

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

VLIV DRUHU PALIVA NA EMISE  
SPALOVACÍHO MOTORU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí Diplomové práce: Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Student: Bc. Josef Šalát

**PRAHA 2011**

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spol. strojů

Akademický rok 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Josef Šalát**

obor Silniční a městská automobilová doprava

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze čl. 17 odst. 2 určuje tuto diplomovou práci.

Název práce: **Vliv druhu paliva na emise spalovacího motoru**

### Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Palivo a jejich druhy
4. Způsoby měření emisí spalovacích motorů
5. Praktické měření emisí
6. Závěr
7. Seznam literatury
8. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 40 - 60 stran

Doporučené zdroje:

Halderman, J.: Automotive fuel and emissions control systems. Upper Saddle River, N.J. Pearson/Prentice Hall, 2006. ISBN 013110442X

Pexa, M.: Disertační práce - Možnosti uplatnění dynamických měření při diagnostice motorových vozidel. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005.

Takáts, M.: Měření emisí spalovacích motorů. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 1997. ISBN 80-01-01632-3

Pejša, L. a kol.: Technická diagnostika. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Praha, 1995. ISBN 80-213-0249-6

Periodika, normy a firemní literatura

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2011

  
.....  
Vedoucí katedry



  
.....  
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

---

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Vliv druhu paliva na emise spalovacího motoru, vypracoval samostatně a použil jen pramenů citovaných v příložené bibliografii.

.....

Bc. Josef Šalát

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Martinu Pexovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za odbornou pomoc a rady při vypracování tohoto tématu. Dále bych rád poděkoval pracovníkům katedry Vozidel a pozemní dopravy za pomoc při praktickém měření emisí.

**Abstrakt:** Cílem této diplomové práce je zjistit, zda má použité palivo, v tomto případě se jedná o různý druh automobilového benzínu, vliv na emise spalovacího motoru.

V první části práce je popsána historie a vývoj automobilových paliv, výroba uhlovodíkových paliv z ropy, její vznik, těžba, zásoby, zpracování a popis jednotlivých druhů paliv, konkrétně automobilového benzínu, motorové nafty a alternativních paliv.

Další část práce je zaměřena na způsoby měření emisí výfukových plynů. Nejprve jsou popsány jednotlivé složky výfukových plynů, vliv na lidský organizmus a jejich mechanismus vzniku. Poté je podrobně rozepsán statický a dynamický způsob měření emisí. V závěru práce je uvedeno praktické měření emisí.

**Klíčová slova:** emise, uhlovodíková paliva, alternativní paliva, zkušební testy

## **Influence of fuel type on emissions combustion engine**

**Summary:** The aim of this thesis is to determine whether the used fuel, in this case it is a different kind of automobile petrol, the effect on emissions of the internal-combustion engine.

The first part describes the history and the development of automobile fuel, production of hydrocarbon fuels from the crude oil, its origin, extraction, supply, processing and the description of fuels, namely petrol, diesel and alternative fuels.

Following chapter is focused on ways of emissions measuring. First it describes the various components of the exhaust fume their effects on the human body and their the mechanism of their origin. Then the static and dynamic method of measuring emissions is described in detail. The conclusion indicates a practical measuring emissions.

**Key words:** emissions, hydrocarbon fuels, alternative fuels, probationary tests

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl práce a metodika .....	2
3. Palivo a jejich druhy .....	3
3.1 Historie vývoje motorů a paliv .....	3
3.1.1 Poslední vývojová etapa kvality a druhů paliv .....	5
3.1.2 Kvalita paliv v příštích letech .....	5
3.2 Ropa pro výrobu paliv .....	6
3.2.1 Vznik ropy .....	7
3.2.2 Těžba ropy .....	8
3.2.3 Zásoby ropy .....	9
3.2.4 Základní zpracování ropy .....	10
3.3 Automobilový benzin .....	11
3.4 Motorová nafta .....	14
3.5 Alternativní paliva .....	17
3.5.1 Propan butan - LPG .....	17
3.5.2 Stlačený zemní plyn - CNG.....	18
3.5.3 Bioplyn .....	18
3.5.4 Bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje.....	19
3.5.5 Paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol) .....	20
3.5.6 Vodík .....	23
3.5.7 Elektrický proud .....	23
4. Způsoby měření emisí spalovacích motorů .....	24
4.1 Emise výfukových plynů .....	24
4.1.1 Popis jednotlivých složek výfukových plynů .....	25
4.1.2 Mechanismus vzniku škodlivin .....	28
4.2 Statický způsob měření emisí .....	31
4.2.1 Testy při vně nezatíženém motoru.....	31
4.2.1.1 Testy při volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách .....	31
4.2.1.2 Testy při volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách s kontrolou lambda sondy .....	32
4.2.2 Zkušební test ESC .....	32
4.2.2.1 Postup zkoušky ESC.....	35
4.2.2.2 Odběr vzorku částic .....	35
4.3 Dynamický způsob měření emisí .....	36

4.3.1 Zkouška dle předpisu EHK 83 (NEDC).....	36
4.3.1.1 Základní městský cyklus ECE 15.....	37
4.3.1.2 Mimoměstský cyklus EUDC.....	37
4.3.2 Testy při neustáleném zatížení.....	37
4.3.2.1 Dlouhé homologační testy.....	37
4.3.2.2 Zkrácené emisní testy.....	39
4.3.3 Zkušební test ETC.....	41
4.3.4 Metodika měření kouřivosti (EHK 24).....	42
4.3.5 Zkušební test ELR.....	43
4.3.5.1 Postup zkušebního testu ELR.....	43
4.3.6 Testy při volné akceleraci motoru.....	44
4.3.7 Dálkové snímání emisí.....	44
5. Praktické měření emisí.....	46
5.1 Emisní analyzátor VMK.....	48
5.2 Elektromagnetická vířivá brzda.....	50
5.3 Postup při měření emisí.....	52
5.4 Vyhodnocení naměřených dat.....	53
6. Závěr.....	59
7. Seznam literatury.....	60



# 1. Úvod

V dnešní době je největším problémem neustále se zvyšující počet dopravních prostředků, používající pro svůj pohon uhlovodíková paliva. S tím samozřejmě souvisí úměrně narůstající množství škodlivých emisí výfukových plynů unikajících do ovzduší.

