

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

BRNO 2017

JAN POSPÍŠIL



Emise přeplňovaného zážehového motoru
Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Marek Žák, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Jan Pospíšil

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Emise přeplňovaného zážehového motoru vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat Ing. Marku Žákovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce za ochotu, pomoc a cenné rady při tvorbě této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům, protože bez jejich vedení a péče bych se nikdy tak daleko nedostal.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na emise a měření emisí zážehových spalovacích motorů. Na začátku byl vysvětlen vznik emisí ve spalovacím prostoru a jejich složení. Následně jsou vysvětleny způsoby měření emisí u zážehového motoru a to jak v Evropě, tak ve Spojených státech amerických. Závěrem byly popsány legislativní a homologační nároky pro zážehový motor včetně analýzy dat naměřených na válcovém dynamometru.

Na válcovém dynamometru byl realizován experiment, při kterém proběhlo měření emisí výfukových plynů zážehového motoru u vozidla Škoda Octavia. Výsledky byly porovnány s požadavky jednotlivých emisních testů z hlediska legislativy.

Klíčová slova: emise, měření emisí, emise zážehového motoru, homologační požadavky na emise, legislativní požadavky na emise

This diploma thesis is focused on emissions and emissions measurements of petrol engines. At the beginning the way of emissions genesis and composition in the combustion space were explained.

The following part explains the ways of measuring emissions for the petrol engine, both in Europe and in the United States. Finally legislative and homologation claims for gasoline engine, including an analysis of measured data on a roller dynamometer were described.

An experiment based on measuring of power and emissions of Skoda Octavia was carried out on chassis dynamometer. The results were compared with legislative emissions requirements.

Keywords: emissions, emission measuring, emission requirements of petrol engine homologation, legislative requirements for emissions

Obsah

1 ÚVOD.....	7
2 CÍL PRÁCE.....	8
3 EMISE.....	9
3.1 Mechanismus vzniku emisí výfukových plynů.....	9
3.2 Vznik jednotlivých emisních složek.....	10
3.21 Eliminace emisních složek.....	12
3.3 Působení na člověka.....	15
4 MĚŘENÍ EMISÍ.....	17
4.1 Měření emisí na STK.....	18
4.11 Emisní kontroly vozidel v EU.....	18
4.12 Emisní kontroly vozidel v USA.....	20
4.2 Měření emisí při homologaci.....	23
4.21 Měření emisí při homologaci v USA.....	27
4.3 New European Driving Cycle (NEDC).....	31
4.31 World Light Duty Procedure (WLTP).....	33
5 EMISNÍ POŽADAVKY.....	35
5.1 HCCI.....	37
6 METODIKA MĚŘENÍ.....	40
6.1 Popis zkušebny.....	40
6.2 Analyzátory pro měření emisí.....	43
6.3 Měření emisí u automobilu Škoda Octavia.....	46
6.4 Hodnocení experimentu.....	49
7 ZÁVĚR.....	54
8 POUŽITÁ LITERATURA.....	55
9 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	58

1 ÚVOD

Tato diplomová práce je zaměřena na emise výfukových plynů zážehového motoru. Emise výfukových plynů vznikají spalováním paliva ve válci motoru. U zážehového motoru sledujeme oxid uhličitý a uhelnatý, oxidy dusíku, nespálené uhlovodíky a pevné částice. Jednotlivé emisní složky měříme pomocí různých typů analyzátorů měřících jednu složku, nebo vícesložkovými analyzátory.

Měření emisí dělíme do dvou skupin, na měření v rámci stanic technické kontroly a homologační. Měření na STK dělíme u zážehových motoru do několika skupin. Rozeznáváme automobily s různými emisními systémy. Při homologačním měření je vůz umístěn na válcovém dynamometru a simuluje jízdní cyklus NEDC. Zajímavou alternativou ke konvenčním motorům by měl v budoucnu být motor pracující na principu HCCI, který neprodukuje některé emise. Jedná se však zatím jen prototypové řešení.

V závěrečné části byl proveden experiment, při kterém jsme změřili emise výfukových plynů vozu Škoda Octavia 1.0 TSI a porovnali je s legislativními požadavky.

2 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce bylo sepsat současný stav v oblasti měření emisí s požadavky homologace a legislativy se zaměřením na emise zážehových motorů včetně analýzy motoru s homogenním plněním spalovacího prostoru. Kromě toho byl realizován experiment, při kterém byl změřen konkrétního automobilu se zážehovým motorem a výsledky měření porovnány s požadavky jednotlivých emisních testů pro daný agregát.

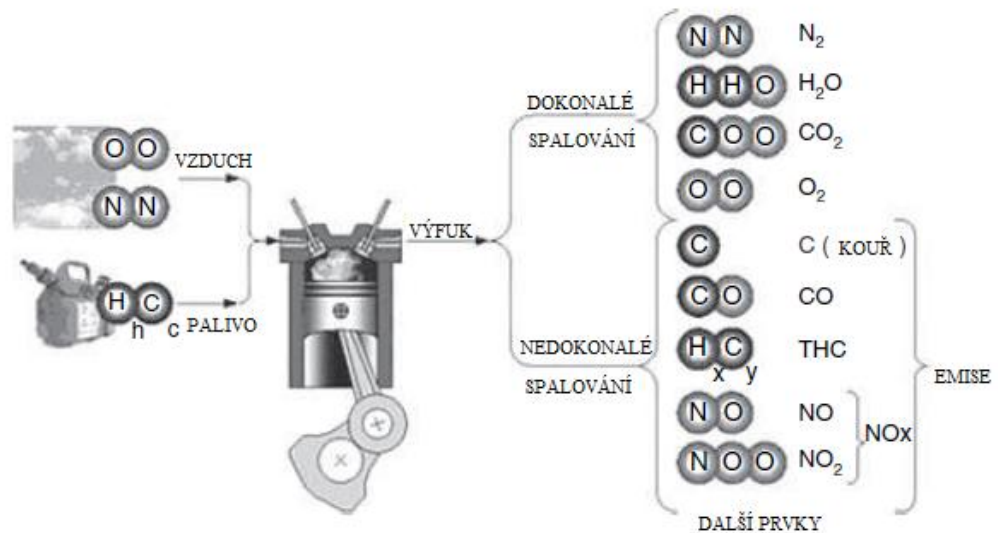
3 EMISE

Provoz spalovacího motoru má na okolní prostředí a člověka mnoho negativních vlivů. Mezi tyto škodlivé vlivy počítáme emise výfukových plynů, vibrace, hluk nebo únik provozních kapalin a maziv. Největší důraz je kladen především na emise výfukových plynů. Ty vznikají spalováním směsi paliva se vzduchem, v menší míře spalováním oleje vlivem netěsností pístu. O vzniku emisí rozhoduje i typ spalování, rozeznáváme dokonalé a nedokonalé spalování, ale v praxi probíhá vždy nedokonalé spalování. [2]

3.1 Mechanismus vzniku emisí výfukových plynů

Produkty dokonalého spalování jsou oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). Může se objevit i kyslík (O_2), ale to jen u chudých a vrstvených směsí. Při procesu spalování u vznětového motoru je kyslík přítomen pokaždé. [1]

Při nedokonalém spalování vzniká oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO_x) které se skládají z oxidu dusnatého (NO) a v malém množství i oxidu dusičitého (NO_2) a dusného (N_2O). Dalším z produktů nedokonalého spalování jsou nespálené uhlovodíky (HC), pevné částice (PM) a další prvky. [1]



Obr. č.1 - Vznik emisí při dokonalém a nedokonalém spalování, převzato z [1]

3.2 Vznik jednotlivých emisních složek

Emise oxidu uhelnatého jsou u zážehového motoru výsledkem nedokonalé oxidace uhlíku, který je obsažen v palivu. Hlavním důvodem je nedostatek kyslíku při spalování směsi, provoz na bohatou směs $\lambda < 1$. [8]

Vznik oxidů dusíku je závislý na teplotě. Tvorbu těchto plynů nám popisuje Zeldvičova řetězová reakce, která může probíhat oběma směry. Ke vzniku této odezvy je nutné kromě velmi vysokých teplot v rozmezí 1900-2000°C i čas, jinak dojde k zastavení těchto reakcí a nevznikají oxidy dusíku. Nejvyšších teplot dosáhneme jen při spalování mírně chudých směsí, ale důležitý je dostačující obsah kyslíku. K maximální koncentraci NO_x dochází při $\lambda = 1,05-1,1$. U zážehového motoru spalujeme homogenní směs, která se vyznačuje vysokým množstvím NO a nízkým množstvím NO_2 . [8]

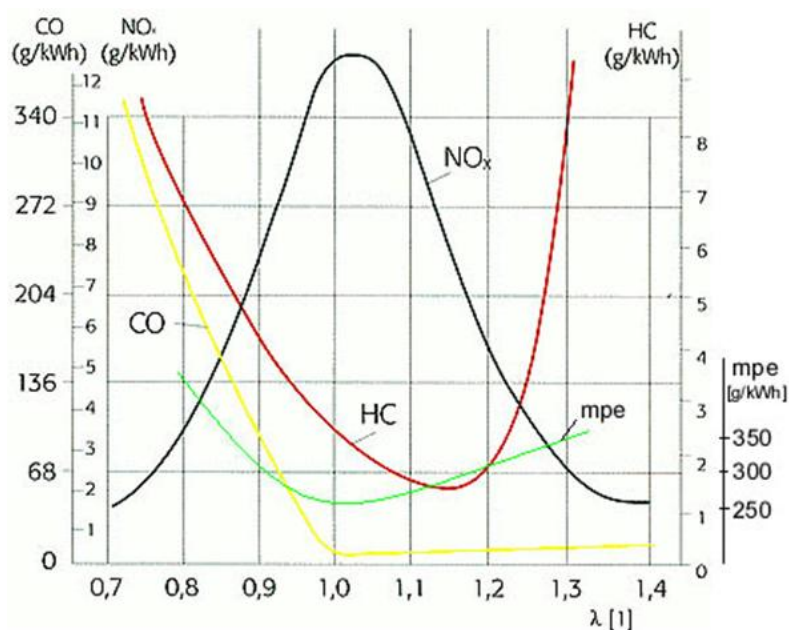
Nespálené uhlovodíky vznikají dříve ukončenými oxidačními reakcemi v motorovém prostoru, například při chladnějších stěnách válce nebo při vynechání či selhání procesu spalování. Je to jeden z důsledků tepelného krakování a chemických procesů, které skončili dříve, než mohl být dokončen celý proces oxidace. Na množství nespálených uhlovodíku má vliv kvalita směsi (homogenizace), proto používáme vysoké vstřikovací tlaky, aby došlo k co možná nejlepšímu promíchání paliva se vzduchem a jeho odpaření.

Nejvhodnější směšovací poměr je v oblasti chudé směsi $\lambda = 1,1-1,2$ z důvodu největší tepelné účinnosti. Menší nebo větší přebytek vzduchu vede ke zvýšení množství nespálených uhlovodíku. [8]

Zážehový motor produkuje i pevné částice. Jedná se o uhlík, který vzniká při spalování kapek paliva, které jsou neodpařené s vysokou teplotou při velice nízkých místních hodnotách přebytku vzduchu. Emise pevných částic závisí na kvalitě směsi rozprašeného paliva a jeho vstřikování do válce. [8]

Pevné částice obsahují i organické složky, které vznikají z motorového oleje nebo nespáleného paliva. Organické složky nám vzniknou v případě, že je palivo společně s mazacím olejem zaneseno ve šterbinách či v chladných místech uvnitř válce bez možnosti oxidace nebo tepelného rozkladu. [8]

V případě, že není možné pohlcení na povrchu, tak tyto organické sloučeniny mohou zkapalňovat v další sloučeniny, například v kyselinu sírovou a produkovat jádra nanočástic. Přibližné rozložení jednotlivých emisních složek a měrné spotřeby je na přiloženém grafu viz obr č.2. [8]



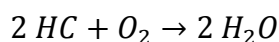
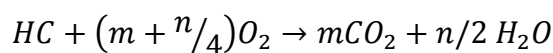
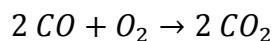
Obr. č.2 - produkce emisí zážehového motoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu, převzato z [8]

Z přiloženého grafu je zřejmé, že nejvyšší koncentrace oxidů dusíku je v oblasti $\lambda=1,05-1,1$. Přejdem do chudých nebo bohatých směsí dojde ke snížení oxidů dusíku. Nespálené uhlovodíky dosahují nejmenších hodnot u chudých směsí s hodnotou $\lambda=1,1-1,2$. Zvýšením nebo snížením hodnoty λ mimo tuto mez dojde k nárůstu emisí nespálených uhlovodíků. Oxid uhelnatý dosahuje nízkých hodnot u stechiometrického poměru a chudých směsí, ale jak přejdeme do bohatých směsí, tak dochází k nárůstu emisí oxidu uhelnatého.

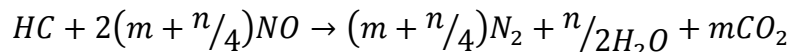
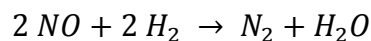
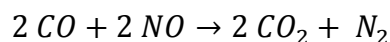
3.21 Eliminace emisních složek

Pro eliminaci emisních složek používáme katalyzátor. Je to zařízení způsobující nebo urychlující chemickou reakci. Účelem katalyzátoru je přeměna emisních složek a neškodné látky. Pro neutralizaci emisních složek používáme třístupný katalyzátor (TWC=Tree Way Catalyst). Je také nazýván oxidačně-redukční. [8]

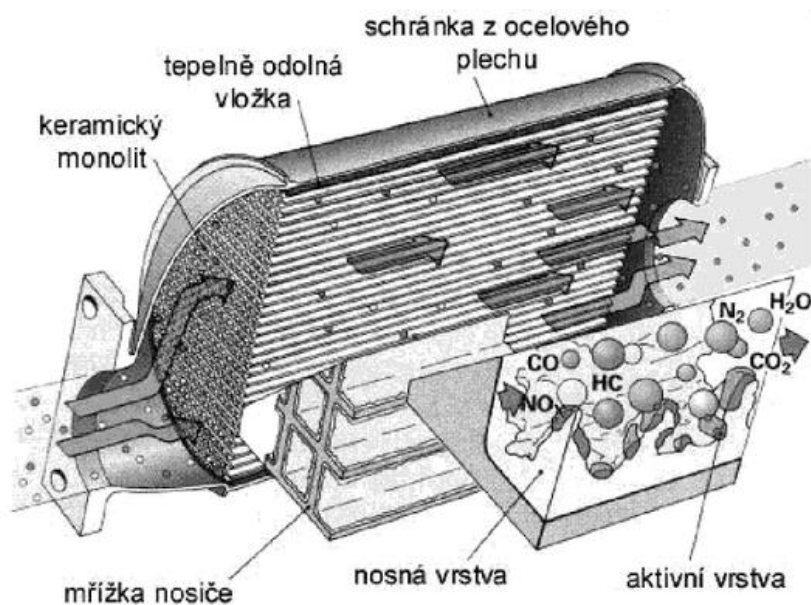
Oxidaci se skládá z několika různých změn. První je oxid uhelnatý na oxid uhličitý. Druhou změnou jsou nespálené uhlovodíky, které se přeměňují na oxid uhličitý a vodní páru a třetí změnou je vodík na vodní páru. [8]



Redukce je popsána několika rovnicemi. Skládá se ze tří částí, v každé redukuje oxid dusnatý na dusík, ale vždy probíhá společnou oxidací. První oxiduje oxid uhelnatý na oxid uhličitý. V druhé části proběhne změna vodíku oxidací na vodní páru a ve třetí nespálené uhlovodíky na oxid uhličitý a vodu. [8]



Samotná oxidace a redukce proběhne bez přidání dalšího média. Proto musí být přítomen kyslík pro oxidaci a pro redukci oxid uhličitý a uhelnatý, který přivedeme ve spalínách. Aby došlo k potlačení emisních škodlivin, proběhne zároveň oxidace i redukce. Složení směsi se musí co nejvíce podobat stechiometrické hodnotě se součinitelem přebytku vzduchu $\lambda=1$. [8]

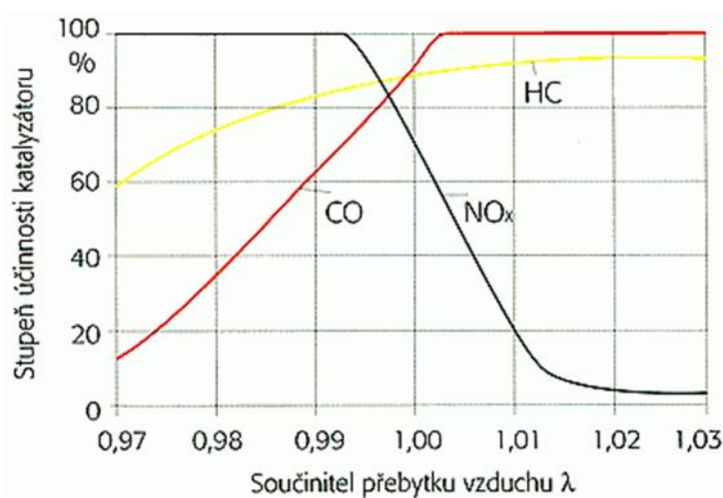


Obr. č.3 - řez třícestného katalyzátoru, převzato z [8]

