

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**



**Návrh metody provozního měření emisí  
motorových vozidel**

The proposal of method for a measuring motor vehicles'  
emissions under operational conditions

Doktorská disertační práce

Obor: Jakost a spolehlivost strojů a zařízení

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Vypracoval: **Ing. Martin Kotek**

Školitel: **doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.**

Praha 2012

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.



Ing. Martin Kotek

V Praze dne 20.7.2012

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému školiteli doc. Ing. Boleslavu Kadlečkovi, CSc. za odborné vedení v celém průběhu doktorského studia i za cenné rady a věcné připomínky, které mi poskytl při zpracování disertační práce.

Poděkování za odborné připomínky, komentáře a pomoc při experimentech patří také celému kolektivu katedry Vozidel a pozemní dopravy, kde bych rád poděkoval zejména doc. Ing. Miroslavu Růžičkovi, CSc., Ing. Janu Hromádkovi, Ph.D. a v neposlední řadě Ing. Radimovi Matušů.

Nakonec bych rád poděkoval Michalovi Vojtíškovi, M.Sc., Ph.D. z Technické univerzity v Liberci za spolupráci při vývoji a testování měřicí techniky, jež byla stěžejní částí experimentů uváděných v této práci.

# Abstrakt

Disertační práce se zabývá problematikou kvantifikace emisí ze silniční dopravy. Teoretická část objasňuje problematiku stanovení škodlivých emisí jejich výčtem, principem jejich tvorby a charakteristikou negativních vlivů na člověka. Dále jsou v teoretické části vysvětleny základní principy měření emisí a metodiky měření v ČR i ve světě.

Experimentální část práce je věnována návrhu metody provozního měření emisí motorových vozidel. Tento hlavní cíl práce je rozdělen do dvou dílčích cílů, které spolu velmi úzce souvisejí.

V první části experimentu je navržena metodika přímého měření emisí za provozu. Metodika popisuje základní přístrojové vybavení a postupy pro měření emisí analýzou výfukových plynů v reálném provozu i v laboratorních podmínkách.

Druhá část experimentu je věnována návrhu, realizaci a ověření nepřímé metody měření emisí s využitím dat dostupných z palubní diagnostiky vozidla.

Závěrečná část práce prezentuje konkrétní dosažené výsledky během vývoje obou metod měření emisí.

**Klíčová slova:** měření emisí, škodlivé emise, OBD, nepřímá metoda, spotřeba paliva

# Abstract

This thesis deals with the quantification of emissions from road transport. The theoretical part explains the problems of quantification the harmful emissions, the principle of their formation and characteristics of adverse effects on humans. Furthermore, in the theoretical part explains the basic principles of measurement and methodology of measuring emissions in the CR and abroad.

The experimental part is devoted to the proposal of method a for a measuring motor vehicles' emissions under operational conditions. This main goal of the work is divided into 2 sub-objectives that together closely related.

The first part of the experiment contains a methodology for direct emissions measurement during operation. The methodology describes the base equipment and procedures for measuring emissions by the exhaust gas analysis in real traffic and in laboratory conditions.

The second part of experiment is devoted to design, implementation and verification of indirect method of measuring emissions using data available from the OBD.

The final part presents the specific results achieved during the development of both methods of measuring emissions.

**Keywords:** emissions measurement, harmful emissions, OBD, indirect method, fuel consumption

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY</b> .....	<b>3</b>
2.1	ŠKODLIVÉ EMISE V SILNIČNÍ DOPRAVĚ .....	4
2.2	ŠKODLIVÉ ÚČINKY A PRINCIP VZNIKU JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK EMISÍ .....	6
2.2.1	<i>Oxid uhelnatý (CO)</i> .....	6
2.2.2	<i>Nespálené uhlovodíky (HC)</i> .....	7
2.2.3	<i>Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)</i> .....	8
2.2.3.1	Oxid dusnatý (NO) .....	8
2.2.3.2	Oxid dusičitý (NO <sub>2</sub> ).....	9
2.2.4	<i>Pevné částice (PM)</i> .....	9
2.2.5	<i>Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)</i> .....	10
2.2.6	<i>Ostatní emitované škodliviny</i> .....	11
2.3	METODY PRO KVANTIFIKACI EMISÍ.....	11
2.3.1	<i>Přímé metody</i> .....	11
2.3.1.1	Nedisperzivní infračervená spektrometrie (NDIR) .....	11
2.3.1.2	Plamenná ionizační detekce (FID).....	13
2.3.1.3	Chemická luminiscence (CLA) .....	14
2.3.1.4	Elektrochemické články .....	14
2.3.1.5	Vyhodnocení koncentrací pevných částic .....	15
2.3.1.6	Měření kouřivosti .....	16
2.3.2	<i>Nepřímé metody</i> .....	17
2.3.2.1	Metodika MEFA .....	18
2.3.2.2	Metodika CDV .....	20
2.3.2.3	Metodika CORINAIR.....	21
2.3.2.4	Emisní charakteristiky .....	21
2.4	MĚŘENÍ EMISÍ V ČR .....	24
2.4.1	<i>Homologační měření</i> .....	24
2.4.1.1	Homologace vozidel do 3,5 t .....	24
2.4.1.2	Homologace vozidel nad 3,5 t.....	27
2.4.2	<i>Pravidelné kontroly</i> .....	31
2.4.2.1	Zážehové motory .....	31
2.4.2.2	Vznětové motory .....	32
2.4.3	<i>Měření v reálném provozu</i> .....	32
2.5	PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ EMISÍ .....	32
2.5.1	<i>Přístroje pro homologaci vozidel</i> .....	32
2.5.2	<i>Přístroje pro pravidelné kontroly emisí</i> .....	33

2.5.2.1	Zážehové motory .....	33
2.5.2.2	Vznětové motory .....	34
2.5.3	<i>Přístroje pro měření emisí v provozu</i> .....	35
2.5.3.1	HORIBA OBS-2000.....	36
2.5.3.2	SEMTECH .....	37
2.5.3.3	OEM-2100.....	37
2.6	MĚŘENÍ EMISÍ ZA PROVOZU VE SVĚTĚ .....	38
2.7	DÍLČÍ ZÁVĚR - MĚŘENÍ EMISÍ VOZIDEL V PROVOZU .....	42
<b>3</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>METODIKA PRÁCE</b> .....	<b>45</b>
4.1	VYTVOŘENÍ METODIKY PRO PŘÍMOU METODU MĚŘENÍ EMISÍ.....	45
4.2	NÁVRH NEPŘÍMÉ METODY MĚŘENÍ EMISÍ S VYUŽITÍM SIGNÁLŮ DOSTUPNÝCH Z OBD.....	45
4.2.1	<i>Popis výchozí metody</i> .....	45
4.2.2	<i>Návrh metody stanovení emisí pomocí OBD</i> .....	45
4.2.3	<i>Volba vstupních parametrů</i> .....	46
4.2.4	<i>Tvorba emisních charakteristik</i> .....	46
4.2.5	<i>Vyhodnocení dat</i> .....	47
4.2.6	<i>Ověření nepřímé metody v reálném provozu</i> .....	47
<b>5</b>	<b>NÁVRH METODY PROVOZNÍHO MĚŘENÍ EMISÍ MOTOROVÝCH VOZIDEL</b> .....	<b>48</b>
5.1	PŘÍMÁ METODA STANOVENÍ EMISÍ ZA PROVOZU .....	48
5.1.1	<i>Emisní analyzátor VMK</i> .....	48
5.1.1.1	Princip funkce .....	49
5.1.1.2	Struktura zaznamenávaných dat .....	50
5.1.1.3	Instalace přístroje do vozu.....	52
5.1.1.4	Ovládání přístroje .....	54
5.1.2	<i>Zjišťování hmotnostního toku výfukových plynů</i> .....	55
5.1.3	<i>Diagnostický systém VAG-COM</i> .....	55
5.1.3.1	Struktura ukládaných dat .....	57
5.1.3.2	Volba veličin pro ukládání.....	58
5.1.3.3	Volba názvů souborů .....	59
5.1.4	<i>Metodika měření</i> .....	59
5.1.4.1	Příprava měření .....	59
5.1.4.2	Vlastní měření.....	60
5.1.4.3	Ukončení měření .....	61
5.1.4.4	Příprava dat .....	61
5.1.4.5	Synchronizace dat měření v reálném provozu.....	63
5.1.4.6	Synchronizace dat v laboratorním prostředí .....	66

5.1.4.7	Vyhodnocení dat.....	68
5.1.4.8	Dílčí závěr.....	69
5.2	NEPŘÍMÉ METODY STANOVENÍ EMISÍ ZA PROVOZU .....	70
5.2.1	<i>Metoda stanovení emisí pomocí GPS.....</i>	70
5.2.1.1	Výpočet vstupních parametrů .....	71
5.2.1.2	Dílčí závěr.....	73
5.2.2	<i>Návrh metody stanovení emisí pomocí OBD.....</i>	74
5.2.2.1	Přístrojové vybavení .....	74
5.2.2.2	Volba vstupních parametrů .....	76
5.2.2.3	Tvorba emisních map.....	78
5.2.2.4	Vyhodnocení dat.....	82
5.2.3	<i>Ověření nepřímé metody OBD v reálném provozu.....</i>	83
5.2.4	<i>Dílčí závěr.....</i>	89
<b>6</b>	<b>DOSAŽENÉ VÝSLEDKY .....</b>	<b>90</b>
6.1	PŘÍMÁ METODA MĚŘENÍ.....	90
6.1.1	<i>Monitorování emisí jedoucího vozidla s využitím mobilního analyzátoru VMK.....</i>	90
6.1.2	<i>Analýza produkce emisí hybridního automobilu.....</i>	93
6.1.3	<i>Vyhodnocení vlivu bioetanolu na provozní, ekologické a ekonomické vlastnosti spalovacích motorů.....</i>	96
6.1.4	<i>Ověření metodiky stanovení spotřeby paliva z produkce emisí .....</i>	98
6.1.4.1	Gravimetrická metoda stanovení spotřeby paliva .....	99
6.1.4.2	Zjednodušený výpočet spotřeby paliva z produkce emisí CO <sub>2</sub> .....	99
6.2	NEPŘÍMÁ METODA MĚŘENÍ EMISÍ POMOCÍ OBD .....	103
<b>7</b>	<b>DISKUZE.....</b>	<b>105</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>107</b>
	POUŽITÁ LITERATURA.....	109
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	114
	SEZNAM TABULEK .....	116
	SEZNAM ZKRATEK.....	117
<b>9</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>119</b>
9.1	ZDROJOVÝ KÓD PROGRAMU PRO SYNCHRONIZACI DAT .....	119
9.1.1	<i>Skript index.php .....</i>	119
9.1.2	<i>Skript stahni.php .....</i>	121
9.2	UKÁZKA DAT PRO SYNCHRONIZACI .....	122
9.3	DATA PRO KORELAČNÍ ANALÝZU TOČIVÉHO MOMENTU A HODNOT DOSTUPNÝCH Z OBD.....	123



# 1 Úvod

Automobil je jedním z nejdůležitějších vynálezů, bez kterých si jen málokdo dokáže svůj život v dnešní době představit. Každým rokem přibývá počet automobilů a to jak v celosvětovém, tak v národním měřítku. Rozvoj dopravy se tak stává i významným faktorem ovlivňujícím negativně životní prostředí a zdraví lidí. Největší podíl v tomto směru patří silniční dopravě.

Hlavními negativními vlivy dopravy jsou produkce škodlivých emisí, hluk, vibrace, znečištění vody a půdy, zabírání půdy pro výstavbu silnic a dálnic, ale také dopravní nehody a spotřeba energie, která je v motorových vozidlech získávána spalováním převážně fosilních paliv, tedy spotřeba neobnovitelných zdrojů energie.

Z výše uvedených negativ se práce zabývá produkcí škodlivých emisí, které představují největší současný problém spojený s dopravou. Např. anglická poradenská společnost pro životní prostředí Entec UK spolu s European Environment Agency uvádí, že přibližně 9 % obyvatel Evropské unie žije ve vzdálenosti menší než 200 m od vozovek, jejichž intenzita převyšuje tři milióny vozidel za rok. Do vzdálenosti 500 m žije přibližně 25 % obyvatel Evropské unie. Vlivem vysoké koncentrace škodlivých emisí je v těchto dopravou zasažených oblastech čtyřem miliónům lidí zkrácena aktivní délka života. <sup>[1,2]</sup> Vliv na zkrácení lidských životů potvrzuje i světová zdravotnická organizace, která uvádí, že přibližně 650 000 lidí v rozvojových zemích zemře předčasně vlivem škodlivých emisí z dopravy. <sup>[3]</sup>

Na druhou stranu European Environment Agency také informuje o poklesu produkce škodlivých emisí z dopravy. Pokles je zapříčiněn vývojem systému na dodatečnou úpravu výfukových plynů nutně zaváděných k plnění stále se zpřísnujících emisních EURO norem. Výše poklesu koncentrace škodlivých emisí v jednotlivých oblastech EU je závislá na stáří vozového parku. <sup>[4]</sup>

Pohledem na vývoj průměrného stáří vozidel v ČR lze usuzovat na postupnou obnovu vozového parku. <sup>[5]</sup> Tato obnova představuje pozitivní trend, avšak technické prostředky nových automobilů snižující produkci emisí nedokážou doposud výrazně eliminovat vliv řádově vyšší produkce emisí starých vozidel. Navíc je nutné si uvědomit, že nepoměrně větší množství celkových emisí pochází z relativně malého počtu vozidel a relativně krátkých časových úseků z celkové doby provozu. Zvláště negativně jsou tyto

vlivy vnímány v městských aglomeracích, kde dochází k bezprostřednímu kontaktu vozidel a obyvatel, kteří jsou pak přímo vystavováni negativním vlivům dopravy.

Z výše uvedených důvodů vidí autor práce možnosti ve snižování produkce škodlivých emisí motorových vozidel v lepším porozumění skutečné produkce škodlivých emisí měřené v reálných podmínkách konkrétních motorových vozidel.

## 2 Přehled současného stavu řešení problematiky

V současné době je problematika produkce škodlivých emisí z dopravy velmi diskutovaným tématem. Je to dáno tím, že škodlivé emise, jakožto jeden z mnoha negativních vlivů dopravy na životní prostředí, lze měřit (pravidelná měření jsou ze zákona předepsaná) a lze tedy uvažovat i o jejich cílené regulaci (zavádění speciálních poplatků či omezování vjezdu do měst). Laická veřejnost pak může nabývat dojmu, že produkce škodlivých emisí je tím hlavním, čím doprava škodí životnímu prostředí, a tak velmi dobře slyší na uzákonění limitů požadujících snížení emisí.

Problémem současného stavu legislativních předpisů pro stanovení limitů produkce škodlivých emisí je jejich nízká vypovídací schopnost. Tyto limity se vztahují převážně na vozidla nově uváděná do provozu při procesu homologace. Jedná se tedy o nová vozidla, která jsou podrobována homologačnímu měření, avšak jen s malou vypovídající schopností v porovnání s reálným provozem. Důvodem jsou předepsané homologační cykly, které jsou pouhou simulací průměrných podmínek, ve kterých je následně vozidlo provozováno. To je výhodné zejména z hlediska porovnávacího měření, ale v porovnání s reálným provozem může být dosahováno výrazně horších emisních parametrů.<sup>[6]</sup>

Měření vozidel v provozu se v ČR soustředí pouze na pravidelné emisní kontroly, které mají za cíl odhalit vozidla s nevyhovující produkcí škodlivých emisí. Zde je zásadním problémem vypovídací schopnost prováděných testů.

V případě vozidel se zážehovým motorem je prováděno měření základních složek škodlivých emisí ve volnoběžném režimu a následně při zvýšeném volnoběhu. Jak již bylo mnoha odbornými publikacemi doloženo, jsou tyto testy jen málo průkazné a i s částečně nefunkčním katalyzátorem lze touto kontrolou legálně projít<sup>[7]</sup>.

V případě vznětových motorů je metodika měření z hlediska provozního stavu motoru během měření výrazně lepší. Testuje se vně nezatížený motor pomocí metody volné akcelerace, kdy je motor zatížen urychlováním svých setrvačných hmot. Nelze říci, že by tato metodika dokonale odrážela reálný provoz vozidla, ale je zde testován zatížený motor v režimu, který je běžně v reálném provozu dosahován. Jistou nevýhodou je riziko poškození zvláště starších vozidel vlivem prudké změny zatížení motoru, která klade poměrně vysoké nároky na stav rozvodového mechanismu.

V současné době je zatím stále neobvyklou možností v ČR měření emisí jedoucího vozidla. Dlouholetou praxi v tomto oboru má např. Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D. z Technické univerzity v Liberci (TUL), se kterým v současné době spolupracuje i katedra Vozidel a pozemní dopravy na TF ČZU v Praze. Měření v reálném provozu má poměrně dlouholetou tradici např. v USA, ale první zmínky o měření v provozu lze najít také v Belgii<sup>[6]</sup>. K tomuto účelu je využíváno speciálně upravených emisních analyzátorů, tzv. PEMS (Portable Emission Measuring System), které jsou výsledkem kompromisu mezi „mobilitou“ přístroje a jeho přesností. Na tyto přístroje jsou kladeny poměrně náročné požadavky, neboť analyzátory výfukových plynů jsou velmi choulostivé na vnější podmínky.

## 2.1 Škodlivé emise v silniční dopravě

Vzhledem k tomu, že většina motorových vozidel v ČR je poháněna spalovacími motory, jejichž základním principem je pomocí spalování přeměna chemické energie obsažené v palivu (zpravidla ropného původu) na energii mechanickou, jsou s jejich provozem nutně spojeny emise škodlivých výfukových plynů.

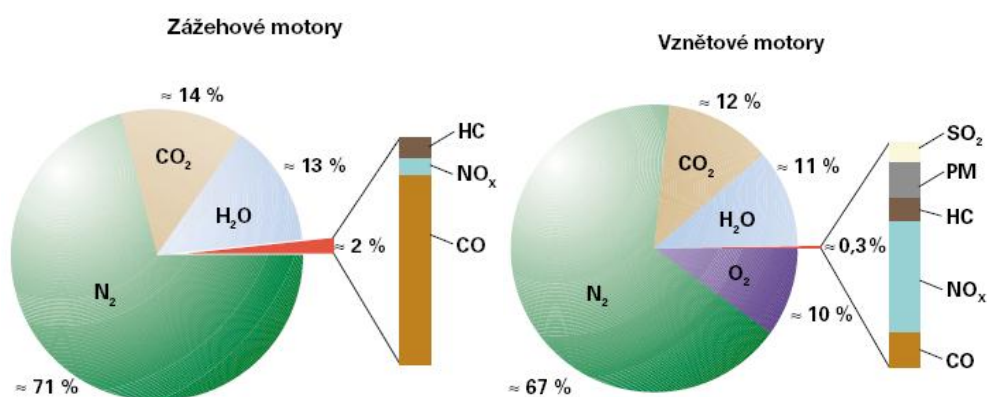
Vlastní hoření směsi ve spalovacích motorech je složitý děj, který je ovlivňován mnoha faktory. Při spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká při dokonalém spalování oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Dokonalého spalování se však dosahuje jen velmi obtížně, v podstatě jen při ustálených provozních režimech motoru. Vlivem nedokonalého spalování a jiných faktorů se ve spalínách objevuje také oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ), nespálené uhlovodíky ( $\text{HC}$ ) a vodík ( $\text{H}_2$ ). Nespálené uhlovodíky různého složení (co do obsahu individuálních uhlovodíků) vznikají při velmi nepříznivých globálních či lokálních podmínkách pro oxidaci paliva. Kyslík  $\text{O}_2$  se objevuje ve výfukových plynech, když není celé jeho množství využito k oxidaci paliva, protože byl v čerstvé směsi v přebytku, anebo se nevyužil z jiných důvodů. U vznětových motorů se kyslík objevuje vždy, protože vznětový motor pracuje s přebytkem vzduchu. Protože vzduch použitý při spalování obsahuje dusík ( $\text{N}_2$ ), dochází při vysokých teplotách ve spalovacím prostoru také ke vzniku emisí oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Ty se skládají převážně ze dvou oxidů, konkrétně z oxidu dusnatého ( $\text{NO}$ ) a menšího množství oxidu dusičitého ( $\text{NO}_2$ ).<sup>[8]</sup>

U vznětových motorů, a v dnešní době i u moderních zážehových motorů s přímým vstřikem paliva, nastává za totálního nepřístupu vzduchu (uvnitř kapičky kapalného paliva)

při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíku, jejímž výsledkem je přítomnost pevného uhlíku (sazí) ve spalínách. S výfukovými plyny odchází z motoru též jisté (velmi malé) množství dalších (pevných) částic (vysokomolekulové produkty tepelné degradace mazacího oleje, prach, popel, částičky rzi atd.).<sup>[9]</sup>

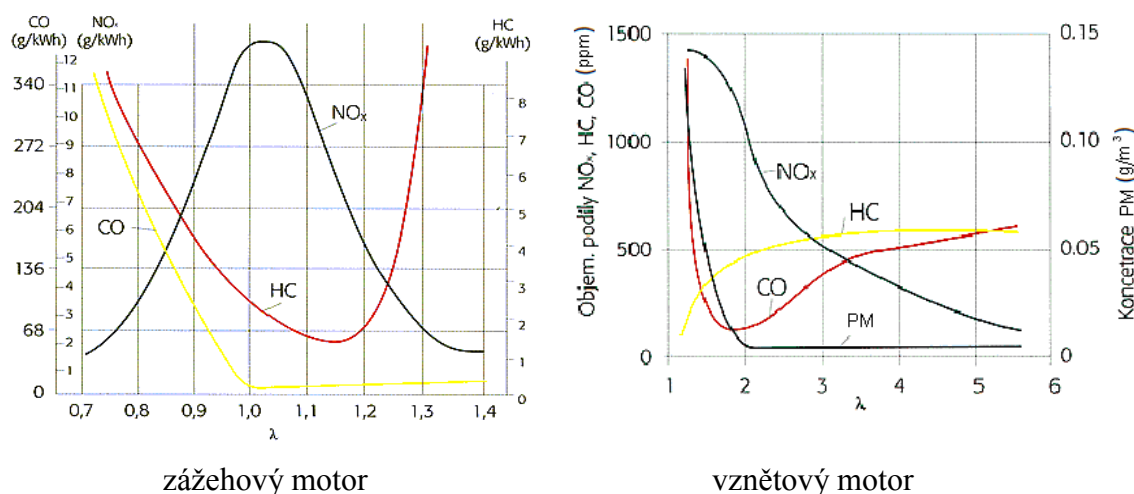
V dnešní době jsou již jen v nepatrné míře emitovány oxidy síry (zpravidla díky nižší kvalitě paliva). Dříve se ještě objevovaly ve výfukových spalínách sloučeniny olova (Pb), neboť olovo bylo používáno jako aditivum, od roku 2001 je však již jeho používání legislativně zakázáno. Přibývají však další složky, například částice o velikosti jednotek až desítek nanometrů (nanočástice) z kovů nebo jejich sloučenin.

Obr. 1 ilustruje podíl jednotlivých škodlivých složek emisí u zážehového a vznětového motoru.



**Obr. 1** Podíl škodlivých složek emisí u zážehového a vznětového motoru<sup>[10]</sup>

Množství emitovaných emisí také úzce souvisí se součinitelem přebytku vzduchu  $\lambda$ , jak je patrné z následujícího obr. 2.



**Obr. 2** Produkce emisí zážehového a vznětového motoru v závislosti na  $\lambda$ <sup>[10]</sup>

## 2.2 Škodlivé účinky a princip vzniku jednotlivých složek emisí

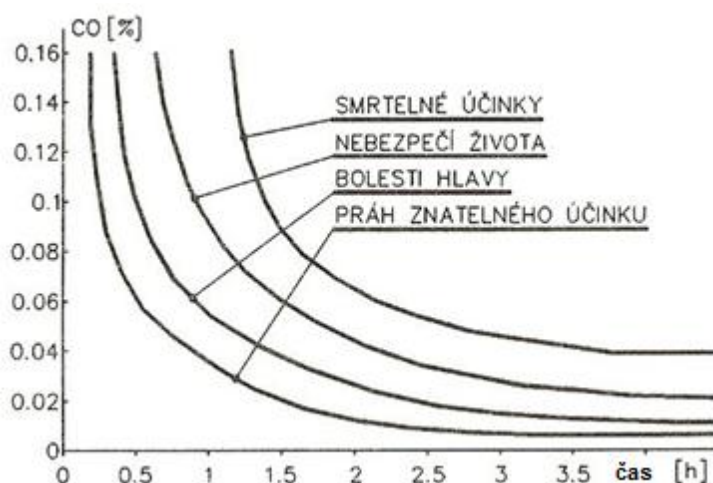
Škodlivé emise jsou do ovzduší emitovány převážně jako složky výfukových plynů. Následuje bližší popis jednotlivých složek emisí, princip jejich vzniku a vliv na člověka.

### 2.2.1 Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, je lehčí než vzduch. Vzniká jako produkt nedokonalého spalování při nedostatku vzduchu nebo při vysokých teplotách spalování. <sup>[8]</sup>

Při vdechování se váže na krevní barvivo a tím brání oksyličování krve v lidském organismu. Vazba oxidu uhelnatého na hemoglobin je přibližně dvousetkrát silnější než kyslíku a proto jeho odstranění z krve trvá mnoho hodin až dní. <sup>[8]</sup>

Souvislost mezi koncentrací CO, dobou expozice a zdravotními účinky je zobrazen na obr. 3. Nejcitlivějším orgánem na dodávku kyslíku je mozek, proto je oxid uhelnatý vlastně nervovým jedem. <sup>[8]</sup>



**Obr. 3** Účinek oxidu uhelnatého na lidský organismus <sup>[8]</sup>

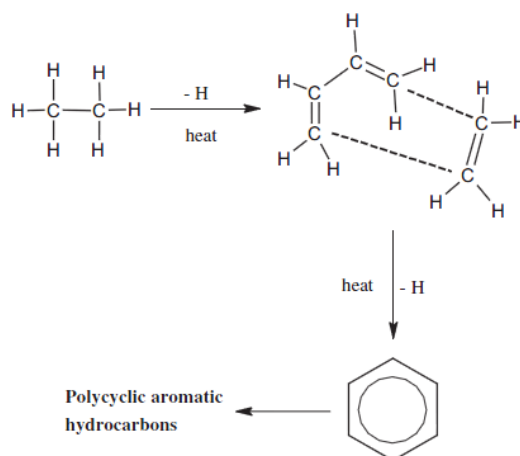
Oxid uhelnatý se podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu. Celková roční emise CO z antropogenních zdrojů je řádově srovnatelná s přírodními emisemi. V otázce podílu pístových spalovacích motorů na množství emitovaném lidskou činností lze hodnotu vymezit do oblasti řádů desítek procent. <sup>[8]</sup>

## 2.2.2 Nespálené uhlovodíky (HC)

Nespálené uhlovodíky vznikají jako výsledek předčasně ukončených oxidačních reakcí v některých zónách spalovacího prostoru. Nespálené uhlovodíky jsou ve skutečnosti směsí individuálních komponent, jejichž přímá i zprostředkovaná škodlivost je různá. Nejmenší přímý vliv na organismus mají uhlovodíky, které jsou obsaženy v palivech a ve spalinách se objevují zejména v důsledku přímé ztráty paliva zkratovým vyplachováním. Hygienicky přípustná koncentrace těchto složek (např. alifatických uhlovodíků) se určuje podle čichového prahu, nikoli podle toxických účinků.<sup>[8]</sup>

Silně dráždivě na sliznice a oči působí už při malé koncentraci a při krátkých expozičních dobách nenasycené aldehydy (např. akrolein) a vyšší aldehydy všeobecně. U formaldehydu byly prokázány mutagenní účinky a je podezírán z karcinogenosti. Nejnebezpečnější (ze všech složek spalin) jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), které mají (podle stávající úrovně znalostí problematiky) rakovinotvorný účinek. Jejich škodlivost je zesílena vazbou na povrch emitovaných pevných částic. Nejznámější polycyklický aromatický uhlovodík je benzo[a]pyren, u něhož byly karcinogenní účinky prokázány nejdříve. Mezi polycyklické aromatické uhlovodíky emitované spalovacími motory patří také benz[a]anthracen, benzo[b]fluoranthén, benzo[j]fluoranthén, benzo[k]fluoranthén a dibenz[a,h]anthracen.<sup>[8] [11]</sup>

Polycyklické aromatické uhlovodíky vznikají za vysokých teplot (přes 500 °C) rozpadem vazeb mezi atomy uhlíku (C) a vodíku (H) za vzniku volných radikálů. Následnou pyrolýzou (Obr. 4) a pyrosyntézou vznikají z volných radikálů PAH.<sup>[11]</sup>



**Obr. 4** Tvorba PAH pyrolýzou etanu<sup>[11]</sup>

Některé uhlovodíky, zejména aldehydy a ketony, jsou významnou složkou letního smogu. Za jistých klimatických podmínek (např. Kalifornie) je tvorba fotochemického smogu nejvýznamnějším negativním dopadem emisí na životní prostředí. Škodlivost uhlovodíků se pak posuzuje podle jejich reaktivity na tvorbu smogu. Reaktivita alifatických uhlovodíků roste s velikostí molekuly (konstitučním koeficientem uhlíku). Metan má na tvorbu smogu kalifornského typu 100x menší reaktivitu než etan. Proto je někdy považováno za účelné hodnocení emisí uhlovodíků v členění na metanové a nemetanové uhlovodíky. Měřicí technika pak případně musí být na tento způsob hodnocení příslušně vybavena. <sup>[8]</sup>

### **2.2.3 Oxidy dusíku ( $NO_x$ )**

Jak již bylo uvedeno v kap. 2.1, oxidy dusíku se skládají převážně ze dvou oxidů, konkrétně z oxidu dusnatého NO a menšího množství oxidu dusičitého NO<sub>2</sub>.

#### **2.2.3.1 Oxid dusnatý (NO)**

Oxid dusnatý je za normální teploty bezbarvý, paramagnetický plyn, pro člověka jedovatý a za přítomnosti vlhkosti leptavý. Vzniká za vysokých teplot při spalování směsi paliva a vzduchu oxidací vzdušného dusíku.

Přímá škodlivost oxidu dusnatého na živý organizmus je vcelku nízká. Mechanismus účinku na živý organizmus působí prostřednictvím dezinformace regulační soustavy, která na přítomnost NO ve vdechovaném vzduchu (resp. na přítomnost kyseliny dusičné, která vzniká pohlcením NO<sub>2</sub> ve vodě na stěnách sliznice) reaguje jako na začínající hoření a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Důsledkem je pocit dušení a nucení ke kašli. Tento nežádoucí jev nastává již při velmi nízkých koncentracích, resp. při krátkých expozičních dobách. <sup>[8]</sup>

Dalším negativním vlivem je značný podíl na tvorbě fotochemického smogu. Reakcí s vodou tvoří kyselinu dusičnou, podílející se na vzniku kyselých dešťových srážek. <sup>[8]</sup>



### 2.2.3.2 Oxid dusičitý ( $NO_2$ )

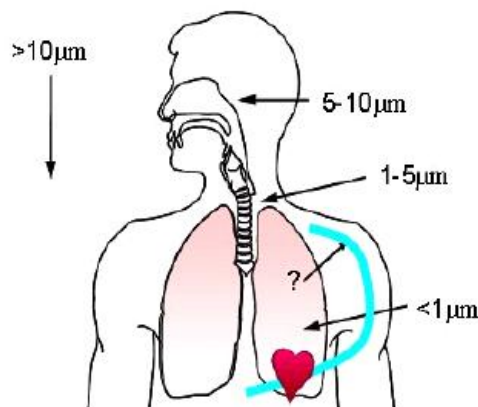
V plynném stavu jde o červenohnědý, agresivní, prudce jedovatý plyn, v kapalném stavu je to žlutohnědá látka, která tuhne na bezbarvé krystaly.

V ovzduší patří oxid dusičitý k plynům, které způsobují kyselé deště. Oxid dusičitý je pohlcován hlenem dýchacích cest z 80 až 90 procent. Způsobuje záněty dýchacích cest od lehkých forem až po edém plic. <sup>[12]</sup>

### 2.2.4 Pevné částice (PM)

Částice emitované v současné době převážně vznětovými motory obsahují zejména pevný uhlík ve formě sazí (proto se též tato skupina škodlivin nazývá pevné částice). Pevné částice se skládají z elementárního uhlíku tvořícího částice, které mají složité fraktální tvary a velký aktivní povrch. Další složku částic tvoří organické látky, kondenzovaná voda, sloučeniny síry a sloučeniny dusíku, a to ve formě samostatných částic, nebo absorbované nebo adsorbované na elementární uhlík. Samotná pevná částice tedy není toxická. Na pevných částicích jsou ovšem sorbovány látky s vysokou zdravotní závadností (např. zmíněné polycyklické aromáty). <sup>[8]</sup>

Většina emitovaných částic má rozměr jednotek až stovek nanometrů, větší částice, zpravidla aglomeráty (shluky), otěrové částice a prach, tvoří velmi malý zlomek celkového množství emitovaných částic. Částice těchto rozměrů jsou nazývány nanočásticemi, tento termín ale není přesně vymezen, někdy se používá pouze pro částice velikosti jednotek až desítek (ale nikoli stovek) nanometrů. Čím menší je částice, tím pomaleji se usazuje, a tím více je pravděpodobné, že bude unášena proudem vzduchu. Nanočástice jsou proto jen obtížně zachycovány v nose a pronikají hluboko do plic, kde se usazují. Nanočástice též pronikají buněčnou stěnou až do krevního oběhu. Průnik různých velikostí částic ilustruje obr. 5. <sup>[13]</sup>



**Obr. 5** Pronikání PM do lidského těla<sup>[10]</sup>

Kontaminované částice se mohou usazovat v plicních sklípcích organizmů a umožňovat tak dlouhodobé působení karcinogenů. Funkce nosiče rakovinotvorných látek je hlavním důvodem k výrazně negativnímu hygienickému hodnocení emitovaných částic.

Částice jsou též hlavní příčinou výskytu zimního smogu, typického pro stav teplotní inverze.<sup>[8][13]</sup>

### 2.2.5 Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)

Oxid uhličitý není explicitně uveden ve výčtu škodlivin. Po chemické stránce se jedná o produkt dokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalinách je tedy důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. Jedná se o látku vcelku velmi stabilní a všeobecně málo reaktivní. Toxicita je nevýznamná pokud koncentrace nedosáhne úrovně ovlivňující koncentraci kyslíku ve vdechovaném vzduchu jeho vytěsňováním.<sup>[8]</sup>

Negativně působí CO<sub>2</sub> na životní prostředí vytvářením radiační clony omezující sdílení tepla ze zeměkoule sáláním, čímž vytváří tzv. Skleníkový efekt (Green House Effect). Tím se průběžně zvyšuje teplota a dochází k posunu klimatických poměrů s celou řadou fatálních důsledků (tání ledovců, zvýšení hladiny oceánů).

Celkový antropogenní přísun CO<sub>2</sub> do troposféry je odhadován jako o 1 řád nižší, než je přírodní emise této látky. Přírodní emise jsou ovšem v rovnováze s (rovněž přírodními) procesy, jejichž výsledkem je snižování obsahu oxidu uhličitého v atmosférickém obalu zeměkoule. V důsledku průmyslové činnosti došlo ke zvýšení pozadí koncentrace CO<sub>2</sub> z 280 ppm (parts per milion) na 355 ppm. V rámci antropogenních emisí obnáší podíl provozu spalovacích motorů cca 10 %.<sup>[8]</sup>

### **2.2.6 Ostatní emitované škodliviny**

Mezi další škodlivé prvky emitované provozem vozidel patří emise vznikající opotřebením jak součástí spalovacího motoru, podvozkových částí a pneumatik, tak i vlastním obrušováním povrchu vozovky.

Mezi tyto prvky lze stále řadit například olovo (Pb), které již sice není používáno jako antidetonační přísada do paliva, nicméně stále se vyskytuje jako výplňový materiál v pneumatikách, nebo jako přísada do maziv a ložisek. Dalším těžkým kovem, který lze nalézt v pneumatikách, je kadmium (Cd). Zdrojem toxických kovů je také brzdové a spojkové obložení. Zde lze nalézt např. nikl (Ni) nebo chrom (Cr). Z katalyzátorů je pak možné uvolňování platinových kovů, jako je platina (Pt), rhodium (Rh) či palladium (Pd).<sup>[14]</sup>

## **2.3 Metody pro kvantifikaci emisí**

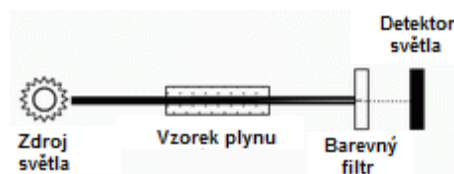
Měření emisí je naprosto nezbytné pro objektivní hodnocení vlivu dopravy na životní prostředí. Podle základního principu vyhodnocování emisí lze metody rozdělit na přímé a nepřímé.

### **2.3.1 Přímé metody**

Přímé metody jsou považovány za nejprůkaznější metody pro zjišťování koncentrací jednotlivých škodlivých složek výfukových emisí. Jejich princip je založen na měření fyzikálních nebo fyzikálně-chemických vlastností, jejichž změna je přímo úměrná koncentraci zjišťované složky.

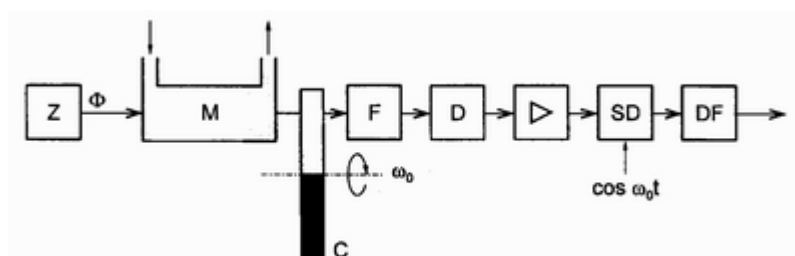
#### **2.3.1.1 Nedisperzivní infračervená spektrometrie (NDIR)**

Metoda NDIR (Non-Dispersive Infrared Sensor) je založena na faktu, že některé plyny absorbují určitou vlnovou délku (spektrální čáru) záření, které jím prochází. Při správné volbě zdroje záření tato metoda umožňuje s vysokou selektivitou určovat a měřit složení plynů, jejichž absorpční pásma pohlcující světlo a leží ve spektru infračervených vlnových délek, tzn. od 200 do 900 nm. Mezi plyny splňující tento požadavek patří například SO<sub>2</sub>, NO, NH<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O nebo CH<sub>4</sub>.<sup>[15]</sup>



**Obr. 6** Metoda NDIR <sup>[15]</sup>

Princip absorpce infračerveného záření využívá skutečnosti, že každý druh plynu absorbuje jinou vlnovou délku a tak lze i ve směsi několika různých plynů určit přesně složení. Prostě se jen zjistí, které vlnové délky prošlého záření chybí, nebo jsou zeslabeny. Podle intenzity útlumu se pak určuje koncentrace každého plynu obsaženého ve směsi.