Mezi hlavní složky škodlivých emisí, které nejvíce znečišťují ovzduší, patří oxid uhelnatý (CO), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), nespálené uhlovodíky (HC), pevné částice (PM), ale také oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), tzv. skleníkový plyn, dříve považovaný za téměř neškodný. Jeho nebezpečí spočívá v negativním působení na životní prostředí tím, že otepluje atmosféru a mění klimatické poměry, což vede například k tání ledovců a z toho plynoucí zvyšování hladin oceánů.

U vozidel dochází, během používání v provozu, k opotřebením jejich spalovacích motorů, což vede k nárůstu měrné spotřeby paliva, s čímž souvisí zvýšení produkce škodlivých emisí. Toto se však dá ve většině případů s využitím moderních diagnostických metod napravit a dosáhnout snížení škodlivin na předepsané hodnoty. Do budoucna bude potřeba vyrábět automobily s co nejmenší spotřebou paliva a tím pádem menší koncentrací škodlivin negativně ovlivňujících životní prostředí a zdraví lidí.

Uhlovodíková paliva, jedná se především o automobilový benzin a motorovou naftu, patří dnes stále mezi nejpoužívanější paliva pro spalovací motory automobilů. Je tomu tak beze sporu pro své velmi dobré vlastnosti a cenovou bezkonkurenčnost. Avšak ropa, tj. produkt, ze kterého se uhlovodíková paliva vyrábějí, má omezené zásoby na cca 30 až 50 let. Proto je nutné snažit se tato ropná paliva nahradit takovými palivy, aby se jim svými vlastnostmi co nejvíce podobala.

V dnešní době již existují tzv. alternativní paliva, mezi která patří zejména stlačený zemní plyn (CNG), zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG), bioplyn, bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje, paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol), vodík a elektrický proud. Alternativní paliva jsou vyvíjena především proto, aby do budoucna nahradila uhlovodíková paliva a co nejméně zatěžovala životní prostředí. Je třeba se neustále snažit zlepšovat vlastnosti těchto alternativních paliv, aby se co nejvíce vyrovnala výhodným vlastnostem uhlovodíkových paliv a naopak je předčila v produkci škodlivých emisí.

## 2. Cíl práce a metodika

Tato diplomová práce je zaměřena na v dnešní době nejvíce používaná automobilová paliva a na způsoby měření emisí výfukových plynů. Jejím cílem je zjistit jaký vliv má použité palivo na produkci škodlivých emisí výfukových plynů spalovacího motoru. Konkrétně je zde řešen vliv různých druhů benzinů na jednotlivé složky výfukových plynů. Jedná se o benzin Natural 95, Natural 98 a vysokooktanový Natural 100.

První část diplomové práce bude řešena formou literární rešerše, na jejímž základě budou rozepsány druhy automobilových paliv a shrnuty způsoby měření emisí. V dalších částech diplomové práce bude provedeno a zpracováno měření emisí na zkušebním stanovišti (motorovém dynamometru) při použití různých druhů paliv. V závěrečné části bude provedeno porovnání výsledků naměřených emisí při použití různého paliva.

### **3. Palivo a jejich druhy** [13]

V dnešní době patří mezi nejrozšířenější a nejvíce převládající paliva dva základní druhy. Jsou jimi automobilový benzin a motorová nafta. Do budoucna se předpokládá, že ještě delší dobu tato paliva převládat budou a to bezesporu pro jejich velmi dobré a výhodné vlastnosti. Ve srovnání se vznětovými vykazují zážehové motory horší ekonomiku, ale na druhou stranu přinášejí řadu dalších výhod zejména v dynamice jízdy a operabilitě provozu při velmi nízkých teplotách v zimních měsících. Vedle toho se stále častěji objevují i motory spalující tzv. alternativní paliva, jako např. ropný plyn LPG, zemní plyn CNG, biopalivo atd. nebo různé varianty motorů poháněných elektrickou energií.

#### **3.1 Historie vývoje motorů a paliv** [9], [20]

Vývoj motorů a paliv probíhá více než sto let ve stále těsnější spolupráci konstruktérů motorů a palivářských chemiků a v posledních třiceti letech se plně podřizuje i ekologickým požadavkům a životnímu prostředí.

První benzinový motor se zrodil kolem roku 1870 a spaloval plyn i benzin. Na konci 19. století se objevily automobily spalující pouze benzin, ale už začátkem 20. století se začala používat i směs benzinu a lihu. V polovině dvacátých let se objevily první benziny vyšší kvalitativní třídy, které se odlišily od běžně používaných benzinů názvy Super a Premium. Jednalo se o směsi aromatických uhlovodíků s benzinem. Pro zvýšení oktánového čísla se později začaly používat olovnaté sloučeniny. Pro zlepšení vlastností motoru, především aby motor v zimě dobře startoval a v létě nedocházelo k varu a ke tvorbě parních polštářů, se začala upravovat těkavost. Nová měnicí se skladba ropných benzinových destilátů a přidávání sloučenin olova, postupně umožnila vyrábět vysokooktanové benziny. To umožnilo zvýšit kompresní poměr motorů, a tím dosáhnout zvýšení měrného výkonu a energetické účinnosti. Koncem sedmdesátých let byl vývoj kvality benzinu stále více ovlivňován ekologickými nátlaky, které postupně vyústily až k vydávání legislativních programů a formou právních předpisů regulovaly složení benzinu. Jednalo se především o omezování obsahu složek poškozujících životní prostředí. Řešením bylo snižování obsahu olova a přidávání kyslíkatých sloučenin. Pro nové modely vozidel, vybavené katalytickými konvertory, byly zavedeny bezolovnaté benziny. Zlom nastal kolem roku 2000, kdy následoval úplný zákaz používání olovnatých benzinů a zavedly se reformulované benziny, tj. takové, aby co nejméně poškozovaly životní prostředí.

V roce 1892 předvedl svůj první motor, spalující ropný destilát, Robert Diesel. Dieselovy motory se nejprve použily do nákladních vozidel, šlo o rok 1925. Do osobních automobilů až v roce 1936, ale to už bylo toto palivo, co se týká požadavků na kvalitu dobře specifikováno a vyráběno jako motorová nafta. Obdobně jako u benzínu, se v sedmdesátých letech začal zvyšovat tlak na ekologizaci motorové nafty a to zejména na snížení obsahu síry, především pak snížit emise oxidů síry a co nejvíce potlačit kouření motorů. V roce 1992 se na trhu objevila tzv. švédská nafta, formulovaná jako City 1, s obsahem pouze 10 ppm síry, což bylo řádově tisíckrát méně než dřívější neodsířované nafty a jen s 10 % aromatických uhlovodíků.

