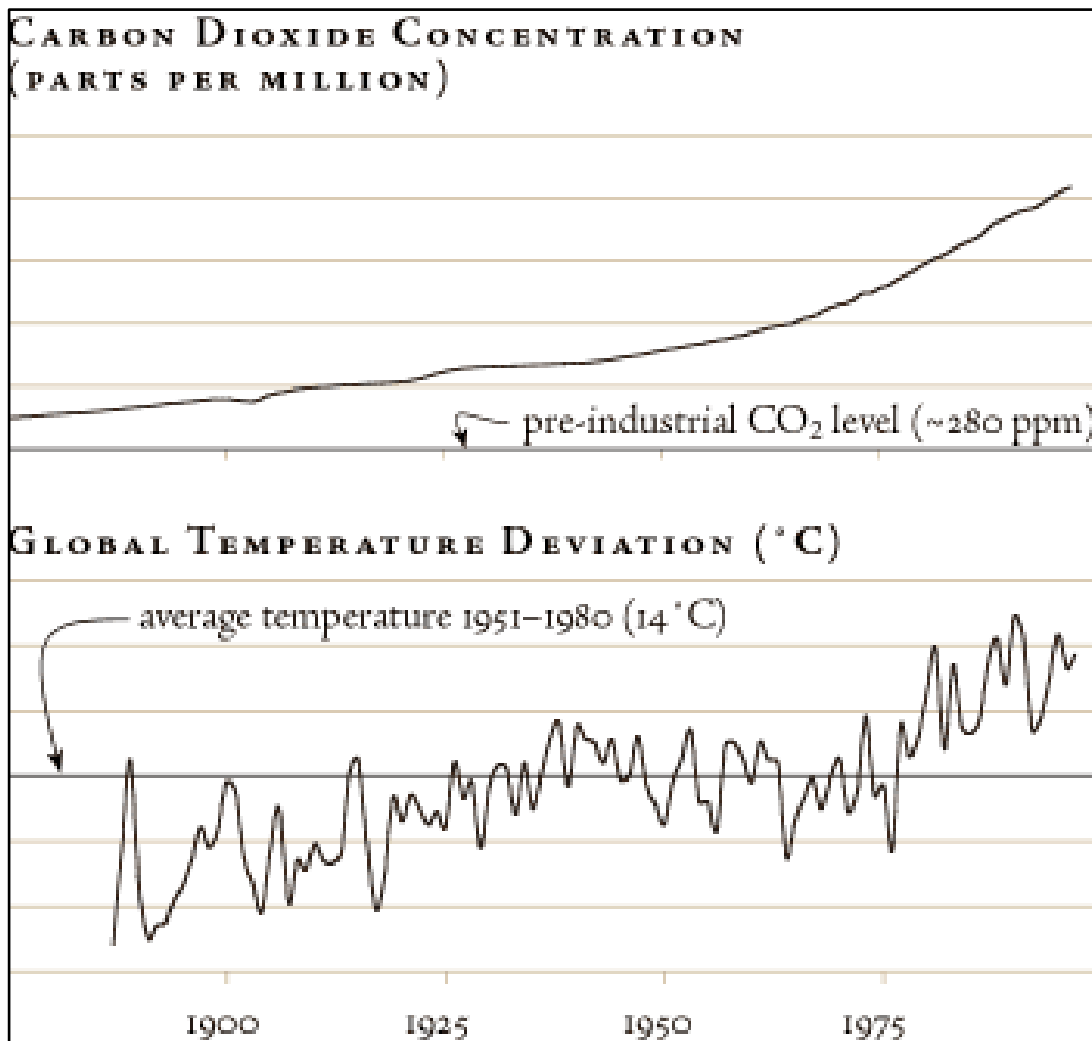
Obrázek 3 – Princip skleníkového efektu [36]

## 1.2 Změny klimatického systému - globální oteplování planety

Vědci zjistili, že množství oxidu uhličitého obsaženého v atmosféře ovlivňuje globální klima. Věděli, že  $\text{CO}_2$  je schopné pohltit záření o vlnové délce 12 mikronů a že jen malé množství tohoto plynu stačí k pohlcení záření v tomto vlnovém pásmu. Při vykonaných pokusech se koncentrace  $\text{CO}_2$  zvýšila, ale vědci si mysleli, že to na zadržení tepla nemá podstatný vliv, když oxidu uhličitého je v atmosféře tak málo. Neuvědomovali si, že za velmi nízkých teplot, které panují v polárních oblastech a ve vysokých vrstvách zemské atmosféry dochází k přenášení velké části tepla ve vlnovém pásmu, kde je oxid uhličitý nejúčinnější. Dalšími výzkumy se zjistilo, že  $\text{CO}_2$  nefunguje jako hlavní činitel změny klimatu, ale tvoří spouštěč mechanismů, kterou tvoří vodní pára (jeden z důležitých činitelů globálního oteplování). Oxid uhličitý způsobí částečné ohřátí atmosféry a společně s vodní párou (vlhkostí) udrží vyšší teplotu a dochází k oteplování zemské atmosféry. Tím vznikne zpětná vazba, jejímž působením se teplota na naší planetě pomalu zvyšuje. [8]

V druhé polovině 19. století a počátkem 20. století žil ve Stockholmu švédský fyzik, chemik a nositel Nobelovy ceny za elektrolytickou teorii disociace Svante Arrhenius, který předpověděl vliv zvýšené koncentrace oxidu uhličitého na globální oteplování planety. Provedl výzkum v oblasti klimatu a geofyziky, kde aplikoval vědecké postupy a znalosti o jevech moří a příčinách vzniku doby ledové. Arrhenius tvrdil, že změny ve složení atmosféry (zvýšená koncentrace oxidu uhličitého) mají dopad na planetu. S využitím nejlepších informací, které měl v té době k dispozici a

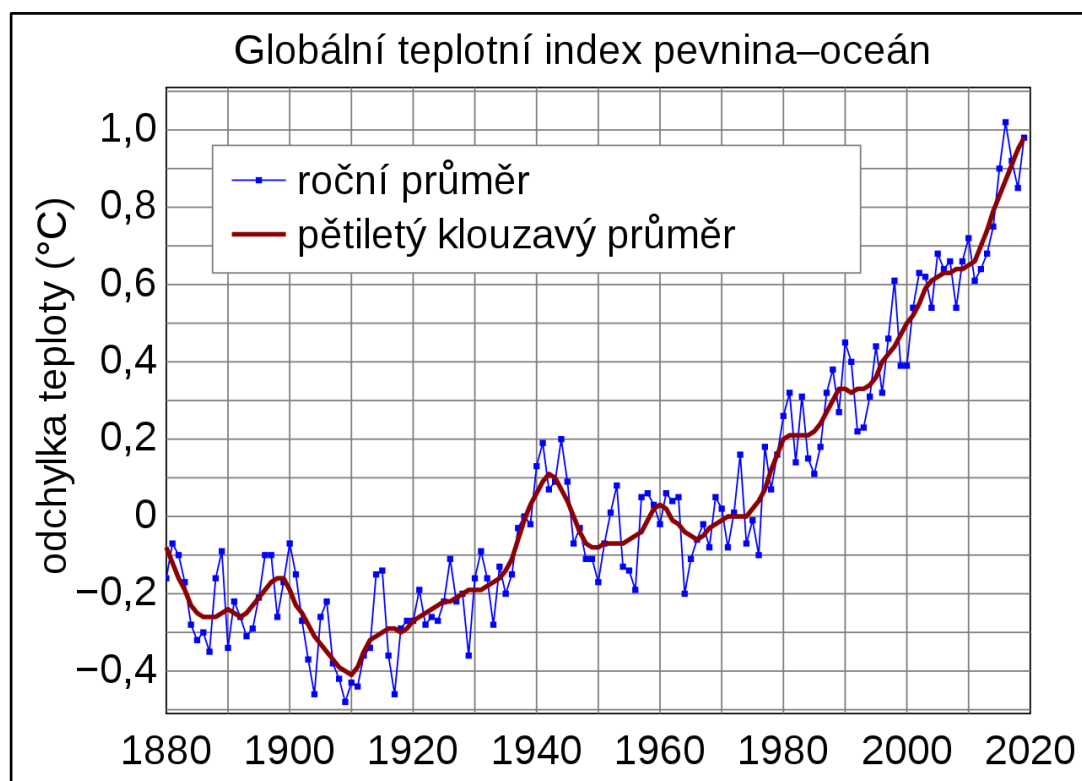
provedením mnoha předpokladů a výpočtů sestavil první klimatický model s vlivem CO<sub>2</sub>. Z modelu bylo patrné, že pokud se množství CO<sub>2</sub> dvojnásobně zvýší, teplota se bude progresivně zvyšovat a dojde ke zvýšení teploty o 3 až 4 °C během 500 let. [28, 42]



**Graf 1 – Arrheniusova předpověď zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> s růstem teploty [42]**



V dnešní době máme přesné modely klimatických změn a víme, že růst CO<sub>2</sub> a globální teploty je daleko rychlejší (průměrná globální teplota vzrostla o téměř 1 °C), než předpovídal Arrhenius. [28, 42]



Graf 2 – Nárůst globální teploty v rozmezí 140 let [46]

V současné době je dokázané, že člověk má podstatný vliv na klimatický systém. Produkce současných antropogenních emisí skleníkových plynů jsou nejvyšší v historii. Nedávné změny klimatu měly dalekosáhlé dopady na lidské a přírodní systémy. [28, 42]

### 1.2.1 Změny klimatického systému

Změny klimatického systému lze definovat jako změnu trvající několik let i déle. Spojuje se s několika parametry jako např. teplota, průměr srážek, hladina moří, tání ledovců. Pokud rozdělíme svět na části s projevy změn klimatu mohou mít tyto změny v jednotlivých částech vyrovnávací charakter, ale v konečném výsledku jsou součástí globálního oteplování nebo ochlazování planety. [3]

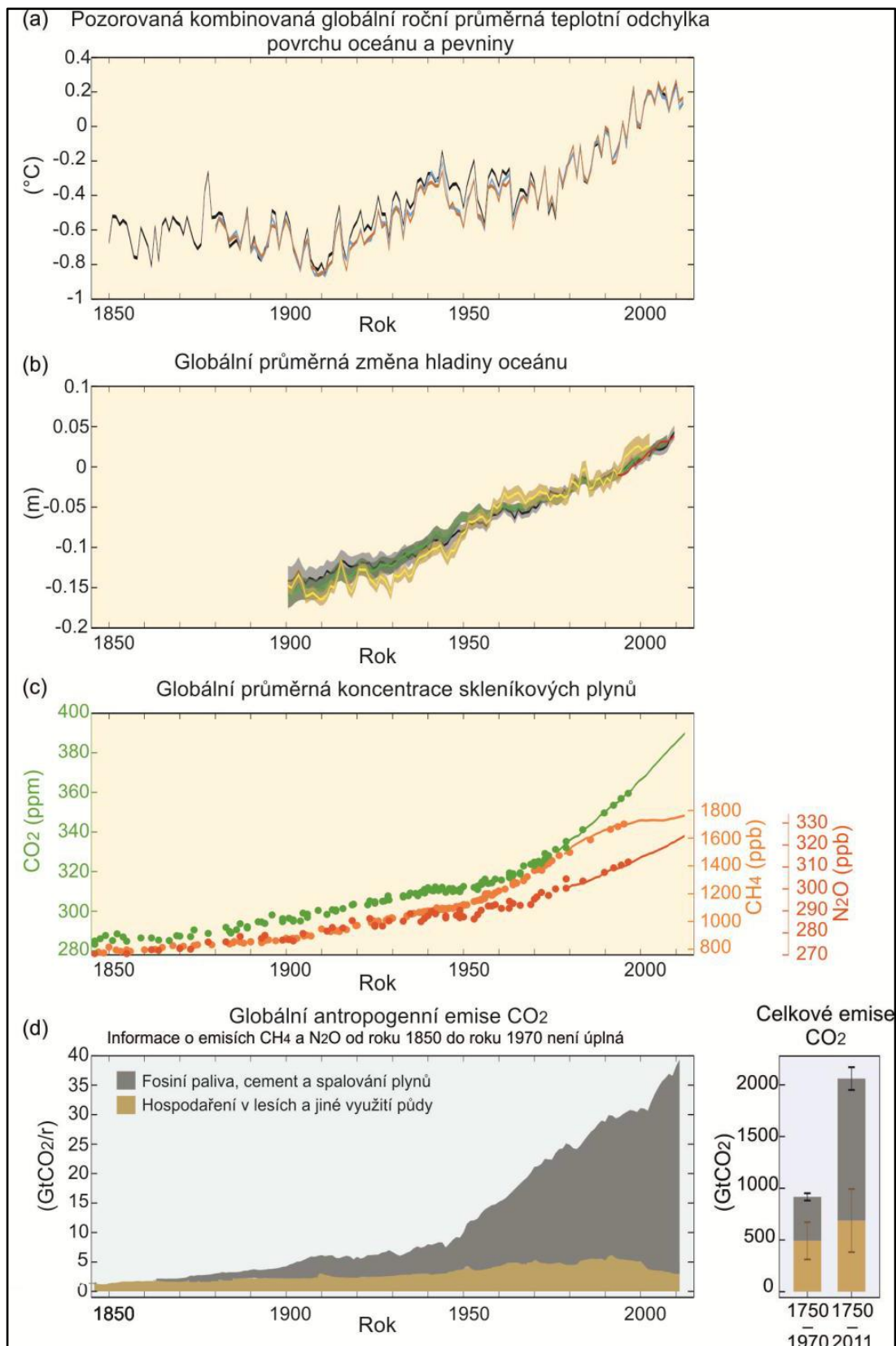
Záznamy o měření změn klimatu sahají až do 19. století. Současné globální klimatické změny donutili se tímto problémem zabývat a podněbí se začalo zkoumat metodami přímými a nepřímými.

U nepřímých metod se zkoumají teploty, letokruhy u stromů, šířky jednotlivých letokruhů, které se odvíjí od teploty a vlhkosti v daném roce. Středoevropské stromy mají díky průběhu ročních období rytmus, který je určen střídáním dormance a vegetačního období. Jednotlivé letokruhy stromů získávají svůj individuální tvar podle konkrétního klimatického průběhu a podmínek prostředí, které v jednotlivých letech převládaly. Roky doprovázené extrémními podmínkami (sucho, teplota) mají vliv na letokruhy stromů. Jsou světlé a vykazují menší růstový vývoj. Významnou metodou jsou hlubinné vrty do předem vybraných ledovců, kde se vyhodnocují vzduchové bublinky s poměrem izotopů kyslíku.

Do skupiny měření přímými metodami spadá teploměr, vlhkoměr, srážkoměr a barometr. Dnes se sleduje především změna průměrné roční teploty, tání ledovců, vzrůst hladiny oceánů s koncentrací CO<sub>2</sub> v zemské atmosféře. Ze skupiny metod nepřímého měření vyšlo, že na Zemi proběhla významná klimatická změna se střídáním dob ledových s dobami meziledovými s dopadem na klima. [9, 11]

Mezivládní panel pro změnu klimatu z roku 2014 říká, že od padesátých let minulého století nemá řada pozorovaných změn obdoby po celá desetiletí až tisíciletí. Atmosféra a oceán se oteplily, množství sněhu a ledu kleslo a hladina oceánu stoupla. Každé z posledních tří desetiletí bylo v blízkosti zemského povrchu teplejší, než kterékoli z předchozích desetiletí od roku 1850. Období od roku 1983 do roku 2012 bylo pravděpodobně nejteplejší třicetiletí za posledních 1400 let na severní polokouli. Lineární trend globálních průměrů kombinované teploty z povrchu souše a oceánu vykazují oteplení o 0,85 °C za období 1880 – 2012.

Oteplování oceánu dominuje v nárůstu energie, uložené v klimatickém systému, to představuje více než 90 % energie akumulované v letech 1971 - 2010, pouze asi 1 % je uloženo v atmosféře. V globálním měřítku je oteplování oceánů největší poblíž povrchu, přičemž horních 75 m se v období 1971 - 2010 oteplevalo rychlostí 0,11 (0,09 až 0,13) °C za dekádu. Je prakticky jisté, že se horní vrstva oceánu (0 - 700 m) od 70. let 19. století do roku 2010 výrazně oteplila. [1]



**Graf 3 – Jednotlivé globální změny klimatu zapříčiněné především emisemi CO<sub>2</sub> [1]**

Od začátku průmyslové éry měla absorpce CO<sub>2</sub> do oceánu za následek okyselení oceánu, pH vody na povrchu oceánu kleslo o 0,1. Tato hodnota odpovídá nárůstu kyselosti o 26 %.

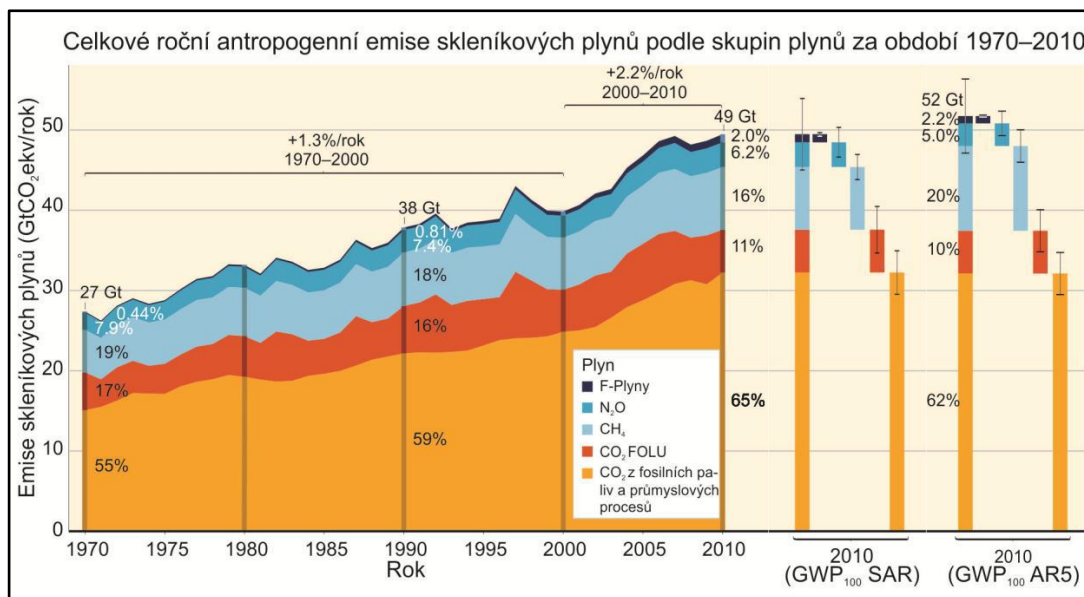
Během let 1992 - 2011 se snižoval objem grónského a antarktického ledového příkrovu a pravděpodobně s větší rychlostí v letech 2002 - 2011. Ledovce dále ustupují téměř po celém světě. Rozsah jarní sněhové pokrývky na severní polokouli se dále zmenšuje a průměrný roční rozsah arktického mořského ledu v letech 1979 - 2012 klesl rychlostí, která byla velmi pravděpodobně v rozsahu 3,5 až 4,1 % za dekádu. Rozsah arktického mořského ledu se zmenšoval v každém ročním období a v každé následné dekádě od roku 1979, pokles desetiletého průměrného rozsahu byl nejrychlejší v létě. Je velmi pravděpodobné, že roční průměrný rozsah antarktického mořského ledu rostl v rozmezí 1,2 až 1,8 % za dekádu mezi roky 1979 - 2012.