Aby katalyzátor pracoval správně, musí dosáhnout optimální teploty. Optimální pracovní teplota je v rozmezí 250-800°C. Do teploty 250°C je neúčinný, což odpovídá nastartování studeného motoru v rozmezí 30-90 sekund. Menší účinnosti dosahuje u vozidel vybavených systémem start stop. Při teplotách okolo 600°C se silněji zanáší aktivní plocha katalyzátoru. V rozmezí 600-800°C se snižuje zanášení katalyzátoru, ale zvyšuje se termické stárnutí. Proto řešíme umístění katalyzátoru ve výfukovém systému. Umístíme ho blízko motoru a díky tomu se nám zkrátí doba náběhu, ale později může dojít k přehřívání a tím se zkracuje životnost. Proto je vhodné posunout katalyzátor dále od motoru. Dokud nedosáhne provozní teploty, tak ho vyhříváme elektricky. [8]

Pro zachování tohoto stechiometrického poměru musí být před katalyzátorem umístěna lambda sonda, která měří množství kyslíku ve výfuku. Podle množství upravuje řídicí jednotka požadovanou dávku paliva. Skoková lambda sonda pracuje pouze v úzkém prostoru, který se označujeme lambda oknem ($\lambda=1\pm 0,03$). Při chudé směsi je napětí lambda sondy 100 mV, ale u bohaté dosahuje 800 mV. Při $\lambda=1$ se hodnota napětí skokově mění z jedné úrovně na druhou. Dnes se používají širokopásmové lambda sondy, které pracují jen s chudou směsí. [8]

Lambda regulace je účinná pouze s funkční lambda sondou, kterou vyhodnocovací obvod neustále sleduje, zda je připravená k provozu. Když je studená, nebo vedení přerušené či zkratované, tak nejsou hodnoty vyhodnocovány. Studené motory potřebují pro svůj rovnoměrný chod bohatší směs, proto musí být lambda sonda funkční až po překročení určité teploty motoru. Dnes je u moderních vozů lambda sonda vyhřívána, takže je po 30 sekundách provozuschopná. [8]



Obr. č.4 - závislost účinnosti katalyzátoru na součiniteli přebytku vzduchu, převzato z [8]

Z obr.4 je zřejmé, že největšího stupně účinnosti dosahuje třicestný katalyzátor v oblasti stechiometrického poměru při $\lambda=0,99-1,01$.

3.3 Působení na člověka

Emisní složky působí na člověka různým způsobem. Oxid uhelnatý je bez zápachu a bezbarvý, ale rychle se váže na hemoglobin a zamezuje přenosu kyslíku. Navíc za přítomnosti oxidu uhličitého dochází k nárůstu účinků oxidu uhelnatého. [4]

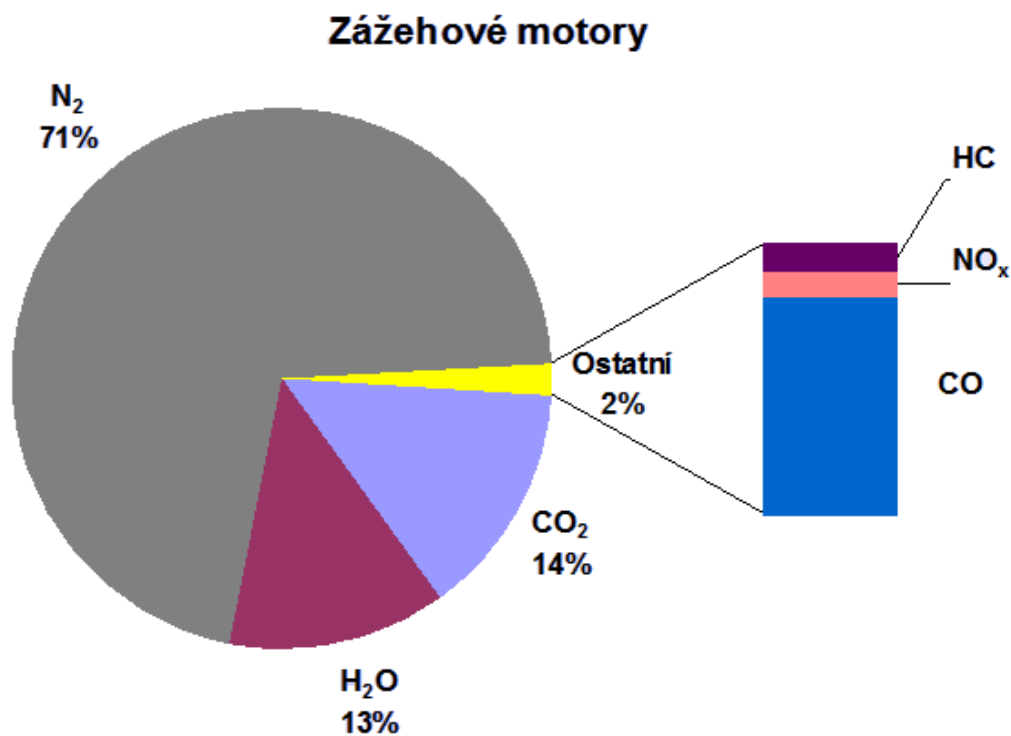
Uhlovodíky mají různou úroveň jedovatosti. Některé z nich nejsou nebezpečné jako například alkeny, alkany, metan a etan. Nebezpečné jsou až aromatické polycyklické sloučeniny, které působí rakovinotvorně. Kromě toho máme navíc jedovaté a zapáchající aldehydy a dráždivé formaldehydy. Tyto emisní částice působí na lidské zdraví a způsobují podráždění sliznic. Ve spolupráci ultrafialového záření a oxidů dusíku napomáhají vzniku ozónu O_3 , což vede k fotochemickému smogu. Kromě těchto vlivů společně s dalšími prvky způsobují skleníkový efekt v atmosféře. [4]

Oxidy dusíku také nejsou zdravé. Oxid dusnatý se váže na hemoglobin, ale umí se pohotově odbourat. Vzniká především u zážehových motorů při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda=1$. [4]

Oxid dusný se stejně jako oxid uhelnatý váže na hemoglobin. Není bezbarvý, ale je zabarven do oranžova a jedná se o zapáchající plyn, který útočí na plíce a sliznice. Navíc je to silné oxidační činidlo. V případě dusitanů solí HNO_2 dochází ke vzniku dalších sloučenin, které jsou rakovinotvorné. Stejně jako uhlovodíky je základním členem pro vznikání ozónu O_3 . Část tohoto ozónu projde oxidační reakcí z oxidu dusnatého na oxid dusný (z NO na NO_2) a ze zbytku vzniká peroxid uhlovodíku, což vede díky ultrafialovému záření k dalšímu vzniku ozónu. [4]

Oxid siřičitý je bezbarvý a zapáchavý. Ve velké míře postihuje sliznice a snižuje odolnost proti infekcím. Může za vznik kyselých dešťů. Zvýšené působení na člověka podporují i pevné částice. Olovo je taktéž obsaženo v emisích. Tento těžký kov je jedovatý a postupně se hromadí v živých organismech. Velice nebezpečný je pro člověka, zvířata i rostliny. [4]

Pevné částice často obsahují koncentrované rakovinotvorné a mutanční sloučeniny. Zesilují účinky některých dalších emisních prvků. Navíc jsou viditelné i jako kouř. Člověk je na tyto částice citlivý, ale záleží na konkrétním případě. Některé z dopadů jako jsou rakovinotvorné účinky pevných částic, infekce dýchacích cest nebo alergické reakce jsou nezpochybnitelné. [4]



Obr. č.5 - Přibližné procentuální složení výfukových plynů pro zážehový motor, převzato z [8]

4 MĚŘENÍ EMISÍ

Měření emisí dělíme do několika skupin, na měření v rámci stanic technické kontroly a homologační měření. Při měření na stanicích technické kontroly používáme emisní systémy, které nám změří hodnoty jednotlivých emisních složek v řádech ppm nebo procent. Ty později porovnááme s legislativními limity pro volnoběžné a zvýšené otáčky. Při homologačním měření vůz simuluje jízdní cyklus a emise jsou přepočítány v gramech na kilometr. Naměřené hodnoty musí být menší než normované limity pro daný vůz. [8]

Měříme plyny neboli molární podíly či částice. Způsoby a metody nám určuje legislativa. Pro měření jednotlivých složek používáme analyzátory, které musejí být i během měření neustále srovnávány s etalonem směsí plynů, jejichž složení známe. Rozeznáváme jednosložkové a vícesložkové (4-5 složek na měření) analyzátory. [4]

U nezředěných výfukových plynů hrozí zkapalnění po jejich ochlazení ve zředřovacím traktu, tam kam vedou výfukové potrubí a odkud odebíráme vzorky pro další analýzu. Pro přepočítání uvolněných plynných škodlivin společně s přimíseným vzduchem určíme dle značkovacího plynu. Kupříkladu při srovnání oxidu uhličitého u surového plynu a dále v ředěném vzorku. [7]

Další metoda je založena na CVS (Constant volume sampling), což není nic jiného než stálý průtok vzduchu na zředřování. Tento vzduch udržujeme pomocí dmychadla a sání v normované trysce s rozhodujícím tlakovým spádem. [8]

U měření emisí zážehového motoru stanovujeme dle legislativy jen několik složek a to oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky (HC), oxid uhličitý (CO₂) a kyslík (O₂). Od emisní normy Euro 3 musíme pro zážehové motory stanovovat i množství oxidů dusíku (NO_x) a od Euro 6 počet částic. Kromě těchto emisních vzorků navíc díky přístrojům zjistíme měření či výpočtem i součinitel přebytku vzduchu (λ), otáčky motoru a teplotu oleje. Pro zjištění obsahu dílčích škodlivin používáme několik analyzátorů nebo 5-složkový analyzátor. [9]

4.1 Měření emisí na STK

V České republice a okolních státech evropské unie platí povinnost přistavit vozidlo na technickou prohlídku, se kterou souvisí i měření emisí. Tento úkol nám vyplývá ze zákona č.56/2001 Sb., ale provedení samotných emisních zkoušek a jejich rozsah určuje vyhláška Ministerstva dopravy č. 302/2001 Sb. Hlavním cílem této vyhlášky a zákona je sledování a udržování emisí motorových vozidel na požadované úrovni během celého jejich života pomocí emisních kontrol. [8]

rok výroby vozidla	emisní systém	CO [%]		HC [ppm]
do 31. 12. 1972	neřízený	6		2000
1. 1. 1973–31. 12. 1986	neřízený (katalyzátor)	4,5		1200
od 1. 1. 1987	neřízený + katalyzátor	3,5		800
	řízený + katalyzátor	0,5	0,3 ($\lambda = 1 \pm 0,03$)	–
		volnoběh	vyšší otáčky	

λ - součinitel přebytku vzduchu lambda vypočítává přístroj pro měření emisí zážehového motoru z obsahu složek výfukového plynu podle Brettschneiderova vzorce.

Obr. č.6 - *Emisní limity pro zážehové motory dle vyhlášky Ministerstva dopravy č 302/2001Sb., převzato z [8]*

Původní vyhlášku ministerstva dopravy 302/2001 nahradila směrnice evropského parlamentu a rady 2014/45/EU, která zpřísňuje a upravuje emisní limity a metody měření. [19]

4.11 Emisní kontroly vozidel v EU

V některých státech Evropské unie se používají jiné testy pro určení množství škodlivin ve výfukových plynech. Cílem těchto emisních kontrol je objektivnější kontrola produkce emisí, aby odpovídala skutečným podmínkám při provozu. Výsledky testů jsou měrné emise odpovídající výkonu ($\text{g}\cdot\text{kWh}^{-1}$) nebo ujeté dráze ($\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$). Používá se několik různých typů emisních kontrol například nezatížené režimy, akcelerační režimy motoru nebo vozidla a mnohé další. [8]

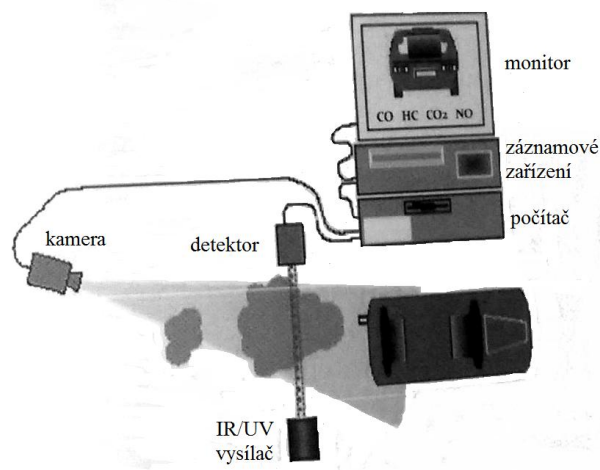
Nezatížený režim je charakteristický tím, že měříme pouze koncentraci emisí za volnoběžných a zvýšených otáček, bývá označován jako Idle/fast idle test. Druhou variantou je režim při volnoběhu a zvýšených otáčkách v kombinaci s lambda testem, který značíme jako Idle/fast idle with lambda test. Tento typ měření je nejrozšířenější v rámci Evropy a Ameriky. [8]

Akcelerační režim můžeme rozdělit do několika skupin, podle způsobu měření samotného motoru nebo vozidla. U motoru sledujeme koncentraci emisí při volné akceleraci, označujeme ho Incoll/Autonat a používá se u zážehových motorů. Pro vznětové motory zvolíme druhou variantu, která kromě emisí sleduje i kouřivost a nazývá se EHK (ECE) R24. Při měření s celým vozidlem absolvujeme jízdní test na válcovém dynamometru s akceleračním režimem, ustáleným a kombinací. Tato metodika je kompletně převzata z USA, bývá označena jako Mass 31. [8]

Neustálený režim zatížení vychází z měřicích cyklů určených pro homologaci vozidel, při které je vozidlo na válcovém dynamometru a probíhá simulace jízdních režimů městských, mimo-městských a dálničních. Test může být označen jako Modern IM long cycles, TÜV-A short cycles nebo Modern short. [8]

Další metoda je založena na dálkovém snímání emisí na běžné komunikaci. Na počátku se měřilo na několika kontrolních stanovištích, ale tento způsob byl nespolehlivý a nepřesný. Vývoj pokročil a došlo k uvedení systému s označením FEAT. [8]

Při měření pracovaly přístroje s metodou NDIR, takže bylo možné měřit pouze emise CO a CO₂, ke kterým se později přidalo HC a NO_x. Pro potřebné zvýšení spolehlivosti a přesnosti je nutné měřit i rychlost, zrychlení vozidla a atmosférické podmínky. Tuto metodu označujeme jako Hughes/Feat. Další možnost, jak měřit emise pomocí dálkového snímání je založena na principu laseru. Jedná se o absorpci emisí, které jsou blízkou infračerveného spektra, díky použití laserové upravitelné diody jako zářiče. Tento systém označujeme Lasair. Metody dálkového snímání emisí jsou kompletně převzaty z USA. [8]



Obr. č.7 - Schéma dálkového snímání emisí metodou Feat, převzato z [8]

Test výparných emisí (EVAP) se v Evropě používá od emisní normy Euro 6 a závisí na mnoha kritériích. Hlavně na technickém stavu a těsnosti palivové soustavy, uzávěru nádrže a pláště. Dalším znakem je konstrukční a technologická úroveň nádrže, katalyzátoru a samotného uzávěru nádrže. Velmi velký vliv má i teplota, přesněji její změny při používání vozu. U zážehových motorů je důležitá i těkavost paliva. [8]

Poslední způsob měření emisí je palubní diagnostikou přes sběrnici OBD pomocí kontroly chybových záznamu senzorů pro řízení emisí. Jedná se o levnou a velice perspektivní metodu do budoucna, která byla přijata jako rozšíření původních testů. V Evropě bývá označována jako EOBD. [8]

4.12 Emisní kontroly vozidel v USA

Emisní kontroly, které se používají v USA, jsou na velmi vysoké úrovni. Většina metod měření je používána s minimálními změnami i v Evropě, ale některé jako je dálkové snímání emisí nebo akcelerační režim s vozidlem na válcovém dynamometru Mass 31 se používají beze změn. Hlavní rozdíl oproti Evropě a zbytku světa spočívá ve vícestupňové emisní kontrole, kdy vozidlo absolvuje několik měření. [8]

