

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

**Analýza vlivu plynu HHO na emise u zážehových motorů
pracujících s palivem E85.**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Jindra Ph.D.

Autor práce: Aleš Pačes

PRAHA 2020



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Aleš Pačes
Studijní program:	Technika a technologie v dopravě a spojích
Obor:	Silniční a městská automobilová doprava
Vedoucí práce:	Ing. Petr Jindra, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra vozidel a pozemní dopravy
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Analýz vlivu plynu HHO na emise u zážehových motorů pracujících s palivem E85.
Název anglicky:	Effect of HHO on emissions from E85 fuel-fueled petrol engines.
Cíle práce:	Cílem práce je analýza dopadů použití plynu HHO na emise v motoru, pracujícím se směsným palivem E85.
Metodika:	1 Úvod 2 Cíl práce 3 Metodika práce 4 Současný stav sledované problematiky 5 Praktická část práce 6 Výsledky a diskuse 7 Závěr 8 Seznam použitých zdrojů 9 Přílohy
Klíčová slova:	vodík, CO, CO ₂ , NO _x , FTIR
Doporučené zdroje informací:	
1.	HROMÁDKO, J. <i>Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol</i> . Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
2.	MATĚJOVSKÝ, Vladimír. <i>Automobilová paliva: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol</i> . Praha: Grada, 2005. ISBN 80-247-0350-5
3.	VLK, František. <i>Alternativní pohony motorových vozidel: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol</i> . Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5
Předběžný termín obhajoby:	2019/2020 LS - TF
Elektronicky schváleno: 1. 2. 2019	Elektronicky schváleno: 15. 2. 2019
Ing. Martin Kotecký, Ph.D. Vedoucí katedry	doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D. Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Analýza vlivu plynu HHO na emise u zážehových motorů pracujících s palivem E85.“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Ing. Petrovi Jindrovi Ph.D. za vedení a za cenné rady při zpracování této diplomové práce. Zároveň patří mé díky České zemědělské univerzitě, zejména katedře vozidel a pozemní dopravy, kteří mi dali možnost provést v jejich prostorách stěžejní měření pro diplomovou práci, a umožnili mi použít univerzitní vybavení.

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá vlivem plynu HHO (za použití HHO generátoru) na emise zážehových motorů. Cílem práce je porovnání emisí produkovaných s použitím HHO generátoru a bez něj, a následně rozebrání vlivu generátoru na produkované emise u zážehového motoru s palivem E85. Práce obsahuje analýzu stávajících legislativních opatření vztahujících se k omezení emisí v automobilovém průmyslu, představení plynu HHO a jeho možné využití u zážehového motoru a legislativní metody pro měření emisí. V praktické části práce je rozebráno použité zařízení a následně popsán proces měření emisí u zážehového motoru. V závěru práce jsou popsány výsledky měření a vliv generátoru na jednotlivé sledované složky emisí.

Klíčová slova: vodík, CO, CO₂, NO_x, FTIR

Effect of HHO on emissions from E85 fuel-fueled petrol engines.

Abstract: This master's thesis deals with the influence of HHO gas (using HHO generator) on emissions of spark-ignition engines. The aim of this work is to compare emissions produced with and without the HHO generator and then to analyze the influence of the generator on the emissions produced by the E85 petrol engine. The work includes an analysis of existing legislative measures related to the reduction of emissions in the automotive industry, introduction of HHO gas and its possible use in petrol engines and legislative methods for measuring emissions. In the practical part of the thesis the used equipment is analyzed and the process of emission measurement of the petrol engine is described. The results of measurement and the influence of the generator on individual monitored emission components are described at the end of the thesis.

Key words: hydrogen, CO, CO₂, NO_x, FTIR

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika Práce	4
4	Současný stav sledované problematiky.....	5
4.1	Legislativní normy emisí zážehových motorů	5
4.1.1	Emisní homologační testy v Evropě do 3,5 tuny	5
4.1.2	Metodika měření WLTP.....	5
4.1.3	Limity oxidu uhličitého	8
4.2	Složení výfukových plynů.....	8
4.3	Popis výfukových plynů	9
4.3.1	Oxid uhelnatý	9
4.3.2	Oxid uhličitý.....	10
4.3.3	Oxidy dusíku	11
4.3.4	Nespálené uhlovodíky	12
4.3.5	Pevné částce	12
4.4	Dodatečná úprava výfukových plynů	13
4.5	Metody měření emisí	17
4.5.1	Princip absorpce infračerveného záření.....	17
4.5.2	Princip absorpce ultrafialového záření.....	18
4.5.3	Princip chemické luminiscence.....	18
4.5.4	Princip změny elektrické vodivosti vodíkového plamene	19
4.5.5	Princip magnetických vlastností	20
4.6	Plyn HHO.....	21
4.6.1	Vlastnosti plynu HHO.....	21
4.6.2	Výroba plynu HHO	22
4.7	Vodík a jeho vlastnosti.....	22
4.7.1	Vodík a jeho funkce jako paliva	24
5	Praktická část práce.....	26
5.1	Popis zařízení.....	26
5.1.1	Motor.....	26
5.1.2	Dynamometr.....	27
5.1.3	Analyzátor plyných emisí.....	28
5.1.4	Analyzátor pevných částic	29
5.1.5	HHO generátor	30
5.2	Metodika zapojení.....	30

5.3	Příprava na měření	31
5.4	Postup měření	31
6	Výsledky a diskuze	33
6.1	Měrná spotřeba paliva	33
6.2	Emise CO ₂	34
6.3	Emise NO _x	35
6.4	Emise CO	37
6.5	Emise HC	38
6.6	Pevné částice	39
7	Závěr	42
8	Seznam použitých zdrojů	43

1 Úvod

Velkým tématem dnešní doby je zajištění akceptovatelné kvality ovzduší na planetě Zemi. Toto téma se stává stále větším problémem, což je zapříčiněno mnoha faktory. Jedním z nich je prudký růst lidské populace, dalším je fakt, že vývoj nových technologií s sebou přináší stále větší zátěž pro životní prostředí.

Problémy se zhoršováním kvality ovzduší jsou sledovány již od průmyslové revoluce. Právě v tomto období začal jít technologický pokrok rychle kupředu, s čímž je neodmyslitelně spjato čerpání přírodního bohatství. Průmyslové čerpání přírodních zdrojů s sebou přináší uhlíkovou stopu a kvůli neustálému zvyšování průmyslové výroby, dopravy i další lidské činnosti, dochází k výraznému zvyšování uhlíkové stopy. Tato stopa má negativní dopad a může negativně ovlivnit další vývoj života na Zemi - například již dnes je zřejmé, že uhlíková stopa přímo ovlivňuje teplotu, tedy může mít vliv na zrychlení procesu globálního oteplování.

V současné situaci je pro většinu populace téměř nepředstavitelné obejít se bez automobilové přepravy a to nejen pro osobní přesun, ale na obchodní rovině, kdy je automobilová přeprava zboží a osob stále velmi hojně využívána. Automobilový průmysl využívá uhlovodíková paliva z ropy, která je neobnovitelným a tedy omezeným zdrojem. Při spalování těchto paliv se do vzduchu dostává mnoho škodlivých látek.

Světové vlády se dlouhodobě snaží tlačit výrobce v oblasti automotive, aby omezily produkci škodlivých emisí a čerpání ropy jako hlavního pohonného paliva. Proto je vyvíjen stále větší tlak na to, aby se výrobci automobilů zaměřili na vývoj a výrobu ekologičtějších možností. I přes tyto opatření je aktuálně produkce škodlivin velmi vysoká. Zároveň vlády v tomto ohledu do jisté míry přecenily možnosti automobilových společností, protože vývoj ekologických vozů je ve fázi, která neumožní splnit stanovené předpisy. Výrobci se tedy snaží stanovené normy obejít (kauza Dieselgate) a současně také přejít k alternativním zdrojům energie, což vede k masivnímu zvýšení vývoje, výroby i prodeje vozů s elektrickým pohonem.

Přiblížit se normám stanoveným státem mohou výrobci automobilů třemi různými způsoby: Mohou se snažit o zlepšení spalovacího procesu, které sebou ale zákonitě přináší také zvýšení skleníkového plynu, nebo mohou pomocí katalyzátorů a dalších zařízení emise výfukových plynů snížit. Poslední cestou je investovat do vývoje a zaměřit se na využití takových paliv, které mají nižší obsah uhlíku.

Zmíněného zlepšení spalovacího procesu může být dosaženo přidáním plynu HHO (Brownův plyn, který je získáván rozpadem molekuly vody pomocí elektrolýzy, která probíhá přímo ve vozidle). Tento plyn je přidáván do vzduchu, nasávaného motorem. Pro použití plynu HHO jsou volně dostupné montážní sady. Na stránkách prodejců těchto sad se čtenáři dočtou o závažných výsledcích jak z pohledu snížení spotřeby paliva, tak i z pohledu snížení množství produkovaných emisí. Výrobci také slibují zvýšení celkového výkonu a pročištění karbonových úsad, což vede k celkovému zlepšení práce motoru.

Tato diplomová práce se zabývá především představení vlivu plynu HHO v zážehovém motoru - a to jak vlivu na výkon, tak i na slibované snížení produkovaných emisí. Hlavním cílem je porovnání avizovaného vlivu použití HHO generátoru oproti skutečnému stavu. Pro toto porovnání je využito praktické měření a analýza výsledků naměřených hodnot.

2 Cíl práce

Cílem této práce je analýza dopadů použití plynu HHO na emise v motoru pracujícím se směsným palivem E85.

3 Metodika Práce

V následující kapitole budou popsány postupy vedoucí k řešení tématu snižování emisí pomocí plynu HHO.

V teoretické části práce jsou popsány základní znalosti potřebné k vypracování této diplomové práce. Tato problematika je prozkoumána pomocí explanace a následného porovnání pohledů různých autorů. Zároveň je v teoretické části analyzován aktuální stav sledované problematiky a jsou zde představeny legislativní normy, které se ke sledované problematice vztahují.

Aby byla zachována autentičnost a aktuálnost informací, byly v práci kromě knižních zdrojů použity i aktuální vědecké články. Tyto články byly využity především při analýze legislativních norem vztahujících se ke snižování emisí.

V praktické části je účinnost HHO generátoru sledována pomocí provedeného měření. Pro měření byl použitý generátor i automobil, který je součástí vybavení ČZU. V rámci konkurenčních výrobků lze najít mnoho typů generátorů, jejich základní vlastnosti jsou podobné, mohou se pouze mírně lišit v hodnotách napájecího napětí a produkci plynu. Konkrétní technické údaje zvoleného HHO generátoru jsou součástí praktické části práce.

Měření bylo nejdříve provedeno bez využití generátoru, následně bylo měření provedeno za pomoci HHO generátoru, aby mohly být následně výsledky obou měření porovnány.

Po provedení měření jsou výsledky porovnány s očekávaným stavem. Pro tento účel je sledována především produkce emisí a výkon motoru. Následně jsou pomocí komparace výsledky vyhodnoceny a vyvozeny závěry experimentu.

4 Současný stav sledované problematiky

4.1 Legislativní normy emisí zážehových motorů

4.1.1 Emisní homologační testy v Evropě do 3,5 tuny

První evropskou směrnicí byla EHK 15 zavedená v roce 1971. Její náplní byly 4 městské cykly a obsah měření byl CO a HC. Předpis se časem měnil a doplňoval, dále přibylo měření NO_x. V roce 1989 byla EHK 15 nahrazena vyhláškou EHK 83, která v roce 1991 vstoupila v platnost v České Republice. Ta konkretizuje 3 typy hodnocení.

Typ A je používán pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem, která nemají dodatečnou úpravu spalin. Ten se v dnešní době používá pouze pro testování starších typů vozidel při jejich jednotlivém dovozu, nebo jejich přebudování na provoz alternativního paliva. Typ B je používán pro hodnocení vozidel se zážehovým motorem, s dodatečnou úpravou spalin. Typ C je používán pro hodnocení vozidel se vznětovým motorem. V tabulce 1 jsou zobrazeny limitní emise pro příslušnou normu známou jako EURO pro vozidla se zážehovým motorem do 3,5 tuny. [1]

Tab. 1 Standardní limity emisí (g/km) osobní vozidla do 3,5 t, zážehové motory [1]

předpis	platnost	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
Petrol (Gasoline)		g*km ⁻¹				
Euro 1	1992.07	2,72 (3,16)	-	0,97 (1,13)	-	-
Euro 2	1996.01	2,2	-	0,5	-	-
Euro 3	2000.01	1,2	0,2	-	0,15	-
Euro 4	2005.09	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

4.1.2 Metodika měření WLTP

Měření WLTP (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedures) se skládá z WLTC (World Harmonized Light Vehicle Duty Test Cycle) a RDE (Real Driving Emission). Procedura WLTP nahradila předchozí metodiku měření NEDC, aby naměřené hodnoty blíže odpovídaly těm reálným. [8]

4.1.2.1 WLTC

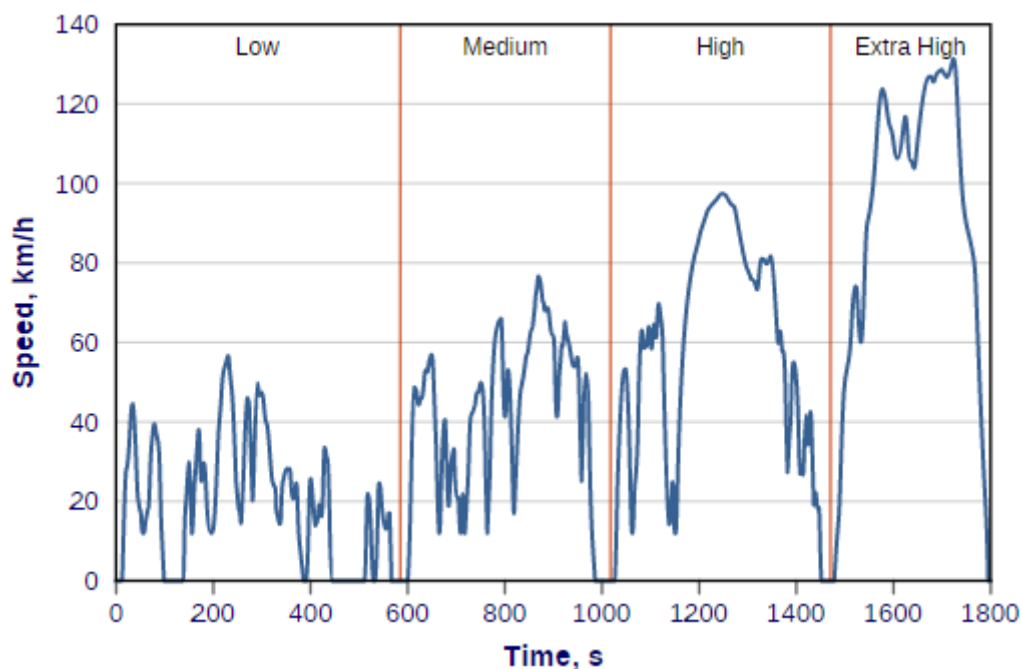
Podobně jako metodika NEDC je i WLTC laboratorní test probíhající na válcové zkušební. Dynamometr se před testem nastavuje na hmotnost vozidla zvýšenou o hmotnost řidiče a nákladu, ta činí 275kg. Osobní vozidla jsou rozdělena na tři kategorie podle výkonové hmotnosti a maximální rychlosti.