Dalším v historii používaným palivem je ropný plyn LPG, který se poprvé začal používat u větší skupiny vozidel ve třicátých letech v Německu, kde byl nedostatek benzínu, z důvodu probíhající války. LPG bylo k dispozici z nově zavedených hydrokrakovacích a hydrogenacích procesů, které postupně pronikaly do dalších zemí. Od této doby pokračoval rozvoj plynu v jednotlivých státech různě. Byl ovlivněn především jeho dostupností, cenou, která závisela hlavně na spotřební dani a také klimatickými podmínkami. V roce 1995 bylo registrováno s pohonem LPG v Holandsku 8,7 % vozidel, v Itálii 4,4 %, ve Francii 0,1 %, v USA 0,4 %, v Japonsku 0,7 % a v Jižní Koreji 7,6 %. V dnešní době v Evropě pohání LPG více než 4 miliony vozidel a co se týká celosvětového měřítka, používá tento plyn pro svůj pohon více než 13 milionů vozidel. Podle statistik Ministerstva dopravy jezdí v současnosti v ČR na LPG celkem 130 tisíc osobních vozidel a rovněž cca 6 tisíc nákladních vozidel. Přičemž za listopad 2010 bylo v ČR přestavěno 860 vozů na LPG. Distribuce LPG je dnes už také na dobré úrovni. V Evropě je LPG distribuováno prostřednictvím 17500 čerpacích stanic. Na území ČR se nachází cca 870 čerpacích stanic LPG.

V devadesátých letech se začala v Evropě projevovat snaha o sjednocení kvality paliv a norem. Výzkum v této oblasti, který kladl důraz hlavně na ekologické aspekty, se ve velké míře prováděl společně. Jeho výsledkem jsou odvozené požadavky na kvalitu paliv, které se vydávají ve formě Direktiv Evropské unie a ty pak slouží jako základ pro zpracování právních předpisů, určujících požadavky na kvalitu v členských zemích. Výzkum v menších státech se prakticky neprovádí, zde se kvalita paliv řídí jednotným evropským předpisem.

Dříve byl konstruktér motoru při jeho technickém vývoji omezován hlavně vlastnostmi paliv, zejména pak oktanovým číslem, které výrobci dokázali bez problémů

zajistit, aniž by jim do toho zasahovaly zákony. V dnešní době je tomu právě naopak, zákony stanovují velmi přesné požadavky na vlastnosti paliv. Výrobci mají tak přesně dáno, jak musí motor vyrobít, aby pracoval ekologicky a měl co nejmenší dopad na životní prostředí. Dále musí výrobci navrhnout takové vlastnosti paliv, aby bylo možné plnit zákonné předpisy pro emise motorů. Tyto návrhy jsou po projednání přijímány jako právní předpisy, které definují požadavky na kvalitu paliv. Jednání nejčastěji probíhají mezi výrobcí motorů, výrobcí paliv a státními orgány, respektive nadnárodními orgány EU (a obdobně v USA), odpovědnými za ochranu životního prostředí.

### **3.1.1 Poslední vývojová etapa kvality a druhů paliv [9]**

V devadesátých letech v USA a po roce 2000 v EU byly v souvislosti s plněním uvedených požadavků na zlepšování životního prostředí, provedeny v kvalitě motorových paliv podstatné změny. Všechny vlastnosti, zmírňující škodlivé vlivy na životní prostředí, byly postupně modifikovány. Jednalo se o to, aby současná paliva oproti minulým obsahovala jen velmi malé množství síry, dále se nedovoluje používat olovnaté ani jiné přísady obsahující kovy, byl omezen obsah benzenu v benzínu a postupně se omezuje obsah aromatických uhlovodíků u všech paliv (u nafty hlavně polyaromatických). U benzinů se ještě navíc omezuje obsah podílů, které se hůře odpařují, tím pádem hůře spalují, a snižuje se těkavost v letních měsících, aby se zmenšil únik lehkých uhlovodíků do ovzduší. Všechny tyto ekologické požadavky jsou uplatněny v normách, jednotně pro všechny členské země EU.

### **3.1.2 Kvalita paliv v příštích letech [9]**

V dnešní době je vyvíjen stále větší tlak na to, aby benzin a nafta neobsahovaly síru vůbec. Od roku 2009 nesmí její obsah u obou paliv překračovat hodnotu 10 mg/kg.

Jelikož spotřeba fosilních paliv neustále stoupá a tím pádem narůstá i množství oxidu uhličitého vypouštěného do atmosféry, muselo dojít ke globálnímu řešení tohoto problému. Jedná se o tzv. Kjótské dohody. A proto vydala Evropská unie, na základě těchto dohod, Direktivu 2003/30 EC, týkající se nahrazení fosilních paliv alternativními a obnovitelnými zdroji. Direktiva měla zajistit, že koncem roku 2005 měly pocházet minimálně 2 % z celkového množství energie spotřebovaného pro dopravu z obnovitelných zdrojů. V roce 2010 měl tento podíl být 5,75 % a v roce 2020 má pocházet minimálně 20 % celkově spotřebované energie, tj. nejen pro dopravu, z alternativních zdrojů.

Do roku 2020 se pro pohon automobilů plánuje stále větší rozvoj využívání zemního plynu, a to jak s přímým použitím, tak s použitím syntetických kapalných paliv vyrobených z plynu, která by měla ve stále větší míře nahrazovat deficitní ropu a ropná paliva. Co se týká paliv z obnovitelných zdrojů na bázi biomasy, mimo metylesterů mastných kyselin (FAME) a v ČR především metylesterů kyselin řepkového oleje (MEŘO), je neustále vyvíjen tlak na maximální využití kvasného lihu buď jako složky benzínu, nebo pro výrobu éterů a esterů (ETBE a EŘO), popřípadě jako formu lihového paliva E95, který obsahuje jako další složky pouze přísady. S využíváním vodíku se v blízké budoucnosti příliš nepočítá, v širším měřítku až po roce 2050 a to ještě za předpokladu, že bude ve velkém množství k dispozici levná elektrická energie potřebná k technologii elektrolýzy vody. Předpokládá se, že u žádného z těchto uvedených alternativních paliv, nebude do roku 2020 vyšší než 10 % podíl na trhu. Budoucí uplatnění alternativních paliv pro pohon automobilů uvádí tabulka 1.