Průměrná globální hladina oceánu se zvýšila v období 1901 - 2010 o 0,19 m (0,17 až 0,21 m). Od poloviny 19. století byla rychlost vzestupu výšky hladiny oceánu větší, než byla průměrná rychlost v průběhu předchozích dvou tisíciletí. [1]

### **1.2.2 Příčiny změny klimatu a její dopady**

Od dob před průmyslovou revolucí se zvýšily antropogenní emise skleníkových plynů převážně vlivem ekonomického a populačního růstu a nyní jsou vyšší než kdy předtím. To vedlo k neobvyklým atmosférickým koncentracím oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>, metanu CH<sub>4</sub> a oxidu dusného N<sub>2</sub>O nejméně za posledních 800 000 let. Jejich účinky společně s ostatními antropogenními emisemi byly zjištěny v celém klimatickém systému a byly s vysokou pravděpodobností hlavní příčinou pozorovaného oteplování od poloviny 20. století.

V období 1750 - 2011 byly rostoucí antropogenní emise CO<sub>2</sub> v atmosféře  $2\,040 \pm 310$  Gt CO<sub>2</sub>. Asi 40 % těchto emisí zůstalo v atmosféře ( $880 \pm 35$  Gt CO<sub>2</sub>), zbytek byl odstraněn z atmosféry a uložen na zemi (do rostlin a půdy) a do oceánu. Oceán absorboval asi 30 % emitovaného antropogenního oxidu uhličitého, to zapříčinilo okyselení oceánu. Přibližně polovina antropogenních emisí oxidu uhličitého v období 1750 - 2011 vznikla v posledních 40 letech. [1]

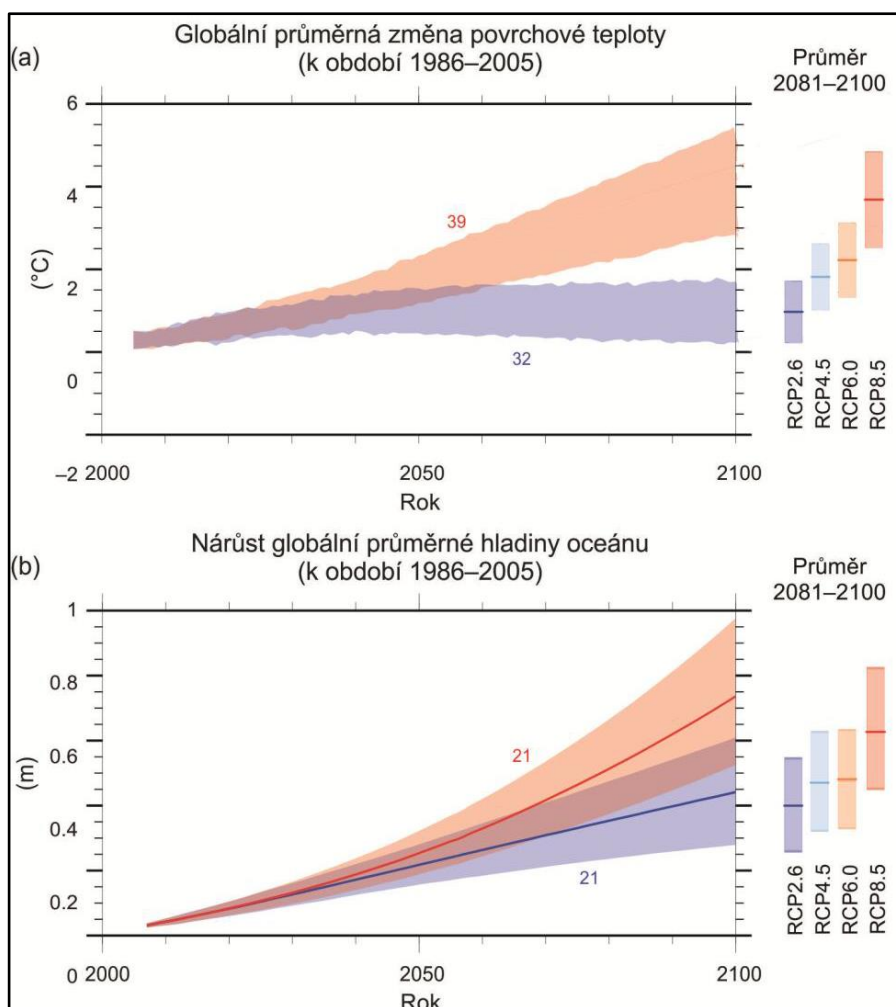


**Graf 4 – Růst antropogenních emisí od roku 1970 [1]**

Celkové antropogenní emise skleníkových plynů se nadále zvyšovaly v období 1970 - 2010 s větším absolutním přírůstkem v letech 2000 - 2010 a to navzdory rostoucímu počtu mitigačních opatření. Antropogenní emise skleníkových plynů dosáhly  $49 \pm 4,5$  Gt CO<sub>2</sub> za rok v roce 2010. Emise CO<sub>2</sub> ze spalování fosilních paliv a z průmyslových procesů přispěly přibližně 78 % k celkovému zvýšení emisí skleníkových plynů v období 1970 - 2010 s podobným procentuálním příspěvkem ke zvýšení v období 2000 - 2010. V globálním měřítku byl ekonomický a populační růst nadále nejdůležitější příčinou růstu emisí CO<sub>2</sub> způsobeného spalováním fosilních paliv. Nárůst způsobený růstem počtu obyvatel v letech 2000 - 2010 zůstal celkem shodný s předchozími třemi desetiletími, zatímco nárůst způsobený ekonomickým růstem prudce vzrostl. Zvýšené využívání uhlí obrátilo dlouhodobý trend postupné dekarbonizace (tj. snižování uhlíkové náročnosti energetiky) dodávek energie ve světě. Existuje velké množství důkazů o tom, že lidská činnost (produkce CO<sub>2</sub>) způsobuje změny klimatického systému. Antropogenní příčiny pravděpodobně významně přispěly ke zvýšení povrchové teploty od poloviny 20. století na všech kontinentech. Antropogenní vlivy pravděpodobně ovlivňují globální koloběh vody od roku 1960 a přispěly k ústupu již zmiňovaných horských ledovců od roku 1960 a zvýšilo se také povrchové tání grónského ledovcového příkrovu od roku 1993. Antropogenní vlivy velmi pravděpodobně přispěly k úbytku arktického mořského ledu od roku 1979 a velmi pravděpodobně významně přispěly ke zvýšení globálního obsahu tepla v horní vrstvě oceánu. [1]

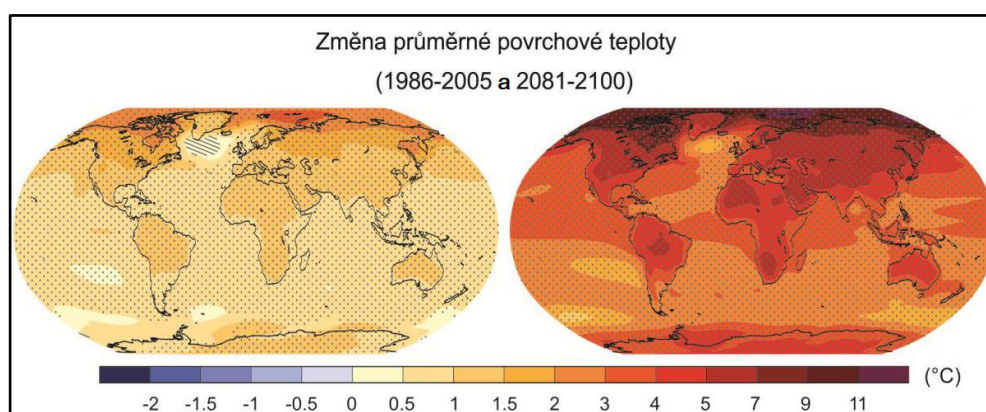
Předpokládá se, že teplota povrchu bude stoupat v 21. století, a to podle všech hodnocených emisí. Je velmi pravděpodobné, že vlny veder se budou vyskytovat častěji a budou trvat déle. V mnoha oblastech budou extrémní srážky intenzivnější a častější. Oceán se bude i nadále oteplovat a okyselovat a průměrná globální hladina oceánu bude stoupat.

Budoucí stav klimatu bude záviset na již probíhajícím oteplení způsobeném již vypuštěnými antropogenními emisemi stejně jako na antropogenních emisích a přirozené proměnlivosti klimatu. Změna průměrné globální povrchové teploty pro období 2016 - 2035 ve srovnání s obdobím 1986 - 2005 je obdobná a pravděpodobně bude v rozmezí od 0,3 do 0,7 °C. To za předpokladu, že nedojde k žádným velkým sopečným výbuchům nebo změnám v některých přírodních zdrojích (např. CH<sub>4</sub> a N<sub>2</sub>O), nebo k neočekávaným změnám v globálním slunečním záření. V polovině 21. století je rozsah předpokládané změny klimatu výrazně ovlivněn volbou globálních emisí. [1]



**Graf 5 – Růst globální teploty a hladiny oceánu ve 21. století:  
a) povrchová teplota, b) hladina oceánu [1]**

Předpokládaný nárůst globální průměrné povrchové teploty na konci 21. století v letech 2081 – 2100 ve srovnání s obdobím 1986 - 2005 bude pravděpodobně 2,6 – 4,8 °C. Arktická oblast se bude i nadále oteplovat rychleji, než je globální průměr. Je prakticky jisté, že budou častější horké a méně časté studené extrémy nad většinou pevninských oblastí, a to v průběhu denních a sezónních cyklů tak, jak bude docházet ke zvýšení globální průměrné povrchové teploty. Vlny veder se budou vyskytovat s vyšší frekvencí a delším trváním, naopak v zimním období bude docházet k občasným studeným extrémům v krátkých intervalech. [1]



**Obrázek 4 – Oblasti změn s nárůstem průměrné globální povrchové teploty koncem 20. století a 21. století [1]**

Pozorované dopady změn klimatu jsou nejsilnější a nejkompexnější u přírodních systémů. V mnoha oblastech mění se srážky nebo tání sněhu a ledu mění hydrologické systémy a ovlivňují množství a kvalitu vodních zdrojů. Mnoho suchozemských, sladkovodních a mořských druhů změnilo zeměpisné oblasti, rozšíření, sezónní aktivity, migrační cesty, četnost výskytu, změnilo se také vzájemné působení druhů, a to v reakci na probíhající změnu klimatu. Některé dopady na lidské systémy jsou také připisovány změně klimatu s větším nebo menším podílem změny klimatu, kterou lze odlišit od jiných vlivů. Vyhodnocení mnoha studií, které pokrývají širokou škálu regionů a plodin ukazují, že negativní dopady na změny klimatu a na výnosy plodin jsou časté. Okyselování oceánů má dopad na mořské organismy, které byly přisouzeny antropogenním vlivům.

Všechny tyto změny jsou zapříčiněny oteplováním planety s nadměrnou produkcí oxidu uhličitého, to vše má dopad na klima, přírodní zdroje a rovnováhu v přírodě. Proto by se lidstvo mělo pozastavit nad tím, jestli je stále dobré globálně vypouštět do ovzduší složky plynů ovlivňující změnu klimatu v takovém množství a devastovat přírodu, která nám poskytuje tolik, co si dnes už ani člověk neumí představit. [2]

### 1.3 Emise oxidu uhličitého

Oxid uhličitý vzniká z mnoha průmyslových zdrojů, za kterými stojí člověk. Jsou to především továrny, lodní nebo letecká doprava a samozřejmě také automobilová doprava.

Množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> se také různí podle dané země. Průmyslově vyspělé a velké země jako například Spojené státy americké nebo Čína vyprodukují několiknásobně více CO<sub>2</sub>, než menší země jako Německo nebo Česká republika.

#### 1.3.1 Kjótský protokol

Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN hovoří o změně klimatu (obsahuje i negativní vliv na krajinu a její změny, přihlíží k zalesňování případně odlesňování oblastí). Nejdříve byl pojat jako vědecká diskuse na Světové klimatické konferenci v Ženevě v roce 1979, kde byly vyzvány vyspělé země s velkou produkcí CO<sub>2</sub>, aby své emise snížily.

Kjótský protokol byl přijat v červnu 1992 v Riu de Janeiro a vstoupil v platnost v březnu 1994. Další přijetí následovalo až v prosinci 1997 na konferenci OSN o změnách podnebí v japonském Kjótu. Země se zavázaly, že do konce období 2008 – 2012 sníží své emise o 5,2 % ve srovnání s rokem 1990. Následující vstup, který vešel v platnost v únoru 2005, byl ratifikován 192 zemí a EU jako celek (před rozšířením v roce 2004). USA protokol podepsalo, ale neratifikovalo ho kvůli narušení tržního hospodářství a kvůli odmítnutí protokolu Číny a Indie, kteří představují největší znečišťovatele ovzduší společně s USA.

V prosinci 2012 byl schválen dodatek a zahájeno druhé kontrolní období, které bylo stanoveno na 8 let (do roku 2020).

Evropská unie a jejích 28 členských států se společně zavázalo snížit emise skleníkových plynů do roku 2020 a to o 20 % v porovnání s rokem 1990 (33 %).

Česká republika podepsala protokol 23. 11. 1998 na základě usnesení vlády č. 669/1998 a ratifikovala ho 15. 11. 2001 (č. 81/2005 Sb. m. s.). Protokol má celkem 192 smluvních stran.

V prosinci 2015 na konferenci v Paříži byla uzavřena nová globální dohoda o klimatu, která by měla vstoupit v platnost po roce 2020 a nahradit Kjótský protokol. Nová dohoda obsahuje znění, které hovoří o udržitelnosti globální teploty pod 2 °C. Zástupci zemí s velkou produkcí skleníkových plynů se v této dohodě zavázali, že výrazně omezí produkci emisí především CO<sub>2</sub>. [27, 40]



### 1.3.2 Země s největší světovou produkcí CO<sub>2</sub>

Za poslední tři až pět let dominují v produkci oxidu uhličitého především světové země. Mezi deset největších světových producentů oxidu uhličitého patří Čína a za ní následují Spojené státy americké, Indie, Rusko, Japonsko, Německo, Jižní Korea, Írán, Kanada a Saudská Arábie. Tyto země patří mezi největší producenty na planetě z důvodu velkého počtu uhelných a tepelných elektráren, které neustále do ovzduší produkují skleníkové plyny a zanechávají uhlíkovou stopu společně s využitím ropy a dopravy.

Definice pěti největších světových producentů emisí oxidu uhličitého pro rok 2017:

#### 1. Čína

Čína tvoří největšího světového producenta oxidu uhličitého s 9,8 bilionu metrických tun. Hlavními zdroji jsou fosilní paliva se spalováním uhlí, kde 70 % celkové energie je právě získáno z uhlí.

Čína tvoří jednoho největších dovozců ropy světa, kterou přepravuje motorovými vozidly, které také přispívají emisím CO<sub>2</sub>. V budoucnu plánuje snížení závislosti na spalování uhlí a znečišťování měst. Toho chce dosáhnout výrobou elektrické energie v jaderných elektrárnách, obnovitelnými zdroji a zpracováním zemního plynu.

#### 2. Spojené státy americké

Spojené státy americké představují druhého největšího producenta emisí CO<sub>2</sub> na světě s produkcí 5,3 bilionů metrických tun. Největší zdroj CO<sub>2</sub> v USA představuje výroba elektrické energie spalováním fosilních paliv, doprava, průmysl a zkoušky chemických reakcí. Americká vláda vynaložila úsilí, aby snížila závislost na uhlí, stala se velkým producentem ropy, která je ve státech hojně využívána. Právě americké hospodářství je závislé na dopravě se spotřebou ropy.

Spojené státy americké jsou známé výrobou spalovacích motorů s velkými zdvihovými objemy. Některé tyto motory jsou převážně charakteristické tím, že mají velkou spotřebu pohonných hmot, které produkují do ovzduší emise oxidu uhličitého. Americké obyvatelstvo tyto dopravní zařízení s vysoko obsahovými motory hojně využívá jak na cestování, tak na jízdu po městě.

#### 3. Indie

Indie je třetí nejproduktivnější v emisích CO<sub>2</sub> na světě, která v roce 2017 vyprodukovala 2,5 bilionů metrických tun CO<sub>2</sub>. Když se začala indická ekonomika

rozvíjet směrem k urbanizaci a industrializaci začala prudce stoupat spotřeba tuhých paliv. Uhlí je levnější než dovážená ropa nebo zemní plyn, proto tvoří zdroj elektrické energie.

Vzhledem k velkému množství uhelných dolů pravděpodobně indická ekonomika zvýší závislost na uhlí pro potřebu výroby elektrické energie a podporu těžkého průmyslu. S tímto plánem se v budoucnu budou emise CO<sub>2</sub> s velkou pravděpodobností zvyšovat nebo minimálně stagnovat.

#### 4. Rusko

Rusko obsazuje čtvrté místo jako producent emisí CO<sub>2</sub> s hodnotou 1,7 bilionů metrických tun. Rusko má největší zásoby zemního plynu na světě. Zemní plyn představuje primární zdroj výroby elektrické energie. Uhlí je používáno především v chemickém průmyslu, ale také jako produkt pro výrobu elektrické energie a přispívá emisím CO<sub>2</sub>.

#### 5. Japonsko

Páté místo ve světové produkci oxidu uhličitého zaujímá Japonsko s hodnotou 1,2 bilionů metrických tun. Japonsko využívá jako zdroj pro výrobu elektrické energie a průmysl zemní plyn a uhlí. Po havárii v jaderné elektrárně Fukušima se zvýšila závislost na fosilních palivech, proto produkované množství CO<sub>2</sub> se zvýšilo. Japonsko připravuje plán na nové otevření jaderných elektráren, proto lze očekávat stabilizaci produkovaného CO<sub>2</sub>. [37]

**Tabulka 2 – Produkce CO<sub>2</sub> pěti nejproduktivnějších zemí světa s poklesem v daných letech [34, 37, 47]**

Země	Produkce CO <sub>2</sub> za rok 2017 (t.10 <sup>12</sup> )	Produkce CO <sub>2</sub> za rok 2018 (t.10 <sup>12</sup> )	Produkce CO <sub>2</sub> za rok 2020 (t.10 <sup>12</sup> )
Čína	9,8	9,43	9,04
Spojené státy americké	5,3	5,15	5
Indie	2,5	2,48	2,07
Rusko	1,7	1,55	1,47
Japonsko	1,2	1,15	1,14

\*Evropská unie není zařazena do světového přehledu zemí s největší produkcí CO<sub>2</sub>, více o emisích v EU v kapitole 1.3.3 Deset zemí s největší produkcí CO<sub>2</sub> v Evropě.

### 1.3.3 Deset zemí s největší produkcí CO<sub>2</sub> v Evropě

Je jisté, že klimatické změny nastaly nejen ve světě, ale i v Evropě. Lidská činnost za posledních minimálně padesát let dle páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu o klimatických změnách ovlivnila klima na planetě, které zapříčinilo její oteplování. Důsledkem toho je spalování fosilních paliv podobně jako ve světových zemích a těžba zalesněných oblastí, které pohlcují CO<sub>2</sub>.

Evropská unie se řadí ve světě na třetí místo v produkci emisí oxidu uhličitého, protože dokáže pohltit jen polovinu produkovaného množství CO<sub>2</sub>. Spojené státy jsou oproti EU na tom lépe. Dokážou pohltit větší množství CO<sub>2</sub> i když ho více vyprodukují. Jejich zemské ekosystémy daleko lépe absorbují emise oxidu uhličitého, které jsou antropogenního původu.