Do první kategorie patří vozidla, která mají poměr mezi výkonem a hmotností nižší než 22W/kg. Tato vozidla se měří ve třech režimech - nízké, střední a vysoké zatížení. V druhé kategorii se nachází vozidla, která mají výkonovou hmotnost 22 až 34 W/kg. Tato vozidla jsou měřena ve čtyřech režimech – nízké, střední, vysoké a extra vysoké zatížení. Do třetí kategorie spadají vozidla s výkonovou hmotností nad 34 W/kg a jsou měřena v režimech – nízké, střední, vysoké a extra vysoké zatížení. Tato kategorie se ještě dělí ještě na dvě podkategorie podle maximální rychlosti vozidla. V kategorii 3a se nachází vozidla jejichž maximální rychlost je do 120 km/h, zatímco v kategorii 3b jsou vozidla s maximální rychlostí nad 120 km/h. Průběh měření kategorie 3b, do které spadá většina evropských osobních automobilů, je zobrazena v tabulce 2 a na obrázku 1 [8]

Tab. 2 Parametry měření kategorie 3b [17]

Zatížení	Čas (s)	Čas stání (s)	Ujetá vzdálenost (m)	Max. rychlost (km/h)	Max. zrychlení (m/s ²)
Nízké	589	156	3095	56,6	1,47
Střední	433	48	4756	76,6	1,57
Vysoké	455	31	7162	97,4	1,58
Extra vysoké	323	7	8254	131,3	1,03
Celkem	1800	242	23266		

Obr. 1 Průběh rychlosti kategorie 3b [17]



4.1.2.2 RDE

Jedná se o měření emisí NO_x a PM osobních automobilů v reálném provozu. Emise jsou analyzovány mobilním zařízením PEMS (portable emission measuring systems), ten je zobrazen na obrázku 2. Testování probíhá v městském, mimoměstském a dálničním provozu. Měření probíhá za daných podmínek, jako je například zatížení, které nesmí přesáhnout 90% celkové hmotnosti vozidla, teploty, nadmořské výšky, vzdálenost a rychlost v daném provozu. [11]

Obr. 2 Měření emise v reálném provozu [18]



4.1.3 Limity oxidu uhličitého

Emisní normy pro redukci oxidu uhličitého mohou výrazně zkomplikovat automobilovou výrobu. Jejich splnění se pro řadu automobilek stane velkou výzvou. Podle nových emisních norem musí výrobci automobilů snížit emise oxidu uhličitého o 15 % a to nejpozději do roku 2025. V dlouhodobější perspektivě (do roku 2030) pak musí výrobce podíl oxidu uhličitého snížit o 37,5 % oproti dnešnímu stavu. Toto výrazné snížení je zapříčiněné snahou naplnit cíle, které byly stanoveny v rámci mezinárodní Pařížské dohody. Výrazné zpřísnění emisních norem by mohlo způsobit poměrně významné problémy napříč automobilovým průmyslem. Výrobci automobilů totiž musí splnit velmi obtížnou výzvu – snížit emise ve velmi krátkém časovém horizontu. [10]

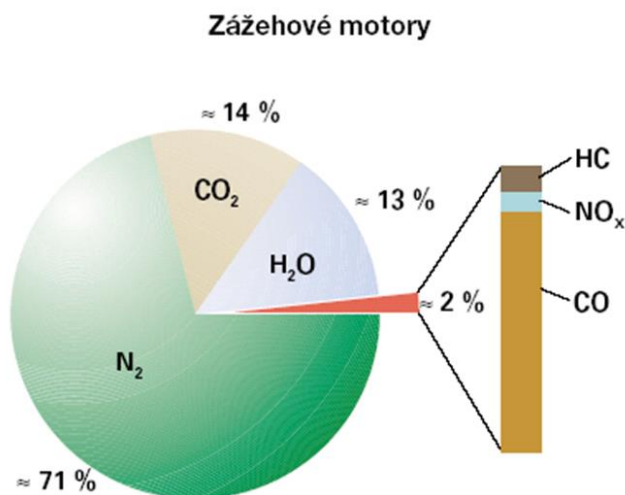
Legislativa v EU vyžaduje, aby nové automobily do roku 2021 snížily průměrné emise CO₂ 95 g/km. To je o 35 g/km méně než u předchozí normy. V roce 2018 dosahovala úroveň emisí automobilů lehce pod 120 g/km. Pokuta za každý nadlimitní gram činí 95 euro vynásobený počtem vozidel prodaných v daném kalendářním roce. Změny v emisních normách mohou mít negativní dopad nejen na sféru průmyslovou, ale v návaznosti s ní postihnou i sféru finanční a obchodní. Tím se logicky předpokládá masivní nárůst vozidel s alternativním pohonným mechanismem – elektrovozy. Dalším strašákem pro automobilový průmysl jsou sankce, které nové emisní normy stanovují v případě nedodržení stanovených cílů. Na finanční sféru budou mít negativní dopad i dlouhodobé investice, spojené s použitím nových technologií pro elektrovozy a také zvýšení nákladů výroby. Všechny tyto faktory mohou vést ke zvýšení průměrné ceny automobilů v roce 2025 až o 15 %. [10]

4.2 Složení výfukových plynů

Při dokonalém spalování uhlovodíkových paliv vzniká oxid uhličitý (CO₂) a voda (H₂O). Pokud oxidace neproběhla dokonale, je přítomen ještě oxid uhelnatý (CO) a vodík (H₂). U zážehového motoru je ve výfukových plynech obsažen kyslík (O₂), pokud spalování probíhalo s jeho přebytkem, nebo neproběhla dokonalá oxidace. Dominantní složkou spalin tvoří dusík (N₂). Při vysokých teplotách dusík oxiduje a vznikají oxidy dusíku (NO_x), ty jsou tvořeny především oxidem dusnatým (NO), ale také oxidem dusičitým (NO₂) a oxidem dusnatým (N₂O). Nespálené uhlovodíky (HC) vznikají při velmi nepříznivých podmínkách pro spalování. Uvnitř kapičky vstříknutého paliva se za vysoké teploty a nepřístupu vzduchu tvoří

pevné částice (PM), ty se tvoří zejména v motorech s přímým vstřikem paliva. Procentuální podíl jednotlivých složek výfukových plynů je zobrazen na obrázku 3. [1]

Obr. 3 Měření emise v reálném provozu [18]



4.3 Popis výfukových plynů

4.3.1 Oxid uhelnatý

Jedná se o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu toxický pro lidský organizmus. V krvi se váže na hemoglobin a brání tím přenosu kyslíku. Účinky na lidský organizmus jednotlivých koncentrací CO ve vzduchu za určitý čas jsou zobrazeny v tabulce 3. [1]

Tab. 3 Vliv oxidu uhelnatého na lidský organismus [5]

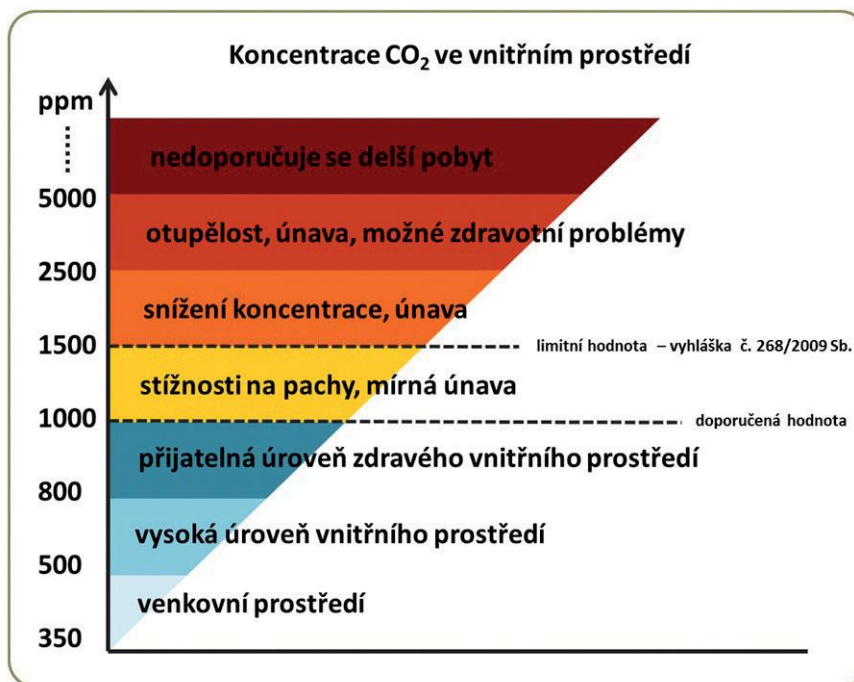
CO (ppm)	CO (obj %)	Příznaky
100	0,01	Žádné příznaky - bez nebezpečí
200	0,02	Mírné bolesti hlavy
400	0,04	Silné bolesti hlavy po 1-2 hodinách
800	0,08	Silné bolesti hlavy po 45 minutách nevolnost mdloby a bezvědomý po 2 hodinách
1000	0,1	Bezvědomý po 1 hodině
1600	0,16	Nevolnost, silné bolesti hlavy a závratě po 20 minutách
3200	0,32	Nevolnost, silné bolesti hlavy a závratě po 5-10 minutách, bezvědomí po 30 minutách
6400	0,64	Silné bolesti hlavy a závratě po 1-2 minutách, bezvědomí po 10-15 minutách
12800	1,28	Okamžité bezvědomí, nebezpečí smrti po 1-2 minutách

Oxid uhelnatý vzniká nedokonalou oxidací, když je ve spalovacím prostoru méně kyslíku, než je potřeba pro dokonalou oxidaci přítomného uhlovodíkového paliva. Tvoří se tedy při provozu s bohatou směsí, ale může se tvořit i při stechiometrické směsi a to v lokálních místech spalovacího prostoru kde je kyslíku nedostatek. Při tomto jevu je ve výfukových plynech kromě oxidu uhelnatého i kyslík. [1]

4.3.2 Oxid uhličitý

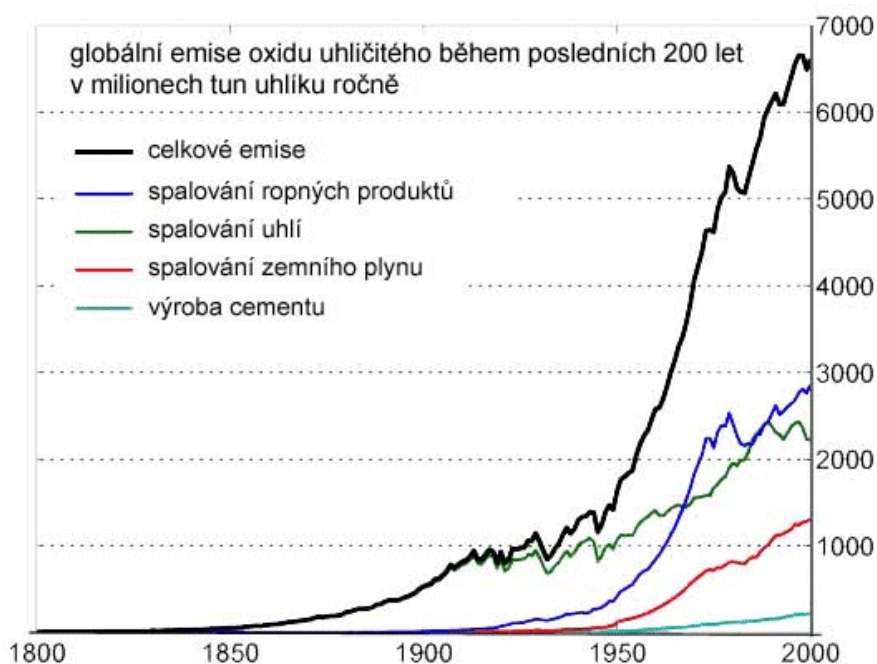
Jedná se o bezbarvý plyn a bez zápachu, pro který je typická vysoká stabilita a nízká reaktivita. V případě, že jeho koncentrace ve vzduchu dosahuje hodnot, při nichž vytěsňuje kyslík, začíná být škodlivý pro lidský organizmus. Vliv jednotlivých koncentrací CO₂ na člověka je zobrazen na obrázku 4. Oxid uhličitý přispívá ke globálnímu oteplování, jelikož zabraňuje, aby se teplo odražené od země vracelo do vesmíru. Právě kvůli tomuto jevu je oxid uhličitý známý také jako skleníkový plyn. Klimatické změny, kterým tento plyn přispívá, způsobují např. tání ledovců vedoucí ke zvyšování hladin oceánů. [1]

Obr. 4 Vliv koncentrace CO₂ na člověka [15]



Oxid uhličitý v přírodě vzniká dýcháním aerobních organismů, ten je ve stejné míře redukován fotosyntézou zelených rostlin a také je absorbován do oceánů. Dalším přírodním zdrojem CO₂ jsou požáry a vulkanická činnost. Lidská činnost ovšem tento vyvážený stav koncentrace oxidu uhličitého zásadně narušuje spalováním fosilních uhlikatých paliv, jak je vidět na obrázku 5. Jelikož oxid uhličitý se tvoří při dokonalém spalování uhlikatých paliv.[4]

Obr. 5 Emise oxidu uhličitého podle původu [4]



4.3.3 Oxidy dusíku

Při měření emisí produkovaných spalovacími motory se primárně nerozlišují konkrétní druhy oxidů dusíku, ale měří se jako celek a jsou označovány jako NO_x . Mezi zásadní představitele NO_x u zážehových motorů patří především oxid dusnatý (NO), v menší míře jsou to pak oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusný (N_2O).

Oxid dusnatý je bezbarvý štiplavý plyn a za normálních podmínek se vzduchem rychle oxiduje na oxid dusičitý. Pro lidský organizmus je jedovatý, působí na nervovou soustavu. Jeho projevy jsou celková slabost, závratě a bolest hlavy.

Oxid dusičitý je bezbarvý nasládlý plyn, který reaguje se vzdušnou vlhkostí a tvoří kyselinu dusičitou (HNO_3). Ta v dýchacích cestách způsobuje i při nízké koncentraci poleptání sliznic hrtanu a vyvolává pocit dušení a kašel.

Oxid dusný je bezbarvý plyn s nasládlým pachem. Na lidský organizmus nemá, jako jediný z představitelů oxidů dusíku, dráždivé účinky. [1][3]

Oxidy dusíku se tvoří při oxidaci vzdušného dusíku za vysokých teplot ($1900 - 2000\text{ }^\circ\text{C}$) a dostatečného času na reakci. Nejvyšší koncentrace NO_x vzniká při spalování, kdy je součinitel přebytku vzduch $\lambda = 1,05 - 1,1$.

4.3.4 Nespálené uhlovodíky

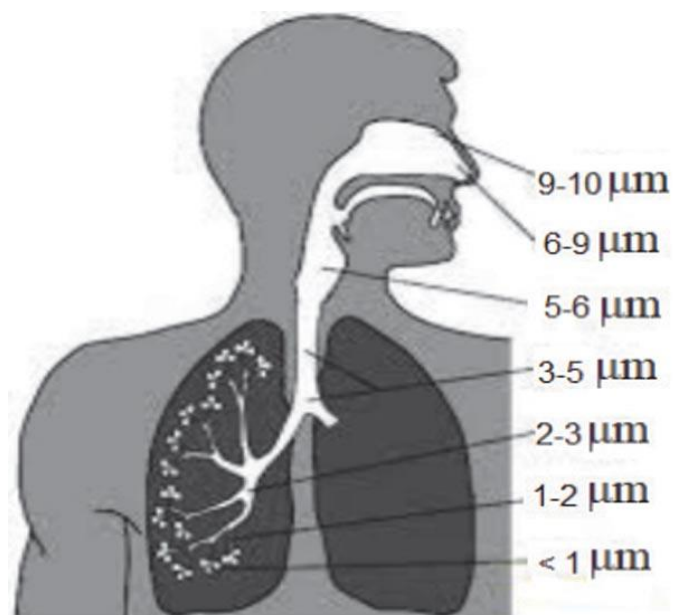
Jsou to složky nespáleného nebo částečně zoxidovaného uhlovodíkového paliva a také nově vytvořené uhlovodíky během spalování. Ve výfukovém potrubí se může nacházet až 200 různých uhlovodíků. Pro lidský organizmus jsou obvykle nejméně škodlivé uhlovodíky, které byly přivedeny jako paliva a neproběhla u nich žádná reakce. Škodlivější jsou částečně zoxidované uhlovodíky. Ty mohou být i karcinogenní a mohou se přichytávat na pevné částice. Nejvíce škodlivé jsou polycyklické aromatické uhlovodíky.