*Tab. 1 Aktuální alternativní paliva a prognóza jejich uplatnění na trhu v [%] [9]*

Druh paliva	2005	2010	2015	2020
Zemní plyn		2	5	10
Biopaliva	2	6	~ 7	~ 8
Vodík			2	5
Celkem	2	8	~ 14	~ 23

### 3.2 Ropa pro výrobu paliv [1]

V současné době mezi spotřebovanými kapalnými palivy pro automobily, naprosto převažují uhlovodíková paliva vyráběná z ropy, a to proto, že jsou cenově bezkonkurenční. Chemický průmysl je sice dokáže vyrobit i z jiných surovin, jako například z uhlí a ze zemního plynu, ale v obou případech je to dražší. Dokonce i tzv. biopaliva, u nás hlavně metylestery kyselin řepkového oleje a perspektivně i líh, jsou dražší než ropná paliva a pokud mají být prodejná, musí být státem dotována, nebo daňově zvýhodněna.

Ropa je hořlavá kapalina s hustotou většinou v rozmezí 800 až 990 kg/m<sup>3</sup>, získávaná z podzemních nalezišť a lze ji definovat jako směs složenou převážně z uhlovodíků, a proto i paliva z ropy mají uhlovodíkovou skladbu. Toto je velice výhodné, protože uhlovodíky mají velký energetický obsah, jejich výhřevnost je nad 40 MJ na kilogram. Při skladování zaujímají motorová nafta, benziny i LPG na rozdíl od plynů malý objem a dá se s nimi dobře

manipulovat, ve srovnání například se stlačeným zemním plynem nebo s vodíkem. Právě tyto výhody vedly k jejich velké oblibě, a proto se těžko nahrazují plyny a obnovitelnými zdroji.

Jak je známo, zásoby ropy jsou omezené, ale postupně jsou objevovány nové rezervy. Odhady jsou takové, že by měly vystačit vzhledem k předpovídané spotřebě na 30 až 50 let. Zásoby zemního plynu jsou ještě mnohem větší. Předpokládá se, že těžba zemního plynu se do roku 2030 zdvojnásobí.

Ropa je významným zdrojem energie, v roce 2005 pokrývala 36,4 % světové spotřeby energie. V České republice pokrývala ropa v roce 2005 cca 22 % spotřeby energie.

Z ropy se vyrábí především automobilové benziny, motorové nafty, suroviny pro petrochemický průmysl, letecká paliva, plynná paliva (topné plyny, propan-butan), mazací oleje, topné oleje, asfalty a ropný koks.

### **3.2.1 Vznik ropy [1]**

O vzniku ropy existuje několik skupin teorií, každá má své silné i slabé stránky. Je obtížné určit, jak přesně ropa vznikala, protože na rozdíl od uhlí ropa v podzemí obvykle migrovala působením tlaků a horotvorných procesů, proto se často nachází ve značných vzdálenostech od místa vzniku. Při migraci ropy horninami mohlo docházet k absorpci některých látek, těžší látky se mohly štěpit (krakovat) působením vysokých teplot, katalytickým účinkem některých hornin nebo radioaktivním zářením, plyny a lehčí látky mohly vytékat apod. Proto se složení původní ropy může výrazně lišit od ropy, která se dnes nalézá pod zemským povrchem. Teorie o vzniku ropy lze rozdělit do dvou hlavních skupin, kterými jsou organická teorie a anorganická teorie.

Pro každou skupinu teorií vzniku ropy lze najít argumenty podporující její správnost. Pro organickou teorii hovoří přítomnost sloučenin s podobnou strukturou, jako mají sloučeniny vyskytující se v mikroorganismech (např. porfyriny), které mají podobnou strukturu jako chlorofyl a přítomnost fosilních zbytků mikroorganismů v některých ložiscích ropy. Dále tuto teorii podporuje také to, že se ropa většinou nachází v sedimentárních horninách a výjimečně ve vyvřelinách. Stejně je však možné předpokládat, že se ropa do sedimentů nebo jiných hornin dostala až sekundárně v důsledku migrace.

Protože existují rozdílné typy ropy, je rovněž možné předpokládat, že některá ropa mohla vzniknout organickou cestou jiná anorganickými reakcemi. Produkty anorganických reakcí mohly být změněny činností bakterií, katalytickým účinkem hornin atd. Znalost vzniku

ropy má význam jak teoretický tak i praktický, protože umožňuje hledat ropu s větší účinností. V současnosti se dává přednost organické teorii vzniku ropy. Rozdílné vlastnosti ropy se především vysvětlují různým organickým materiálem, ze kterého ropa vznikla, odlišnými podmínkami jejího dalšího utváření, zejména různými tlaky a teplotami, kterým byla vystavena apod.

Podle anorganických teorií se předpokládá, že ropa vznikla z anorganických sloučenin, např. reakcí karbidů některých kovů s vodou. Důležitou úlohu při vzniku ropy mohl hrát acetylen, který se tvoří rozkladem karbidu vápenatého. Karbidy kovů mohou vznikat působením alkalických kovů (lithium, sodík draslík atd.) na uhličitany, které se běžně v zemské kůře nacházejí. Ropa se mohla vytvořit reakcí oxidů uhlíku s vodní párou. Mezi anorganické teorie se řadí i teorie o kosmickém původu ropy, která vychází z poznatku, že atmosféra některých planet je složena z metanu a jeho homologů. Jiné anorganické teorie spojují vznik ropy se sopečnou činností, protože v některých lávách a plynech vzniklých při této činnosti byly nalezeny uhlovodíky. Tuto teorii podporuje také to, že se některé ropy nalézají ve vyvěřelých horninách sopečného původu.

### 3.2.2 Těžba ropy [1]

Ropa se nachází pod povrchem Země v hloubce několika metrů až po několik kilometrů. Většina ropy je uložena v hloubkách 0,6 až 2,4 km. Mělká ložiska obsahují obvykle více ropy na jednotkový objem horniny, protože mělce uložené sedimentární horniny mají větší pórovitost, než hlouběji uložené horniny, jejichž pórovitost se zmenšila v důsledku tlaku nadloží.

Ropa je obsažena v pórech propustných hornin (většinou pískovec a vápenec), není tedy uložena v žádných podzemních jeskyních v podobě jezer či moří. Aby se mohlo vytvořit ropné ložisko, je třeba, aby byly propustné horniny obsahující ropu obklopeny horninami, které jsou pro ropu nepropustné. V propustné hornině se zadrží i voda a zemní plyn, které ropu obvykle doprovázejí. Ropa se nejčastěji vyskytuje v antiklinálách (typ ropného ložiska).