**Obr. 7** Blokové schéma spektrometru NDIR <sup>[15]</sup>

Z-zdroj záření, M-měřicí komora s plynem, C-clonkový kotouč, F-filtr, D-detektor, SD-synchronní detektor, DF-dolnofrekvenční filtr

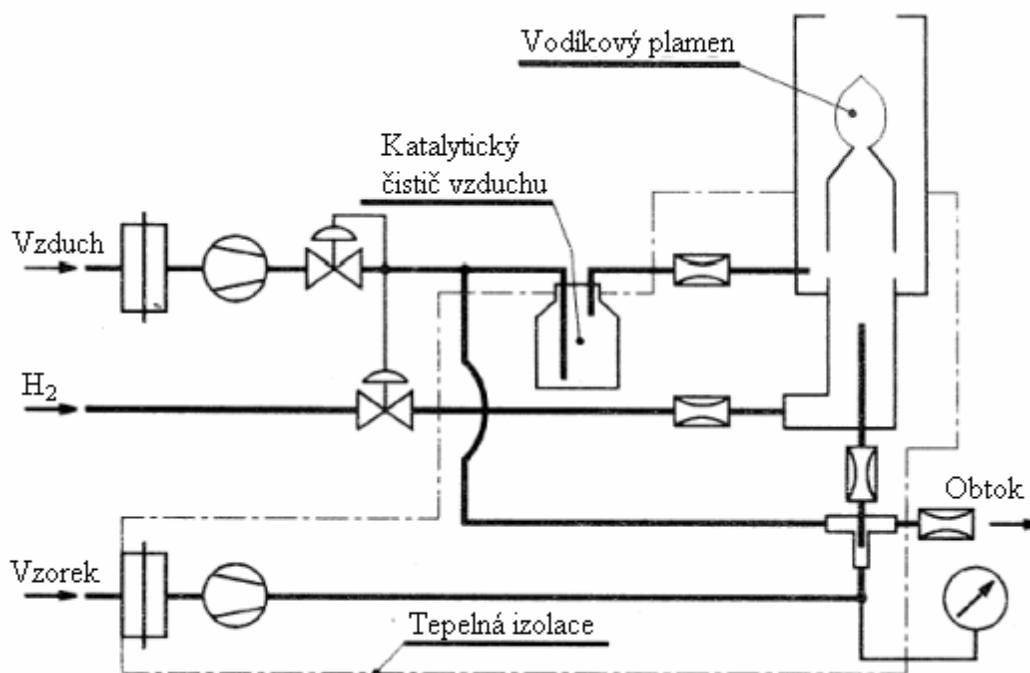
Principiální a blokové schéma nedisperzivního infračerveného spektrometru je na obrázku 6 a 7. Zdroj infračerveného záření (výbojka) vysílá paprsky, které jsou z důvodu detekce změn přerušovány otáčejícím se kotoučem. Paprsky dále procházejí komorou s analyzovaným plynem. Za ní se nachází detektor záření - přijímač, který měří útlum jednotlivých složek a převádí je na elektrický signál. Ten se již upravuje, digitalizuje a elektronicky zpracovává, až se získá výsledná informace o složení a koncentracích jednotlivých složek. Největším "problémem" uvedeného principu je tzv. křížová citlivost analyzátoru, která je způsobena překrýváním absorpčních pásem některých plynů. To znamená, že určité vlnové délky jsou zároveň absorbovány dvěma plyny a nelze tedy rozlišit, který z nich je ve směsi obsažen. Tyto "spektrální přechody" se obvykle optickými nebo elektronickými filtry potlačují, aby nevnášely do měření rušící jevy. <sup>[15]</sup>

Pro případy, kdy je nutné dosáhnout velmi vysoké přesnosti a detekovat jen několik druhů plynů, tzn. měřit absorpci jen na několika konkrétních vlnových délkách, se jako

zdrojů záření využívá laserových diod. Ty generují jen velmi úzké svazky paprsků, jejichž spektrum obsahuje jen jednu vlnovou délku. Ta je nastavena přesně na absorpční maximum hledané složky plynu a křížová citlivost se tak maximálně eliminuje. Tento princip již odpovídá spíše principu disperzivního infračerveného spektrometru - DIR. Jeho nevýhodou proti NDIR je schopnost detekovat jen tolik složek, kolik je laserových diod ve vysílači. <sup>[15]</sup>

### 2.3.1.2 *Plamenná ionizační detekce (FID)*

V analyzátoru FID (flame ionization detector) založeném na principu změny elektrické energie vodivosti vodíkového plamene (viz obr. 8) se využívá toho, že za přítomnosti organických par se v plameni hořícího vodíku vytvářejí snadno ionizovatelné částice, které mohou zprostředkovat vedení elektrického proudu mezi dvojicí elektrod umístěných v blízkosti plamene, z nichž jedna je obvykle tvořena samotným tělesem hořáku, druhá je umístěna v plameni. Zanoření elektrody do plamene musí být optimalizováno, protože proud iontů vzniká v jisté oblasti plamene a samotné ionty mají malou životnost a záhy zanikají rekombinací. Po zesílení se hodnota proudu zviditelní na ukazovacím přístroji jako údaj koncentrace. <sup>[8]</sup>



Obr. 8 Metoda FID <sup>[8]</sup>

### 2.3.1.3 Chemická luminiscence (CLA)

Základem chemiluminiscenčních analyzátorů CLA (ChemiLuminescence Analyser) je chemická reakce doprovázena emisí světelného záření. Takovou reakcí je oxidace oxidu dusnatého (NO) ozónem (O<sub>3</sub>). Ústřední částí analyzátoru je tedy komůrka se dvěma přívody plynu. Jedním se přivádí analyzovaná směs, druhým ozón. Ke komůrce pak přiléhá detektor světelného záření. Protože světelné záření je zvláště při nízkých koncentracích slabé, používá se na místě detektoru nejčastěji fotonásobič. Za předpokladu že ozón je přiváděn v přebytku, je výstupní signál detektoru přímo úměrný množství přiváděného oxidu dusnatého.

Výhodou chemiluminiscenčních analyzátorů je jejich vysoká selektivita. Součástí analyzátorů je i přesná stabilizace průtoku analyzované směsi. Stabilizace je nutná, protože intenzita záření je úměrná množství přiváděného oxidu dusnatého.

Dále je možné tímto analyzátozem zjišťovat i koncentraci oxidu dusičitého (NO<sub>2</sub>). Koncentraci oxidu dusičitého je možno měřit tehdy, převede-li se oxid dusičitý před vstupem do měřicí komory na oxid dusnatý. Převod se obvykle uskutečňuje v malém reaktoru obsahujícím redukující náplň.

Je-li do proudu měřeného plynu zařazen tento konvertor, měří analyzátor součet oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>). Koncentraci samotného oxidu dusičitého je možno zjistit tím, že se porovnává signál získaný při měření směsi přicházející mimo konvertor se signálem získaným po průchodu směsi konvertorem. Konstrukce analyzátorů pak je schopna poskytnout údaj o koncentraci NO, NO<sub>x</sub> (= NO + NO<sub>2</sub>) a NO<sub>2</sub> (= NO<sub>x</sub> - NO).<sup>[16]</sup>

### 2.3.1.4 Elektrochemické články

Podstatou elektrochemických článků je měření stejnosměrného proudu, vznikajícího mezi elektrodami ponořenými do roztoku elektrolytu, který je ve styku s analyzovanou plynnou směsí. Jejich široké použití zahrnuje detekci celé škály plynů, například kyslíku, vodíku, oxidu uhelnatého, oxidů dusíku, sirovodíku a chloru. Elektrochemické články mohou být rozděleny podle toho, jestli používají tekutý nebo tuhý elektrolyt.

Při průchodu stejnosměrného proudu elektrolytem dochází na elektrodách k elektrochemickým reakcím. Vlivem těchto reakcí se mění složení roztoku v bezprostřední blízkosti elektrod. Změnou složení vzniká nový elektrochemický potenciál

orientovaný proti původnímu napětí vloženému na elektrody. Vznik tohoto elektrochemického napětí spojeného se snížením procházejícího proudu je označován jako polarizace elektrod.

Polarizace se obecně může projevovat na obou elektrodách, vhodným uspořádáním lze však dosáhnout toho, že potenciál jedné z elektrod se při průchodu proudu nemění, že se tato elektroda nepolarizuje. Nepolarizovaná elektroda je referenční nebo pomocná. Snadno polarizovaná elektroda pak bývá elektrodou měřicí nebo indikační. <sup>[16]</sup>

### 2.3.1.5 Vyhodnocení koncentrací pevných částic

Pro přímé stanovení koncentrace pevných částic lze využít gravimetrickou metodu (princiální schéma viz obr. 9), jejíž princip je založen na přímém měření hmotnosti částic, zachycených na filtrační element. Filtrační element je ze skelných vláken potažených teflonem (Pallflex). Jeho hmotnost se zjistí na přesných laboratorních vahách, pak se instaluje do příslušného držáku a pumpou se přes něj prosává vzorek spalin. Po ukončení měření se filtr i se zachycenými částicemi opět zváží a stanoví se hmotový obsah částic v analyzovaném vzorku podle následujícího vzorce (1): <sup>[8]</sup>

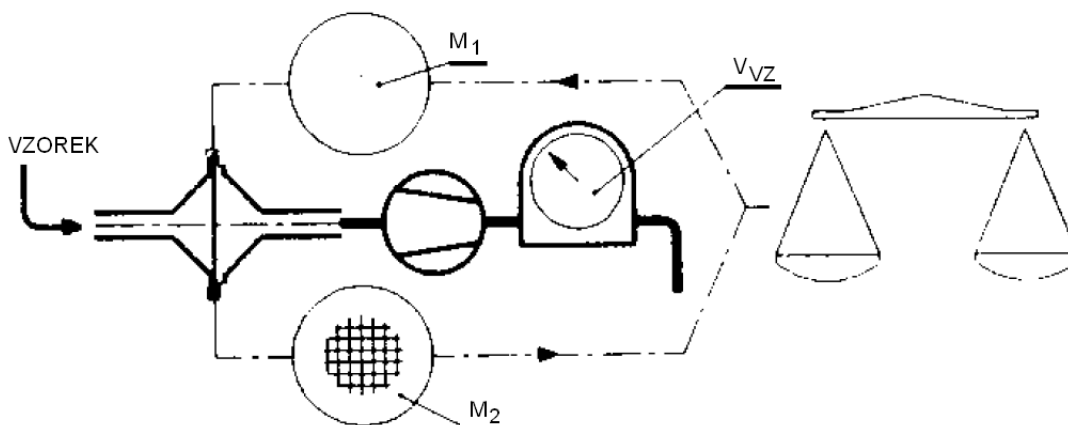
$$C_{PM} = \frac{M_2 - M_1}{V_{VZ}} \quad (1)$$

kde:

$C_{PM}$  ( $g/m^3$ )...hmotnostní koncentrace částic,

$M_1, M_2$  (g)...hmotnost nového, resp. kontaminovaného filtru,

$V_{VZ}$  ( $m^3$ )...objem celkového prosátého množství spalin



**Obr. 9** Princip gravimetrického měření koncentrace PM <sup>[8]</sup>

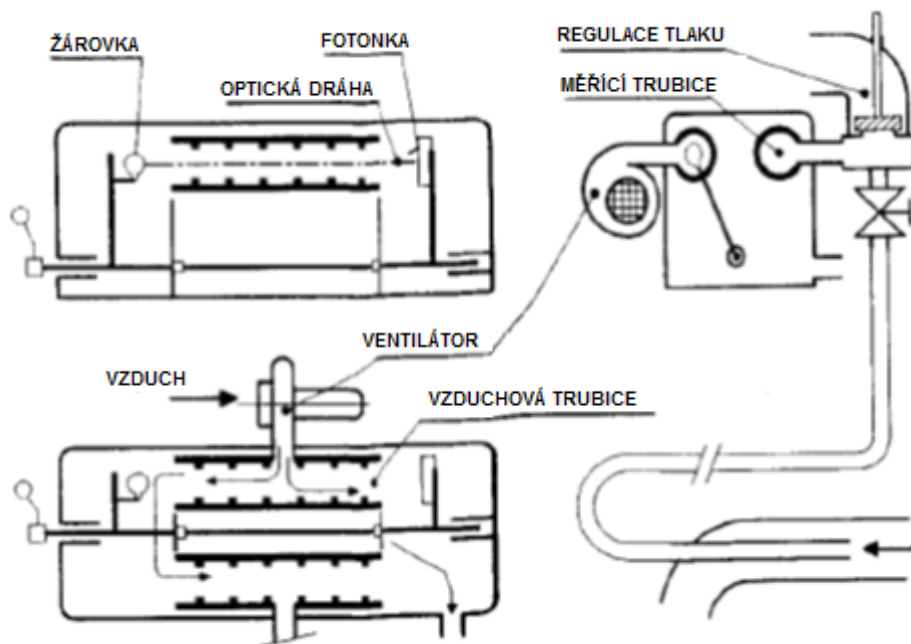
### 2.3.1.6 Měření kouřivosti

Na rozdíl od plynných škodlivin bývá kouření spalovacích motorů pozorovatelné i bez měřicích přístrojů a proto se stalo předmětem všeobecného zájmu jako první ze skupiny jevů, kterými spalovací motor působí negativně na okolí.

První metody měření byly založeny na filtračních metodách, kdy do proudu výfukových plynů byl vkládán filtrační papírek a pomocí přístroje bylo vyhodnocováno jeho zčernání. Z tohoto principu vzešla pak metoda opacimetrie, kdy je vyhodnocován útlum světla ve sloupci výfukových plynů.

Vyhodnocování útlumu světla je poměrně jednoduché, je však třeba se vypořádat s rizikem zanášení optické dráhy proudícími částicemi.

Na obr. 10 je zobrazeno schéma analyzátoru Hartridge, který je považován za standard v měření opacity. Za provozu přístroje je optická dráha většinou souosá se vzduchovou trubicí a přívod spalin do přístroje je uzavřen. Pouze při vlastním měření se optická dráha překlápí do osy měřicí trubice, do které se současně vpouští vzorek spalin. Po odečtení hodnoty se opět držák se žárovkou a fotonkou překlápí do polohy, kde intenzivní omývání čistým vzduchem udržuje povrch rozhodujících prvků prostý úsad. <sup>[8]</sup>



Obr. 10 Opacimetr Hartridge <sup>[8]</sup>

Stupnice přístroje je rozdělena na 100 dílků HSU (Hartridge Smoke Unit). Z údaje stupnice se vypočítá absorpční koeficient  $k$  (1/m) podle vztahu (2): <sup>[8]</sup>



$$k = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (2)$$

kde:

$k$  (1/m)...absorpční koeficient,

$L$  (m)...délka optické dráhy – vzdálenost žárovky a fotonky (pro Hartridge 0,43 m),

$N$  (HSU)...údaj opacimetru.

### 2.3.2 Nepřímé metody

Tento druh stanovení množství emisí je používán pro skupinové i individuální měření mobilních zdrojů. Pro zjišťování nebo přesněji odhadování množství emisí tímto způsobem je zapotřebí užití modelových výpočtů. Do odhadu je zařazena individuální, hromadná doprava osob, přeprava zboží, dále také provoz zemědělské, lesní, stavební, armádní techniky a jiných. Metodiky zjišťování množství emisí se v průběhu posledních let modifikovaly a přizpůsobovaly nově zjišťovaným podkladovým údajům. V závislosti na těchto změnách byly již několikrát provedeny přepočty množství emisí vykazovaných v předešlých obdobích. <sup>[14]</sup>

Jedním ze základních údajů pro posuzování, monitorování, řízení kvality ovzduší, zpracování emisních inventur a prognóz, k hodnocení plnění emisních stropů, a také pro rozptylové studie na lokální úrovni, se používá emisní faktor. Emisní faktor vozidel je množství emisí, které je vyprodukováno vozidlem na spotřebované palivo (g/kg paliva), jednotku spotřebované energie (g/MJ) nebo na jednotku výkonu motoru (g/kWh). Pro účely výpočtů celkových dopravních emisí na úseku silnice nebo na celé komunikaci se nejčastěji používají emisní faktory na 1 ujetý kilometr (g/km). Naopak, pro výpočty emisí na celostátní nebo regionální úrovni se vychází z evidence spotřeby paliv (benzín, nafta, případně LPG, CNG a směsná nafta) a proto je nejvhodnější využít emisní faktory v g/kg paliva. <sup>[14]</sup>

V současné době nejčastěji používanými nepřímými metodami v České republice jsou metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší z dopravy MEFA (Metodika Emisních Faktorů Automobilů) a metodika CDV (Centrum Dopravního Výzkumu). Za mezinárodní nepřímou metodu zjišťování emisí z dopravy je považována metodika CORINAIR (Core Inventory of Air Emissions).

Ve fázi vývoje a ověřování jsou v současné době nepřímé metody založené na principu emisních charakteristik. Tyto metody jsou zaměřeny na stanovení okamžité produkce emisí konkrétního vozidla.

### **2.3.2.1 Metodika MEFA**

Tato metodika je zaměřena na výpočet emisí z dopravy pro definované úseky silničních komunikací. Při databázovém výpočtu je ze vstupních údajů generován výstupní soubor, který obsahuje hodnoty emisí (vyjádřené v g/s) pro uživatelem vybrané látky.

Pro zjišťování množství emisí je zapotřebí znát spolehlivě naměřené emisní faktory charakterizující produkci škodlivých emisí v závislosti na rychlosti jízdy, sklonu vozovky a i druhu použitého paliva (benzín, motorová nafta, LPG, zemní plyn).

Získané emisní faktory byly měřeny několika způsoby, přičemž docházelo k rozdílným výsledkům. Aby se tomuto problému předešlo, vyšla v platnost ke dni 3.6.2002 právně závazná směrnice na ochranu ovzduší, která sjednocuje měření emisních faktorů.

MEFA 06 umožňuje kvantifikovat i emise podle jednotlivých kategorií vozidel: osobní (OA), lehká nákladní (LDV), těžká nákladní (HDV) a autobusy (BUS), používaného paliva – benzín, motorová nafta, LPG a stlačený zemní plyn (CNG) a emisních předpisů EURO. Předpokladem je nastavení konkrétní skladby dopravního proudu vozidel.<sup>[17]</sup>

Metodika MEFA 06 umožňuje výpočet univerzálních emisních faktorů ( $\mu\text{g}/\text{km}$ ,  $\text{g}/\text{km}$ ) pro všechny základní kategorie vozidel různých emisních úrovní poháněných jak kapalnými, tak i plynnými pohonnými hmotami. Při tom zohledňuje následující zásadní vlivy na hodnotu emisních faktorů – rychlost jízdy, podélný sklon vozovky i stárnutí motorových vozidel.<sup>[18]</sup>

#### **Vstupy metodiky:**

- **Výpočtový rok** – určuje emisní úroveň vozidla. V rámci současných i připravovaných kvalitativních změn v EU, zohledňuje snižování obsahu síry v motorové naftě. Pod tímto údajem je zahrnuto stárnutí katalyzátorů u motorových vozidel.

- **Kategorie vozidla** – osobní automobil (OA), lehký nákladní automobil (LDV), těžký nákladní automobil (HDV), autobus (BUS).
- **Palivo** (benzin, motorová nafta, stlačený zemní plyn, zkapalněné uhlovodíkové plyny). Kategorie benzin zahrnuje všechny druhy automobilových benzinů oktanových hodnot 91 až 98, včetně olovnatých. V kategorii motorová nafta zahrnuje i směsnou bionaftu, jejíž emisní parametry jsou prakticky srovnatelné s běžnou motorovou naftou čistě ropného původu.
- **Emisní úroveň** (konvenční, EURO 1, EURO 2, EURO 3, EURO 4). Kategorie konvenční se týká vozidel splňujících emisní limity platné ještě před emisními úrovněmi EURO. U těchto vozidel nebyla realizována žádná technická opatření za účelem snížení produkce emisí škodlivin v podobě katalyzátorů, recirkulace spalin, aj.
- **Rychlost jízdy** (hodnoty 5, 10, 20, ... 120, 130 km/h). Rychlost jízdy vozidel v kategorii HDV a BUS je omezena pouze do 100 km/h.
- **Podélný sklon vozovky** (hodnoty -10, -9, -8, ..., 0, ... +8, +9, +10 %).<sup>[17]</sup>

Na obr. 11 je znázorněn výpočetní program, kde jsou uvedeny vstupní hodnoty pro konkrétní druh vozidla (BUS), na palivo diesel, emisní úrovní EURO 3, s plynulostí provozu 1 a sklonem vozovky 6 %, rychlost vozidla činí 60 km/h.<sup>[17]</sup>

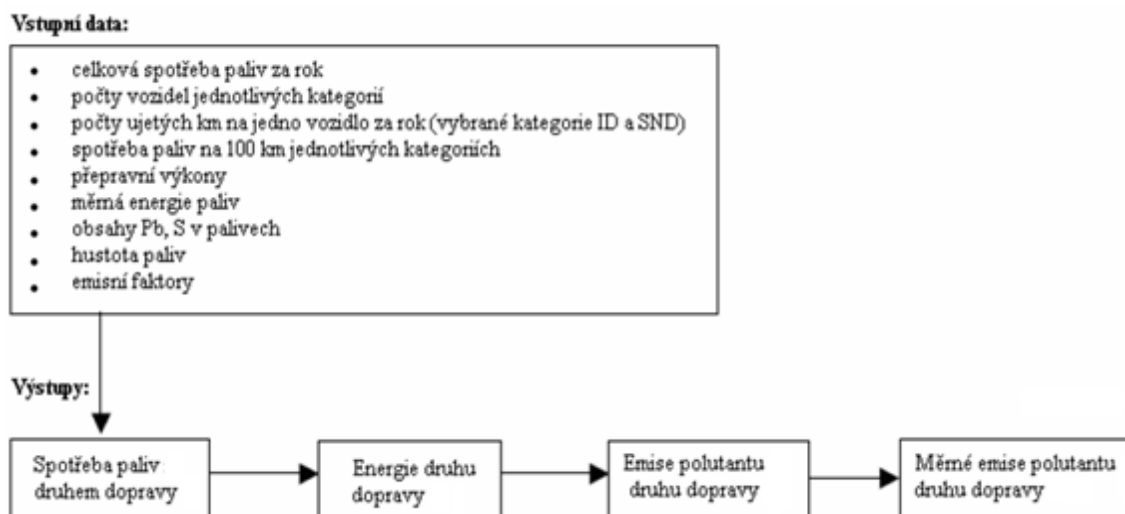
Emitovaná škodlivina	Emisní faktor
NOx (g/km)	8.7219
CO (g/km)	5.7979
SO2 (g/km)	0.0413
PM (g/km)	0.2229
PM10 (g/km)	0.2095
NO2 (g/km)	0.5275
CxHy (g/km)	0.8873
methan (g/km)	0.0468
propan (g/km)	0.0009
1,3-butadien (g/km)	0.0002
benzen (g/km)	0.0145
toluen (g/km)	0.0044
styren (g/km)	0.0044
formaldehyd (g/km)	0.0887
acetaldehyd (g/km)	0.0445

Obr. 11 Prostředí programu MEFA 06<sup>[17]</sup>

### 2.3.2.2 Metodika CDV

Metodika stanovení emisí látek znečišťujících ovzduší pro všechny druhy dopravy je v ČR používanou metodikou již od roku 2001, která byla schválena a doporučena Ministerstvem dopravy.

Metodika CDV (Centrum dopravního výzkumu) je používána pro výpočty emisí na celostátní a regionální úrovni. Zahrnuje pouze emise vzniklé přímo při provozu dopravních prostředků. Znázornění principu metodiky je vyobrazeno na obr. 12. <sup>[19]</sup>



Obr. 12 Metodika CDV <sup>[19]</sup>

Metodika rozděluje dopravní prostředky do celkem 23 kategorií. Při rozdělení byla uplatněna následující kritéria: druh dopravy, používané palivo a vybavení vozidel katalyzátory.

Metodika rozlišuje kilometrické proběhy vozidel. Pro každou z kategorií kilometrického proběhu se vypočítá spotřeba paliva (benzín u kategorií 1-3 a nafta u kategorií 15-16). Na základě výpočtu spotřeby paliva se provádí výpočet množství emisí. <sup>[19]</sup>

#### Emisní faktory (Ef)

Nedílnou součástí metodiky je databáze emisních faktorů (aplikace MS Access), která obsahuje a statisticky vyhodnocuje hodnoty emisí naměřené jak v České republice, tak i v zahraničí v závislosti na druhu a stáří vozidel, používaném palivu, rychlosti a režimu jízdy, atd. Databáze zajišťuje, že vypočtené hodnoty emisí jsou funkcí hodnot

zjištěných přímým měřením. Obsahuje přibližně 1300 záznamů o měřených emisních faktorech. <sup>[19]</sup>

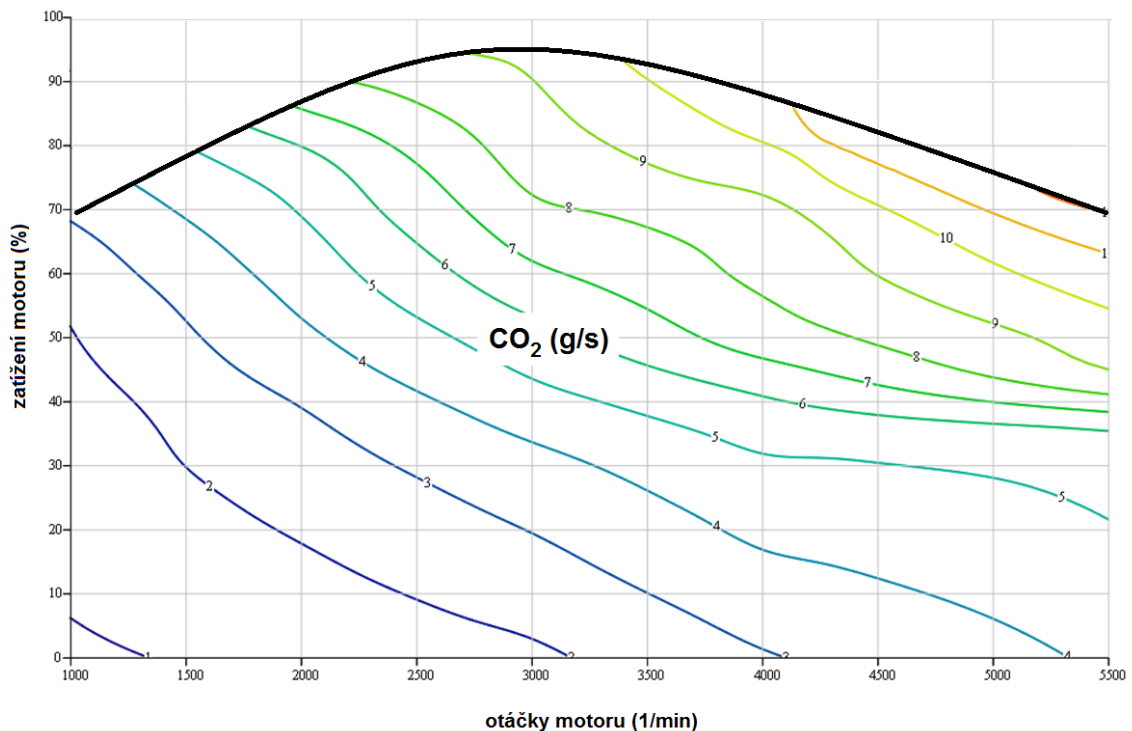
### **2.3.2.3 Metodika CORINAIR**

Mezi alternativní metodický postup je řazena mezinárodní metodika CORINAIR. Ta sleduje počet a roční proběh vozidel podle stanovených kategorií, s danou databankou emisních faktorů sledovaných složek, pro průměrné rychlosti ve městě, na silnici a dálnici. Dále metodika sleduje i spotřebu pohonných hmot a obsahy olova, síry a těžkých kovů v palivech.

Pro vlastní výpočty emisí z dopravy vyvinula Evropská agentura pro životní prostředí program COPERT (Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport). Specifický modul byl rovněž vytvořen pro aplikace na nesilniční mobilní zdroje. Kalkulované emise zahrnují jak limitované škodliviny (oxid uhelnatý, oxidy dusíku, uhlovodíky, pevné částice), tak některé nelimitované chemické látky jako např. oxid dusný (N<sub>2</sub>O), amoniak (NH<sub>3</sub>), oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), ne-metanové uhlovodíky (NM VOC) a další. <sup>[17]</sup>

### **2.3.2.4 Emisní charakteristiky**

Metodiky emisních charakteristik jsou založeny na principu sledování snadno zjistitelných parametrů spalovacího motoru či celého vozidla, na základě kterých jsou s využitím emisní charakteristiky stanoveny okamžité produkce emisí. Jedná se tedy o kombinaci přímé a nepřímé metody měření emisí. Přímou metodou jsou naměřeny emisní charakteristiky (což jsou jednotlivé emise v závislosti na snadno zjistitelných parametrech) a v provozu se pak již snímají jiné, snadněji zjistitelné parametry. Na obr. 13 je ukázka emisní charakteristiky, která znázorňuje produkci CO<sub>2</sub> v závislosti na otáčkách a zatížení motoru.



**Obr. 13** Emisní charakteristika CO<sub>2</sub> (OBD)

### **Metoda nepřímého měření emisí pomocí GPS**

Metoda vychází ze skutečnosti, že s výjimkou náhlé poruchy motoru se emisní charakteristiky vozidel mění v provozu zpravidla pozvolna. V období mezi periodickými emisními kontrolami vozidel lze tudíž okamžitou hmotnostní produkci jednotlivých emisních složek považovat za funkční závislost, danou otáčkami a zatížením spalovacího motoru vozidla. Dále pak se zde předpokládá, že dálkově sledovaným dynamickým parametrům jedoucího vozidla lze v každém okamžiku přiřadit potřebný výkon na hnacích kolech při optimálních otáčkách motoru. <sup>[17]</sup>

Pokud jsou známy aktuální charakteristiky emisních složek konkrétního vozidla, lze nepřímo stanovit jeho okamžitou produkci emisí při jízdě v daném geodeticky definovaném prostoru. K uvedenému účelu postačí pouze monitorovat pohyb vozidla pomocí příslušných telematických zařízení (GPS - Global Positioning System) a z jeho dynamického projevu odvodit okamžitou produkci emisí. <sup>[17]</sup>

Jádrem řešení je předpoklad, že určitému výkonu na kolech, při určité rychlosti vozidla, přísluší u daného typu vozidla jediná optimální hodnota otáček motoru, pro jejichž dosažení bude řidič optimálně řadit převodové stupně. Tato verze se z hlediska požadavků

na praktickou aplikaci jeví jako nejvýhodnější zejména proto, že se při ní využívají pouze vnější parametry jízdy vozidla, snadno zjistitelné telematickými metodami, a není nutné komunikační napojení na elektronický systém vozidla, které skýtá nebezpečí svévolného zásahu ve prospěch uživatele vozidla. <sup>[17]</sup>

Metoda je založena na určování okamžitých hodnot jednotlivých emisí s využitím emisních charakteristik.

### Emisní charakteristiky:

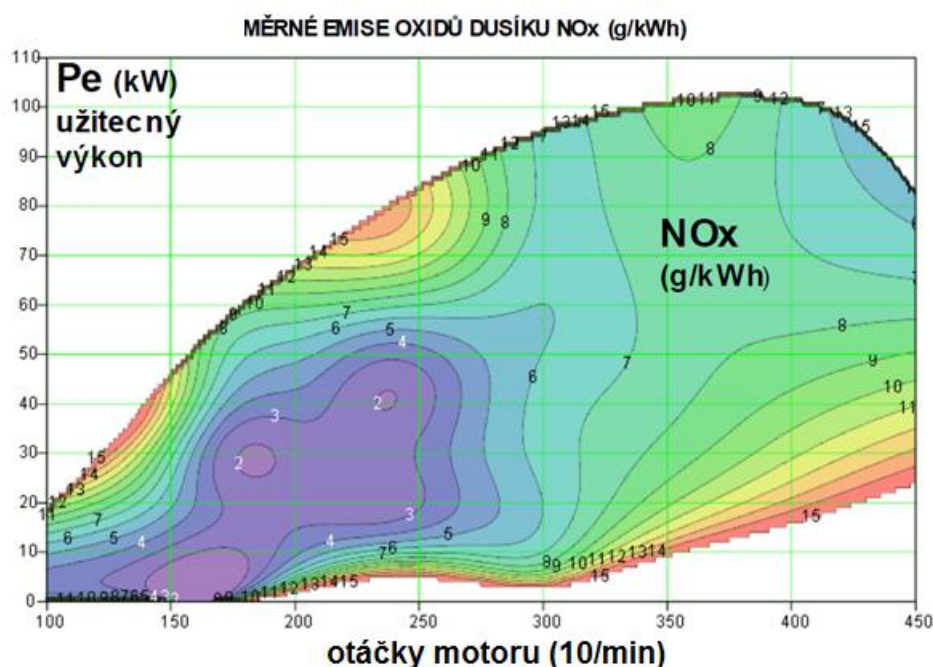
$$Ex = f(v, a, G, b, vo, p) \quad (3)$$

kde:

$Ex=f(v, a, G, b, vo, p)$  (g/100 km) jsou "Vozidlové charakteristiky produkce emisí", dále jen Emisní charakteristiky (příklad viz obr.14), udávající okamžitou produkci jednotlivých výfukových složek v gramech na 100 km jízdy, ve spojitě závislosti na jízdních parametrech vozidla  $v, a, G, b, vo, p$ . <sup>[14]</sup>

### Jízdní parametry vozidla:

$v$  (km/h)...rychlost vozidla,  $a$  ( $m/s^2$ )...zrychlení vozidla,  $G$  (kg)...aktuální hmotnost vozidla,  $b$  (%)...podélný sklon vozovky,  $vo$  (km/h)...rychlost protivětru v podélné ose vozidla,  $p$  (%)...prokluz hnacích kol. <sup>[17]</sup>



Obr. 14 Emisní charakteristika NO<sub>x</sub> (GPS) <sup>[17]</sup>

## 2.4 Měření emisí v ČR

Měření emisí je v ČR legislativně předepsáno ve dvou základních případech. V prvním případě jde o velmi přesné měření produkce škodlivých emisí při homologaci vozidla, tedy typové schvalování vozidel nových nebo poprvé uváděných do provozu na pozemních komunikacích v ČR. Druhým případem jsou pravidelné emisní kontroly, které si kladou za cíl kontrolu a následnou eliminaci vozidel s nadměrnou produkcí škodlivých emisí. Třetím případem jsou v současné době v ČR začínající pokusy s měřením emisí přímo v reálném provozu, jejímž průkopníkem je TUL v Liberci a v současné době se touto problematikou zabývá i Technická fakulta ČZU v Praze.

Vzhledem k počtu prováděných úkonů jsou ve všech zmíněných případech diametrální rozdíly v požadavcích pro jednotlivé způsoby měření, které přímo odráží náročnost na vybavení, přesnost měření, ale i časovou a finanční náročnost.

### 2.4.1 Homologační měření

Jak již bylo uvedeno výše, tento typ měření je používán při procesu schvalování nových vozidel, nebo u vozidel poprvé uváděných do provozu. Metodika měření je velmi náročná na vybavení, což je dáno hlavně požadavkem vysoké přesnosti a opakovatelnosti měření.

#### 2.4.1.1 Homologace vozidel do 3,5 t

Prvním předpisem platným v Evropě byla směrnice EHK 15 (Evropská hospodářská komise) zavedená v roce 1971. Ta obsahovala v původní verzi čtyři městské cykly a počítala s měřením obsahu oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Později přibýlo měření oxidů dusíku. Test se během let měnil a doplňoval.

Po mnoha úpravách byla směrnice EHK 15 koncem osmdesátých let nahrazena novou směrnicí EHK 83. Ta se stala základem i pro dnes platné předpisy. Původní znění vstoupilo v platnost v roce 1989 (v ČR od 1991). Předpis specifikuje tři typy hodnocení:

- Typ A je určen pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem bez dodatečné úpravy spalin (dnes se již uplatňuje pouze na přezkušování starších typů vozidel při jejich individuálním dovozu nebo při jejich přestavbě na použití alternativních paliv).



- Typ B se používá pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem s katalyzátorem (spalující bezolovnatý benzín).
- Typ C je určen pro hodnocení vozidel se vznětovými motory. <sup>[14]</sup>

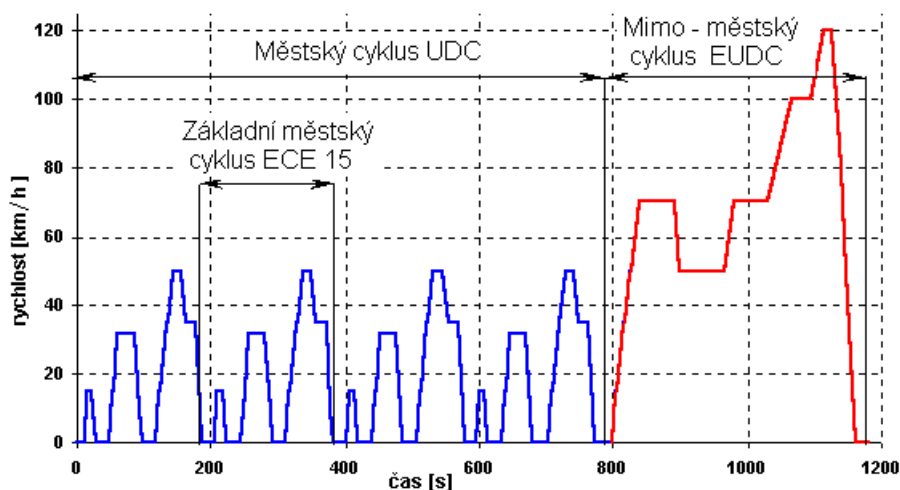
Předpis EHK 83 prošel od roku 1989 několika úpravami, které se většinou týkaly zpřísnění limitních hodnot. Na počátku devadesátých let v rámci jednotné legislativy ve státech Evropské unie vychází nové emisní předpisy, jejichž základem je právě EHK 83, ale nesou již název podle zvyklostí EU. Tyto emisní předpisy jsou spíše známější pod názvem EURO plus číslo revize předpisu. V rámci sjednocování legislativy jsou tyto předpisy přijímány i v ostatních státech mimo Evropskou unii. Zde nesou označení jako příslušná verze EHK 83 (např. EHK 83.05) <sup>[17]</sup>.

V současné době jsou pro homologaci vozidel v Evropské unii platné předpisy nazývané EURO 5, které jsou platné pro vozidla do 1305 kg od 1. 9. 2009 a pro vozidla nad 1305 kg od 1. 9. 2010. Pro vozidla do 3,5 t jsou to předpisy EHK 83.05 a zkušební testy ECE 15 (Economic Commission for Europe), UDC (Urban Driving Cycle) a EUDC (Extra Urban Driving Cycle), přičemž UDC + EUDC je také označován jako NEDC (New European Driving Cycle). Limity emisí CO, HC, NOx a pevných částic jsou stanovené specificky pro každou kategorii vozidel velmi přísně, na hranicích technické, technologické a ekonomické dosažitelnosti. V tab. 1 je shrnut vývoj emisních norem EURO s limity jednotlivých složek emisí. <sup>[20]</sup>

Pro homologaci těchto vozidel se používá simulace jízdního cyklu NEDC na řízeném válcovém dynamometru. Jízdní cyklus NEDC zahrnuje 4x režim základního městského cyklu ECE 15 a označuje se jako městský cyklus UDC a 1x režim mimoměstského cyklu EUDC. Tato měření jsou provedena bezprostředně za sebou (UDC + EUDC). Test se začíná při studeném motoru. Před zkouškou se automobil temperuje min. 6 hod. na teplotu 20 - 30 °C. Hodnoty jednotlivých emisí se stanovují metodou CVS (constant volume sampling) – emise jsou odsávány a ředěny výkonným ventilátorem, vzorek ředěných emisí se sbírá do sběrných vaků, kde se pak stanovuje koncentrace ředěných emisí kumulativně za celý test a přepočítávají se na g/km. Časový průběh celého testu je znázorněn na obr. 15 a parametry testu v tabulce č. 2.