Vznikají nedokončenou oxidační reakcí u stěn válce motoru, jelikož je zde nízká spalovací teplota a pomalé hoření. Další příčinou výskytu nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech je přítomnost paliva, které nebylo v spalovacím prostoru zažehnuto. Nejnižší výskyt nespálených uhlovodíků je v oblasti chudé směsi $\lambda = 1,1-1,2$. [1]

4.3.5 Pevné částce

Jsou až ze 75 % tvořeny uhlíkem, zbylé množství tvoří sulfát, dusík, voda a další neidentifikovatelné složky. Uhlík tvoří jádro pevné částice a ostatní prvky jsou přichyceny na povrchu jádra. Právě ty představují pro lidské zdraví nebezpečí, jelikož mohou být karcinogenní, toxické a mutagenní. Velikost pevných částic se pohybuje v rozmezí větší než 10 μm až po 1 nm. Nejvíce částic bývá menších než 1 μm . Ty se mohou dostat až do plicních sklípků, jak je znázorněno na obrázku 6. [1]

Obr. 6 Zachycení prachových částic v dýchacím systému [16]

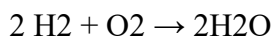
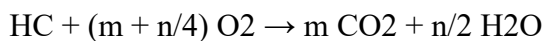
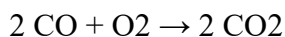


Primární uhlík vzniká spalováním neodpařených kapek paliva při vysoké teplotě a lokálního nedostatku vzduchu. Organické složky PM tvoří nespálené palivo a olej u kterého neproběhla oxidace nebo pyrolýza.

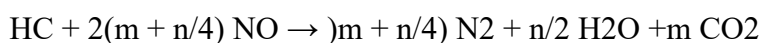
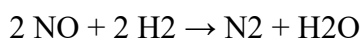
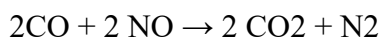
4.4 Dodatečná úprava výfukových plynů

Výfukové plyny mohou být dodatečně upravovány, aby došlo ke snížení produkovaných škodlivin. K těmto úpravám dochází u zážehového motoru za použití třícestného katalyzátoru (známého také jako oxidačně-redukční). Proces funguje na principu látky (katalyzátoru), která vstupuje do chemické reakce, ale sama se nemění. V tomto případě se jedná o katalyzátor třícestný, neboli trojčinný. Toto označení se používá proto, že jeho hlavním účelem je přeměnit tři složky výfukových plynů (CO, NO_x a HC) na pro okolí neškodné látky.

V třícestném katalyzátoru probíhají reakce pomocí oxidace a pomocí redukce oxidu dusnatého. Pomocí oxidace mohou v katalyzátoru probíhat tyto reakce: Přeměna oxidu uhelnatého na oxid uhličitý, přeměna nespálených uhlovodíků na oxid uhličitý a vodní páru a oxidace vodíku na vodní páru.



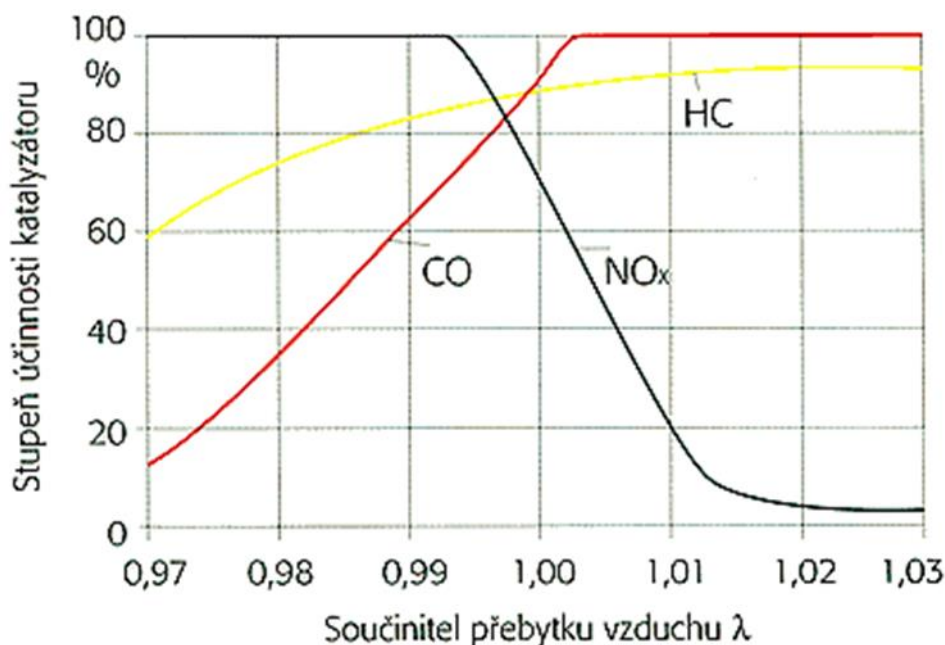
Pomocí redukce oxidu dusnatého probíhají v katalyzátoru tři typy reakcí: Oxid dusnatý je pomocí redukce přeměněn na dusík a zároveň oxid uhelnatý je pomocí oxidace přeměněn na oxid uhličitý; oxid dusnatý je pomocí redukce přeměněn na dusík a vodík je pomocí oxidace přeměněn na vodní páru; oxid dusnatý je pomocí redukce přeměněn na dusík a nespálené uhlovodíky jsou pomocí oxidace přeměněny na oxid uhličitý a vodu.



Pokud dochází ke spalování chudé směsi, ve spalínách je sice dostatečné množství směsi pro oxidaci, zároveň ale nemůže probíhat redukce. Naopak tomu je, pokud dochází ke spalování bohaté směsi – ta při spalování vytváří velké množství oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků nezbytných k redukci oxidu dusnatého, ovšem nedostatek kyslíku v této směsi

neumožní další oxidace. Proto, aby mohly probíhat oba procesy současně (oxidace i redukce), musí být spalovaná směs co nejvíce identická se stechiometrickou směsí, jak je zobrazeno na obrázku 7. [1]

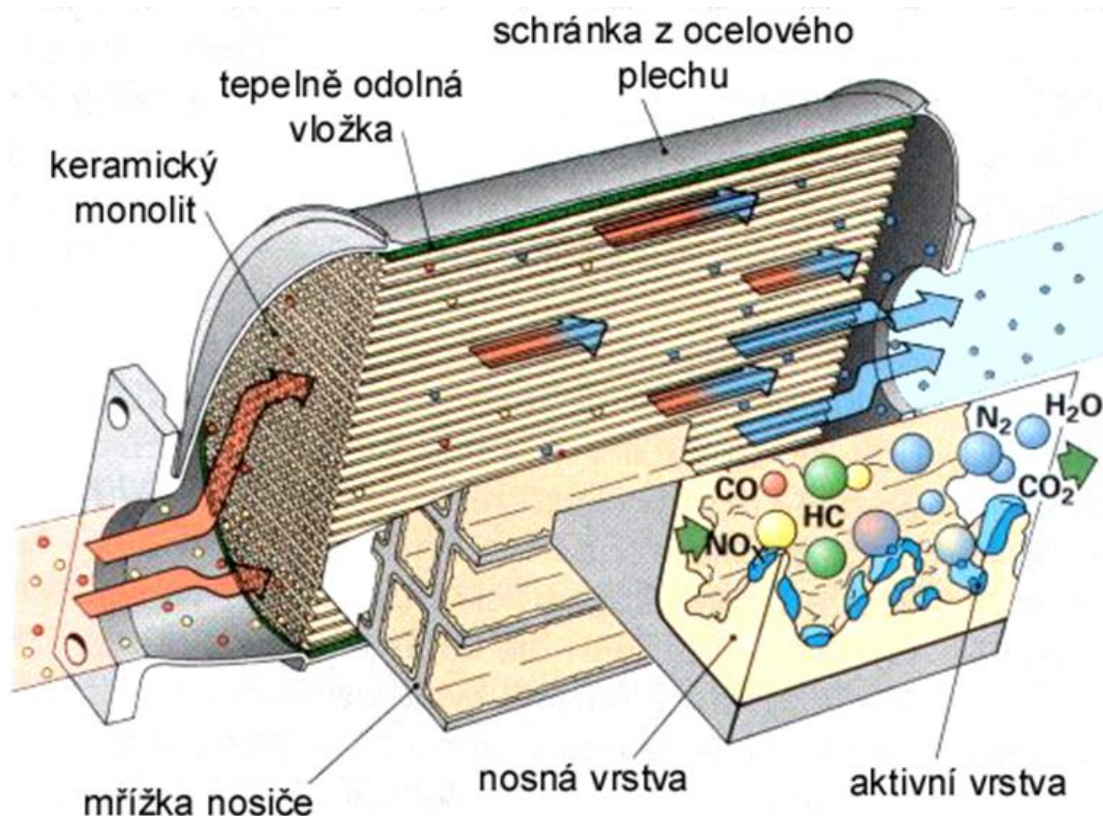
Obr. 7 Účinnost katalyzátoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ [1]



Pro proces je žádoucí zachování vhodného poměru výfukových plynů vznikajících spalováním stechiometrické směsi. Aby byl tento poměr zachován, umísťuje se před katalyzátor lambda sonda. Látky, které mohou chemické reakce urychlit, jsou nejčastěji drahé kovy, jako je platina, paladium, nebo rhodium. Tyto látky jsou ve slabých vrstvách mřížky katalyzátoru.

Pro správný průběh reakce v katalyzátoru je nezbytná teplota minimálně 250°C (při této teplotě začíná být katalyzátor účinný), pro maximální účinnost je však třeba dosáhnout teploty 400 – 800°C. Od teploty nad 600°C nastává samočištění, což může zabránit zanášení aktivní vrstvy. Pokud teploty přesáhnou hodnotu 1000°C, začne docházet k výraznému tepelnému stárnutí katalyzátoru a při hodnotách nad 1400°C dojde ke zničení katalyzátoru, konkrétně způsobené spečením drahých kovů s podkladovou vrstvou katalyzátoru. Katalyzátor byl dříve umístován blíže k motoru právě z důvodu, aby docházelo k rychlejšímu zahřátí a jeho účinnost se zvyšovala dříve po startu. Při tomto postupu ale také hrozilo jeho přehřátí, proto se aktuálně katalyzátor umísťuje do větší vzdálenosti od motoru a jeho pomalejší ohřívání je ošetřeno elektrickým ohřevem. Na obrázku 8 je zobrazen řez třicestným katalyzátorem. [6][7]

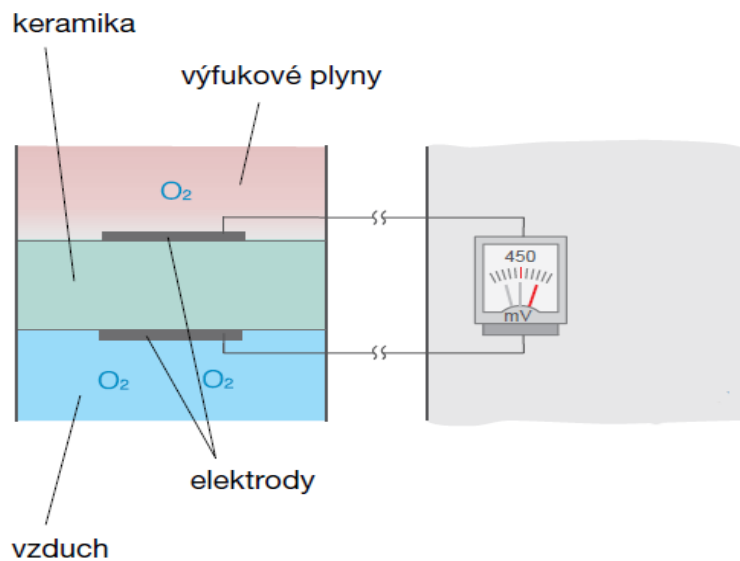
Obr. 8 Řez oxidačně-redukčním katalyzátorem [1]



Jak již bylo zmíněno, ke zvyšování účinnosti regulátoru pomocí optimalizaci směsi výfukových plynů lze využít lambda regulaci. Za pomoci elektronicky řízeného vstřikování. Doba je vyhodnocována řídicí jednotkou na základě zatížení motoru, otáček a signálu Lambda sondy. Životnost lambda sond je cca 150 000 km. U zážehových motorů bez přímého vstřiku paliva se používá dvoustavová lambda sonda.

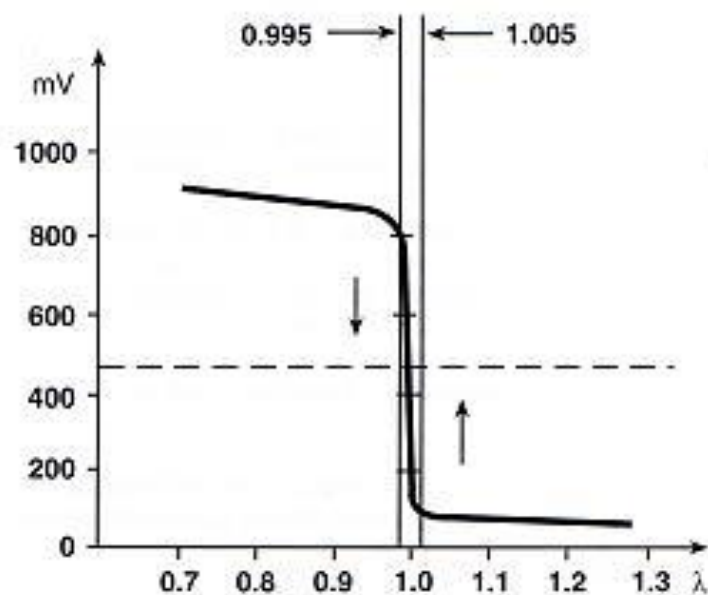
Základem pro dvoubodovou lambda sondu je buňka tvořená keramickým článkem, na kterém jsou z obou stran umístěny elektrody, jak je zobrazeno na obrázku 9. Jedna z elektrod je v kontaktu se spalinami, druhá se vzduchem. Mezi elektrodami vznikne díky různé koncentrace kyslíku napětí. [6][7]

Obr. 9 Schéma dvoustavové lambda sondy [22]



Dvoubodová lambda sonda je ve vozidle na dvou místech. První je umístěna před katalyzátorem ve výfukovém potrubí a slouží k určení složení směsi – vyhodnocuje, zda a v jakém množství je ve spalínách obsažen zbytkový kyslík. Druhá sonda se nachází za katalyzátorem a jejím hlavním účelem je umožnit řídicí jednotce vyhodnocení případné závady v katalyzátoru – závadu predikují stejné signály vysílané z obou lambda sond. Řídicí jednotka přijímá signály v podobě napětí. Toto napětí se při spalování bohaté směsi pohybuje okolo hodnoty 900mV, při spalování chudé směsi je velikost napětí cca 100mV, jak je vidět na obrázku10. [6][7]

Obr. 10 Závislost napětí na součiniteli přebytku vzduchu λ dvoudobé lambda sondy [21]



4.5 Metody měření emisí

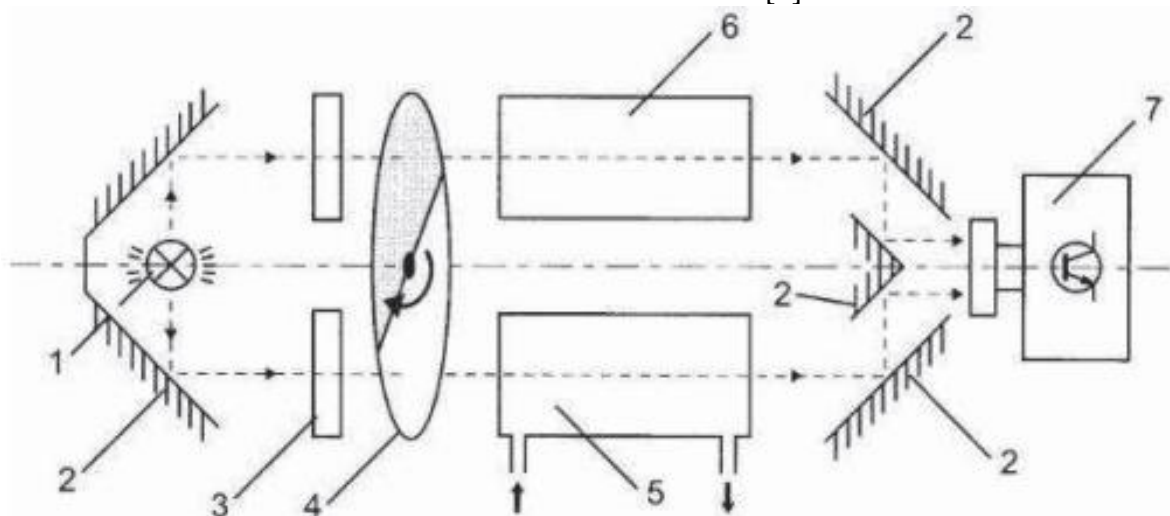
Emise jsou zjišťovány pomocí velmi přesných analyzátorů a je třeba, aby byly přesně dodrženy podmínky měření. Pro správnost prováděného měření musí mít motor provozní teplotu, musí být utěsněna výfuková soustava, dále musí správně fungovat zapalovací i palivová soustava, zároveň musí být správně nastavené volnoběžné otáčky a pro správnost výsledků je také nezbytné, zařadit při samotném měření neutral.