Česká republika stojí v Evropské unii za rok 2017 na místě osmém v produkci CO<sub>2</sub>. Před ní obsazuje první místo Německo poté následuje Spojené království, Francie, Itálie, Polsko, Španělsko a Holandsko. Prvních deset nejproduktivnějších evropských států oxidu uhličitého v kilotunách (kt) uzavírají za osmou Českou republikou Belgie a Rumunsko. Všechny tyto evropské země tvoří industrializace, a to především Německo, které je světovou velmocí automobilového průmyslu. [29, 45]

**Tabulka 3 – Produkce CO<sub>2</sub> deseti nejproduktivnějších zemí EU za rok 2017**  
[29]

Země Evropské unie	Produkce CO <sub>2</sub> za rok 2017 (kt)
Německo	901 931
Spojené království	503 499
Francie	457 128
Itálie	433 024
Polsko	385 842
Španělsko	335 661
Holandsko	195 038
Česká republika	127 126
Belgie	117 443
Rumunsko	116 426

### 1.3.4 Emise CO<sub>2</sub> letecké a lodní dopravy v Evropě

Letecká a lodní doprava v Evropě tvoří společně jen necelých 7 % celkových emisí skleníkových plynů, ale obě představují rychle rostoucí zdroje těchto emisí, které

přispívají ke globálnímu oteplování. Důvodem je růst objemu přepravy, který je způsoben nárůstem počtu cestujících, který se od roku 1993 ztrojnásobil mezinárodním obchodem. Dle summitu OSN o klimatu COP25 z prosince 2019 v Madridu vyzval Evropský parlament k progresivnějšímu přístupu ke snížení emisí skleníkových plynů v letecké a lodní dopravě skrze tržních opatření.

V posledních dvou desetiletích vzrostly emise skleníkových plynů v mezinárodní letecké dopravě o 130 %. Lodní doprava vzrostla o 32 %. Jedná se o nerychlejší růst především dopravy letecké napříč všemi dopravními odvětvími s výrazným růstem emisí od roku 1990. Do roku 2050 se předpokládá několikanásobný nárůst emisí skleníkových plynů především u letecké dopravy, u lodní dopravy nebude nárůst tak veliký vzhledem k zefektivnění spalování ve velkých agregátech zaoceánských lodí.

Evropská unie se snaží emise skleníkových plynů co nejvíce zmírňovat skrze obchod s emisemi (emisní povolenky), do kterého chce evropský parlament zahrnout i lodní dopravu. Lidé vlastníci velké lodě musejí poskytnout informace o produkovaných emisích a spotřeb. Tyto pravidla jsou nastaveny Evropskou unií a platí celosvětově. [30]

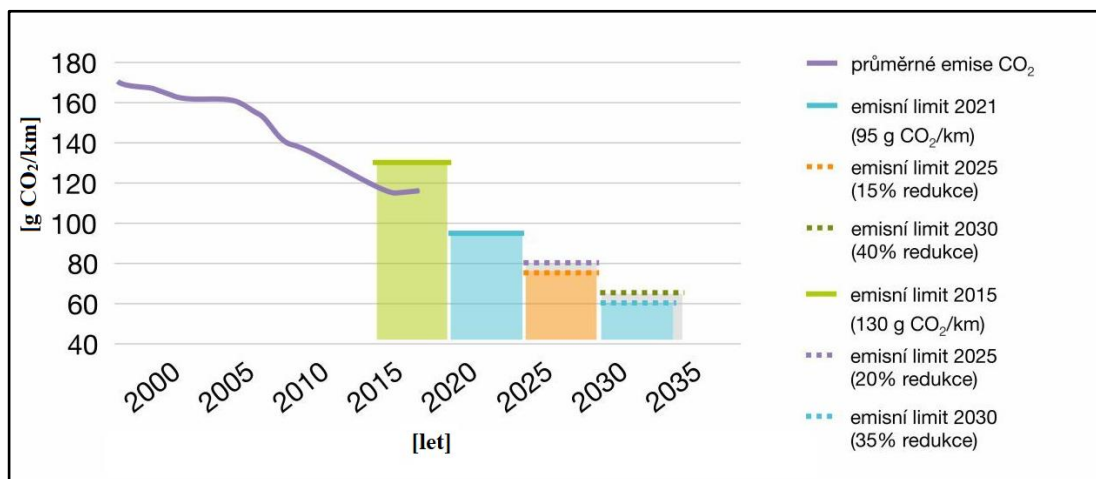
### **1.3.5 Emise CO<sub>2</sub> v evropské silniční dopravě**

Podle Evropského parlamentu vzniká v dopravě 30 % emisí skleníkových plynů z toho však 72 % zaujímá silniční doprava. Cílem Evropské unie je do roku 2050 snížit celkové emise o 60 % oproti emisím v roce 1990. Je to velké úsilí, protože emise CO<sub>2</sub> v jiných odvětvích se daří snižovat, ale v dopravě letecké, lodní tak především silniční tyto emise od roku 1990 stále rostou s přibývajícím mobilitou dopravních zařízení.

Pozastavil se i trend vývoje účinnosti spalování paliv v automobilech, protože se v dnešní době vývoj velkých automobilek zaměřil na elektromobilitu a její sériovou výrobu v nových vozidlech. Nově vyprodukovaná vozidla se spalovacími motory měly v roce 2017 větší emise CO<sub>2</sub> průměrně o 0,4 g na kilometr oproti roku 2016.

Evropská unie si klade v silniční dopravě za cíl výrazně omezit emise oxidu uhličitého u nových osobních vozidel, ale také užitkových vozidel. 27. března přijali poslanci nová pravidla emisních limitů týkající se nových vozidel. U osobních vozidel o 37,5 % a u užitkových vozidel o 31 %, mělo by se tak stát do roku 2030. Nákladních vozidel se snížení emisí také týká. To bylo schváleno 18. dubna, kde byl přijat návrh na snížení emisí CO<sub>2</sub> nových nákladních vozidel a to o 30 %, které by mělo trvat také do roku 2030 v porovnání s rokem 1990.

V letech 2015 – 2020 je nastaven limit na hodnotu 130 g.km<sup>-1</sup> v produkci emisí skleníkového plynu CO<sub>2</sub>, přičemž v roce 2017 byly průměrně hodnoty CO<sub>2</sub> 118,5 g.km<sup>-1</sup>. Vzhledem k tomu, že Evropská unie tyto hodnoty zpřísnuje, nastavila do roku 2021 limit na hodnotu 95 g.km<sup>-1</sup> v produkci oxidu uhličitého. Proto musí všechny automobilky vynakládat nemalé úsilí, aby splnily tyto striktní požadavky a neplatily pokuty, které činí 95 € za každé vozidlo, nebo vyprodukovaný gram CO<sub>2</sub> nad požadovaný limit. [20, 31]



**Graf 6 – Vývoj emisí a emisních limitů CO<sub>2</sub> v g.km<sup>-1</sup> pro nové automobily [20]**

Osobní silniční doprava patří v dopravě všeobecně za nejvíce znečišťující a podílí se na 60,7 % vytvořených emisí, za předpokladu, že vozidlem cestuje pouze řidič. V evropských statistikách stojí, že jedním vozidlem průměrně cestuje 1,7 cestujících, to znamená, že hromadná doprava je oproti osobní dopravě ekologická. [31]

#### 1.4 Produkce CO<sub>2</sub> ze spalovacích motorů

Automobilová doprava je jednou z nejrozšířenějších mobilit pro přepravu osob, nákladu nebo poskytnutí služeb, produkuje vedle uhelných elektráren a dalších již zmiňovaných zdrojů nemalé množství oxidu uhličitého, který se společně s ostatními složkami podílí na globálním oteplování planety.

V dnešní době se tento druh dopravy rozvinul do různých forem pohonů vozidel, začínají se vyvíjet a v sérii vyrábět elektricky poháněná vozidla, další variantou je vodíkový pohon, který je prozatím alternativou budoucnosti.

Nejrozšířenější pohon dopravních zařízení od 20. století je pohon spalovacími motory převážně pístovými, kde je zdroj energie palivo benzin (zážehový motor) nebo nafta (vznětový motor). Při spalování těchto paliv vzniká CO<sub>2</sub>, kde se jeho

produkované množství odvíjí od spotřeby motoru, proto jsou dnešní motory konstruovány a řešeny tak, aby spotřeba byla nízká především u osobních vozidel.

#### 1.4.1 Pístový spalovací motor

Pístový spalovací motor je už mnoho let využíván ve většině dnešních dopravních zařízeních, přesto jeho účinnost není optimální. Přes značný pokrok v konstrukcích spalovacích motorů a provedení je celkové využití energie obsažené v palivu stále nedokonalé. Důvodem jsou ztráty v jednotlivých soustavách a částech spalovacího motoru:

- chlazení 27 – 30 %;
- výfuk 30 – 34 %;
- mechanické tření a sálání 5 – 10 %;
- příslušenství motoru (pohon alternátoru, vodního čerpadla, olejového čerpadla apod.) 2 %.

To znamená, že spalovací motory pracují s účinností kolem 30 % energie obsažené v palivu (ztráty v motoru 67 – 72 %). Některé ze ztrát mohou být využitelné například jako chlazení, které může posloužit k vytápění interiéru vozidla. Odváděnou kinetickou a tepelnou energii lze využít u přepřínovaných spalovacích motorů jako pohon turbodmychadel.

Kdyby zážehový spalovací motor pracoval se 100 % účinností, který bude pohánět automobil o hmotnosti 1 000 kg, tak by mohl teoreticky spotřebovat 1,12 l benzínu na 100 km za předpokladu, že by energie v benzínu byla  $32 \text{ MJ.l}^{-1}$  (dle Přílohy č. 4 k nařízení vlády č. 173/2016 Sb.).

Na spalovací motory pracující s vysoce ztrátovou účinností má vliv charakter dopravní trasy a prostředí, ve kterém se vozidla pohybují. Tyto faktory ovlivňují jejich optimální režim. Účinnost potom bývá ještě nižší, a navíc část energie z paliva bývá ještě využita pro příslušenství motoru, osvětlení vozidla, asistenční a bezpečnostní systémy, nebo pro komfortní zařízení vytvářející optimální podmínky pro řidiče a cestující. Důležitý je také technický stav automobilu, který bývá u vozidel se starším datem výroby nebo s více najetými kilometry, náchylnější k technickým problémům, kde mohou vznikat další energetické ztráty v účinnosti motorů. [4, 12]

### 1.4.2 Spotřeba paliva s produkcí CO<sub>2</sub>

Spotřeba paliva u spalovacích motorů ve vozidlech se uvádí v litrech na sto kilometrů (l.100 km<sup>-1</sup>). Jedná se především o hodnotu průměrné spotřeby paliva. Zvyšuje se provozem motoru při volnoběžných otáčkách, nižších převodových stupních, přetížení na vyšší převodové stupně, periodickém brzdění a opětovném rozjíždění. Spalovací motor při volnoběžných otáčkách spotřebuje 0,5 l.h<sup>-1</sup> až několik litrů paliva za hodinu. Každý spalovací motor má odlišnou spotřebu. Důvodem je několik podstatných faktorů:

- zdvihový objem a výkon motoru;
- druh spalovaného paliva;
- příprava, řízení a druh vstřikování směsi paliva;
- technický stav motoru a příslušenství;
- činnost příslušenství vozidla a osvětlení;
- jízdní odpory vozidla;
- hmotnost vozidla, cestujících, nákladu;
- mentalita a dovednosti řidiče;
- kongesce v dopravě;
- charakter dopravní trasy atd.

Důležitým faktorem ve zvýšení spotřeby paliva je hmotnost vozidla, která se za posledních 20 let průměrně zvýšila o 43 %. K tomu přispívají i zvyšující se počty osobních automobilů se vznětovými motory. Rostou také počty užitkových vozidel a celková spotřeba motorové nafty.

Energie potřebná k pohybu vozidel neustále roste v podobě spotřebovaného paliva a s tím související emise skleníkového plynu CO<sub>2</sub>. Právě oxid uhličitý má již zmiňovanou přímou vazbu se spotřebou pohonných hmot. Pan Ing. Ivo Celjak CSc. uvádí v časopise Energie21: „Při spotřebě benzínu pět litrů na 100 kilometrů vytvoří motor automobilu emise  $5 \times 23,21 = 116$  g CO<sub>2</sub> na jeden kilometr. Výpočet je založen na emisních faktorech vycházejících z chemických rovnic spalování benzínu a motorové nafty, které vyjadřují obsah uhlíku v palivu.“ [4]

Z toho vyplývá, že zážehový motor malého automobilu vyprodukuje průměrně na jeden kilometr 115 g CO<sub>2</sub>. Oproti tomu zážehový motor velkého automobilu vyprodukuje průměrně na jeden kilometr 185 g CO<sub>2</sub>. Tudíž malý automobil s nižší spotřebou vyprodukuje o 70 g CO<sub>2</sub> méně než velký automobil se zážehovým motorem,

který bude představovat zmiňovanou vyšší celkovou hmotnost automobilu a parametry motoru. [4, 18]

Pro všeobecný přehled produkce emisí oxidu uhličitého na jeden kilometr ze zážehového a vznětového motoru slouží jednoduchý výpočet tímto vzorcem:

$$\text{průměrná spotřeba} = \emptyset \text{ spotřeba} \times k_{BE (MN)} \quad (\text{g CO}_2 \cdot \text{km}^{-1})$$

kde:

$\emptyset$  spotřeba – průměrná spotřeba automobilu na 100 kilometrů

$k_{BE}$  – součinitel benzínu 23,21

$k_{MN}$  – součinitel motorové nafty 26,63. [5]

Nejvíce oxidu uhličitého na jeden kilometr vyprodukuje v silniční dopravě vozidla se spalovacími motory, respektive se vznětovými motory, které spalují motorovou naftu. Pokud by jsme však s automobilem se spalovacím motorem porovnali chodce nebo cyklistu, kteří se dokáží přemístit z bodu A do bodu B, jejich produkce CO<sub>2</sub> bude proti spalovacímu motoru minimální.

Na dopravní trase, která měří 10 kilometrů vyprodukuje dnešní automobil se spalovacím motorem až 2 000 g CO<sub>2</sub>. Novodobé úsporné vznětové motory se systémem vstřikování Common Rail mohou průměrně produkovat 940 g CO<sub>2</sub> na 10 kilometrů. Tato hodnota je pouze teoretická, protože záleží na mnoha faktorech ovlivňující spotřebu vozidla a produkci emisí.

Chodec, který půjde rychlostí 5 km.h<sup>-1</sup> v čase 2 hodiny urazí vzdálenost 10 kilometrů, vyprodukuje do ovzduší 122 g CO<sub>2</sub> a cyklista, který dosáhne stejné vzdálenosti za čas 47 minut rychlostí 10 km.h<sup>-1</sup>, vyprodukuje pouhých 53 g CO<sub>2</sub>.

Důvod je jednoznačný, protože cyklista vyprodukuje stejné množství CO<sub>2</sub> jako chodec (za předpokladu, že nebude zrychleně dýchat), ale dopravní trasu o stejné vzdálenosti ujede za méně než polovinu času. V porovnání automobil se spalovacím motorem musí na dopravní trase uvést a udržovat v pohybu stovky kilogramů, které tvoří velkou spotřebu energie v podobě spalování paliva a tím chemickou produkci skleníkového plynu CO<sub>2</sub>. [32]

### 1.4.3 Sbírka zákonů č. 173/2016

Spotřeba pohonných hmot automobilů především osobních je dána nařízením vlády ze dne 11. května 2016 o stanovení závazných zadávacích podmínek pro veřejné zakázky na pořízení silničních vozidel.



Příloha č. 1 k nařízení vlády č. 173/2016 Sb. obsahuje minimální emisní limity EURO stanovené pro kategorie vozidel N.

**Tabulka 4 - Kategorie vozidel M podléhající daným emisním normám EURO [48]**

<b>Kategorie vozidel M - motorová vozidla, která mají nejméně 4 kola a používají se pro přepravu osob</b>	
M1 - vozidla, která mají nejvýše 8 míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, nebo víceúčelová vozidla	EURO 6
M2 - vozidla, která mají více než 8 míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž nejvyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 5 000 kg	EURO V
M2 - vozidla, která mají více než 8 míst k přepravě osob, kromě místa řidiče, a jejichž největší přípustná hmotnost převyšuje 5 000 kg	EURO V

Příloha č. 2 k nařízení vlády č. 173/2016 Sb. obsahuje maximální spotřebu pohonných hmot pro kombinovaný provoz u vozidel kategorie M1 s výjimkou terénních vozidel, vozidel s právem přednosti jízdy podle zákona o silničním provozu nebo podle nařízení vlády, kterým se stanoví další vozidla, která mohou být vybavena zvláštním zvukovým výstražným zařízením doplněným zvláštním výstražným světlem modré barvy a vozidel zpravodajských služeb České republiky. [48]

**Tabulka 5 – Rozdělení vozidel dle výkonu spalovacího motoru a hmotnosti s předepsanou hodnotou spotřeby (l.100 km<sup>-1</sup>) [48]**

Výkon motoru	Největší technicky přípustná/povolená hmotnost	Spotřeba benzínu (l.100 km <sup>-1</sup> )	Spotřeba motorové nafty (l.100 km <sup>-1</sup> )
Vozidla o výkonu do 60 kW včetně	-	5,0	4,2
Vozidla o výkonu od 60 kW do 80 kW včetně	Do 1 800 kg včetně	5,3	4,7
	Od 1 801 kg do 3 000 kg včetně	6,4	5,2
	Nad 3 001 kg včetně	6,7	6,0
Vozidla o výkonu od 81 kW do 120 kW včetně	Do 1 800 kg včetně	6,5	5,8
	Od 1 801 kg do 3 000 kg včetně	6,8	6,2
	Nad 3 001 kg včetně	7,1	6,7
Vozidla o výkonu nad 121 kW	-	7,3	6,8

#### 1.4.4 Stanovení spotřeby energie podle NEDC a WLTP

Měření spotřeby energie se provádí dle homologačních testů NEDC (New European Driving Cycle - nový evropský jízdní cyklus) a WLTP (Worldwide Harmonized Light – Duty Vehicles Test Procedures - celosvětově harmonizované zkušební postupy pro lehká užitková vozidla – osobní automobily a lehké užitkové dodávkové vozy). Slouží pro nově vyrobená nebo registrovaná vozidla, která jsou testována ve speciálních zkušebnách na válcovém dynamometru, kde jsou provedeny simulace s jízdními odpory a hodnotí se výstupní data spotřeby pohonných hmot a emisí vozidel. [22]

#### NEDC

Homologační test NEDC byl založen v roce 1970 a představoval prvopočátek testů emisí v době prvních emisních limitů. Metodika testu NEDC je převážně založena na porovnávání dat z několika testovaných vozidel, kde se měřila spotřeba paliv bez ohledu na větší a přesnější rozsah faktorů působící na automobil při reálné jízdě:

- teplota ve zkušebně 20 – 30 °C;
- délka měřené trasy 11 km;
- doba měřeného cyklu 20 min ve dvou fázích:
  - simulace jízdy ve městě po dobu 13 min;

- simulace jízdy mimo město po dobu 7 min;
- průměrná rychlost 33 km.h<sup>-1</sup>;
- podíl stání 25 %;
- maximální rychlost 120 km.h<sup>-1</sup>;
- předepsané časové úseky pro manuální řazení převodových stupňů;
- klimatizace a doplňková výbava se nezohledňuje.

V roce 1997 byla provedena jeho aktualizace, přesto všem zemím nevyhovoval kvůli legislativním opatřením a požadavkům Evropské unie stále snižovat emise. Z toho důvodu byl v roce 2017 zaveden nový homologační test WLTP.