**Tab. 1** Emisní limity pro jednotlivé předpisy EURO <sup>[20]</sup>

předpis	platnost	CO	HC	HC+NOx	NOx	PM
<b>Vznětové motory</b>		<b>g/km</b>				
Euro 1	1992	2,72	-	0,97	-	0,14
Euro 2 - IDI	1996	1	-	0,7	-	0,08
Euro 2 - DI	1999	1	-	0,9	-	0,1
Euro 3	2000.01	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Euro 4	2005.01	0,5	-	0,3	0,25	0,025
Euro 5	2009.09	0,5	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2014.09	0,5	-	0,17	0,08	0,005
<b>Zážehové motory</b>		<b>g/km</b>				
Euro 1	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-
Euro 2	1996.01	2,2	-	0,5	-	-
Euro 3	2000.01	2,3	0,2	-	0,15	-
Euro 4	2005.01	1	0,1	-	0,08	-
Euro 5	2009.09	1	0,1	-	0,06	0,005
Euro 6	2014.09	1	0,1	-	0,06	0,005



**Obr. 15** Průběh homologačního cyklu NEDC <sup>[21]</sup>

**Tab. 2** Parametry homologačního cyklu NEDC <sup>[22]</sup>

část cyklu	doba (s)	dráha (m)	Ø zrychlení (m/s <sup>2</sup> )	volnoběh (s)	Ø rychlost (km/h)	max.rych. (km/h)
UDC (4 x ECE 15)	780	4 052	0,487	252	27,60	50
EUDC	400	6 955	0,395	41	69,70	120
UDC+EUDC	1180	11 007	0,458	293	44,70	120

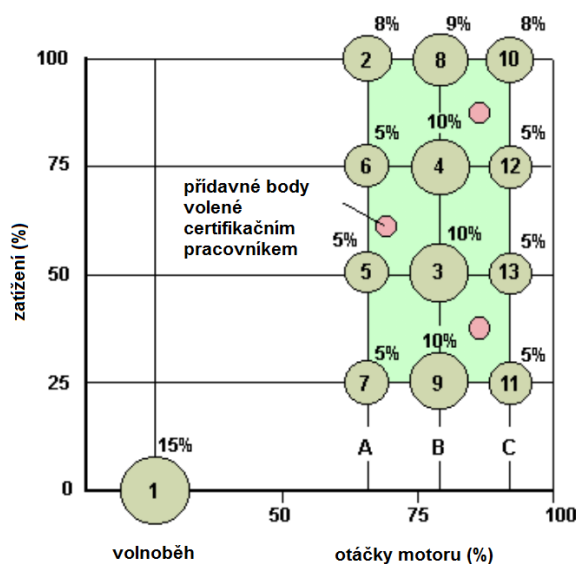
#### 2.4.1.2 Homologace vozidel nad 3,5 t

Pro homologaci vozidel nad 3,5 t je prováděno měření samostatného motoru na zkušebním stanovišti, kde se požaduje shodnost zástavby v částech ovlivňujících produkci škodlivin. Jsou předepsány zkušební testy ESC (European Stationary Cycle), ETC (European Transient Cycle) a pro vznětové motory platí navíc test ELR (European Load Response) pro měření kouřivosti motoru. Limity emisí CO, HC, NO<sub>x</sub> a pevných částic, příp. kouřivosti, jsou opětovně stanovené specificky pro každou kategorii vozidel velmi přísně, na hranicích technické, technologické a ekonomické dosažitelnosti. Standardní limity emisí pro vozidla nad 3,5 t jsou uvedeny v tabulce č.3. <sup>[21]</sup>

**Tab. 3** EU standardní limity emisí (g/kWh) pro vozidla nad 3,5 t <sup>[23]</sup>

předpis	NO <sub>x</sub>	CO	HC	PM	Test
Euro I (1992) všechna vozidla	8,00	4,5	1,10 (THC)	0,35	ECE R49 (13 mode cycle)
Euro II (1996)	7,00	4,0	1,10 (THC)	0,15	ECE R49
Euro III (2000) Conventional engines	5,0	2,1	0,66 (THC)	0,10	ESC
Euro III (2000.10) Advanced engines	5,0	5,45	0,78 (NMHC) 1,6 (CH <sub>4</sub> )	0,16	ETC
Euro IV (2005.10)	3,5 3,5	1,5 4,0	0,46 (THC) 0,55 (NMHC) 1,1 (CH <sub>4</sub> )	0,02 0,03	ESC ETC
Euro V (2008.10)	2,0 2,0	1,5 4,0	0,46 (THC) 0,55 (NMHC) 1,1 (CH <sub>4</sub> )	0,02 0,03	ESC ETC
Euro VI (2013.01)	0,4 0,4	1,5 4,0	0,13 (THC) 0,16 (NMHC) 0,5 (CH <sub>4</sub> )	0,01 0,01	ESC ETC

**ESC (European Stationary Cycle)** – jedná se o stacionární test, při kterém se zkouší samotný motor na zkušebním stanovišti, kde se požaduje shodnost zástavby v částech ovlivňujících produkci škodlivin. Zatěžovacím režimem je tzv. 13-ti bodový test, 13 předepsaných ustálených režimů otáček a zatížení motoru (obr. 16). Každému režimu je normou přiřazena „váha“, která se zahrne spolu s příslušnými hodnotami naměřených emisních složek a zatížení do stanovených výpočtů měrných emisí g/kWh.



**Obr. 16** Průběh ESC testu <sup>[24]</sup>

Test se vyznačuje vysokými průměrnými součiniteli zatížení a velmi vysokou teplotou výfukových plynů. Otáčky A, B a C jsou určované pro každý motor zvlášť.

Otáčky motoru A, B, a C ve zkušebním cyklu ESC jsou definované tímto způsobem:

$$A = n_{lo} + 0,25(n_{hi} - n_{lo}) \quad (4)$$

$$B = n_{lo} + 0,50(n_{hi} - n_{lo}) \quad (5)$$

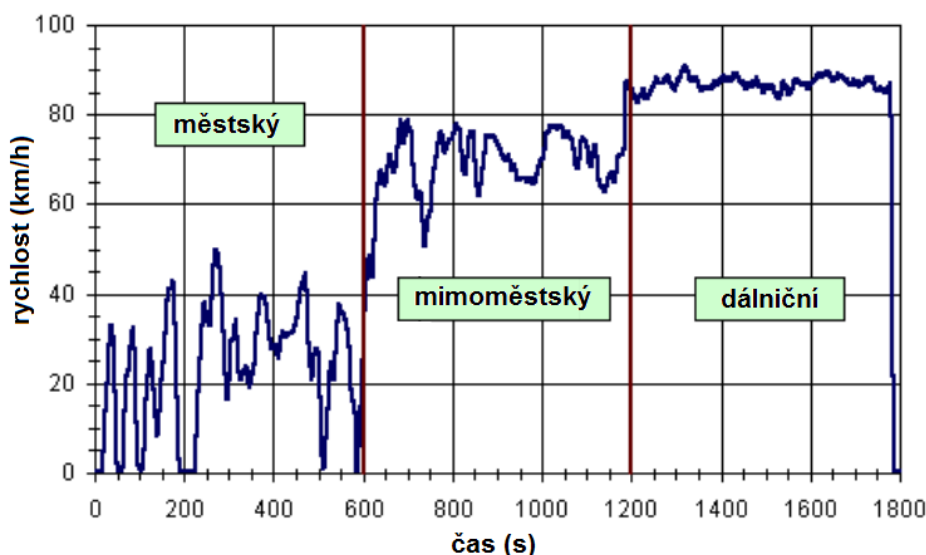
$$C = n_{lo} + 0,75(n_{hi} - n_{lo}) \quad (6)$$

- $n_{hi}$  - otáčky vysoké (high speed) jsou určeny jako frekvence otáček při 70 % výkonu motoru, ale až za jeho maximem,
- $n_{lo}$  - otáčky nízké (low speed) jsou určeny jako frekvence otáček při 50 % výkonu motoru. <sup>[18] [21]</sup>

**ETC (European transient cycle)** – byl zaveden v EU spolu s ESC testem. Jedná se o jízdní cyklus, při kterém se opětovně zkouší samostatný motor na zkušebním stanovišti. Tento test, také známý jako FIGE transient test - vyvinutý v institutu FIGE (Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen, Aachen - Německo), je založený na skutečných silničních měřeních v provozu těžkých vozidel. Různé jízdní stavy ETC testu jsou reprezentované třemi částmi, tj. městský, mimo-městský a dálniční cyklus. Trvání celého cyklu je 1800 s a trvání každé části je 600 s.

- **městský cyklus** reprezentuje jízdu s nejvyšší rychlostí 50 km/h s častými starty, zastaveními a během naprázdno.
- **mimo-městský cyklus** znamená jízdu počínající výraznou akcelerační částí a dále jízdou průměrnou rychlostí cca 72 km/h.
- **dálniční cyklus** je jízda s průměrnou rychlostí cca 88 km/h. <sup>[25]</sup>

FIGE institut vyvinul ETC cyklus ve dvou variantách. Jednak jako zkoušku na válcovém dynamometru, a dále pak jako zkoušku motoru na zkušebním stanovišti. Rychlost vozidla v závislosti na době trvání cyklu ETC na válcovém dynamometru je znázorněna na obr. 17.

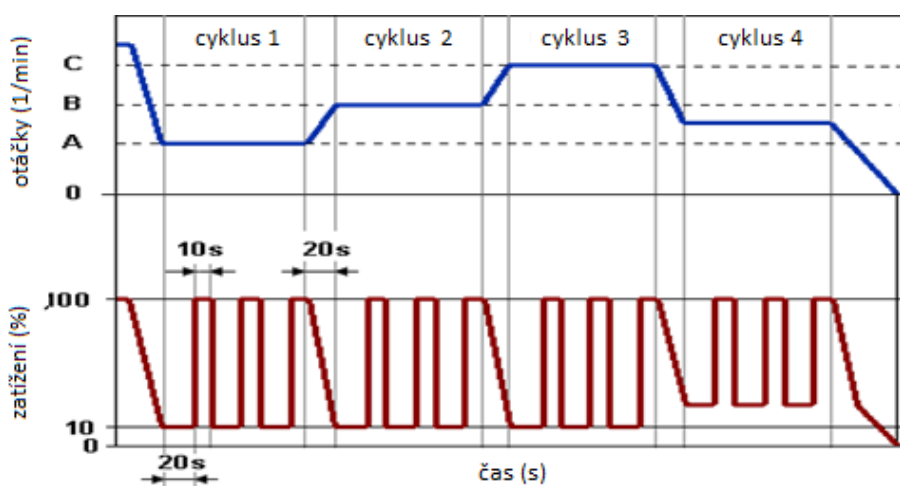


*Obr. 17 Průběh jízdního cyklu ETC na válcovém dynamometru <sup>[25]</sup>*

**Metodika měření kouřivosti** (EHK 24), která je limitována u všech vozidel se vznětovým motorem, předepisuje jednak měření při ustálených režimech v nejméně 6-ti

bodech vnější charakteristiky a limitní hodnoty kouřivosti pro ustálené režimy maximálního zatížení jsou dány tzv. mezní křivkou. Dále je to opakované měření v režimu „volné akcelerace“, kde je mimo limit kouřivosti stanoven také maximální rozptyl naměřených hodnot u stanoveného počtu po sobě jdoucích volných akcelerací. Pro měření kouřivosti u těžkých vozidel (HDV) se vznětovými motory platí od r. 2000 v EU test ELR (European Load Response).<sup>[21]</sup>

**Test ELR** se skládá ze sekvence tří zátěžových úrovní střídavě mezi 10 % a 100 % v každé ze tří frekvencí otáček motoru definovaných jako u cyklu ESC, tj. A (cyklus 1), B (cyklus 2) a C (cyklus 3), následovaný cyklem 4, který je volitelný v mezích otáček mezi A a C a dolní zatížení mezi 10 % a 100 %. Kouřivost je během celého cyklu ELR vzorkována s četností minimálně 20 Hz a finální hodnoty jsou výsledkem speciálního algoritmu. Za prvé se zjišťuje průměrná hodnota kouřivosti postupně v každé sekundě celého cyklu. Ve druhém kroku se zjišťuje nejvyšší průměrná hodnota kouřivosti v každém ze tří zátěžových cyklů pro každý režim otáček. Za třetí se vypočítají průměrné hodnoty v každém otáčkovém cyklu. Finální hodnota kouřivosti je určena váženým průměrem z průměrné hodnoty v každém cyklu A (váha 0,43), B (váha 0,56), a C (váha 0,01). Test ELR je znázorněn na obr. 18.<sup>[26]</sup>



**Obr. 18** Průběh testu ELR<sup>[26]</sup>

## **2.4.2 Pravidelné kontroly**

Provádění pravidelných emisních kontrol vozidel v ČR předepisuje vyhláška ministerstva dopravy 302/2001 Sb. Rozsah a způsob měření emisí je rozlišen podle typu spalovacího motoru a stupně jeho výbavy.

Bez ohledu na typ motoru předepisuje vyhláška nejprve kontrolu souladu vozidla s technickým průkazem a osvědčením o měření emisí, bylo-li již vozidlu vystaveno. Ověřují se identifikační údaje vozidla a motoru, štítky na vozidle a správnost údajů uvedených v osvědčení o měření emisí. Dále je prováděna vizuální kontrola skupin a dílů ovlivňujících tvorbu emisí ve výfukových plynech zaměřená na úplnost a těsnost palivové, zapalovací, sací a výfukové soustavy a těsnost motoru, ventilový rozvod a jeho stav se kontroluje bez demontáže, v rozsahu umožněném jeho konstrukcí. Plnicí hrdlo palivové nádrže se kontroluje, jen pokud je požadována jeho zvláštní úprava, kontrola ostatních zařízení určených ke snižování emisí škodlivin (odvětrání motoru, recirkulace výfukových plynů apod.) se provádí v rozsahu stanoveném výrobcem vozidla. Dále je prováděna kontrola seřizení motoru zahřátého na provozní teplotu, zejména volnoběžných otáček motoru a pravidelnosti chodu motoru při volnoběžných otáčkách. <sup>[27]</sup>

### **2.4.2.1 Zážehové motory**

Kontrola emisí u zážehových motorů probíhá u zahřátého motoru, metodika měření předepisuje kontrolu emisí při volnoběhu a ve zvýšených otáčkách, tj. v rozmezí 2500-2800 1/min, pokud výrobce nestanoví jinak.

U starších vozidel je předepsána kontrola úhlu sepnutí přerušovače a dále měření obsahu emisí oxidu uhelnatého (CO) a uhlovodíků (HC).

U novějších vozidel, vybavených řízeným emisním systémem s katalyzátorem, je navíc předepsána kontrola stavu katalyzátoru, lambdasondy a přídatných nebo doplňkových systémů ke snižování emisí včetně příslušné elektroinstalace. U vozidel vybavených systémem OBD (On-Board Diagnostics) je dále předepsána kontrola paměti závad v systému OBD pomocí schváleného diagnostického zařízení. Při kontrole emisí dále přibývá kontrola součinitele přebytku vzduchu lambda.

Naměřené hodnoty jsou kontrolovány s údaji stanovenými výrobcem vozidla. Pokud výrobce tyto hodnoty nestanoví, nesmí být překročeny přípustné hodnoty stanovené přílohou č.1 vyhlášky 302/2001 Sb. <sup>[27]</sup>

#### **2.4.2.2 Vznětové motory**

U vznětových motorů je metodika měření emisí výrazně odlišná od zážehových motorů. Po kontrole volnoběhu je navíc kontrolována i funkce otáčkového regulátoru vytočením motoru do maximálních otáček a setrváním v tomto režimu po dobu několika sekund. Na rozdíl od zážehových motorů se nekontroluje produkce škodlivých emisí (dosahují o řád nižších hodnot), předepsána je kontrola kouřivosti metodou volné akcelerace.

Metoda volné akcelerace spočívá v opakovaném měření kouřivosti motoru při akceleraci motoru z volnoběžných otáček až do přeběhových. Toto měření se opakuje čtyřikrát, jednotlivé výsledky se nesmí lišit o více než 10 %, jinak je nutno měření opakovat.

Naměřené hodnoty jsou opět kontrolovány s předepsanými, které stanovuje výrobce vozidla. Pokud výrobce tyto hodnoty nestanoví, nesmí být překročeny přípustné hodnoty stanovené přílohou č. 1 vyhlášky 302/2001 Sb.

#### **2.4.3 Měření v reálném provozu**

V ČR v současnosti neexistuje žádná legislativně schválená metodika pro přímé měření emisí jedoucího vozidla. Existuje sice celá řada metod pro stanovení emisí z provozu motorových vozidel, jedná se však o nepřímé metody stanovení produkce emisí.

### **2.5 Přístroje pro měření emisí**

Přístroje pro měření emisí odráží účel jejich nasazení. Jejich parametry jsou tedy ovlivněny především jednotlivými metodikami měření.

#### **2.5.1 Přístroje pro homologaci vozidel**

Na přístroje pro homologační měření emisí jsou kladeny ty nejvyšší požadavky. Cena zde není rozhodující, neboť homologační měření jsou prováděna jen jednou při zavádění daného typu do provozu a náklady se tak rozloží do celé produkce daného typu vozu.



Pro zjišťování koncentrace jednotlivých složek emisí je předpisem přesně definována metoda měření. Metodiku měření vozidel se zážehovým motorem předepisuje směrnice 70/220/ES, pro vozidla se vznětovým motorem platí předpis 2005/55/ES.

Analyzátoři výfukových plynů musí vyhodnocovat jednotlivé emise následujícími způsoby:

- oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), oxid uhelnatý (CO): metoda NDIR,
- nespálené uhlovodíky (HC): vyhřívaný plamenoionizační detektor (HFID),
- oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>): chemoluminiscenční detektor (CLD) nebo vyhřívaný chemoluminiscenční detektor (HCLD) s konvertorem NO<sub>2</sub>/NO. <sup>[28] [29]</sup>

## **2.5.2 Přístroje pro pravidelné kontroly emisí**

Přístroje a zařízení používané ve stanicích měření emisí musí umožňovat měření podle metodických postupů stanovených pro provádění měření emisí dle vyhlášky 302/2011 Sb. Přístroje lze rozdělit stejně jako metodiky měření dle typu spalovacího motoru.

### **2.5.2.1 Zážehové motory**

Stanice měření emisí pro vozidla poháněná zážehovými motory musí být vybavena nejméně těmito přístroji a zařízeními:

- přístrojem na měření otáček motoru,
- přístrojem na měření teploty motoru,
- přístrojem na měření úhlu sepnutí kontaktů přerušovače,
- přístrojem na měření předstihu zážehu,
- přístrojem pro měření emisí výfukových plynů zážehových motorů schváleného typu,
- přístrojem pro kontrolu funkce řídicích jednotek emisního systému a komunikaci s nimi (tester řídicích systémů motoru). <sup>[27]</sup>

Emisní analyzátor pro měření emisí výfukových plynů zážehových motorů musí měřit nejméně 4 složky výfukových plynů. Pro měření emisí oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) a nespálených uhlovodíků (HC) je předepsána metoda nedisperzní absorpce infračerveného záření (NDIR). Dále je snímán obsah kyslíku (O<sub>2</sub>) pomocí čidla

založeného na principu elektrochemického článku. Z měřených složek emisí přístroj musí stanovovat součinitel přebytku vzduchu lambda pomocí Brettschneiderova vzorce (7).<sup>[27]</sup>

$$\text{Brettschneiderův vzorec: } \lambda = \frac{CO_2 + \frac{CO}{2} + O_2 + \left( \frac{1,51}{3,5 - \frac{CO}{CO_2}} - 0,0088 \right) \cdot (CO_2 + CO)}{1,42 \cdot (CO_2 + CO + 8 \cdot HC)} \quad (7)$$

kde:

$\lambda$  ( $\lambda$ )...součinitel přebytku vzduchu,

$CO_2$ ,  $CO$ ,  $HC$  (%)...koncentrace sledovaných složek emisí.

Přístroj musí splňovat požadavky nejméně 0. nebo I. třídy podle mezinárodního doporučení OIML R 99 (International Organization of Legal Metrology).

### 2.5.2.2 Vznětové motory

Stanice měření emisí pro vozidla poháněná vznětovými motory musí být vybavena nejméně těmito přístroji a zařízeními:

- přístrojem na měření otáček motoru,
- přístrojem na měření teploty motoru,
- přístrojem k měření kouřivosti vznětových motorů schváleného typu,
- testerem řídicích systémů vznětového motoru,
- přístrojem pro bezdemontážní kontrolu dynamického úhlu předvstříku paliva, případně přípravky pro nastavení statického úhlu předvstříku paliva,
- zařízením na kontrolu vstřikovacích trysek a vstřikovačů.<sup>[27]</sup>

Přístroj pro měření opacity je oproti analyzátoru výfukových plynů značně jednodušší. Měří se útlum světla procházejícího sloupcem výfukových plynů při měření metodou volné akcelerace. Opacitu musí přístroj indikovat v absolutních jednotkách (1/m), volitelně v procentech (%) nebo jednotkách HSU. Kromě opacity vyjádřené součinitelem absorpce musí přístroj měřit otáčky, dobu akcelerace a teplotu motoru.<sup>[27]</sup>

### 2.5.3 *Přístroje pro měření emisí v provozu*

Přístroje pro měření emisí v provozu vycházejí z kompromisu mezi přesnou metodou měření a mobilností přístroje. Právě mobilnost přístroje stanovuje nejzásadnější omezení pro volbu vhodné metody měření jednotlivých složek emisí. Je nutné si uvědomit, že v běžném provozu je přístroj vystavován širokému spektru provozních podmínek. Ať už se jedná o okolní teplotu, vlhkost, prašnost prostředí, vibrace či další nepříznivé vlivy. Dále jsou kladeny na analyzátory nároky na nízkou hmotnost, malé rozměry, jednoduchost, nízkou spotřebu elektrické energie (optimální napájení z palubní sítě vozidla), snadnou montáž do vozidla a další.

V současné době existuje ve světě jen několik málo výrobců takovýchto zařízení. Analyzátory vycházejí zpravidla z konstrukce analyzátorů pro měření emisí v SME (stanice měření emisí). Tomu odpovídají i metody pro zjišťování jednotlivých složek emisí. Pro zjišťování emisí uhlíkatých sloučenin (CO, CO<sub>2</sub>, HC) je nejčastěji využívána metoda NDIR. Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) a kyslík (O<sub>2</sub>) je vyhodnocován pomocí elektrochemických článků pro jejich jednoduchou konstrukci a nízké riziko poškození v náročném provozu.

Pro vznětové motory je situace daleko komplikovanější. Jak již bylo popsáno výše, hodnoty emisí škodlivých složek výfukových plynů dosahují řádově nižších koncentrací než u zážehových motorů, navíc se zde ve vysoké míře objevují saze (pevné částice). Proto je třeba do vzorkovací trati zařazovat jemné filtry, které pevné částice odseparují, čímž se prodlužuje životnost měřících kyvet v analyzátoru. Vyhodnocování kouřivosti probíhá podobně jako ve stanicích měření emisí pomocí měření útlumu světla ve sloupci výfukových plynů - opacity. Přímá analýza pevných částic je velmi složitá. Gravimetrická metoda (viz kap. 2.3.1.5) zde nelze použít a je třeba tedy využívat jiné metody. Touto problematikou se již několik let zabývá Michal Vojtíšek, M.Sc., Ph.D, který tuto problematiku řeší následujícími metodami měření:

- měřicí ionizační komora, která měří celkovou délku částic, celková délka částic je úměrná hmotnostní koncentraci pouze za předpokladu neměnného fraktálního rozměru a velikostního rozložení částic, <sup>[30]</sup>
- dopředný rozptyl laserového paprsku, jejíž korelace s hmotnostními emisemi závisí na velikosti, fraktálním rozměru a chemickém složení částic, <sup>[31]</sup>

- absorpce světla na několika vlnových délkách, jejíž korelace s hmotnostními emisemi opět záleží na velikosti, fraktálním rozměru a chemickém složení částic, <sup>[32]</sup>
- proporcionální gravimetrické vzorkování.

Přístroje jsou obvykle vybaveny pamětí pro průběžné zaznamenávání dat. Jak bude uvedeno v následujících kapitolách, je vhodné přístroje vybavit dalšími systémy, které poskytují další důležitá data, např. systém pro monitorování okamžité pozice pomocí GPS, komunikační rozhraní pro získávání dat z OBD, vlastní senzor pro měření otáček motoru, či systémem pro měření průtoku nasátého vzduchu.

Následující kapitoly 2.5.3.1 – 2.5.3.3 budou věnovány stručnému přehledu mobilních emisních analyzátorů používaných ve světě.

### 2.5.3.1 HORIBA OBS-2000

Příkladem konkrétního zařízení, vyvinutého v USA, je přístroj Horiba OBS-2000 (viz obr. 19). Přístroj měří a průběžně zaznamenává emise CO, CO<sub>2</sub>, HC a NO<sub>x</sub>. Dále přístroj snímá průtok výfukových plynů, spotřebu paliva a pozici pomocí systému GPS.

Emise CO a CO<sub>2</sub> jsou vyhodnocovány pomocí metody NDIR. Pro HC je použit senzor na principu FID. NO<sub>x</sub> je vyhodnocováno metodou CLD. <sup>[33]</sup>



**Obr. 19** Přístroj Horiba OBS 2000 <sup>[33]</sup>

### 2.5.3.2 SEMTECH

Dalším příkladem přístroje typu PEMS je výrobek od firmy Sensors, Inc. SEMTECH-G pro zážehové (viz obr. 20) a SEMTECH-D pro vznětové motory. Přístroj snímá a průběžně zaznamenává emise CO a CO<sub>2</sub> (NDIR), HC (FID) a NO<sub>x</sub> (NDUV). Odběrová sonda je vyhřívaná. <sup>[34]</sup>



*Obr. 20 Přístroj SEMTECH-G <sup>[34]</sup>*

### 2.5.3.3 OEM-2100

Přístroj OEM-2100 (viz obr. 21) vyvinula firma Clean Air Technologies International. Přístroj je určen pro kontinuální snímání emisí CO a CO<sub>2</sub> (NDIR), NO (elektrochemický článek) a PM (rozptyl laserového paprsku). Dále je přístroj vybaven systémem GPS pro sledování a záznam polohy vozidla. Na rozdíl od předešlých zařízení, OEM-2100 dále obsahuje modul pro komunikaci s řídicí jednotkou motoru pomocí protokolu OBD a snímání otáček motoru. <sup>[35]</sup>

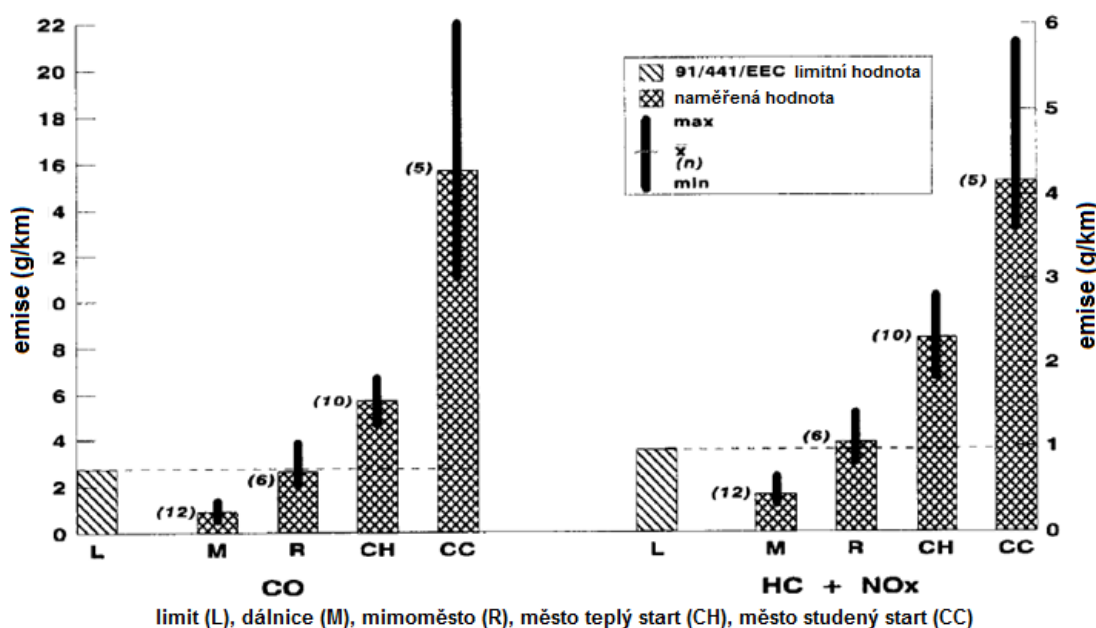


*Obr. 21 Přístroj OEM-2100 <sup>[35]</sup>*

## 2.6 Měření emisí za provozu ve světě

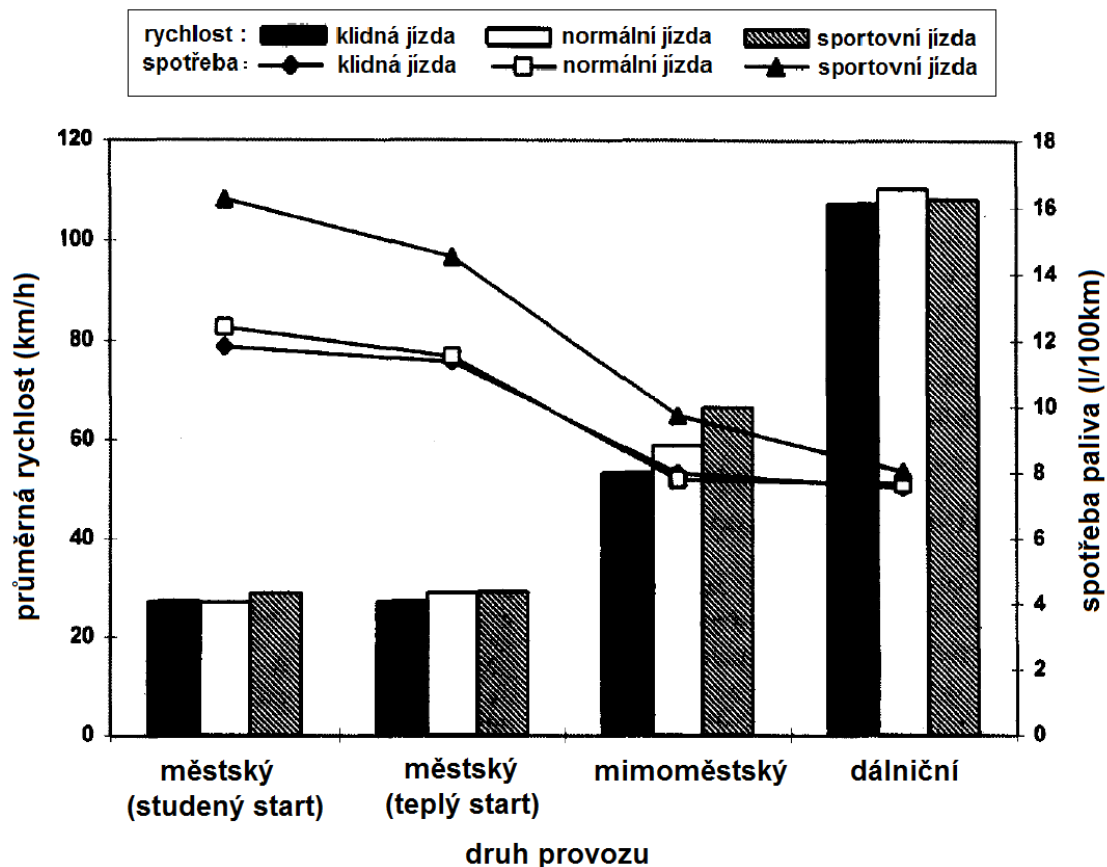
V této kapitole je ukázka výzkumu měření emisí za provozu, který je prováděn po celém světě s využitím speciálních analyzátorů pro mobilní měření (PEMS).

Jedním z prvních je výzkum prováděný ve Flemish Institute for Technological Research v Belgii v roce 1996. Jeho závěry jsou shrnuty ve článku <sup>[36]</sup>, kdy byly pomocí speciální aparatury porovnávány emise osobního vozidla Ford Escort 1.3 vybaveného třícestným katalyzátorem a 2 autobusů vybavených vznětovým motorem (EURO-I). Výsledkem měření (obr. 22) bylo porovnání výsledných emisí v reálném provozu, konkrétně v městském (studený a teplý motor), mimoměstském a dálničním provozu. Výsledky byly dále porovnávány s tehdy platnými emisními předpisy. Dále se v článku autor zabýval porovnáním emisí při studeném a teplém motoru.



**Obr. 22** Výsledné emise v různých typech provozu, porovnání se směrnici 91/441/EC <sup>[36]</sup>

Dalším zajímavým článkem vydaným o rok později stejným institutem je článek <sup>[6]</sup>, který se zabývá měřením emisí za provozu se zaměřením na různé provozní stavy motoru (teplý/studený motor), chování řidiče a jeho vliv na spotřebu paliva. Článek blíže popisuje použitý přístroj PEMS a výsledky měření (obr. 23) jsou opět srovnávány s tehdy platnou legislativou.

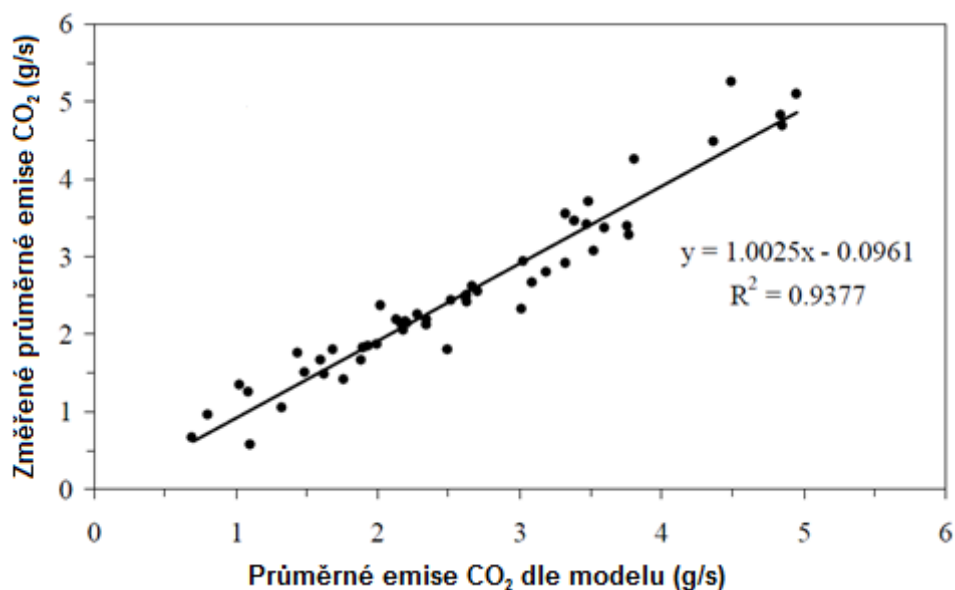


Obr. 23 Průměrná spotřeba paliva a rychlost při různém jízdním stylu<sup>[6]</sup>

Dlouholetou zkušenost v oblasti měření emisí za provozu mají také na North Carolina State University, Raleigh, NC. Pro výzkumy byl použit PEMS přístroj OEM-2100.

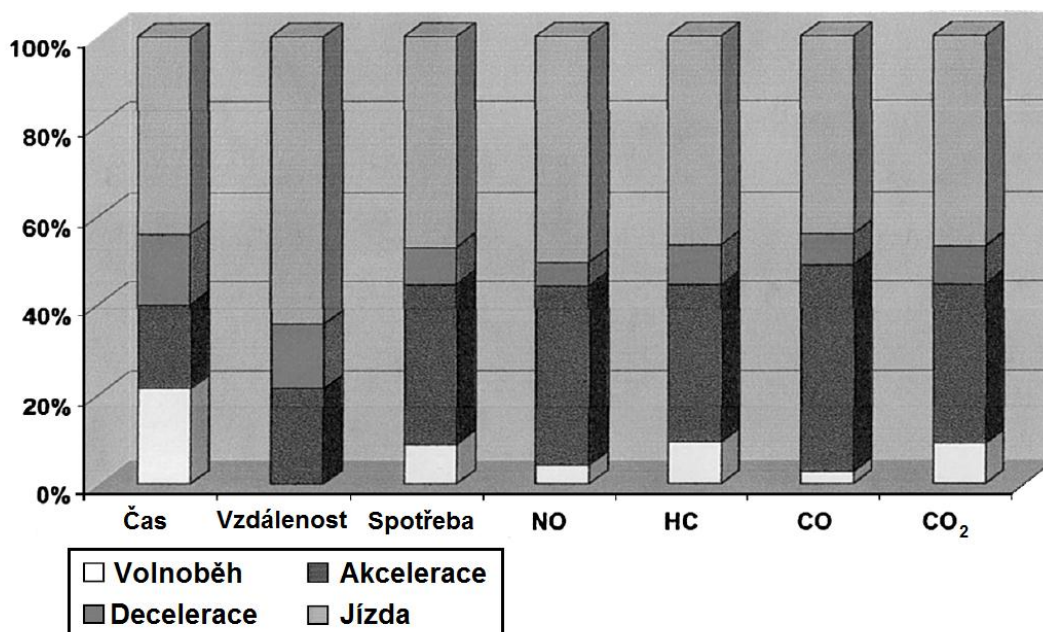
Jednou z prvních publikací, kde byl zmíněný přístroj využit, je projekt<sup>[37]</sup>, který byl zaměřen na optimalizaci řízení provozu s ohledem na minimalizaci produkce emisí vozidel v provozu.

Dalším příkladem práce je např. publikace<sup>[38]</sup>, ve které byl zkoumán vliv provozního stavu motoru a různého druhu provozu na produkci emisí. Dále bylo v této publikaci provedeno srovnání přímého měření emisí v provozu a emisního modelu (viz obr. 24).



**Obr. 24** Porovnání produkce CO<sub>2</sub> přímou metodou a pomocí modelu <sup>[38]</sup>

Další zajímavou publikací je článek <sup>[39]</sup>, ve kterém autor popisuje možnosti využití mobilních analyzátorů pro výzkum produkce emisí jedoucího vozidla. Je zde ukázka poměrného zastoupení jednotlivých jízdních režimů během jízdy vozidla a jeho vlivu na produkci emisí, spotřebu paliva, ujetou vzdálenost a čas (obr. 25).

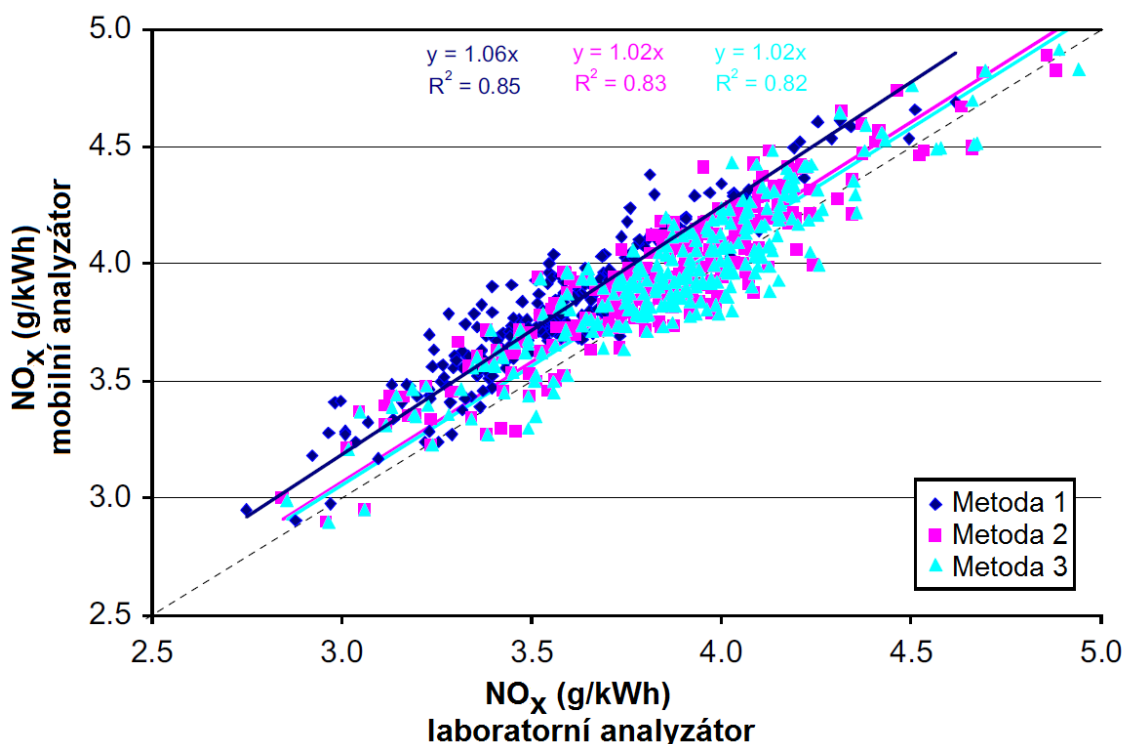


**Obr. 25** Poměr jízdních režimů během jízdy vozidla a jeho vliv na produkci emisí, spotřebu paliva, ujetou vzdálenost a čas <sup>[39]</sup>



Jednou z novějších publikací je článek <sup>[40]</sup>, ve kterém byly porovnávány emisní faktory emisního modelu MOBILE6 s faktory zjištěnými přímým měřením emisí v provozu.

Stále diskutovaným problémem je také neustálé porovnávání PEMS přístrojů s laboratorním vybavením. Je zde snaha prokázat, že mobilní přístroje dosahují dostatečné přesnosti a závěry z takto prováděných měření mají dobrou vypovídající hodnotu. Příkladem článku, zabývajícího se porovnáním laboratorního a mobilního analyzátoru při měření emisí CO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>, je práce z University of California Riverside <sup>[41]</sup>.



**Obr. 26** Porovnání emisních analyzátorů při měření NO<sub>x</sub> <sup>[41]</sup>

Na obr. 26 je ukázka výstupu práce, porovnávající měrnou produkci emisí NO<sub>x</sub>. Jednotlivé metody se liší způsobem výpočtu měrné produkce.