U zážehových motorů je v tématice emisí nejdůležitější, zjistit koncentraci plyných látek. K tomu lze použít vícero typů měření, jejich základní principy budou vysvětleny v následujících podkapitolách. [9]

4.5.1 Princip absorpce infračerveného záření

Tato metoda umožňuje změřit koncentraci plyných složek pomocí infračerveného záření. Je označována jako NDIR – toto označení pochází z angličtiny a znamená Non-Dispersive Infrared. U požadované směsi je přítomnost individuálního plynu zjišťována pomocí takzvaného absorpčního koeficientu, který je závislý na vlnové délce záření. Díky tomu, že je tento koeficient neopakovatelný pro všechny plyny, které jsou složeny alespoň ze dvou různých atomů, může být využíván jako analyzátor plyných složek. Kromě automobilového průmyslu je tato metoda využívána také v čidlech kvality vzduchu. Schéma NDIR je zobrazeno na obrázku 11, kde je 1 - zdroj infračerveného záření, 2 - reflektor, 3 - filtr výběru pracovní vlnové délky, 4 - rotační clona, 5 - měřící kyveta, 6 - reflexní kyveta, 7 - detektor. [9][2]

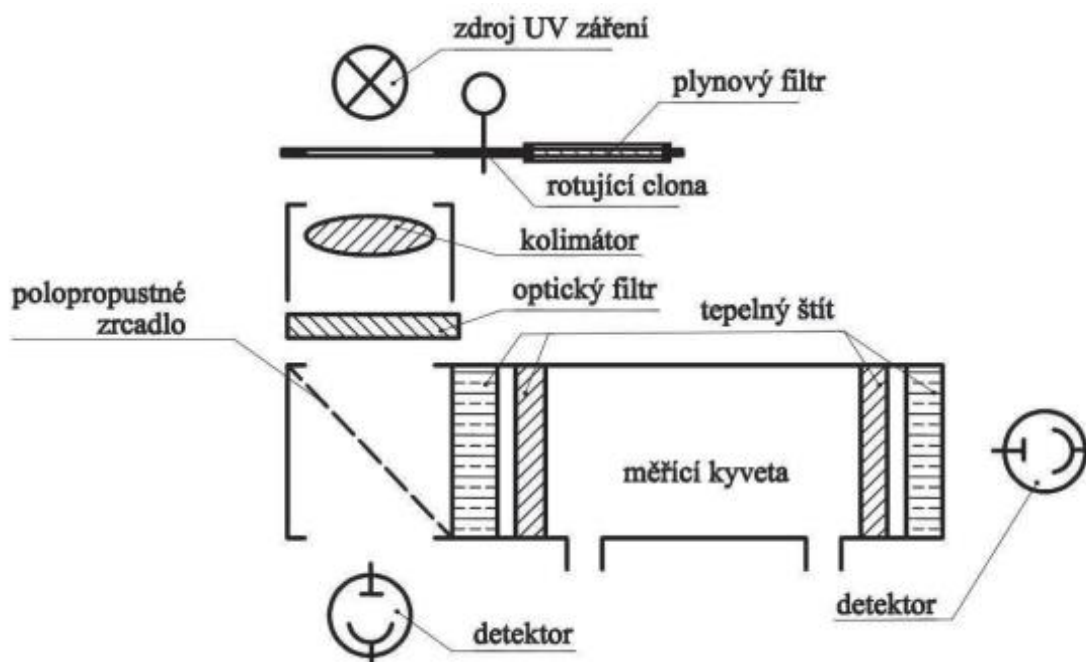
Obr. 11 Schéma NDIR [2]



4.5.2 Princip absorpce ultrafialového záření

Tento princip je označován jako NDUV – označení pochází z angličtiny a znamená Non-Dispersive-Ultraviolet. Podstatou měření pomocí tohoto optického analyzátoru je ultrafialové záření, které je vedeno měřicí kyvetou. Zde probíhá proces, při kterém aktivní složky obsažené ve výfukových plynech pohltí část vedeného UV záření. I u tohoto principu je využívána odlišná délka UV světla a proto se při analýze různých plynů využívají také různé vlnové délky UV světla. Paprsek světla směřuje přímo na korekční detektor a při generaci napětí v elektronických zařízeních, je lineární ke koncentraci analyzované složky plynu. U této metody udává životnost výbojka s plynovou náplní a dutou katodou, která plní funkci zářiče. Schéma NDUV je zobrazeno na obrázku 12. [9]

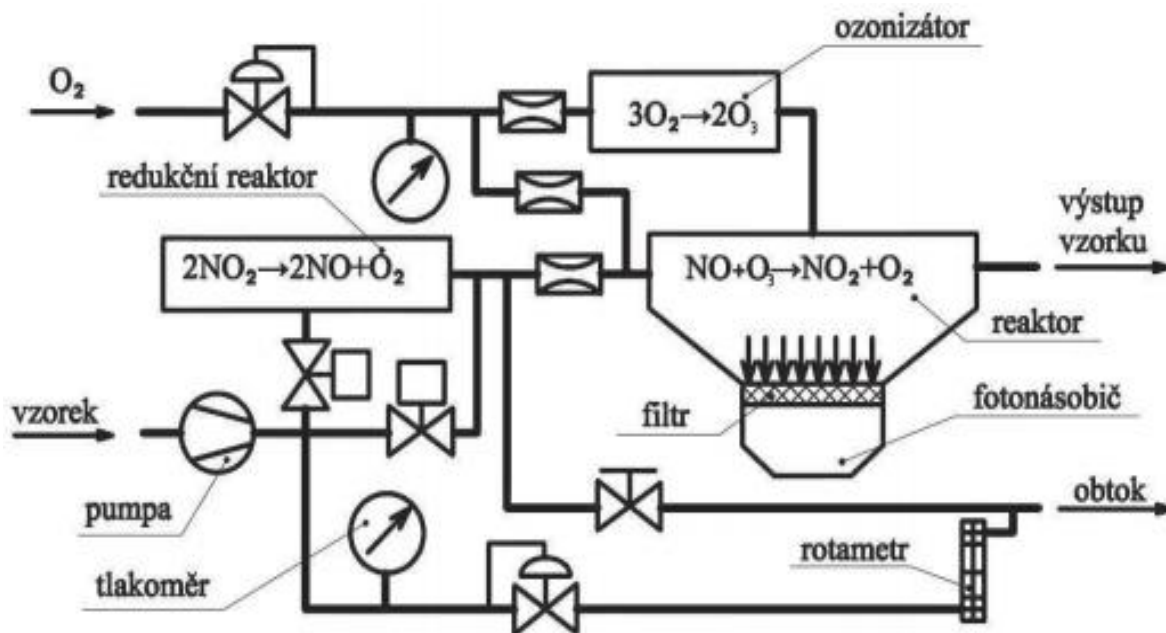
Obr. 12 Schéma NDUV [9]



4.5.3 Princip chemické luminiscence

Chemická luminiscence je nejčastěji využívána pro měření koncentrace oxidu dusíku. Pro tuto chemickou reakci je vstupní látkou NO, ale vstupuje do ní také ozón, který se uměle vyrábí ve speciálních přístrojích. Nejprve dojde ke zjištění koncentrace oxidů dusíku, následně se elektromagnetické ventily přepnou, čímž je vzorek plynu vehnán do vyhřívaného katalytického reaktoru, kde dochází k mnoha chemickým reakcím, jako je například redukce oxidu dusičitého na oxid dusnatý. Požadovaná koncentrace NO₂ lze pak snadno zjistit pomocí rozdílu hodnot oxidu dusičitého a oxidu dusnatého. Schéma přístroje pracujícího na principu chemické luminiscence je zobrazeno na obrázku 13. [9]

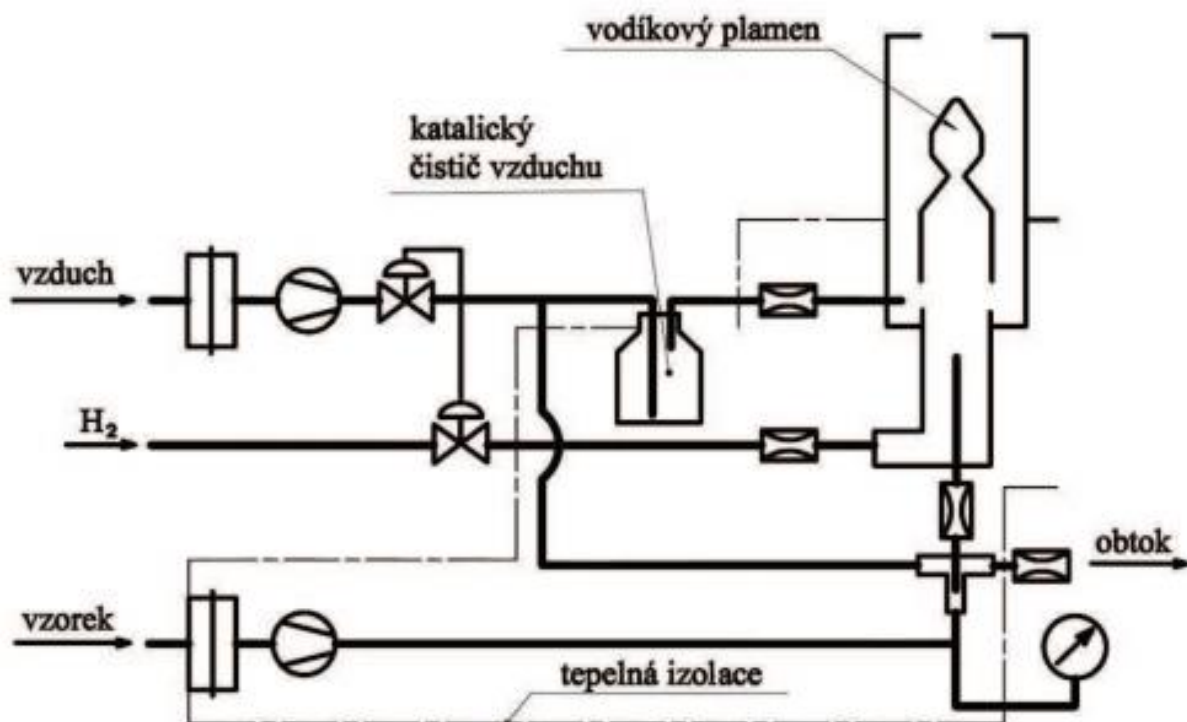
Obr. 13 Schéma přístroje pracujícího na principu chemické luminiscence [9]



4.5.4 Princip změny elektrické vodivosti vodíkového plamene

U této metody se pracuje se změnou elektrické vodivosti vodíkového plamene tak, že na plamen vodíku se vzduchem je připojen potenciál, čímž vznikne proud iontů. Ten poté narůstá úměrně se zvyšovaným množstvím uhlovodíků. Vzduch je míchán s vodíkem ještě před samotným vstupem do hořáku především kvůli zachování tvaru plamene. Tlak vodíku je regulován v závislosti na spalovacím vzduchu, čímž lze zajistit trvale stejný směšovací poměr. Zmíněný proud iontů snímá dvojici elektrod, z nichž jedna elektroda je většinou hořákem tělesa, zatímco druhá má obvykle tvar šroubovice (v méně častých případech ji tvoří rovný drát) a nachází se nad plamenem, který vzniká pomocí dalšího nezbytného komponentu – žhavicí svíčky. Schéma přístroje pracujícího na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene je zobrazeno na obrázku 14. [9]

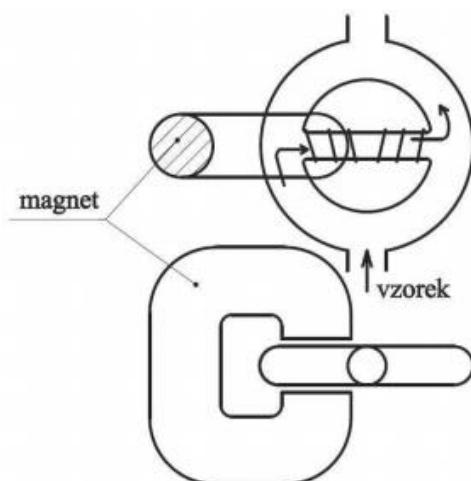
Obr. 14 Schéma přístroje pracujícího na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene [9]



4.5.5 Princip magnetických vlastností

Další možností, jak zjistit koncentraci plyných látek, je využití elektromagnetických vlastností spolu s permeabilitou. Permeabilita představuje, jaký mají určité vlastnosti plynu vliv na silové účinky magnetického pole. Často se používají při určení koncentrace kyslíku. Hlavní součástí tohoto analyzátoru je magnet, který vtahuje molekuly kyslíku. Magnet vtahuje kyslík z levé větve prstence, který následně ztrácí magnetismus a zvyšuje okolní teplotu, čímž dochází k jeho dalšímu vytlačování studeným kyslíkem. Tím jsou strhávány další již nemagnetické molekuly, které umožňují průtok kanálem. Levé vinutí je chlazeno proudem vzduchu nemagnetického kyslíku. Právě z rozdílu teplot vinutí lze následně stanovit koncentraci kyslíku. Schéma přístroje pracujícího na principu magnetických vlastností je zobrazeno na obrázku 15. [9]

Obr. 15 Schéma přístroje pracujícího na principu magnetických vlastností [9]



4.6 Plyn HHO

Jedná se o směs plynného vodíku s kyslíkem (v zastoupení 2:1) a je známý také jako oxyhydrogen, nebo jako Brownův plyn. Tento plyn vzniká elektrolyzou vody. Vlastnosti plynu HHO jsou zásadní pro pochopení funkce plynu při spalovacích procesech a při jeho kontaktu s benzinem (případně jinými konvenčními palivy). Pro celkový kontext je rovněž třeba pochopit výrobu plynu HHO ve vozidle. Tyto témata jsou zpracovány v následujících kapitolách.

4.6.1 Vlastnosti plynu HHO

Při porovnání směsi čistého vodíku a kyslíku, tedy O_2H_2 , a plynu HHO dochází k několika anomáliím a plyn se tak chová nečekaně. Například teplota plamene se může v závislosti na konkrétních podmínkách pohybovat mezi $150\text{ }^\circ\text{C}$ a až $9\ 000\text{ }^\circ\text{C}$. Navíc v plynu HHO je patrný rozdíl mezi naměřenou molekulární hmotností ($12,3\text{ g/mol}$) a očekávanou molekulární hmotností ($11,3\text{ g/mol}$). Tento rozdíl je zapříčiněn tím, že kromě molekulárních vazeb zde působí také vazby magnetické. Někteří odborníci tyto anomálie připouští a dále je zkoumají, jako příklad lze uvést M. Cloonana, oproti tomu například J. Calo, nebo J. Kadeisvili tyto anomálie nepřipouští a považují je za závěry učiněné bez řádného zkoumání. K tomuto skeptickému pohledu se kloní i autoři B. Subramanian a S. Ismail, podle kterých směs $H_2 + O_2$ dosahuje při stechiometrickém poměru naprosto shodných hodnot, jako plyn HHO.