### **WLTP**

Od 1. prosince 2017 je u nových automobilů měřena spotřeba paliva a emisí výfukových plynů dle nového homologačního systému WLTP. Tento systém je postaven na nové metodice měření s vylepšenými parametry testování s dokonalejší prognózou skutečné spotřeby paliva daného vozidla. Simulace prostředí a zatížení motoru představují reálné podmínky na dopravní trase. Důležitými faktory měření je míra akcelerace s vyšší průměrnou rychlostí a maximální rychlostí, kde je vozidlo testováno ve čtyřech fázích s rozdílnými rychlostmi:

- teplota ve zkušebně 23 °C;
- délka měřené trasy 23 km;
- doba měřeného cyklu 30 min ve čtyřech fázích:
  - low (malá rychlost);
  - medium (střední rychlost);
  - high (vysoká rychlost);
  - extra – high (nadstandardně vysoká rychlost);
- průměrná rychlost 47 km.h<sup>-1</sup>;
- podíl stání 13 %;
- maximální rychlost přes 130 km.h<sup>-1</sup>;
- předepsané časové úseky řazení jsou individuálně předem vypočteny pro každé vozidlo;
- hmotnost a doplňková výbava se zahrnují do hodnocení výsledků.

Test WLTP je konfigurován nejen pro měření benzínových a vznětových pohonů vozidel, ale také alternativních pohonů LPG a CNG nebo elektromobility. Německá organizace ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil Club – Všeobecný německý

autoklub) tento homologační systém v současné době využívá k testování nových vozidel s elektrickým pohonem. [22, 23, 35]

#### **1.4.5 Vznik CO<sub>2</sub> s opatřením ke snížení emisí ve výfukových plynech**

Oxid uhličitý vzniká v oxidačním nebo oxidačně redukčním (třicestném) katalyzátoru u zážehových motorů přeměnou oxidu uhelnatého CO a uhlovodíků HC. S přeměnou společně s CO<sub>2</sub> vzniká také vodní pára H<sub>2</sub>O.

CO<sub>2</sub> může tvořit výstupní hodnotu až 14,7 % při spalování stechiometrické směsi (14,7:1 kg to znamená 14,7 kg vzduchu na 1 kg paliva). Spalování stechiometrické směsi se označuje také jako dokonalé spalování. Pokud je hodnota CO<sub>2</sub> ve výfukových plynech nižší jak 14,7 % a hodnoty CO a HC jsou také nízké, důvodem může být netěsnost ve výfukové soustavě a obohacenost výfukových plynů okolním vzduchem. V případě, že hodnota CO<sub>2</sub> je 14,7 % nebo vyšší, značí to dobrou funkci katalyzátoru s účinností až 99 %. [10, 16, 18]

V minulosti se emise výfukových plynů (polétavé částice PM, oxidy dusíku NO<sub>x</sub> a producenti vzniku CO<sub>2</sub> jako HC a CO) snižovaly emisními limity především u nových osobních vozidel na jeden kilometr a u užitkových vozidel na kWh výkonu motoru.

V současné době jsou moderní automobily se spalovacími motory vybaveny elektronickými řídicími systémy a zařízeními v přípravě stechiometrické směsi a v úpravě výfukových plynů. Pro nízké emise je důležité, aby byla vždy dávkována stechiometrická směs a to i za podmínek:

- odlišného složení paliva a jeho vlastnostech, viskozitě a vstřikovaného množství v závislosti na teplotě;
- hmotnosti nasávaného vzduchu a jeho hustotě v závislosti na teplotě, vlhkosti a barometrickém tlaku;
- přesnosti snímačů, která může být postupem času nižší;
- technického stavu soustavy vstřikování, motoru a přidružených zařízení;
- provozních režimů motoru a jeho konstrukčních parametrů.

Všechny tyto shrnuté podmínky určují vzájemné poměry mezi jednotlivými emisními složkami ve výfukových plynech. Jejich složení záleží také na katalyzátoru a jeho teplotě, konstrukci a technickém stavu, který definuje jeho účinnost. V případě dokonalého spalování stechiometrické směsi a použití třicestného katalyzátoru může

docházet téměř k nulovým škodlivým emisím, ale nikoliv k produkci skleníkového plynu CO<sub>2</sub>, který se katalyticky neodstraní. [18]

#### 1.4.6 Euro normy emisních limitů

Každé vozidlo se spalovacím motorem musí splňovat danou Euro normu dle roku výroby a požadavků emisních limitů, které se vztahují na nově vyrobená vozidla s deklarovanou životností, která je nižší než skutečná a přesně definovaným jízdním cyklem v laboratorních podmínkách.

Emisní norma definuje, kolik může vyprodukovat vozidlo množství emisních složek (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM v g.km<sup>-1</sup>). V České republice jsou hodnoty upraveny zákonem č. 56/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů, které vycházejí z norem Evropské hospodářské komise EHK a Evropského společenství (ES). [19]

**Tabulka 6 – Zavedené emisní Euro normy v jednotlivých letech [19, 25]**

<b>Rok</b>	<b>Euro norma</b>
1992	I
1992	II
2000	III
2005	IV
2009	V
2014	VI
2020	VII

V Evropě se emisní normy Euro nově vyrobených vozidel stanovují dle homologačního testu WLTP (dříve NEDC, viz kapitola 1.4.3 Stanovení spotřeby energie podle NEDC a WLTP), podle kterého musí vozidlo v jednotlivých jízdních režimech splnit emisní limity.

Od roku 2014 se začaly výrazně zpřísnovat emisní limity pro výrobce nových vozidel. Požadavky byly kladeny na snížení produkovaných zdravotně závadných emisních složek včetně CO a HC s výslednou složkou skleníkového plynu CO<sub>2</sub>. Emisní norma Euro 6 se rozděluje do několika skupin. V roce 2014 vznikla norma Euro 6b a v roce 2017 vznikly další tři normy Euro 6c, Euro 6d a Euro 6d-TEMP.

Euro 6b a Euro 6c jsou dvě skupiny norem, které vzájemně definují stejná kritéria emisních limitů. Tyto normy zpřísnují limity pevných částic PM u zážehových a vznětových motorů.

Euro 6d a 6d-TEMP vznikly v roce 2018 a v průběhu let 2018 – 2020 obsahují ještě dalších šest emisních norem, které kombinují homologační testy spotřeby paliva

se zkouškou v reálném provozu tzv. RDE. Normy definují emitaci emisní složky  $\text{NO}_x$  a jeho limit u spalovacích motorů. [18, 33]

Emisní norma Euro 7 platí pro vozidla vyrobená po roce 2020. Evropská unie stanovila hodnotu limitu skleníkového plynu  $\text{CO}_2$  na hranici  $95 \text{ g.km}^{-1}$ . Tato hranice odpovídá spotřebě 4,06 l benzínu a 3,54 l motorové nafty na 100 kilometrů. Tento přísný limit donutí výrobce automobilů vyvíjet nové komplikované a nákladné technologie, které se promítnou i na ceně nového automobilu a jeho servisu. Tím bude dostupný menšímu okruhu uživatelů. Z toho důvodu by mohly automobily se vznětovými motory začít ustupovat do pozadí a přednost by dostaly ve větší míře alternativní pohony. [25]

## **1.5 Hospodárnost spotřeby energie dopravních zařízení**

Hospodárnost lze definovat jako účinnost dopravního zařízení, na které působí faktory ovlivňující spotřebu energie obsažené v palivu pohonných hmot. Ta může být ovlivněna vozidlem a jeho technologickým vývojem a konstrukcí. Dalším faktorem je řidič a jeho mentalita a praktické zkušenosti s ovládáním dopravního zařízení, které se pohybuje po charakteristické dopravní trase s vlivem okolních podmínek a prostředí. Všechny tyto faktory na sebe společně navazují a tvoří tak uzavřený systém podílející se na hospodárnosti dopravních zařízení, respektive vozidel.

### **1.5.1 Vozidlo s jízdními odpory**

Každé nové vyrobené vozidlo má technologii, která má minimalizovat spotřebu pohonných hmot. Výrobci se snaží konstruovat motory s malými zdvihovými objemy a turbodmychadly, převodovky pro minimální tření mezi ozubenými koly, vyvíjet technologie vstřikování a řízení směsi, testují rozmanité prvky karoserií pro lepší obtékání vzduchu, aby ve všech jízdních režimech vozidlo spotřebovalo co nejmenší množství energie.

Během jízdy na vozidlo působí fyzikální síly, které lze pouze minimalizovat, ale nikoliv odstranit. Tyto síly se nazývají jízdní odpory a působí na všechna dopravní zařízení proti jejich pohybu. Jízdních odporů je několik:

1. odpor valivý;
2. odpor vzduchu;
3. odpor stoupání;
4. odpor zrychlení;

5. odpor (tření) mezi ozubenými koly;
6. odpor přívěsu.

### **1. Odpor valivý**

Vozidlo se prostřednictvím pneumatik dotýká vozovky (terénu) a přenáší na její povrch případně terénu síly (tíhová, hnací, brzdná síla a vedení vozidla) a naopak.

Účel pneumatiky je uvést vozidlo do pohybu, přenést síly a umožnit prvotní odpružení při přejezdu nerovnosti. Musí umožnit vozidlu akceleraci, zatočení, brzdění, jízdu s konstantní rychlostí, a to za všech okolních a klimatických podmínek. Měla by zajistit dostatečný styk s povrchem vozovky bez produkce hluku, vibrací a splnit požadavky bezpečnosti.

Velikost valivého odporu záleží na deformaci boků, ramen a konstrukci pneumatiky, stlačováním podložky pod kolem, vytvářením klínu před kolem u měkkého povrchu terénu a nahuštění pneumatiky. Podhuštění pneumatik na vozidle výrazně zvýší odpor valení. Pneumatika by měla být nahuštěna na tlak předepsaný výrobcem.

### **2. Odpor vzduchu**

U odporu vzduchu záleží na velikosti plochy a aerodynamice karoserie vozidla, kterou testují výrobci ve speciálních tunelech a pozorují simulační modely obtékání a víření vzduchu při určitých rychlostech. Na základě těchto modelů vymodelují karoserie s ideálním obtékáním vzduchu a optimální aerodynamikou vozidla.

Odpor vzduchu je síla, která působí proti pohybu vozidla. Na velikost síly mají vliv okolní podmínky (vítr) a zvyšující se rychlost vozidla s narůstající hustotou vzduchu. Tento parametr se mění s druhou mocninou.

### **3. Odpor stoupání**

Odpor stoupání vzniká při podélné jízdě vozidla do svahu. Velikost určuje tíha vozidla. V těchto zeměpisných šířkách se vyskytuje stoupání 10 – 12 %, ve vysokohorských oblastech může být stoupání ještě vyšší.

Tento odpor bývá ve většině případech největší ze všech jízdních odporů. U vozidla, které jede do svahu může v některých jízdních situacích (akcelerace) nastat prokluz a ztráta adheze mezi vozovkou a pneumatikou. Z toho důvodu jsou ve vozidle asistenční (stabilizační) systémy ASR a ESP.

#### **4. Odpor zrychlení**

Odpor zrychlení definuje setrvačnost sil, které vznikají při náhlé změně rychlosti. Pokud vozidlo zrychluje, setrvačná síla odporu zrychlení působí proti vozidlu a pokud vozidlo deceleruje, působí síla po směru jízdy vozidla.

Velikost síly se odvíjí od hmotnosti vozidla a jeho zrychlení, setrvačného momentu rotačních částí vozidla a dynamického poloměru kola.

#### **5. Odpor (tření) mezi ozubenými koly**

U vozidla s automatickou a manuální převodovkou, rozvodovkou a diferenciálem působí mezi ozubenými koly tření, respektive mechanické ztráty. Tyto ztráty třením se také týkají ložisek v motoru a proudícího oleje ve zmiňovaných převodových zařízeních.

#### **6. Odpor přívěsu**

V případě, že vozidlo za sebou táhne přívěs působí při tahu v ose síla mezi vozidlem a přívěsem. Zmiňované jízdní odpory působící na vozidlo, působí také na přívěs. Výjimkou tvoří odpor vzduchu, který se určuje jako celkový pro jízdní soupravu (vozidlo + přívěs). [14]

### **1.5.2 Vliv řidiče**

Na hospodárné jízdě dopravního zařízení se ve velké míře podílí řidič (obsluha). Zmiňované technologie a prostředky pro snížení spotřeby energie dopravního zařízení nebudou natolik účinné, pokud řidič nebude bezpečně a efektivně plnit svoji úlohu obsluhy dopravního zařízení.

Každý řidič má svoji kvalitu. Jeho schopnosti a dovednosti mohou výrazně zvýšit hospodárnost a bezpečnost jízdy. Záleží na mnoha jeho vlastnostech, které postupem času získal a se kterými se narodil. Takové vlastnosti mohou představovat přizpůsobení jízdy vozidla okolním podmínkám (jízda v jednotlivých ročních obdobích, charakter dopravní trasy), mentální kapacita, cit pro danou situaci, praxe, odolnost vůči únavě, stresu a samozřejmě dobrý zdravotní stav.

Každý řidič musí podstoupit odborný výcvik daného řidičského oprávnění a získat základní zkušenosti pro obsluhu dopravních zařízení. To běžnému řidiči umožní obsluhovat vozidlo, kterým se dopraví do práce, dovolenou, přepraví náklad pro vlastní potřeby apod. Profesionální řidiči obsluhující převážně nákladní vozidla musejí podstoupit k danému řidičskému oprávnění ještě speciální školení a zkoušku, jako je bezpečnost a ekonomika jízdy (hospodárnost) ve všech jízdních situacích. Vzhledem



k tomu, že firmy a společnosti zaměstnávající profesní řidiče, apelují na úspory energií pohonných hmot, a proto mají zkoušky posílit řidičovi zkušenosti a dovednosti především v těžké nákladní dopravě s důrazem na bezpečnost. [6, 17]

### **1.5.3 Charakter dopravní trasy s vlivem prostředí**

Dopravní trasa představuje vystavěné a vyznačené místo v prostředí, které je určeno pro bezpečný pohyb dopravních zařízení a prostředků v jednom nebo více směrech. Může se křížit, být v podzemí (tunely) a přemostěna přes řeku nebo vodní nádrž pro nepřetržitou dopravu. Podle Zákona o pozemních komunikacích č. 13/1997 se uvádí v § 2 následující rozdělení pozemních komunikací:

1. dálnice;
2. silnice;
3. místní komunikace;
4. účelová komunikace.

#### **1. Dálnice**

Dálnice představuje pozemní komunikaci určenou pro rychlou převážně dálkovou a mezinárodní dopravu osobních a nákladních vozidel s legislativním omezením maximální rychlosti mimo obec  $130 \text{ km.h}^{-1}$  a v obci  $80 \text{ km.h}^{-1}$ . Od roku 2016 spadá do této kategorie silnice pro motorová vozidla s legislativně upravenou maximální rychlostí mimo obec  $110 \text{ km.h}^{-1}$ .

#### **2. Silnice**

Silnice jsou nejrozšířenější kategorií tvořící silniční síť pozemních komunikací pro veřejnou dopravu osobních a nákladních vozidel. Rychlost je legislativně upravena mimo obec  $90 \text{ km.h}^{-1}$  a v obci  $50 \text{ km.h}^{-1}$ . Užit je mohou i chodci v rámci zákona č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích. Silnice se dělí podle normy ČSN 73 6101 do několika tříd:

- a) silnice I. třídy – rychlostní silnice dálkové a mezinárodní dopravy;
- b) silnice II. třídy – silnice pro dopravu mezi okresy;
- c) silnice III. třídy – silnice spojující obce s napojením ostatních pozemních komunikací.

#### **3. Místní komunikace**

Místní komunikace mohou tvořit ulice, nábřeží, náměstí, parkoviště a silnice s přilehlými chodníky nebo rychlostní silnice i když z právního hlediska se za silnice nepovažují. Dělí se do několika tříd podle významu a stavebnímu charakteru:

- a) místní komunikace I. třídy – rychlostní komunikace v okolí měst;
- b) místní komunikace II. třídy – komunikace spojující části měst nebo komunikace vyšší třídy;
- c) místní komunikace III. třídy – obslužná komunikace přístupná vozidlům ve městech nebo obcích k jednotlivým objektům;
- d) místní komunikace IV. třídy – chodníky, stezky pro pěší, cyklistické stezky, podchody, zklidněné komunikace pro smíšený provoz.

#### **4. Účelová komunikace**

Účelová komunikace dle § 7 Zákona o pozemních komunikacích (13/1997 Sb.) označuje pozemní komunikaci, která slouží pro spojení mezi nemovitostmi daných vlastníků, nebo přístup k obhospodařovaným zemědělským nebo lesnickým pozemkům. Dělí se na polní a lesní cesty:

- a) polní cesty – slouží především pro zemědělskou dopravu, ale mimo jiné také jako stezka pro cyklisty nebo chodce a napojení na síť silnic (místních a účelových komunikací). Podle normy ČSN 73 6109 se dělí na hlavní, vedlejší a doplňkové polní cesty. Rozdíl mezi těmito třemi třídami je v šířce 3 - 7 m s doporučenou rychlostí do 50 km.h<sup>-1</sup>.
- b) lesní cesty – slouží především pro lesní dopravu lesního hospodářství a jako turistické nebo veřejné stezky. Podle normy ČSN 73 6108 se dělí do čtyřech tříd. Rozdíl mezi lesní cestou I., II., III. a IV. třídy je v šířce 1,5 - 4 m, s podélným sklonem 10 – 12 % a se zpevněným i nezpevněným povrchem.

Na každé z této kategorie dopravních tras a jejich tříd může být hospodárnost dopravních zařízení značně odlišná, především u dopravních tras nižších tříd, kde může být malá plynulost provozu s častým přerušením jízdy s vyhnutím se protijedoucímu vozidlu v souvislosti s malou šířkou silnice a hustotou provozu. Ta bude mít velký vliv také ve městech především na křižovatkách. Záleží také na vlastnostech povrchu, stoupání, podélném sklonu, povětrnostních vlivech v otevřeném prostředí nebo na mostech v součinnosti s jízdními odpory a na legislativních omezení, kde může být například upravena maximální povolená rychlost, nebo úplné zastavení vozidla s následným rozjezdem na úseku, kde bude docházet k opravám komunikace. Tato jízdní situace a výše uvedené faktory výrazně sníží hospodárnost energie paliva dopravních zařízení a zvýší produkci skleníkového plynu CO<sub>2</sub>. [6, 26]

## 2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je měření a stanovení emisní složky CO<sub>2</sub> v návaznosti na průměrnou spotřebu paliva měřeného automobilu s vlivem jízdních odporů.

Pro splnění cíle byl vybrán osobní automobil Mitsubishi Space Star se zážehovým motorem. Měření probíhalo ve třech měřených jízdách třemi jízdními režimy (pomalá, normální a sportovní jízda) na pěti úsecích vybrané dopravní trasy v kategorii silnice III. třídy s charakterem rozmanitých převýšení a rovinného úseku.

Vypočtené výsledky jízdních odporů, průměrné spotřeby a produkce CO<sub>2</sub> automobilu v každém dílčím úseku a režimu jsou diskutovány a vyhodnoceny v kapitole diskuse a v závěru práce.

### 3 Metodika

Metodika diplomové práce definuje stanovení emisní složky CO<sub>2</sub> z vybraného osobního automobilu Mitsubishi Space Star se spalovacím motorem. Měření probíhalo na vybraném charakteristickém úseku dopravní trasy v závislosti na jízdních odporech automobilu.

S automobilem byly provedeny měřené jízdy ve třech jízdních režimech (pomalá jízda, normální jízda, sportovní jízda), které byly stanoveny rozsahem otáček motoru s odpovídající rychlostí. Sledovala se aktuální spotřeba dopravního zařízení, která se měnila dle charakteru úseku dopravní trasy s jízdními odpory automobilu a počtem otáček motoru.

Data aktuální spotřeby, otáček motoru a rychlosti automobilu byla zaznamenávána dvěma kamerami pro následné zpracování záznamu a výpočet množství vyprodukovaného oxidu uhličitého z měřeného vozidla.