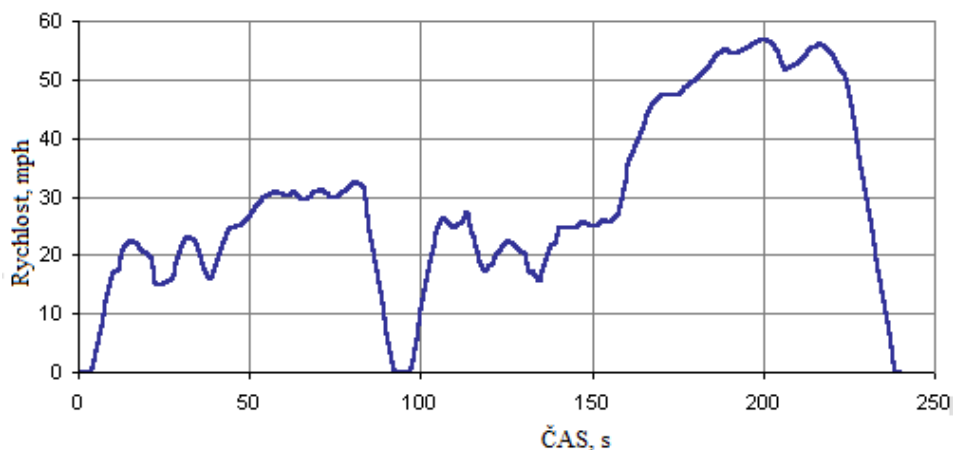
Mezi nejvíce používané metody patří testy motoru na motorovém dynamometru, volná akcelerace motoru, ustálené režimy zatížení, volná akcelerace celého vozidla, neustálené zatížení, výparné emise, dálkové snímání emisí a měření pomocí palubní diagnostiky. [8]

Testy motoru na motorovém dynamometru patří k nejrozšířenějším v USA, s menšími změnami se používají i v Evropě. Skládá ze z měření koncentrace emisí při volnoběžných nebo zvýšených otáčkách. Parametry pro měřicí přístroje a technické normy nám určuje agentura Bureau of Automotive Repair (BAR), značena je rokem zavedení a dodnes platí BAR 97. Test bývá označován jako Idle or 2speed Idle. [8]

Metoda měření pomocí volné akcelerace se používá pouze u kouřivosti vznětových motorů a to hlavně u těžkých, ale v některých státech i u lehkých vozidel za předpokladu, že test neobsahuje měření pevných částic nebo test kouřivosti. Používaná metoda se značí jako AE J1667 Snap Acceleration Test Smoke. Její podstatou jsou volné akcelerace motoru při volnoběžných otáčkách, které celkem třikrát opakujeme. Pak následuje plná dávka paliva a čas setrvání na přeběhových otáčkách po dobu maximálně 4 sekund. Celé měření probíhá na válcovém dynamometru. Další test je založen na volné akceleraci vozidla z nuly na předepsanou rychlost 30 mph a následné zpomalení na nulu. Při měření využíváme systém VMAS a metoda se značí MASS 31.[8]

Jedny z nejjednodušších testů jsou ustálené režimy zatížení, které vznikají od sedmdesátých let. Tyto metody značíme ASM 2525 a ASM 5015 (Acceleration Simulation Mode), první dvojčíslí znamená zatížení v procentech a druhé ustálenou rychlost na válcovém dynamometru. Došlo ke spojení obou metod a nově hovoříme o ASM - 2mode test, doba přechodu mezi oběma měřícími rychlostmi je akcelerační. Samotné měření trvá 180 sekund. Metoda je zvláštní tím, že měříme emise pomocí systému VMAS (Vehicle Mass Analysis System), který je umístěn mezi výfukem a analyzátory a samotné emise jsou neředěné. [8]

Další metoda vychází z transient cyklů pro homologačního měření. Používá se pouze pro lehká vozidla ve dvou různých variantách, jako IM 240 nebo IM 147, číslo u testu znamená jeho délku v sekundách. První jmenovaný je nejvíce rozšířeným testem ve státech pro pravidelné servisní a emisní kontroly lehkých vozidel. Samotné měření probíhá na válcovém dynamometru a emise měříme pomocí metody CVS nebo VMAS. Samotný cyklus má velice dobrou srovnávací hodnotu s homologačním testem FTP 75. Druhý cyklus IM 147 se používá pouze v Arizoně a je stejný s druhou částí cyklu IM 240, přesněji s jeho posledními 147 sekundami. [8]



Obr. č.8 - Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu IM 240, převzato z [8]

Testy výparných emisí jsou oproti Evropě používané v daleko větší míře. Dělíme je do dvou skupin. V první skupině máme celkem 3 různé metody. První metoda je Pressure Evaporative Tests, který spočívá v tlakové zkoušce těsnosti palivové nádrže. Druhá se jmenuje Gas Gap Checks, kontroluje těsnost uzávěru palivové nádrže tlakovou zkouškou pomocí jednoduchých přípravků. Poslední Purge test se skládá z průtokoměru, který vložíme mezi nádobku s aktivním uhlím a klapku přísunu paliva do motoru. Měříme průtok očištěného vzduchu do motoru bez paliva. Druhá skupina měření výparných emisí využívá palubní diagnostiku a čtení chybových kódů jako je například Evap Malfunction nebo Evap Fuel Tank Leak. [8]

Měření pomocí palubní diagnostiky se používá hlavně jako rozšíření testů při nezátíženém motoru. Dálkové snímání emisí pomocí systému Feat nebo Lasair je totožné s evropským modelem včetně metodiky. [8]

4.2 Měření emisí při homologaci

V případě homologace osobního vozidla se řídíme směrnicemi evropské hospodářské komory (EHK). Jedna z prvních tzv. EHK 15, který byla uveden v platnost roku 1971. Obsahovala celkem 4 měřící cykly, které odpovídali městu se zaměřením na obsah oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a později oxidů dusíku. Tato směrnice byla mnohokrát přepracována, doplňována a proto došlo roku 1989 k nahrazení novým předpisem EHK 83. [8]

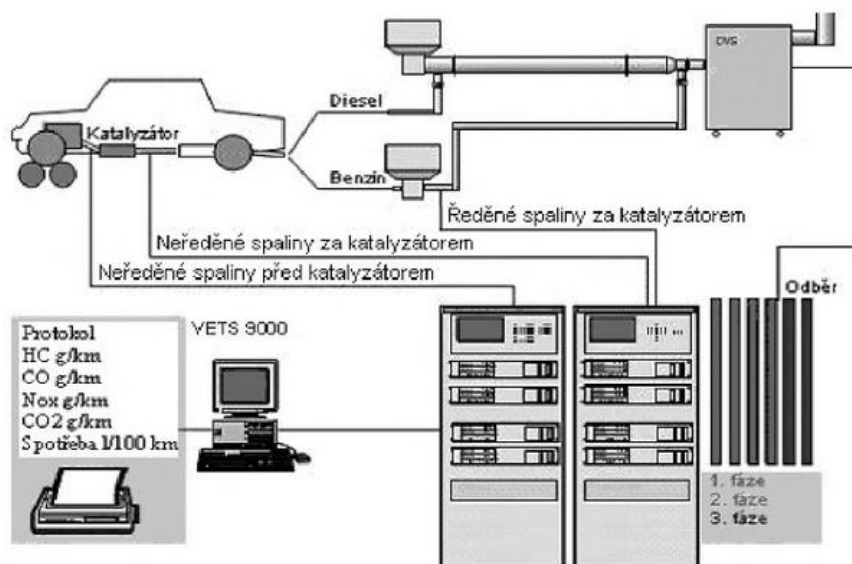
Tato nová směrnice platí dodnes a je základem pro všechny předpisy v oblasti emisí. Předpis EHK 83 rozlišuje celkem 3 podskupiny s označením A, B, C. První řeší problematiku vozidel se zážehovým motorem bez úpravy spalín, tj. bez katalyzátoru. Používá se pouze při homologacích starších typů automobilů nebo při jejich dovozu či přestavbě na alternativní palivo. Druhá podskupina souvisí s automobilem osazeným zážehovým motorem, který je vybaven katalyzátorem a spaluje bezolovnatý benzín. Poslední část EHK 83 s označením C řeší problematiku vozidel se vznětovými motory. [8]

Předpis EHK 83 prošel od svého uvedení několika modernizacemi, které většinou pouze zpřísňují limity měřených emisních složek. V rámci evropské unie jsou používány emisní normy, které vycházejí z výše jmenovaného předpisu. Jsou označeny jako Euro s číslem symbolizující revizi předpisu. Tyto normy díky sjednocení legislativy jsou používány také v dalších státech mimo evropskou unii s tím rozdílem, že jsou označeny jako EHK 83.05. V dnešní době platí na území České republiky a evropské unie v rámci homologace předpis Euro 6 platný pro vozidla do a nad 1305 Kg. Obecně pro automobily nad 3,5 tuny platí směrnice EHK (ECE) R 83.05 a jízdní test ECE 15, UDC (Urban driving cycle) a EUDC (Extra urban driving cycle) což není nic jiného než NEDC (New european driving cycle). [8]

Stanovení limitů jednotlivých emisních složek je velice náročné, protože je musíme stanovit pro každou kategorii vozidel velmi přísně. Často jde o posouzení hned několika kritérií v oblasti dostupnosti na mezi technologické, technické a ekonomické. [8]

Pro potřebnou oficiální homologaci vozidla je nutné dodržet hned několik kritérií. Měření probíhá na válcovém dynamometru, kde je umístěno celé vozidlo. Přídavnými setrvačníky dochází k simulování setrvačných účinků vozidla nebo je možné využít regulaci momentu u dynamometru. Touto metodou lze určit i spotřebu paliva pro další určení emisí oxidu uhličitého. [8]

Vlastní homologace vozidel probíhá následovně. Vozidlo je umístěno na řízeném válcovém dynamometru a dochází k simulaci jízdního cyklu. Tento jízdní cyklus NEDC má dvě části, městskou a mimoměstskou. První část se skládá ze čtyř opakovaných cyklů UDC. Poté následuje druhá část, která simuluje jízdu mimo město EUDC. Obě části probíhají ihned za sebou. Při zkoušce začínáme se studeným motorem, ale předtím je vozidlo zahříváno na teplotu v rozmezí 20-30 °C v délce šesti hodin. Množství emisních složek získáme pomocí metody CVS, při které jednotlivé emise odsáváme a ředíme ventilátorem. Takto upravené složky sbíráme do sběrných vaků, pomocí kterých pak stanovíme zhuštění ředěných emisních složek v celém jízdním testu a přepočítáme je na gram na kilometr. [8]



Obr. č.9 - Schéma homologačního měření motorových vozidel metodou CVS, převzato z [8]

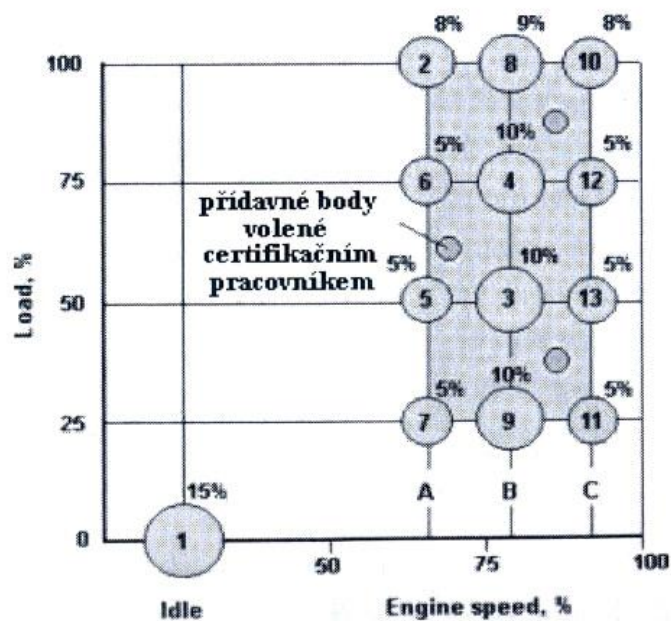
Další z možností homologace vozidla je měření emisí v reálném provozu pomocí metody RDE (Real Driving Emission). Využívá přenosné zařízení s označením PEMS (Portable Emission Measurement Systems), které je umístěno v zadní části vozu a pracuje během jízdy. Tato metoda není moc přesná a dle tiskových zpráv dosahuje průměrných chyb 18,5% s maximální možnou chybou 30 %. To by vedlo k velmi vysokým rozdílům při měření, například reálné emise oxidu dusíku 150 mg, ale přístroj by ukazoval 105 nebo až 195 mg. [17]



Obr. č.10 - Měření emisí v reálném provozu metodou RDE, převzato z [18]

U homologace vozidel s hmotností nad 3,5 tuny se používají jiné testy. U zážehových motorů se používá ESC (European Stationary Cycle) a ETC (European Transient Cycle). Pro vznětové motory navíc potřebujeme další test pro určení kouřivosti ELR (European Load Response). Samotné emisní limity jsou stanovovány pro každou skupinu vozidel velice specificky s ohledem na ekonomické, technické a technologické možnosti jejich dosažení. [8]

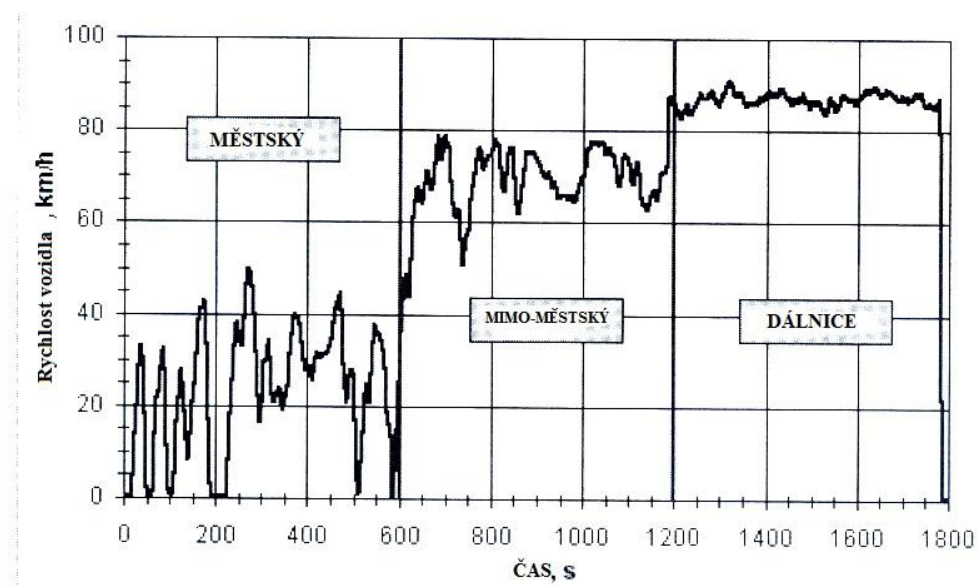
European stationary cycle (ESC) je postaven na ustáleném testu u kterého zkoušíme samotný motor umístěný na motorovém dynamometru, který odpovídá jeho poloze ve vozidle. Potom následuje zatěžování motoru v tzv. 13 bodovém testu, který se skládá z 13 stabilních režimů otáček a zatěžování motoru. Každé z těchto částí je díky normativům připojena určitá důležitost, která nám zohledňuje naměřené hodnoty emisních složek a zatížení motoru pro další výpočet měrných emisí. Tento cyklus je známý vysokými teplotami výfukových plynů a vysokými součiniteli samotného zatížení motoru. Navíc určujeme pomocí vzorců pro každý motor otáčky A, B, C. [8]



Obr. č.11 - 13bodový test neboli průběh ESC, převzato z [8]

Společně s ESC byl uveden v platnost v rámci Evropské unie další jízdní test pod názvem ETC (European transient cycle), dále může být označen jako FIGE transient test. Stejně jako u předchozího cyklu ESC je agregát umístěn na motorovém dynamometru, ale může být také v zástavbě na válcové zkušební. Testovací cyklus se opírá o skutečné měření na silnici v oblasti provozu těžkých nákladních vozidel. Samotné ETC se dá rozložit do tří skupin dle jízdního cyklu simulujícího město, mimo město a dálnici. Celý testovací režim trvá 1800 s, z toho každá část třetinu času. První úsek reprezentující město má nejvyšší rychlost 50km/h, skládá se z častých zastavení,

běhu naprázdno a startů. V druhém úseku simulujeme jízdu mimo město. Skládá se ze zrychlování a průměrné rychlosti 72km/h. Poslední část neboli dálniční cyklus je prováděn při rychlosti 88km/h. Pro potřebnou homologaci byl vybrán pouze test, kdy byl motor umístěn na dynamometru. [8]



Obr. č.12 - Jízdní cyklus ETC u válcového dynamometru, převzato z [8]