Ve spalovacím procesu může mít plyn HHO stejný vliv, jako když je palivo obohacováno čistým plynným vodíkem. Pokud totiž porovnáme množství kyslíku, který lze vytvořit pomocí vyvíječe, zjistíme, že tato hodnota je vyšší, než množství kyslíku v nasátém vzduchu. [12]

4.6.2 Výroba plynu HHO

Plyn je vyráběn z destilované vody, u které se za pomoci speciálního prostředku zvyšuje vodivost. Aby se zvýšil počet iontů ve vodě, je možné použít celou řadu látek, z nichž nejběžnější je oxid draselný (je nejvhodnější i díky tomu, že se při reakci nespotřebovává). Samotný proces se nazývá elektrolýza a probíhá ve vyvíječi plynu, který je obecně známý jako palivový článek (toto označení je však fakticky nesprávné). Vyvíječe dále dělíme na dva základní typy: suchý vyvíječ, pro který je typické, že voda prochází pouze dutinami vyvíječe a mokrá vyvíječ, u kterého jsou všechny komponenty, podílející se na elektrolýze, ponořené ve vodě. [13]

Při elektrolýze se mění elektrická energie na chemickou. Elektrolýza vody je sice energeticky nejnáročnější, ale zároveň se jedná o nejčistší proces výroby vodíku. Pro automobilový průmysl jsou běžnější suché vyvíječe a to i přesto, že oproti mokrým produkují menší množství plynu, jsou méně stabilní a složitější na údržbu. Na druhou stranu stěžejním argumentem pro použití suchého vyvíječe je fakt, že jim stačí méně elektrického proudu a nevytváří takové množství tepla. Další výhodou suchých vyvíječů je jejich kompaktnost, která je v automobilovém průmyslu velmi důležitá. [13]

4.6.2.1 Suchý vyvíječ

Základem pro tento typ vyvíječe je několik elektrod, jejichž konkrétní počet se může lišit. Každý vyvíječ musí ale vždy obsahovat minimálně jednu kladnou elektrodu (anodu) a zároveň minimálně jednu zápornou elektrodu (katodu). Vyvíječ obsahuje také ocelové pláty, které působí jako neutrální elektrody (nejsou napojeny na elektrický obvod). Pláty jsou vyráběny z nerezové oceli, někteří výrobci se postupně staví za přidání titanu, a jsou odděleny gumou, která slouží i jako těsnění elektrod. Uzávěry vyvíječe jsou většinou plastové a stažené pomocí svorníků. Právě uzávěr umožňuje i připojení hadice pro odvody plynu a přívod vody. Běžný uživatel může předcházet nadměrnému znečištění vyvíječe tím, že po určitém najetém úseku změní polaritu elektrod. [13]

4.7 Vodík a jeho vlastnosti

V přírodě je atom vodíku nejlehčím prvkem, tvořený jedním protonem a jedním elektronem. Vodík je cca 14x lehčí než vzduch a proto se v něm rozpouští velmi snadno. Jeho elektrická vodivost v pevném stavu je vyšší, než u všech ostatních známých pevných prvků. Jako plyn má vodík také obrovskou tepelnou kapacitu. Vodík lze poměrně snadno rozpustit v kovech. Některé vysokopevnostní oceli jsou proto náchylné k vodíkové křehkosti.

Atom vodíku je díky své reaktivitě v přírodě pouze v chemicky vázaných formách. Pro rozložení molekuly vodíku na jednotlivé atomy je třeba vysokých teplot. Nejčastěji je vodík vázán na uhlík, nebo kyslík. Vodík reaguje i při pokojových teplotách a dokáže například redukovat soli a tím přivádět sloučeniny do kovového stavu.

Vodík by společně s elektřinou dokázal plnohodnotně nahradit všechny ostatní zdroje energie, které jsou lidmi využívány. Ekosystém tvořený vodíkem a elektřinou by navíc sliboval trvalé řešení a naprostou nezávislost na jiných zdrojích energie. Tuto možnost umožňuje fakt, že vodík je ideálním nosičem energie. Jeho unikátní vlastnosti umožňují například jeho výrobu pomocí elektrické energie, nebo jeho následná přeměna zpět na ni. Další zásadní vlastností pro využití vodíku je možnost vyrábět jej z vody, nebo jeho kompletní obnovitelnost. Můžeme se s ním setkat jako s plynem, nebo jako s kapalinou, také se s ním lze setkat jako s hybridem kovů. Zároveň je možné ho přeměňovat na jiné formy energie a to s daleko vyšší efektivitou, než jiná paliva. K této přeměně může docházet hydridováním, katalyckým spalováním, nebo pomocí elektrochemické přeměny.

Na jeho využití a skladování je pohlíženo jako na velmi ekologické. Při jeho výrobě, ani při skladování či přepravě nevznikají škodlivé látky ani skleníkové plyny. Vodíková ekonomika představuje stav, kdy by byl vodík vyráběn ve velkém množství z dostupných zdrojů a nahradil by použití fosilních paliv. Na druhou stranu, jako nejlehčí prvek je vodík obtížně skladován. K neekologičtějšimu a zároveň nejefektivnějšimu využití vodíku dochází při elektrochemické reakci v palivových článcích. Tato aplikace je ale zatím představou budoucnosti, a to především z finančních důvodů a kvůli obtížné aplikaci skladování. Co je ale naopak aktuálním tématem, které se v dnešní době často diskutuje, je využití vodíku jako palivového zdroje pro spalování v motorech. Tato aplikace má totiž za efekt výrazné snižování emisí.

Vodík je velmi hořlavý ve velkém spektru teplot i koncentrací, a to přesto, že je jeho výbušná účinnost velmi oceňována pro možnost využití vodíku jako paliva budoucnosti. Reakce vodíku s kyslíkem způsobí explosivní uvolnění energie z vodíku (k tomuto procesu dochází ve spalovacím motoru, nebo v palivovém článku za vzniku vody, která je jediným vedlejším produktem tohoto procesu).

Oproti ostatním palivům má vodík největší energetický obsah na jednotku hmotnosti. Pro srovnání může být tato hodnota v porovnání s hodnotou benzínu až trojnásobná. Oproti tomu, pokud je sledován energetický obsah na jednotku objemu, je objemová hustota vodíku oproti benzínu čtvrtinová, což způsobuje již zmiňovaný problém se skladováním. V Automotive by pro dosažení co nejdelšího možného dojezdu bylo třeba zastavení velkého prostoru, kde by mohlo být uloženo větší množství vodíku. [14]

4.7.1 Vodík a jeho funkce jako paliva

Trendem pokroku je již od prvních paliv snaha o použití co nejčistších zdrojů. Molekuly se s vývojem zmenšují – snižuje se poměr uhlíku, a naopak je velká snaha o využití vodíku. Z toho je patrné, že další vývoj by měl směřovat k takovému použití vodíku, který by řešil rizika spojená se spalováním paliv obsahujících uhlík.

Největším rizikem spojeným s použitím uhlovodíkových paliv je nežádoucí vznik skleníkových plynů a dalších škodlivých emisí. Oproti tomu při použití vodíku v reakci s kyslíkem, je z vodíku uvolňována energie (k jejímu uvolnění dochází v motoru, nebo v palivovém článku pomocí elektrochemické reakce). Při využívání vodíku vzniká jako odpad pouze vodní pára a NO_2 .

Jelikož samotný vodík se v přírodě nevyskytuje, je nutné ho vyrábět. K výrobě vodíku z vody může být využíváno mnoho energetických zdrojů, jako například nukleární energie, zemní plyn, sluneční energie, uhlí, biomasa, nebo třeba větrná energie. Největším aktuálním zdrojem vodíku jsou fosilní paliva, tato výroba ovšem nesplňuje základní poslání – tedy využití obnovitelných zdrojů energie.

Jako nejlogičtější (ač zatím stále velmi málo zastoupené) řešení se jeví obnovitelné zdroje, které jsou nejlépe dostupné a mohli by tak zajistit dobrý přístup k vodíkovému palivu. K celoplošnému používání vodíkových paliv je třeba vyřešit několik zásadních technologických otázek. Jedná se zejména o cenově přijatelnou výrobu a možnosti skladování vodíku ve vozidle.

Vodík lze jako pohon automobilů použít buď jako součást palivových článků, nebo přímým spalováním vodíku v pístovém motoru. Téma přechodu z uhlovodíkových na vodíkové typy pohonu je stále více diskutované a názory na něj se často diametrálně rozcházejí. Zatímco někteří vidí v potenciálu uhlíku velkou příležitost k tomu, stát se energeticky nezávislymi, jiní naopak stále poukazují na fatální nedostatky, které vodíková ekonomika obsahuje.

Jak již bylo uvedeno, pro budoucnost je klíčové, aby bylo palivo díky obnovitelným zdrojům nevyčerpatelné, čisté a zároveň jednoduše využitelné. Všechna tato kritéria vodík splňuje a jeho použití jako náhrada za benzín je celosvětově propagováno. Stejně tak by mohl v budoucnu nahradit použití zemního plynu, topných olejů i ostatních paliv, používaných v dopravě i mimo ni.

Vodík je stejně jako elektřina kvalitním nositelem energie, při koncovém použití jej lze označit jako vysoce efektivní především díky nulovým, nebo zanedbatelným emisím. Výzkumy již prokázali, že je technicky možné využít vodík pro dopravu, vytápění a výrobu energie a může nahradit současná paliva ve všech způsobech jejich využití. V rámci možností výroby vodíku lze kromě již zmíněné analýzy použít například reformaci zemního plynu. [14]

5 Praktická část práce

Pro účely praktické části diplomové práce byl použit kompletní H2I samoinstalační systém pro motory do 120kW. Měření probíhalo na katedře vozidel pozemní dopravy a systém byl napojen na zážehový motor vozu ŠKODA Fabie 1.2 HTP.

5.1 Popis zařízení

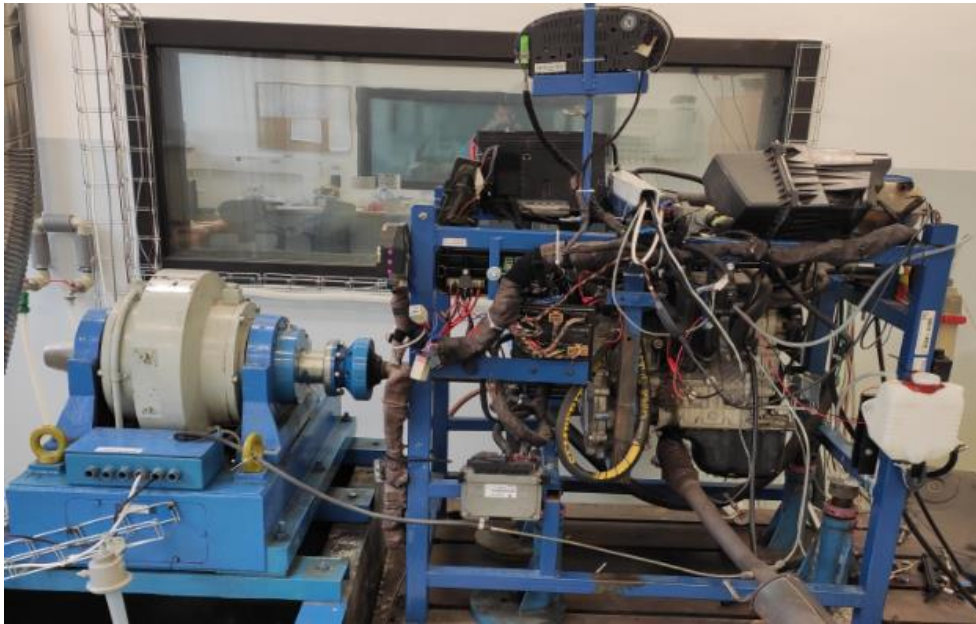
5.1.1 Motor

Měření probíhalo na motoru AWY 1,2 HTP, který je zobrazen na obrázku 16, ten byl montován do Škody Fabia v letech 2002-2007. Parametry tohoto motoru jsou zobrazeny v tabulce 4.

Tab. 4 Parametry motoru AWY [23]

Kód motoru	AWY (BRD)
Obsah	1198 cm ³
Max. výkon	40 kW při 4750 min ⁻¹
Max. točivý moment	106 Nm při 3000 min ⁻¹
Vrtání	76,5 mm
Zdvih	86,9 mm
Konstrukce	3-válcový řadový
	2 ventily na válec
Emisní norma	Euro 4
Předepsané palivo	bezolovnatý benzin okt. Č. 95
Řídicí jednotka	Simos 3PD (vícebodové vstřikování)

Obr. 16 Motor AWY a dynamometr V125



5.1.2 Dynamometr

Motor byl zatěžován pomocí vířivého dynamometru, jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 5. Dynamometr připojený k motoru je zobrazen na levé straně obrázku 16.

Tab. 5 Parametry brzdového stanoviště [23]

Dynamometr	
Typ	V125
Provedení	IP23/ICW37
Výkon (kW)	4,2 - 125 - 125
Točivý moment (Nm)	134 - 478 – 149,5
Otáčky (min-1)	300 - 2500 – 8000
Budící napětí (V)	91
Budící proud (A)	1,7
Hmotnost (kg)	550
Průtok vody (l/s)	0,9
Tlak vody (kPa)	90
ČSN	350000
Rok výroby	1986
Tenzometr	
Jmenovité zatížení (kN)	2
Sloučená chyba (% j.z.)	0,5
Reprodukovatelnost (%)	0,05

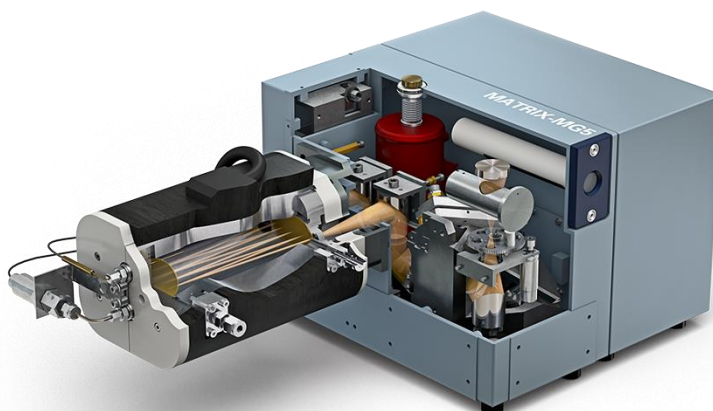
5.1.3 Analyzátor plynných emisí

Pro analyzování emisí CO₂, CO, NO_x, a HC byl použit spektrální analyzátor Matrix MG – 5, zobrazený na obrázku 17., jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 6.

Tab. 6 Parametry spektrálního analyzátoru Matrix MG-5 [23]

Spektrální analyzátor Matrix MG-5	
Spektrální rozsah	650 - 5000 cm ⁻¹
Rozlišení	lepší než 1 cm ⁻¹
Rychlost skenování	až 32 spekter/s při DS=4 cm ⁻¹
	až 5 spekter/s při Ds=0,5 cm ⁻¹
Přesnost měření vlnové délky	lepší než 0,01 cm ⁻¹
Fotometrická přesnost	lepší než 0,1% T
Interferometr	RocksolidTM, s permanentním zaostřováním
Příkon pro vyhřívání cely	220 W
Příkon spektrometru	65 W
Detektor	MCT
A/D převodníky	24b
Délka měřicí cely	2 m
Interface	Ethernet
Software	OPUS spectroscopy software

Obr. 17 Spektrální analyzátor Matrix MG-5 [19]



5.1.4 Analyzátor pevných částic

Pro měření množství a velikosti pevných částic byl použit částicový analyzátor TSI EEPS 3090, zobrazen na obrázku 18. a jeho parametry jsou zobrazeny v tabulce 7.