#### 3.1 Měřený osobní automobil

Pro měření spotřeby v návaznosti na produkci oxidu uhličitého byl vybrán osobní automobil japonské automobilky Mitsubishi Space Star na základě uváděné nízké hmotnosti a spotřeby s nízkou produkcí CO<sub>2</sub> splňující přísné emisní limity. Automobil byl zapůjčen ze společnosti Autoprofi s.r.o. v Českých Budějovicích.

##### 3.1.1 Technická specifikace Mitsubishi Space Star

Do automobilu jsou dodávány dva typy řadových zážehových motorů se třemi válci, dvanácti ventily a zdvihovým objemem 1,0 nebo 1,2 MIVEC, který spadá do základní emisní normy Euro 6d-TEMP. Měřený automobil poháněl motor o zdvihovém objemu 1 193 cm<sup>3</sup> s výkonem 59 kW při 6 000 ot.min<sup>-1</sup>, krouticím momentem 106 Nm při 4 000 ot.min<sup>-1</sup> se systémem MIVEC (Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control systém – Mitsubishi inovativní elektronický systém časování ventilů). Tento systém definuje efektivnější práci především sacího a výfukového ventilu, které jsou ovládané vačkou s rozvodovým mechanismem (SOHC – vačková hřídel s rozvodovým mechanismem jsou umístěny v hlavě válců), kde dochází k regulaci časů otevření a zavření dle otáček motoru. Tento systém výměny směsi paliva společně s řízeným spalováním směsi a nízkým třením pohyblivých částí v motoru tvoří technologii pro nižší spotřebu paliva s nižší produkcí výfukových emisí především CO<sub>2</sub> a relativně vysoký výkon vůči objemu motoru.

Výrobce dodává ke slabší motorizaci pěti stupňovou manuální převodovku s krátkými převody a optimálním odstupňováním. Tato převodovka je dodávaná také pro silnější motorizaci Mitsubishi Space Star 1,2 MIVEC společně s možností druhé varianty převodovky INVECS – III CVT (automatická převodovka).

V automobilu je také zabudován systém AS&G (systém start – stop) pro vypnutí motoru v případě přerušení jízdy a zastavení vozidla. V případě uvolnění brzdového a sešlápnutí spojkového pedálu je motor uveden do činnosti. Výrobce uvádí, že společně se systémem MIVEC snižuje spotřebu a emise. Uváděná hodnota průměrné spotřeby u silnější motorizace je 4,9 l na 100 km s produkcí CO<sub>2</sub> do 100 g.km<sup>-1</sup>. [24, 41]

**Tabulka 7 – Technická data měřeného automobilu Mitsubishi Space Star 1,2 MIVEC [24]**

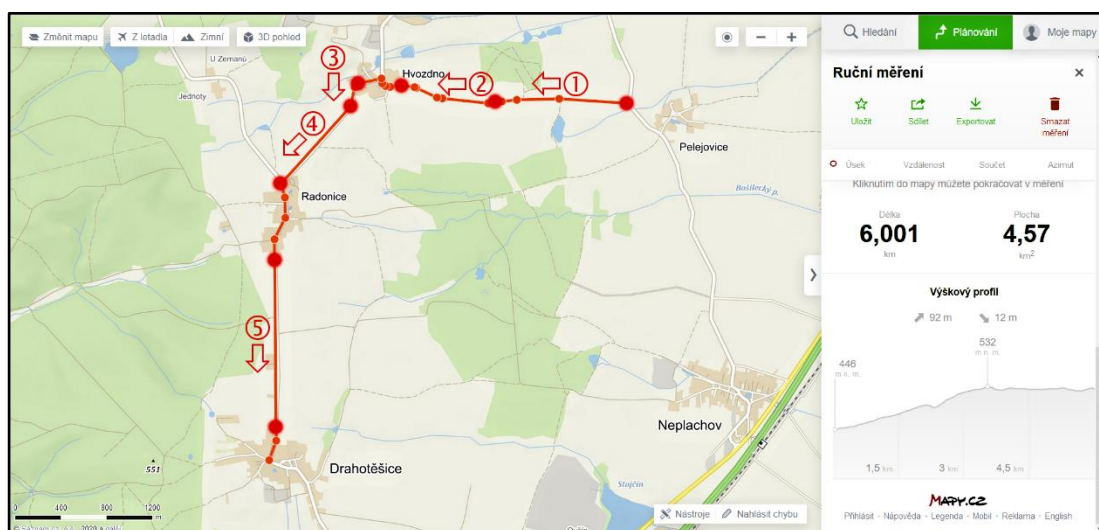
TECHNICKÁ DATA				
<b>MODEL</b>		ZWD		
Pohon		1,2 MIVEC		
Motor	1,0 MIVEC	1,2 MIVEC		
Převodovka	SMT	SMT	INVECS-III CVT	
	-	AS&G	AS&G	
Výbavový stupeň	ENTRY	INFORM	INVITE	
<b>MOTOR</b>				
Typ (kód)	12ventilový řadový zážehový tříválec DOHC MIVEC (3A90)		12ventilový řadový zážehový tříválec DOHC MIVEC (3A92)	
Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	999		1193	
Vrtání x zdvih [mm]	75,0 x 75,4		75,0 x 90,0	
Kompresní poměr	11,5		11,0	
Úroveň emisí	EURO 6d TEMP EVAP-ISC			
Max. výkon (čistý EEC) [kW (k) / ot / min]	52 (71) / 6 000		59 (80) / 6 000	
Max. točivý moment [Nm / ot / min]	88 / 5 000		106 / 4 000	
Typ paliva	Bezolovnatý benzin (RON95)			
Objem palivové nádrže [l]	35			
<b>JÍZDNÍ VÝKONY A SPOTŘEBA</b>				
Max. rychlost [km / h]	172		180	173
Zrychlení (0 - 100 km / h) [s]	16,7		12,7	13,5
Kombinovaná spotřeba paliva* [l / 100 km]	4,6		4,9	
Emise CO <sub>2</sub> kombinovaný provoz* [g / km]	105 - 106		111 - 112	
<b>ROZMĚRY A HMOTNOSTI</b>				
Celková délka [mm]			3 795	
Celková šířka [mm]			1 665	
Celková výška [mm]			1 505	
Rozvor kol [mm]			2 450	
Rozchod kol vpředu / vzadu [mm]			1 430 / 1 415	
Světlá výška [mm]			150	
Provozní hmotnost [kg]	940	945	950	980
Největší tech. přípustná hmotnost [kg]	1 290		1 340	1 370
Minimální poloměr otáčení [m]			4,6	
Objem zavazadlového prostoru [l]			235	
Počet míst [osob]	5		7	
<b>PNEUMATIKY A DISKY</b>				
Přední a zadní	165 / 65 R14 79S			
Rozměr a typ disků	Ocelové 4,5 J x 14 ET46 (ENTRY, INFORM) slitinové 4,5 J x 14 ET46 (INVITE)			
<b>SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ROZMĚRŮ</b>				
Všechny údaje jsou uvedeny v milimetrech. * Hodnoty byly zjištěny dle normy WLTP a následně přepočteny na hodnoty dle normy NEDC				

Výrobce Mitsubishi vyrobil designový automobil v koncepci hospodárného a nízkoemisního provozu s nízkou provozní hmotností, malými vnějšími rozměry a poloměrem otáčení pro komfortní jízdu ve městech, ale i mimo město. Vedle zmiňovaných technologií pro dosažení nízké spotřeby a emisí má automobil také několik asistenčních systémů aktivní bezpečnost jako EBD, ESP, ABS (automatická regulace brzdného účinku, stabilizační a antiblokovací systém kol) nebo systém pomáhající při rozjezdu ve stoupání vhodný pro řidiče s nižší ovládací citlivostí a zkušenostmi. Automobil je také vybaven palubní led signalizací hospodárné jízdy informující obsluhu o režimu jízdy s odpovídající spotřebou. [24]

### 3.2 Stanovená dopravní trasa

Pro měření produkce emisní složky CO<sub>2</sub> v závislosti na jízdních odporech automobilu Mitsubishi byla stanovena dopravní trasa na úseku silnice III. třídy spojující obce Pelejovice, Hvozdná, Radonice a Drahotěšice. Tato trasa byla vybrána z důvodu minimálního provozu a charakteru jednotlivých úseků vyhovující měření s asfaltovým povrchem.

Na webu mapy.cz proběhlo ruční měření délky jednotlivých úseků s převýšením nebo klesáním v metrech prostřednictvím nástrojů měření vzdálenosti. Dopravní trasa byla rozčleněna na pět měřených úseků mezi obcemi s různými vzdálenostmi, hodnotami stoupání a klesání.



**Obrázek 5 – Měření na dopravní trase kategorie silnice III. třídy s rozčleněním na měřené úseky [39]**

Jednotlivé úseky s délkou a převýšením jsou uvedeny v tabulce 11 na straně 54 v kapitole 4.2 Naměřené hodnoty.

### **3.2.1 Úsek č. 1 Pelejovice - Hvozdno**

Měření započalo úsekem č. 1 na hranici křižovatky za obcí Pelejovice směrem k obci Hvozdno. Tento úsek byl charakteristický minimálním převýšením a vzhledem k jeho rovinnému charakteru byl ideální pro rozjezd do požadovaných otáček a rychlosti s využitím všech pěti převodových stupňů automobilu. Konec úseku tvořila levotočivá a následně pravotočivá zatáčka tzv. „šikana“, za kterou následoval měřený úsek č. 2.

### **3.2.2 Úsek č. 2 Pelejovice - Hvozdno**

Navazující úsek č. 2 tvořila rovina s následnou mírnou pravotočivou zatáčkou s pozvolným přechodem do levotočivé zatáčky, kde měřený úsek končil a začínala obec Hvozdno. Tento úsek byl charakteristický pro udržení konstantní rychlosti v zatáčkách ve všech třech jízdních režimech automobilu. Vzhledem ke snížení rychlosti před „šikanou“ bylo nutné při vjezdu do úseku č. 2 opět zrychlovat do požadovaných otáček a rychlosti automobilu.

### **3.2.3 Úsek č. 3 Hvozdno - Radonice**

Konec obce leží ve výrazném stoupání, kde probíhalo měření na úseku č. 3. Úsek byl charakteristický náhlým stoupáním (největší převýšení na měřené dopravní trase) při výjezdu z obce s levotočivou zatáčkou a následnou rovinou s délkou pouhých 150 m bylo nutné zrychlovat z 50 km.h<sup>-1</sup>. Zde byl největší jízdní odpor stoupání na celé měřené dopravní trase. Měřený úsek končil pravotočivou zatáčkou.

### **3.2.4 Úsek č. 4 Hvozdno - Radonice**

Navazující úsek č. 4 tvořil plynulé stoupání o délce 900 m se zakončením na hranici obce Radonice. Na úseku bylo s automobilem v režimu pomalé a normální jízdy zrychlováno a následně byla udržována požadovaná rychlost na pátý rychlostní stupeň. V režimu sportovní jízdy bylo zrychlováno v rozsahu celého úseku.

### **3.2.5 Úsek č. 5 Radonice - Drahotěšice**

Poslední úsek č. 5 byl nejdelší a nacházel se mezi obcí Radonice a Drahotěšice. Charakter úseku č. 5 tvořil rovinu s nulovým převýšením a mírným klesáním na konci měření. U každého jízdního režimu automobilu bylo zrychlováno při výjezdu z obce Radonice na požadované otáčky motoru a rychlost automobilu s výjimkou sportovního režimu jízdy, kde bylo zrychlováno v celém rozsahu měřeného úseku a dosažena tak maximální možná rychlost automobilu vzhledem k podmínkám daného úseku s odpovídajícími otáčkami motoru.

### **3.3 Stanovené jízdní režimy automobilu**

Měřené jízdy byly provedeny ve třech režimech se stanoveným limitem otáček motoru a rychlosti automobilu v dílčích úsecích na vybrané dopravní trase.

#### **3.3.1 Pomalá jízda**

Byla definována jako nejhospodárnější jízda automobilu na dopravní trase s otáčkami motoru do 2 500 ot.min<sup>-1</sup> a maximální rychlostí v jednotlivých úsecích do 90 km.h<sup>-1</sup> mimo obce. Rozjezd automobilu byl plynulý bez výrazného sešlápnutí pedálu akcelérátoru. Řazení převodových stupňů bylo také plynulé v návaznosti na stanovené otáčky motoru. Decelerováno bylo převážně motorem automobilu s podřazením převodových stupňů. Pokud to situace nebo pravidla silničního provozu vyžadovala byl automobil zastaven brzdami.

#### **3.3.2 Normální jízda**

Představovala průměrnou jízdu automobilu, který se převážně pohybuje po silnicích I., II. a III. třídy. Maximální otáčky motoru byly do 4 000 ot.min<sup>-1</sup> s rychlostí ve vybraných úsecích do 120 km.h<sup>-1</sup>. Rozjezd automobilu byl rychlejší a řazení rychlostních stupňů také. Na úsecích se zatáčkami, přejezdech mezi jednotlivými úseky nebo na křižovatkách byly využity brzdy, pokud to daná situace umožnila bylo decelerováno motorem s podřazením převodových stupňů automobilu.

#### **3.3.3 Sportovní jízda**

Definovala rychlou a dominantní jízdu na jednotlivých měřených úsecích pro maximální využití výkonu motoru s odpovídající aktuální průměrnou spotřebou paliva. Otáčky motoru dosahovaly hranice 6 000 ot.min<sup>-1</sup> a rychlost na rovinných úsecích 150 km.h<sup>-1</sup>. Rozjezd byl razantní bez citelného prokluzu kol. Řazení převodových stupňů probíhalo při stanovených otáčkách bez meziplynu. Pokud situace vyžadovala zpomalení v měřených úsecích byly využity brzdy automobilu.

### **3.4 Použitá zařízení pro měření**

Pro měření bylo použito dvou zařízení pro záznam naměřených hodnot aktuální spotřeby, otáček motoru, rychlosti vozidla a záznam dopravní trasy.



### 3.4.1 Samsung Galaxy A40

Samsung Galaxy A40 je mobilní telefon se standardními vlastnostmi ve své třídě. Jeho podstatnými funkcemi pro měření byl zadní fotoaparát pro tvorbu fotografií, a především kamera pro audio záznam s těmito technickými parametry:

- zadní fotoaparát 16 Mpx se světelností objektivu  $f/1,7$  + LED dioda;
- širokoúhlá kamera  $123^\circ$  a 5 Mpx se světelností objektivu  $f/2,2$ ;
- rozlišení 4 K ( $3840 \times 2160$  px), Full HD ( $1920 \times 1080$  px), HD ( $1280 \times 720$  px). [43]

Výsledný záznam byl uložen na microSD kartu Kingston velikosti 32 GB.

Mobilní telefon Samsung byl použit pro audio záznam aktuálních hodnot spotřeby paliva, otáček a rychlosti vozidla v jednotlivých testovaných jízdách s pořízením několika fotografií vozidla z průběhu měření.

### 3.4.2 Kamera Lamax Action x8 Electra

Kamera Lamax Action x8 Electra slouží pro audio záznam a také pořízení fotografií v relativně těžkých okolních podmínkách (outdoor, sport) s bohatým příslušenstvím poskytující široké použití. Její vestavěný LCD displej tvoří prostředí pro volby jednotlivých funkcí jako (auto) kamera, fotoaparát, černá skříňka a časosběrný záznam s nabídkou několika rozlišení:

- fotoaparát 4, 8 a 12 MPx;
- širokoúhlá kamera se záběrem  $170^\circ$ ;
- rozlišení 4 K (10 fps – snímků za sekundu), 2,7 K (15 fps), 2 K ( $1920 \times 1440$  px a 30 fps), 1080 p (60 fps), 1080 p (30 fps), 720 p (120 fps) a 720 p (60 fps). [38]

Výsledný záznam byl uložen na microSD kartu Sandisk velikosti 32 GB.

Kamerou Lamax byl pořizován audio záznam dopravní trasy v jednotlivých testovaných jízdách z důvodu stanovení měřených jízdnicích úseků s přidělením naměřených hodnot pro stanovení výpočtu hodnoty  $\text{CO}_2$  v daném úseku.

## 3.5 Podmínky a postup měření

Měření produkce  $\text{CO}_2$  proběhlo v polovině října. Povětrnostní podmínky byly příznivé. Panovalo bezvětří a teplota se pohybovala mezi  $10 - 15^\circ\text{C}$ . Vozovka měřených úseků byla suchá a bez znečištění.

Měřený osobní automobil Mitsubishi Space Star s motorem 1,2 MIVEC a pěti stupňovou manuální převodovkou byl osazen slitinovými koly 4,5 J x 14 ET 46 s pneumatikami 165/65 R14 79 S nahuštěnými na předepsaný tlak dle výrobce. Automobilu byla před samotným měřením doplněna palivová nádrž do maxima z důvodu dosažení stanovené provozní hmotnosti. Následně proběhla kontrola stavu provozních kapalin. Veškeré spotřebiče byly v průběhu měření zapnuty kvůli výkonnostnímu zatížení motoru včetně výbavy denního osvětlení.

Záznamové zařízení Samsung Galaxy A40 bylo umístěno do interiéru na sklo předních levých dveří do úrovně řídicích očí pro záznam hodnot z palubní desky. Kamera Lamax Action x8 Electra byla umístěna pod zpětné zrcátko čelního skla pro záznam jízdního režimu měřeného úseku bez narušení zorného pole řidiče.



**Obrázek 6 – Měřený osobní automobil Mitsubishi Space Star 1,2 MIVEC  
[Autor: 2019-10-17]**

Dopravní trasa s pěti měřenými úseky byla s automobilem projeta ve třech jízdních režimech. Měření započalo režimem pomalé jízdy na úseku č. 1 a skončilo na konci úseku č. 5. Následoval návrat na začátek úseku č. 1 a začalo měření v režimu normální jízdy. Stejný postup následoval i v režimu sportovní jízdy.

Vzhledem k tomu, že při měření v režimu normální a sportovní jízdy dosahovala rychlost na některých úsecích mimo obec více jak  $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  byla na nepřehledných místech těchto úseků pověřená osoba, která zabezpečovala plynulé měření a bezpečnost provozu i přesto, že na této dopravní trase byl provoz minimální.