## 2.7 Dílčí závěr - měření emisí vozidel v provozu

Z provedené rešerše je patrné, že problematika měření emisí vozidel, a v současné době především měření jejich emisí za provozu, je vysoce aktuální, neboť je globálně řešena na řadě výzkumných pracovišt'.

V oblasti homologačních (typových) měření emisí je zřejmé, že u vozidel kategorie do 3,5 t se v Evropě i ČR aplikuje dnes již zastaralý jízdní cyklus NEDC, který pouze omezeně reprezentuje reálné jízdní podmínky. Problémem je zde např. možnost účelově naprogramovat řídicí jednotku motoru tak, aby pro dané vozidlo v příslušných otáčkách a zatížení motoru, odpovídajících pro každou sekundu předepsaným rychlostem cyklu NEDC, byly emisní limity splněny. V reálném provozu vozidel se však vyskytují výrazně více neustálené tzv. transienční režimy (střídání přechodových stavů otáček a zatížení motoru), při kterých je prokázána podstatně vyšší produkce emisí než při ustálených resp. quasistatických režimech otáček a zatížení motoru. V úvahu je nutné také vzít velkou variabilitu výkonových parametrů motorů, která se v cyklu NEDC může projevit emisně nepříznivou oblastí práce daného motoru.

V oblasti legislativně stanovených pravidelných emisních kontrol vozidel v provozu v EU i v ČR je zřejmé, že tyto jsou schopné spolehlivě odhalit pouze vozidla s výrazně nadlimitní produkcí některých složek emisí. Příčinou je skutečnost, že v Evropě a potažmo v ČR jsou používány při emisních prohlídkách vozidel v provozu pouze volnoběhové testy „Idle/fast idle tests“ a akcelerační testy „Free acceleration smoke test“. Jedná se tedy o jednoduché, v podstatě již historické testy, prováděné při režimech práce vně nezatížených vozidlových spalovacích motorů. Některé významně škodlivé emisní složky (např.  $\text{NO}_x$ ) jsou z důvodu jejich malé koncentrace v nezatížených režimech motorů obtížně kontrolovatelné. Obdobně se obtížně odhalují téměř neúčinné katalyzátory, které ve volnoběhových režimech spalovacích motorů ještě stačí plnit funkci. Problematické je rovněž odhalení poruchy systému řízení emisí (např. lambda regulace), kdy je nejvyšší produkce emisí zejména v přechodových režimech otáček motoru (transient engine operation). Navíc některé, zejména starší modely vozidel, lze relativně snadno před emisní kontrolou účelově seřídít tak, aby vyhověly předpisům.

Specifickou problematikou řešenou v této práci je monitorování emisí v provozu. Je potřebné zde zmínit, že monitorování vozidlových emisí v provozu není tak jednoduché, jak nastiňují některé zjednodušené modely. Je nutné si uvědomit, k jakému účelu bude

monitorování emisí v provozu použito. Výsledky mohou sloužit jako podklad pro vytváření regulačních opatření v dopravě, podklad pro správu ekologických poplatků (např. mýtné systémy), podklad k hodnocení dopravních projektů z hlediska vlivu na životní prostředí, podklad pro prognózy vlivu úseků stavební infrastruktury na změnu emisí z dopravy, apod. Z jednotlivých účelů vyplývají dále požadavky na ekonomické aspekty monitorování emisí a také přesnost výstupů.

Nejpřesnější metodou je v současné době přímé měření emisí při jízdě vozidla na válcových zkušebnách, avšak za předpokladu, že je brzdou simulována dynamika a zejména transientnost běžného provozu.

Měření na válcových zkušebnách a ostatní přímé metody měření např. pomocí mobilních analyzátorů lze však z ekonomických a technických důvodů aplikovat pouze jako ověřovací nebo výzkumné metody. Pro účely hodnocení dopravních projektů z hlediska vlivu na životní prostředí lze použít simulační metody (matematické modely s různou úrovní přiblížení k reálné jízdě vozidla nebo proudu vozidel, tzv. makroskopické a zejména mikroskopické modely např. VISSIM, PARAMICS, MICROSIM). Pro výpočet emisí z dopravy pro definované úseky silničních komunikací je vhodná např. metodika MEFA. Pro výpočty emisí pro všechny druhy dopravy na celostátní a regionální úrovni je vhodná a používaná metodika CDV a na mezinárodní úrovni obdobně metodika CORINAIR, příp. COPERT.

Pro organizační úroveň controllingu dopravy, příp. pro správu ekologických poplatků např. v mýtných systémech, jsou v posledních letech vyvíjeny zejména nepřímé metody monitorování a kvantifikace emisí. Příkladem může být metoda nepřímého měření emisí založená na monitorování dynamiky vozidel pomocí GPS a znalosti emisních a mechanických charakteristik vozidel, u které však dosud není vyřešena problematika transientních emisních charakteristik. Jednou z možností, která dle dostupných pramenů nebyla dosud řešena, je využití dat ze systémů OBD jako podkladů pro stanovení emisních charakteristik a upřesnit tak metody nepřímého měření emisí.

Z výše uvedených poznatků je patrné, že je třeba věnovat pozornost možnostem zjišťování emisí vozidel v reálném provozu, kde lze získat objektivní výsledky emisního chování vozidel. Hlavním cílem této disertační práce bude přispět k rozvoji metod měření emisí v reálném provozu – tedy kvantifikace emisí při jízdě vozidla.

### 3 Cíl práce

Obecným cílem předkládané práce je přispět ke snížení zatížení životního prostředí emisemi z provozu vozidel v silniční dopravě.

Konkrétním hlavním cílem je navrhnout, prakticky realizovat a experimentálně ověřit metodu pro měření emisí v reálném provozu, tedy metodu použitelnou pro měření emisí jedoucího vozidla. Metoda by měla být finančně a technicky nenáročná tak, aby mohla být plošně aplikovatelná. Z provedené rešerše vyplývá, že existuje celá řada metod pro měření emisí v reálném provozu. Jako vhodná metoda pro řešení této problematiky splňující výše uvedená technickoekonomická kritéria se ukazuje nepřímá metoda měření emisí s využitím dat dostupných z OBD.

Ta principiálně vychází z nepřímé metody stanovení emisí dle GPS, s cílem nahrazení vstupních parametrů emisních charakteristik daty, které jsou dostupné z diagnostického rozhraní OBD. Tato data jsou generována přímo řídicí jednotkou motoru a charakterizují okamžité parametry spalovacího motoru, které jsou rozhodující pro jeho kvalitní řízení. Je tedy předpoklad nutné přesnosti těchto údajů a jejich vhodnost pro použití jako vstupních údajů pro emisní charakteristiky.

Nezbytnou součástí realizace této nepřímé metody je využití přímé metody měření emisí pro tvorbu emisních charakteristik a pak i pro následné ověření metody v reálném provozu.

Jednotlivé dílčí cíle lze shrnout do těchto bodů:

- vytvoření metodiky pro přímou metodu měření emisí,
  - popis přístrojového vybavení,
  - synchronizace a vyhodnocení dat,
- návrh nepřímé metody měření emisí s využitím signálů dostupných z OBD,
  - popis výchozí metody,
  - návrh nové nepřímé metody,
  - volba vstupních parametrů,
  - tvorba emisních charakteristik,
  - vyhodnocení dat,
  - ověření metody v reálném provozu.

## **4 Metodika práce**

V této kapitole je popsána obecná metodika disertační práce, jež podrobněji rozvádí konkrétní realizaci dílčích cílů práce.

### **4.1 Vytvoření metodiky pro přímou metodu měření emisí**

Metodika přímého měření emisí je nezbytná při realizaci níže uvedených dílčích cílů, konkrétně při tvorbě emisních charakteristik a následně při ověřování nepřímé metody v reálném provozu.

Bude proveden detailní popis nezbytného přístrojového vybavení včetně podrobného návodu pro ovládání a instalaci přístrojů do vozidla. Metodika bude dále obsahovat výstupy z jednotlivých přístrojů, výpočty a postupy pro zpracování a synchronizaci dat včetně popisu speciálně vyvinutých programů pro usnadnění zpracování naměřených dat.

### **4.2 Návrh nepřímé metody měření emisí s využitím signálů dostupných z OBD**

Navrhovaná nepřímá metoda principiálně vychází z nepřímé metody stanovení emisí dle GPS, jež stanovuje okamžitou produkci emisí z emisních charakteristik. Dílčím cílem bude vytvoření nepřímé metody, která bude využívat obdobné emisní charakteristiky, kde budou jako vstupní parametry využity signály dostupné ze systému OBD.

#### ***4.2.1 Popis výchozí metody***

Cílem této kapitoly bude hlubší analýza výchozí metody a principiální nastínění výpočtu okamžitých hodnot vstupních údajů pro emisní charakteristiky.

#### ***4.2.2 Návrh metody stanovení emisí pomocí OBD***

V této kapitole bude popsán základní princip a přístrojové vybavení potřebné k realizaci této metody.

### **4.2.3 Volba vstupních parametrů**

Pro návrh nepřímé metody bude v první řadě provedena analýza vstupních údajů pro emisní charakteristiky, které poskytuje řídicí jednotka motoru přes diagnostické rozhraní OBD. Vzhledem k výchozí metodě bude tato analýza směřovat k nalezení vhodných vstupních parametrů, které budou odpovídat či nahradí vstupní parametry výchozí metody (otáčky motoru, výkon na kolech). Vzhledem k tomu, že údaj o otáčkách motoru je základní údaj, který je z rozhraní OBD vždy dostupný, bude provedeno ověření přesnosti tohoto údaje s kalibrovaným snímačem otáček. Toto ověření bude probíhat v laboratorních podmínkách na brzdovém stanovišti. Druhý vstupní parametr musí vhodným způsobem charakterizovat okamžité zatížení motoru. Volba vhodné veličiny charakterizující zatížení motoru bude prováděna opět na brzdovém stanovišti jako výsledek korelační analýzy s okamžitým točivým momentem motoru, snímaným tenzometrickým čidlem na brzdovém stanovišti. Ke zpracování a vyhodnocování dat bude využito programu MS Excel a jeho doplňků pro statistické vyhodnocení dat.

### **4.2.4 Tvorba emisních charakteristik**

Emisní charakteristiky vozidla jsou jedním ze základních podkladů pro realizaci navrhované nepřímé metody měření emisí. Tvorba emisních charakteristik představuje záznam okamžitých produkcí emisí a veličin charakterizující provozní parametry motoru v celém rozsahu otáček a provozního zatížení. Jednotlivé body emisní charakteristiky budou pro tento účel představovat speciálně navržené jednotlivé ustálené provozní stavy motoru při konstantních otáčkách a zatížení, ve kterých budou měřeny příslušné okamžité produkce emisí. Motor bude zatěžován na zkušebním stanovišti, okamžité produkce emisí a provozní parametry motoru budou určovány podle metodiky přímého měření pomocí stávajícího technického vybavení zkušebního stanoviště. Dále bude při měření na zkušebním stanovišti využit diagnostický systém pro komunikaci s rozhraním OBD. Ten je nezbytný pro záznam okamžitých provozních parametrů motoru jakožto hodnot vstupních údajů pro emisní charakteristiky. Takto naměřené diskrétní emisní charakteristiky budou za pomoci matematického programu MathCad převedeny na charakteristiky spojité. Pomocí takto vytvořených spojitých emisních charakteristik bude možné přiřazovat jednotlivé hodnoty emisí v libovolném bodě charakteristiky.

#### **4.2.5 Vyhodnocení dat**

Výsledkem tohoto dílčího cíle bude vytvoření podrobného postupu určování okamžitých hodnot emisí pomocí navržené nepřímé metody v prostředí MS Excel.

#### **4.2.6 Ověření nepřímé metody v reálném provozu**

Pro experimentální ověřování navrhované nepřímé metody měření emisí při jízdě vozidla jako finální dílčí cíl bude nutné navrhnout nejen příslušné „emisně zajímavé“ trasy (zastupující různé druhy provozu), ale i realizovat technické vybavení měřicího vozidla, jeho instalaci a obsluhu. Souběžně s měřením pomocí nepřímé metody bude instalován mobilní analyzátor VMK pro přímé měření za účelem ověřování obou metod.

## 5 Návrh metody provozního měření emisí motorových vozidel

Vzhledem k výše uvedené metodice disertační práce bude v první řadě věnována pozornost přímé metodě měření emisí, která bude pro účely této práce považována za etalonovou tj. porovnávací k navrhované nepřímé metodě.

### 5.1 Přímá metoda stanovení emisí za provozu

Analýza výfukových plynů v reálném provozu vyžaduje speciální emisní analyzátory, které respektují náročné provozní podmínky. K tomuto účelu vlastní katedra Vozidel a pozemní dopravy prototypový mobilní emisní analyzátor VMK, jenž vychází z výše uvedeného emisního analyzátoru OEM-2100.

Samotný emisní analyzátor však pro účely kvantifikace emisí za provozu nestačí. Je třeba dalších doplňkových zařízení a správného postupu pro kvalitní a opakovatelné měření.

V následujících kapitolách budou popsány dílčí součásti vybavení a také nezbytná metodika měření a vyhodnocení naměřených dat jak pro měření v reálném provozu, tak při laboratorním měření na brzdových stanovištích.

#### 5.1.1 *Emisní analyzátor VMK*

Emisní analyzátor VMK (obr. 27) byl navržen a zkonstruován na základě požadavků katedry Vozidel a pozemní dopravy firmou VMK s.r.o, jeho parametry (viz tab. 4) splňují náročné požadavky na měření emisí v reálném provozu.

Přístroj je určen k měření koncentrací oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), nespálených uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a kyslíku (O<sub>2</sub>) ve výfukových plynech spalovacích motorů s vnitřním spalováním směsi.

Koncept přístroje vychází z přenosných, lehkých, robustních servisních analyzátorů používaných při servisu a technických prohlídkách automobilů se zážehovými motory ve státě Kalifornie, USA.





**Obr. 27** Emisní analyzátor VMK

Tento přístroj byl upraven tak, aby jej bylo možné používat ke kontinuálním měřením po delší dobu, k měření silničních nebo drážních vozidel za provozu (případně jiných strojů vybavených spalovacím motorem), aby bylo umožněno měření vznětových motorů, a dále aby bylo dosaženo přesnosti a opakovatelnosti měření co nejvíce se přibližující laboratorním přístrojům. <sup>[45]</sup>

**Tab. 4** Technické parametry analyzátoru VMK <sup>[45]</sup>

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

### 5.1.1.1 Princip funkce

Klíčovou částí přístroje je nedisperzní infračervený analyzátor. Přístroj využívá principu absorpce (pohlcování) infračerveného záření molekulami složenými z atomů alespoň dvou různých prvků. Základní částí přístroje je optická lavice, složená z optické kyvety se vzorkem, na jejímž jednom konci je zdroj infračerveného záření, a na druhém konci detektor, jímž se měří koncentrace infračerveného záření po průchodu kyvetou se vzorkem. Měření se provádí v takových oblastech vlnových délek, ve kterých je příznivá (zpravidla vysoká) absorpce sledované látky, a zároveň absorpce ostatních látek je minimální. Za ideálních podmínek je intenzita infračerveného záření  $I$  zaznamenávaná detektorem funkcí intenzity světla  $I_0$  bez přítomnosti sledované látky, molekulární

koncentrace  $C$  sledované látky, a absorpčního koeficientu  $A$  sledované látky, dle Beer-Lambertova zákona. <sup>[45]</sup>

Pro zvýšení přesnosti jsou sledovány teplota a tlak vzorku, absorpce infračerveného záření ve více oblastech, a pozadový signál detektorů při vypnutém zdroji záření.

Vzorek je přiveden do separátoru přes filtr na zadní straně přístroje, ve kterém jsou odstraněny částice a kondenzát. Kondenzát je spolu s částí vzorku odčerpáván ze spodní části separátoru a ven z přístroje. Filtrovaný vzorek z horní části separátoru je přiváděn do prepínacího ventilu. Do prepínacího ventilu je též přiváděn nulovací plyn ve formě venkovního vzduchu, případně pro přesnější měření lze použít syntetický vzduch nebo dusík. Z prepínacího ventilu je vzorek odčerpáván čerpadlem. Malá část tohoto vzorku je čerpána do optické kyvety spektrometru, odkud volně odtéká do výstupu v zadním čele přístroje. Na výstupu jsou umístěny kanály a další zázemí pro elektrochemické články pro sledování složek  $\text{NO}_x$  a  $\text{O}_2$ . Větší část vzorku je odčerpávána ven z přístroje. Toto rozdělení umožňuje zachování relativně velkého celkového průtoku ( $100 \text{ cm}^3/\text{s}$ ) pro dosažení rychlé odezvy a zároveň dostatečně malého průtoku pro minimalizaci turbulencí a míchání vzorku v kyvetě. <sup>[45]</sup>

Další vývoj analyzátoru směřoval k vybavení přístroje systémem pro sledování signálu GPS GARMIN GPS18x-5Hz a jeho průběžnému zaznamenávání společně s koncentracemi jednotlivých složek emisí ve výfukových plynech do jednoho datového souboru.

### **5.1.1.2 Struktura zaznamenávaných dat**

Všechna snímaná data jsou průběžně ukládána na paměťovou kartu typu CF (Compact Flash) do několika textových souborů. Jde konkrétně o soubory stejného jména, rozlišující se pouze typem (koncovkou). Název souboru je složen vždy z aktuálního data měření, konkrétně:

*VMKYMMDD.\**

kde *VMK* je počáteční název souboru,

*Y* značí poslední číslo roku (pro 2012 – 2),

*MM* značí číslo měsíce (pro březen – 03),

*DD* znamená pořadové číslo dne v měsíci.

Datové typy souborů jsou pak následující:

- \*.TXT – strukturovaný textový soubor obsahující data o provozním stavu analyzátoru, emisích a pozicích GPS zaznamenávaná s frekvencí 1 Hz,
- \*.GPS – strukturovaný textový soubor obsahující separátně zaznamenávaná data z pozice GPS s frekvencí 5 Hz,
- \*.COX – binární soubor obsahující záložní data k emisím.

Hlavička hlavního datového (\*.TXT) souboru je pak následující (Obr. 28):

Prenosny analyzator spalín pistovych motoru Soubor: VMK10608  Status,Sekundy,Cas,CO[%],CO2[%],NO[ppm],HC[ppm],O2[%],GPS.UTC_sekundy,GPS.UTC,GPS.kmh,GPS.sirka,GPS.delka,GPS_vyska, GPS.satelitu
--

**Obr. 28** Hlavička datového souboru VMK

Význam jednotlivých datových polí je následující:

- *Status* – nabývá hodnot Mereni/Nulovani v závislosti na stavu přístroje,
- *Sekundy* – číslo udávající počet sekund od půlnoci konkrétního dne,
- *Cas* – časový údaj ve formátu HH:MM:SS (HH-hodiny, MM-minuty, SS-sekundy),
- *CO[%], CO2[%], NO[ppm], HC[ppm], O2[%]* – hodnoty koncentrací jednotlivých složek emisí,
- *GPS.UTC\_sekundy* – UTC (Coordinated Universal Time) čas v sekundách,
- *GPS.UTC* – UTC čas ve formátu HH:MM:SS.SS,
- *GPS.kmh* – rychlost dle GPS (km/h),
- *GPS.sirka, GPS.delka* – GPS souřadnice ve formátu SSMM.MMMMM, kde SS je hodnota souřadnice ve stupních, MM.MMMMM je hodnota souřadnice v minutách,
- *GPS.vyska* – hodnota nadmořské výšky (m) dle GPS,
- *GPS.satelitu* – počet viditelných satelitů systému GPS.

Dále v datovém souboru již následují zaznamenaná data (obr. 29):

Nulovani,35279,09:47:58,0.417,14.75,2,47,4.90
Nulovani,35280,09:47:59,0.689,13.88,1,80,2.29
Nulovani,35281,09:48:00,0.574,10.77,18,83,2.81
Nulovani,35282,09:48:01,0.596,10.29,38,81,4.36
Mereni,35282,09:48:01,0.596,10.29,38,81,4.4,281040,08:04:00.0,0.0,5007.76966,1422.50125,291.1,9
Mereni,35283,09:48:02,0.655,10.48,46,84,5.0,281050,08:04:10.0,0.0,5007.76966,1422.50125,291.1,10
Mereni,35284,09:48:03,0.978,10.74,52,91,4.7,281060,08:04:20.0,0.0,5007.76966,1422.50125,291.1,10
Mereni,35285,09:48:04,1.005,11.04,53,138,4.1,281070,08:04:30.0,0.0,5007.76966,1422.50126,291.1,10
Mereni,35286,09:48:05,0.929,12.33,47,141,3.4,281080,08:04:40.0,0.0,5007.76966,1422.50126,291.1,10

**Obr. 29** Zaznamenávaná data datového souboru VMK

Přenos zaznamenaných dat probíhá v současné době demontáží paměťové CF karty, připojením k čtečce paměťových karet a následným kopírováním dat do počítače, kde probíhá další vyhodnocování naměřených dat. Jak již bylo uvedeno, jedná se o strukturovaný textový datový soubor, kde jsou jednotlivé hodnoty odděleny čárkami, čehož lze s výhodou využít při zpracování dat. Např. v prostředí MS Excel lze pomocí funkce „Data→text do sloupců“, kde se jako oddělovač vybere čárka a jako oddělovač desetinných míst tečka, soubor upravit pro pohodlné vyhodnocení dat.

Ostatní zmiňované datové soubory nebudou blíže rozebírány, neboť již nejsou podstatné pro výsledné vyhodnocení produkce emisí a nesouvisí tedy přímo s tématem této práce.

### **5.1.1.3 Instalace přístroje do vozu**

Emisní analyzátor je třeba pevně připevnit ve vozidle (obr. 30) a zabránit tak nechtěnému samovolnému pohybu přístroje. Je nutné přístroj upevnit tak, aby při případné nehodě bylo minimalizováno riziko úrazu posádky kolizí s přístrojem. Jako vhodný prostředek lze k tomuto účelu využít přepravních stahovacích pásů, pomocí kterých lze přístroj pevně připoutat k zadnímu sedadlu ve vozidle (ideálně na středovou loketní opěrku).

Vzorkovací trať a odvod vzorku musí být vhodně zvoleny a instalovány, aby se předešlo vzniku požáru, a zachycení chodců nebo předmětů uvolněnými hadicemi nebo sondou. Jako ideální se jeví protažení vzorkovací trati otvorem v místě uložení náhradního kola a dále zavazadlovým prostorem až k přístroji. <sup>[45]</sup>



umístění výfukové sondy



upevnění analyzátoru ve vozidle

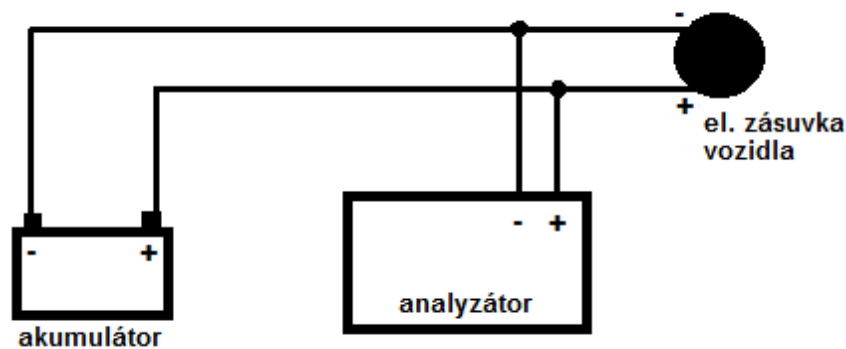


anténa pro GPS

**Obr. 30** Uložení analyzátoru VMK ve vozidle

Anténu pro příjem signálu GPS je vhodné umístit do středu střechy vozidla (uchycení pomocí magnetického držáku) a napnutý datový kabel protáhnout zadními dveřmi do kabiny vozidla.

Poslední částí instalace přístroje ve vozidle je napojení přístroje do zdroje elektrické energie. Přístroj je konstruován tak, aby ho bylo možné napájet z palubní sítě osobních vozidel s napětím 12V. To lze realizovat připojením napájecího kabelu do zásuvky pro zapalovač. Během měření se však ukázala tato varianta jako ne zcela vhodná, neboť při startování vozidla dochází u většiny moderních vozidel k odpojení všech zbytných systémů během startu, což způsobí výpadek napájení přístroje a hrozí pak reálné nebezpečí ztráty dat či poškození přístroje. Proto se osvědčila varianta zapojení napájení na záložní zdroj elektrické energie (obr. 31) v podobě menšího 12V akumulátoru, který je paralelně spojen s palubní sítí vozidla a s analyzátozem. Během startu je pak analyzátor napájen ze záložního akumulátoru a po nastartování motoru je celý systém napájen, resp. dobíjen z palubní sítě vozidla.

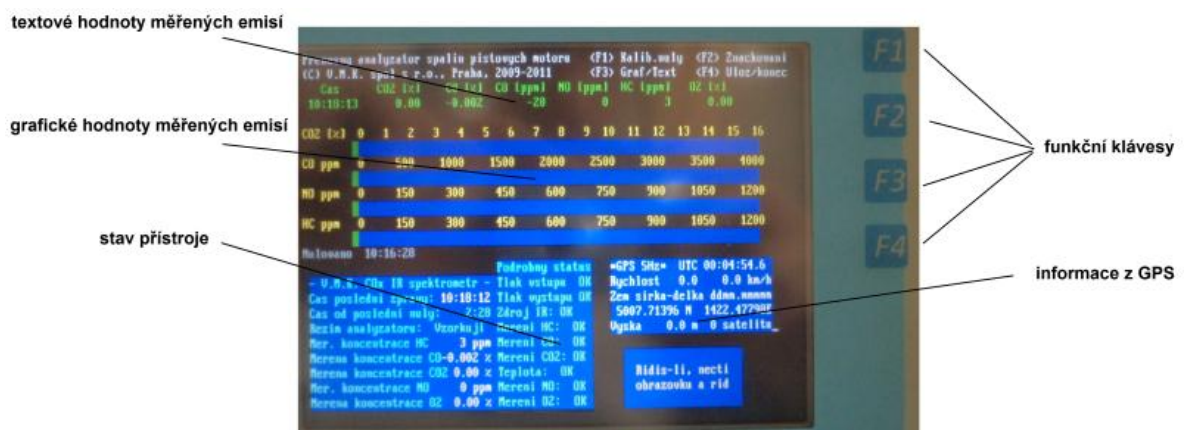


Obr. 31 Připojení přístroje ke zdroji el. energie

#### 5.1.1.4 Ovládání přístroje

Ovládací program běží v prostředí MS-DOS. Na obrazovce lze sledovat provozní stav přístroje (výsledek kontroly všech nezbytných součástí přístroje), informační sdělení (čas poslední kalibrace) a hodnoty sledovaných veličin (koncentrace sledovaných emisí, rychlost či pozice GPS). Ovládání přístroje (obr. 32) probíhá pomocí 4 funkčních kláves (F1-F4). Jejich význam je následující:

- F1 – kalibrace nuly, kalibraci je nutné provést před každým měřením,
- F2 – značkování, funkce, která po stisknutí tlačítka vloží jeden prázdný řádek do hlavního datového souboru,
- F3 – textové / grafické znázornění sledovaných veličin,
- F4 – ukončení měření.



Obr. 32 Ovládací rozhraní analyzátoru VMK

### **5.1.2 Zjišťování hmotnostního toku výfukových plynů**

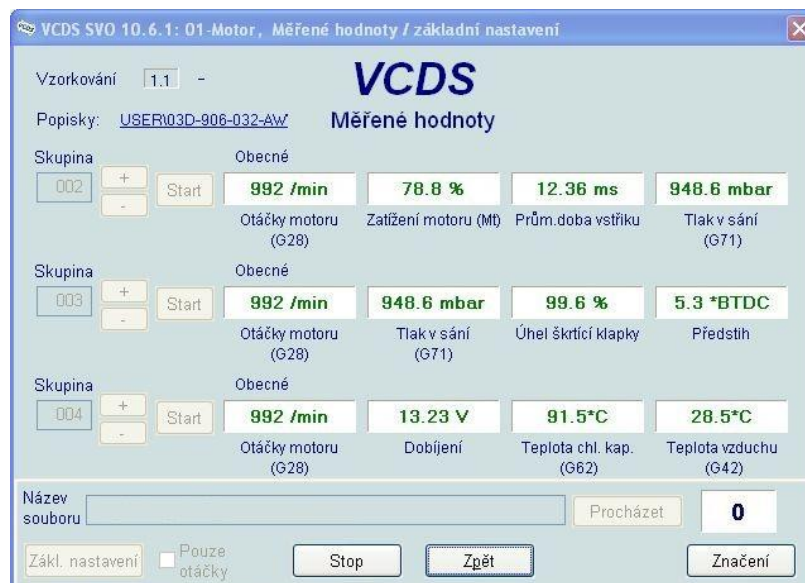
Vzhledem k tomu, že výše popisovaný emisní analyzátor (jakožto i většina emisních analyzátorů) zjišťují koncentrace sledovaných složek pouze v relativních jednotkách (% , ppm), je pro dané účely vhodné a často i nezbytné přepočítat tyto hodnoty na jednotky měrné, nejlépe hmotnostní produkci emisní složky na jednotku dráhy, nebo jednotku času, případně na jednotku práce (tedy např. kolik gramů CO/km, případně CO/s bylo vyprodukováno). Emisní analyzátor průběžně vyhodnocuje procentuální zastoupení jednotlivých složek v dále nespecifikovaném objemu výfukových plynů. K určení hmotnostní koncentrace sledovaných složek je tedy nebytné znát co nejpřesněji průtok výfukových plynů.

Ten lze měřit několika způsoby. Např. přístroj HORIBA OBS 2000 využívá k tomuto účelu speciální sondu ve výfuku, která monitoruje průtok výfukových plynů. To však s sebou přináší časté komplikace při instalaci takové sondy do výfuku.

V současné době je nejběžnějším způsobem zjišťování množství nasátého vzduchu, který je hmotnostně stejný jako množství výfukových plynů. Vzhledem k tomu, že většina dnešních vozidel je vybavena systémem OBD, je možné s využitím speciálních diagnostických přístrojů hodnotu množství nasávaného vzduchu během jízdy monitorovat a zaznamenávat. Druhou variantou (např. u systémů bez OBD) pak bývá montáž speciálního čidla do sacího traktu motoru a vyhodnocování tohoto signálu separátně. Tato varianta však znamená zpravidla významný zásah do konstrukce motoru a není tedy příliš vhodná. Proto bude dále rozebírána pouze varianta využívající rozhraní OBD.

### **5.1.3 Diagnostický systém VAG-COM**

Jedním z možných systémů pro komunikaci přes rozhraní OBD je výrobek firmy Ross-tech, diagnostický systém VAG-COM (obr. 33), který je schopen komunikovat přes rozhraní OBD a u koncernových vozů (VW, Škoda, Audi, Seat) je možná přímá komunikace s jakoukoli řídicí jednotkou ve vozidle. Přímá komunikace přináší výhodu v širší nabídce snímaných veličin oproti rozhraní OBD, kde lze snímat max. 4 hodnoty.



**Obr. 33** Diagnostický systém VAG-COM

Pro potřeby zjišťování množství nasátého vzduchu motorem je možno využít, zejména u koncernových vozů, zpravidla obou způsobů připojení. Problémem však je, že ne vždy je u všech vozů přes rozhraní OBD dostupná tato informace a v obou případech připojení se často mění jednotky, ve kterých je tento údaj měřený (v závislosti na značce, roku výroby, či typu spalovacího motoru). Je možné se setkat s následujícími jednotkami pro výpočet množství nasátého vzduchu:

- množství nasátého vzduchu (g/zdvih), (g/s),
- podtlak v sacím potrubí (mbar),

Pokud je údaj přímo v hmotnostních jednotkách, lze s tímto údajem rovnou dále pracovat. V současné době je však jedním z nejčastějších způsobů zjišťování množství nasátého vzduchu tlak v sacím potrubí. Tento údaj lze použít k výpočtu hmotnostního průtoku nasátého vzduchu podle vzorce (8), jež vychází z upravené stavové rovnice ideálního plynu. [42]



$$Q_m = \frac{28,9 \cdot \left( p_s - \frac{p_{am}}{\varepsilon} \right) \cdot V_Z \cdot \eta_d \cdot n}{600 \cdot i \cdot R \cdot T_{VZD}} \quad (8)$$

kde:

$Q_m$  (g/s)...množství nasátého vzduchu motorem,

28,9 (g/mol)...molární hmotnost vzduchu,

$p_s$  (mbar)...tlak v sání,

$p_{am}$  (mbar)...atmosférický tlak,

$\varepsilon$  (I)...kompresní poměr motoru,

$V_Z$  (dm<sup>3</sup>)...zdvihový objem motoru,

$\eta_d$  (I)...dopravní účinnost motoru,

$n$  (I/min)...otáčky motoru,

600...konstanta zahrnující přepočet na základní jednotky SI,

$i$  (I)...konstanta, zahrnující typ motoru (pro čtyřdobý  $i=2$ , pro dvoudobý  $i=1$ )

$R$  (J/K·mol)...universální plynová konstanta (pro ideální plyn  $R=8,314$ ),

$T_{VZD}$  (K)...teplota nasávaného vzduchu (K).

### 5.1.3.1 Struktura ukládaných dat

Podobně jako u datových souborů analyzátoru i zde program ukládá data do strukturovaného textového souboru typu CSV (Comma-separated values). Na konkrétní podobu souboru má vliv množství snímaných dat a použité rozhraní pro komunikaci s řídicí jednotkou. V případě standardu OBD (obr. 34) lze ukládat vždy maximálně 4 hodnoty. V případě přímého spojení s řídicí jednotkou (obr. 35) lze přes funkci Měření okamžitých hodnot (obr. 33) zapisovat až 12 hodnot najednou (3 bloky dat, každý blok obsahuje 4 údaje). V obou případech platí, že čím více dat najednou je ukládáno, tím je nižší frekvence zápisu. Další vliv na frekvenci zápisu má konkrétní druh řídicí jednotky, zpravidla platí, čím novější vozidlo, tím rychlejší komunikace a tím i vyšší frekvence ukládaných dat. V průběhu několika měření na různých vozidlech byla zjištěna důležitost prvního datového pole, kterým je v případě VAG-COMu vždy čas. V některých případech bylo sice zjištěno naprosto pravidelné ukládání dat, ale toto neplatí vždy. U mnoha jiných vozidel má diagnostická funkce ŘJ velmi nízkou prioritu, což způsobuje velmi nepravidelné posílání dat přes diagnostickou linku a tím pak i k nepravidelnému zápisu dat. Je tedy nezbytné mít u každého bloku dat vždy nejprve časový údaj, kdy byla tato data

zaznamenána (viz údaj ČAS na následujících obrázcích č. 34 a 35). Bez časového údaje by pak další synchronizace dat nebyla možná.

```

Úterý,26.Říjen,2010,12:29:18:24031,VCDS verze: SVO 10.6.1,Verze dat: 20100310
OBD --- --- --,
Značení,ČAS,PID A - 012,ČAS,PID B - 013,ČAS,PID C - 016,ČAS,PID D - 067
,ZNAČKA,Otáčky motoru ( /min),ZNAČKA,Rychlost vozidla ( km/h),ZNAČKA,Množství nasávaného vzduchu (
g/s),ZNAČKA,Absolutní hodnoty výkonu ( %),
,0.12,0,0.29,0,0.46,0.43,0.63,0
,0.79,0,0.97,0,1.13,0.43,1.29,0
,1.47,0,1.64,0,1.81,0.43,1.97,0
,2.14,0,2.31,0,2.48,0.43,2.64,0
,2.81,0,2.98,0,3.15,0.43,3.33,0
,3.50,0,3.67,0,3.84,0.43,4.00,0

```

**Obr. 34** *Struktura dat VAG-COM – OBD*

```

Středa,08.Červen,2011,09:46:44:24031,VCDS verze: SVO 10.6.1,Verze dat: 20100310
03D 906 032 A,,1.2I/2V SIMOS3 00HS1501,
,Skupina A:,'002,,,Skupina B:,'003,,,Skupina C:,'005
,,Otáčky motoru,Zatížení motoru (Mt),Prům.doba vstřiku,Plak v sání,,Otáčky motoru,Plak v sání,Úhel škrtkící klapky,Předstih,,Otáčky
motoru,Zatížení motoru (Mt),Rychlost,Provozní stav
,ČAS,(G28),,, (G71),ČAS,(G28),(G71),,, ČAS,(G28),,, rozsah hodnot: Nečinnost / volnoběh / Obohacení / část. zatížení / plné zatížení
Značení,ZNAČKA, /min, %, ms, mbar,ZNAČKA, /min, mbar, %, *BTDC,ZNAČKA, /min, %, km/h,
,0.56,704,20.4,3.09,336.6,0.01,704,336.6,3.5,4.5,0.29,704,20.4,0.0,beh naprazdno
,1.38,704,20.4,2.06,336.6,0.84,704,336.6,3.5,3.0,1.11,704,20.4,0.0,beh naprazdno
,2.21,704,20.4,2.06,336.6,1.67,704,336.6,3.5,4.5,1.93,704,20.4,0.0,beh naprazdno
,3.06,704,20.4,2.06,336.6,2.49,704,336.6,3.5,5.3,2.78,704,20.4,0.0,beh naprazdno
,3.89,704,20.4,3.09,336.6,3.33,704,336.6,3.5,5.3,3.60,704,20.4,0.0,beh naprazdno

```

**Obr. 35** *Struktura dat VAG-COM – přímé spojení s ŘJ*

### 5.1.3.2 Volba veličin pro ukládání

System VAG-COM nabízí možnost ukládání více hodnot v závislosti na zvoleném rozhraní a typu řídicí jednotky. Pro následné vyhodnocení dat a jejich synchronizaci je nezbytné ukládat následující data:

- veličina charakterizující množství nasátého vzduchu motorem,
- průměrná doba vstřiku paliva, případně jiná veličina, která koreluje s okamžitým množstvím produkovaných emisí (ideálně CO<sub>2</sub>),

- rychlost vozidla (případně otáčky motoru) pro synchronizaci dat z GPS (pouze v případě jízdy vozidla – tato nutnost logicky odpadá na brzdovém stanovišti).

### **5.1.3.3 Volba názvů souborů**

Název souboru pro ukládání dat z palubní diagnostiky je vhodné volit podle aktuálního data a účelu (případně startu a cíle) měření pro jeho pozdější snadnou identifikaci (např. 2012\_05\_26\_czu\_budejovicka.csv). Datum je vhodné volit ve formátu YYYY\_MM\_DD, neboť při následném seřazení souborů dle jména se řadí soubory měření vždy pro každý měsíc a rok měření.

### **5.1.4 Metodika měření**

Následující část práce bude věnována bližšímu popisu metodiky měření pomocí výše zmíněného analyzátoru s využitím dat dostupných přes diagnostické rozhraní automobilu.

#### **5.1.4.1 Příprava měření**

V prvním kroku je nutné nejprve zkontrolovat, zda měřené vozidlo je schopno komunikovat přes systém VAG-COM a že je dostupný signál o množství nasátého vzduchu, otáčkách motoru, případně informace o rychlosti vozidla (data nutná pro pozdější vyhodnocení dat a synchronizaci).

Pak může dojít k vlastní montáži měřící aparatury do vozidla. V případě analyzátoru to znamená jeho pevné uchycení např. na zadním sedadle vozidla. Následuje instalace výfukové sondy a odvodu vyhodnoceného vzorku z analyzátoru viz kapitola 5.1.1.3.

Dále je vhodné použití externího akumulátoru pro napájení analyzátoru během startování vozidla. Ten je třeba také ve vozidle umístit vhodným způsobem, aby se zamezilo jeho samovolnému pohybu. Jako ideální se jeví umístění v kufru vozidla a jeho uchycení pomocí stahovacích pásů (obr. 36).

Dalším krokem je instalace antény pro příjem signálu GPS a její zapojení do analyzátoru. Anténu je vhodné umístit doprostřed vozu (uchycení pomocí magnetu), napnutý datový kabel lze protáhnout do kabiny zadními dveřmi.



**Obr. 36** Připevnění záložního akumulátoru

Po těchto úkonech lze analyzátor připojit do napájecí sítě vozidla společně se záložním akumulátorem a zapnout jej. Je nezbytné (zvláště v zimním období), aby došlo k dokonalému prohřátí všech systémů v analyzátoru. Proto je výrobcem doporučeno před měřením nechat analyzátor minimálně 0,5-1 hodinu zahřát, čímž se předejde nechtěné kondenzaci měřeného vzorku v přístroji.