Velká část ropných ložisek v přístupných oblastech již byla pravděpodobně objevena, průzkum se proto musí provádět i v nepřístupných místech a ve větších hloubkách pod mořskou hladinou. Na pevnině může přítomnost ropného ložiska indikovat únik plynů, horké a slané vody, výskyt síry, některých bakterií, rostlin apod. Obvykle se hledá místo, kde by teoreticky mohlo existovat ropné ložisko, tj. antiklinály, zlomy, solné kopule atd. Pro nalezení



těchto míst se používají kombinace různých metod, jako jsou magnetometrická měření, kdy se zjišťuje intenzita magnetického pole (podle ní se usuzuje, zda se jedná o naplaveniny či vyvřeliny), změny gravitační přitažlivosti, seismické metody, jimiž lze charakterizovat antiklinály a zlomy atd. Některá měření mohou být prováděna pomocí speciálních vozidel, ponorek na mořském dně, letecky apod. Uplatňuje se i letecké a družicové snímkování v různých vlnových délkách. Na základě kombinace dosažených výsledků vytipují specialisté pravděpodobné místo výskytu ložiska. Zda-li byla tato domněnka správná či ne potvrdí až provedení vrtu. Počet neúspěšných vrtů může být i při velmi pečlivém a nákladném průzkumu až 40 %.

### 3.2.3 Zásoby ropy [1]

Při porovnání různých dat udávajících zásoby ropy, je nutno rozlišovat zda se jedná o zásoby pravděpodobné, zjištěné nebo těžitelné. Celkové těžitelné zásoby ropy byly v roce 2005 odhadnuty na 164 miliard tun [Gt], což by při průměrné těžbě ropy cca 3,9 Gt ročně mělo vystačit na více než 40 let (tabulka 2). Tyto odhady vycházejí ze známých nalezišť a ze současných technických možností těžby ropy.

Tab. 2 Prokázané zásoby ropy v různých oblastech světa v letech 1985, 1995 a 2005 [1]

Oblast	Zásoby [Gt]			Podíl na světových zásobách		
	1985	1995	2005	1985	1995	2005
Severní Amerika	13,3	11,7	7,8	12,7	8,4	4,8
Jižní a Střední Amerika	9,0	12,0	14,8	8,6	8,6	9,0
Evropa a Euroasie	10,7	11,1	19,2	10,3	8,0	11,7
Střední Východ	58,7	90,1	101,2	56,1	64,5	61,9
Afrika	7,6	9,6	15,2	7,3	6,9	9,3
Asie a Pacifik	5,3	5,3	5,4	5,0	3,8	3,3
Svět celkem	104,6	139,7	163,6	100	100	100
Z toho OPEC	73,1	107,2	123,2	69,9	76,7	75,3

Nejbohatší oblastí na ropu je oblast Perského zálivu, největší zásoby ropy jsou na území Saudské Arábie, dále následují s velkým odstupem Írán, Irák, Kuvajt a Sjednocené Arabské Emiráty. Významné zásoby ropy se také nacházejí v Rusku, Mexiku, USA a Číně. Některé státy s velkými zásobami ropy se sdružily v organizaci OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries), která má velký vliv na světovou těžbu ropy, a tím i na její cenu. Mezi země sdružené v OPEC patří Alžír, Indonésie, Irák, Írán, Katar, Kuvajt, Libye, Nigérie, Saudská Arábie, Spojené Arabské Emiráty a Venezuela. V zemích OPEC se nachází cca 75 % světových zásob ropy.

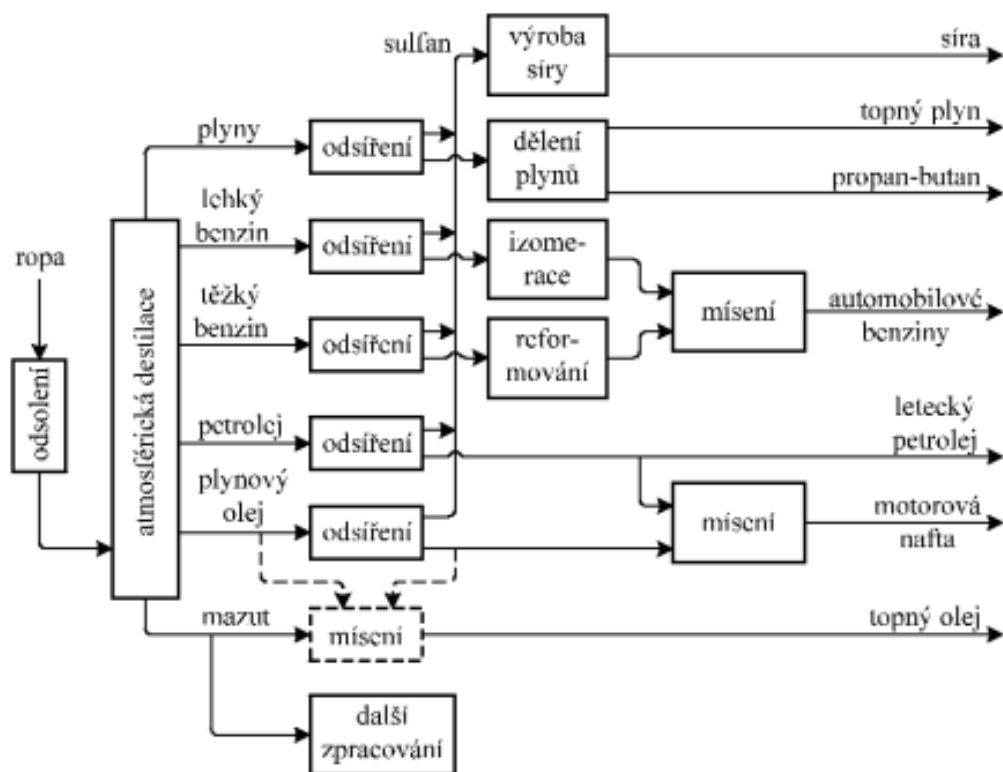
Hledání nových ložisek ropy je velmi intenzivní, každá nově objevená oblast přiláká řadu ropných společností, které se chtějí podílet na nalezení dalších ložisek v nové oblasti a hlavně na pozdější těžbě ropy a zemního plynu. Nová ložiska se nalézají hlavně v dříve neprozkoumaných oblastech rozvojových zemí, v šelfových oblastech moří a v polárních oblastech. Těžba v polárních oblastech je však velice problematická, jednak z hlediska technického, ale i z hlediska ochrany životního prostředí. Větší naději dává těžba v šelfových oblastech moří, jejichž plocha se odhaduje přibližně na 6 milionů km<sup>2</sup>. Rozvoj těžební techniky umožňuje provádět vrty a těžit ropu z hloubky moře až 3000 m a do budoucna je možné počítat s ještě většími těžebními hloubkami.