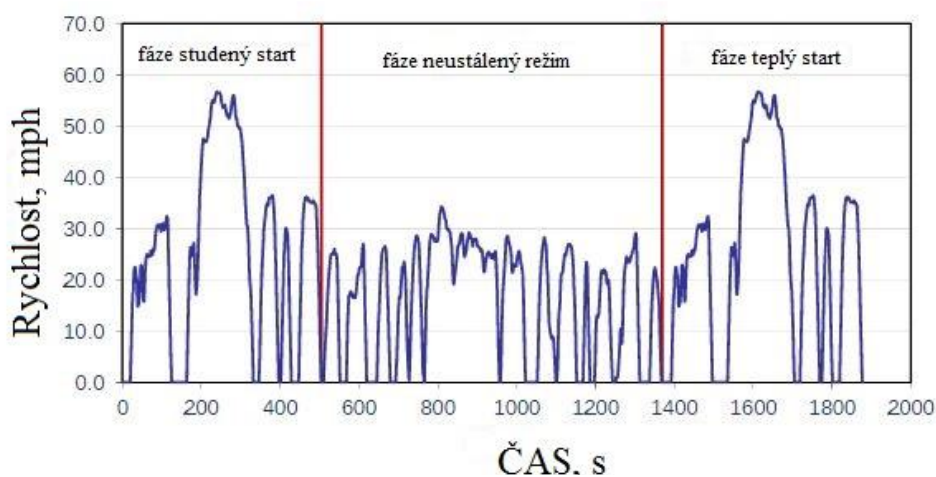
4.21 Měření emisí při homologaci v USA

Vývoj emisních testů v USA je daleko rozsáhlejší než v Evropě. Hlavní rozdíl spočívá v dodatečném testování, takže vůz projde několika různými cykly. Ve většině případů jsou používány jiné testy až na cyklus ESC. Samotnou homologaci můžeme rozdělit do dvou skupin dle hmotnosti vozidla na lehká (LDV) a těžká (HDV).[8]

Homologaci lehkých vozidel (Light-duty vehicles) dělíme dle CAAA (Clean Air Act Amendments) do dvou kategorií dle hmotnosti vozu. První skupina je označována jako Tier 1 Standard a platí pro osobní automobily, lehké nákladní automobily, SUV, MPV a pickupy o celkové hmotnosti do 8500 liber (3855 kg). Druhá skupina vozidel patří pod Tier 2 Standard, který hlavně zpřísňuje limity emisí u těžších vozidel. Navíc je rozšířen o těžké automobily kategorie SUV a osobní dodávky s celkovou hmotností od 8500 do 10000 liber (4535 kg). To platí pouze pro automobily, které jsou homologovány jako osobní. Pokud používáme automobil této hmotnosti pro podnikání, musí projít homologací pro nákladní vozy. [8]

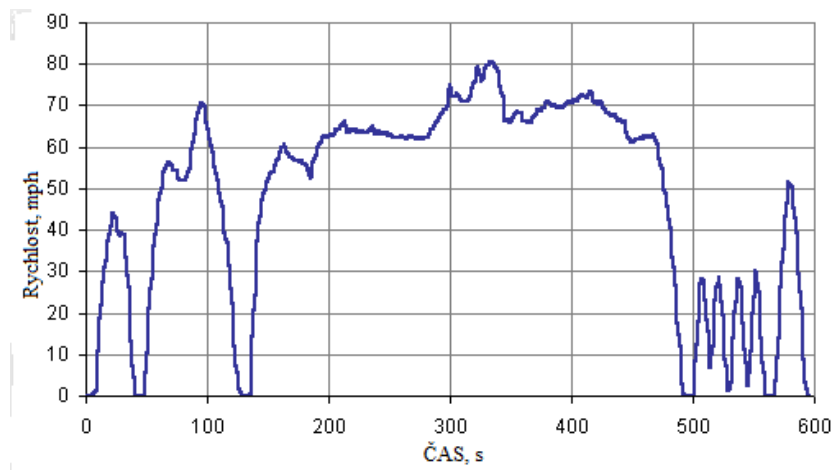
Pro měření lehkých vozidel se používá zkušební jízdní cyklus FTP 75, který probíhá na válcovém dynamometru. Skládá se ze tří částí, první fáze je studený start, pak neustálený režim a fáze teplý start. První a třetí část jsou totožné. Cyklus vznikl modernizací původního FTP 72, přidáním teplého startu. Celkem vůz ujede dráhu 17,7 km s průměrnou rychlostí 21,2 mph (34,1 km/h) za 1874 s. [8]

Naměřené výfukové exhalace jsou ukládány odděleně do teflonových vaků pro každou ze tří fází. Poté jsou vyhodnocovány v gramech na ujetou míli. Každá část má pro výpočet emisí jinou váhu, 0,43 pro studený start, 1,0 pro neustálený režim a 0,57 pro teplý start. [8]



Obr. č.13 - Zkušební cyklus FTP 75 , převzato z [8]

Kromě testu FTP 75 musí měřené vozidlo projít ještě dvěma doplňkovými testy dle SFTP (Supplemental Federal Test Procedure). První je označován jako US06, simuluje agresivní jízdu a vysokou akceleraci při rozjezdu vozidla a vysoké kolísání otáček. Druhý je simulace jízdy se zapnutou klimatizací, jedná se o SC03. [8]



Obr. č.14 - Zkušební cyklus US06 simulující agresivní jízdu , převzato z [8]

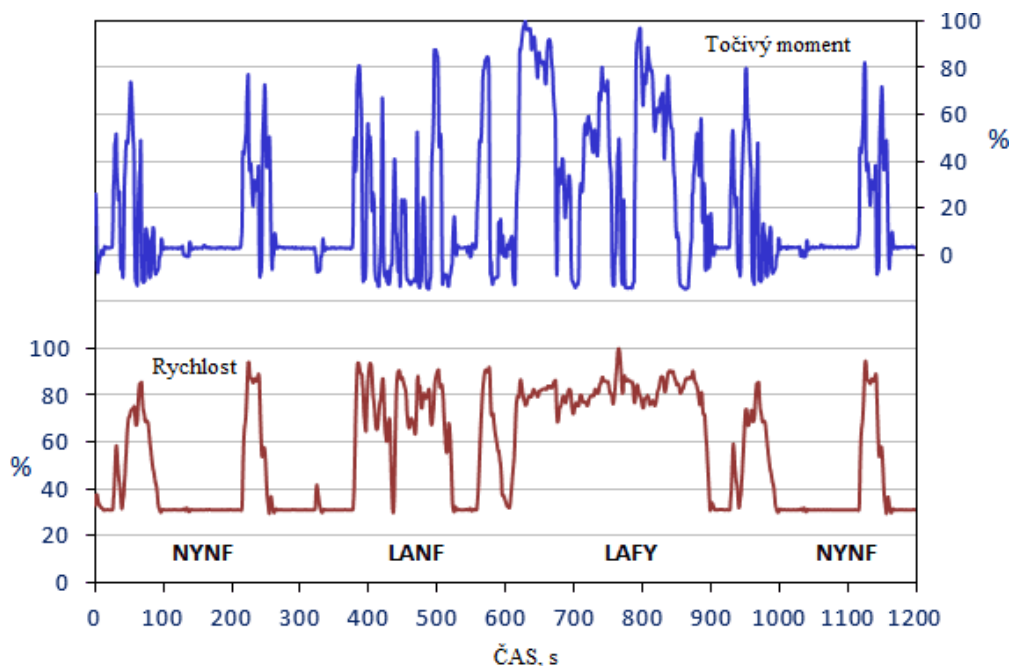
Těžké vozidlo (Heavy Duty Vehicles) je definováno hmotností nad 8500 liber (3855 kg), ale v Kalifornii nad 14 000 liber (6350 kg). To platí pro vozy se zážehovými motory. Pro vznětové existuje další dělení do tří skupin dle váhy. Malá těžká vozidla od 8500 nebo 14 000 do 19 500 liber (8845 kg). Střední těžká vozidla od 19 500 do 33 000 liber (14 968 kg) a velmi těžká vozidla nad 33 000 liber. Do těchto tří skupin patří hlavně autobusy a tahače návěsů. [8]

Samotnou homologaci dělíme do dvou skupin. Můžeme měřit samotný motor na dynamometru nebo simulujeme celé vozidlo na válcové zkušebně. V prvním případě používáme Heavy - Duty FTP Transient cycle, který je doplněn v Evropě známým ESC neboli třinácti bodovým testem a dvěma doplňkovými testy s označením SET a NTE. Při měření celého vozidla použijeme Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS-HD).[8]

Cyklus HDV FTP Transient se používá pro homologační měření samotných motorů autobusů a těžkých nákladních automobilů. Celkem se skládá ze čtyř částí simulujících lehkou městskou dopravu s častým zastavením a rozjezdem NYNF (New York Non Freeway) a velmi hustou městskou dopravu LANF (Los Angeles Non Freeway). [8]

Tento cyklus začíná studeným startem, po kterém následuje zrychlení vozidla a jízda nízkou rychlostí při simulaci městských, mimo městských nebo dálničních provozních podmínek. [8]

Vozidlo je zatíženo asi 20-25 % z maximálního výkonu, kterého dosahuje v dané rychlosti. Samotné měření proběhne dvakrát, druhá část je zahájena s teplým startem po přestávce v délce 20 minut na konci první části. Průměrná rychlost v celém cyklu je okolo 30 km/h, celková ujetá dráha 10,3 km za 1200 s. Tento čas je pouze přibližný z důvodu měření na dynamometru. [8]



Obr. č.15 - Časový průběh točivého momentu a otáček motoru při cyklu Heavy-Duty FTP Transient Cycle, převzato z [8]

Kromě HD FTP Transient musí vozidlový motor projít ještě dvěma doplňkovými zkouškami. První test se značí SET (Supplemental Emission test), který sleduje vozidlo při stacionárních stavech jako je například provoz na dálnici. Je totožný s evropským ESC testem. Pod názvem NTE (Not to exceed) se skrývá nástroj pro dodatečné zjištění, že emise hlavně u vznětových motorů jsou splněny při různých zatíženích a otáčkách vozidla. Samotné NTE stanoví plochu, která je pod křivkou točivého momentu. V tomto prostoru nesmí emise převyšovat stanovenou hodnotu z regulovaných emisí. Samotná zkouška není určena žádným jízdním cyklem ani dráhou. Zahrnuje jakýkoliv možný stav, který může nastat v námi sledovaném prostoru. Emise jsou vypočítávány každých 30 sekund a srovnávány s limity NTE. [8]

4.3 New European Driving Cycle (NEDC)

Pro měření spotřeby paliva a emisí CO₂ u osobních a lehkých užitkových vozidel se používá jízdní test pod označením nový evropský jízdní cyklus (NEDC). Základem této zkoušky je vozidlo, které je umístěno na válcovém dynamometru a dochází k simulaci provozu vozidla na komunikaci. Emise CO₂ a další sloučeniny uhlíku zjistíme měřením, ale spotřebu paliva dopočítáme pomocí uhlíkové bilance z námi změřených emisí. [10]

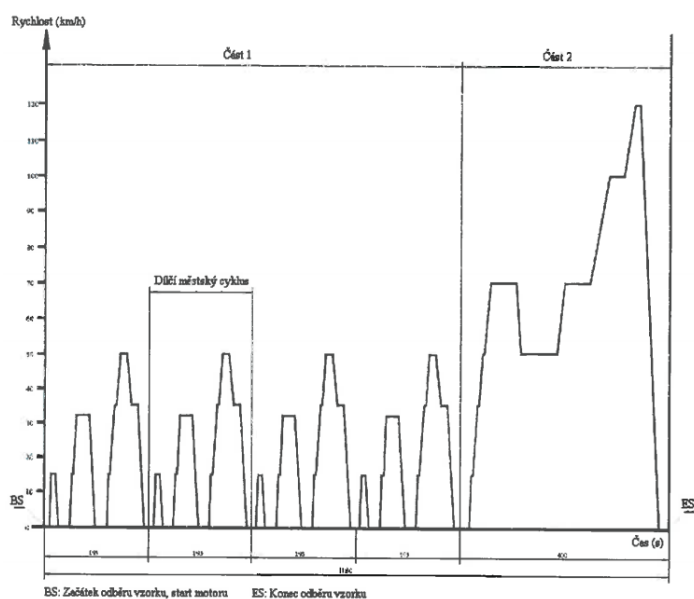
Tento jízdní cyklus sestává ze dvou částí, které simulují městský (část 1) a mimoměstský (část 2) provoz. Test je bez přestávky a trvá necelých 20 minut, přesněji 19 minut a 40 sekund. [10]

První část je reprezentována městským cyklem a sestává ze čtyř částí, které se opakují. Každý z těchto úseků obsahuje celkem 15 různých dílčích úseků, ve kterých námi měřené vozidlo jede na volnoběh, akceleruje, drží rychlost a následně zpomaluje. Během celého testu může vozidlo dosáhnout maximální rychlosti pouze 50 km/h, ujetá vzdálenost je okolo 4,052 km. [10]

Druhá část, kterou je mimoměstský cyklus se skládá jen z jedné dílčí části. Ta obsahuje 13 úseků s provozem vozidla na volnoběh a následným zrychlením, udržení rychlosti a zpomalení. Maximální rychlost nám stoupla až na 120km/h, stejně i ujetá vzdálenost na necelých 7 km, přesněji 6,955 km. [10]

Tento jízdní cyklus má hned několik různých kritérií, které nám řídí předpisy. Například způsob řazení u vozidel s manuální či automatickou převodovkou. Vozidlo by mělo mít zajetý motor dle doporučení výrobce s nájezdem před měřením okolo 3000 km, samozřejmě motor musí být zahřátý na 20-30 °C. Používáme referenční paliva, jejichž složení známe. Navíc musíme dodržovat tolerance v rámci rychlosti (± 2 km/h) a času ($\pm 1,0$ s) což platí hlavně u městského cyklu. [10]

Poté proběhne tzv. doběhová zkouška s parametry, které nám stanovují předpisy (jízdni dráha a atmosférické podmínky). Test spočívá ve zrychlení nad maximální rychlost mimoměstského cyklu (přes 120 km/h) a s vyřazeným převodovým stupněm necháme vozidlo doběhnout až do úplného zastavení s měřením času dosažení jednotlivých rychlostí (od 120 do 10 km/h). Tyto časy potřebujeme pro vlastní nastavení dynamometru. [10]



Obr. č.16 - Nový evropský jízdni cyklus (NEDC), převzato z [10]

Cyklus NEDC je sice přesný, ale nebere v potaz některé další vlivy a okolnosti působící na vozidlo. Test jako takový neodpovídá reálnému provozu a podmínkám na silnici. Vozidlo je po celou dobu testu v laboratoři na válkách v konstantních podmínkách. Takže se neberou v potaz atmosférické podmínky jako je teplota, vlhkost, odpor vzduchu proti vozidlu. Jízdní odpory jsou proměnlivé a záleží na povrchu a sklonu vozovky. Další důležité kritérium je řidič, protože každý řadí a sešlapuje pedál akcelérátoru jinak. [10]

V nejbližší době má být New European Driving Cycle (NEDC) nahrazen novým testem s označením World Light Duty Procedure (WLTP), který více odpovídá reálnému provozu jako severoamerický a japonský test. Cyklus by potom měl být sjednocen. [11]