Před vlastním měřením je nutné připojit notebook přes diagnostickou zásuvku vozidla, případně při dlouhých měřeních vyřešit ještě napájení notebooku z palubní sítě vozidla. Dále se velmi osvědčilo každé měření zaznamenat do knihy jízd, kde lze zaznamenat např.:

- datum měření,
- čas startu a konce měření,
- místo startu a cíle,
- stav počítadla km na startu a v cíli,
- poznámka (účel měření či další nezbytné údaje).

#### **5.1.4.2 Vlastní měření**

Vždy před vlastním měřením je nutné povést nulování analyzátoru. To se provede stisknutím tlačítka F1. Tato operace trvá necelou minutu. Teprve po vynulování přístroje začne analyzátor fungovat a na displeji se objeví okamžité koncentrace sledovaných složek emisí.

Dále může dojít k nastartování vozidla. Ihned poté je vhodné navázat komunikaci pomocí diagnostického systému VAG-COM a spustit ukládání dat (v případě navázání komunikace před nastartováním vozidla dojde zpravidla během jeho startu k odpojení diagnostického systému).

Před vyjetím je dobré ještě zkontrolovat, zda má analyzátor dostatečný signál pro příjem signálu GPS.

Během měření je třeba dbát zvýšené pozornosti, aby nedošlo k nechtěnému zhasnutí motoru, protože opakovaný start motoru vede zpravidla ke ztrátě dat čtených z palubní diagnostiky vozidla. V případě absence záložního akumulátoru by došlo i k výpadku analyzátoru, kdy hrozí riziko i celkové ztráty dat (za celé dosavadní měření). Také je třeba počítat se zdržením v řádech minut, než je systém opět připraven k měření (opětovné spuštění analyzátoru, zahřátí, kalibrace nuly). Opětovné navázání komunikace s palubní diagnostikou a nastavení ukládání dat je otázkou 1-2 minut.

Po dokončení dílčího úseku měření je vhodné provést jeho zaznamenání do knihy jízd a před následujícím úsekem vynulovat analyzátor a zapsat další úsek do knihy jízd. Pro záznam dat z OBD platí pravidlo, že každý jednotlivý úsek má vlastní soubor s jedinečným názvem.

V případě nutnosti zaznamenat nějakou událost během měření do zaznamenávaných dat je vhodné tuto událost zvýraznit pomocí funkce analyzátoru značkování (klávesa F2) a tuto událost zapsat i do knihy jízd. V datech je pak tato událost zaznamenána v podobě vloženého prázdného řádku do hlavního datového souboru analyzátoru.

#### **5.1.4.3 Ukončení měření**

Po ukončení měření je vhodné nejprve ukončit ukládání dat z palubní diagnostiky vozidla (aby bylo možné vypnout motor) a následně odpojit výfukovou sondu od analyzátoru a stisknout klávesu F4 pro ukončení měření.

Dále je vhodné nechat analyzátor zapnutý po dobu alespoň půl hodiny, aby došlo k jeho pročištění a vychladnutí.

#### **5.1.4.4 Příprava dat**

Pro vyhodnocení dat je nejprve nutné uložit data do jednoho datového úložiště. Data z analyzátoru jsou na paměťové kartě, data z palubní diagnostiky jsou ve výchozím

nastavení uloženy v notebooku v adresáři %system\_drive%\VAG-COM\Log (VAG-COM verze 10.6.1).

Jak již bylo naznačeno výše, datové soubory jsou textově strukturované soubory, kde jsou jednotlivá data oddělena čárkou. Dále bylo uvedeno, že každý z přístrojů zaznamenává data s různou frekvencí. Zatímco data z analyzátoru jsou zaznamenávána s frekvencí 1 Hz, data z palubní diagnostiky mají frekvenci zpravidla proměnlivou. Pro další zpracování dat je nezbytné, aby všechna data byla se stejnou frekvencí.

Jako základní frekvence je zvolena frekvence 1 Hz. Data z palubní diagnostiky je nutné tedy pomocí speciálního algoritmu přepočítat na tuto frekvenci. Jedním ze způsobů je využití některého z programovacích jazyků (Visual Basic v prostředí MS Excel, programovací jazyk C++, PHP) a data přepočítat pro každou sekundu měření metodou průměrování. Dle zkušeností jsou data z palubní diagnostiky při snímání maximálního počtu dat (12 hodnot přímé spojení, 4 hodnoty OBD) zaznamenávána cca jednou až dvakrát za sekundu. Pro zpracování dat byl autorem vytvořen speciální program v prostředí PHP (PHP: Hypertext preprocessor - skriptovací jazyk pro internetové stránky).

Program (zdrojový text viz příloha 9.1) je navržen tak, že data z palubní diagnostiky je nejprve nutno otevřít v prostředí MS Excel, kde se vyberou potřebná data (podmínkou je, že první sloupec musí obsahovat časovou osu). Data se zkopírují do schránky a v internetovém prohlížeči se otevře stránka s programem (obr. 37), kam se data ze schránky vloží. Po odeslání dat program analyzuje data, vyhledá údaje vždy ke každé konkrétní sekundě záznamu a data zprůměruje. Výsledky průběžně ukládá do maticové proměnné, kam ukládá takto zjištěné průměry hodnot pro celý objem dat. Kliknutím na odkaz STÁHNI SOUBOR pošle program do počítače zpracovaný soubor, kde jsou data přepočítána s frekvencí 1 Hz. Zpracovaný soubor (standardně data.csv) je opět textový strukturovaný soubor, kde jsou jednotlivá data oddělena pomocí znaku tabulátor. Pro další zpracování dat je tedy zapotřebí v programu MS Excel zvolit funkci „Data→Text do sloupců“, kde se jako oddělovač zvolí tabulátor, oddělovač desetinných míst tentokrát zůstává ve výchozím nastavení – tedy čárka. Takto připravená data je pak možné dále použít pro další synchronizaci dat. Program je navržen tak, že počet sloupců které mají být synchronizovány dle prvního sloupce s krokem 1 je libovolný. Lze tedy upravit data z palubní diagnostiky jak z OBD (8 sloupců), tak pomocí přímého spojení s ŘJ (15 sloupců).

Setřídění dat po 1 sekundě

Data z OBD oddělené tabulátorem :

0,28	864	27,1	3,09	357	0,56	864	357	4,7	4,5	0,84	864	27,1	0
1,12	864	27,1	3,09	357	1,41	864	357	4,7	5,3	1,69	864	27,1	0
1,98	864	27,1	3,09	357	2,26	864	357	4,7	6	2,55	864	27,1	0
2,83	864	27,1	3,09	357	3,12	864	357	4,7	3,8	3,4	864	27,1	0
3,68	864	27,1	3,09	357	3,95	864	357	4,7	3,8	4,24	864	27,1	0
4,53	864	27,1	3,09	357	4,81	864	357	4,7	4,5	5,1	864	27,1	0
5,39	864	27,1	3,09	357	5,68	864	357	4,7	6	5,96	864	27,1	0
6,24	864	25,9	3,09	357	6,52	832	357	4,7	6,8	6,8	864	27,1	0
7,07	864	27,1	3,09	357	7,35	864	357	4,7	6	7,63	832	27,1	0
7,91	864	27,1	3,09	357	8,18	864	357	4,7	6	8,46	864	27,1	0
8,74	864	27,1	3,09	357	9,01	864	357	4,7	6	9,31	864	27,1	0
9,6	864	27,1	3,09	357	9,88	864	357	4,7	2,3	10,16	864	27,1	0
10,43	864	27,1	4,12	357	10,71	864	357	4,7	3,8	11	864	27,1	0
11,28	864	27,1	3,09	357	11,57	864	357	4,7	3,8	11,85	864	27,1	0
12,13	864	27,1	3,09	357	12,41	832	357	4,7	6,8	12,68	832	27,1	0
12,96	832	27,1	3,09	357	13,25	832	357	4,7	6,8	13,52	864	27,1	0
13,79	864	27,1	3,09	357	14,08	864	357	4,7	6	14,35	864	27,1	0
14,64	864	27,1	3,09	357	14,93	864	357	4,7	4,5	15,21	864	27,1	0
15,51	864	27,1	4,12	357	15,81	864	357	4,7	4,5	16,09	864	25,9	0
16,38	864	25,9	3,09	357	16,67	864	357	4,7	3,8	16,94	832	25,9	0
17,22	832	25,9	3,09	357	17,51	832	357	4,7	6	17,79	832	25,9	0
18,07	832	25,9	3,09	357	18,36	832	357	4,7	5,3	18,65	832	25,9	0
18,91	864	27,1	3,09	357	19,19	832	357	4,7	6	19,46	832	27,1	0
19,75	832	25,9	3,09	357	20,03	864	357	4,7	4,5	20,31	864	25,9	0
20,58	864	25,9	3,09	357	20,86	864	357	4,7	4,5	21,15	832	25,9	0

Poslat

Počet sloupců: 14

Počet sekund záznamu: 382

[STÁHNI SOUBOR](#)

0	864	27,1	3,09	357	0,56	864	357	4,7	4,5	0,84	864	27,1	0
1	864	27,1	3,09	357	1,835	864	357	4,7	5,65	2,12	864	27,1	0
2	864	27,1	3,09	357	3,12	864	357	4,7	3,8	3,4	864	27,1	0

**Obr. 37** Internetová stránka s programem pro zpracování dat

### 5.1.4.5 Synchronizace dat měření v reálném provozu

Nyní jsou data z palubní diagnostiky i z emisního analyzátoru s časovou osou po jedné sekundě. Nyní nastává problém s vlastní synchronizací dat. Synchronizaci dat je nutno provést z několika důvodů:

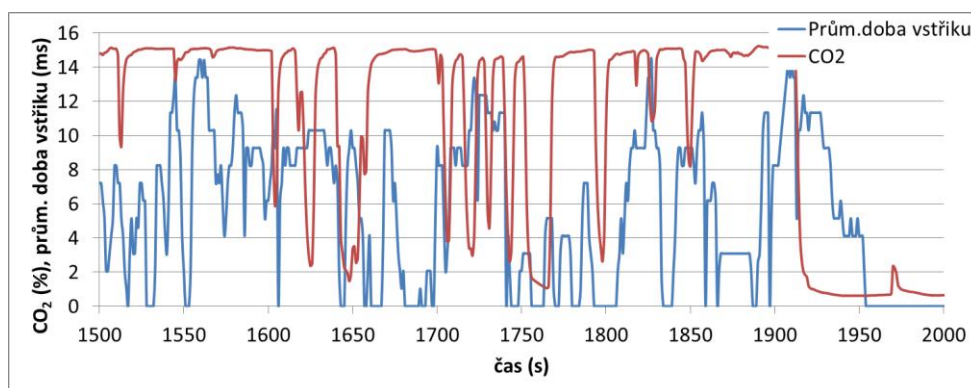
- záznam dat z palubní diagnostiky je spuštěn v libovolnou dobu, nezávisle na emisním analyzátoru,
- datové soubory mají relativní časovou osu (tedy čas od začátku měření),
- mezi daty analyzátoru ohledně emisí a GPS existuje časové posunutí vlivem dopravní vzdálenosti vzorku spalin do přístroje a jeho vyhodnocení (podle délky použité výfukové sondy).

Synchronizace se provádí podle výrazné korelace souvisejících veličin. Zatím nejjednodušší se ukázala ruční metoda, kdy jsou jednotlivé související veličiny vyneseny do grafu, a postupným posouváním časových os je dosaženo překrytí trendů sledovaných veličin.

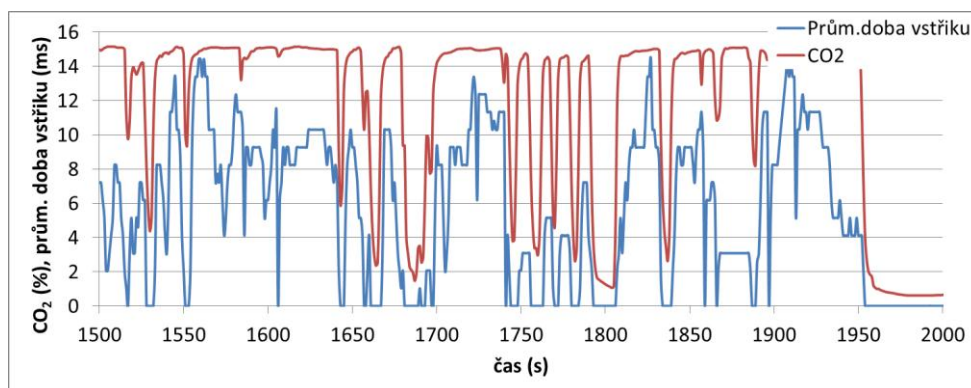
Konkrétní postup synchronizace je pak následující:

- do sešitu MS Excel jsou vložena upravená data z palubní diagnostiky (s časovou osou po 1 sekundě), ukázka dat viz příloha 9.2a,
- vedle těchto dat se vloží data z emisního analyzátoru,
- jako časová osa se využije v případě OBD první sloupec, v případě emisí sloupec s nadpisem Sekundy (počet sekund od půlnoci), který se v počátku přepíše posloupností čísel od nuly s krokem 1 přes celý rozsah dat, ukázka dat viz příloha 9.2b,
- vynesou se závislost doby vstřiku a okamžité produkce CO<sub>2</sub> v čase (obr. 38),
- posouváním časové osy se zajistí překrytí trendů jednotlivých veličin.

(a) Data před synchronizací



(b) Data po synchronizaci (časová osa emisí začíná na 39. sekundě)



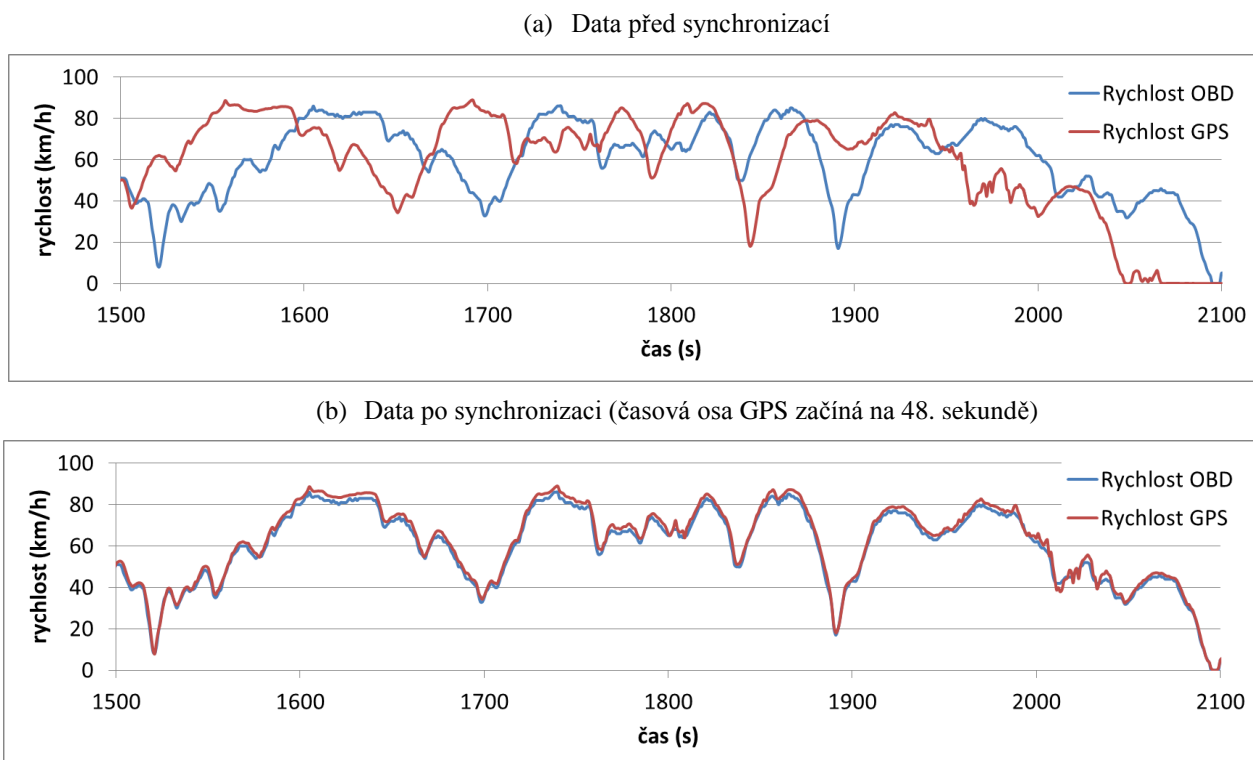
**Obr. 38** Synchronizace dat OBD a emisí podle průběhu doby vstřiku a emisí CO<sub>2</sub>



Stejný postup se využije pro synchronizaci dat z OBD a GPS. Tento krok je využíván pouze v případě měření jedoucího vozidla, v případě měření na brzdovém stanovišti tento krok odpadá. Pro synchronizaci dat OBD a GPS je nejjednodušší využít průběhu rychlosti z obou datových souborů, pokud je údaj o rychlosti z OBD dostupný. Pokud není, je možno využít průběhu otáček motoru, tento údaj je z OBD dostupný vždy.

Další postup synchronizace je velmi podobný jako v předchozím případě:

- sloupec GPS\_UTC-sekundy se přepíše posloupností čísel od nuly s krokem 1 přes celý rozsah dat (viz příloha 8.2),
- vynese se závislost rychlosti z OBD a GPS a postupně se posouvá časová osa GPS, až dojde k minimalizaci rozdílu hodnot vynášených veličin (obr. 39).



**Obr. 39** Synchronizace dat OBD a GPS dle průběhu rychlosti

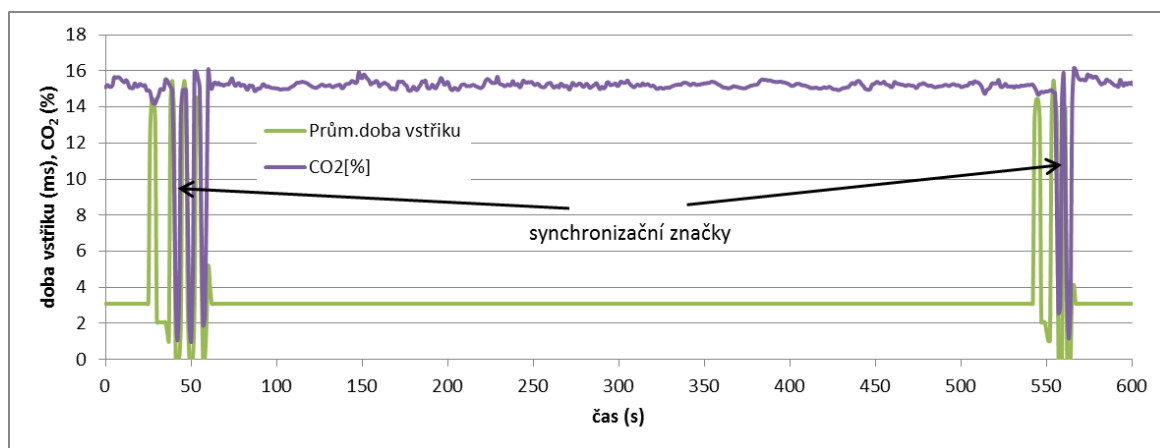
Jak je patrné z obr. 38 a 39, došlo k posunutí časové osy emisí vůči OBD o 39 sekund, v případě synchronizace OBD a GPS o 48 sekund. Rozdíl 9 sekund mezi časovými osami dat emisí a GPS (jde o jeden datový soubor) je způsoben již zmiňovanou prodlevou, způsobenou dopravním zpožděním vzorku spalín do analyzátoru a jeho vyhodnocením. Tato doba je závislá na použité výfukové sondě resp. délce vzorkovací hadice.

Na závěr je nutné upozornit na nutnost srovnání časových řad v tabulce programu MS Excel, kdy po synchronizaci začíná každá časová řada v jiný okamžik (konkrétně u příkladu na obr. 38 a 39, časová osa OBD začíná od 0., časová osa emisí od 39. a časová osa GPS od 49. sekundy). Je tedy nutné před data z emisí vložit 39 a před data z GPS 48 prázdných řádků.

Dokončením tohoto kroku došlo ke kompletní synchronizaci dat, kdy v každém jednotlivém řádku, jehož časová osa je 1 sekunda, jsou vždy vzájemně synchronizovaná data z OBD, emisí a GPS. Takto připravená data je možno využít pro následující výpočty.

#### 5.1.4.6 Synchronizace dat v laboratorním prostředí

Výše uvedené postupy pro synchronizaci dat je možné využít i v případě měření v laboratorních podmínkách, tzn. na brzdovém stanovišti. Zde je však třeba dbát na pravidelné „značkování“ před začátkem a pro jistotu i po skončení měření. Na obr. 40 je ukázka z měření na brzdovém stanovišti při ustáleném režimu.



**Obr. 40** Synchronizační značky při měření na brzdovém stanovišti

Na začátku a na konci měření jsou patrné zmiňované synchronizační značky. Pro účely značkování se s výhodou využívá závislosti sledovaných veličin na okamžitém výkonu motoru. Proces značkování je možno provést pomocí střídavého nastavení plné a nulové dávky paliva pomocí pedálu akcelerace. Během značkování je třeba, aby byl motor alespoň částečně zatížen. Pokud by tento proces byl prováděn při nezatíženém motoru, trval by příliš krátkou dobu a značky by nebyly markantní. Je tedy nevhodné toto značkování provádět např. při volnoběhu. Toto značkování pak reprezentuje v provozu běžně dosahované režimy motoru při plném zatížení a deceleraci (brzdění motorem). Tyto

krajní stavy pak způsobí dosažení špičkových hodnot sledovaných veličin a lze snadno upozorovat jejich vzájemnou závislost.

Problematika synchronizace dat na brzdovém stanovišti souvisí se vzájemnou synchronizací dat z palubní diagnostiky, emisního analyzátoru a dynamometru. Data na brzdovém stanovišti jsou ukládána s frekvencí 1 Hz do databázového souboru typu dBase, který je možno zpracovat opět v prostředí MS Excel. Na brzdovém stanovišti jsou do datového souboru ukládány následující hodnoty:

- Datum (DATE) a čas měření (TIME),
- Otáčky motoru (1/min),
- Točivý moment (Nm),
- Vypočtený výkon (kW),
- Nastavení pedálu akcelerace (%),
- Nastavení buzení dynamometru (mA),
- Aktuální váha paliva v nádrži (kg).

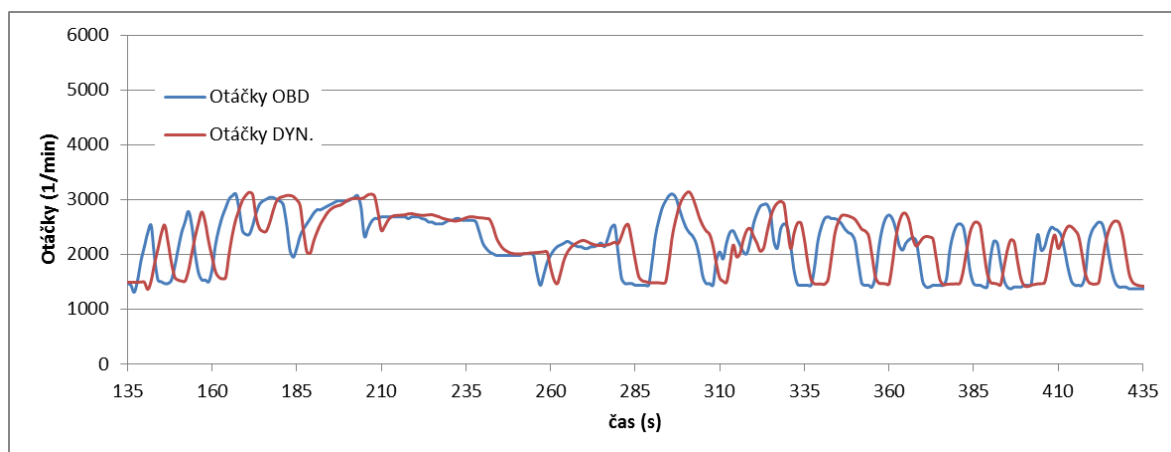
Konkrétní struktura dat je patrná z tab. 5.

**Tab. 5** Hodnoty zaznamenávané na brzdovém stanovišti (vzorek dat)

DATE	TIME	OTACKY	MOMENT	VYKON	NAST_PLYN	DYNO_MA	VAHA_PALIV
20.3.2012	09:14:45	2579	46	12,5	28,2	5,020	20,762
20.3.2012	09:14:46	2577	46	12,5	28,8	5,020	20,762
20.3.2012	09:14:47	2587	47	12,6	29,3	5,020	20,760
20.3.2012	09:14:48	2610	47	12,7	29,3	5,020	20,760
20.3.2012	09:14:49	2635	46	12,7	29,3	5,020	20,758
20.3.2012	09:14:50	2654	46	12,8	29,3	5,020	20,756
20.3.2012	09:14:51	2666	46	12,9	29,3	5,020	20,756
20.3.2012	09:14:52	2675	46	13,0	29,6	5,020	20,754
20.3.2012	09:14:53	2688	46	13,1	30,0	5,020	20,754
20.3.2012	09:14:54	2708	46	13,2	30,0	5,020	20,754

Datové soubory z OBD a emisního analyzátoru se synchronizují shodně jako v předchozím případě (tedy např. průběh doby vstřiku z OBD a okamžitá produkce CO<sub>2</sub>).

Dále je třeba synchronizovat data z dynamometru (potažmo z celého brzdového stanoviště). To je možné provést pomocí otáček motoru (obr. 41), neboť tato hodnota je dostupná jak z OBD, tak z dynamometru.



**Obr. 41** Synchronizace dat OBD a dynamometru

Synchronizace se provede stejným způsobem jako v předchozích případech, tedy posunutím časové osy.

#### 5.1.4.7 Vyhodnocení dat

Cílem předchozích postupů byla příprava dat pro jejich výslednou kvantifikaci. Jedná se především o stanovení množství produkovaných emisí v dobře prezentovatelné podobě, místo kde byly tyto emise vyprodukovány a další provozní parametry motoru a vozidla během celého měření. Následující výpočty doplňují metodiku měření o postup dalšího zpracování dat pro výslednou kvantifikaci emisí v hmotnostních jednotkách (g/km, g/s).

#### Výpočet hmotnostní produkce emisí

Ze synchronizovaných dat palubní diagnostiky a emisního analyzátoru je s využitím vzorce (8) pro výpočet hmotnostního průtoku vzduchu možné vypočítat jednotlivé okamžité hmotnostní produkce sledovaných emisí podle následujícího vzorce (9):

$$m_x = \frac{X}{100} \cdot \frac{Q_m}{\rho_v} \cdot \rho_x \quad (9)$$

kde:

$m_x$  (g/s)...koncentrace sledované složky emisí ve výfukových plynech,

$X$  (%)...koncentrace sledované složky emisí ve výfukových plynech,

$Q_m$  (g/s)...hmotnostní průtok vzduchu motorem,

$\rho_v$  (kg/m<sup>3</sup>)...hustota vzduchu,

$\rho_x$  (kg/m<sup>3</sup>)...hustota složky emisí.

### **Další výsledky měření**

Předchozími kroky upravená data mají velmi rozsáhlý objem, díky tomu lze však pomocí jednoduchých součtů, průměrů či podílů získat snadno velmi užitečné výsledky. Samozřejmě záleží na konkrétním zaměření každého měření, obecně díky struktuře dat lze obdržet např. následující výsledky:

- okamžité hodnoty sledovaných veličin (každou sekundu měření),
- sečtením všech řádků měření dostáváme sumární hodnoty sledovaných veličin za celou dobu měření,
- podílem sumárních hodnot sledovaných veličin a celkové ujeté dráhy, případně celkovým časem měření, lze obdržet měrné hodnoty sledovaných veličin.

Konkrétně pak jde např. o následující výsledky:

- čas měření (doba měření), ujetá vzdálenost,
- jednotlivé složky emisí, např. množství CO<sub>2</sub> (g/měření, g/km, g/s),
- průměrnou či maximální rychlost (km/h),
- průměrná doba stání (s) za dobu měření,
- průměrné zatížení motoru,
- procentuální zastoupení jednotlivých režimů motoru (volnoběh, částečné zatížení, plné zatížení, decelerace),
- díky GPS známá poloha vozidla během měření.

#### **5.1.4.8 Dílčí závěr**

Výše popsaná metodika přímého měření emisí jak za provozu, tak v laboratorních podmínkách na brzdovém stanovišti, popisuje přístrojové vybavení, postupy, výpočty, i vlastní zpracování dat. V dílčím závěru této části lze uvést, že pro dosažení seriózních výsledků je nutné věnovat zvýšenou pozornost správné instalaci použité měřicí techniky, její obsluze, kalibraci a zejména problému synchronizace. Podle navržené metodiky proběhla série měření na různých vozidlech v provozu i na brzdovém stanovišti, dílčí výsledky budou prezentovány v kapitole 6.1.

## 5.2 Nepřímé metody stanovení emisí za provozu

Jak vyplynulo z teoretického rozboru v kapitole 2.3, existuje celá řada metod pro měření emisí. V této kapitole bude blíže rozvedena realizace dvou nepřímých metod stanovení emisí za provozu, konkrétně metod založených na emisních charakteristikách.

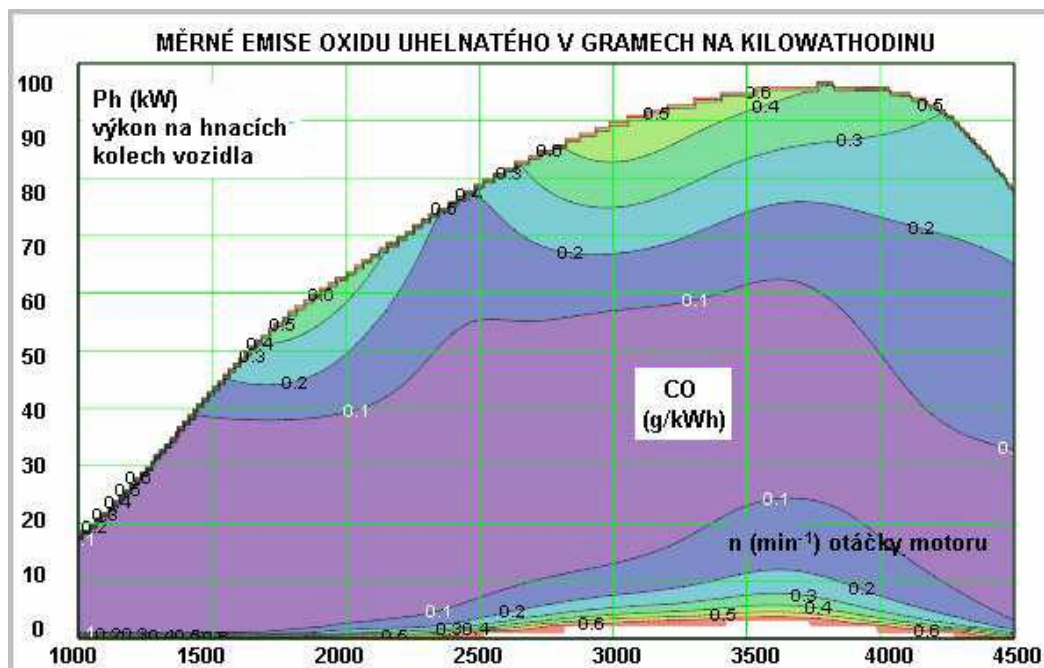
### 5.2.1 Metoda stanovení emisí pomocí GPS

V dalším textu bude navázáno na kapitolu 2.3.2.4, kde byl proveden základní popis této metody.

Jak již bylo uvedeno, metoda stanovení emisí pomocí GPS vychází z naměřených emisních charakteristik zkoumaného vozidla. Základními vstupními parametry pro určování okamžité produkce sledovaných emisí jsou:

- výkon na kolech (kW),
- otáčky motoru (1/min).

Příklad konkrétní podoby emisní charakteristiky (pro oxid uhelnatý) je na obr. 42.



Obr. 42 Emisní charakteristika CO (GPS) <sup>[17]</sup>

### 5.2.1.1 Výpočet vstupních parametrů

Jak již bylo uvedeno výše, vstupními parametry pro emisní charakteristiky jsou výkon na kolech (kW) a otáčky motoru (1/min). Oba tyto parametry jsou zjišťovány, vzhledem k zaměření této metody, pouze z dynamických projevů jedoucího vozidla.

#### Výkon na hnacích kolech vozidla

Výkon na hnacích kolech vozidla je vypočítán dle následujícího vzorce (10):<sup>[17]</sup>

$$P_c = P_v + P_r + P_a + P_g + P_p \quad (10)$$

kde:

$P_c$  (kW)...celkový výkon na kolech vozidla,

$P_v$  (kW)...výkon odporu vzduchu (potřebný výkon na překonání vzdušného odporu, resp. celkového náporového odporu, včetně vlivu silové složky rychlosti větru v podélné ose vozidla),

$P_r$  (kW)...výkon odporu valení všech kol vozidla,

$P_a$  (kW) ...výkon akcelerační, potřebný na zrychlení vozidla,

$P_g$  (kW)...výkon gravitační, potřebný na změnu polohové energie vozidla v důsledku sklonu vozovky. (v lit. též výkon na překonání odporu stoupání, resp. odporu při jízdě do svahu),

$P_p$  (kW)...výkon prokluzu hnacích kol vozidla.

#### Výkon odporu vzduchu

Výkon odporu vzduchu se vypočítá podle následujícího vzorce (11):<sup>[17]</sup>

$$P_v(v, v_o) = - \frac{F_v(v, v_o) \cdot v}{3600} \quad (11)$$

kde:

$P_v(v, v_o)$  (kW)...výkon na kolech vozidla stanovený z odporu vzduchu,

$v$  (km/h)...rychlost vozidla,

$v_o$  (km/h)...rychlost protivětru (kladná hodnota protivětru působí proti pohybu vozidla).

$$F_V(v, v_o) = \rho \cdot c_x \cdot C_P \cdot \frac{(v + v_o) \cdot |v + v_o|}{-2 \cdot 3,6^2} \quad (12)$$

kde:

$F_V (N)$ ...síla odporu vzduchu,

$v (km/h)$ ...rychlost vozidla,

$v_o (km/h)$ ...rychlost protivětru,

$C_P (m^2)$ ...stanovená plocha čelního profilu vozidla,

$c_x (l)$ ...stanovený součinitel odporu vzduchu,

$\rho (kg/m^3)$ ...hustota vzduchu.

### Výkon odporu valení

Výkon odporu valení se vypočítá podle následujícího vzorce (13): <sup>[17]</sup>

$$P_r = - \frac{g \cdot m_a \cdot f_r \cdot v}{3600} \quad (13)$$

kde:

$P_r (kW)$ ...výkon na kolech vozidla, stanovený z odporu valení kol,

$g (m/s^2)$ ...gravitační zrychlení,

$v (km/h)$ ...rychlost vozidla,

$m_a (kg)$ ...aktuální hmotnost vozidla,

$f_r (v)$ ...stanovený součinitel odporu valení.

$$f_v = -0,15 - 0,00000015 \cdot v^2 \quad (14)$$

### Výkon akcelerační

Akcelerační výkon je počítán podle následujícího vzorce (14): <sup>[17]</sup>

$$P_a = - \frac{v \cdot (m_d + m_n) \cdot a}{3600} \quad (15)$$

kde:

$P_a (kW)$ ...akcelerační výkon na hnacích kolech vozidla,

$v (km/h)$ ...rychlost vozidla,

$a (m/s^2)$ ...zrychlení vozidla,

$m_d (kg)$ ...dynamická hmotnost vozidla,

$m_n (kg)$ ...hmotnost nákladu (cestujících).



## **Výkon gravitační**

Na překonání odporu stoupání (v některé literatuře označovaný jako odpor do svahu) je potřebný výkon na hnacích kolech vozidla podle vzorce (16):<sup>[17]</sup>

$$P_g = \frac{b \cdot v \cdot m_d \cdot g}{360000} \quad (16)$$

kde:

$P_g$  (kW)...gravitační výkon na hnacích kolech vozidla, potřebný na časovou změnu polohové energie vozidla,

$b$  (%)...sklon vozovky,

$v$  (km/h)...rychlost vozidla,

$m_d$  (kg)... dynamická hmotnosti vozidla,

$g$  ( $m/s^2$ )...gravitační zrychlení.

## **Výkon prokluzu**

Výpočetní model prozatím s vlivem prokluzu nepočítá, resp. je počítáno s tím, že jednotlivé emisní mapy již zahrnují jistý vliv prokluzu, který nastával během měření zmíněných charakteristik.<sup>[17]</sup>

## **Otáčky motoru**

Vzhledem k oddělenému systému pro výpočet emisí od elektronického systému vozidla, jsou otáčky motoru odhadovány podle okamžité rychlosti vozidla. Tento model je založen na předpokladu „optimálního řazení“ převodových stupňů, kdy z hlediska minimální spotřeby paliva každé hodnotě rychlosti vozidla odpovídá jeden konkrétní rychlostní stupeň a tím tedy i jediná konkrétní hodnota otáček motoru.

### **5.2.1.2 Dílčí závěr**

Cílem této kapitoly bylo přiblížit stanovení vstupních parametrů vozidla podle jeho dynamického projevu, sledovaného při měření systémem GPS. Při pohledu na množství dílčích vstupních parametrů, které je třeba z průběhu rychlosti, geodetických souřadnic a dalších vlastností vozidla stanovit, se naskytá otázka, zda by bylo možné při užití moderních komunikačních prostředků a vyspělosti dnešních systémů řízení motoru získat základní vstupní údaje pro emisní charakteristiky ze systému OBD. Tato základní

myšlenka byla počátečním impulsem pro otestování této hypotézy, jež je náplní následující kapitoly.

### 5.2.2 Návrh metody stanovení emisí pomocí OBD

Navrhovaná metoda vychází z principu stanovení emisí nepřímou metodou za využití emisních charakteristik. Vstupní parametry emisních charakteristik budou voleny v závislosti na dostupných okamžitých hodnotách v systému OBD.

Předmětem dalších kapitol je ověření dostupnosti a dostatečné přesnosti vstupních parametrů, tvorba emisních charakteristik pro jednotlivé složky sledovaných emisí a ověření metody v reálném provozu.

#### 5.2.2.1 Přístrojové vybavení

Pro realizaci této metody byl použit zážehový motor Škoda Fabia 1.2 HTP, jehož základní parametry jsou uvedeny v tab. 6.

**Tab. 6** Parametry testovaného motoru

kód motoru	AWY (BMD)
konstrukce	3-válcový řadový motor, 2 ventily na válec
obsah	1198 (cm <sup>3</sup> )
vrtání	76,5 (mm)
zdvih	86,9 (mm)
kompresní poměr	10,3 : 1
max. výkon	40 (kW) při 4750 (1/min)
max. točivý moment	106 (Nm) při 3000 (1/min)
řídící jednotka motoru	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)
palivo	bezolovnatý benzín s okt. č. 95
emisní norma	EU4
emise CO <sub>2</sub>	142 (g/km)

Měření v laboratorních podmínkách bylo provedeno na brzdovém stanovišti katedry Vozidel a pozemní dopravy, na kterém byl umístěn výše uvedený spalovací motor. Zatěžování spalovacího motoru bylo prováděno pomocí vířivého dynamometru (obr. 43), jehož bližší technické údaje jsou uvedeny v tab. 7.



**Obr. 43** Vířivý dynamometr

**Tab. 7** Parametry vířivého dynamometru

Dynamometr	
Typ	V125
Provedení	IP23/ICW37
Otáčky (1/min)	300 - 2500 – 8000
Točivý moment (Nm)	134 - 478 - 149,5
Výkon (kW)	4,2 - 125 – 125
Průtok vody (l/s)	0,9
Budící napětí (V)	91
Budící proud (A)	1,7
Tlak vody (kPa)	90
Hmotnost (kg)	550
ČSN	350 000
Rok výroby	1986
Tenzometr	
Jmenovité zatížení (kN)	2
Sloučená chyba (% j.z.)	0,5
Reprodukovatelnost (%)	0,05

Pro vyhodnocení okamžité produkce emisí byl využit emisní analyzátor VMK (viz kapitola 5.1.1), pro kontrolu byl paralelně připojen emisní analyzátor ATAL AT-505 .

Dále bylo na brzdovém stanovišti využito diagnostického systému VAG-COM, pomocí kterého byly snímány okamžité hodnoty z řídicí jednotky motoru (bližší popis viz kapitola 5.1.3).