### 3.6 Postup výpočtu

#### 3.6.1 Výpočet úhlu stoupání dílčího jízdního úseku

$$\cos\beta = h/L$$

$$\cos\beta = \text{DEGRESS} (\text{ARCCOS}(h/L)) \quad (^\circ)$$

kde:

$\cos\beta$  – poměr přilehlé odvěsny a přepony v pravou. trojúhelníku  $(^\circ)$

$h$  – převýšení dílčího úseku (m)

$L$  – délka dílčího úseku (m) [5]

#### 3.6.2 Základní vztahy pro výpočet jízdních odporů

$P_m$  – Výkon potřebný pro úhradu mechanických ztrát

$$P_m = P_e \cdot (1 - \eta_m) \cdot k_r \quad (\text{W})$$

kde:

$P_e$  – výkon motoru (W)

$\eta_m$  – mechanická účinnost

u kolových vozidel s klasickým přenosem hnací síly (0,8 – 0,9)

$k_r$  – součinitel charakteru jízdy (závisí na časové proměně otáček motoru v jízdním úseku se shodným povrchem vozovky) (0,2 až 0,9 %)

$P_v$  – Výkon potřebný (odebraný) pro překonání odporu valení

$$P_v = G \cdot (\varphi + k_p + k_u) \cdot v_p \quad (\text{na rovině s úhlem natočení kol}) \quad (\text{W})$$

$$P_v = G \cdot \cos \beta \cdot (\varphi + k_p + k_u) \cdot v_p \quad (\text{do svahu s úhlem natočení kol}) \quad (\text{W})$$

kde:

$G$  – tíha automobilu (N)

$\beta$  – úhel stoupání  $(^\circ)$

$v_p$  – rychlost jízdy automobilu (m.s<sup>-1</sup>)

$\varphi$  – součinitel odporu valení (při úhlu natočení kol 0°) (0,015 – 0,40)

$k_p$  – součinitel vlivu pneumatik

$k_u$  – součinitel vlivu na úhel natočení řídicích kol

$F_{vr}$  – Jízdní odpor valení na rovině

$$F_{vr} = G \cdot \varphi \quad (\text{N})$$

$F_{vs}$  – Jízdní odpor valení do stoupání s úhlem  $\beta$  pro jízdu v přímém směru

$$F_{vs} = G \cdot \cos \beta \cdot \varphi \cdot k_p \quad (\text{N})$$

$$G = m \cdot g \quad (\text{N})$$

kde:

$$m - \text{celková hmotnost automobilu (včetně posádky)} \quad (\text{kg})$$

$$g - \text{tíhové zrychlení na planetě Zemi} \quad (\text{m.s}^{-2})$$

$k_p$  – součinitel vlivu pneumatik

**$P_d$  – Výkon potřebný (odebraný) pro překonání prokluzu**

$$P_d = P_k - P_k \cdot \eta_m \quad (\text{W})$$

$$P_d = P_e \cdot \delta \cdot \eta_m \quad (\text{W})$$

kde:

$$\delta - \text{prokluz} \quad (\%)$$

$\eta_m$  – mechanická účinnost

**$P_s$  – Výkon ztracený překonáním svahu**

$$P_s = G \sin \beta \cdot v_p \quad (\text{W})$$

**Jízdní odpor svahu**

$$F_s = G \sin \beta \quad (\text{N})$$

kde:

$$\beta - \text{úhel stoupání} \quad (^\circ)$$

$$v_p - \text{rychlost jízdy automobilu} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

**$P_o$  – Výkon potřebný (odebraný) pro překonání odporu vzduchu**

$$P_o = F_o \cdot v_p \quad (\text{W})$$

**Jízdní odpor vzduchu**

$$F_o = S \cdot v_v^2 \cdot c_v \cdot \rho / 2 \quad (\text{N})$$

kde:

$$S - \text{čelní plocha automobilu} \quad (\text{m}^2)$$

$$c_v - \text{součinitel odporu vzduchu} \quad (0,2 - 0,4)$$

$$\rho - \text{objemová hmotnost vzduchu} \quad (1,24 \text{ kg.m}^{-3})$$

$$v_v - \text{náporová rychlost proudění vzduchu} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

$$v_v = v_p + v_z \quad (\text{m.s}^{-1})$$

kde:

$$v_p - \text{rychlost jízdy automobilu} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

$$v_z - \text{rychlost proudění vzduchu (proti vozidlu)} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

$$P_o = S \cdot v_v^2 \cdot c_v \cdot \rho / 2 \cdot v_p \quad (\text{W})$$

### Výkon potřebný (odebraný) pro překonání odporu zrychlení

$$P_z = a/g \cdot G \cdot \tau \cdot v = m \cdot a \cdot v \cdot \tau \quad (\text{W})$$

kde:

$m$  – hmotnost automobilu (kg)

$a$  – hodnota zrychlení (m.s<sup>-2</sup>)

$v$  – dosažená rychlost jízdy (m.s<sup>-1</sup>)

$\tau$  – součinitel vlivu rotačních hmot (se zvyšujícím se rychlostním stupněm se snižuje, jeho hodnota je u nízkých převodových stupňů 1,2 až 1,8 u vyšších je 1,04 až 1,07)

$G$  – tíha automobilu (N)

$G$  – tíhové zrychlení (9,81 m.s<sup>-2</sup>)

\*K součtu všech jízdních odporů v dílčím úseku byla připočtena hodnota 200 W potřebného výkonu na systém ohřevu a bezpečnosti  $P_{ob}$  (W). Vzhledem k zanedbatelné hodnotě prokluzu ve všech úsecích nebyl do výpočtu zahrnut výkon potřebný na překonání prokluzu  $P_d$  (W). [5]

### 3.6.3 Výpočet spotřeby paliva podle předpokládaného režimu jízdy ve vybraném úseku dopravní trasy

**Výhřevnost benzínu:  $Q_{MJ} = 46,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$**

Příloha č. 3 k nařízení vlády č. 173/2016 Sb. tvoří hodnoty energetického obsahu pohonných hmot pro účely společné metody pro stanovení nákladů životního cyklu silničního vozidla. Tato hodnota tvoří pro benzin 32 MJ.l<sup>-1</sup>. [5]

**Přepočet na kWh.kg<sup>-1</sup>:**

$$Q_{kWh} = Q_{MJ}/3,6 \quad (\text{kWh.kg}^{-1})$$

Benzin: 12,09 kWh.kg<sup>-1</sup>

### 3.6.4 Podklady pro výpočet CO<sub>2</sub> z kombinované spotřeby paliva

Měrné emise CO<sub>2</sub> na ujetý kilometr při spalování benzínu = 8 788 (g.galon<sup>-1</sup>)/3,7854 (přepočet z galonu na litry, tj. 2 321,5 g CO<sub>2</sub> .l<sup>-1</sup>) x měrná spotřeba (l.100 km<sup>-1</sup>)/100.

**Průměrná spotřeba benzínu (l.100 km<sup>-1</sup>)/100 x 23,21 (g CO<sub>2</sub> . l<sup>-1</sup>) = (g CO<sub>2</sub> . km<sup>-1</sup>).**

[5]

## 4 Praktická část

### 4.1 Základní parametry a stanovené hodnoty

Tabulka 8 – Základní parametry Mitsubishi Space Star

Výkon motoru $P_e$ (W)	Hmotnost včetně řidiče $m$ (kg)	Šířka vozidla $a$ (m)	Výška vozidla $b$ (m)	Čelní plocha automobilu $S$ (m <sup>2</sup> )
59 000	1 015	1,665	1,505	2,18

Tabulka 9 – Stanovené hodnoty součinitelů

Součinitel vlivu pneumatik $H_R$ $k_p$	Součinitel odporu valení pneumatik pro asfalt $\varphi$	Součinitel odporu vzduchu $c_v$	Součinitel vlivu rotačních hmot $\tau$	Součinitel charakteru jízdy $k_r$ (%)	Součinitel prokluzu $\delta$ (%)
0,01264	0,015	0,3	1,4	0,5	0,1

Tabulka 10 – Stanovené hodnoty účinnosti s vlastnostmi paliva a vzduchu

Mechanická účinnost $\eta_m$	Účinnost spalovacího motoru $\eta_{sm}$	Výhřevnost paliva (benzin) $Q_{MJ}$ (MJ.kg <sup>-1</sup> )	Objemová hmotnost paliva $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	Objemová hmotnost vzduchu $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	Rychlost větru $v_v$ (m.s <sup>-1</sup> )
0,9	0,35	46,4	748	1,24	0,1

### 4.2 Naměřené hodnoty

Tabulka 11 – Naměřené hodnoty dílčích úseků

Měřený dílčí úsek	Délka $L$ (m)	Převýšení $h$ (m)
Úsek č. 1	1 200	25
Úsek č. 2	800	22
Úsek č. 3	200	11
Úsek č. 4	900	26
Úsek č. 5	1 500	0

\*Na úseku č. 5 byla naměřena u parametru převýšení minusová hodnota (klesání), která byla nahrazena hodnotou 0.

**Tabulka 12 – Naměřené hodnoty automobilu na dílčích úsecích v režimu pomalé jízdy**

<b>Pomalá jízda</b>			
<b>Měřený dílčí úsek</b>	<b>Průměrná rychlost <math>v_p</math> (km.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Čas na jízdním úseku t (s)</b>	<b>Aktuální průměrná spotřeba (l.100 km<sup>-1</sup>)</b>
Úsek č. 1	30	96	6,2
Úsek č. 2	64	60	5
Úsek č. 3	54	15	5,7
Úsek č. 4	68	51	6
Úsek č. 5	69	66	4,9

**Tabulka 13 – Naměřené hodnoty automobilu na dílčích úsecích v režimu normální jízdy**

<b>Normální jízda</b>			
<b>Měřený dílčí úsek</b>	<b>Průměrná rychlost <math>v_p</math> (km.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Čas na jízdním úseku t (s)</b>	<b>Aktuální průměrná spotřeba (l.100 km<sup>-1</sup>)</b>
Úsek č. 1	51	54	13,9
Úsek č. 2	89	36	7,4
Úsek č. 3	68	10	7,7
Úsek č. 4	100	35	7,5
Úsek č. 5	87	52	7

**Tabulka 14 – Naměřené hodnoty automobilu na dílčích úsecích v režimu sportovní jízdy**

<b>Sportovní jízda</b>			
<b>Měřený dílčí úsek</b>	<b>Průměrná rychlost <math>v_p</math> (km.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>Čas na jízdním úseku <math>t</math> (s)</b>	<b>Aktuální průměrná spotřeba (l.100 km<sup>-1</sup>)</b>
Úsek č. 1	66	45	16,5
Úsek č. 2	94	40	11,7
Úsek č. 3	69	9	12,3
Úsek č. 4	115	30	12,4
Úsek č. 5	102	42	11,4

### 4.3 Vypočtené hodnoty

#### 4.3.1 Hodnoty úhlu stoupání dílčích úseků

**Tabulka 15 – Vypočtené hodnoty úhlu stoupání dílčích úseků**

<b>Měřený dílčí úsek</b>	<b>Úhel stoupání <math>\cos\beta</math> (°)</b>
Úsek č. 1	1,2
Úsek č. 2	1,6
Úsek č. 3	3,2
Úsek č. 4	1,7
Úsek č. 5	0



#### 4.3.2 Hodnoty v režimu pomalé jízdy

**Tabulka 16 – Vypočtené hodnoty jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích s celkovým potřebným výkonem v režimu pomalé jízdy**

Pomalá jízda					
Jízdní odpor	Dílčí úsek				
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Výkon potřebný na odpor mechanických ztrát $P_v$ (W)	2 950	2 950	2 950	2 950	2 950
Výkon potřebný na odpor valení $P_m$ (W)	2 290	4 890	4 120	5 200	5 270
Výkon potřebný na odpor vzduchu $P_o$ (W)	240	2 300	1 390	2 760	2 880
Výkon potřebný na odpor stoupání $P_s$ (W)	1 730	4 870	8 210	5 430	0
Výkon potřebný na odpor zrychlení $P_z$ (W)	4 110	1 120	3 820	2 420	5 560
Výkon potřebný na ohřev a bezpečnost $P_{ob}$ (W)	200	200	200	200	200
<b>Celkový potřebný výkon <math>P_c</math> (W)</b>	<b>11 520 W</b> <b>11,52 kW</b>	<b>16 330 W</b> <b>16,33 kW</b>	<b>20 690 W</b> <b>20,69 kW</b>	<b>18 960 W</b> <b>18,96 kW</b>	<b>16 870 W</b> <b>16,87 kW</b>

**Tabulka 17 – Vypočtené hodnoty průměrné spotřeby a emisí CO<sub>2</sub> automobilu na dílčích úsecích a na vzdálenost 100 km v režimu pomalé jízdy**

Pomalá jízda					
Spotřeba automobilu s produkcí CO <sub>2</sub>	Dílčí úsek				
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Průměrná spotřeba $V_{100}$ (l.100 km <sup>-1</sup> )	7,59	10,08	12,77	8,85	6,11
Množství emisí CO <sub>2</sub> na dílčím úseku $E_u$ (g CO <sub>2</sub> .km <sup>-1</sup> )	211,31	187,21	59,30	184,76	212,74
Množství emisí CO <sub>2</sub> na 1 km $E_1$ (g CO <sub>2</sub> .km <sup>-1</sup> )	176,09	234,01	296,49	205,28	141,83
Množství emisí CO <sub>2</sub> na 100 km $E_{100}$ (g CO <sub>2</sub> .100 km <sup>-1</sup> )	17 608,81	23 401,03	29 648,95	20 528,33	14 182,58

### 4.3.3 Hodnoty v režimu normální jízdy

**Tabulka 18 - Vypočtené hodnoty jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích s celkovým potřebným výkonem v režimu normální jízdy**

Normální jízda					
Jízdní odpor	Dílčí úsek				
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Výkon potřebný na odpor mechanických ztrát $P_v$ (W)	2 950	2 950	2 950	2 950	2 950
Výkon potřebný na odpor valení $P_m$ (W)	3 900	6 800	5 190	7 640	6 650
Výkon potřebný na odpor vzduchu $P_o$ (W)	1 170	6 180	2 760	8 750	5 770
Výkon potřebný na odpor stoupání $P_s$ (W)	2 940	6 770	10 340	7 990	0
Výkon potřebný na odpor zrychlení $P_z$ (W)	21 120	5 370	31 690	7 650	17 600
Výkon potřebný na ohřev a bezpečnost $P_{ob}$ (W)	200	200	200	200	200
<b>Celkový potřebný výkon <math>P_c</math> (W)</b>	<b>32 280 W</b> <b>32,28 kW</b>	<b>28 270 W</b> <b>28,27 kW</b>	<b>53 130 W</b> <b>53,13 kW</b>	<b>35 190 W</b> <b>35,19 kW</b>	<b>33 180 W</b> <b>33,18 kW</b>

**Tabulka 19 – Vypočtené hodnoty průměrné spotřeby a emisí CO<sub>2</sub> automobilu na dílčích úsecích a na vzdálenost 100 km v režimu normální jízdy**

Normální jízda					
Spotřeba automobilu s produkcí CO <sub>2</sub>	Dílčí úsek				
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
<b>Průměrná spotřeba <math>V_{100}</math> (l.100 km<sup>-1</sup>)</b>	<b>11,96</b>	<b>10,47</b>	<b>21,87</b>	<b>11,27</b>	<b>9,47</b>
<b>Množství emisí CO<sub>2</sub> na dílčím úseku <math>E_u</math> (g CO<sub>2</sub>.km<sup>-1</sup>)</b>	<b>333,05</b>	<b>194,45</b>	<b>101,51</b>	<b>235,33</b>	<b>329,66</b>
<b>Množství emisí CO<sub>2</sub> na 1 km <math>E_1</math> (g CO<sub>2</sub>.km<sup>-1</sup>)</b>	<b>277,55</b>	<b>243,07</b>	<b>507,57</b>	<b>261,48</b>	<b>219,77</b>
<b>Množství emisí CO<sub>2</sub> na 100 km <math>E_{100}</math> (g CO<sub>2</sub>.100 km<sup>-1</sup>)</b>	<b>27 754,51</b>	<b>24 306,69</b>	<b>50 757,16</b>	<b>26 147,63</b>	<b>21 977,38</b>

#### 4.3.4 Hodnoty v režimu sportovní jízdy

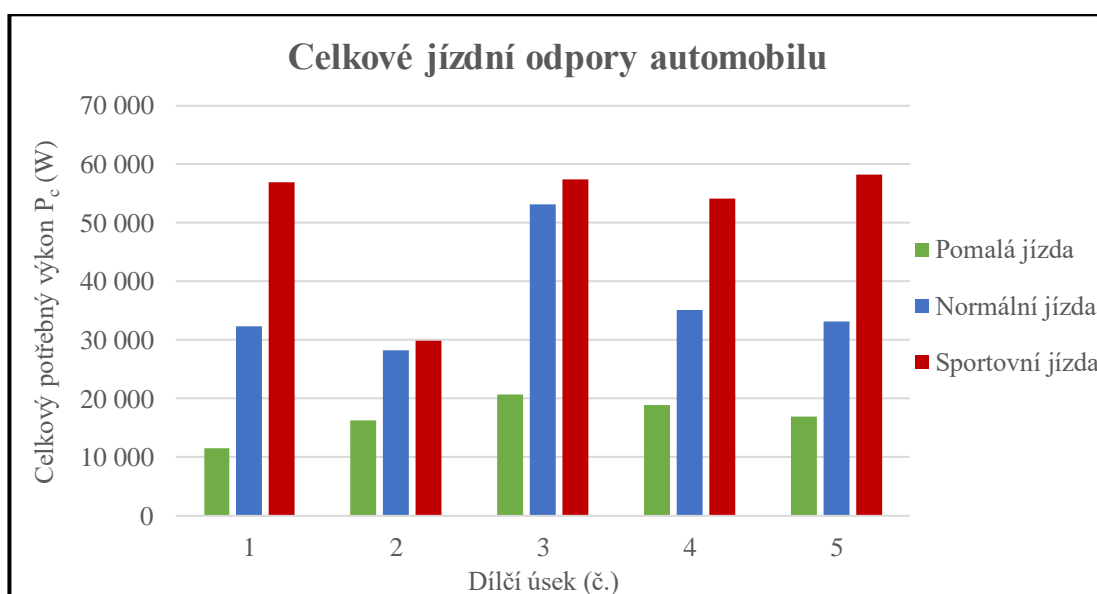
**Tabulka 20 - Vypočtené hodnoty jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích s celkovým potřebným výkonem v režimu sportovní jízdy**

Sportovní jízda					
Jízdní odpor	Dílčí úsek				
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
Výkon potřebný na odpor mechanických ztrát $P_v$ (W)	2 950	2 950	2 950	2 950	2 950
Výkon potřebný na odpor valení $P_m$ (W)	5 040	7 180	5 270	8 790	7 800
Výkon potřebný na odpor vzduchu $P_o$ (W)	2 530	7 270	2 880	13 300	9 290
Výkon potřebný na odpor stoupání $P_s$ (W)	3 800	7 150	10 500	9 190	0
Výkon potřebný na odpor zrychlení $P_z$ (W)	42 450	5 080	35 620	19 740	37 980
Výkon potřebný na ohřev a bezpečnost $P_{ob}$ (W)	200	200	200	200	200
<b>Celkový potřebný výkon <math>P_c</math> (W)</b>	<b>56 980 W</b> <b>56,98 kW</b>	<b>29 840 W</b> <b>29,84 kW</b>	<b>57 420 W</b> <b>57,42 kW</b>	<b>54 160 W</b> <b>54,16 kW</b>	<b>58 220 W</b> <b>58,22 kW</b>

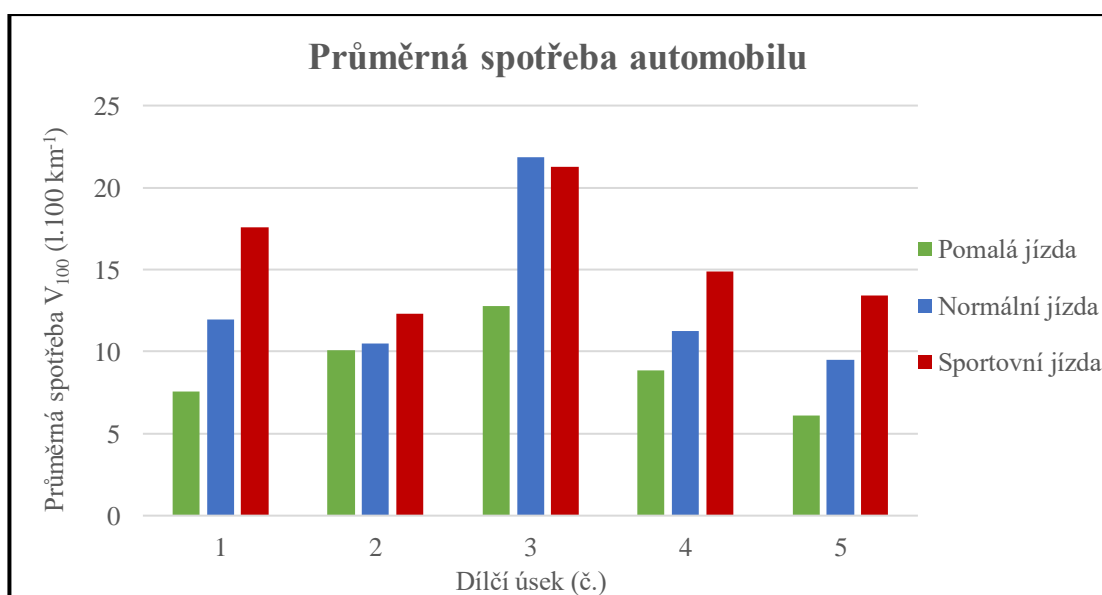
**Tabulka 21 – Vypočtené hodnoty průměrné spotřeby a emisí CO<sub>2</sub> automobilu na dílčích úsecích a na vzdálenost 100 km v režimu sportovní jízdy**