4.31 World Light Duty Procedure (WLTP)

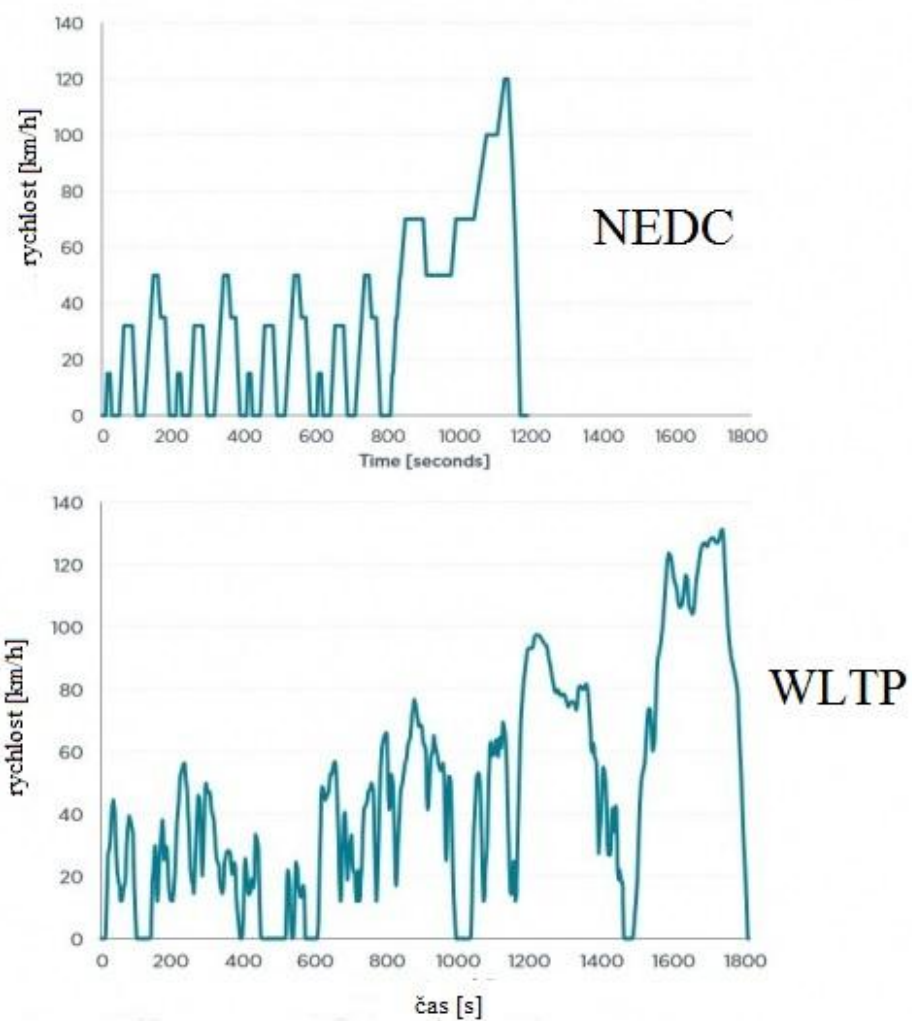
Tento nový cyklus je taktéž laboratorní, ale měl by více odpovídat realitě oproti cyklu NEDC. Vozidla jsou rozdělena do tří kategorií dle výkonu na tunu hmotnosti. Slabá vozidla mohou mít nejvíce 22 kW na 1000 kg, střední od 22 kW do 34 kW na jednu tunu hmotnosti. Nejsilnější vozidla překračují výkon 34 kW a do této skupiny patří většina nově vyrobených vozů v Evropě. [17]

Jízdní test je delší než u NEDC, trvá 30 minut a dosahujeme maximální rychlosti 131 km/h. Měření začíná stejně jako NEDC se studeným motorem, ale při teplotě 23°C na rozdíl od rozmezí 20-30 °C. Vůz ujede celkem 23,3 km s průměrnou rychlostí 46,5 km/h. Procentuálně zastaví celkem 9x na 12,6 % času, následně zrychluje 43,8 %, konstantní rychlost máme pouze v 3,9 % celého testu a necelých 40% zůstává na zpomalování. Test je tedy náročnější a hlavně přísnější. [17]

Výrobci již nemohou upravovat automobil tak, aby podváděl při testu. Tlak pneumatik musí být dle štítku na dveřích výrobce, přehuštění a zahřátí je zakázáno. Navíc obutí musí odpovídat sérii, takže mohou být nazuty pneumatiky s nízkým valivým odporem za předpokladu, že je výrobce skutečně používá. Geometrie náprav nesmí být upravena, musí odpovídat sériovému vozu. [17]

Motor zkoušeného vozu by měl mít najeto okolo 3000 - 15000 km. Brzdy musí odpovídat sériovému stavu, nesmí být zatlačeny pístky do třmenů. Nesmí se používat přednabitý akumulátor, což vedlo k odpojování alternátorů a falšování testů. Navíc u automobilů s manuálními převodovkami je doba řazení určena pro každý vůz samostatně dle různých koeficientů. [17]

Tento jízdní cyklus odpovídá více realitě oproti testu NEDC, kterému dopomáhají systémy start-stop nebo hybridní technologie. Limity emisí oxidu uhličitého jsou posunuty na 100 g/km, ale u většiny testovaných vozů došlo ke snížení spotřeby a emisí oxidu uhličitého v řádu několika procent. Tento test by měl být zaveden koncem roku 2017. [17]



Obr. č.17 - Porovnání cyklů NEDC a WLTP, převzato z [17]

5 EMISNÍ POŽADAVKY

Emisní limity osobních automobilů prošly dlouhým vývojem, který dodnes nekončí. Emisní normy a doporučení vydává Evropská hospodářská komora (ECE), které musíme respektovat od sedmdesátých let. Tyto emisní normy jsou již nahrazeny normami typu Euro. [4]

První emisní limit nevznikl v Evropě, ale v Kalifornii koncem šedesátých let. Evropská norma začala platit až od roku 1971 a označovala se EHK 15. První norma s označením Euro se objevila až v roce 1992. Čím vyšší číslo, tím nižší limit pro její splnění. To platí pro osobní automobily, užitková vozidla i autobusy. Rozdíl je pouze v limitech a označení norem. Pro osobní a lehké užitkové automobily jsou číslovány arabskými číslicemi, těžká užitková vozidla a autobusy římskými číslicemi. [12]

Tato norma stanovuje limitní hodnoty pro výfukové exhalace. Omezuje hned několik emisních složek, množství oxidu uhelnatého, uhlovodíků, oxidů dusíku a pevných částic. Množství prvků jsou uváděny v gramech na ujetý kilometr. Kromě těchto emisí vypouští automobil do ovzduší další prvky, například sloučeniny síry a oxid uhličitý, ale ten norma Euro vůbec neřeší. [12]

Pravidelně každé 4 roky dochází k vydání novější verze tohoto limitu. Zavedení nové normy není nic jednorázového a platí nejprve pro nově představené modely výrobců, které budou uvedeny na evropský trh. Pro aktuálně platnou normu Euro 6 bylo stanoveno datum na 1.9.2014. Od tohoto data musí nově homologovaný vůz normu plnit. Většina velkých výrobců je schopna plnit limity Euro dříve, než začne jejich oficiální platnost. [12]

Norma Euro 1 vstoupila v platnost v roce 1992. U zážehových motorů sleduje limity oxidu uhelnatého, oxidy dusíku a uhlovodíky jsou brány dohromady. Vznětového motor kontroluje na množství stejných prvků, ale navíc máme pevné částice. Euro 2 začala platit v roce 1996, došlo ke zpřísnění limitů všech sledovaných prvků. [12]

Změna přišla se zavedením Euro 3 v roce 2000 u zážehových motorů. Od této normy sledujeme emise oxidů dusíku a uhlovodíku samostatně. Navíc vůz se zážehovým motorem musí být vybaven palubní diagnostikou OBD. U vznětových motorů sledujeme stále oxidy dusíku a uhlovodíky dohromady a také samotné oxidy dusíku. Euro 4 vstoupila v platnost v roce 2005, kdy došlo k dalšímu zpřísnění limitů, a vznětový motor musel být vybaven palubní diagnostikou. Norma Euro 5 začala platit v září 2009 a došlo k mírnému zpřísnění sledovaných limitů s rozdílem, že u zážehového motoru kontrolujeme i pevné částice. [12]

předpis	platnost	CO	HC	HC + NOx	NOx	PM
Diesel		g·km⁻¹				
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
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	2005.01	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

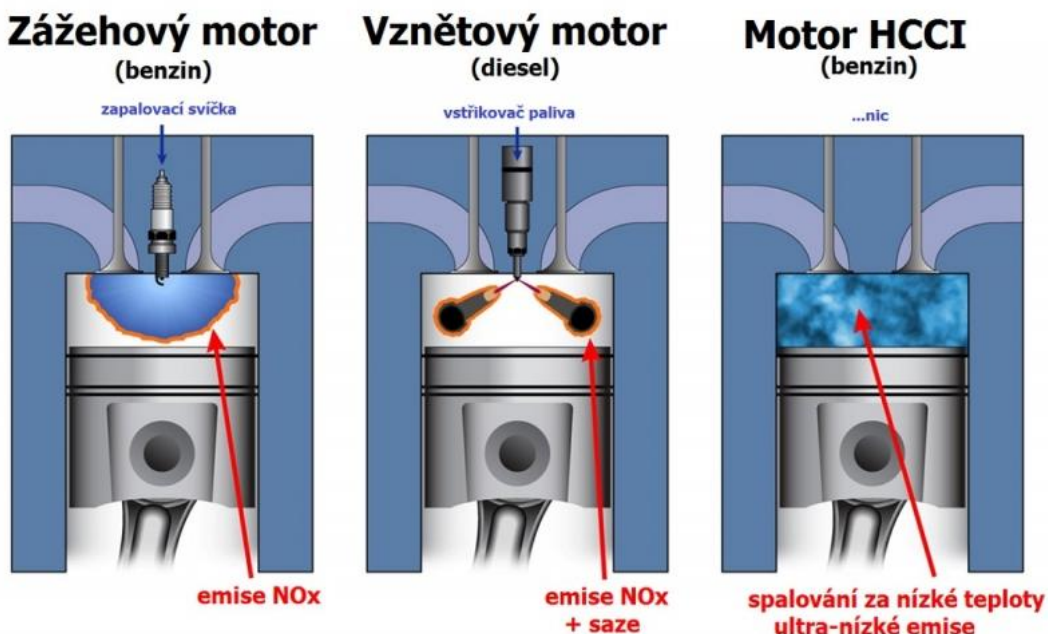
Obr. č.18 - Emisní limity pro zážehové a vznětové motory u vozidel do 3,5 t, převzato z [8]

V dnešní době dochází v oblasti emisních limitů pro zážehové a vznětové motory ke sjednocení požadavků. To vše je z důvodu tvrdších limitů v oblasti zážehových motorů díky třicestnému katalyzátoru. U vznětových motorů je to dáno zvýšenou účinností. Navíc provozujeme-li zážehový motor v oblasti chudých směsí, dochází ke stejným emisním potížím jako u motorů vznětových (pevné částice). Proto je vhodné se do budoucna pokoušet se emisní škodliviny snižovat tak, aby při nárůstu výkonů těchto motorů nedocházelo ke zvyšování absolutní hodnoty emisí. [4]

5.1 HCCI

Pod označením HCCI (Homogeneous charge compression ignition) se skrývá prototypový motor, který při svém provozu kombinuje zážehový a vznětový motor. Principem je podobný vznětovému motoru s tím rozdílem, že do válce je nasávána homogenní směs benzínu se vzduchem, u které dochází k zapálení pouhou kompresí, bez využití zapalovací svíčky. Konstrukčně je zjednodušen a nepotřebuje cívky, rozdělovače, kabely a navíc nemusíme řešit časy zapalování u svíček. Princip tohoto motoru není nový, na jeho vývoji pracuje mnoho různých firem například GM a Bosch, Nissan, Hyundai a Mazda. [14]

Samotný motor pracuje následovně. Do válce je nasáta směs a k jejímu zapálení dojde v momentě, kdy píst vytvoří dostatečný tlak a teplotu. Směs shoří v celém objemu. Energie se tedy uvolní rychle a směs prohoří velmi rychle bez možnosti dalšího ohřátí. Teplo neodchází do chlazení díky vysoké termické účinnosti. [13]



Obr. č.19 - princip spalovacích motorů ve srovnání s motorem HCCI, převzato z [13]

Provoz tohoto motoru by měl mít mnoho výhod. Například vysoký výkon při nízké spotřebě. Nízká spotřeba je hlavně dána tím, že motor nasává menší množství směsi. Díky tomu nedochází k produkci oxidů dusíku a výsledné emise jsou velice nízké. [13]

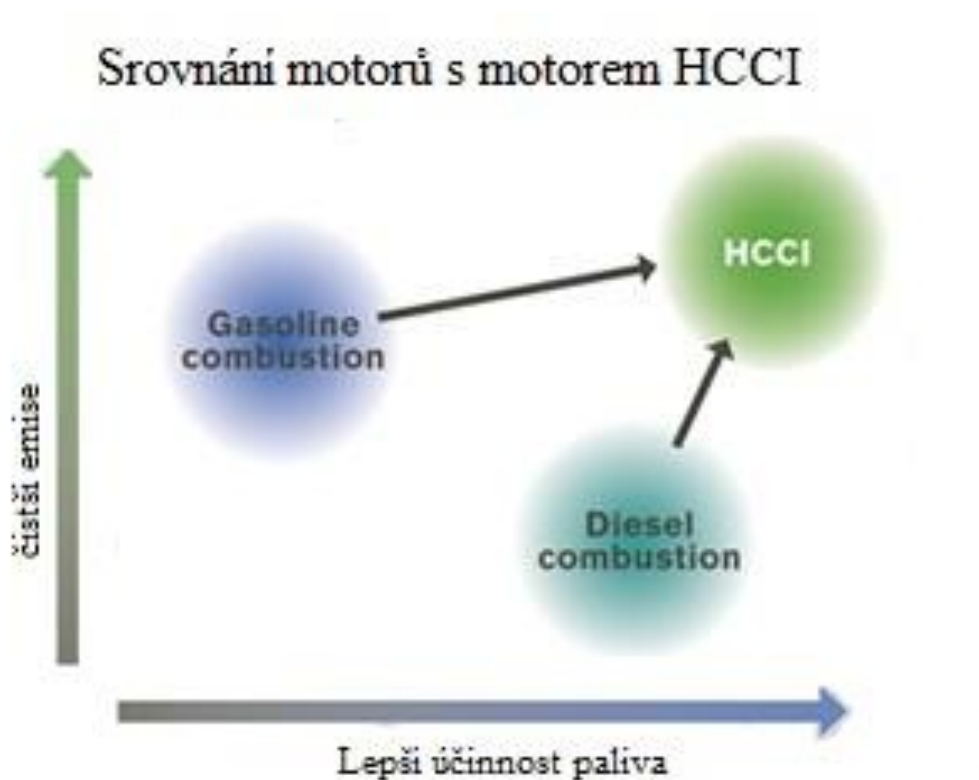
Samotné hoření probíhá najednou v celém prostu válce, což vede k minimálním teplotním rozdílům. Směs shoří celá, a proto můžeme vstříkovat menší množství paliva pro dosažení stejného výkonu. Úspora benzínu u HCCI je až 15 procent oproti klasickému zážehovému motoru. [13]

Motor HCCI má i nevýhody. Je těžké přesně nastavit dobu vznícení, kdy se má směs zapálit. To je možné pouze pomocí regulace teploty ve spalovacím prostoru. Zóna teplot, při které se směs vznítí ve správný moment, je velmi malá. Při velice nízkých teplotách nedojde ke vznícení nebo bude probíhat nesprávně. Naopak při vysokých teplotách hrozí riziko detonačního hoření. [13]



Obr. č.20 - teplotní rozsah spalování u motoru HCCI, převzato z [15]

Teplotu je možné regulovat několika způsoby. Můžeme řídit průtok plynu EGR ventilem a podle toho nasávat více či méně spalin do válce a tím regulujeme teplotu při stlačení. To je ale možné pouze při částečném zatížení. Pro plné zatížení je vhodné použít řízené časování ventilů při kompresi s možností vytvoření Atkinsonova cyklu. Necháme chvíli otevřený sací ventil při kompresi a tím změním kompresní poměr dosaženou kompresí.[13]



Obr. č.21 - srovnání motorů s motorem HCCI, převzato z [15]

6 METODIKA MĚŘENÍ

Měření emisí bylo realizováno při měření výkonu dynamickou zkouškou, kdy do výfukového traktu byla vložena odběrová sonda emisního analyzátoru.

Aby bylo měření na válcové zkušebně jasně identifikovatelné a opakovatelné, do protokolu musí být zadány parametry vozidla a okrajové podmínky měření (atmosférický tlak, vlhkost, teplota nasávaného vzduchu a další). Jelikož na válcovém dynamometru je měřen výkon na kolech vozidla, je potřeba znát převodové poměry a otáčky motoru, aby mohl být dopočítán výkon motoru. Proto měření začíná kalibrací otáček, kdy se při jízdě na zvolený převodový stupeň, na kterém se bude měřit výkon, kalibruje rychlost válců zkušebny s otáčkami motoru, s minimálním zatížením, aby nedocházelo ke skluzu. Jelikož válcová zkušebna Mendelovy univerzity je vybavena monoválcovým uspořádáním vozidlového dynamometru (kola vozu stojí na vrcholcích válců průměru 1,2m), je nutné vozidlo na zkušebně ukotvit, tak aby bylo zamezeno pohybu v podélné i příčné ose vozu.

Před samotným měřením výkonu je třeba jak vozidlo, tak zkušebnu prohřát na provozní teplotu. Kontrola prohřátí se provádí pomocí kalibrace pro statickou zkoušku, kdy se měří ztráty v pohonném ústrojí vozidla a zkušebně v rozsahu rychlostí, ve kterém bude měřen výkon. Kalibrační měření se opakují alespoň třikrát tak, aby poslední dvě měření dosahovala totožných hodnot.