### **5.2.2.2 Volba vstupních parametrů**

Jelikož metoda vychází z popisované nepřímé metody stanovení emisí podle GPS, byly jako základní vstupní parametry emisní charakteristiky taktéž zvoleny otáčky a zatížení motoru. Na rozdíl od výchozí metody, budou tyto vstupní parametry určovány pomocí diagnostického systému přes rozhraní OBD.

#### **Zatížení motoru**

Cílem této etapy byla volba vhodné veličiny, dostupné z palubní diagnostiky vozidla, schopné dostatečným způsobem charakterizovat zatížení motoru. Zatížení motoru je možno charakterizovat množstvím nasáté směsi do válce motoru. Konkrétně se může jednat o přímé hmotnostní vyjádření množství nasátého vzduchu, případně o hodnotu tlaku v sacím potrubí (viz kapitola 5.1.2). V případě testovaného motoru se nabízely jako vhodné veličiny popisující zatížení motoru následující hodnoty:

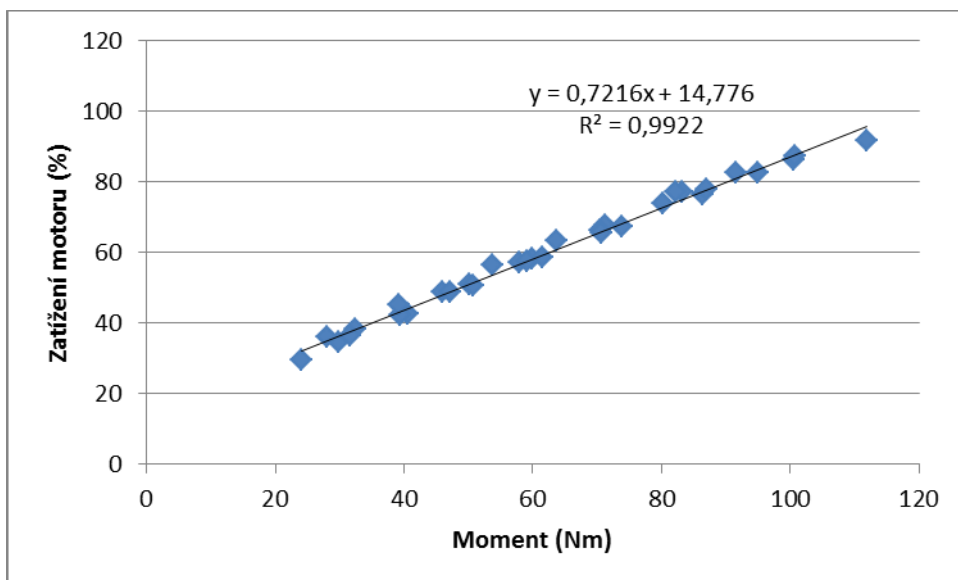
- zatížení motoru (%),
- tlak v sacím potrubí (mbar),
- průměrná doba vstříku (ms),
- úhel otevření škrticí klapky (°).

Pro objektivní posouzení závislosti zatížení motoru a zmíněných veličin dostupných z OBD byla provedena korelační analýza porovnávající veličiny s okamžitou hodnotou točivého momentu (hodnota snímaná tenzometrickým snímačem na dynamometru). Z tabulky 8 vyplývá, že nejtěsnější korelace (0,996) nastává u hodnoty označené jako zatížení motoru (pozn.: zatížení motoru (%) je zde chápáno jakožto indikovaný točivý moment a porovnání s hodnotou točivého momentu z dynamometru jakožto efektivní hodnoty, může být zavádějící. Srovnání indikovaných a efektivních hodnot zde slouží pouze pro ověření relevantnosti dat z OBD). Konkrétní data pro korelační analýzu jsou součástí přílohy 9.3.

**Tab. 8** Korelační analýza pro zatížení motoru

	Zatížení motoru	Prům.doba vstřiku	Tlak v sání	Úhel škrťící klapky	Točivý moment
Zatížení motoru	1				
Prům.doba vstřiku	0,989996	1			
Tlak v sání	0,975239	0,95746	1		
Úhel škrťící klapky	0,6887	0,741764	0,677564	1	
Točivý moment	0,996089	0,9907	0,960308	0,7152	1

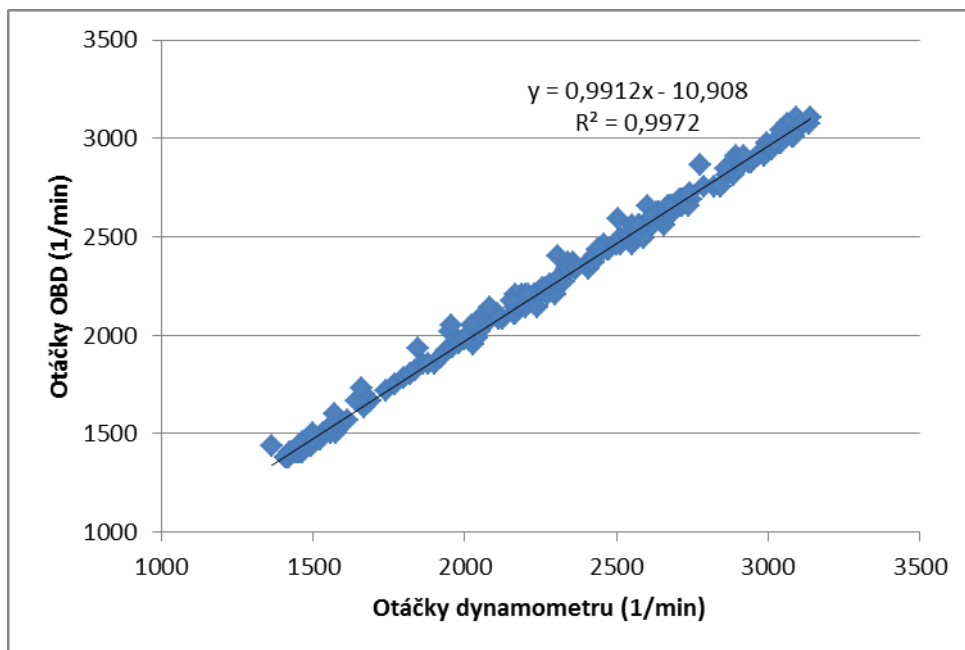
Z výsledků tab. 8 jasně vyplývá, že jako vhodný parametr popisující zatížení motoru lze využít přímo údaj poskytovaný řídicí jednotkou motoru. Konkrétní relaci mezi % zatížení, které udává OBD, a točivým momentem motoru měřeným na brzdě dokládá obr. 44.



**Obr. 44** Závislost zatížení motoru a točivého momentu

### Otáčky motoru

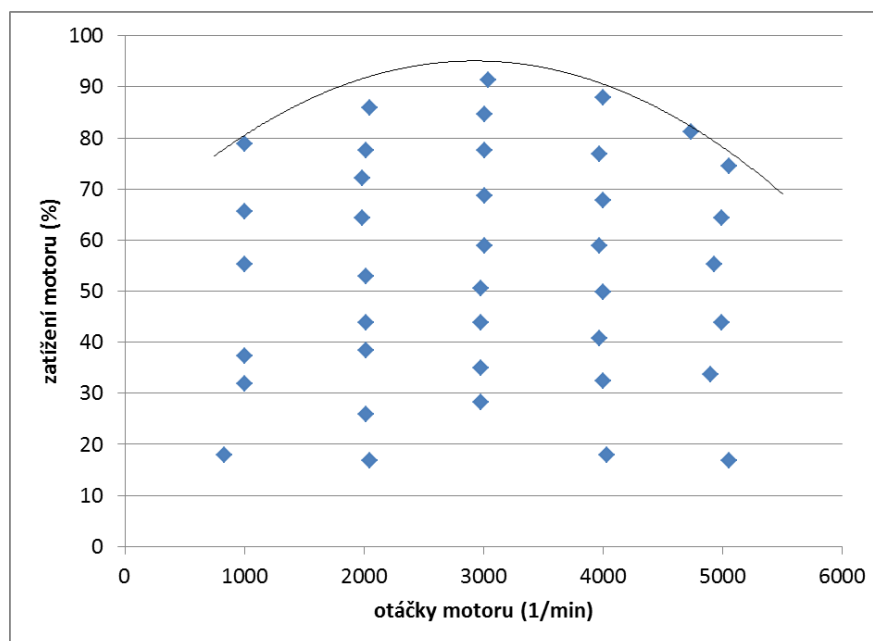
Otáčky motoru snímané přes rozhraní OBD jsou digitálním signálem. S tím je spojena jistá nepřesnost měření, způsobená šířkou vzorkovacího pásma a tím nejmenší rozlišitelná změna otáček. Dalším parametrem ovlivňujícím snímání otáček je konkrétní typ ŘJ a její rychlost komunikace. Jak však ukázaly experimenty, je hodnota otáček určená z OBD dostatečně přesný signál. Na obrázku 45 je zobrazena závislost otáček měřených přes rozhraní OBD a analogového signálu otáček měřeného na dynamometru.



**Obr. 45** Relace mezi otáčkami dynamometru a motoru (OBD)

### 5.2.2.3 Tvorba emisních map

Emisní mapy byly navrženy a měřeny v ustálených režimech zatížení a otáček motoru na brzdovém stanovišti. Jednalo se konkrétně o 39 ustálených režimů, (viz. obr.46.)



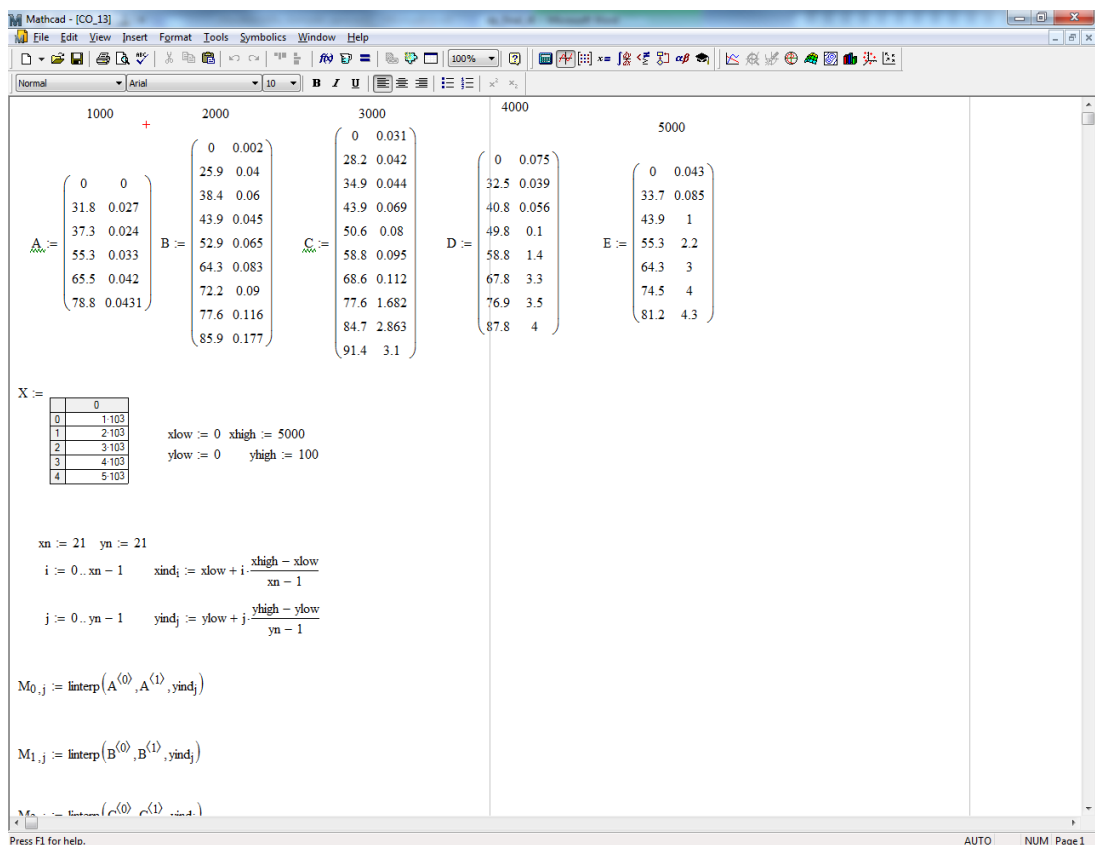
**Obr. 46** Ustálené režimy měření

V každém jednotlivém bodě charakteristiky byly snímány jednotlivé složky sledovaných emisí, výkonové parametry motoru a informace o provozním stavu motoru přes rozhraní OBD. Konkrétně šlo o následující hodnoty:

- OBD: otáčky motoru (1/min), zatížení motoru (%), průměrná doba vstřiku (ms), tlak v sání (mbar), úhel škrticí klapky (%), předstih (°), teplota chladicí kapaliny (°C), teplota nasávaného vzduchu (°C),
- Dynamometr: otáčky motoru (1/min), točivý moment (Nm), výkon motoru (kW), nastavení plynového pedálu (%), buzení dynamometru (mA),
- Analyzátor: čas měření, CO (%), CO<sub>2</sub> (%), HC (ppm), NO<sub>x</sub> (ppm), O<sub>2</sub> (%).

Dalším krokem při tvorbě emisních charakteristik je z naměřených diskrétních hodnot vytvořit spojité charakteristiky sledovaných emisí v závislosti na zatížení motoru a jeho otáčkách.

Realizace toho kroku byla provedena v prostředí programu MathCad (viz obr. 47).



**Obr. 47** Prostředí programu MathCad

Nejprve byly diskrétní hodnoty emisí pro konkrétní složku použity jako vstupní hodnoty do matice A, B, C, D a E vždy pro konkrétní otáčky motoru (1000, 2000, 3000, 4000 a 5000 1/min).

Dále v programu (obr. 48) dojde k definování rozsahu otáček a zatížení motoru:

X :=

	0
0	1·103
1	2·103
2	3·103
3	4·103
4	5·103

xlow := 0    xhigh := 5000  
ylow := 0    yhigh := 100

xn := 21    yn := 21

i := 0..xn - 1    xind<sub>i</sub> := xlow + i ·  $\frac{xhigh - xlow}{xn - 1}$

j := 0..yn - 1    yind<sub>j</sub> := ylow + j ·  $\frac{yhigh - ylow}{yn - 1}$

**Obr. 48** Program MathCad – definice proměnných

kde:

matice X definuje jednotlivé kroky otáček motoru,

xlow a xhigh jsou minimální a maximální otáčky motoru,

ylow a yhigh jsou minimální a maximální hodnoty zatížení motoru,

xn a yn rozdělí stupnici x a y (otáčky, zatížení motoru) na 21 hodnot,

xind<sub>i</sub> přiřadí stupnici x jednotlivé zvolené otáčky a yind<sub>j</sub> přiřadí stupnici y jednotlivé zatížení motoru.

Užitím funkce linterp (obr. 49) je provedena lineární interpolace hodnot emisí pro jednotlivé otáčky v celém rozsahu zatížení dle následujícího obrázku:



$$M_{0,j} := \text{linterp}(A^{(0)}, A^{(1)}, yind_j)$$

$$M_{1,j} := \text{linterp}(B^{(0)}, B^{(1)}, yind_j)$$

$$M_{2,j} := \text{linterp}(C^{(0)}, C^{(1)}, yind_j)$$


---


$$M_{3,j} := \text{linterp}(D^{(0)}, D^{(1)}, yind_j)$$

$$M_{4,j} := \text{linterp}(E^{(0)}, E^{(1)}, yind_j)$$

$$P_{i,j} := \text{linterp}(X, M^{(j)}, xind_i)$$

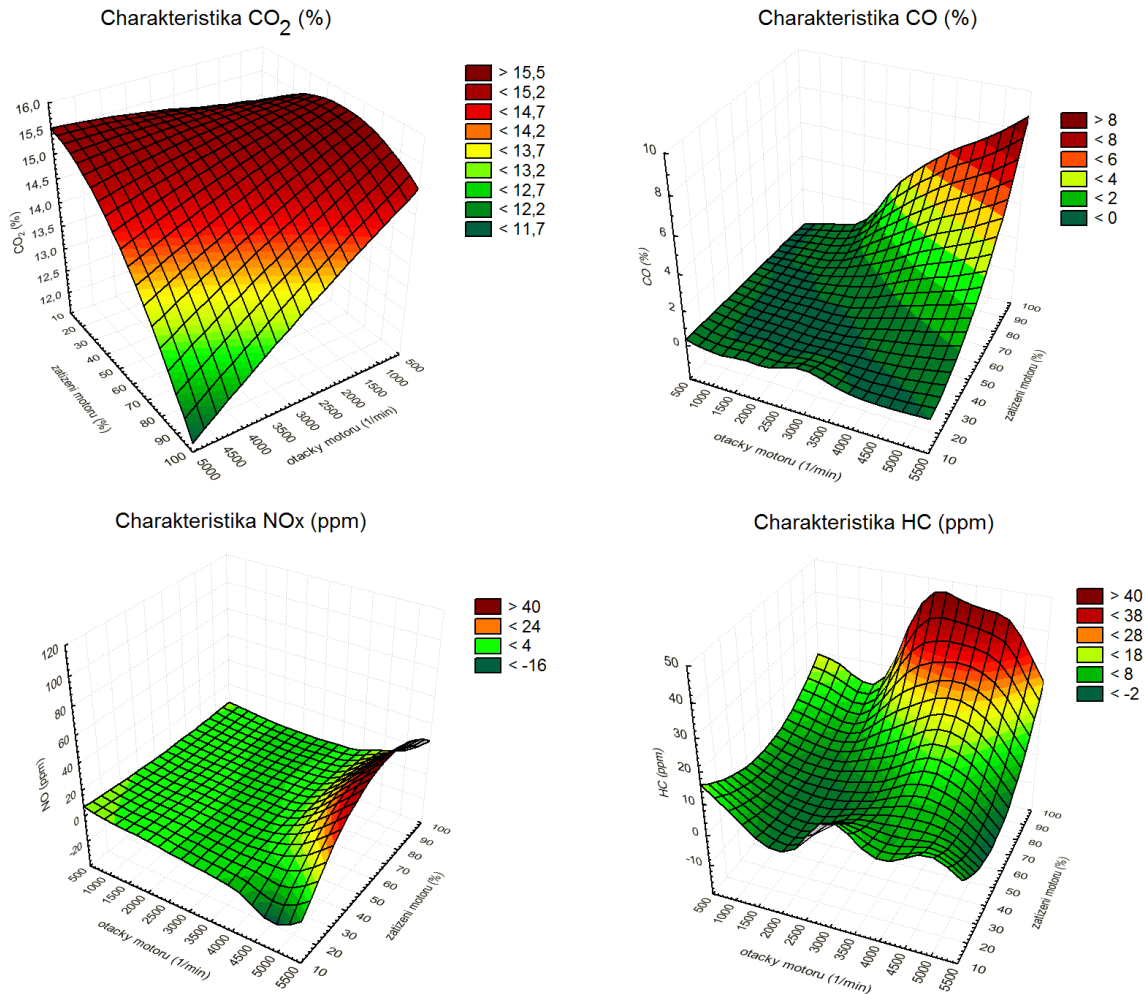
**Obr. 49** Program MathCad – interpolace hodnot

kde:  $M$  jsou matice interpolovaných hodnot emisí pro jednotlivé otáčky motoru, matice  $P$  je výsledná matice interpolovaných hodnot emisí v celém rozsahu otáček a zatížení motoru.

Takto provedená interpolace je pak použita pro vytvoření spojitě plochy funkcí fit s využitím interpolace pomocí funkce cspline (polynom 2. stupně) dle následujícího výrazu:

$$\text{fit}(x, y) := \text{interp} \left[ \text{cspline}(Z, P), Z, P, \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \right] \quad (17)$$

kde:  $Z$  je pomocná matice, obsahující krok jednotlivých proměnných,  $P$  je matice upravených diskretních hodnot emisí v celém rozsahu otáček a zatížení (otáčky s krokem 10 1/min, zatížení s krokem 1). Výsledná podoba takto získaných charakteristik je patrná na obrázku 50.



**Obr. 50** Výsledné emisní charakteristiky (OBD)

Posledním krokem je uložení výsledné charakteristiky z matice  $P$  do souboru. To je provedeno pomocí funkce `writeln("navez_souboru")` dle následujícího výrazu:

$$\text{WRITEPRN}(\text{"CO"}) := P \quad (18)$$

Výsledkem je pak vygenerovaný textový strukturovaný soubor (CO.prn), obsahující hodnoty konkrétní sledované složky emisí v celém rozsahu otáček a zatížení. Takto připravenou charakteristiku lze použít např. v programu MS Excel pro určování okamžitých hodnot emisí.

#### 5.2.2.4 Vyhodnocení dat

Vyhodnocení dat spočívá v určování okamžité produkce sledovaných složek emisí s pomocí emisních charakteristik na základě dat z OBD. Konkrétní realizaci je možno provést např. v prostředí MS Excel, kde jsou zpracována data z OBD, tedy hlavně hodnoty

otáček a zatížení motoru. Do samostatného listu aplikace se vloží jednotlivé emisní charakteristiky popsané v předchozím bodě. Okamžitá produkce emisí se pak z emisní charakteristiky určí pomocí následujícího vzorce (19):

$$\begin{aligned} &=SVYHLEDAT(ZAOKROUHLIT(otacky\_obd;-1);'Char\_CO2'\$B\$2:\$DI\$453; \\ &VVYHLEDAT(ZAOKROUHLIT(zatizeni\_obd;0);'Char\_CO2'\$B\$2:\$DI\$453;1)+2) \end{aligned} \quad (19)$$

kde:

*otacky\_obd* (1/min)...okamžitá hodnota otáček, následně zaokrouhlená na celé desítky,

*zatizeni\_obd* (%)...okamžitá hodnota zatížení motoru, následně zaokrouhlená na jednotky,

*Char\_CO2'\\$B\\$2:\\$DI\\$453*...list a oblast dat, obsahující konkrétní emisní charakteristiku.

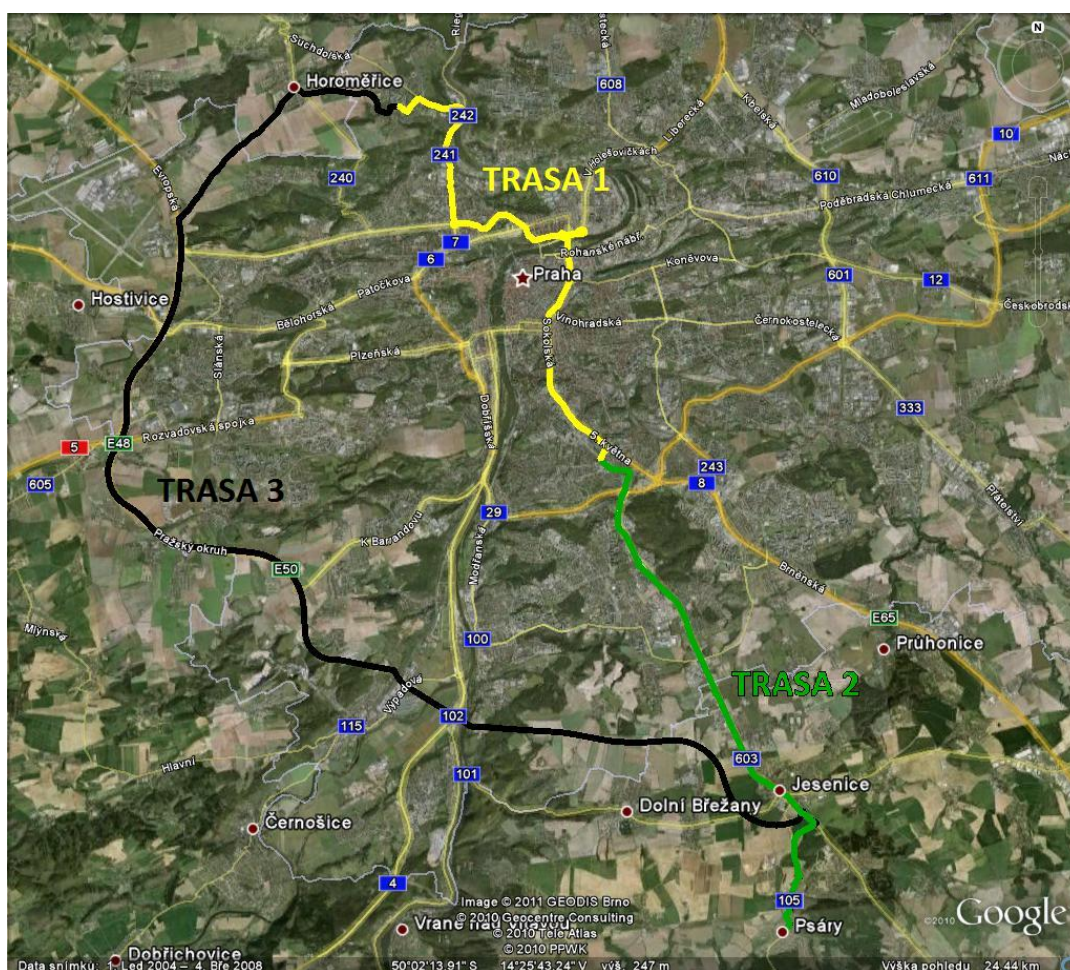
Další možností je využití integrovaného programovacího jazyka VisualBasic a vytvoření speciálního makra, pomocí kterého dojde k načtení konkrétní emisní charakteristiky ze souboru do matice, jejíž souřadnice budou hodnoty otáček a zatížení motoru.

### **5.2.3 *Ověření nepřímé metody OBD v reálném provozu***

Cílem experimentu bylo porovnat nepřímou metodu měření emisí s metodou přímou. Měření proběhlo s vozidlem Škoda Fabia 1.2 HTP, vybaveným shodným motorem jako byl motor na brzdovém stanovišti, kde byly získány podklady pro tvorbu emisních charakteristik pro nepřímou metodu. Oba motory jsou shodného typu s velmi podobným kilometrovým proběhem (cca 50 000 km). Pro porovnání obou metod byla zvolena trasa složená z několika úseků, které zastupovaly různý druh provozu (obr. 51).

První úsek probíhá od areálu České zemědělské univerzity (ČZU) centrem města ke stanici metra Budějovická. Tento úsek představuje typický městský provoz, kdy je jízda značně ovlivněna světelnou signalizací a kongescemi. Druhá část navazuje ze stanice metra Budějovická a cíl má cca 10 km za hranicí hlavního města Prahy v obci Psáry. Jízdu po tomto úseku lze považovat převážně za mimoměstský provoz. Posledním úsekem je trasa ze Psár po Pražském okruhu zpět na ČZU, což se velmi blíží dálničnímu typu provozu.

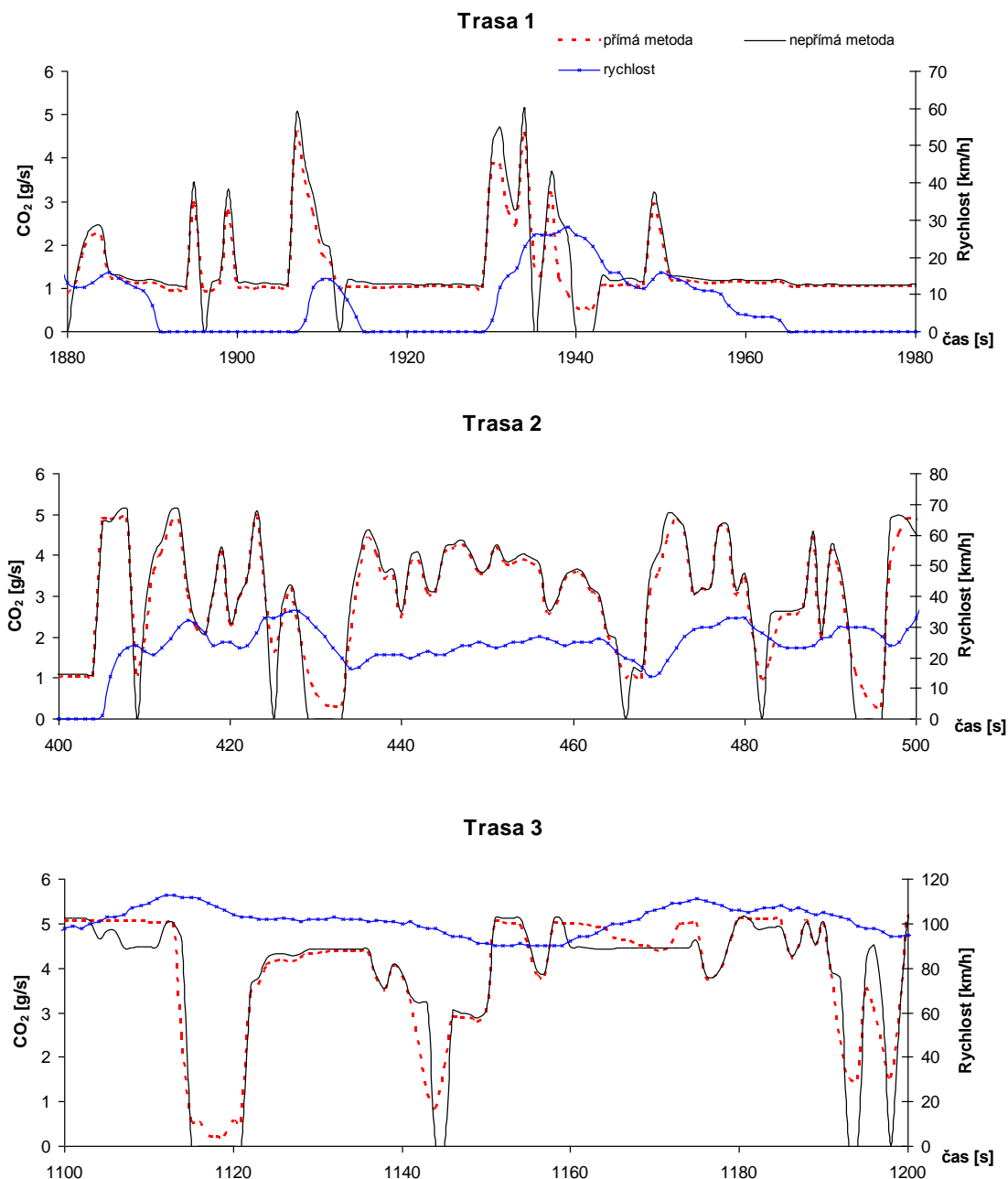
Celá trasa byla projeta s ohledem na okamžitou dopravní situaci při dodržování dopravních předpisů a tedy i dodržení maximální povolené rychlosti. [43]



**Obr. 51** Jednotlivé trasy měření (mapové podklady Google Earth)

Průběh okamžitých produkovaných emisí CO<sub>2</sub> během jízdy je zobrazen na obr. 52. Je zde vidět občasný rozdíl mezi produkcí emisí měřených přímo pomocí analyzátoru a pomocí nepřímé metody. Na tento rozdíl má vliv převážně setrvačnost výfukových plynů v cestě od sondy do analyzátoru i v analyzátoru samotném. Tato setrvačnost pak způsobuje výrazně pomalejší reakci analyzátoru při prudké změně režimu práce motoru (akcelerace, decelerace), zatímco produkce emisí získaná nepřímo reaguje na okamžitý provozní stav motoru a proto tedy i okamžitá produkce emisí reaguje skokově. Nejvýrazněji to lze pozorovat při deceleraci motoru, kdy emise zjišťované nepřímou metodou klesnou hned na nulu díky nulovému zatížení motoru. Řídící jednotka při deceleraci odpojuje vstřikovací ventily a motor v tuto dobu neprodukuje žádné emise, zatímco analyzátor má určitou prodlevu, než zareaguje na takto prudkou změnu. Podobná situace nastává při prudké

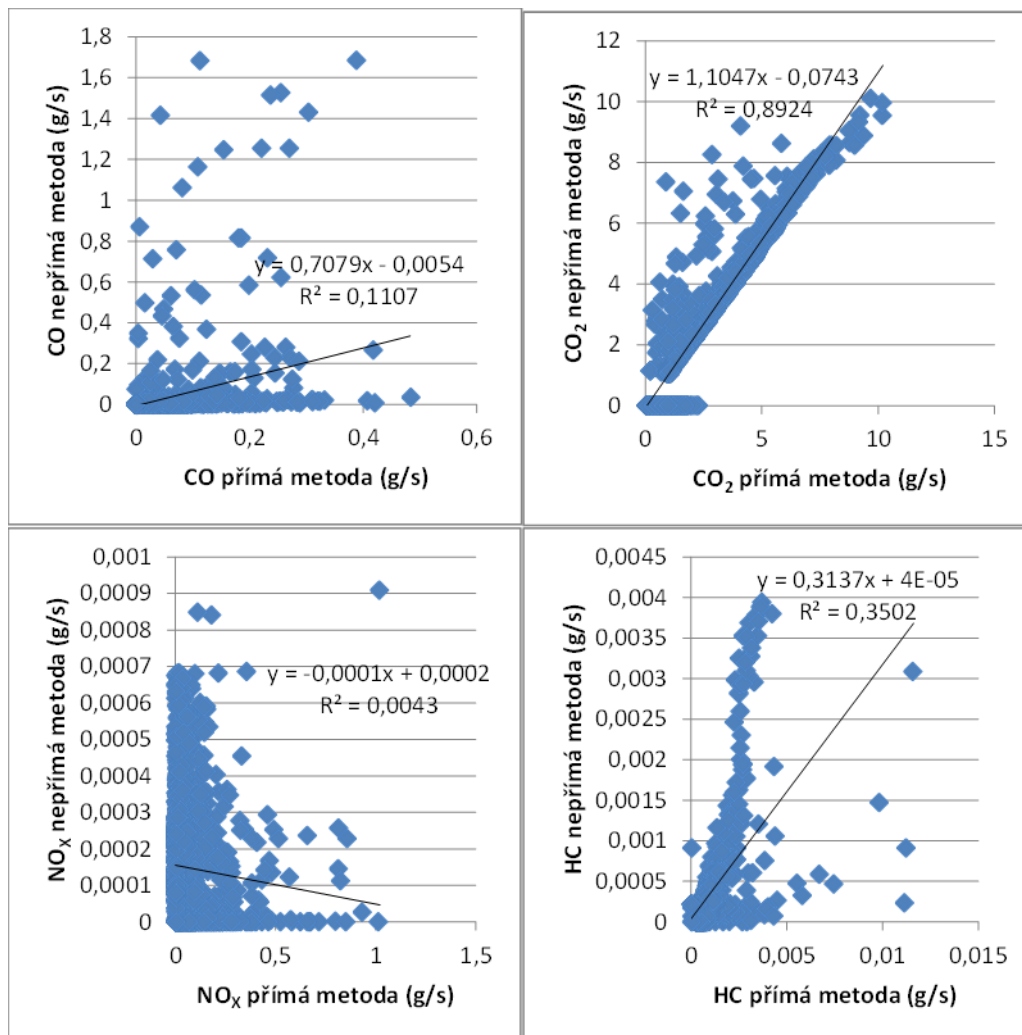
akceleraci. Při porovnání výsledků jednotlivých jízd je pozorovatelný jistý trend mezi neustáleností jízdy a shodou obou metod měření. Lze předpokládat, že nepřímá metoda měření se bude více vzdalovat od přímé metody při neustálené (transientní) jízdě, zatímco v ustálených režimech bude konvergovat s výsledky přímé metody měření. [43]



**Obr. 52** Ukázka z průběhu porovnávacího měření přímou a nepřímou metodou na jednotlivých trasách (výběr dat) [43]

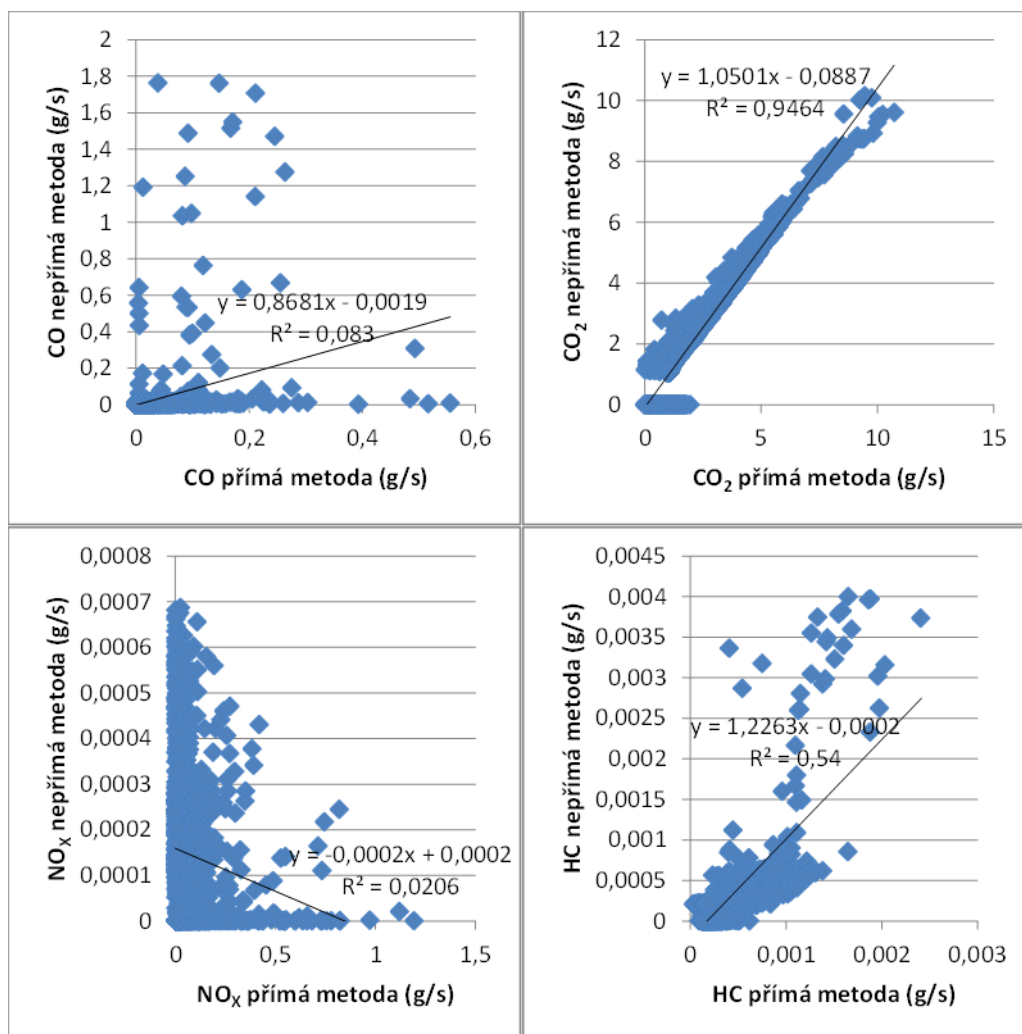


Detailní porovnání závislosti okamžitých produkcí emisí oběma metodami je zobrazeno na obr. 53, 54 a 55.