Průměrné vytěžení ložiska ropy dosahuje v současné době 30 až 60 %. Lze předpokládat, že se lidstvo v příštích desetiletích bude opět vracet k málo vytěženým ropným ložiskům a zbylou ropu bude těžit dokonalejšími avšak na druhou stranu nákladnějšími technikami.

### **3.2.4 Základní zpracování ropy [1]**

Ropu lze zpracovávat různými způsoby podle jejího složení a podle kvality a kvantity požadovaných produktů. Nejprve se ropa většinou odsoluje a pak se atmosférickou a vakuovou destilací rozdestiluje na několik užších frakcí, které se zpracovávají samostatně. Ropa se zpracovává v rafinériích, na které mohou navazovat petrochemické závody.

Zjednodušené schéma obvyklého zpracování frakcí z atmosférické destilace ropy bez dalšího zpracování mazutu je znázorněno na obrázku 1. Ropa se po odsolení rozdestiluje atmosférickou destilací v jedné nebo více kolonách na plyny, lehký benzin, těžký benzin, petrolej, plynový olej a jako destilační zbytek zůstává mazut.



Obr. 1 Blokové schéma obvyklého zpracování frakcí z atmosférické destilace ropy [1]

Plyny se obvykle odsiřují, rozdělují na topný plyn (obsahující hlavně metan a etan) a na propan a butan. Lehký benzin se většinou odsiřuje, izomerací se zvýší jeho oktanové číslo a poté se vede na mísení do autobenzinů. Těžký benzin se po odsíření a reformování, které také slouží ke zvýšení jeho oktanového čísla, vede na mísení do autobenzinů. Petrolej se nejčastěji odsiřuje a používá jako pohonná hmota pro letecké motory, nebo jako složka motorové nafty. Plynový olej se odsiřuje a poté se používá jako hlavní složka motorové nafty. Mazut se většinou dále zpracovává vakuovou destilací. Někdy se používá přímo nebo po úpravě vlastností (zejména viskozita a bod tuhnutí) přidávkem lehčí frakce (obvykle odsiřené nebo neodsířené plynový olej) jako těžký ropný olej.

### 3.3 Automobilový benzin [1], [6], [13]

Benzin se začal používat jako motorové palivo koncem devatenáctého století. Ze začátku šlo o produkt získaný prostou destilací ropy. S tím byly spojené i jeho vlastnosti, které byly do jisté míry dané náhodnou skladbou uhlovodíků v závislosti na původu zpracované ropy. S vývojem a zdokonalováním benzinových motorů postupně konstruktéři zjišťovali, že mají jednotlivé druhy benzinů různý vliv na výkon motoru. Jde především o vliv na hoření komprimované směsi benzinových par se vzduchem ve válci motoru, což se

negativně projevuje jako předčasná detonace, tzv. „klepání“ motoru. Proto bylo jako měřítko tohoto jevu zavedeno oktanové číslo, které je definováno jako míra odolnosti paliva proti detonačnímu spalování.

Pro hladký provoz bez detonačního hoření potřebuje motor palivo s určitým oktanovým číslem. To se nazývá oktanovým nárokem (požadavkem) motoru. Tento nárok ovlivňuje několik faktorů jako je kompresní poměr, vrtání válců, chlazení motoru, otáčky, těsnost kroužků válců, výrobní tolerance, předstih zážehu, provozní teplota motoru, bohatost směsi paliva a vzduchu, směšovací poměr, teplota, tlak a vlhkost vzduchu, nadmořská výška apod. Navíc je detonační spalování ovlivněno tvarem spalovacího prostoru, tepelnou hodnotou zapalovací svíčky, jejich počtem a umístěním, způsobem zapalování. U dřívějších automobilových benzinů se oktanové číslo pohybovalo v závislosti na použité ropě v rozmezí pouze 40 až 60 oktanových jednotek. Dnešní nejčastěji používané benziny mají hodnotu oktanového čísla od 91 až 100. Přičemž se prodávají i benziny s vyšším oktanovým číslem než 100.

Zjišťování oktanového čísla je prováděno ve zkušebních motorech při laboratorním stanovení jeho hodnoty u vzorku paliva. Jedná se o směs složenou z izooktanu, jehož oktanové číslo je 100 a n-heptanu s oktanovým číslem 0. Tyto látky jsou standardizované látky pro laboratorní zkoušky motorů a jejich paliv. Pro hodnocení paliv se používá dvou metod, které se liší otáčkami zkušebních strojů a některými provozními parametry. Jde o metodu výzkumnou a motorovou.

Jako nejvýznamnější předpoklad pro dosažení vyššího výkonu zážehového motoru se právě ukázalo zvyšování oktanového čísla. Jsou v podstatě dvě cesty jak toho dosáhnout. Buď se může upravit složení automobilového benzínu, nebo se dají použít vhodné přísady (aditiva). Celý vývoj kvality automobilových benzinů vlastně představuje pouze kombinace těchto dvou variant. Kvalita automobilových benzinů v ČR je řízena ČSN EN 228. Obdobná norma platí pro ostatní země v EU. Ta určuje přesnou kvalitu paliva a určuje její základní parametry. V tabulce 3 jsou uvedeny všeobecné požadavky na bezolovnaté automobilové benziny.

Tab. 3 Vybrané všeobecné požadavky na automobilové benziny podle ČSN EN 228 [1]

Vlastnost	Jednotka	Hodnota	
		min.	max.
Hustota při 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	720	775
Obsah olova	mg/l	-	5 <sup>a</sup>
Obsah benzenu	% obj.	-	1
Obsah aromátů	% obj.	-	35
Obsah olefinů	% obj.	-	18
Obsah síry	mg/kg	-	50 <sup>b</sup>
Obsah kyslíku	% hm.	-	2,7
Oxidační stabilita	minuty	360	-
Obsah promytých pryskyřic	mg/100 ml	-	5

<sup>a</sup> Obsah olova, který se do benzinů může neúmyslně dostat např. ze zásobníků, ve kterých byl dříve skladován olovnatý benzin. Úmyslné přidání sloučenin olova do benzinů je zakázáno.

<sup>b</sup> Na trhu musí být k dispozici i benziny s obsahem síry max. 10 mg/kg, od roku 2009 musí mít všechny automobilové benziny max. 10 mg/kg síry.