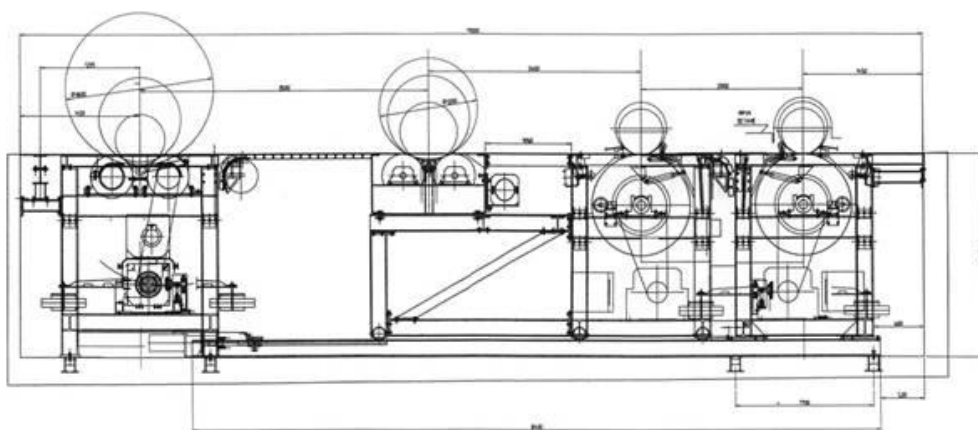
Jelikož měření emisí je zatíženo dopravním zpožděním analyzátoru (cca 10s) je nutné zajistit, aby měření trvalo delší dobu a sběr dat byl delší než vlastní dynamická zkouška. Data z analyzátoru, pak musí být před vyhodnocením posunuta na časové ose o dopravní zpoždění, aby odpovídala skutečnosti.

6.1 Popis zkušebny

Zkušebna v areálu Mendelovy univerzity se skládá z vozidlového dynamometru 4WDM-E120D a traktorového dynamometru VDU-E270T-E150T. Pro měření emisí byl použit vozidlový dynamometr. Vozidlový dynamometr se skládá z pevné části, kde jsou monoválce přední nápravy a posuvné části se zadními monoválci, aby mohl být měněn rozvor náprav, podle typu zkoušeného vozidla. Schéma vozidlového a traktorového dynamometru je uvedeno na obr. č. 23. [21]

Max. zkušební rychlost [km.h ⁻¹]	200	
Max. výkon na nápravu [kW]	240	
Max. hmotnost na nápravu [kg]	2000	
Průměr válců [m]	1,2	
Šířka válců [mm]	600	
Mezera mezi válci [mm]	900	
Povrch válců	zdrsnění RAA 1,6	
Hmotnost válců (každá náprava) [kg]	1130	
Min. rozvor [mm]	2000	
Max. rozvor [mm]	3500	
Zatížitelnost krytí		
	v místě jízdy [kg]	2000
	v místě chůze [kg]	500
Tlakový vzduch [bar]	min. 4	
Rozsah měření rychlosti [km.h ⁻¹]	0 - 200	
Rozsah měření sil [kN]	4x 0 - 5	
Přesnost měření rychlosti [km.h ⁻¹]	± 0,05	
Přesnost měření sil [%]	± 1,5	
Přesnost regulace rychlosti [%]	± 1,5	
Přesnost regulace síly [%]	± 2,5	

Obr. č.22 - parametry vozidlového dynamometru, převzato z [21]



Obr. č.23 - schéma kompletní zkušebny v areálu Mendelovy Univerzity, převzato z [21]

Pro měření emisí byl použit emisní systém ESA 3.250 od firmy Bosch, který umožňuje měření všech emisních složek.

Modul analyzátoru ETT 008.70	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0,000 - 10,00 % obj.	0,001 % obj.
CO ₂	0,00 - 18,00 % obj.	0,01 % obj.
HC	0 - 9999 ppm obj.	1 ppm obj.
O ₂	0,00 - 22 % obj.	0,01 % obj.
Lambda	0,500 - 1,800	0,001
Splňuje požadavky normy OIML třídy 1	Měřicí rozsah	Rozlišení
Modul opacimetru RTM 430	0 - 100 %	0,10%
Kouřivost	0 - 10 1/m	0,01 1/m
Opacita		

Obr. č.24 - parametry emisního systému Bosch ESA 3.250, převzato z [21]

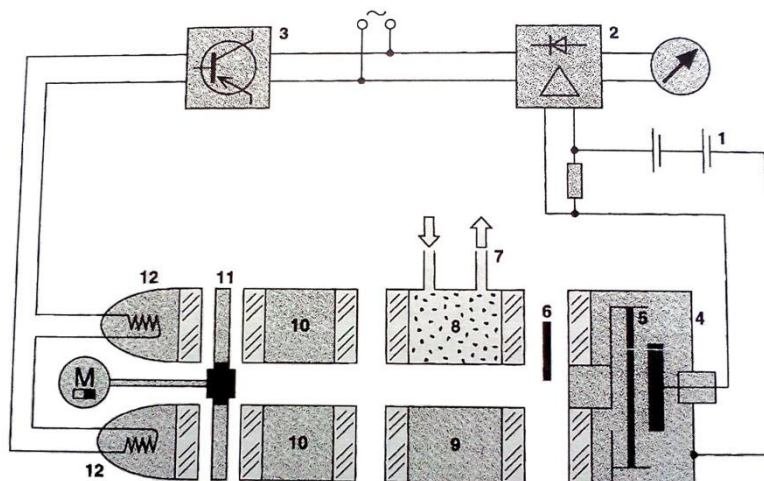


Obr. č.25 - Emisní systém Bosch ESA 3.250:

1- monitor, 2 - Dálkové ovládání, 3 - Inkoustová tiskárna, 4 - Měřicí modul MTM Plus,
5 - Modul opacimetru RTM 430, 6 - Klávesnice, 7 - PC modul, 8 - Modul analyzátoru
ETT 008.70-1, 9 - Dílenský vozík, převzato z [21]

6.2 Analyzátoři pro měření emisí

Množství oxidů uhlíku (CO a CO₂) určíme pomocí infraanalyzátoru, přesněji nedisperzní infračervený absorpční analyzátor (NDIR). Využíváme infračerveného záření v plynech na různých vlnových délkách (CO 4,8 μm a CO₂ 2,7 μm a 4,3 μm). Při měření porovnááme záření, přesněji jeho intenzitu ze společného zdroje po pasáži s měřeným vzorkem či jiným plynem, který neabsorbuje (například Dusík) a v částech zaplněných tímto plynem je pohlcováno prošlé záření. Může se vyskytnout rušivý element, který nám překrývá měřitelné spektrum pro další emisní plyny, to je řešeno pomocí dalšího absorpčního filtru. [9]

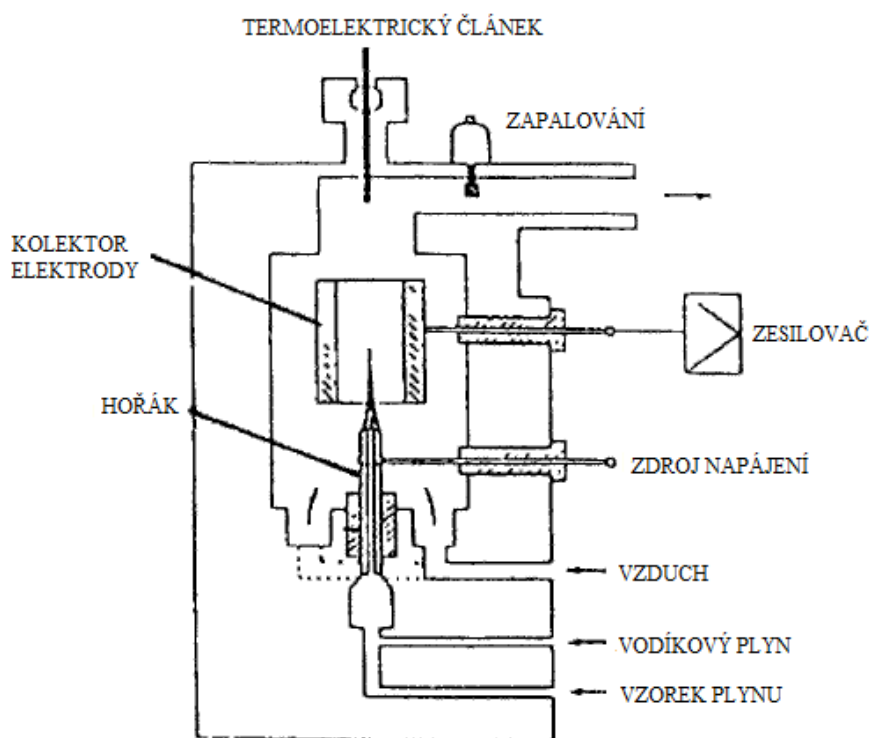


Obr. č.26 - nedisperzní infračervený absorpční analyzátor (NDIR) :

1 - zdroj stejnosměrného napětí, 2 - zesilovač, 3 - stabilizace sítě, 4 - přijímací komora, 5 - kovová membrána, 6 - clona, 7 - výfukové plyny, 8 - měřící kyveta, 9 - porovnávací kyveta, 10 - filtrační kyveta, 11 - točivá clona s motorem, 12 - zdroj záření, převzato z [9]

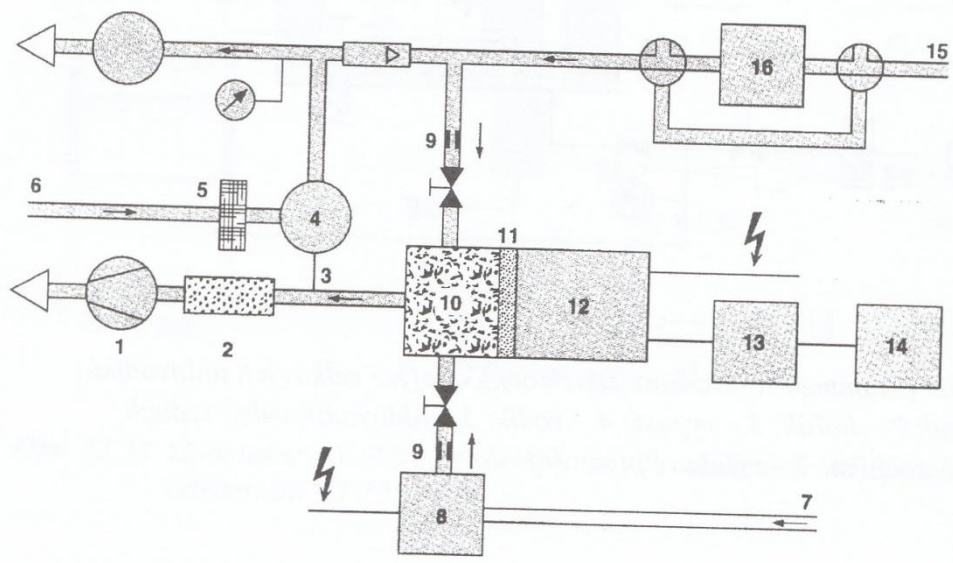
Kyslík měříme pomocí paramagnetického analyzátoru. K tomu ale potřebujeme dosáhnout tzv. Curieovy teploty. S postupným zvyšováním teploty naší zkoušeného vzorku můžeme umožnit vzniku síly, která nám působí pouze na kyslík a vyvolá nám hmotnostní tok, který závisí na jeho obsahu. Hmotnostní průtok poté měříme přímo mohutnost ochlazování topného vinutí. [9]

Uhlovodíky měříme stejně jako oxidy uhlíku pomocí nedisperzního infračerveného absorpčního analyzátoru (NDIR) nebo plynovou chromatografií (dělení směsi dle rozdílných rychlostí samovolného průchodu kapilárou). Někdy pod pojmem uhlovodíky najdeme nespálené organické látky, ty zjistíme pomocí ionizace vodíko-kyslíkového plamene (FID). [9]



Obr. č.27 - analyzátor pracující na principu ionizace vodíko-kyslíkového plamene (FID), převzato z [1]

Oxidy dusíku sledujeme pomocí intenzity chemické luminiscence v oblasti ultrafialového záření při samotné oxidaci NO fotonásobičem. U měřeného vzorku probíhá oxidace v temné komoře pomocí O_3 dvěma různými způsoby. Může probíhat přímo nebo pomocí termického štěpení NO_2 při teplotě $650^\circ C$ na NO po kterém měříme celkový podíl NO_x . [4]



Obr. č.28 - analyzátor pracující na principu chemické luminiscence :
 1 - vývěva, 2 - molekulární síto, 3 - referenční vedení, 4 - regulátor množství, 5 - filtr,
 6 - vzduch, 7 - kyslík, 8 - vyvíječ O₃, 9 - kapilára, 10 - reakční komora, 11 - optický
 filtr, 12 - fotonásobič, 13 - zesilovač, 14 - ukazatel, 15 - výfukové plyny, 16 - konvertor
 NO_x/NO, převzato z [9]



Obr. č.29 - Emisní systém Bosch BEA 750 s analyzátořem Bosch BEA 065 , převzato z [20]

6.3 Měření emisí u automobilu Škoda Octavia

Na válcovém dynamometru Mendelovy univerzity bylo realizováno dynamické měření výkonu s měřením emisí na voze Škoda Octavia 1.0 TSI se zážehovým přeplňovaným motorem s přímým vstřikem paliva (obr. 30,31). Technické parametry vozu jsou znázorněny v tabulce na obr. 32.