Tab. 7 Parametry Částicového analyzátoru TSI EEPS 3090 [23]

Částicový analyzátor TSI EEPS 3090	
Rozsah měřených velikostí částic	5,6 - 560 nm
Rozlišení	16 kanálů na dekádu (32 kanálů celkem)
Počet elektroměrů	22
Režim nabíjení částic	Unipolární difúzní nabíječka
Vzorkovací frekvence	10 Hz
Průtok vzorku	10 l/min
Teplota vzorku	10 - 52 °C
Provozní teplota	0 - 40 °C
Pracovní tlak	70 - 103 kPa

Obr. 18 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090



5.1.5 HHO generátor

Pro účely praktické části diplomové práce byl použit kompletní H2I samoinstalační systém pro motory do 2,5 l nebo 120 kW. Sada obsahuje vyvíječ plynu, digitální multimetr, PWM regulátor, nádobu na vodu, zpětný ventil a montážní materiál. Sada je zobrazena na obrázku 19.

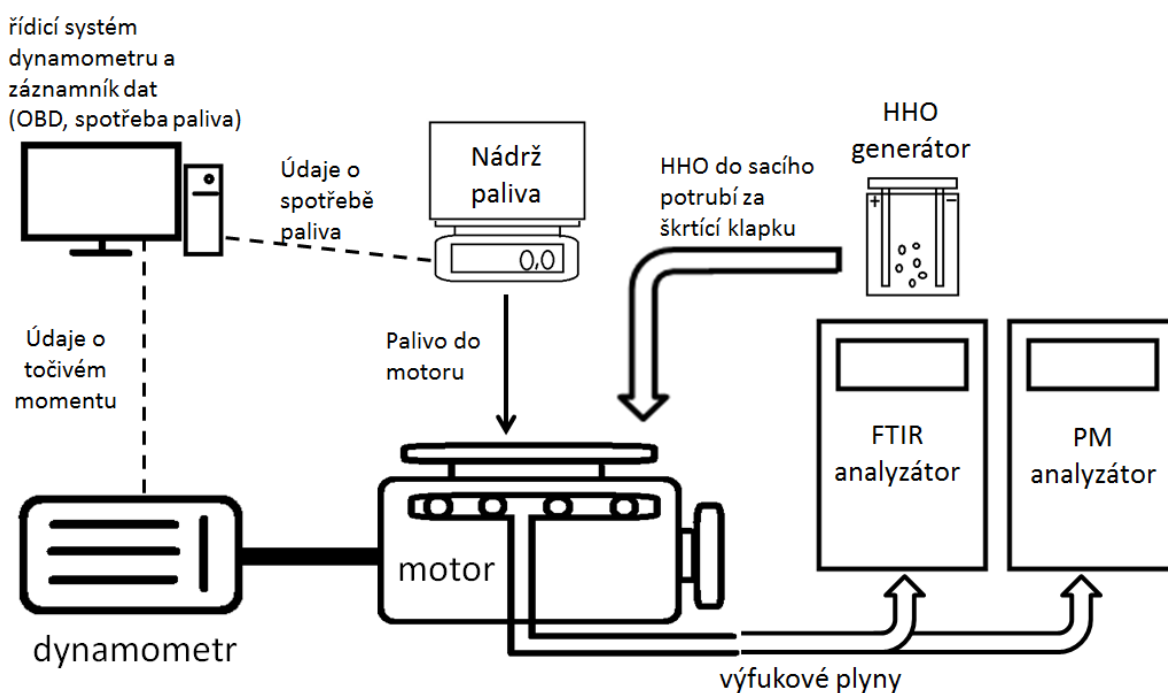
Obr. 19 H2i sada do 2500 ccm [20]



5.2 Metodika zapojení

Výše uvedené přístroje a zařízení bylo nutné zapojit, aby data byla časově synchronizovaná. Schéma zapojení je zobrazeno na obrázku 20. Kromě výše uvedených zařízení, byla ještě použita váha na měření hmotnosti paliva a počítač s příslušnými software.

Obr. 20 Schéma zapojení měření



5.3 Příprava na měření

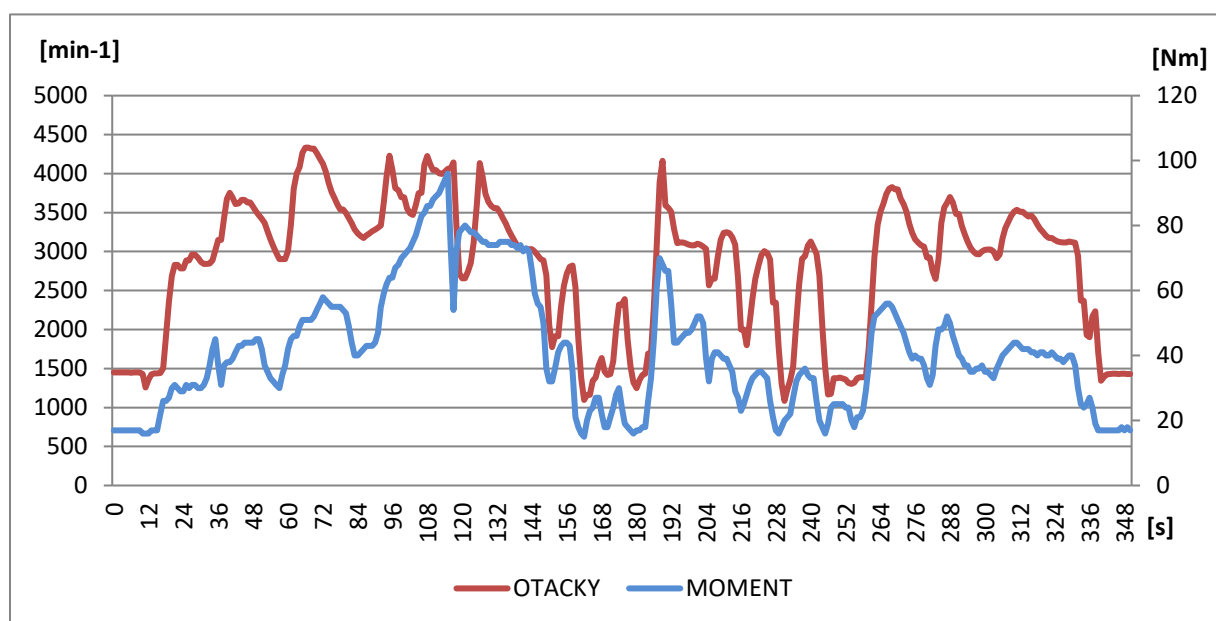
Nejprve bylo nutné odčerpat původní palivo v nádrži a vyměnit ho za palivo E85 zakoupené 19.2.2020 na čerpací stanici KM-PRONA. Tedy zimní směs E85, to je směs 75% etanolu a 25% benzínu.

Dále bylo zapotřebí nainstalovat HHO generátor. Sada již byla přidělána na rámu motoru, jak je zobrazeno na obrázku n. Sada byla utěsněna a propojena hadicemi a elektrickými kabely. Elektrolyt tvořil pětiprocentní roztok NaOH. Vytvíječ byl napájen přímo z palubního akumulátoru. Multimetrem se zjistil příkon generátoru, ten činil 20 W, což je třetina maximálního příkonu udávaného výrobcem.

5.4 Postup měření

Původní měřený cyklus trvá 330 sekund, cyklus byl navýšen o 20 sekund volnoběhu (10 sekund před a 10 sekund za zatěžující cyklus). Těchto 20 sekund bylo přidáno kvůli zvýšení validity měření, protože při volnoběhu dojde k ustálení hodnot emisí. Zároveň se škodliviny z cyklu při zátěži stihnou výfukovým potrubím dostat k měřicím přístrojům. Průběh cyklu je zobrazen na obrázku 21. Tento 350 sekund trvající cyklus byl měřen 6x bez zapojení HHO generátoru a 6x při zapojení HHO vytvíče.

Obr. 21 Graf průběhu otáček a točivého momentu měřeného cyklu



Z obou skupin měření bylo pro vyhodnocení vyřazeno první měření, jelikož se některé naměřené hodnoty látek ve výfukových plynech výrazně liší od hodnot ostatních měření. U měření samotného E85 byly složky CH₄ a N₂O přibližně o 20% zvýšené a formaldehyd, který v práci není měřen primárně, je zvýšen přibližně 5x. V prvním měření E85 s HHO generátorem byly přibližně 4x zvýšeny emise NO a formaldehydu a 2x zvýšeny emise NO₂. Tato odlišnost prvních měření může být zapříčiněna nedokonalým zahřátím motoru a všech dalších komponentů.

Bohužel při měření s HHO generátorem nebyly měřeny emise H₂O a nelze z výfukových plynů spočítat množství plynu HHO přivedeného do motoru. Proto byl objem Brownova plynu zanedbán při přepočtu rozdílu hmotnosti jednotlivých složek výfukových plynů. Zároveň se počítalo se stejným součinitelem přebytku vzduchu, což znamená, že na gram paliva spáleného samotného E85 náležel stejný díl vzduchu jako u E85 + HHO.

Grafy produkce jednotlivých složek v čase nebyly tvořeny z průměru jednotlivých měření, jelikož při zprůměrování by nebyly píky tvorby tak vysoké a ostré. Řady samotného E85 reprezentuje měření 4 a řady E85 + HHO měření 2.

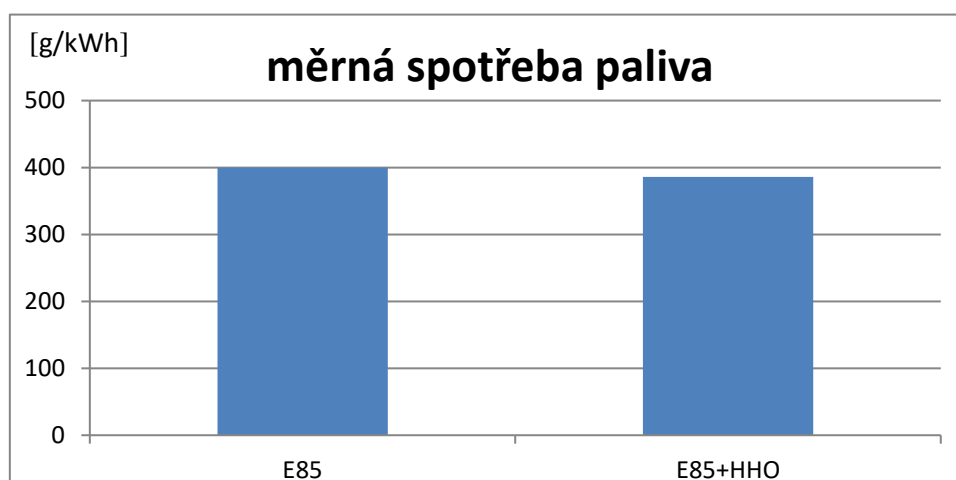
6 Výsledky a diskuze

6.1 Měrná spotřeba paliva

Měrná spotřeba paliva m_p byla vypočítána podle vzorce (1), kde Δm_p představuje rozdíl mezi hmotnostmi paliva na začátku a konci vyhodnocované fáze, P představuje výkon motoru a t je délka měřeného cyklu. Konstanty ve vzorci jsou použity pro převod na jednotky [g/kWh]

$$m_p = \frac{\Delta m_p * 3600}{P * t * 1000} \quad (1)$$

Obr. 22 Graf měrné spotřeby paliva



Tab. 8 Měrná spotřeba paliva

Měrná spotřeba paliva			
	E85	E85+HHO	Nárůst
	[g/kWh]	[g/kWh]	[%]
6. měření	409,76	392,34	
5. měření	404,81	387,97	
4. měření	396,34	385,99	
3. měření	395,20	383,00	
2. měření	392,80	379,37	
průměr	399,78	385,73	3,51%

Měrná spotřeba paliva E85 činila 400 g/kWh. Při použití HHO generátoru se měrná spotřeba paliva snížila o 3,5% jak je znázorněno v tabulce 8 a obrázku 22. Jak již bylo naznačeno v kapitole 5.4, bylo uvažováno, že o tyto 3,5% je i nižší celková hmotnost každé složky výfukových plynů, proto u každé složky, která je vyjádřena podílem (ppm, %) bude ještě přepočítáno o kolik procent se bude lišit, byla by měřena hmotnostně např. g/km nebo g/kWh.

S měrnou spotřebu paliva souvisí i celková účinnost motoru, ta byla vypočítána podle vzorce (2), kde H_u představuje výhřevnost paliva. Konstanta použitá ve vzorci slouží k převodu na základní jednotky při dosažení měrné spotřeby paliva v jednotkách [g/kWh]. Výhřevnost paliva byla vypočítána jako 75% výhřevnosti ethanonu + 25% výhřevnosti benzínu.

$$\eta_e = \frac{3600000}{H_u * m_p} \quad (2)$$

Tab. 9 Celková účinnost motoru

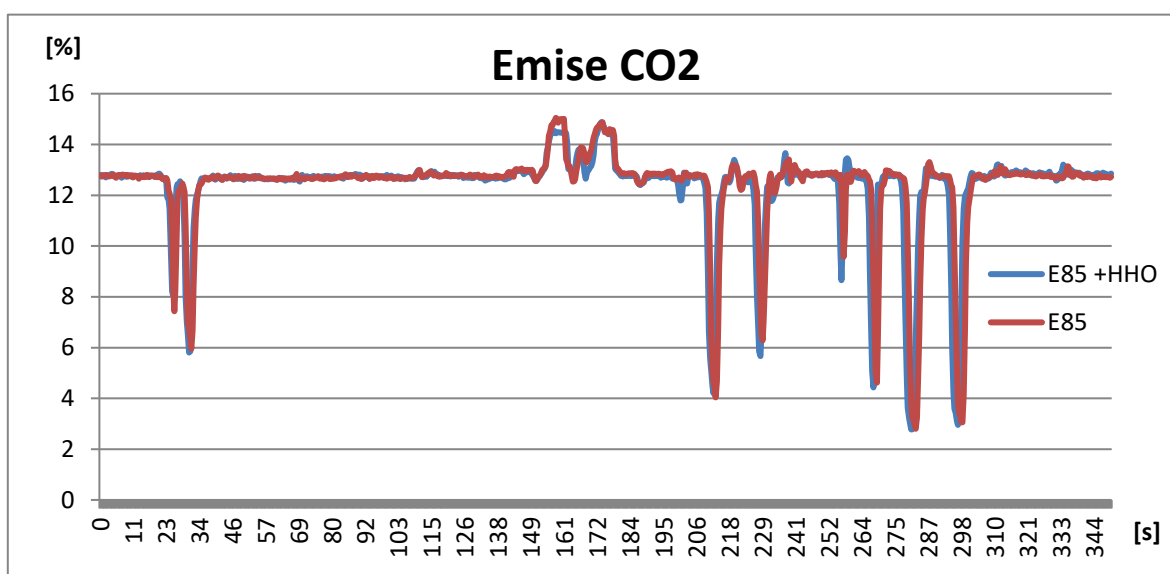
Celková účinnost motoru			
	E85	E85+HHO	Nárůst
	[%]	[%]	[%]
6. měření	27,00%	28,19%	
5. měření	27,33%	28,51%	
4. měření	27,91%	28,66%	
3. měření	27,99%	28,88%	
2. měření	28,16%	29,16%	
průměr	27,68%	28,68%	3,63%

Z tabulky 9 je patrné, že obohacení HHO vedlo ke zvýšení celkové účinnosti motoru o 1%, což je nárůst oproti samotnému E85 o 3,6%.

6.2 Emise CO₂

Výrobci automobilů se snaží, aby emise oxidu uhličitého byly co nejnižší, ovšem v podílovém zastoupení emisí, tedy v ppm (parts per million) respektive procentech, byly co nejvyšší, jelikož oxid uhličitý je produktem dokonalého spalování a uhlík obsažený v palivu pak netvoří oxid uhelnatý nebo nespálené uhlovodíky.