V současnosti je automobilový benzin nejrozšířenějším palivem pro osobní automobily. Dá se definovat jako směs převážně ropných uhlovodíků vroucí v rozmezí cca 30 až 215 °C se 4 až 12 atomy uhlíku v molekule. Jedná se o relativně těkavou kapalinu, snadno odpařitelnou. Ale proto, aby se tato směs nechala použít jako automobilové palivo, musí splňovat mnoho dalších kvalitativních parametrů. Tyto parametry lze rozdělit do několika základních skupin, jako jsou antidetonační charakteristiky, těkavostní parametry, chemické složení, parametry charakterizující čistotu a ostatní parametry (hustota aj.). Dále se pro zlepšování užitečných vlastností benzinů široce používají různá aditiva, která lze také rozdělit do několika základních skupin, jako například zvyšovače oktanového čísla, detergenty, antioxidanty, inhibitory koroze, deaktivátory kovů, aditiva proti „zatloukání“ ventilových sedel, aditiva omezující růst oktanového požadavku, barviva aj.

Složení benzinů se liší podle druhu benzínu, použitých surovin a výrobní technologie rafinérie. Složky používané pro přípravu benzínu se někdy označují jako benzinový pool. Benziny se připravují mísením z řady komponent tak, aby se získal benzin o požadovaném oktanovém čísle, tlaku par a dalších normovaných vlastnostech. Hlavní složkou automobilových benzinů jsou reformáty, které se získávají katalytickým reformováním těžkých benzinů a benziny připravené fluidním katalytickým krakováním (FCC) těžších ropných frakcí.

### 3.4 Motorová nafta [1], [6], [13]

Motorovou naftu je možné z hlediska výroby zařadit mezi střední ropné destiláty. V současnosti je to s ohledem na rozsah použití nejdůležitější motorové palivo v hospodářsky vyspělých zemích. Motorové nafty prodávané v Evropské unii a tudíž i v ČR musí splňovat jakostní požadavky podle ČSN EN 590, která definuje několik druhů naft lišících se hlavně svou hodnotou filtrovatelnosti. Každá země si v závislosti na svých klimatických podmínkách vybírá jeden druh nafty pro letní podmínky, jeden pro zimní podmínky a případně další druh pro přechodné období. Vybrané parametry požadované ČSN EN 590 jsou uvedeny v tabulce 4.

Tab. 4 Vybrané požadavky na kvalitu motorových naft podle ČSN EN 590 [1]

Vlastnost		Jednotky	Motorová nafta <sup>a</sup>
Hustota při 15 °C		kg/m <sup>3</sup>	820-845
Cetanové číslo	min.		51
Cetanový index	min.		46
Destilační zkouška			
do 250 °C predestiluje	max.	% obj.	65
do 350 °C predestiluje	min.	% obj.	85
do 360 °C predestiluje	min.	% obj.	95
Viskozita při 40 °C		mm <sup>2</sup> /s	2,0-4,5
Bod vzplanutí (Pensky – Martens)	min.	°C	55
Obsah síry	max.	mg/kg	50 <sup>b</sup>
Obsah vody	max.	mg/kg	200
Celkový obsah nečistot	max.	mg/kg	24
Obsah popela	max.	% hm.	0,01
Obsah metylesterů mastných kyselin	max.	% obj.	7
Oxidační stabilita	max.	g/m <sup>3</sup>	25
Mazivost při 60 °C	max.	μm	460
Korozivní působení na měď (3h při 50 °C)	stupeň koroze		třída I
Obsah polycyklických aromatických uhlovodíků	max.	% hm.	11

<sup>a</sup> Hodnoty platné pro všechny třídy motorových naft.

<sup>b</sup> Na trhu musí být k dispozici i nafty s obsahem síry max. 10 mg/kg, od roku 2009 musí mít všechny motorové nafty max. 10 mg/kg síry.

V ČR se motorové nafty expedují a dodávají v závislosti na ročním období ve třech třídách označených B, D a F, které se liší svou filtrovatelností (tabulka 5). Motorové nafty se nerozdělují na jednotlivé druhy podle cetanového čísla, ale podle filtrovatelnosti. Filtrovatelnost za chladu (Cold Filter Plugging Point, zkratka CFPP) je teplota, při které motorová nafta neproteče v určitém časovém limitu za předepsaných podmínek normovaným filtrem. K tomu dojde v důsledku krystalizace parafínů obsažených v naftě, které filtr ucpou.

Tab. 5 Požadavky na filtrovatelnost motorových naft podle ČSN EN 590 [1]

Vlastnost	Jednotka	Třída		
		B	D	F
Časové rozmezí pro prodej		15.04 až 30.09	1.10 až 15.11 1.03 až 14.04	16.11 až 28.02
Filtrovatelnost (CFPP)	°C, max.	0	-10	-20

CFPP – Cold Filter Plugging Point

Motorová nafta je využívána pro vznětové motory v nákladní dopravě, u autobusů, zemědělských strojů, v železniční a lodní dopravě a v neposlední řadě i pro pohon osobních automobilů. S ohledem na svůj ropný původ je motorová nafta poměrně komplikovanou směsí alkanických, cyklánických a aromatických uhlovodíků, jejichž vzájemné poměrné zastoupení vyplývá z kvality rop použitých pro dané zpracování. Jedná se o složitou směs uhlovodíků s 12 až 22 atomy uhlíku v molekule, která je vroucí v rozmezí cca 150 až 360 °C. Aby tato směs byla použitelná jako palivo pro vznětové motory, musí splňovat řadu kvalitativních ukazatelů. Mezi tyto ukazatele patří fyzikálně-chemické charakteristiky, nízkoteplotní vlastnosti, chemické složení, detonační vlastnosti, mazivost, parametry charakterizující čistotu a ostatní parametry. Stejně jako u benzinů jsou podle typu motoru různé požadavky na kvalitu paliva. Současné konstrukce motorů, rychloběžné motory, vyžadují pro klidný a tichý chod palivo, které má co nejkratší dobu pro vznícení po vstříku. Toto „zpoždění vstříku“, označované jako prodleva, má vliv na tvrdost chodu motoru. Čím je větší, zvyšuje se tlak ve válci a chod motoru je tvrdší, hlučnější. Cetanové číslo je vyjádřením odolnosti paliva proti tvrdému chodu motoru. Podobnou schopností je ukazatel označený jako cetanový index. Zjišťování cetanového čísla se provádí podobně jako zjišťování oktanového čísla u benzinů. Porovnává se směs dvou čistých uhlovodíků a to n-alkanů (parafínů), které mají vynikající spalovací vlastnosti a číslo 100, a dále aromátů (1-metylnaftalenů) s velmi

špatnou spalovatelností a číslem 0. Cetanové číslo vyjadřuje objemové zastoupení cetanu v takové směsi s 1-metylnaftalenem, která má stejné spalovací vlastnosti jako zkoušená motorová nafta. Protože je zkoušení paliva drahé a ne vždy dostupné, bylo cetanové číslo nahrazeno vypočteným číslem - cetanovým indexem. Cetanový index se stanovuje výpočtem z hustoty paliva, z destilační křivky paliva, jeho vybraných bodů. Jedná se o jednoduchou metodu po laboratorním rozboru. U mnoha druhů dosahuje cetanový index skutečné hodnoty cetanového čísla. Norma ČSN EN 590 předepisuje hodnotu cetanového indexu minimálně 46 jednotek a cetanové číslo minimálně 51.