Obr. č.30 - Testovaný vůz Škoda Octavia s motorem 1.0 TSI

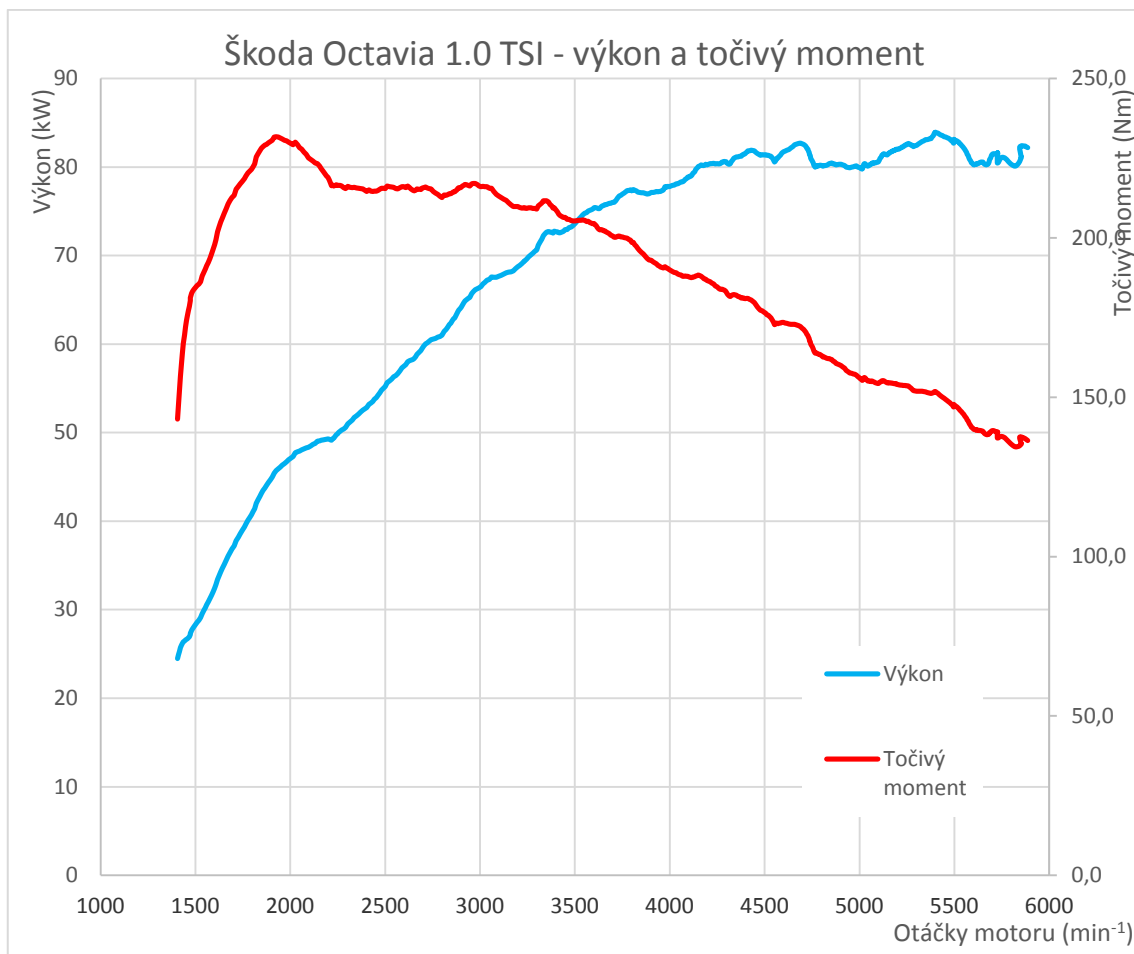


Obr. č.31 - Testovaný vůz Škoda Octavia s motorem 1.0 TSI

Technické údaje: Škoda Octavia 1.0 TSI

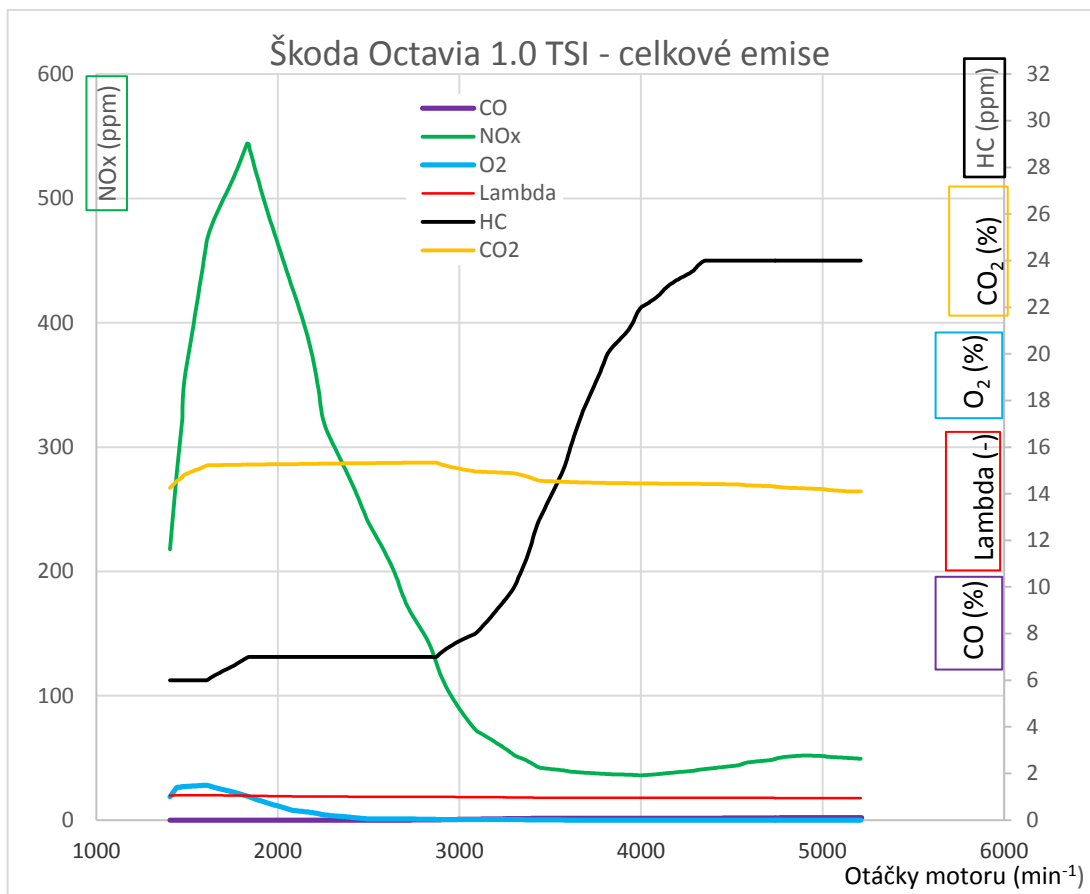
Rok • stupeň výbavy	2016 • Style
Počet válců/ventilů na válec	3/4
Typ motoru • zdvihový objem	zážehový • 999 cm ³
Nejvyšší výkon	85 kW (115 koní)
Nejvyšší výkon při otáčkách	5 000 až 5 500 ot/min
Nejvyšší krouticí moment	200 Nm při 2 000 až 3 500 ot/min
Zrychlení z 0 na 100 km/h	9,9 s
Nejvyšší rychlost	202 km/h
Převodovka: způsob řazení • počet stupňů	manuální • 6 stupňů
Zákl./max. objem zavazadlového prostoru	590 l • 1 580 l
Objem palivové nádrže	50 l
Hmotnost: pohotovostní • celková	1 225 kg • 1 775 kg
Prům. spotřeba: město • mimo • komb.	5,4 • 3,9 • 4,5 l/100 km
Rozvor náprav	2 686 mm
Rozchod kol: vpředu • vzadu	1 549 mm • 1 520 mm
Rozměr pneumatik	195/65 R15
Rozměry: délka × šířka × výška	4 659 × 1 814 × 1 461 mm

Obr. č.32 - *technická data automobilu Škoda Octavia s motorem 1.0 TSI, převzato z [22]*

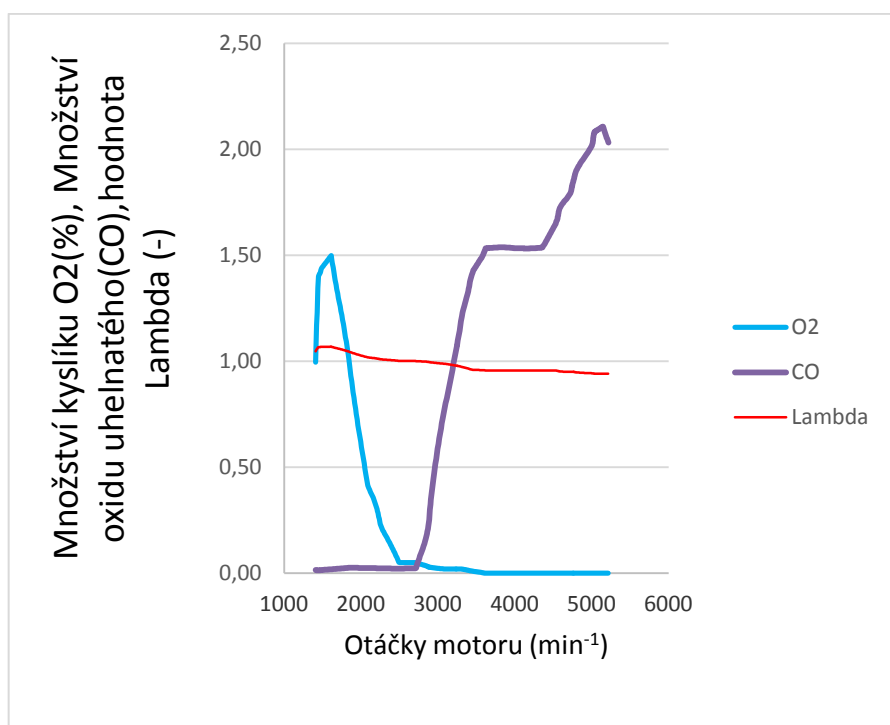


Obr. č.33 - graf otáčkové charakteristiky automobilu Škoda Octavia 1.0 TSI

Výchozí model automobilu Škoda Octavia s použitým motorem byl uveden na trh v roce 2016. Na obr. 33 je znázorněna naměřená otáčková charakteristika, jejímž porovnáním s tabulkou na obr 32 zjistíme, že naměřený maximální výkon motoru odpovídá údajům výrobce, naměřený točivý moment dokonce dosahuje vyšší hodnot a to až o cca 30 Nm ve 2000 min⁻¹. Naměřené hodnoty emisí a přebytku vzduchu jsou znázorněny na obr 34 a 35.



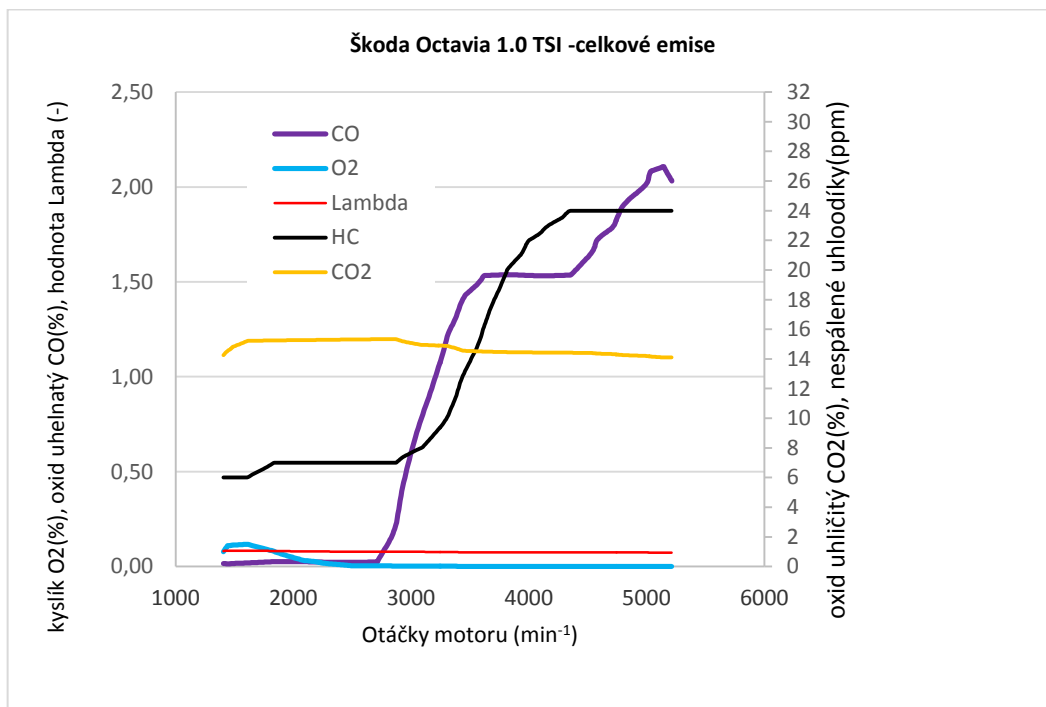
Obr. č.34 - graf naměřených emisí emisním systémem Bosch ESA 3.250



Obr. č.35 - graf závislosti kyslíku, oxidu uhelnatého a součinitele lambda na otáčkách

6.4 Hodnocení experimentu

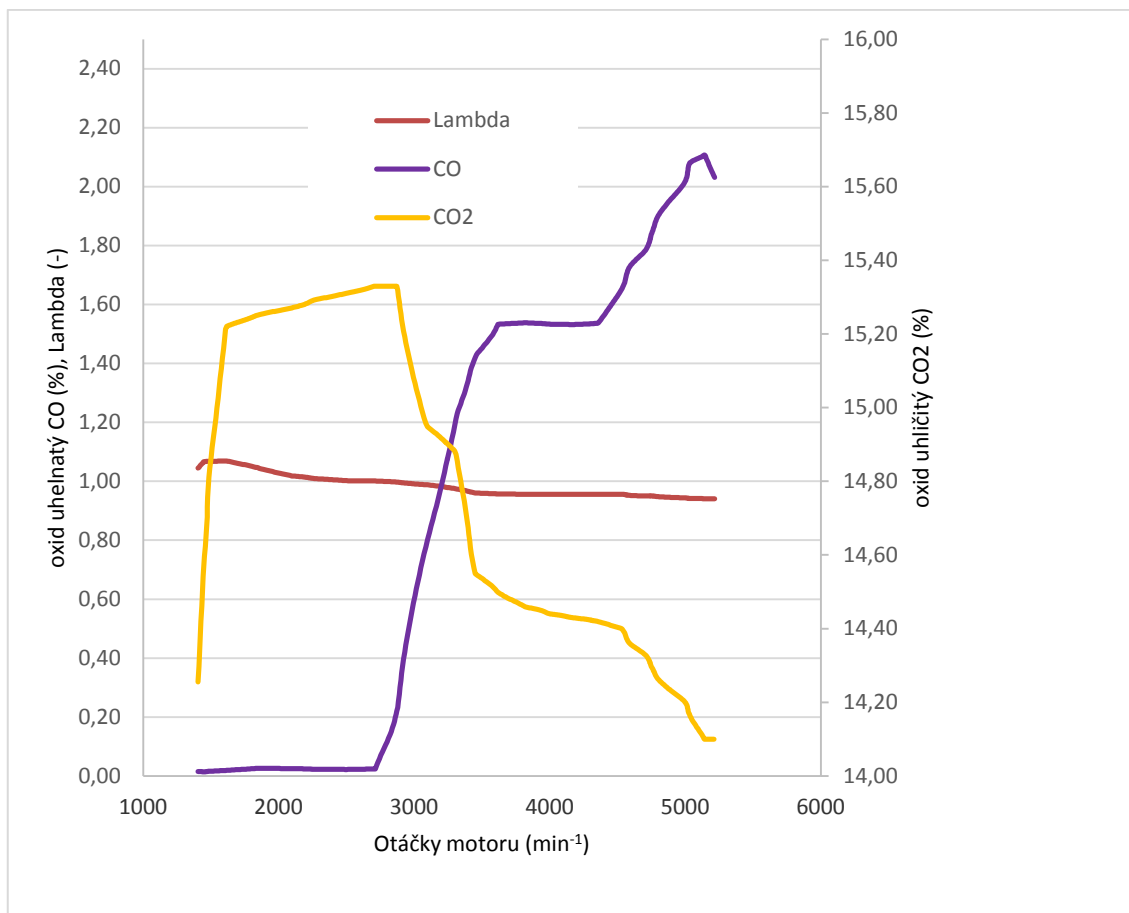
Měření emisí probíhalo na válcovém dynamometru při měření výkonu dynamickou metodou, tedy při transienční změně otáček a plném zatížení. Jelikož legislativa stanovuje pro měření na STK množství škodlivin (viz obr. 37) pro úzké intervaly otáček a nulové zatížení motoru nejsou naměřená data s legislativou regulérně porovnatelná. Porovnání jsem přesto provedl, aby bylo vidět, jak vzdálené legislativní předpisy mohou být od skutečných provozních podmínek.



Obr. č.36 - graf emisních složek, které budeme porovnávat s limity

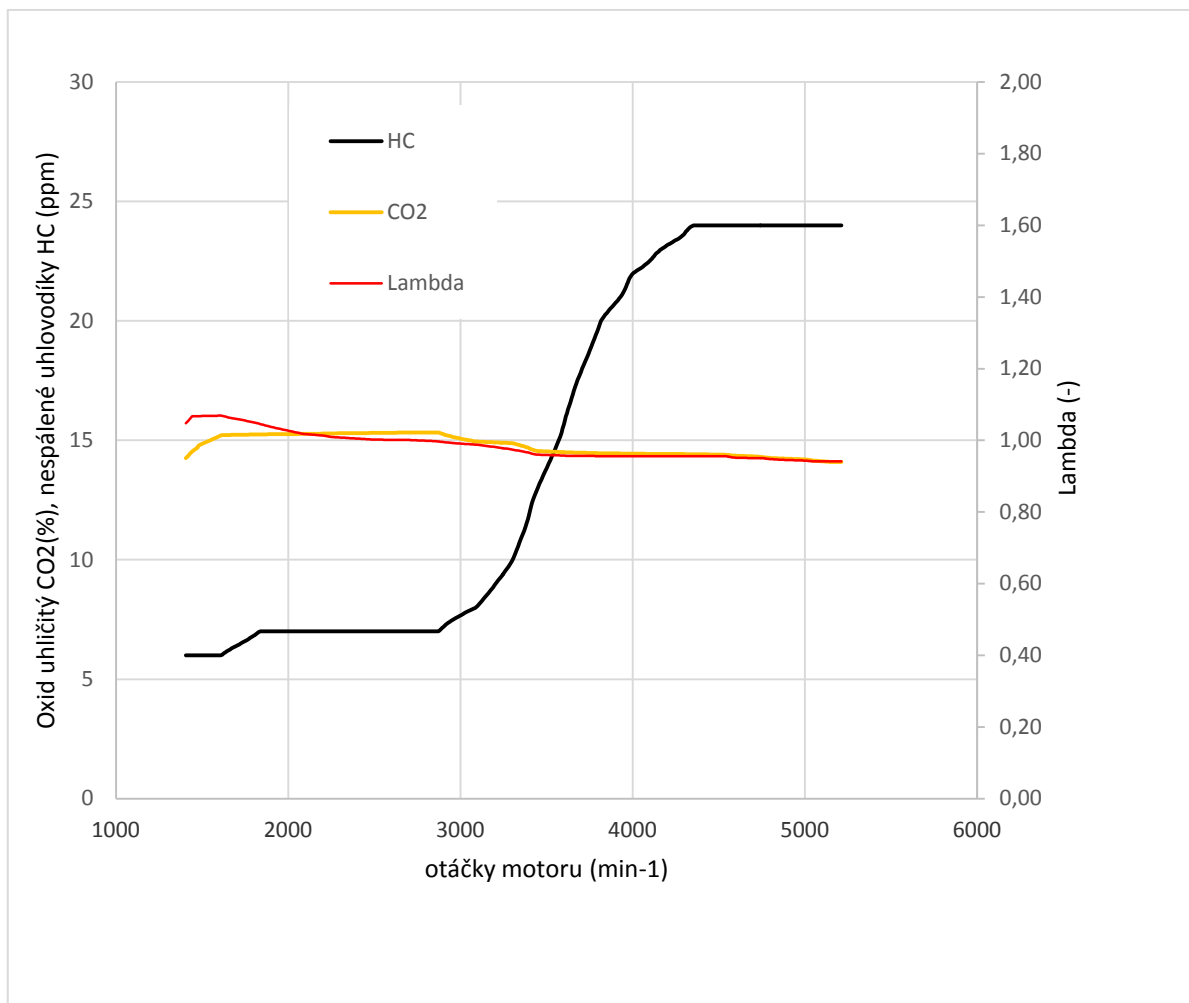
Limitní množství škodlivin		
	volnoběžné 700 - 900 min ⁻¹	zvýšené 2400 - 2600 min ⁻¹
CO	0,5 %	0,3 %
HC	300 ppm (200 ppm dle výrobce)	300 ppm (200 ppm dle výrobce)
λ	1±0,03	1±0,03