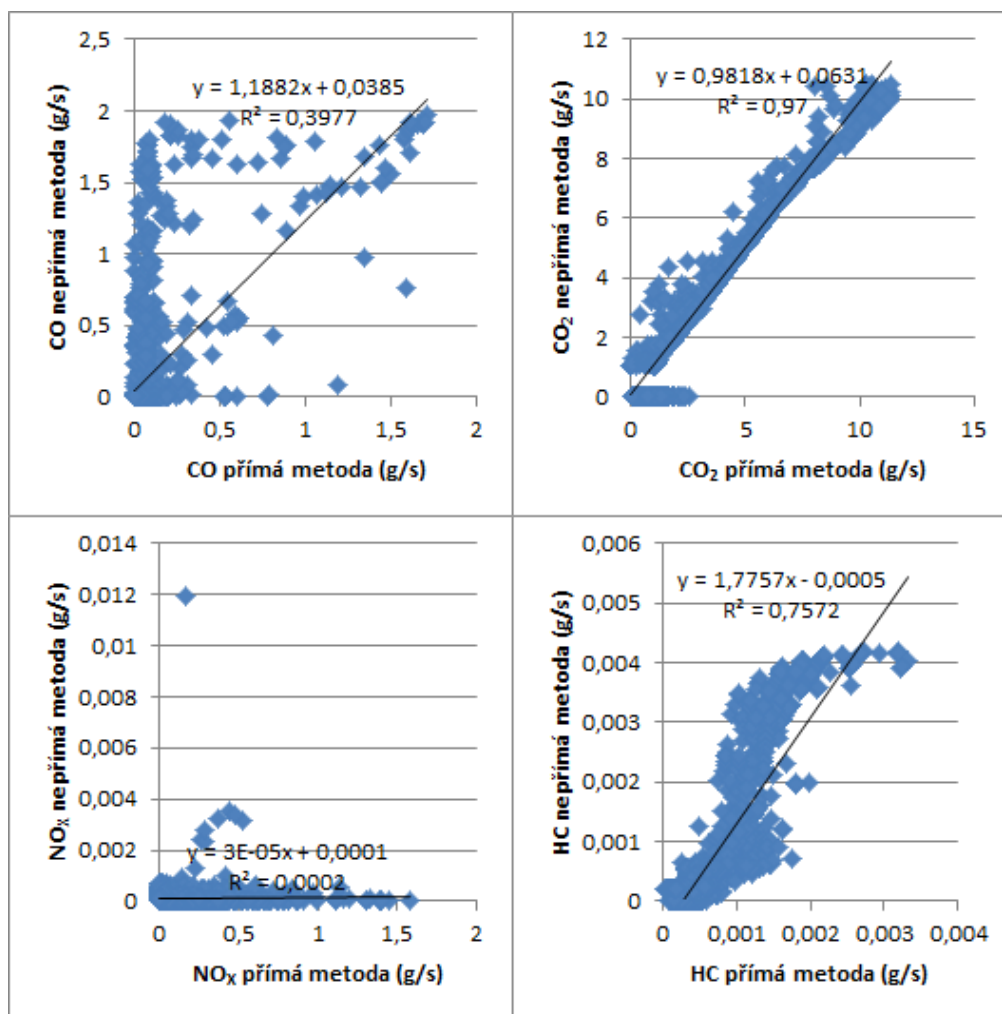
**Obr. 53** Porovnání přímé a nepřímé metody měření – trasa 1

Jak je patrné z obr. 53, v městském provozu dochází k zásadním rozdílům stanovení emisí nepřímou metodou oproti metodě přímé u všech sledovaných složek emisí. Uspokojivých výsledků dosahuje pouze stanovení produkce CO<sub>2</sub>, která nevykazuje tak silnou závislost na transientním druhu provozu.



**Obr. 54** Porovnání přímé a nepřímé metody měření – trasa 2

Na druhé trase, jež reprezentovala mimoměstský provoz, výsledky na obr. 54 vykazují velmi podobné rozdíly obou sledovaných metod. U emisí CO<sub>2</sub> došlo ke zlepšení oproti minulému úseku.



**Obr. 55** Porovnání přímé a nepřímé metody měření – trasa 3

Nejllepší výsledky při porovnání obou sledovaných metod byly dosaženy na trase 3. Zde dochází k velmi těsné korelaci zvláště při stanovení emisí CO<sub>2</sub>. U ostatních složek emisí došlo k výraznému zlepšení, avšak stále se nepřímá metoda zásadním způsobem rozchází s výsledky metody přímé.

Souhrnné výsledky, dosažené na celém testovacím okruhu, shrnuje tabulka 9:

**Tab. 9** Výsledné sumární emise na měřené trase

Trasa			Přímá metoda				Nepřímá metoda			
Směr	Délka (km)	Prům. rychlost (km/h)	CO <sub>2</sub> (g)	CO (g)	HC (g)	NO <sub>x</sub> (g)	CO <sub>2</sub> (g)	CO (g)	HC (g)	NO <sub>x</sub> (g)
CZU→ Budějovická	17,3	24	4920	79	1,87	116	5227	42	0,67	0,37
Budějovická→ Psáry	15,1	37	3565	44	0,60	90	3627	35	0,43	0,21
Psáry→CZU	41,2	70	6812	145	1,34	225	6810	252	1,40	0,23



Ze sumárních výsledků sledovaných emisí je patrné, že velmi dobré shody dochází u produkce emisí CO<sub>2</sub>. Naopak u ostatních složek se metody liší a rozdíl je tím větší, čím je jízda dynamičtější. Konkrétní rozdíly obou metod sumarizuje následující tabulka 10:

**Tab. 10** Poměr výsledků nepřímé a přímé metody kvantifikace emisí

Trasa	Poměr nepřímá ku přímá metoda			
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>
Úsek				
CZU→Budějovická	1,06	0,54	0,36	0,0032
Budějovická→Psáry	1,02	0,81	0,72	0,0023
Psáry→CZU	1,00	1,74	1,05	0,0010

#### 5.2.4 Dílčí závěr

Jak vyplývá z tabulky 9 a 10, je v současné době nepřímá metoda použitelná pouze pro stanovení okamžité produkce emisí CO<sub>2</sub>. Ostatní složky emisí vykazují odlišné chování od výchozích statických emisních charakteristik. Důvodem je již princip nepřímé metody, která vychází z emisních charakteristik, které jsou v současné době měřeny pouze v ustálených režimech. Pro zdokonalení navrhované nepřímé metody by bylo potřeba tyto statické charakteristiky doplnit o charakteristiky dynamické, případně nějakým způsobem navrhnout model transiентnosti pro každou konkrétní emisní složku.

Tato problematika je však značně komplikovaná. Nejde jen o samotnou problematiku transiентního chování emisí, ale též metodiky a přístrojového vybavení, které by bylo schopné v těchto transiентních režimech vyhodnocovat okamžité produkce emisí. Tímto tématem se blíže zabývá kolega z katedry Vozidel a pozemní dopravy <sup>[53]</sup>. Právě závěry jeho práce by mohly vést k výraznému zdokonalení navrhované nepřímé metody měření emisí.

## 6 Dosažené výsledky

Navrhovaná metodika přímého měření emisí za provozu vozidla i nepřímá metoda s využitím OBD byla použita v několika projektech a závěrečných diplomových pracích. Měření probíhalo jak v reálném provozu, tak v laboratorních podmínkách v prostorách brzdového stanoviště.

### 6.1 Přímá metoda měření

Konkrétní výsledky v této kapitole korespondují s vytvářením metodiky přímého měření emisí s využitím analyzátoru VMK.

#### 6.1.1 Monitorování emisí jedoucího vozidla s využitím mobilního analyzátoru VMK

Experimenty byly prováděny v rámci řešení projektu MDČR č. CG912-058-520 „Metodika kvantifikace a vyhodnocení environmentálních a bezpečnostních vlivů dopravy“<sup>[17]</sup>. Zkoumána byla mimo jiné možnost monitorování emisí jedoucího vozidla s využitím mobilního analyzátoru VMK. Jednalo se o jedno z prvních měření, kdy byly vytvářeny počátky navrhované metodiky přímého měření emisí.

Během tohoto projektu bylo uskutečněno 91 jízd o celkové vzdálenosti 1175 km. Konkrétní trasy měření ilustruje následující obrázek:<sup>[17]</sup>



Obr. 56 Trasy měření<sup>[17]</sup>

Oproti finální metodice bylo v počátcích měření využito pro komunikaci s rozhraním OBD přístrojového vybavení firmy Carsoft - diagnostický systém SuperVag (obr. 57). Ten se však v pozdějších měřeních ukázal jako nevyhovující z důvodu absence časové osy u zaznamenávaných hodnot z OBD. V případě tohoto konkrétního měření na vozidle Škoda Octavia 2.0 TDI však absence časové osy nebyla zásadním problémem vzhledem k naprosto pravidelné frekvenci snímání a ukládání dat.



**Obr. 57** Prostředí programu SuperVag ComfortVW – ukládání dat <sup>[17]</sup>

Vzhledem k absenci integrovaného systému GPS v analyzátoru VMK, bylo užito externího přístroje firmy DEWETRON VGPS-200C (obr. 58). Ten byl připojen k notebooku a s využitím příslušného software systém průběžně ukládal informace o aktuální poloze, rychlosti, zrychlení a mnoho dalších veličin. Frekvence ukládání dat u toho přístroje byla v rozmezí 0,5-100 Hz. Pro měření v běžném provozu se ukázala jako optimální frekvence ukládání 2 Hz.



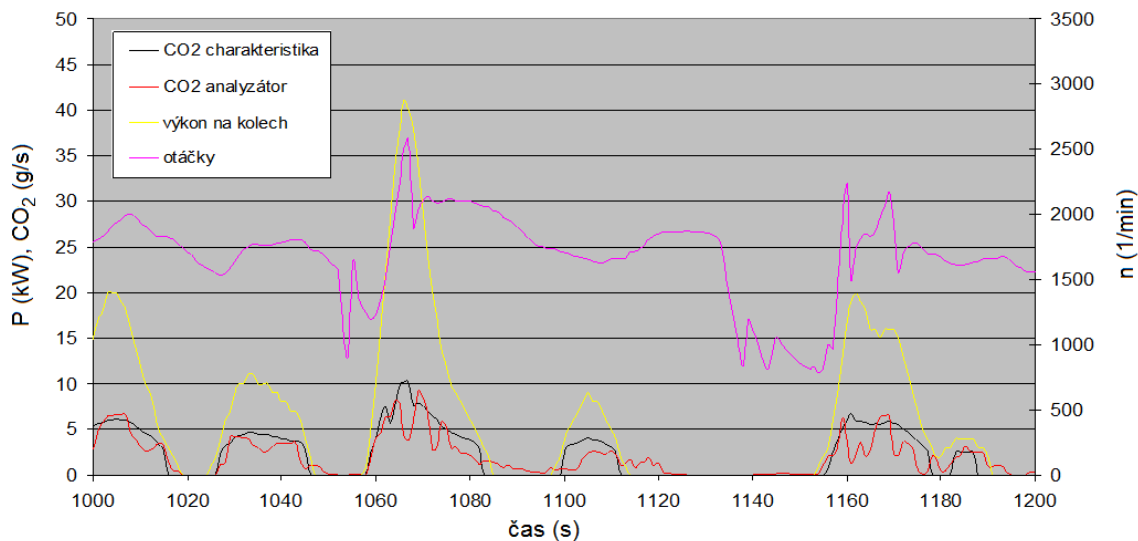
**Obr. 58** GPS jednotka DEWETRON VGPS-200C<sup>[17]</sup>

Data z emisního analyzátoru, ze systému GPS a z palubní diagnostiky byla synchronizována a zpracována podle navrhované metodiky.

Výsledky přímého měření emisí v provozu byly porovnávány s nepřímou metodou určování emisí pomocí GPS podle okamžité produkce emisí CO<sub>2</sub> ve dvou odlišných druzích provozu. Porovnávány byly trasa z Říčany do stanice metra Depo Hostivař, při kterém byla jízda ovlivněna značnými kongescemi a trasa z Jílového ke stanici metra Budějovická, kdy se jednalo relativně o plynulou jízdu. Sumární výsledky produkce CO<sub>2</sub> jsou uvedeny v tab. 11. Na obrázku 59 je zobrazena ukázka dat okamžité produkce emisí určené oběma metodami: <sup>[17]</sup>

**Tab. 11** Kvantifikace emisí CO<sub>2</sub> na vybraných úsecích jízdy<sup>[17]</sup>

Trasa	Říčany → Hostivař	Jílové → Budějovická
vzdálenost (km)	15	20
průměrná rychlost (km/h)	14	47,5
CO <sub>2</sub> analyzátor (g/km)	307	173
CO <sub>2</sub> GPS (g/km)	319	179



**Obr. 59** Vybraný fragment přímo a nepřímě měřené okamžité produkce emisí CO<sub>2</sub>, výkonu na kolech a otáček motoru v závislosti na čase<sup>[17]</sup>

Z grafu (obr. 59) je při celkovém pohledu na průběhy křivek obou použitých způsobů měření emisí zřejmé potvrzení předpokladu, podle něhož jsou okamžité produkce emisí CO<sub>2</sub> úměrně okamžitému výkonu na kolech (žlutá křivka). Dílčí průběhy okamžitých emisí v jednotlivých úsecích jsou však u obou způsobů měření rozdílné, zejména kolísání okamžitých hodnot emisí z mobilního analyzátoru (červená křivka). U metody nepřímého měření je korespondence křivek výkonu na kolech (žlutá křivka) a produkce emisí daná principem metody. Zdrojem chyb tedy mohou být pouze nepřesnosti v aktuálních mechanických a emisních charakteristikách daného vozidla.<sup>[17]</sup>

### 6.1.2 Analýza produkce emisí hybridního automobilu

V rámci úzké spolupráce při řešení diplomové práce „Analýza provozu hybridních vozidel“<sup>[46]</sup> byla provedena série měření, jejichž cílem bylo ověřit spotřebu paliva a produkci emisí hybridního vozidla LEXUS RX 400h během reálného provozu a výsledky porovnat s konvenčním vozidlem s nízkoobjemovým spalovacím motorem (Škoda Fabia 1.2 HTP).

Spotřeba paliva (pro benzínové motory) byla určována podle metodiky stanovení spotřeby paliva z produkce emisí dle následujícího vzorce (20):<sup>[47]</sup>

$$FC = \frac{0,1154}{D} [(0,866 \cdot HC) + (0,429 \cdot CO) + (0,273 \cdot CO_2)] \quad (20)$$

kde:

$FC$  (l/100km)...spotřeba benzínu,

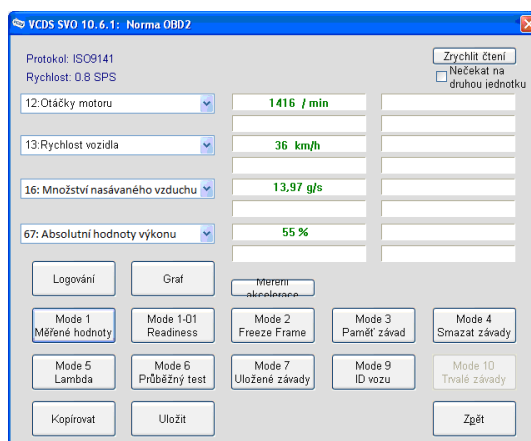
$HC$  (g/km)...změřené emise uhlovodíků,

$CO$  (g/km)... změřené emise oxidu uhelnatého,

$CO_2$  (g/km)... změřené emise oxidu uhličitého,

$D$  (kg/m<sup>3</sup>)...hustota benzínu.

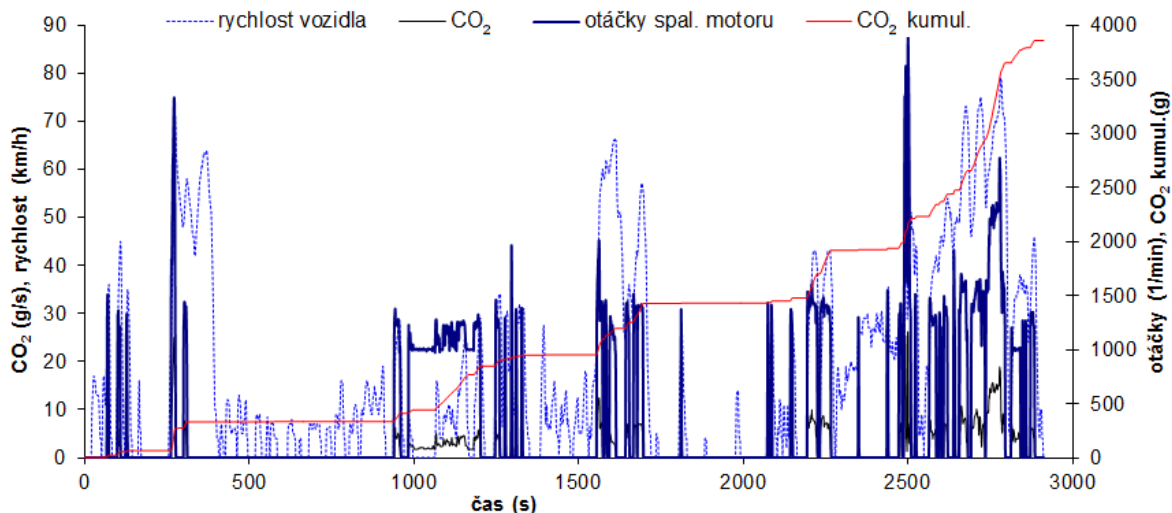
Komunikace s palubní diagnostikou byla provedena pomocí systému VAG-COM, v případě vozu Škoda Fabia byla komunikace navázána přímým spojením s ŘJ motoru (viz obr. 33), komunikace s vozem Lexus proběhla pomocí protokolu OBD viz obr. 60:



**Obr. 60** Měření okamžitých dat přes rozhraní OBD

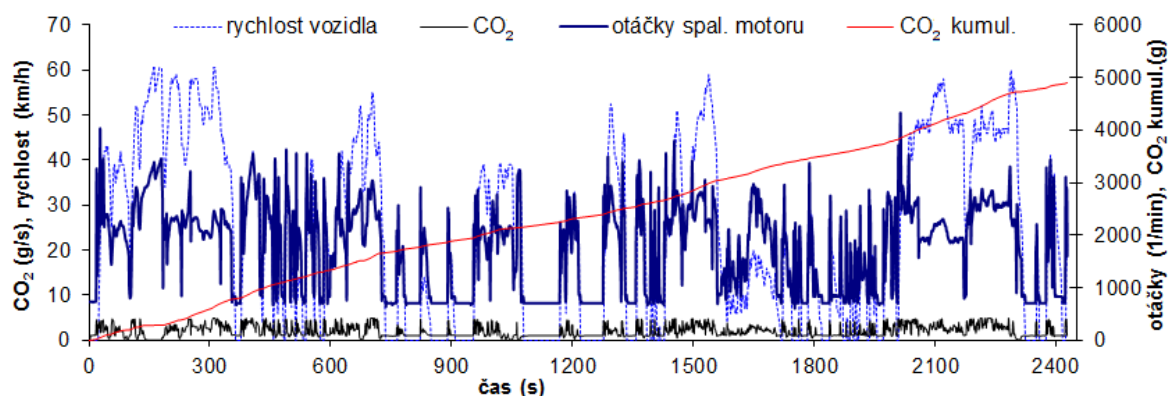
Měření s vozem Lexus proběhla po stejné trase, jako již proběhla měření s vozem Škoda Fabia (viz obr. 51). Na obr. 61 je ukázka zaznamenaných dat z průběhu jízdy po úseku č. 1 s vozidlem Lexus. Jsou zde patrné otáčky motoru, rychlost vozidla, okamžitá a kumulovaná produkce CO<sub>2</sub>. V případě, kdy jsou nulové okamžité hodnoty otáček (a tedy i produkce CO<sub>2</sub>), je spalovací motor mimo provoz. Jak je z obrázky patrné, spalovací motor byl v průběhu této jízdy téměř polovinu doby mimo provoz a vozidlo bylo poháněno pouze elektromotorem. <sup>[48]</sup>





**Obr. 61** Ukázka z průběhu měření LEXUS RX400H – trasa 1 <sup>[48]</sup>

Na obr. 62 je záznam ze stejného úseku u vozu Škoda Fabia (obr. 62). Je zde patrné, že spalovací motor je v provozu po celou dobu měření a pracuje v celém rozsahu otáček. Nárůst kumulované produkce CO<sub>2</sub> je z globálního pohledu téměř lineární, zatímco v případě vozu Lexus je nárůst skokový. <sup>[48]</sup>



**Obr. 62** Ukázka z průběhu měření Škoda Fabia – trasa 1 <sup>[48]</sup>

Během celého úseku bylo vyprodukováno vozem Fabia cca 5000 g CO<sub>2</sub> za dobu 2500 s, oproti Lexusu, který dosáhl celkové produkce cca 4000 g CO<sub>2</sub> za dobu o 500 s delší. To je dáno především tím, že u vozu Lexus je v případě stání vozidla a při dostatečné kapacitě akumulátorů spalovací motor mimo provoz. <sup>[48]</sup>

Souhrnné výsledky měření ze všech tras sumarizuje následující tabulka 12:

**Tab. 12** Výsledky měření v provozu (Lexus vs. Fabia) <sup>[48]</sup>

Trasa	TRASA 1	TRASA 2	TRASA 3	TRASA 3	TRASA 2	TRASA 1
Směr	CZU →Buděj.	Budějovická →Psáry	Psáry →CZU	CZU →Psáry	Psáry →Buděj.	Budějovická →CZU
LEXUS	LEXUS RX400H					
Vzdálenost (km)	16,4	15,1	41,3	44,7	15,1	15,7
průměrná rychlost (km/h)	30	36	77	80	37	19
průměrná spotřeba (l/100km)	10,94	8,74	10,91	10,46	8,39	10,5
prům. produkce CO <sub>2</sub> (g/km)	256	204	255	244	196	246
podíl motoru v provozu (%)	48	41	76	82	34	26
FABIA	ŠKODA FABIA 1.2 HTP					
Vzdálenost (km)	17,3	15,1	41,2			
průměrná rychlost (km/h)	24	37	70			
průměrná spotřeba (l/100km)	12,15	10,09	7,06			
prům. produkce CO <sub>2</sub> (g/km)	284	236	165			

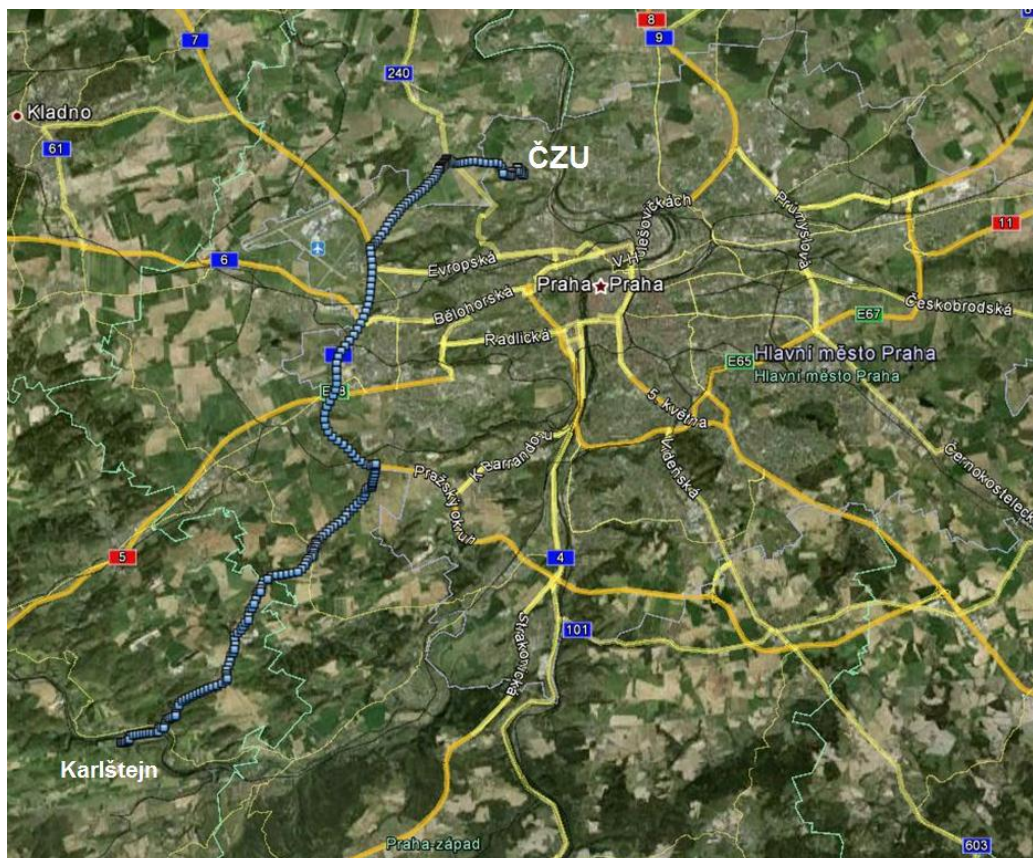
Na základě výše uvedených výsledků lze konstatovat, že přes zjevné rozdíly srovnávaných vozidel byl prokázán pozitivní vliv hybridního vozidla na produkci emisí a tím i na spotřebu paliva. Je třeba si uvědomovat, v jakých režimech je dosahováno úspor paliva a maximálně využívat předností konstrukce hybridních vozidel.

### **6.1.3 Vyhodnocení vlivu bioetanolu na provozní, ekologické a ekonomické vlastnosti spalovacích motorů**

Cílem experimentů v rámci řešení interního grantu TF č. 2011311503117 „Vyhodnocení vlivu bioetanolu na provozní, ekologické a ekonomické vlastnosti spalovacích motorů“ bylo analyzovat a experimentálně ověřit možnosti využití bioetanolových směsí v zážehových motorech a stanovení environmentálního přínosu používání bioetanolu jako paliva ve spalovacích motorech.

Dílním cílem projektu byl výzkum vlivu paliva E85 (85 % bioetanolu, 15 % benzínu) v reálném provozu na produkci emisí. Výsledky prováděné na vozidle Škoda Fabia 1.2 HTP byly zpracované pomocí metodiky přímého měření emisí. V rámci této etapy řešení byla navržena trasa testovací tratě (viz obr. 63), na které byla provedena celá řada měřených jízd na předepsané palivo Natural 95 (N95) a E85. Průměrné výsledky dosažených emisí na obě sledovaná paliva shrnuje tab. 13.





**Obr. 63** Testovací trať při výzkumu E85 v reálném provozu  
(mapové podklady Google Earth)

**Tab. 13** Výsledky měření v provozu (E85)

Směr ČZU→Karlštejn (36,3 km)						
palivo	Ø rychlost (km/h)	Ø zatížení (%)	CO (g)	CO <sub>2</sub> (g)	NO <sub>x</sub> (g)	HC (g)
N95	57,6	34,5	103	7455	155	3,5
E85	55,3	32,2	93	7371	136	10,2
Směr Karlštejn→ČZU (35,2 km)						
N95	47,9	33,6	138	7883	125	5,4
E85	51,3	33,0	103	6754	91	8,0

Jak je z tabulky 13 patrné, došlo při měření v obou směrech testovací trasy k poklesu v produkce emisí CO, CO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>. U emisí HC došlo k nepatrnému nárůstu. Lze tedy konstatovat, že testované palivo E85 přináší v běžném provozu jistý ekologický přínos v porovnání s provozem na předepsané palivo N95.

#### 6.1.4 *Ověření metodiky stanovení spotřeby paliva z produkce emisí*

V rámci spolupráce při řešení diplomové práce „Možnosti monitorování spotřeby paliva“<sup>[49]</sup> bylo provedeno několik experimentů, jejichž cílem bylo ověření přesnosti měření spotřeby paliva podle okamžité produkce emisí v porovnání s gravimetrickou metodou. Měření probíhalo v laboratorním prostředí v prostorách brzdového stanoviště.

Díky složité konstrukci moderních spalovacích motorů je spotřeba paliva vyhodnocována pomocí vážení celé palivové nádrže s příslušenstvím (obr. 64). Spotřeba paliva je pak vyhodnocována jako hmotnostní úbytek paliva v nádrži.



**Obr. 64** *Umístění nádrže na plošinové váze*

Technické parametry vážicího zařízení jsou uvedeny v následující tabulce 14:

**Tab. 14** *Technické parametry vážicího zařízení*

Krytí proti prachu a vodě	IP 65
Rozsah vážení (kg)	0 - 60
Nastavení jednoho dílku (g)	2
Rozměry platformy (mm)	520x400x110

#### 6.1.4.1 Gravimetrická metoda stanovení spotřeby paliva

Gravimetrická metoda vychází z jednoduchého principu sledování hmotnostního úbytku paliva v nádrži během stanovených podmínek. Celkovou spotřebu paliva lze stanovit podle následujícího vzorce (21): <sup>[49]</sup>

$$m_p = m_{start} - m_{konec} \quad (21)$$

kde:

$m_p$  (kg)...celkové spotřebované palivo,

$m_{start}$  a  $m_{konec}$  (kg)...hmotnost paliva na začátku a na konci měření.

Vzhledem k přesnosti váhy bylo každé měření spotřeby prováděno tak, aby bylo spotřebováno minimálně 100-200 g paliva pro snížení nejistoty měření.

Tato metoda je vhodná pro laboratorní podmínky. Díky vyhodnocování hmotnosti odpadá problém teplotní roztažnosti paliva, jež komplikuje měření spotřeby paliva objemovými měřidly. Pro měření v reálném provozu je však gravimetrická metoda nevhodná.

#### 6.1.4.2 Zjednodušený výpočet spotřeby paliva z produkce emisí CO<sub>2</sub>

Výpočet vychází z metodiky EPA (U.S. Environmental Protection Agency) pro výpočet hmotnostní produkce oxidu uhličitého při spalování benzínu podle následujícího vzorce (21): <sup>[50]</sup>

$$m_g CO_2 = 2421 \cdot 0,99 \cdot \frac{44}{12} = 8788 \quad (22)$$

kde:

$m_g CO_2$  (g)...emise CO<sub>2</sub> z galonu benzínu,

2421 (g)... hmotnostní obsah uhlíku v galonu paliva,

0,99...konstanta, vyjadřující fakt, že při spalování shoří jen 99% objemu paliva,

$\frac{44}{12}$  ...poměr molekulové hmotnosti oxidu uhličitého a atomové hmotnosti uhlíku.

Po úpravě:

$$m_{km}CO_2 = \frac{m_gCO_2}{3,7854} \cdot \frac{m_{sp}}{100} = m_{sp} \cdot 23,21 \quad (23)$$

kde:

$m_{km}CO_2$  (g)...emise CO<sub>2</sub> na ujetý kilometr,

$m_gCO_2$  (g)...emise CO<sub>2</sub> z galonu benzínu,

3,7854 (dm<sup>3</sup>)...objem 1 galonu (US),

$m_{sp}$  (l/100km)...spotřeba paliva.

Další úpravou lze získat zjednodušený vzorec:

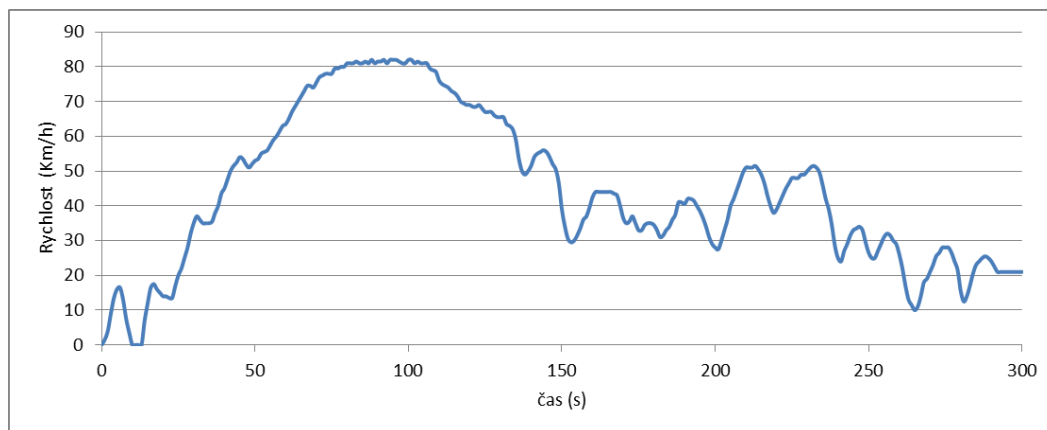
$$FC = \frac{mCO_2}{2321} \quad (24)$$

kde:

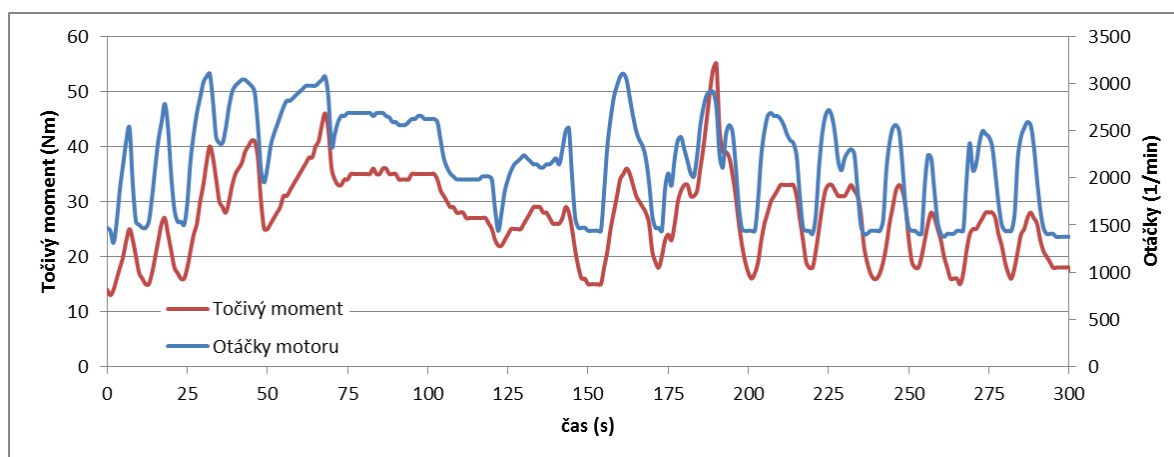
$FC$  (l/s)...spotřeba paliva,

$mCO_2$  (g/s)... změřené emise oxidu uhličitého.

Experiment byl rozdělen na 2 fáze. V první fázi byl motor provozován v několika ustálených režimech zatížení. Ve druhé fázi byl navržen jízdní cyklus (obr. 65 a 66), který vycházel z reálného záznamu jízdy vozidla (taktéž Škoda Fabia 1.2 HTP) a dle zaznamenaných hodnot nastavení plynového pedálu, zatížení a otáček motoru, byly shodné parametry simulovány na brzdovém stanovišti. Cílem bylo provozovat motor ve stejném režimu jako při jízdě v reálném provozu.

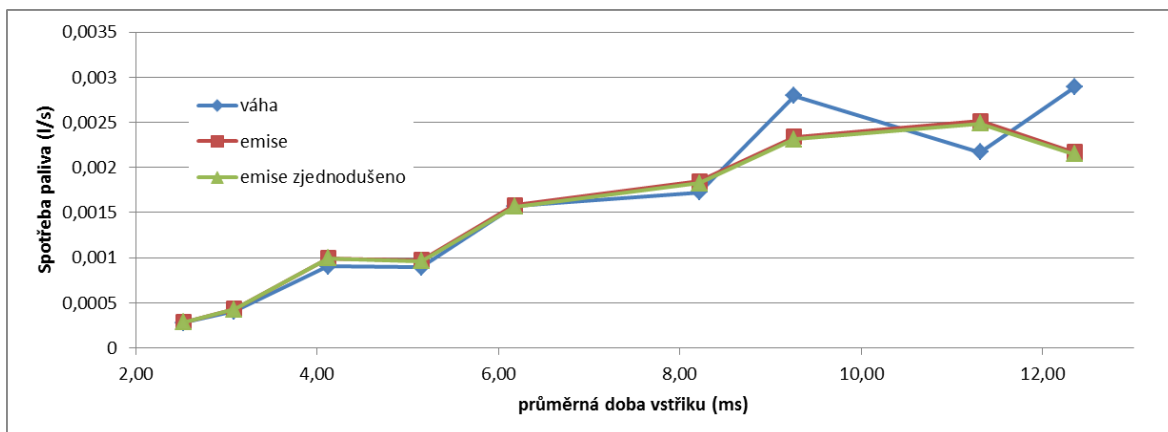


**Obr. 65** Navržený jízdní cyklus <sup>[49]</sup>



**Obr. 66** Převod jízdního cyklu na brzdové stanoviště <sup>[49]</sup>

Během měření na brzdovém stanovišti byla vyhodnocována okamžitá spotřeba paliva gravimetrickou metodou a produkce emisí podle metodiky přímého měření. Výsledky první fáze, tedy měření v ustálených režimech, jsou zobrazeny na následujícím obrázku 67.



**Obr. 67** Spotřeba paliva v ustálených provozních režimech motoru <sup>[49]</sup>

Jak je z obr. 67 patrné, dochází poměrně k dobré korelaci obou základních sledovaných metod. Prakticky zanedbatelné rozdíly jsou při použití úplného a zjednodušeného výpočtu spotřeby paliva z produkce emisí (vzorec 20 a 24). Je tedy naprosto zřejmé, že lze sledovat pouze produkci emisí oxidu uhličitého, který je ve výfukových plynech nejvíce zastoupen a nedojde k podstatnému ovlivnění výpočtu. Výsledkem druhé fáze bylo stanovení celkové spotřeby paliva v celém jízdním cyklu. Z výsledků (viz tab.15) vyplývá, že všechny použité metody docházejí k téměř shodným výsledkům.

**Tab. 15** Výsledné hodnoty spotřeby paliva v jízdním cyklu <sup>[49]</sup>

Metoda měření	Spotřeba paliva (l)	Odchylka (%)
Gravimetr. metoda	0,268	-
Emise komplet	0,279	4,1
Emise zjednodušeno	0,278	3,7

Zkoumaná metoda měření spotřeby paliva výpočtem z produkce emisí se ve srovnání s gravimetrickou metodou dá považovat za vyhovující. Odchylka výsledků v jízdním cyklu se pohybovala v rozmezí mezi cca 3-4 %. Dále bylo prokázáno, že zjednodušený výpočet spotřeby paliva jen z emisí CO<sub>2</sub> je naprosto dostačující. <sup>[49]</sup>

## 6.2 Nepřímá metoda měření emisí pomocí OBD

Experimenty byly provedeny v rámci řešení grantu interní grantové agentury TF ČZU č. 31150/1312/3121 „Nepřímá metoda měření emisí za provozu“. Cílem tohoto projektu byla konkrétní realizace nepřímé metody měření emisí za provozu s využitím dat dostupných z palubní diagnostiky vozidla. Základem pro tuto metodu bylo vytvoření kompletních statických emisních charakteristik motoru Škoda Fabia 1.2 HTP, tzn. produkce jednotlivých složek škodlivých emisí v závislosti na veličinách zjistitelných z OBD.

Výsledkem experimentu je vyhodnocení produkce emisí CO<sub>2</sub> za provozu pomocí navržené nepřímé metody a ověření metodou přímého měření. Detailní výsledky byly již prezentovány v kapitole 5.2.3 - Ověření nepřímé metody OBD v reálném provozu. Průměrné emise CO<sub>2</sub> dosažené na jednotlivých úsecích zkušební okruhu shrnuje tab. 12:

**Tab. 16** Výsledky měření v provozu (ověření metody OBD) <sup>[43]</sup>

Trasa	ÚSEK 1 ČZU→Budějovická	ÚSEK 2 Budějovická→Psáry	ÚSEK 3 Psáry→ČZU
Vzdálenost (km)	17,3	15,1	41,2
Prům. rychlost (km/h)	24	37	70
CO <sub>2</sub> přímá metoda (g/km)	284	236	165
CO <sub>2</sub> nepřímá metoda (g/km)	302	240	165

Naměřené výsledky dokládají použitelnost nepřímé metody měření emisí pro zjišťování okamžité produkce CO<sub>2</sub>. Hlavní výhodou této nepřímé metody měření je možnost stanovení okamžité produkce emisí v gramech za sekundu (případně v gramech na kilometr), zatímco běžný emisní analyzátor dává informaci o produkovaných emisích pouze v procentuálním vyjádření. Mezi další výhody patří: <sup>[43]</sup>

- okamžitá reakce při prudké změně režimu motoru,
- možnost sledovat závislosti mezi okamžitými hodnotami snímanými z OBD (řádově stovky veličin, které se týkají jak provozních vlastností motoru, tak celého vozidla) a produkcí emisí,
- při použití GPS a srovnání průběhu rychlostí z OBD a GPS možnost záznamu okamžitých hodnot emisí a přiřazení konkrétnímu místu, kde byly emise vyprodukovány,



- řádově levnější metoda měření proti klasickým přímým metodám. <sup>[43]</sup>

Metoda má samozřejmě i řadu nevýhod, z hlavních lze jmenovat:

- emisní charakteristika je naměřena na konkrétním motoru a nepokrývá tedy možné odlišnosti jednotlivých motorů a případné provozní opotřebení,
- základ metody je postaven na statické charakteristice (tzn. měření v ustáleném režimu) a proto u jiných emisních složek může docházet k daleko vyšší nepřesnosti. <sup>[43]</sup>

Lze předpokládat, že uvedená metoda by našla využití např. v oblasti dopravního inženýrství, případně při ověřování či zpřesňování obecných matematických modelů pro stanovení produkce emisí. <sup>[43]</sup>



## 7 Diskuze

Předkládaná práce navazuje na celosvětový zájem o zdokonalení metodik pro měření emisí s cílem co nejvíce se přiblížit reálným podmínkám provozu vozidel. Metody založené na přímé analýze výfukových plynů jedoucího vozidla přinášejí v současné době nejprokazatelnější výsledky, avšak tyto metody díky své technické i finanční náročnosti nemohou být použity pro plošné nasazení. Proto tyto metody směřují spíše do oblasti výzkumu a vývoje vlivu dopravy na životní prostředí.