Obr. 23 Graf průběhu tvorby emisí oxidu uhličitého



Tab. 10 Emise oxidu uhličitého

Emise oxidu uhličitého				
	E85	E85+HHO	Nárůst	Přepočet
	[%]	[%]	[%]	[%]
6. měření	12,38	12,40		
5. měření	12,39	12,37		
4. měření	12,39	12,40		
3. měření	12,32	12,41		
2. měření	11,86	12,35		
průměr	12,27	12,39	0,97%	-2,58%

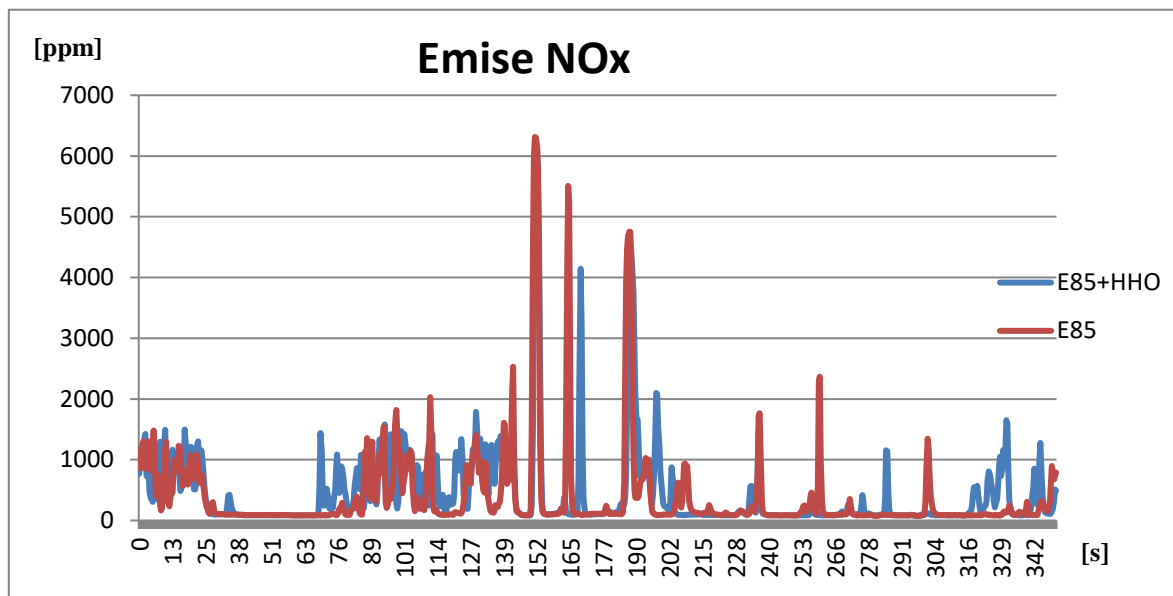
Použití HHO generátoru vedlo k mírnému zvýšení podílu oxidu uhličitého ve spalinách. Kdyby se měřila hmotnost produkovaných CO_2 , vedlo by použití HHO vyvíječe ke snížení o 2,6% jak je vidět z tabulky 10. Toto snížení se očekávalo, jelikož hmotnost CO_2 by měla být přímo úměrná hmotnosti spáleného paliva. Emise oxidu uhličitého jsou tedy v obou případech lepší s použitím HHO generátoru. Na obrázku 23 je znázorněn průběh tvorby CO_2 v čase, kde je vidět, že v obou případech je hodnota většinu času kolem 12,8% a při ustáleném režimu by pravděpodobně obě měření dopadla stejně.

6.3 Emise NO_x

Použití HHO generátoru zde vedlo k zvýšení oxidů dusíku o 10,7% a to především zásluhou zvýšení emisí oxidu dusnatého. Emise oxidu dusného se zvýšili nepatrně a oxidu dusičitého dokonce snížily, jak je znázorněno v tabulce 11. Po přepočtu by hmotnost oxidů

dusíku byla o 6,8% vyšší. Jednou z možných příčin mohlo být spalování v celkovém součtu chudší směsi než v případě samotného E85.

Obr. 24 Graf průběh tvorby emisí oxidů dusíku



Tab. 11 Emise oxidů dusíku

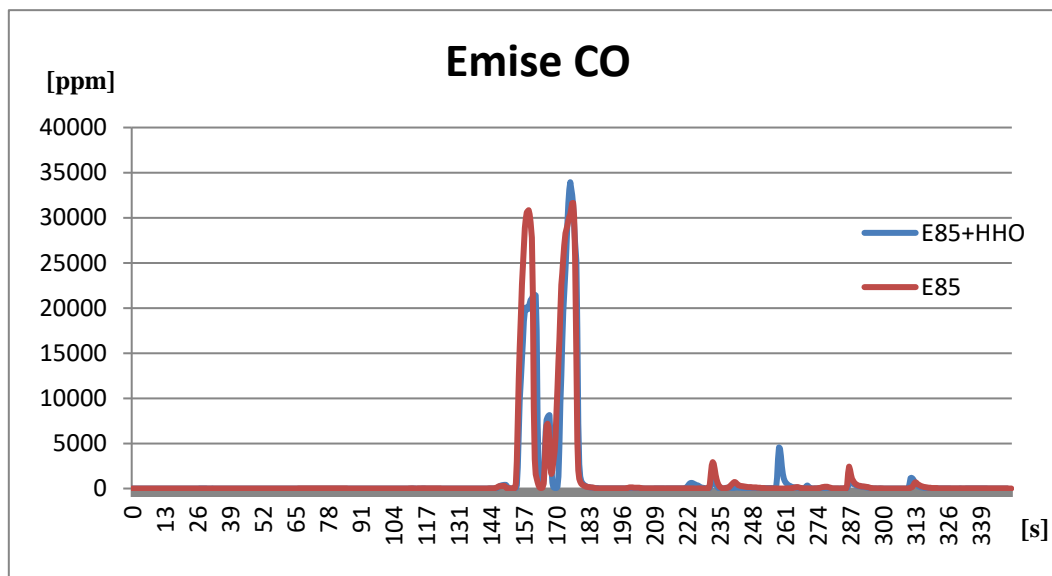
Emise oxidů dusíku										
	E85				E85+ HHO				Nárůst	Přepočet
	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]
	N2O	NO2	NO	NOX	N2O	NO2	NO	NOX	NOX	NOX
6. měření	7,78	31,07	379,01	417,85	8,12	28,45	402,38	438,95		
5. měření	7,78	32,04	358,74	398,56	7,91	29,09	389,86	426,87		
4. měření	7,68	33,33	358,80	399,82	8,07	29,86	401,32	439,25		
3. měření	7,87	34,49	308,73	351,10	8,08	30,91	420,04	459,03		
2. měření	8,49	32,74	395,36	436,58	8,14	31,07	415,20	454,41		
průměr	7,92	32,73	360,13	400,78	8,06	29,88	405,76	443,70	10,71%	6,82%

Z průběhu měření, který je zobrazen na obrázku 24, je vidět, že na rozdíl od měření ostatních složek kde se průběh tvorby překrývá a liší se pouze velikostí píků, zde má každá řada více odlišnou křivku.

6.4 Emise CO

Jelikož použití HHO vedlo k zvýšení podílu CO₂, očekávalo se, že podíl CO bude nižší. K tomu také došlo a to relativně hodně, podíl CO klesl o 14% a naměřená hmotnost by byla nižší o 17%, jak je patrné z tabulky 12. To mohlo být zapříčiněno kromě kvalitnějšího spalování, také spalováním chudší směsí, podobně jako předtím o NO_x.

Obr. 25 Graf průběh tvorby emisí oxidu uhelnatého



Tab. 12 Emise oxidu uhelnatého

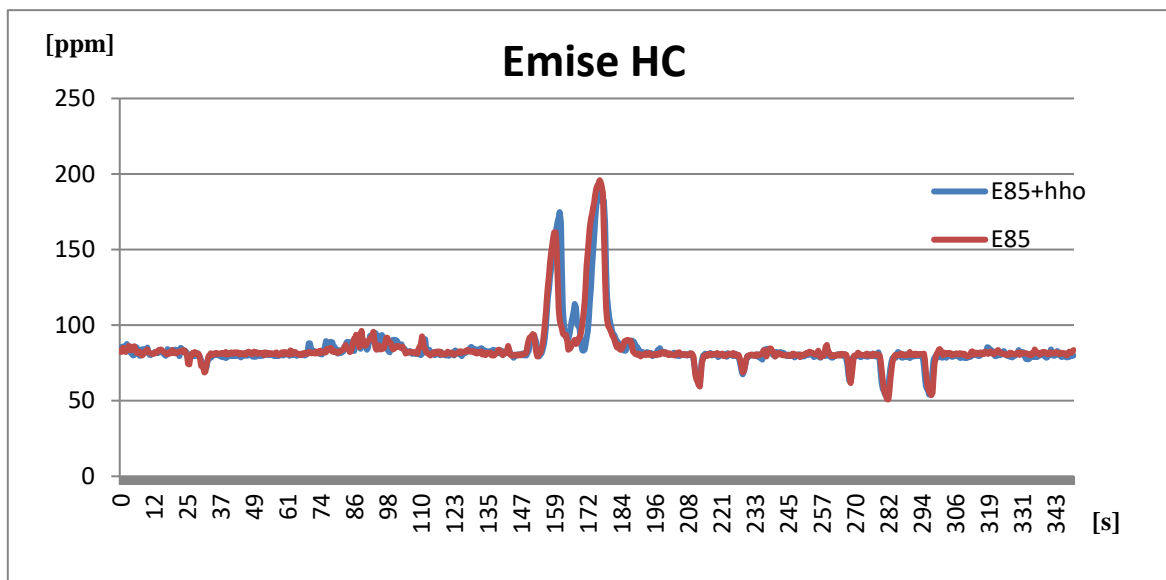
Emise oxidu uhelnatého				
	E85	E85+HHO	Nárůst	Přepoččet
	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]
6. měření	1040,74	1000,12		
5. měření	1171,89	1011,07		
4. měření	1164,94	929,08		
3. měření	1297,72	1021,39		
2. měření	1187,61	1070,58		
průměr	1172,58	1006,45	-14,17%	-17,18%

Po většinu času měření se byly hodnoty CO nulové, přibližně uprostřed cyklu jsou dva vysoké píky hodnot oxidu uhelnatého, jak je vidět na obrázku 25, které výrazně ovlivňují celkový průměr. Právě v těchto píkách je zásadní rozdíl tvorby CO při měření. CO se tvoří při potřebě vysokého výkonu, kdy je záměrně spalována bohatá směs. Kdyby měřený cyklus obsahoval více fází vysoké akcelerace, byl by rozdíl mezi měřeními samotného E85 a E85 + HHO mnohem vyšší.

6.5 Emise HC

Zástupce nespálených uhlovodíků byl použit samotný CH₄. Další měřené složky HC byly CH₂O a C₂H₄O, ty však vyšly zanedbatelně nízké a není s nimi dále počítáno. Zde vedlo použití HHO generátoru ke snížení podílu nespálených uhlovodíků o necelé 2% a rozdílu hmotnosti o více jak 5%, jak je znázorněno v tabulce 13.

Obr. 26 Graf průběhu tvorby emisí nespálených uhlovodíků



Tab. 13 Emise nespálených uhlovodíků

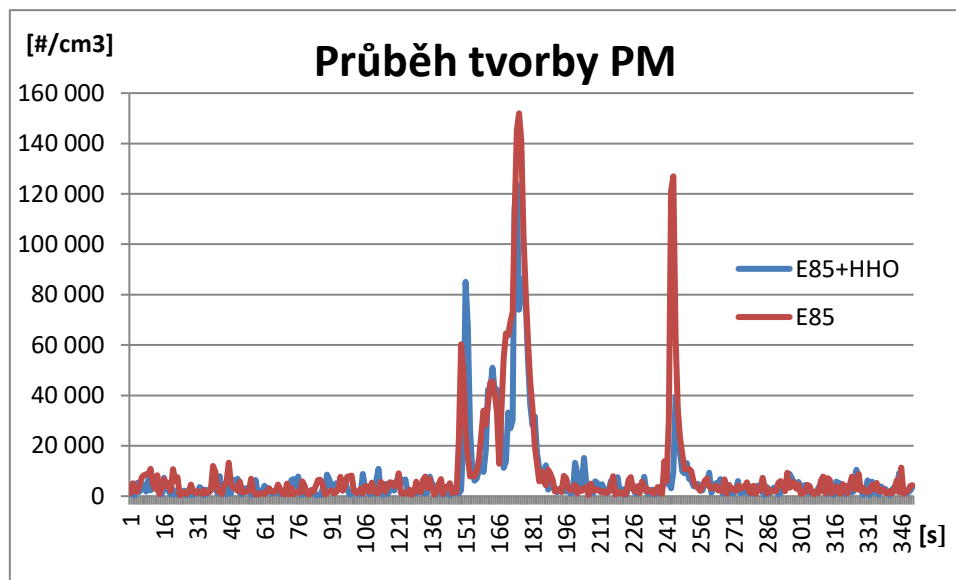
Emise nespálených uhlovodíků				
	E85	E85+HHO	Nárůst	Přepočet
	[ppm]	[ppm]	[%]	[%]
6. měření	83,53	83,66		
5. měření	84,32	83,72		
4. měření	84,40	83,13		
3. měření	85,69	83,22		
2. měření	88,05	84,19		
průměr	85,20	83,58	-1,90%	-5,34%

Z grafu na obrázku 26 je vidět, že hodnota emisí nespálených uhlovodíků se po většinu času pohybuje kolem 82 ppm. Na grafu jsou vidět 2 velké píky, které jsou ve stejnou chvíli cyklu jako u oxidu uhelnatého, pravděpodobně ze stejného důvodu.

6.6 Pevné částice

Pevné částice se ve většině případů motorů bez přímého vstřiku paliva do válce neřeší, protože jejich produkce je řádově nižší než u motorů s přímým vstřikem paliva do válce. Z grafu průběhu tvorby pevných částic na obrázku 27 je vidět, že i zde podobně jako u HC a CO celkový průměr výrazně ovlivňují dva vysoké píky uprostřed cyklu.