Obr. č.37 - emisní limity pro automobil se zážehovým motorem a řízeným emisním systémem, převzato z [23]



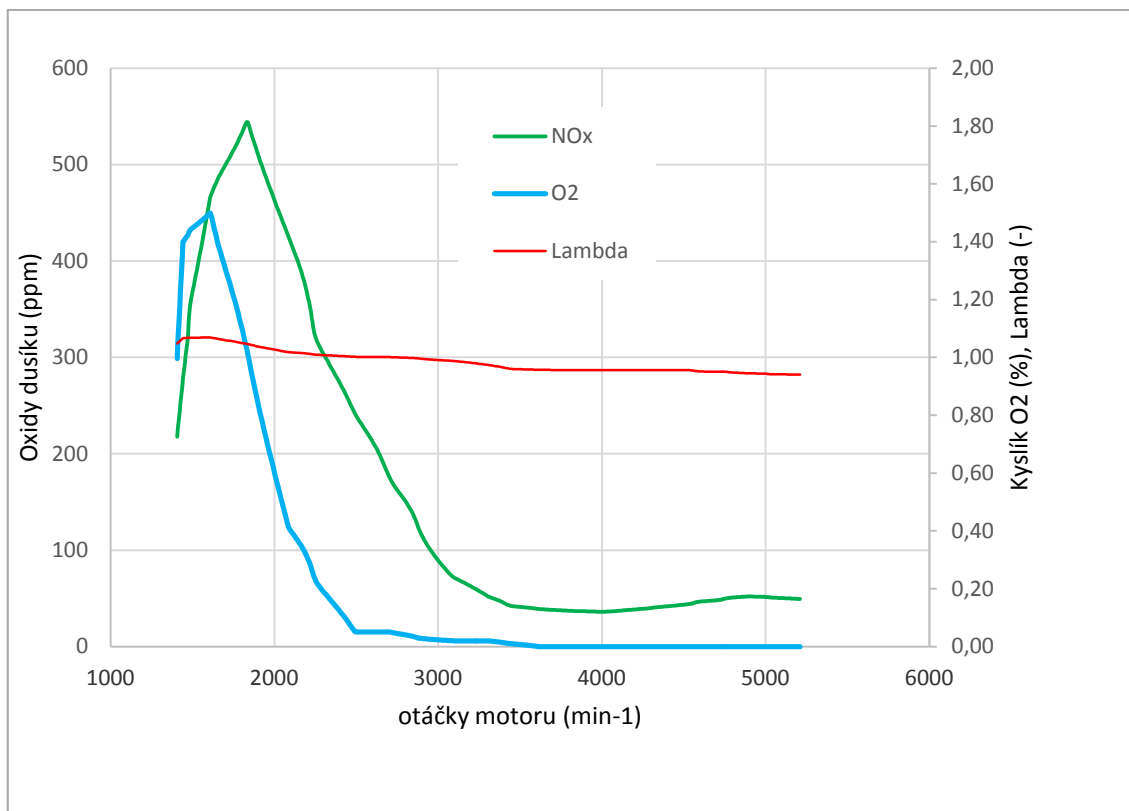
Obr. č.38 - porovnání emisí oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a součinitele lambda na otáčkách

Na grafu viz obrázek 38 jsou zobrazeny naměřené hodnoty CO, CO₂ a lambda. Pokud bychom tyto hodnoty porovnali s legislativními požadavky z obr. 37, pak zjistíme, že v předepsaném intervalu zvýšených otáček motor i při plném zatížení emise CO plní, ale po překročení 2900 min⁻¹ hodnota emisí CO výrazně roste, což odpovídá poklesu lambda a tedy přechodu do bohatší směsi s přebytkem paliva.



Obr. č.39 - porovnání emisí oxidu uhličitého, nespálených uhlovodíků a součinitele lambda na otáčkách

V případě srovnání emisí HC s legislativními požadavky zjistíme, že jsou s velkou rezervou splněny v celém rozsahu naměřených dat, což odpovídá správné funkci třicestného katalyzátoru. Nárůst nespálených HC nad 2900 min⁻¹ zcela koresponduje nárůstem CO vzhledem bohatší směsi paliva se vzduchem.



Obr. č.40 - porovnání hodnot lambdy s množstvím kyslíku a oxidů dusíku v závislosti na otáčkách

Na grafu viz obrázek 40 je uvedena závislost kyslíku, součinitele lambda a oxidů dusíku na otáčkách. Budeme-li tyto hodnoty porovnávat s legislativními parametry pro stanice stk, dojdeme k následujícím výsledkům. Legislativa neřeší množství oxidů dusíku. Hodnota součinitele lambda by neměla překročit hodnotu $1 \pm 0,03$ v oblasti otáček od 2600 do 2800 min^{-1} což znamená provoz velmi blízko stechiometrickému poměru, v této oblasti vůz normu plní. V oblasti od 1300 do 1550 min^{-1} dosahuje lambda až hodnot 1,07, tedy chudá směs, plně korespondující s přebytkem kyslíku a tedy i tvorbou NOxů. Od 3400 min^{-1} pro změnu hodnota lambdy klesá až k hodnotě 0,94, což se dá vysvětlit například funkcí akcelerační pumpy, tedy obohacení směsi za účelem rychlého nárůstu výkonu, otáček motoru, ochlazení spalovacího prostoru vzhledem k tomu, že měření bylo provedeno během akcelerace pod plným zatížením.

7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo uceleně shrnout problematiku emisí výfukových plynů spalovacích motorů, hlavně zážehových a to od způsobu tvorby výfukových plynů, přes způsoby měření až po legislativní požadavky jak v ČR, potažmo EU, tak ve Spojených státech amerických. Okrajově byla zmíněna i budoucnost spalovacích motorů ve formě spalovacího motoru HCCI.

V praktické části měření emisí při dynamickém měření výkonu ukázalo, jak malou vypovídací hodnotu mají kontroly emisí STK vzhledem k emisím výfukových plynů v reálném provozu. Stejně tomu je i v případě homologačních měření. Proto by mělo být snahou legislativy co možná nejvíce přiblížit homologační i kontrolní měření STK skutečným provozním podmínkám a zároveň požadovat technologicky a ekonomicky dosažitelné limity, aby se nemusely opakovat aféry jako Dieselgate.

8 POUŽITÁ LITERATURA

[1] MARTYR, A J. -- PLINT, M A. *Engine testing theory and practice*. 3. vyd. Oxford: Burlington, MA, 2007. 442 s. ISBN 978-0-7680-1850-9.

[2] HLAVŇA, V. a kol. *Dopravný prostriedok - jeho motor*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2000. 442 s. ISBN 80-7100-665-3.

[3] BAUMRUK, P. *Příslušenství spalovacích motorů*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 241 s. ISBN 80-01-02062-2.

[4] MACEK, J. -- SUK, B. *Spalovací motory : I*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. 244 s. ISBN 80-01-02085-1.

[5] KOŽOUŠEK, J. *Teorie spalovacích motorů : Vysokošk. učebnice pro studenty strojních fakult vys. škol techn. směru*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1971. 701 s.

[6] ONDRÁČEK, J. *Traktory a automobily I: Spalovací motory - základní výpočty a laboratorní měření*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská, 1988. 102 s.

[7] VLK, F. *Vozidlové spalovací motory*. Brno: Vutium, 2003. 580 s. ISBN 80-238-8756-4.

[8] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

[9] VLK, F. *Zkoušení a diagnostika motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2001. 576 s. ISBN 80-238-6573-0.

[10] *Emise CO₂ a spotřeba paliva osobních a lehkých užitkových vozidel se spalovacími motory* [online]. c2016, poslední revize 31.10.2016 [cit. 2016-10-31]. Dostupný z WWW:

<http://portal.sda-cia.cz/clanky/download/TS_201111p03.pdf>

[11] *Matoucí údaje o emisích a spotřebě* [online]. c2016, poslední revize 31.10.2016 [cit.2016-10-31]. Dostupný z WWW:

<http://www.autoweek.cz/cs-aktuality-matouci_udaje_o_spotrebe_a_emisich_co2-2700>

[12] *Emisní norma EURO* [online]. c2017, poslední revize 7.2.2017 [cit.2017-2-5]. Dostupný z WWW:

<<http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>>

[13] *Motor budoucnosti je diesel na benzín. Jak to funguje? A proč ho ještě nemáme?* [online]. c2017, poslední revize 7.2.2017 [cit.2017-2-6]. Dostupný z WWW:

<<http://www.autoforum.cz/technika/motor-budoucnosti-je-diesel-na-benzin-jak-funguje-a-proc-ho-jeste-nemate/>>

[14] *Bosch a GM chtějí vdechnout život zážehovo-vznětovému motoru* [online]. c2017, poslední revize 7.2.2017 [cit.2017-2-6]. Dostupný z WWW :

<<http://www.autoforum.cz/technika/bosch-a-gm-chteji-vdechnout-zivot-zazehovo-vznetovemu-motoru/>>

[15] *HCCI (Homogeneous-Charge Compression Ignition)* [online]. c2017, poslední revize 8.2.2017 [cit.2017-2-7]. Dostupný z WWW: <<http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/hcci.html>>

[16] *Měření emisí v provozu možná vůbec nebude prý je nekvalitní* ,[online]. c2017, poslední revize 22.2.2017 [cit.2017-2-19]. Dostupný z WWW:

<<http://www.autoforum.cz/zajimavosti/mereni-emisi-v-provozu-v-evrope-mozna-vubec-nebude-pry-je-nekvalitni/>>

[17] *Takhle se brzy bude měřit spotřeba aut. Co se změní? A komu to pomůže*[online]. c2017, poslední revize 22.2.2017 [cit.2017-2-19]. Dostupný z WWW:

<<http://www.autoforum.cz/zivot-ridice/takhle-se-brzy-bude-merit-spotreba-aut-co-se-zmeni-a-komu-to-pomuze/>>

[18] *The first real world CO2 emission test developed with a carmaker* [online]. c2017, poslední revize 22.2.2017 [cit.2017-2-19]. Dostupný z WWW:

<<https://www.transportenvironment.org/newsroom/blog/first-real-world-co2-emissions-test-developed-carmaker>>

[19] *Směrnice evropského parlamentu a rady 2014/45/EU* [online]. c2017, poslední revize 14.3.2017 [cit.2017-3-12]. Dostupný z WWW:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.127.01.0051.01.CES>

[20] *Formule Bosch* [online]. c2016, poslední revize 14.3.2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupný z WWW:

<<http://aa.bosch.cz/download/formule/formule-2-2015.pdf>>

[21] *Stránky ústavu techniky a automobilové dopravy* [online]. c2017, poslední revize 14.3.2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupný z WWW:

<<http://zkusebna.wz.cz/esa.htm>>

[22] *Test Škoda Octavia 1.0 TSI: Otázka na kterou neznáme odpověď* [online]. c2017, poslední revize 14.3.2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupný z WWW:

<<http://www.autorevue.cz/test-skoda-octavia-10-tsi-otazka-na-kerou-nezname-odpoved/ch-59570#articleStart>>

[23] *Nová emisní metodika před posledním připomínkováním* [online]. c2017, poslední revize 14.3.2017 [cit. 2017-03-14]. Dostupný z WWW:

<<http://www.asem.cz/aktuality/nova-emisni-metodika-pred-poslednim-pripominkovanim-5-5-2016>>

[24] *Využití a způsoby měření* [online]. c2017, poslední revize 12.4.2017 [cit. 2017-04-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.motocom.cz/mereni.htm>>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č.1 - <i>Vznik emisí při dokonalém a nedokonalém spalování, převzato z [1].....</i>	9
Obr. č.2 - <i>produkce emisí zážehového motoru v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu, převzato z [8].....</i>	11
Obr. č.3 - <i>řez třicestného katalyzátoru, převzato z [8].....</i>	13
Obr. č.4 - <i>závislost účinnosti katalyzátoru na součiniteli přebytku vzduchu, převzato z [8].....</i>	14
Obr. č.5 - <i>Přibližné procentuální složení výfukových plynů pro zážehový motor, převzato z [8].....</i>	16
Obr. č.6 - <i>Emisní limity pro zážehové motory dle vyhlášky Ministerstva dopravy č 302/2001Sb., převzato z [8].....</i>	18
Obr. č.7 - <i>Schéma dálkového snímání emisí metodou Feat, převzato z [8].....</i>	20
Obr. č.8 - <i>Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu IM 240, převzato z [8].....</i>	22
Obr. č.9 - <i>Schéma homologačního měření motorových vozidel metodou CVS, převzato z [8].....</i>	24
Obr. č.10 - <i>Měření emisí v reálném provozu metodou RDE, převzato z [18].....</i>	25
Obr. č.11 - <i>13bodový test neboli průběh ESC, převzato z [8].....</i>	26
Obr. č.12 - <i>Jízdní cyklus ETC u válcového dynamometru, převzato z [8].....</i>	27
Obr. č.13 - <i>Zkušební cyklus FTP 75 , převzato z [8].....</i>	28

Obr. č.14 - Zkušební cyklus US06 simulující agresivní jízdu , převzato z [8].....	29
Obr. č.15 - Časový průběh točivého momentu a otáček motoru při cyklu Heavy-Duty FTP Transient Cycle, převzato z [8].....	30
Obr. č.16 - Nový evropský jízdní cyklus (NEDC), převzato z [10].....	32
Obr. č.17 - Porovnání cyklů NEDC a WLTP, převzato z [17].....	34
Obr. č.18 - Emisní limity pro zážehové a vznětové motory u vozidel do 3,5 t, převzato z [8].....	36
Obr. č.19 - princip spalovacích motorů ve srovnání s motorem HCCI, převzato z [13].....	37
Obr. č.20 - teplotní rozsah spalování u motoru HCCI, převzato z [15].....	38
Obr. č.21 - srovnání motorů s motorem HCCI, převzato z [15].....	39
Obr. č.22 - parametry vozidlového dynamometru, převzato z [21].....	41
Obr. č.23 - schéma kompletní zkušebny v areálu Mendelovy Univerzity, převzato z [15].....	41
Obr. č.24 - parametry emisního systému Bosch ESA 3.250, převzato z [21].....	42
Obr. č.25 - Emisní systém Bosch ESA 3.250, převzato z [21].....	42
Obr. č.26 - nedisperzní infračervený absorpční analyzátor (NDIR), převzato z[9].....	43
Obr. č.27 - analyzátor pracující na principu ionizace vodíko-kyslíkového plamene (FID), převzato z [1].....	44

Obr. č.28 - <i>analýzátor pracující na principu chemické luminiscence, převzato z [9]....</i>	45
Obr. č.29 - <i>Emisní systém Bosch BEA 750 s analyzátozem Bosch BEA 065 , převzato z [20].....</i>	45
Obr. č.30 - <i>Testovaný vůz Škoda Octavia s motorem 1.0 TSI.....</i>	46
Obr. č.31 - <i>Testovaný vůz Škoda Octavia s motorem 1.0 TSI.....</i>	46
Obr. č.32 - <i>technická data automobilu Škoda Octavia s motorem 1.0 TSI, převzato z [22].....</i>	47
Obr. č.33 - <i>graf otáčkové charakteristiky automobilu Škoda Octavia 1.0 TSI.....</i>	48
Obr. č.34 - <i>graf naměřených emisí emisním systémem Bosch ESA 3.250.....</i>	49
Obr. č.35 - <i>graf závislosti kyslíku, oxidu uhelnatého a součinitele lambda na otáčkách</i>	49
Obr. č.36 - <i>graf emisních složek, které budeme porovnávat s limity.....</i>	50
Obr. č.37 - <i>emisní limity pro automobil se zážehovým motorem a řízeným emisním systémem, převzato z [23].....</i>	50
Obr. č.38 - <i>porovnání emisí oxidu uhelnatého, oxidu uhličitého a součinitele lambda na otáčkách</i>	51
Obr. č.39 - <i>porovnání emisí oxidu uhličitého, nespálených uhlovodíku a součinitele lambda na otáčkách.....</i>	52
Obr. č.40 - <i>porovnání hodnot lambdy s množstvím kyslíku a oxidy dusíku v závislosti na otáčkách.....</i>	53