Jak vyplývá z literární rešerše, výsledky světových průzkumů dokládají nedostatečnou vypovídající schopnost homologačních cyklů a následné překračování limitů, stanovených při homologaci vozidel. [6], [36], [51] Vzhledem k metodice (viz [47]) se problematika emisí úzce vztahuje také na stanovení spotřeby paliva.

Výsledky prezentované v kapitole 6 se shodují s výše uvedenými závěry. Srovnání homologačních hodnot pro vozidlo Škoda Fabia 1.2 HTP s výsledky získanými během měření v reálném provozu (viz kap. 6.1.2), shrnuje tabulka 17.

**Tab. 17** Porovnání výsledků s předepsanými hodnotami

Úsek	emise (g/km)		
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
CZU→Budějovická	284	4,6	6,7
Budějovická→Psáry	236	2,9	6,0
Psáry→CZU	165	3,5	5,5
EURO 3	-	2,3	0,15
Výrobce	142	-	-

Jak je z tab. 17 patrné, v reálném provozu dochází k výraznému překračování limitů, jež vozidlo při procesu homologace splňovalo. Jednou z příčin těchto rozdílů je výrazná odlišnost reálného provozu vozidla od homologačních cyklů. Další výklad dosažených rozdílů uvádí např. [17], jakožto motormanagementem vozidla cílené rozpoznání probíhajícího homologačního měření, kdy se přepne řídicí jednotka motoru do speciálního „homologačního režimu“, a tak dojde k úspěšnému procesu homologace vozidla.

Výše uvedená měření emisí s využitím mobilního emisního analyzátoru VMK nedosahují přesnosti homologačních přístrojů, nicméně výsledky dokazují, jak moc se

reálný provoz liší od homologačních cyklů. Proto jsou výsledky měření v reálném provozu často využívány jakožto vstupní data pro ověřování či návrh různých emisních modelů. <sup>[38]</sup>

Pro snížení jisté nedůvěry vůči mobilním emisním přístrojům je velmi důležité provádět pravidelná srovnávací měření s homologačními přístroji. Při vývoji emisního analyzátoru VMK proběhla celá řada takových ověřovacích měření, např. porovnání koncentrací CO a CO<sub>2</sub> mezi přenosným palubním zařízením s dvěma servisními analyzátory a laboratorními NDIR analyzátory <sup>[52]</sup>, či porovnání koncentrací NO mezi přenosným palubním zařízením a laboratorním chemiluminiscenčním analyzátorem během cyklu NEDC <sup>[52]</sup>. Takováto ověřovací měření se velmi často objevují i ve světě, např. <sup>[41]</sup>.

## 8 Závěr

Disertační práce se zabývala problematikou kvantifikace emisí ze silniční dopravy. Teoretická část objasnila problematiku stanovení škodlivých emisí jejich výčtem, principem jejich tvorby a charakteristikou negativních vlivů na člověka. Dále byly v teoretické části vysvětleny základní principy měření emisí a metodiky měření v ČR i ve světě.

Stěžejní část práce byla věnována návrhu metody provozního měření emisí motorových vozidel. Tento hlavní cíl práce byl rozdělen do dvou dílčích cílů, které spolu velmi úzce souvisejí.

V první řadě byla vytvořena metodika přímého měření emisí za provozu. Metodika popisuje základní přístrojové vybavení a postupy pro měření emisí analýzou výfukových plynů v reálném provozu i v laboratorních podmínkách. Tato metodika byla využita v celé řadě experimentů a dle výsledků (kapitola 6.1) bylo prokázáno její široké uplatnění v oblasti výzkumu působení spalovacích motorů na životní prostředí. Dále byla tato metodika nezbytná pro tvorbu emisních charakteristik pro splnění druhého dílčího cíle.

Druhý dílčí cíl byl věnován nepřímé metodě měření emisí s využitím dat dostupných z OBD. Tato metoda primárně vycházela z nepřímé metody stanovení emisí dle okamžitých dynamických projevů jedoucího vozidla (dle GPS). Proto byla další část práce věnována bližšímu popisu vstupních parametrů výchozí metody s cílem zefektivnit a zvýšit přesnost vstupních údajů využitím dat dostupných z palubní diagnostiky vozidla (OBD). Následovala analýza vhodných dat dostupných z OBD, tvorba emisních charakteristik a vytvoření metodiky určování okamžitých hodnot emisí navrženou nepřímou metodou.

Jak ukázaly experimenty v kapitole 6.2, nepřímá metoda v současné době naráží na hlavní nedostatek v podobě principu, který je založen na statických emisních charakteristikách. Jak dokládá srovnání nepřímé metody s metodou přímou, dochází v reálném provozu k zásadnímu nesouladu mezi oběma metodami. Reálný provoz je doprovázen častými dynamickými změnami provozních stavů motoru (tzv. transientností), jež má za následek až řádově vyšších dosahovaných emisí v porovnání se statickými režimy. Nepřímá metoda tedy čeká na zdokonalení v podobě vytvoření dynamických emisních charakteristik či přesného popisu chování jednotlivých složek emisí při

transientních režimech. V této podobě se ukázala použitelnost této nepřímé metody pro stanovení okamžité produkce CO<sub>2</sub>, kde nedochází k tak zásadnímu vlivu transientnosti.

Přímá metoda se osvědčila jako vhodný nástroj pro sledování emisního chování spalovacích motorů za různých jízdních režimů, či při výzkumu nových palivových směsí. Jak dokládají dosažené výsledky v kapitole 6.1, byla metodika přímého měření využita k celé řadě experimentů a pro další výzkum se ukazuje jako vhodný prostředek pro rozvoj poznání v oblasti produkce emisí v reálném provozu.

Vzhledem k rostoucímu zájmu o výzkum v oblasti emisního chování vozidel v reálném provozu roste ve světě i nabídka specializovaných přístrojů pro taková měření. Díky úzkému zaměření a tedy i nízké prodejnosti jsou a nejspíš i vždy budou tato zařízení velmi nákladná. Tato práce ukazuje možnost provádět tato měření s upravenými servisními přístroji s dosažením uspokojivých výsledků.

V budoucnu lze očekávat také rozvoj nepřímých metod pro kvantifikaci emisí, zejména v oblasti matematických simulačních modelů, pro něž je v současné době k dispozici výpočetní technika s dostatečným výkonem pro prováděné simulace. Nepřímé metody založené na emisních charakteristikách čekají na výsledky měření, jež povedou k pochopení vlivu transientnosti na produkci jednotlivých složek emisí a dojde tak poté ke zdokonalení emisních charakteristik a tím i výsledků těchto metod.

## Použitá literatura

- [1] ENTEC UK LIMITED, *Development of a methodology to assess population exposed to high levels of noise and air pollution close to major transport infrastructure*, Final Report April 2006, [online], [2011-10-20], dostupné z: [http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/final\\_report\\_main.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/transport/pdf/final_report_main.pdf).
- [2] EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, *Transport and environment: On the way to a new transport policy – TERM 2006: Indicators tracking transport and environment in the European Union*, EEA Report No. 1/2007, [online] [2011-10-20], dostupné z: [http://www.eea.europa.eu/publications/eea\\_report\\_2007\\_1](http://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2007_1)
- [3] GWILLIAM, K., KOJIMA, M., JOHNSON, T., *Reducing Air Pollution from Urban Transport*, The International Bank for Reconstruction and Development/THE WORLD BANK, USA – Washington. 2004, [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.airimpacts.org/documents/local/ReducingAirPollutionUrbanTransport.pdf>
- [4] EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, *Laying the foundations for greener transport – TERM 2011: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe*, EEA Technical report No 7/2011, European Environment Agency, [online], [2011-10-20], dostupné z: [http://www.eea.europa.eu/publications/foundations-for-greener-transport/at\\_download/file](http://www.eea.europa.eu/publications/foundations-for-greener-transport/at_download/file)
- [5] *Ročenka dopravy České republiky 2001-2010* [online]. Ministerstvo dopravy ČR, dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/statisticke\\_rocenky\\_ceske\\_republiky](http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/statisticke_rocenky_ceske_republiky)
- [6] DE VLIEGER, I., *On-board emission and fuel consumption measurement campaign on petrol-driven passenger cars*, *Atmospheric Environment Vol. 31*, No. 22, 1997, pp. 3753-3761
- [7] HROMÁDKO, J., et al., *Vliv třicestného katalyzátoru na produkci škodlivých emisí*, *Doprava* (51/1), 2009, str. 27-29
- [8] TAKÁTS, M., *Měření emisí spalovacích motorů*, Praha, vydavatelství ČVUT, 1997, 111 s, ISBN 80-01-01632-3

- [9] VLK, F., *Diagnostika motorových vozidel*, Brno, Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 2006, str. 149-195, ISBN 80-239-7064-X
- [10] HROMÁDKO, J., et al., *Spalovací motory*, Praha, Grada, 2011, 978-80-247-3475-0
- [11] RAVINDRA, K., SOKHI, R., VAN GRIEKEN, R., *Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation*, Atmospheric Environmental 42 (2008), pp. 2895–2921.
- [12] ŠUTA, M., *Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví*, Děti Země, 2008, ISBN 80-86678-10-5
- [13] AAKKO, P., HARJU, T., NIEMI, M., RANTANEN-KOLEHMAINEN, L., *Pah content of diesel fuel and automotive emission* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2006/VTT-1155-06-AROM.pdf>
- [14] ADAMEC, V., et al., *Kompendium ochrany kvality ovzduší - Část 5: Znečištění ovzduší z dopravy.*, Ochrana ovzduší, Praha, Občanské sdružení Ochrana kvality ovzduší, 2005, ISSN 1211-0337
- [15] VOJÁČEK, A., *Principy analyzátorů plynů* [online], [2011-05-20], dostupné z: [http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/principy\\_analyzatoru\\_plynu.htm](http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/principy_analyzatoru_plynu.htm)
- [16] BARTOVSKÝ, T., *Analyzátory emisí*, Praha, Vuste, 1994, 160 s.
- [17] KADLEČEK, B., *Metodika kvantifikace a vyhodnocení environmentálních a bezpečnostních vlivů dopravy* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.mdcr-vyzkum-infobanka.cz/cg912-058-520-metodika-kva-10634.aspx>
- [18] Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, *Emisní model MEFA* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.atem.cz/mefa.html>
- [19] ADAMEC, V., et al., *Výzkum zátěže životního prostředí z dopravy*, Centrum dopravního výzkumu, 2006, 86 s
- [20] *Emission standard of car and light trucks in European Union* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>

- [21] KADLEČEK, B., *Systém péče o spalovací motory z hlediska vlivu na životní prostředí a ekonomiku provozu – habilitační práce*, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003.
- [22] *Emission Test Cycles – New European driving cycle* [online], [2011-05-20], dostupné z: [http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.html](http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.html)
- [23] *Emission standard of Heavy-Duty Diesel Truck and Bus Engines in European union* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/hd.php>
- [24] *Emission Test Cycles – European Stationary Cycle* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/esc.html>
- [25] *Emission Test Cycles – European Transient Cycle* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/etc.html>
- [26] *Emission Test Cycles – European Load Response* [online], [2011-05-20], dostupné z: <http://www.dieselnet.com/standards/cycles/elr.html>
- [27] *Vyhláška MD č. 302/2001 Sb. O technických prohlídkách a měření emisí vozidel*, Ministerstvo dopravy ČR
- [28] *Směrnice 2005/55/ES O sblížení právních předpisů členských států týkajících se opatření proti emisím plyných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze vznětových motorů vozidel a emisím plyných znečišťujících látek ze zážehových motorů vozidel poháněných zemním plynem nebo zkapalněným ropným plynem*
- [29] *Směrnice 70/220/ES O sblížení právních předpisů členských států týkajících se opatření proti znečištění ovzduší emisemi z motorových vozidel*
- [30] VOJTÍŠEK, M., *Total Diesel Exhaust Particulate Length Measurements Using a Modified Household Smoke Alarm Ionization Chamber*, Journal of the Air & Waste Management Association, 2006, ISSN:1047-3289
- [31] VOJTÍŠEK, M., Fenkl, M., Dufek, M., Mareš, J., *Off-cycle, real-world emissions of modern light-duty diesel vehicles*, SAE Technical Paper 2009-24-0148, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, USA, 2009, ISSN 0148-7191

- [32] MOOSMÜLLER, H., et al., *Aerosol light absorption and its measurement: A review*, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 2009
- [33] HORIBA AUTOMOTIVE TEST SYSTEMS, *OBS-2100* [online], [2011-05-20] dostupné z: <http://www.horiba.com/automotive-test-systems/products/emission-measurement-systems/on-board-systems/details/obs-2000-877>
- [34] SENSORS INC., *Laboratory Evaluation of the SEMTECH-G Portable Emissions Measurement Systems (PEMS) for Gasoline Fueled Vehicles* [online], [2011-05-20] dostupné z: <http://www.sensors-inc.com/publications.html>
- [35] FREY, H.C., ROUPHAIL, N.M., UNAL, A., COLYAR, J.D., *On-Board Emissions Measurement* [online], [2011-05-20] dostupné z: <http://www4.ncsu.edu/~frey/emissions/presentations.html>
- [36] LEANERS, G., *On-board real life emission measurements on a 3 way catalyst gasoline car in motor way-, rural- and city traffic and on two Euro-I diesel city buses*, The Science of the Total Environment 189/190, 1996, pp. 139-147
- [37] FREY, H.C., *Emissions Reduction Through Better Traffic Management: An Empirical Evaluation Based Upon On-Road Measurements* [online], [2011-05-20] dostupný z <https://apps.dot.state.nc.us/Projects/Research/ProjectInfo.aspx?ID=261>
- [38] FREY, H.C., UNAL, A., *Use of On-Board Tailpipe Emissions Measurements for Development of Mobile Source Emission Factors* [online], [2011-05-20] dostupný z: [http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei11/mobile/frey\\_unal.pdf](http://www.epa.gov/ttn/chief/conference/ei11/mobile/frey_unal.pdf)
- [39] FREY, H.C., et al., *On-Road Measurement of Vehicle Tailpipe Emissions Using a Portable Instrument*, Journal of the Air & Waste Management Association (53), pp. 992–1002, ISSN 1047-3289
- [40] CHOI, H.-W., FREY, H.C., *Light duty gasoline vehicle emission factors at high transient and constant speeds for short road segments*, Transportation Research Part D 14 (2009), pp. 610–614
- [41] JOHNSON, K.C., et al., *On-road comparison of a portable emission measurement system with a mobile reference laboratory for a heavy-duty diesel vehicle*, Atmospheric Environment 43 (2009), pp. 2877–2883



- [42] VOJTÍŠEK, M., COBB, J.T.: *On-road light-duty vehicle emission measurements using a novel inexpensive on-board portable system*. Sborník konference 8th CRC On-road vehicle emissions workshop, San Diego, California, USA, 1998.
- [43] KOTEK, M., et al., *Nepřímá metoda měření emisí za provozu s využitím OBD*, *Doprava* 52 (6/2010), ISSN 0012-5520, str.19-21
- [44] KOTEK, M., RŮŽIČKA, M., MATUŠŮ R., *The benefit of hybrid engine vehicles' use under urban traffic conditions*, konference Electromobility, Praha, 2011, ISBN 978-80-01-04818-4
- [45] VOJTÍŠEK, M., *VMK CO<sub>x</sub> – příručka uživatele*, Praha, VMK s. r.o, 2009
- [46] MACHÁČEK, T., *Diplomová práce - Analýza provozu hybridních vozidel*, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011
- [47] *Směrnice 93/116/ES O spotřebě paliva motorových vozidel*
- [48] KOTEK, M. – MATUŠŮ, R. – KOSTELECKÝ, M., *Analýza produkce emisí hybridního automobilu*, XIII. MEZINÁRODNÍ VĚDECKÁ KONFERENCE MLADÝCH, 2011, Praha
- [49] MAKALOUŠ, O., *Diplomová práce - Možnosti monitorování spotřeby paliva*, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012
- [50] LUPÍŠEK, A., *Spočítejte si, kolik emisí CO<sub>2</sub> vyprodukuje Vaše auto*, [online], [2011-05-20], dostupný z: <http://www.ekoblog.cz/?q=emise>
- [51] PELKMANS, L., DEBAL, P., *Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles*, Elsevier Transportation Research Part D, 2006, pp. 233-241
- [52] VOJTÍŠEK, M., *Measurement of real – world, on – road exhaust emissions from mobile machinery: trends and measurement methods*, KOKA 2009, XL. Medzinárodná vedecká konferencia českých a slovenských univerzít, katedrií a inštitúcií zaoberajúcich sa výskumom spaľovacích motorov, Nitra, 7.-8.9.2009
- [53] MATUŠŮ, R., *Teze doktorské disertační práce - Emise spalovacích motorů při transienčních režimech*, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b>	Podíl škodlivých složek emisí u zážehového a vznětového motoru <sup>[10]</sup> ....	5
<b>Obr. 2</b>	Produkce emisí zážehového a vznětového motoru v závislosti na $\lambda$ <sup>[10]</sup> ....	5
<b>Obr. 3</b>	Účinek oxidu uhelnatého na lidský organismus <sup>[8]</sup> .....	6
<b>Obr. 4</b>	Tvorba PAH pyrolýzou etanu <sup>[11]</sup> .....	7
<b>Obr. 5</b>	Pronikání PM do lidského těla <sup>[10]</sup> .....	10
<b>Obr. 6</b>	Metoda NDIR <sup>[15]</sup> .....	12
<b>Obr. 7</b>	Blokové schéma spektrometru NDIR <sup>[15]</sup> .....	12
<b>Obr. 8</b>	Metoda FID <sup>[8]</sup> .....	13
<b>Obr. 9</b>	Princip gravimetrického měření koncentrace PM <sup>[8]</sup> .....	15
<b>Obr. 10</b>	Opacimetr Hartridge <sup>[8]</sup> .....	16
<b>Obr. 11</b>	Prostředí programu MEFA 06 <sup>[17]</sup> .....	19
<b>Obr. 12</b>	Metodika CDV <sup>[19]</sup> .....	20
<b>Obr. 13</b>	Emisní charakteristika CO <sub>2</sub> (OBD).....	22
<b>Obr. 14</b>	Emisní charakteristika NO <sub>x</sub> (GPS) <sup>[17]</sup> .....	23
<b>Obr. 15</b>	Průběh homologačního cyklu NEDC <sup>[21]</sup> .....	26
<b>Obr. 16</b>	Průběh ESC testu <sup>[24]</sup> .....	28
<b>Obr. 17</b>	Průběh jízdního cyklu ETC na válcovém dynamometru <sup>[25]</sup> .....	29
<b>Obr. 18</b>	Průběh testu ELR <sup>[26]</sup> .....	30
<b>Obr. 19</b>	Přístroj Horiba OBS 2000 <sup>[33]</sup> .....	36
<b>Obr. 20</b>	Přístroj SEMTECH-G <sup>[34]</sup> .....	37
<b>Obr. 21</b>	Přístroj OEM-2100 <sup>[35]</sup> .....	37
<b>Obr. 22</b>	Výsledné emise v různých typech provozu, porovnání se směrnici 91/441/EC <sup>[36]</sup> .....	38
<b>Obr. 23</b>	Průměrná spotřeba paliva a rychlost při různém jízdním stylu <sup>[6]</sup> .....	39
<b>Obr. 24</b>	Porovnání produkce CO <sub>2</sub> přímou metodou a pomocí modelu <sup>[38]</sup> .....	40
<b>Obr. 25</b>	Poměr jízdních režimů během jízdy vozidla a jeho vliv na produkci emisí, spotřebu paliva, ujetou vzdálenost a čas <sup>[39]</sup> .....	40
<b>Obr. 26</b>	Porovnání emisních analyzátorů při měření NO <sub>x</sub> <sup>[41]</sup> .....	41
<b>Obr. 27</b>	Emisní analyzátor VMK .....	49
<b>Obr. 28</b>	Hlavička datového souboru VMK .....	51
<b>Obr. 29</b>	Zaznamenávaná data datového souboru VMK.....	52

<b>Obr. 30</b>	Uložení analyzátoru VMK ve vozidle .....	53
<b>Obr. 31</b>	Připojení přístroje ke zdroji el. energie.....	54
<b>Obr. 32</b>	Ovládací rozhraní analyzátoru VMK.....	54
<b>Obr. 33</b>	Diagnostický systém VAG-COM.....	56
<b>Obr. 34</b>	Struktura dat VAG-COM - OBD.....	58
<b>Obr. 35</b>	Struktura dat VAG-COM – přímé spojení s ŘJ.....	58
<b>Obr. 36</b>	Přípevnění záložního akumulátoru .....	60
<b>Obr. 37</b>	Internetová stránka s programem pro zpracování dat.....	63
<b>Obr. 38</b>	Synchronizace dat OBD a emisí podle průběhu doby vstříku a emisí CO <sub>2</sub> .....	64
<b>Obr. 39</b>	Synchronizace dat OBD a GPS dle průběhu rychlosti .....	65
<b>Obr. 40</b>	Synchronizační značky při měření na brzdovém stanovišti.....	66
<b>Obr. 41</b>	Synchronizace dat OBD a dynamometru.....	68
<b>Obr. 42</b>	Emisní charakteristika CO (metoda GPS) <sup>[17]</sup> .....	70
<b>Obr. 43</b>	Vířivý dynamometr.....	75
<b>Obr. 44</b>	Závislost zatížení motoru a točivého momentu .....	77
<b>Obr. 45</b>	Relace mezi otáčkami dynamometru a motoru (OBD) .....	78
<b>Obr. 46</b>	Ustálené režimy měření .....	78
<b>Obr. 47</b>	Prostředí programu MathCad.....	79
<b>Obr. 48</b>	Program MathCad – definice proměnných.....	80
<b>Obr. 49</b>	Program MathCad – interpolace hodnot.....	81
<b>Obr. 50</b>	Výsledné emisní charakteristiky (OBD).....	82
<b>Obr. 51</b>	Jednotlivé trasy měření .....	84
<b>Obr. 52</b>	Ukázka z průběhu porovnávacího měření přímou a nepřímou metodou na jednotlivých trasách (výběr dat) <sup>[43]</sup> .....	85
<b>Obr. 53</b>	Porovnání přímé a nepřímé metody měření – trasa 1 .....	86
<b>Obr. 54</b>	Porovnání přímé a nepřímé metody měření – trasa 2 .....	87
<b>Obr. 55</b>	Porovnání přímé a nepřímé metody měření – trasa 3 .....	88
<b>Obr. 56</b>	Trasy měření <sup>[17]</sup> .....	90
<b>Obr. 57</b>	Prostředí programu SuperVag ComfortVW – ukládání dat <sup>[17]</sup> .....	91
<b>Obr. 58</b>	GPS jednotka DEWETRON VGPS-200C <sup>[17]</sup> .....	92

<b>Obr. 59</b>	Vybraný fragment přímo a nepřímo měřené okamžité produkce emisí CO <sub>2</sub> , výkonu na kolech a otáček motoru v závislosti na čase <sup>[17]</sup> .....	93
<b>Obr. 60</b>	Měření okamžitých dat přes rozhraní OBD .....	94
<b>Obr. 61</b>	Ukázka z průběhu měření LEXUS RX400H – trasa 1 <sup>[48]</sup> .....	95
<b>Obr. 62</b>	Ukázka z průběhu měření Škoda Fabia – trasa 1 <sup>[48]</sup> .....	95
<b>Obr. 63</b>	Testovací trať při výzkumu E85 v reálném provozu .....	97
<b>Obr. 64</b>	Umístění nádrže na plošinové váze .....	98
<b>Obr. 65</b>	Navržený jízdní cyklus <sup>[49]</sup> .....	101
<b>Obr. 66</b>	Převod jízdního cyklu na brzdové stanoviště <sup>[49]</sup> .....	101
<b>Obr. 67</b>	Spotřeba paliva v ustálených provozních režimech motoru <sup>[49]</sup> .....	102

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b>	Emisní limity pro jednotlivé předpisy EURO <sup>[20]</sup> .....	26
<b>Tab. 2</b>	Parametry homologačního cyklu NEDC <sup>[22]</sup> .....	27
<b>Tab. 3</b>	EU standardní limity emisí (g/kWh) pro vozidla nad 3,5 t <sup>[23]</sup> .....	27
<b>Tab. 4</b>	Technické parametry analyzátoru VMK <sup>[45]</sup> .....	49
<b>Tab. 5</b>	Hodnoty zaznamenávané na brzdovém stanovišti (vzorek dat).....	67
<b>Tab. 6</b>	Parametry testovaného motoru .....	74
<b>Tab. 7</b>	Parametry vířivého dynamometru .....	75
<b>Tab. 8</b>	Korelační analýza pro zatížení motoru .....	77
<b>Tab. 9</b>	Výsledné sumární emise na měřené trase .....	88
<b>Tab. 10</b>	Poměr výsledků nepřímé a přímé metody kvantifikace emisí.....	89
<b>Tab. 11</b>	Kvantifikace emisí CO <sub>2</sub> na vybraných úsecích jízdy <sup>[17]</sup> .....	92
<b>Tab. 12</b>	Výsledky měření v provozu (Lexus vs. Fabia) <sup>[48]</sup> .....	96
<b>Tab. 13</b>	Výsledky měření v provozu (E85).....	97
<b>Tab. 14</b>	Technické parametry vážicího zařízení .....	98
<b>Tab. 15</b>	Výsledné hodnoty spotřeby paliva v jízdním cyklu <sup>[49]</sup> .....	102
<b>Tab. 16</b>	Výsledky měření v provozu (ověření metody OBD) <sup>[43]</sup> .....	103
<b>Tab. 17</b>	Porovnání výsledků s předepsanými hodnotami .....	105

## Seznam zkratek

CDV - centrum dopravního výzkumu

CF (Compact Flash) – paměťová karta

CLA/D (ChemiLuminescence Analyser/Detector) – chemiluminiscenční analyzátor

CSV (Comma-Separated Values) – textový strukturovaný soubor

CVS (Constant Volume Sampling) - metoda ředění výfukových emisí

ČR - Česká republika

ČZU - Česká zemědělská univerzita

DSG (Direct Shift Gear) – typ převodové skříně

E85 - bioethanolová směs automobilového benzínu (15%) a bioethanolu (85%)

Ef - emisní faktory

ECE (Economic Commission for Europe) – evropská ekonomická komise

EHK - Evropská hospodářská komise

ELR (European Load Response) - homologační test

ESC (European Stationary Cycle) - homologační cyklus

ETC (European Transient Cycle) - homologační cyklus

EU - Evropská unie

EUUDC (Extra Urban Driving Cycle) - jízdní cyklus

FID (Flame Ionization Detector) - plameno-ionizační detektor

FIGE (Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen) - Výzkumný ústav hluku a vibrací

GPS (Global Positioning System) - globální družicový polohový systém

HCLD (Heated ChemiLuminescence Detector) - vyhříváný chemiluminiscenční detektor

HDV (Heavy-Duty Vehicle) - těžká nákladní vozidla

HFID (Heated Flame Ionization Detector) - vyhříváný plamenoionizační detektor

HSU (Hartridge Smoke Unit) - jednotka kouřivosti

ID - individuální doprava

lambda - označení pro součinitel přebytku vzduchu

LDV (Light Duty Vehicle) - lehká nákladní vozidla

MDČR - ministerstvo dopravy

MEFA - metodika emisních faktorů automobilů

N95 - automobilový benzín Natural 95

NDIR (Non-Disperzive Infrared Sensor) - nedisperzní infračervená spektrometrie  
NDUV (Non-Dispersive Ultra-Violet analyzer) - nedisperzivní ultrafialový analyzátor  
NEDC (New European Driving Cycle) - homologační jízdní cyklus  
NM VOC (Non-Methane Vvolatile Organic Compounds) - nemetanové uhlovodíky  
OA - osobní automobily  
OA - osobní automobily  
OBD (On-Board Diagnostics) – palubní diagnostika  
OIML (International Organization of Legal Metrology) - mezinárodní metrologická organizace  
PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) - polycyklické aromatické uhlovodíky  
PEMS (Portable Emission Measuring System) - přístroje pro mobilní měření emisí  
PHP (Hypertext preprocessor) - skriptovací jazyk pro internetové stránky  
SME - stanice měření emisí  
TF - Technická fakulta  
TUL - Technická universita v Liberci  
UDC (Urban Driving Cycle) - městský cyklus  
UTC (Coordinated Universal Time) - koordinovaný světový čas

## 9 Přílohy

### 9.1 Zdrojový kód programu pro synchronizaci dat

#### 9.1.1 Skript *index.php*

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN">
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1250">
<title>Zpracování hodnot</title>
</head>
<?
if ($pocet=="") $pocet=1;
echo "
    <form method="POST" action="$PHP_SELF">
    <table class="text" class="text" align="center" width="100%">
    <tr align="center"><td colspan="2"><b>Setřídění dat po 1 sekundě</b></td></tr>
    <tr><td colspan="2">&nbsp;</td></tr>
    <tr><td colspan="2"><b>Data z OBD oddělené tabulátorem :</b></td></tr>
    <tr><td colspan="2"><textarea rows="25" name="gps" cols="130">$gps</textarea></td></tr>
    <tr><td>&nbsp;</td></tr>
    <tr align="center"><td colspan="2"><input type="submit" name="ok" value="Poslat"></td></tr>
    </table>
</form>
<br><br><hr><br><br>;
if ($ok!="")
{
    $data = Explode(chr(13), $gps);
    $data = str_replace(chr(32), "", $data);
    $data = str_replace(", ", ".", $data);
    for ($i=0; $i<count($data); $i++)
    {
        $g[] = Explode(chr(9), $data[$i]);
    }
    $data="";
    $pocet_sloupcu=count($g[0]); //zjištění počtu sloupců
    echo "Počet sloupců: ".$pocet_sloupcu. "<br><br>";
    $posledni_sekunda=floor($g[count($g)-1][0]);
    $sekunda=0;
    echo "Počet g: ".count($g). " Počet sekund záznamu: $posledni_sekunda <br>";
    for ($i=0; $i<count($g); $i++)
    {
        $g[$i][0] = str_replace(chr(10), "", $g[$i][0]); //odstranění znaku konce řádku
        $g[$i][0] = str_replace(chr(32), "", $g[$i][0]); //odstranění mezer
        //zpracování dat
        $sekunda=floor($g[$i][0]); //zaokrouhlit dolů
```

```

$počet_součtu=0;
for ($x=0;$x<6;$x++) //max. 5 dalších hodnot v jedné sekundě
{
    if (intval($g[$i+$x][0])==intval($sekunda)) //jsem v aktuální sekundě → projít další data ve stejné sekundě a zprůměrovat
    {
        $počet_součtu++;
        for ($qq=1;$qq<$počet_sloupcu;$qq++) //mimo [0] - čas. osa se neprůměruje
        {
            $součet[0][$qq]=$součet[0][$qq]+$g[$i+$x][$qq];
        }
    }
}
$i+=$počet_součtu-1;
$součet[0][0]=$sekunda; //časová osa po 1s
//zprůměrovat jednotlivé součty
for ($qq=1;$qq<$počet_sloupcu;$qq++)
{
    $součet[0][$qq]=$součet[0][$qq]/$počet_součtu;
}
$vysledek[]=$součet[0];
$součty[]=$součet[0];
$součet=null;
} //end
//ZJISTIT CHYBĚJÍCÍ ZÁZNAMY V KAŽDÉ SEKUNDĚ
$posunuti=0;
$i=0;
while ($i<count($vysledek))
{
    if (intval($vysledek[$i][0])!=$(i+$posunuti)) //chybí vterina $i
    {
        echo " - chybí záznam z ".(i+$posunuti)." sekundy !<br>";
        for ($q=0;$q<$počet_sloupcu;$q++)
        {
            $kontrola[i+$posunuti][$q]=($vysledek[$i][$q]+$vysledek[$i-1][$q])/2;
        }
        $posunuti++;
        $kontrola[i+$posunuti]=$vysledek[$i];
    }
    else
    {
        $kontrola[i+$posunuti]=$vysledek[$i];
    }
    $i++;
}
$vysledek=$kontrola; //kontrola = doplněné chybějící hodnoty
//zobrazení dat
for ($i=0;$i<count($vysledek);$i++)
{
    //vypsání jednotlivých sloupců

```



```

for ($qq=0;$qq<$pocet_sloupcu;$qq++)
{
    $data.= $vysledek[$i][$qq];
    $data.=chr(9);
}
$data.=chr(13);
}
$data = str_replace(".", " ", $data);
$fjp = fopen('data.csv', 'w');
fwrite($fjp, $data);
fclose($fjp);
$data=htmlspecialchars($hlavicka.$data);
echo "<br><br><a href=\"stahni.php?soubor=data.csv\" target=\"_blank\">STÁHNI SOUBOR</a><br><br><textarea
rows=25\" name=\"data\" cols=130\">$data</textarea><br>";
}
?>
</html>

```

### 9.1.2 Skript *stahni.php*

```

<?
header("Content-Description: File Transfer");
header("Content-Type: application/force-download");
header("Content-Disposition: attachment; filename=\"$soubor\"");
readfile($soubor);
?>

```

## 9.2 Ukázka dat pro synchronizaci

a) Data před synchronizací (tučně jsou vyznačeny časové osy pro data z OBD, emisí a GPS)

ČAS ZNAČKA	Otáčky m (G28) /min	Zatížení m %	Prům.dob ms	Tlak v sání (G71) mbar	ČAS ZNAČKA	Otáčky m (G28) /min	Tlak v sání (G71) mbar	Úhel skřti %	Předstih *ATDC	ČAS ZNAČKA	Otáčky m (G28) /min	Zatížení m %	Rychlost km/h	Status	Sekundy	Cas	CO[%]	CO2	NO[ppm]	HC[ppm]	O2[%]	GPS.UTC	GPS.UTC	GPS.kmh	GPS.sirka	GPS.delk	GPS.vysk	GPS.satel
0	800	25,9	3,09	357	0,68	800	357	4,7	4,5	0,965	800	25,9	0	Mereni	68505	19:01:44	0	0	0	0	20,8	612998	00:16:38.0	0	5007,763	1422,495	291,6	9
1	800	25,9	3,09	357	1,98	800	357	4,7	3	2,25	800	25,9	0	Mereni	68506	19:01:45	0	0	0	0	20,7	613008	00:16:48.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
2	800	25,9	3,09	357	2,82	800	357	4,7	4,5	3,11	800	25,9	0	Mereni	68507	19:01:47	0	0,01	0	0	20,6	613020	00:17:00.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
3	800	25,9	3,09	357	3,64	800	357	4,7	6,8	3,93	800	25,9	0	Mereni	68508	19:01:48	0	0,01	0	0	20,7	613028	00:17:08.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
4	800	25,9	3,09	357	4,47	768	357	4,7	7,5	4,73	800	27,1	0	Mereni	68509	19:01:49	0	0,02	0	0	20,7	613038	00:17:18.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
5	800	25,9	3,09	357	5,715	800	357	4,7	3,4	6,01	800	25,3	0	Mereni	68510	19:01:49	0,004	1,49	1	4	20,6	613048	00:17:28.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
6	800	25,9	3,09	357	7,02	800	357	4,7	3,8	7,28	800	25,9	0	Mereni	68511	19:01:51	0,016	6,92	1	176	19,4	613060	00:17:40.0	0	5007,763	1422,496	291,6	10
7	800	25,9	3,09	357	7,83	800	357	4,7	4,5	8,09	768	25,9	0	Mereni	68512	19:01:52	0,189	13,86	2	277	12,3	613070	00:17:50.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
8	800	25,9	3,09	357	8,63	800	357	4,3	6	8,93	800	25,9	0	Mereni	68513	19:01:53	0,241	14,98	5	302	6	613078	00:17:58.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
9	800	25,9	3,09	357	9,52	800	357	4,7	3,8	9,78	800	25,9	0	Mereni	68514	19:01:54	0,253	14,93	4	329	3	613088	00:18:08.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9

b) Upravené časové osy před vnesením grafů (sloupec Sekundy a GPS.UTC-sekundy jsou přepsány posloupností čísel o nuly s krokem 1)

ČAS ZNAČKA	Otáčky m (G28) /min	Zatížení m %	Prům.dob ms	Tlak v sání (G71) mbar	ČAS ZNAČKA	Otáčky m (G28) /min	Tlak v sání (G71) mbar	Úhel skřti %	Předstih *ATDC	ČAS ZNAČKA	Otáčky m (G28) /min	Zatížení m %	Rychlost km/h	Status	Sekundy	Cas	CO[%]	CO2	NO[ppm]	HC[ppm]	O2[%]	GPS.UTC	GPS.UTC	GPS.kmh	GPS.sirka	GPS.delk	GPS.vysk	GPS.satel
0	800	25,9	3,09	357	0,68	800	357	4,7	4,5	0,965	800	25,9	0	Mereni	0	19:01:44	0	0	0	0	20,8	0	00:16:38.0	0	5007,763	1422,495	291,6	9
1	800	25,9	3,09	357	1,98	800	357	4,7	3	2,25	800	25,9	0	Mereni	1	19:01:45	0	0	0	0	20,7	1	00:16:48.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
2	800	25,9	3,09	357	2,82	800	357	4,7	4,5	3,11	800	25,9	0	Mereni	2	19:01:47	0	0,01	0	0	20,6	2	00:17:00.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
3	800	25,9	3,09	357	3,64	800	357	4,7	6,8	3,93	800	25,9	0	Mereni	3	19:01:48	0	0,01	0	0	20,7	3	00:17:08.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
4	800	25,9	3,09	357	4,47	768	357	4,7	7,5	4,73	800	27,1	0	Mereni	4	19:01:49	0	0,02	0	0	20,7	4	00:17:18.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
5	800	25,9	3,09	357	5,715	800	357	4,7	3,4	6,01	800	25,3	0	Mereni	5	19:01:49	0,004	1,49	1	4	20,6	5	00:17:28.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
6	800	25,9	3,09	357	7,02	800	357	4,7	3,8	7,28	800	25,9	0	Mereni	6	19:01:51	0,016	6,92	1	176	19,4	6	00:17:40.0	0	5007,763	1422,496	291,6	10
7	800	25,9	3,09	357	7,83	800	357	4,7	4,5	8,09	768	25,9	0	Mereni	7	19:01:52	0,189	13,86	2	277	12,3	7	00:17:50.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
8	800	25,9	3,09	357	8,63	800	357	4,3	6	8,93	800	25,9	0	Mereni	8	19:01:53	0,241	14,98	5	302	6	8	00:17:58.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
9	800	25,9	3,09	357	9,52	800	357	4,7	3,8	9,78	800	25,9	0	Mereni	9	19:01:54	0,253	14,93	4	329	3	9	00:18:08.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9
10	800	25,9	3,09	357	10,75	800	357	4,7	5,3	11,025	800	25,9	0	Mereni	10	19:01:54	0,252	14,93	5	362	1,6	10	00:18:18.0	0	5007,763	1422,496	291,6	9

### 9.3 Data pro korelační analýzu točivého momentu a hodnot dostupných z OBD

Zatížení motoru (%)	Prům. doba vstřiku (ms)	Tlak v sání (mbar)	Úhel škrtky klapky (°)	Točivý moment (Nm)
29,40	4,12	337	14,10	24,00
34,69	4,61	381	15,37	29,90
36,10	5,15	439	21,98	28,00
36,49	5,15	398	18,87	31,60
38,05	5,15	471	9,80	32,47
42,01	6,05	439	20,80	39,36
42,64	6,13	459	17,60	40,61
45,10	6,18	537	25,15	39,18
48,53	6,68	588	12,24	46,00
48,67	7,13	500	22,76	47,19
50,51	7,21	531	19,78	50,80
50,97	7,21	596	15,75	50,22
56,39	8,44	653	29,39	53,77
57,15	8,22	673	14,87	57,98
57,53	8,24	592	25,68	59,04
58,01	8,24	669	17,60	59,94
58,39	8,24	608	22,30	61,54
63,19	9,87	726	33,25	63,76
65,48	10,30	661	28,37	70,70
66,02	9,44	743	20,36	70,41
67,35	9,67	698	25,08	73,86
67,41	9,97	775	18,34	71,30
73,63	11,02	826	24,70	80,24
76,20	11,33	772	29,56	86,46
76,88	11,74	888	25,40	83,24
76,92	12,41	867	46,64	82,25
77,60	12,22	775	34,66	86,97
82,40	12,61	908	35,70	91,60
82,40	13,39	949	99,60	94,91
86,02	13,39	949	99,60	100,55
87,11	14,42	867	44,89	100,67
91,38	16,01	928	97,12	111,80