Sportovní jízda					
Spotřeba automobilu s produkcí CO <sub>2</sub>	Dílčí úsek				
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
<b>Průměrná spotřeba <math>V_{100}</math> (l.100 km<sup>-1</sup>)</b>	<b>17,59</b>	<b>12,28</b>	<b>21,27</b>	<b>14,86</b>	<b>13,42</b>
<b>Množství emisí CO<sub>2</sub> na dílčím úseku <math>E_u</math> (g CO<sub>2</sub>.km<sup>-1</sup>)</b>	<b>489,92</b>	<b>228,06</b>	<b>98,74</b>	<b>310,45</b>	<b>467,21</b>
<b>Množství emisí CO<sub>2</sub> na 1 km <math>E_1</math> (g CO<sub>2</sub>.km<sup>-1</sup>)</b>	<b>408,26</b>	<b>285,07</b>	<b>493,70</b>	<b>344,94</b>	<b>311,47</b>
<b>Množství emisí CO<sub>2</sub> na 100 km <math>E_{100}</math> (g CO<sub>2</sub>.100 km<sup>-1</sup>)</b>	<b>40 826,41</b>	<b>28 507,32</b>	<b>49 370,01</b>	<b>34 494,11</b>	<b>31 147,11</b>

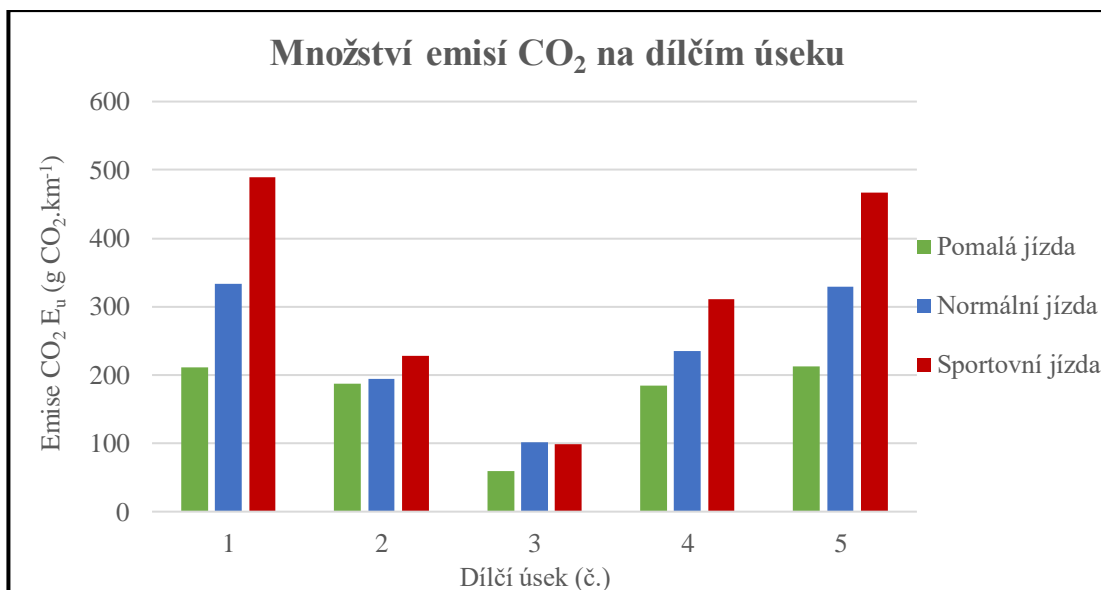
### 4.3.5 Grafické zpracování výsledných hodnot



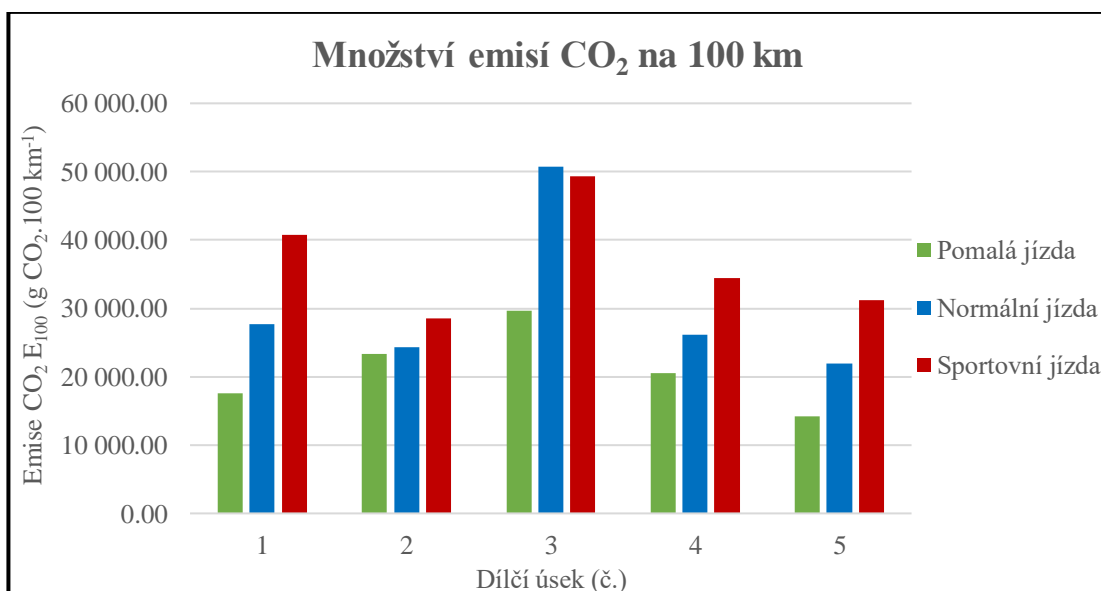
**Graf 7 – Výsledné porovnání celkových jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích v jednotlivých režimech jízdy**



**Graf 8 – Výsledné porovnání průměrné spotřeby paliva automobilu na dílčích úsecích v jednotlivých režimech jízdy**



**Graf 9 – Výsledné porovnání vyprodukovaného množství emisí CO<sub>2</sub> automobilem na dílčích úsecích v jednotlivých režimech jízdy**



**Graf 10 – Výsledné porovnání vyprodukovaného množství emisí CO<sub>2</sub> automobilem na vzdálenost 100 km v jednotlivých režimech jízdy**

## 5 Diskuse

Na základě parametrů měřeného automobilu Mitsubishi Space Star 1,2 MIVEC s hodnotami jednotlivých součinitelů, účinnosti, vlastnostmi benzínu a vzduchu s naměřenými hodnotami aktuální průměrné spotřeby, rychlosti, času, vzdálenosti a převýšení na dílčím úseku v jednotlivých jízdních režimech jsou vypočteny jednotlivé hodnoty jízdních odporů s celkovým potřebným výkonem v návaznosti na průměrnou spotřebu automobilu s produkcí emisí oxidu uhličitého.

Jedním z hlavních faktorů podílejících se na energetické náročnosti jsou jízdní odpory. V tabulce 16, 18 a 20 jsou uvedeny jednotlivé výsledky jízdních odporů. Průměrně nejvyšší hodnoty zaujímá odpor zrychlení. Jeho nejvyšší hodnoty jsou zastoupeny v úseku č. 1, na kterých se podílí především rozjezd automobilu. V normálním a sportovním jízdním režimu jsou hodnoty odporu vysoké. U režimu pomalé jízdy není tak dominantní z důvodu nízkých požadavků na výkon motoru a rychlost automobilu, proto se jeho hodnoty mohou rovnat hodnotám odporu valení a stoupání. Z výsledku je zřejmé, že u odporu valení nastává lineární nárůst jeho hodnot se zvyšující se rychlostí a úhlem stoupání dopravní trasy. V případě odporu stoupání je důležitým faktorem přirozeně stoupání dílčího úseku s nejvyšší hodnotou ve všech jízdních režimech na úseku č. 3, kde je na vzdálenosti 200 m převýšení 11 m. Naopak nulová hodnota stoupání je na úseku č. 5. Důvodem je převážná rovinnost nejdelšího měřeného úseku s mírným klesáním. Následuje odpor vzduchu, kde je podstatným faktorem průměrná rychlost automobilu na dílčím úseku. Tento odpor tvoří nejvyšší hodnoty v režimu sportovní jízdy na úseku č. 4, kde navazuje na měřený úsek č. 3. Z toho vyplývá, že při přejezdu z úseku č. 3 do úseku č. 4 byla vstupní rychlost vyšší než v jiných úsecích. Podobně tomu také je při přejezdu z úseku č. 1 na úsek č. 2. Na všechny tyto odpory má také vliv hmotnost automobilu i s cestujícími, čelní plocha automobilu a s tím svázané požadované součinitele. Poslední dva odpory tvoří odpor mechanických ztrát automobilu a systém ohřevu a bezpečnosti s konstantními hodnotami na všech dílčích úsecích a jízdních režimech. S odporem mechanických ztrát je spjata mnoho faktorů a okolních vlivů, které mohou tento parametr na každém metru dopravní trasy výrazně měnit, proto je ve výpočtu součinitel charakteru jízdy  $k_r$ , který zahrnuje faktory a vlivy působící na výkon motoru měřeného automobilu na dílčím úseku. Podobný charakter má také hodnota systému ohřevu a bezpečnosti. Tato hodnota je stanovena pro všechny měřené úseky a režimy.

Součtem výše zmíněných jízdních odporů vznikne výsledek celkového potřebného výkonu při jízdě na dílčím úseku. Na grafu 7 je vyobrazen trend celkových výsledných hodnot. V úsporném režimu pomalé jízdy lze vidět nejvyšší celkovou energetickou náročnost na úseku č. 3 s hodnotou potřebného výkonu 20,69 kW a nejnižší na úseku č. 1 s hodnotou 11,52 kW i přesto, že na tomto úseku je rozjezd automobilu, který je ve většině případech energeticky náročný. Na ostatních úsecích jsou hodnoty potřebného výkonu podobné v rozmezí 4,5 kW. Celkový trend režimu pomalé jízdy kopíruje charakter měřené dopravní trasy s nízkou energetickou náročností. U režimu normální jízdy jsou již hodnoty o dost vyšší, a to především na úseku č. 3 s hodnotou 53,13 kW a navazujícím úsekem č. 4 s hodnotou 35,19 kW. Nejúspornější jízda v normálním režimu je na úseku č. 2 s potřebným výkonem 28,27 kW. Důvodem je převážně konstantní jízda bez výraznějšího požadavku na výkon motoru a přejezd z úseku č. 1, kde se automobil rozjel a následně zrychloval, tudíž není na úseku č. 1 nejúspornější jízda jako v režimu pomalé jízdy, protože výslednou hodnotu potřebného výkonu 32,28 kW ovlivnil energický rozjezd automobilu. Tato hodnota se rovná hodnotě požadovaného výkonu na úseku č. 5 v režimu normální jízdy s rozdílem 1 kW. Při sportovním režimu jízdy je energetická náročnost s požadavkem na výkon motoru ve všech úsecích vysoká. To je promítnuto v celkovém potřebném výkonu na překonání jízdních odporů, který bezmála dosahuje hodnot maximálního výkonu motoru s výjimkou úseku č. 2, kde je vypočtena hodnota 29,84 kW. Na tuto hodnotu má vliv charakter dílčího úseku, který je nepřehledný a úzký, tudíž řidič přihlédl k bezpečnosti a omezil požadavek na výkon motoru. Naopak nejvyšší vypočtená hodnota potřebného výkonu je 58,22 kW na úseku č. 5. Vzhledem k jeho charakteru se vzdáleností 1 500 m a nulovému převýšení automobil v celé délce úseku zrychloval a byla využita maximální výkonnost motoru Mitsubishi Space Star.

Na grafu 8 jsou zobrazeny hodnoty průměrné spotřeby paliva. Tento trend vypočtených hodnot se odvíjí od výše zmíněných hodnot jízdních odporů. V režimu pomalé jízdy zaujímá nejvyšší hodnotu 12,77 l.100 km<sup>-1</sup> průměrné spotřeby úsek č. 3. Naopak nejnižší hodnota spotřeby 6,11 l.100 km<sup>-1</sup> je na úseku č. 5, na který má podstatný vliv hodnota vzdálenosti 1 500 m, kde nenarůstají hodnoty odporů. Na úseku č. 1, 2 a 4 je trend mírně odlišný od trendu celkového potřebného výkonu. Důvodem je energie potřebná na rozjezd a převýšení úseků s odpovídající spotřebou paliva. Na těchto úsecích se spotřeba pohybuje od 7,59 do 10,08 l.100 km<sup>-1</sup>. U režimu normální jízdy dominovala hodnota vypočtené průměrné spotřeby 21,87 l.100 km<sup>-1</sup>

na úseku č. 3. Tato hodnota je nejvyšší vypočtenou hodnotou spotřeby a o více jak  $0,5 \text{ l.100 km}^{-1}$  přesáhla hodnotu průměrné spotřeby na zmiňovaném úseku v režimu sportovní jízdy. Výsledná hodnota je ovlivněna především hodnotou času. V režimu normální jízdy se automobil zdržel na úseku o jednu sekundu déle než v režimu sportovní jízdy, proto je hodnota spotřeby vyšší. Nejúspěšnější jízda je na úseku č. 5 s hodnotou  $9,47 \text{ l.100 km}^{-1}$ . Na úsek č. 1, 2 a 4 se pohybuje výsledná hodnota spotřeby paliva od  $10,47$  do  $11,96 \text{ l.100 km}^{-1}$ . V režimu sportovní jízdy tvoří nejvyšší průměrnou spotřebu na úseku č. 3 hodnota  $21,27 \text{ l.100 km}^{-1}$ . Druhou nejvyšší hodnotou v tomto režimu je hodnota  $17,59 \text{ l.100 km}^{-1}$  na úseku č. 1, která je tvořena dynamickým rozjezdem automobilu s vysokou energetickou náročností. Na úseku č. 2 je vypočtena nejúspěšnější jízda automobilu s hodnotou  $12,27 \text{ l.100 km}^{-1}$ . Důsledkem je charakter tohoto úseku dopadající na mentalitu řidiče s nižším požadavkem na výkon motoru měřeného automobilu. U ostatních úseků č. 4 a 5 je vypočtená hodnota spotřeby  $14,86$  a  $13,42 \text{ l.100 km}^{-1}$ . V porovnání naměřených hodnot aktuální průměrné spotřeby paliva na palubním počítači Mitsubishi Space Star v tabulce 12, 13 a 14 s vypočtenými hodnotami průměrné spotřeby v tabulce 17, 19 a 21 v daném jízdním režimu lze pozorovat na některých úsecích rozdíl od  $1 \text{ l.100 km}^{-1}$  a na úseku č. 3 v režimu normální jízdy vypočtenou hodnotu trojnásobně vyšší než hodnotu naměřenou. Hlavním důvodem je u vestavěného palubního počítače měřeného automobilu, který ukazuje hodnotu aktuální průměrné spotřeby s jistým zpožděním a v okamžiku měření krátkého úseku je výsledná hodnota vypočítána z širšího rozsahu měřené délky úseku. Dalším důvodem je složitost daného charakteru měřeného úseku, kde výsledná vypočítaná hodnota palubním počítačem může být tímto zkreslena, oproti skutečné naměřené hodnotě průtokoměrem automobilu. Naopak na úsecích s rovinným charakterem s vyšší hodnotou délky se naměřená hodnota palubním počítačem blíží hodnotě reálné spotřeby a vypočítané průměrné spotřeby.

Poslední vypočtenou a podstatnou hodnotou této práce je produkce oxidu uhličitého, který tvoří pevnou vazbu na spotřebu paliva s hodnotou délky a času stráveného na dílčím úseku. Množství vyprodukovaných emisí  $\text{CO}_2$  na dílčím úseku je zobrazeno v grafu 9. Nejvíce zatěžující jízda je na úseku č. 1 a 5 s hodnotami  $489,92 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  a  $467,21 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ . Na úseku č. 1 tvoří tuto vysokou hodnotu opět faktor dynamického rozjezdu automobilu s délkou úseku  $1 \text{ 200 m}$  a na úseku č. 5 režim dosažení nejvyšší rychlosti automobilu na délce  $1 \text{ 500 m}$  při stálém zrychlování automobilu. Nejméně zatěžujícím úsekem je úsek č. 3 s hodnotou  $98,74 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ ,



kde je v režimu normální jízdy vypočtena vyšší hodnota  $101,51 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  s identickým trendem ve výsledcích průměrné spotřeby. V normálním režimu jsou nejvyšší hodnoty opět na úseku č. 1 a 5, které tvoří hodnotu  $335,05 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  a  $329,66 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ . Nejekologičtější jízda s produkcí  $\text{CO}_2$  je v režimu pomalé jízdy s hodnotou  $5,3 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  na úseku č. 3. Následují úseky č. 4 a 2 s hodnotami  $184,76 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  a  $187,27 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  jsou několikanásobně vyšší s nárůstem délky a času. Nejvyšší hodnoty pak jsou na úseku č. 1 a 5, které tvoří hodnotu  $211,31 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  a  $212,74 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ .

Na posledním grafu 10 jsou zobrazeny hodnoty produkce emisí  $\text{CO}_2$  na 100 km odvozené od vypočtených hodnot průměrné spotřeby automobilu na dílčím úseku v jednotlivých jízdních režimech. Trend tohoto grafu je identický s trendem grafu průměrné spotřeby automobilu s rozdílem veličin a výslednými hodnotami v tabulce 17, 19 a 21. V tabulkách jsou také uvedeny hodnoty produkce emisí  $\text{CO}_2$  na 1 km. Nejvyšší hodnota produkce  $\text{CO}_2$  na 100 km případně 1 km energeticky nejnáročnější jízdy měření je na úseku č. 3 v režimu normální jízdy (rozhodující faktor času a délky úseku s převýšením) s hodnotou  $50\,757,16 \text{ g CO}_2.100 \text{ km}^{-1}$  ( $507,57 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ ) při průměrné spotřebě  $21,87 \text{ l.100 km}^{-1}$ . Naproti této hodnotě stojí hodnota nejúspornější jízdy měření s automobilem Mitsubishi Space Star s produkcí  $14\,182,58 \text{ g CO}_2.100 \text{ km}^{-1}$  ( $141,83 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ ) při spotřebě  $6,11 \text{ l.100 km}^{-1}$ , otáčkách motoru  $2\,500 \text{ ot.min}^{-1}$  a rychlosti  $90 \text{ km.h}^{-1}$  na úseku č. 5 s délkou  $1\,500 \text{ m}$  v režimu pomalé jízdy. Tato nejúspornější vypočtená hodnota s uvažovanými faktory ovlivňující tuto hodnotu spotřeby koresponduje se slovy pana Celjaka v časopise Energie21, kde píše o produkci skleníkového plynu  $\text{CO}_2$  v kategorii malých osobních automobilů: *Neustále roste hodnota vydané energie na pohyb osobních automobilů. S tím úzce souvisejí produkované emise škodlivin a skleníkového plynu  $\text{CO}_2$ , protože s hmotností automobilu roste také spotřeba pohonných hmot. Emise  $\text{CO}_2$  mají vazbu na spotřebu pohonných hmot. Při spotřebě benzínu  $5 \text{ l.100 km}^{-1}$  vytvoří motor automobilu emise  $5 \times 23,21 = 116 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$ .* [4]

Měřený automobil Mitsubishi Space Star s relativně nízkou provozní hmotností podléhá emisní normě Euro 6d-TEMP, o které píše zahraniční web Fleet Europe: *Emisní norma Euro 6d-TEMP tvoří dočasná opatření pro zážehové motory automobilu, které mohou emitovat  $126 \text{ g CO}_2.\text{km}^{-1}$  při testování na silnici.* [33]

## Závěr

Měřený automobil Mitsubishi Space Star se spalovacím motorem 1,2 MIVEC s emisní normou Euro 6d-TEMP je konstruován tak, aby byl energeticky úsporný a nízkoemisní s nízkou provozní hmotností pro jízdu na dopravních trasách ve městech i mimo město.