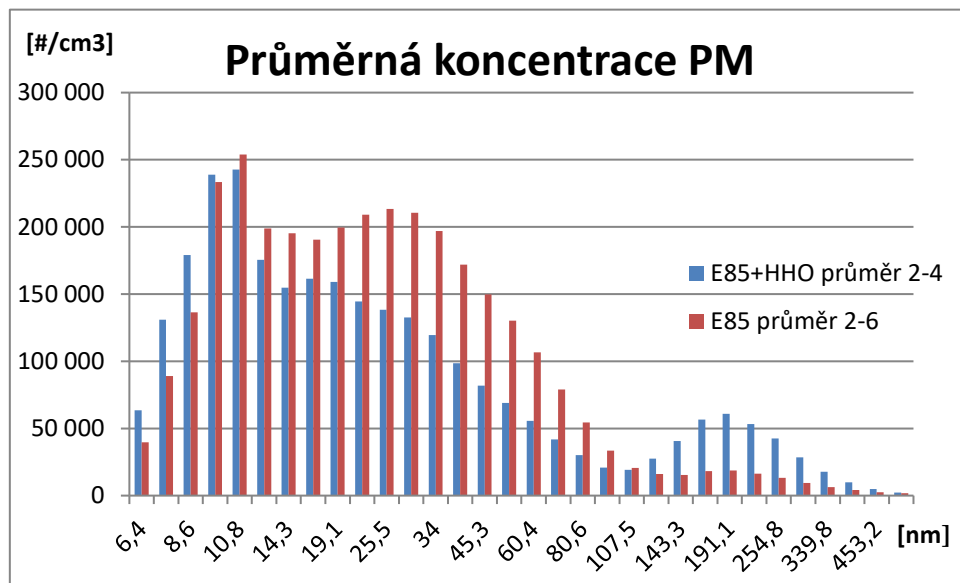
Obr. 27 Graf průběhu tvorby pevných částic



Tab. 14 Počet pevných částic

Pevné částice					
	E85	E85+HHO	Nárůst	E85+HHO	Nárůst
	[#/cm3]	[#/cm3]	[%]	[#/cm3]	[%]
6. měření	2243504	17729942			
5. měření	3136759	12349121			
4. měření	3299685	2739753		2739753	
3. měření	3963647	3164781		3164781	
2. měření	3533032	2504818		2504818	
průměr	3235325	7697683	137,93%	2803117	-13,36%

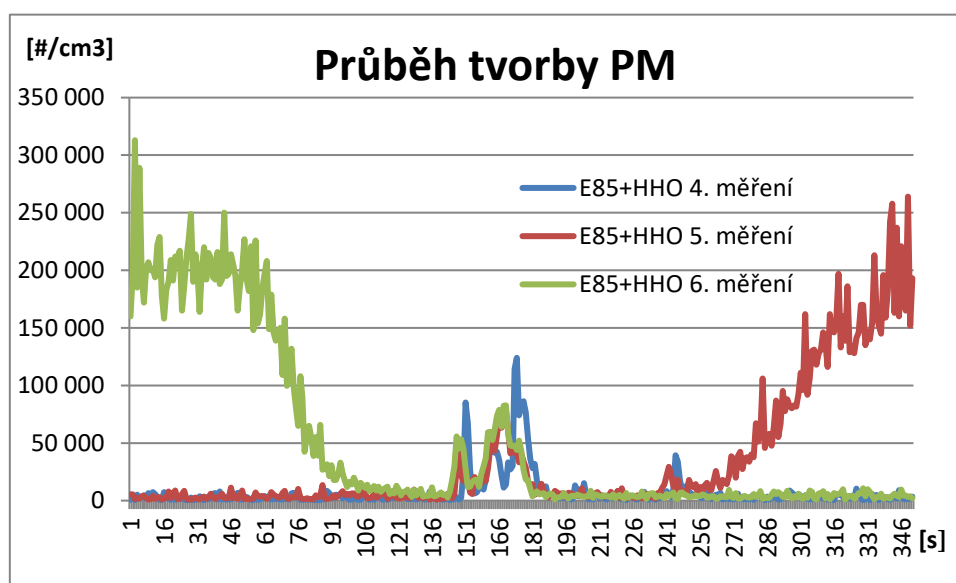
Obr. 28 Graf průměrné koncentrace pevných částic



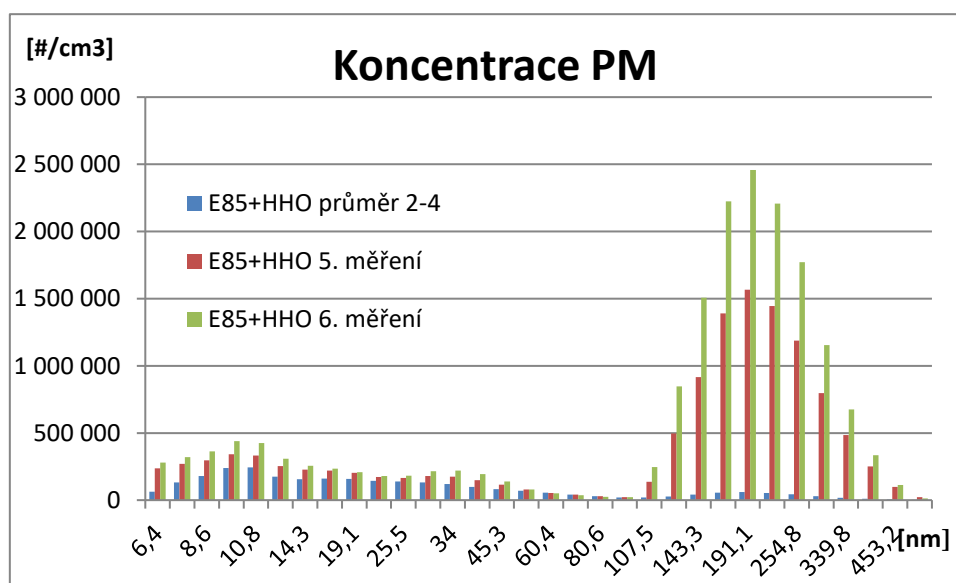
Z tabulky 14 je patrné, že hodnoty PM 5. a 6. měření jsou několikrát vyšší než u ostatních měření. Při počítání s těmito hodnotami byl počet částic na centimetr krychlový s použitím HHO o 138% vyšší. Nelze konstatovat, zda-li je za tento nárůst zodpovědný obohacení směsi HHO. Bylo by 5. a 6. měření s HHO vyhodnoceno jako chyba měření, vedlo by použití HHO generátoru ke snížení o 13%.

U pevných částic je důležitým parametrem kromě množství také velikost, lze konstatovat že čím menší tím pro lidské zdraví škodlivější jak je vysvětleno v kapitole 4.3.5. Na obrázku 28 jsou vidět průměrné koncentrace jednotlivých velikostí částic, průměr E85+HHO je tvořen pouze průměrem měření 2, 3 a 4.

Obr. 29 Graf průběhu tvorby pevných částic 4. 5. a 6. měření E85+HHO



Obr. 30 Graf koncentrace pevných částic průměru 2. až 4. 5. a 6. měření E85+HHO



Z grafu na obrázku 29 kde je porovnání průběhu tvorby pevných částic 5. 6. a 4. měření E85+HHO , které má podobnou křivku jako ostatní měření, je vidět, že průběh 5. měření až do přibližně 260. sekundy měření probíhal stejně jako všechny ostatní měření, poté však začala produkce PM růst. Mezi koncem 5. a začátkem 6. cyklu uplynulo 18 sekund, které nejsou v grafu zobrazeny. V těchto 18 sekundách se produkce pohybovala ve stejných hodnotách jako prvních 50 sekund 6. měření. Produkce PM v 6. měření se do normálních hodnot dostala až ve 120. sekundě cyklu. Z grafu na obrázku 30 je patrné, že velikost pevných částic tvořených při zmiňované abnormální produkci na konci 5. měření a začátku 6. měření s HHO, je v intervalu od 110 do 450 nm.

7 Závěr

Teoretická část této diplomové práce se zaměřuje na představení základní problematiky aktuálních legislativních norem týkajících se emisí u zážehových motorů. Jsou zde představeny homologační normy emisí, metodika měření a limity oxidu uhličitého. Dále jsou čtenáři podrobně seznámeni se složením výfukových plynů. Dalším důležitým tématem je měření emisí, které může být prováděno pomocí různých principů a plyn HHO, jehož reálné účinky na spalovací proces jsou následně ověřeny v praktické části práce.

Přidání HHO vedlo ke snížení měrné spotřeby paliva o 3,5% paliva, což vedlo ke zvýšení celkové účinnosti motoru z 27,7% na 28,7%. Dále se zlepšila kvalita spalování, neboť podíl oxidu uhličitého ve spalinách se zvýšil, u nespálených uhlovodíků se produkce mírně snížila a u oxidu uhelnatého se snížila výrazně. Jedinou složkou, na kterou mělo HHO negativní dopad, jsou oxidy dusíku.

Nelze konstatovat, jaký vliv měl plyn HHO na pevné částice. V prvních třech měření byla produkce nižší než u samotného E85, poté však na konci dalšího cyklu z neznámého důvodu produkce PM prudce vzrostla nezávazně na zatížení motoru a do normálních hodnot se dostala až ve třetině dalšího měřeného cyklu. Není jasné, zda za tento nárůst je zodpovědný plyn HHO.

Při vysokých pokutách, které musí výrobci automobilů platit za překročení hranice množství CO₂ na kilometr, by se jim mohlo instalování HHO generátoru ještě před homologací vyplatit. Myslím si, že při správném odladění řídicí jednotky a HHO generátoru by se mohla spotřeba a emisní složky snížit mnohem více než při tomto měření, například kdyby se plyn HHO pouštěl do sání pouze při akceleraci nebo vysokém zatížení a při nízkém zatížení by se akumuloval do zásobníku. Největším problémem tohoto řešení je tuhnutí elektrolytu při velkých mrazech a nutnost dolévání destilované vody.

8 Seznam použitých zdrojů

[1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

[2] MIROSLAV PAPOUŠEK, PAVEL ŠTĚRBA., *Diagnostika spalovacích motorů*. Computer Press, Brno 2007. ISBN 978-80-251-1697-5

[3] MARHOLD, Josef V. *Přehled průmyslové toxikologie: anorganické látky*. 2. vyd. Praha: Avicenum, 1980.

[4] *Integrovaný registr znečišťování: Oxid uhličitý* [online]. [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/node/78>

[5] BUCHTA, Jiří. *Bezpečnost při provozu plynových spotřebičů a otravy oxidem uhelnatým* [online]. 17.11.2014 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/bezpecnost-pri-provozu-plynovych-spotrebicu-otravy-oxidem-uhelnatym>

[6] JAN, Zdeněk a Bronislav ŽDÁNSKÝ. *Automobily: tabulky, vztahy, přehledy, normalizované postupy : matematika, vedení podniku, základní odborné znalosti, materiály, technické kreslení, odborné znalosti, elektrické vybavení, předpisy*. 2. vyd. Brno: Avid, 2003. ISBN 978-80-86706-21-4.

[7] GSCHEIDLE, Rolf. *Příručka pro automechanika: tabulky, vztahy, přehledy, normalizované postupy : matematika, vedení podniku, základní odborné znalosti, materiály, technické kreslení, odborné znalosti, elektrické vybavení, předpisy*. 2. upr. vyd. Praha: Sobotáles, 2002. ISBN 80-859-2083-2.

[8] DUSIL, Tomáš. *Nový homologační emisní test WLTP: Opravdu znamená konec lhání?* [online]. 4.10.2017 [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/novy-homologacni-emisni-test-wltp-opravdu-znamená-konec-lhani-110305>

[9] *Produkce emisních složek výfukových plynů* [online]. [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3983385-Produkce-emisnich-slozek-vyfukovych-plynu.html>

[10] *Nové emisní normy pro redukci oxidu uhličitého mohou výrobcům automobilů zkomplikovat život více, než očekávali* [online]. 16.9.2019 [cit. 2020-02-15]. Dostupné z: https://www.eulerhermes.com/cs_CZ/o-nas/tiskove-zpravy/nove-emisni-normy-pro-redukci-oxidu-uhliciteho-mohou-vyrobcum-automobilu-zkomplikovat-zivot-vice-nez-ocekavali.html

[11] SUAREZ BERTOIA, R, M ASTORGA-LLORENS, V FRANCO, Z KREGAR, V VALVERDE MORALES, M CLAIROTTE, J PAVLOVIC a B GIECHASKIEL. *Emise ze silničních vozidel nad Podmínky RDE, 29905 EUR, Úřad pro úřední tisky Evropské unie, Lucemburk, 2019*. ISBN 978-92-76-14123-5 (online), 978-92-76-14124-2 (tisk)

[12] SUBRAMANIAN, Balaji a Saleel ISMAIL. *International Journal of Hydrogen Energy: Production and use of HHO gas in IC engines*. 2018. ISSN 03603199.

[13] ISMAIL, Tamer, Khaled RAMZY, M.N. ABELWHAB, Basem ELNAGHI, M. ABD EL-SALAM a M.I. ISMAIL. *Energy Conversion and Management: Performance of hybrid compression ignition engine using hydroxy (HHO) from dry cell*. *Energy Conversion and Management*. 2018. ISSN 01968904.

[14] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.

[15] *Graf znázorňující vliv koncentrace CO₂ na člověka* [online]. In: . [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/kvalita-vnitřního-prostředí-na-základních-skolach/attachment/obr-1-graf-znazorujici-vliv-koncentrace-co2-na-cloveka>

[16] *Construction Dust Causes, Effects and Remedies* [online]. In: . [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://www.nbmw.com/report/construction-infra-industry/39852-construction-dust-causes-effects-and-remedies.html>

[17] *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC)* [online]. In: . [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>

[18] *Nové metodiky měření: WLTP a RDE Reforma s výhodou pro zákazníky* [online]. In: . [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/nove-metodiky-mereni-wltp-rde-reforma-vyhodou-zakazniky/>

[19] *MATRIX-MG5* [online]. In: . [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.bruker.com/products/infrared-near-infrared-and-raman-spectroscopy/gas-analysis/matrix-mg5/overview.html>

[20] *Vodíková jednotka H2I pro snížení nákladů na provoz vozidla* [online]. In: . [cit. 2020-02-26]. Dostupné z: <https://www.fedorauto.cz/vodikova-jednotka-h2i-pro-vsechny-motory.html>

[21] *Lambda-Sonden* [online]. In: . [cit. 2020-02-11]. Dostupné z: <https://www.adimax.de/iconroller/lambda.htm>

[22] *Kyslíkový senzor /lambda sonda/* [online]. In: . [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <http://www.subarudobry.cz/technika/lambda.html>

[23] *Katedra vozidel a pozemní dopravy* [online]. [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://katedry.czu.cz/kvpd/uvod>

Seznam obrázků

Obr. 1 Průběh rychlosti kategorie 3b.....	7
Obr. 2 Měření emise v reálném provozu	7
Obr. 3 Měření emise v reálném provozu	9
Obr. 4 Vliv koncentrace CO ₂ na člověka	10
Obr. 5 Emise oxidu uhličitého podle původu	11
Obr. 6 Zachycení prachových částic v dýchacím systému	12
Obr. 7 Účinnost katalyzátoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu λ	14
Obr. 8 Řez oxidačně-redukčním katalyzátorem	15
Obr. 9 Schéma dvoustavové lambda sondy	16
Obr. 10 Závislost napětí na součiniteli přebytku vzduchu λ dvoudobé lambda sondy	16
Obr. 11 Schéma NDIR	17
Obr. 12 Schéma NDUV	18
Obr. 13 Schéma přístroje pracujícího na principu chemické luminiscence	19
Obr. 14 Schéma přístroje pracujícího na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene	20
Obr. 15 Schéma přístroje pracujícího na principu magnetických vlastností	21
Obr. 16 Motor AWY a dynamometr V125	27
Obr. 17 Spektrální analyzátor Matrix MG-5	28
Obr. 18 Částicový analyzátor TSI EEPS 3090.....	29
Obr. 19 H2i sada do 2500 ccm	30
Obr. 20 Schéma zapojení měření.....	31
Obr. 21 Graf průběhu otáček a točivého momentu měřeného cyklu	32
Obr. 22 Graf měrné spotřeby paliva	33
Obr. 23 Graf průběhu tvorby emisí oxidu uhličitého	35
Obr. 24 Graf průběh tvorby emisí oxidů dusíku.....	36
Obr. 25 Graf průběh tvorby emisí oxidu uhelnatého.....	37
Obr. 26 Graf průběhu tvorby emisí nespálených uhlovodíků	38
Obr. 27 Graf průběhu tvorby pevných částic	39
Obr. 28 Graf průměrné koncentrace pevných částic	40
Obr. 29 Graf průběhu tvorby pevných částic 4. 5. a 6. měření E85+HHO	41
Obr. 30 Graf koncentrace pevných částic průměru 2. až 4. 5. a 6. měření E85+HHO	41

Seznam tabulek

Tab. 1 Standardní limity emisí (g/km) osobní vozidla do 3,5 t, zážehové motory	5
Tab. 2 Parametry měření kategorie 3b	6
Tab. 3 Vliv oxidu uhelnatého na lidský organismus	9
Tab. 4 Parametry motoru AWY	26
Tab. 5 Parametry brzdového stanoviště	27
Tab. 6 Parametry spektrálního analyzátoru Matrix MG-5	28
Tab. 7 Parametry Částečného analyzátoru TSI EEPS 3090	29
Tab. 8 Měrná spotřeba paliva	33
Tab. 9 Celková účinnost motoru	34
Tab. 10 Emise oxidu uhličitého	35
Tab. 11 Emise oxidů dusíku	36
Tab. 12 Emise oxidu uhelnatého	37
Tab. 13 Emise nespálených uhlovodíků	38
Tab. 14 Počet pevných částic	39