Z vypočtených výsledků vyprodukovaného CO<sub>2</sub> v závislosti na jízdních odporech je zřejmé, že měřený automobil v nízkoenergetické jízdě bez požadavku na vyšší výkon motoru lehce přesahuje stanovené emisní limity emitace oxidu uhličitého při jízdě na dopravní trase, než jaké hodnoty jsou udávány výrobcem a literaturou. Vzhledem k tomu, že na automobil působí mnoho faktorů zejména jízdních odporů s charakterem dopravní trasy, přírodní vlivy, mentalita řidiče nebo technický stav motoru, mohou tyto faktory množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> výrazně ovlivnit s rozsahem několika desítek až stovek gramů na kilometr. To lze sledovat ve vypočtených hodnotách na dílčích úsecích a v jednotlivých jízdních režimech především na úsecích s převýšením při emitaci CO<sub>2</sub> na 1 km v režimu normální a sportovní jízdy, kde hodnoty průměrné spotřeby dosahují i několikanásobně vyšších vypočtených hodnot oproti naměřeným. Jízda automobilu do svahu s převýšením tvoří velmi náročný energetický výdej, to platí také u rozjezdu automobilu a zrychlení. Důvodem je hmotnost automobilu, kdy se musí rozpohybovat stovky kilogramů a následně je udržovat otáčkami prostřednictvím výkonu motoru v požadované rychlosti. Pokud se automobil rozjíždí z nulové rychlosti, nebo zrychluje z malé rychlosti v souvislosti s vyšším zařazeným převodovým stupněm, dostává se do jistého zatížení a tím velkého energetického výdeje s emitací CO<sub>2</sub> do ovzduší, pokud se ještě připočte převýšení, jsou výsledné hodnoty vysoké. To definuje jízdu v režimu normální a sportovní jízdy, kde se zbytečně velkým energetickým výdejem dochází k nadměrné produkci CO<sub>2</sub> znečišťující ovzduší. Z toho také vyplývá, že rychlá jízda doprovázená rozjezdy a zrychlením například při jízdě ve městě v „boji s časem“ je nesmyslná, neekonomická a zejména neekologická pro životní prostředí.

Do budoucna bude na automobily se spalovacími motory kladen stále velký důraz na snížení maximálního limitu vyprodukovaného skleníkového plynu CO<sub>2</sub> na jeden kilometr. Pokud budou velké automobilky i nadále chtít vyrábět nová vozidla se spalovacími motory, vedle dnes již sériově vyráběných elektromobilů, budou muset vynakládat nemalé investice do vývoje a výroby nových technologií a postupů společně i s ostatními světovými producenty pro zmírnění globálního oteplování.

## Seznam použité literatury a zdrojů

### Literatura

- [1] ALLEN, Myles., & kol. *Mezivládní panel pro změnu klimatu. Změna klimatu 2014*. Souhrnná zpráva Páté hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC). Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha, 2014, p.4-16, [cit. 2020-01-25]. Dostupné z:  
[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna\\_zprava\\_ipcc\\_2015/\\$FILE/OEOK-IPCC\\_SYR\\_report\\_CZ-20150504.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/souhrnna_zprava_ipcc_2015/$FILE/OEOK-IPCC_SYR_report_CZ-20150504.pdf)
- [2] BONAN, Gordon. *Ecologitan Climatology. Concepts and Application*. Cambridge University Press. Velká Británie, 2008, Vol. 2, p.5. ISBN 978-0-521-87221-8.
- [3] BURROUGHS, William., James. *Climate Change. A Multidisciplinary Approach*. Cambridge University Press. Velká Británie, 2007, Vol. 2, p.378. ISBN 05-218-7015-1.
- [4] CELJAK, Ivo. *Energie 21. Obnovitelné zdroje, efektivní spotřeba, udržitelný rozvoj. Energie je součástí udržitelného rozvoje 1*. Časopisecký článek. Profi Press. Praha, únor, 2019, Roč.6, p.32-33. ISSN 1803-0394.
- [5] CELJAK, Ivo. *Seminární zápočtová práce KPV. Výpočet jízdních odporů a emisí CO<sub>2</sub>*. Interní učební text. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky. České Budějovice, 2020, p.7-15.
- [6] CELJAK, Ivo. *Dopravní zařízení (1). Základní pojmy v oblasti dopravy a pozemní komunikace*. Interní učební text. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky. České Budějovice, 2017, p.16-39.
- [7] ČEJKOVÁ, Eliška. *Vliv zateplování obytných budov na koncentraci CO<sub>2</sub> v ovzduší bytů. Vliv CO<sub>2</sub> na zdraví*. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Ústav pro životní prostředí [online]. Praha, 2016, p.14-17, [cit. 2020-01-22]. Dostupné z:  
<https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjP94asnPXpAhWMyqQKHUaWC7IQFjABegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fis.cuni.cz%2Fwebapps%2Fzfp%2Fdownload%2F120228949&usg=AOvVaw1I-CoB19xGQDJmCEYNZaK0>
- [8] FLANNERY, Timm. *Měníme podnebí. Minulost a budoucnost klimatických změn. Skleník z plynů*. Pty Ltd. Austrálie, 2005, Vol. 1, p.31. ISBN 978-80-7363-121-5.
- [9] GLASSER, Rüdiger. *Klimageschichte Mitteleuropass. 1 200 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Primus Verlag. Darmstadt, 2008, Vol. 2, p.22-23. ISBN 978-3-89678-604-3.

- [10] HOREJŠ, Karel, MOTEJL, Vladimír, & kol. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů (2). Motory, paliva, emise, diagnostika*. Littera. Brno, 2009, Vol. 4, p.151-152. ISBN 978-80-85763-52-2.
- [11] HOUGHTON, John. *Globální oteplování. Úvod do studia změn klimatu a prostředí*. Academia. Praha, 1998, Vol. 1, p.228. ISBN 80-200-0636-2.
- [12] JAN, Zdeněk., ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily motory (3). Zážehové motory*. Avid. Brno, 2010, Vol. 6, p.18-19. ISBN 978-80-87143-15-5.
- [13] PAVLOVSKÝ, Jiří., VONTOROVÁ, Jiřina., PRAUS, Petr. *Metody monitorování životního prostředí*. Učební text. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství [online]. Ostrava, 2013, p.50, [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: [https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-1-procesni-inzenyrstvi/metody-monitorovani-zivotniho-prostredi/Pavlovsky\\_Metody\\_monitorovani-zivotniho-prostredi.pdf](https://www.fmmi.vsb.cz/export/sites/fmmi/modin/cs/studijni-opory/resitelsky-tym-1-procesni-inzenyrstvi/metody-monitorovani-zivotniho-prostredi/Pavlovsky_Metody_monitorovani-zivotniho-prostredi.pdf)
- [14] PRACHAŘ, Roman. *Jízdní odpory vozidel. Jízdní odpory*. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství [online]. Brno, 2010, p.12-41, [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=33556](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33556)
- [15] SVÄTÁ, Andrea. *Bilance uhlíku u prasat. Skleníkový efekt a plyny*. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav výživy, zvířat a pícninářství [online]. Brno, 2014, p.9-10, [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/zp/portal\\_zp.pl?podrobnosti\\_zp=40919;lang=en](https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?podrobnosti_zp=40919;lang=en)
- [16] VLK, František. *Príslušenství vozidlových motorů. Vstřikování paliva, vstřikovací systémy, plnění a přeplňování, snižování škodlivin, chlazení a mazání*. Vlk. Brno, 2002, Vol. 1, p.209. ISBN 80-238-8755-6.
- [17] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel. Jízdní odpory, hnací charakteristika, brzdění, odpružení, řízení, ovladatelnost, stabilita*. Vlk. Brno, 2003, Vol. 2, p.132. ISBN 80-239-0024-2.
- [18] VOJTÍŠEK, Michal. *Emise z moderních spalovacích motorů v reálném provozu: Trendy, anomálie a způsoby měření. Emisní limity vs emise*. Teze habilitační přednášky. Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů. Liberec, duben, 2011, p.12-14.
- [19] ZAJÍČEK, Tomáš. *Negativní externalita v silniční dopravě. Emise spalovacích motorů*. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky. České Budějovice, 2018, p.38.

## Internetové zdroje

- [20] *AIMagazine. Regulace emisí CO<sub>2</sub>* [online]. [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: <https://www.aimtecglobal.com/aimagazine/budoucnost-automotive-nahradi-elektromotory-ty-spalovaci/>
- [21] *Arnika. Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)* [online]. [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhlicity>
- [22] *Audi. WLTP nahrazuje NEDC* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.audi.cz/wltp>
- [23] *Auto. Nový homologační emisní test WLTP* [online]. [cit. 2020-02-19]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/novy-homologacni-emisni-test-wltp-opravdu-znamenakonec-lhani-110305>
- [24] *Autoprofi s.r.o. České Budějovice. Mitsubishi Motors* [online]. [cit. 2020-02-27]. Dostupné z: <https://budejovice.mitsubishi-motors.cz/modely/space-star/parametry/>
- [25] *Auto Week. Co se změní se zavedením Euro 7* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.autoweek.cz/cz-aktuality-co\\_se\\_zmeni\\_se\\_zavedenim\\_euro\\_7-6660](https://www.autoweek.cz/cz-aktuality-co_se_zmeni_se_zavedenim_euro_7-6660)
- [26] *CZSO. Místní komunikace* [online]. [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20535744/w-930609a02.pdf/5d1efda5-db5e-4355-920d-1767b458286a?version=1.0>
- [27] *Ekolist. Před 20 lety byl přijat Kjótský protokol na ochranu klimatu* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/pred-20-lety-byl-prijat-kjotsky-protokol-na-ochranu-ovzdusi>
- [28] *Encyklopedia Britannica. Svante Arrhenius* [online]. [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Svante-Arrhenius>
- [29] *Evropský parlament. Skleníkové plyny: emise podle zemí a odvětví* [online]. [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/zmeny-klimatu/20180301STO98928/sklenikove-plyny-emise-podle-zemi-a-odvetvi>
- [30] *Evropský parlament. Emise z letecké a lodní dopravy: fakta a čísla* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/priorities/zmeny-klimatu/20191129STO67756/emise-z-letecke-a-lodni-dopravy-fakta-a-cisla-infografika>

- [31] *Evropský parlament. Emise CO<sub>2</sub> z automobilů: fakta a čísla* [online]. [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [32] *Fdrive. Automobil, letadlo nebo cyklista – kdo nejvíce vyprodukuje CO<sub>2</sub>* [online]. [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/auto-letadlo-nebo-cyklista-kdo-nejvice-skodi-ovzdusi-1050>
- [33] *Fleet Europe. Do you know your Euro 6 from your 6c and 6d-TEMP* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.fleeteurope.com/fr/new-energies-fiscalite-et-legislation/europe/features/do-you-know-your-euro-6-your-6c-and-6d-temp?a=DQU04&t%5B0%5D=Diesel&t%5B1%5D=RDE&t%5B2%5D=Euro%206d&t%5B3%5D=WLTP&t%5B4%5D=Euro%206d%20TEMP&t%5B5%5D=EVAP&t%5B6%5D=Taxation%20Guide&curl=1>
- [34] *Forbes. The World's Top 10 Carbon Dioxide Emitters* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/rpapier/2019/12/04/the-worlds-top-10-carbon-dioxide-emitters/#2d8ae06b2d04>
- [35] *Idnes. Emisní předpisy mění svět a ztěžují automobilkám práci* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/rozhovor-martin-hrdlicka-skoda-auto-konstrukter-emise-normy-co2-nox-oxid-dusiku-oxid-uhlicity.A180821\\_181736\\_automoto\\_fdv](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/rozhovor-martin-hrdlicka-skoda-auto-konstrukter-emise-normy-co2-nox-oxid-dusiku-oxid-uhlicity.A180821_181736_automoto_fdv)
- [36] *Informační portál pro technologie zachytávání a ukládání CO<sub>2</sub>. CO<sub>2</sub> jako skleníkový plyn* [online]. [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/ccs/technologie-ccs/zmena-klimatu>
- [37] *Investopedia. The 5 Countries That Produce the Most Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>)* [online]. [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/articles/investing/092915/5-countries-produce-most-carbon-dioxide-co2.asp>
- [38] *Lamax. Lamax Action x8 Electra* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.lamax-electronics.com/cz/sportovni-akcni-kamery/>
- [39] *Mapy. Měřená dopravní trasa s dílčími úseky* [online]. [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.4613000&y=48.9837000&z=11>
- [40] *Ministerstvo životního prostředí. Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu* [online]. [cit. 2020-01-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/kjotsky\\_protokol](https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol)

- [41] *Mitsubishi Motors. MIVEC. Mitsubishi Innovative Valve timing Electronic Control System* [online]. [cit. 2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.mitsubishi-motors.com/en/innovation/technology/library/mivec.html>
- [42] *NASA Earth Observatory. Svante Arrhenius* [online]. [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: [https://earthobservatory.nasa.gov/features/Arrhenius/arrhenius\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/Arrhenius/arrhenius_2.php)
- [43] *Samsung. Samsung Galaxy A40* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/cz/smartphones/galaxy-a40-a405/SM-A405FZKDXEZ/>
- [44] *Učebnice chemie. Výskyt v přírodě* [online]. [cit. 2020-01-23]. Dostupné z: [http://ucebnicechemie.wz.cz/index.php?slozenina=oxid\\_uhlicity](http://ucebnicechemie.wz.cz/index.php?slozenina=oxid_uhlicity)
- [45] *Voxeurop. EU znečišťuje více než USA* [online]. [cit. 2020-02-08]. Dostupné z: <https://voxeurop.eu/cs/zemedelstvi-prilis-znecistuje/>
- [46] *Wikipedie. Oxid uhličitý* [online]. [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid\\_uhli%C4%8Dit%C3%BD#Objeven%C3%AD\\_a\\_popis](https://cs.wikipedia.org/wiki/Oxid_uhli%C4%8Dit%C3%BD#Objeven%C3%AD_a_popis)
- [47] *World Population Review. CO<sub>2</sub> Emission by Country 2020* [online]. [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://worldpopulationreview.com/countries/co2-emissions-by-country/>
- [48] *Zákony pro lidi. Nařízení vlády č. 173/2016 Sb.* [online]. [cit. 2020-02-17]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-173>

## Seznam grafů

Graf 1 – Arrheniusova předpověď zvýšení koncentrace CO<sub>2</sub> s růstem teploty

Graf 2 – Nárůst globální teploty v rozmezí 140 let

Graf 3 – Jednotlivé globální změny klimatu zapříčiněné především emisemi CO<sub>2</sub>

Graf 4 – Růst antropogenních emisí od roku 1970

Graf 5 – Růst globální teploty a hladiny oceánu ve 21. století: a) povrchová teplota,  
b) hladina oceánu

Graf 6 – Vývoj emisí a emisních limitů CO<sub>2</sub> v g.km<sup>-1</sup> pro nové automobily

Graf 7 – Výsledné porovnání celkových jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích v jednotlivých režimech jízdy

Graf 8 – Výsledné porovnání průměrné spotřeby paliva automobilu na dílčích úsecích v jednotlivých režimech jízdy

Graf 9 – Výsledné porovnání vyprodukovaného množství emisí CO<sub>2</sub> automobilem na dílčích úsecích v jednotlivých režimech jízdy

Graf 10 – Výsledné porovnání vyprodukovaného množství emisí CO<sub>2</sub> automobilem na vzdálenost 100 km v jednotlivých režimech jízdy



## **Seznam obrázků**

Obrázek 1 – Model molekuly oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)

Obrázek 2 – Hlavní faktory ovlivňující množství CO<sub>2</sub> v atmosféře

Obrázek 3 – Princip skleníkového efektu

Obrázek 4 – Oblasti změn s nárůstem průměrné globální povrchové teploty koncem 20. století a 21. století

Obrázek 5 – Měření na dopravní trase kategorie silnice III. třídy s rozčleněním na měřené úseky

Obrázek 6 – Měřený osobní automobil Mitsubishi Space Star 1,2 MIVEC

## Seznam tabulek

- Tabulka 1 – Zvýšené koncentrace CO<sub>2</sub> ovlivňující lidský organismus
- Tabulka 2 – Produkce CO<sub>2</sub> pěti nejproduktivnějších zemí světa s poklesem v daných letech
- Tabulka 3 – Produkce CO<sub>2</sub> deseti nejproduktivnějších zemí EU za rok 2017
- Tabulka 4 – Kategorie vozidel M podléhající daným emisním normám EURO
- Tabulka 5 – Rozdělení vozidel dle výkonu spalovacího motoru a hmotnosti s předepsanou hodnotou spotřeby (l.100 km<sup>-1</sup>)
- Tabulka 6 – Zavedené emisní Euro normy v jednotlivých letech
- Tabulka 7 – Technická data měřeného automobilu Mitsubishi Space Star 1,2 MIVEC
- Tabulka 8 – Základní parametry Mitsubishi Space Star
- Tabulka 9 – Stanovené hodnoty součinitelů
- Tabulka 10 – Stanovené hodnoty účinnosti s vlastnostmi paliva a vzduchu
- Tabulka 11 – Naměřené hodnoty dílčích úseků
- Tabulka 12 – Naměřené hodnoty automobilu na dílčích úsecích v režimu pomalé jízdy
- Tabulka 13 – Naměřené hodnoty automobilu na dílčích úsecích v režimu normální jízdy
- Tabulka 14 – Naměřené hodnoty automobilu na dílčích úsecích v režimu sportovní jízdy
- Tabulka 15 – Vypočtené hodnoty úhlu stoupání dílčích úseků
- Tabulka 16 – Vypočtené hodnoty jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích s celkovým potřebným výkonem v režimu pomalé jízdy
- Tabulka 17 – Vypočtené hodnoty průměrné spotřeby a emisí CO<sub>2</sub> automobilu na dílčích úsecích a na vzdálenost 100 km v režimu pomalé jízdy
- Tabulka 18 – Vypočtené hodnoty jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích s celkovým potřebným výkonem v režimu normální jízdy
- Tabulka 19 – Vypočtené hodnoty průměrné spotřeby a emisí CO<sub>2</sub> automobilu na dílčích úsecích a na vzdálenost 100 km v režimu normální jízdy
- Tabulka 20 – Vypočtené hodnoty jízdních odporů automobilu na dílčích úsecích s celkovým potřebným výkonem v režimu sportovní jízdy
- Tabulka 21 – Vypočtené hodnoty průměrné spotřeby a emisí CO<sub>2</sub> automobilu na dílčích úsecích a na vzdálenost 100 km v režimu sportovní jízdy

## **Datový nosič**

CD - Stanovení emisí oxidu uhličitého v závislosti na velikosti jízdních odporů automobilu na vybrané dopravní trase