Motorová nafta se vstříkuje do válce vznětového motoru do vzduchu zahřátého adiabatickou kompresí, kde se palivo samovolně vznítí. Proto je potřeba vysoký kompresní poměr motoru a snadno samozápalné palivo. Vstříkovací soustava dále vyžaduje palivo s vyšším bodem varu, které se příliš snadno nevypařuje. Právě tyto požadavky splňuje již zmiňovaná motorová nafta.

Pro zlepšování užitečných vlastností motorových naft se stejně jako u automobilových benzinů široce používají různá aditiva (přísady). Stále častěji se tyto přísady používají ve formě multifunkčních „balíčků“, které jsou tzv. vyrobeny na míru pro daný druh paliva a kterými se zároveň chtějí jednotlivé velké distribuční firmy odlišit jedna od druhé. Používané přísady se dají rozdělit na přísady pro zlepšení nízkoteplotních vlastností, mazivostní přísady, zvyšovače cetanového čísla, detergenty, antioxidanty, inhibitory koroze, deaktivátory kovů, antistatické přísady, protipěnovostní aditiva, deemulgační přísady aj.

Motorové nafty se vyrábějí mísením odsířených plynových olejů a někdy i petrolejů z destilace ropy a ze štěpných procesů. Nafty vyrobené z petrolejů a plynových olejů z destilace ropy a z hydrokrakování obvykle vyhovují svým cetanovým číslem (CČ) normě a nevyžadují z hlediska CČ žádnou další úpravu. Plynové oleje z termického a katalytického krakování vysokovroucích ropných frakcí mají velký obsah aromátů a většinou malé hodnoty CČ. Jejich CČ se někdy zvětšuje katalytickou hydrogenací, kterou se část aromátů převede na cykloalkany.

Spotřeba motorové nafty ve světě i v České republice stále roste, v roce 2006 se v ČR spotřebovalo téměř 4,6 miliardy litrů motorových naft. Předpokládá se další nárůst množství vozidel se vznětovým motorem, především u osobních automobilů a také jejich nárůst průměrného ročního počtu ujetých kilometrů. Obě tyto skutečnosti pak povedou k větší výrobě a spotřebě motorové nafty.



## 3.5 Alternativní paliva [18]

Vzhledem k docházejícím zásobám ropy a problémům se znečištěním životního prostředí začali lidé hledat alternativní zdroje energie. Šlo jim o energii, která bude méně škodit životnímu prostředí a zároveň zaručí, že doprava v budoucnu z planety nevytizí. Za alternativní paliva, jak se říká náhradě za automobilový benzin a motorovou naftu, se považují zejména stlačený zemní plyn (CNG), zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG), bioplyn, bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje, paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol), vodík a elektrický proud.

### 3.5.1 Propan butan - LPG [18]

LPG se dá v současnosti považovat za nejrozšířenější alternativní palivo. Jako automobilové palivo je LPG užíván již několik desetiletí. Propan butan je směs uhlovodíků vznikající jako vedlejší produkt při rafinaci ropy anebo jako kapalná frakce separovaná od metanu v průběhu těžby zemního plynu. LPG je levné, z ekologického pohledu příznivé palivo, avšak otázku paliva pro budoucí automobily neřeší. Verze s tímto pohonem jsou některými výrobci automobilů nabízeny, ale i zde je několik problémů, které brání širšímu rozvoji tohoto paliva. Proti jeho výhodám například mluví vyšší spotřeba, úbytek výkonu motoru a zvýšení hmotnosti vozidla. Tedy pouze v případě, kdy může být vozidlo poháněno jak benzinem, tak i plynovým palivem. Jelikož je ale LPG vázáno na ropu a nejedná se tedy o obnovitelný zdroj energie, zůstává otázkou, zda vůbec může být považováno za alternativní pohonnou hmotu. V tabulce 6 je uvedeno porovnání vlastností LPG s naftou pro použití v autobusu.

*Tab. 6 Porovnání vlastností LPG s naftou pro použití v autobusu [18]*

	<b>Nafta</b>	<b>LPG</b>
Hustota paliva [kg/m <sup>3</sup> ]	830	540
Výhřevnost [MJ/kg]	42,5	46,1
Přetlak v nádrži [MPa]	0	0,4
Objem nádrže [l]	200	340
Zvýšení hmotnosti [kg]	-	140

### 3.5.2 Stlačený zemní plyn - CNG [18]

CNG lze považovat za perspektivní alternativní palivo, které se nechá dobře využít v jenom lehce upraveném zážehovém motoru. Jeho světové zásoby jsou obrovské, jejich vyčerpání je odhadováno cca za více než 150 let. Ale také zemní plyn je fosilním palivem, při jehož spalování se uvolňují škodliviny, byť v daleko menším množství. Jedná se zejména o snížení emisí oxidu uhelnatého a uhlíčitého, pevných částic a organických látek. Pokud je však u vozu s motorem na zemní plyn použit katalyzátor, má tento vůz šanci splnit kalifornský emisní standard pro automobily s mimořádně nízkými emisemi ULEV (Ultra-Low-Emission-Vehicles). Tento standard odpovídá elektromobilu s přihlédnutím na vznik emisí při výrobě elektrického proudu. Na celém světě jezdí na zemní plyn více než milion automobilů. Přitom je možné rozlišovat mezi stlačeným zemním plynem (CNG – Compressed Natural Gas) a kapalným zemním plynem (LNG – Liquefied Natural Gas). CNG se používá u lehčích vozidel, kdežto LNG u nákladních vozidel a autobusů. Zemní plyn má vysoký potenciál pro využití jako motorové palivo. Je levný, má vysoké oktanové číslo, jedná se o čisté palivo a nemá problémy se současnými i budoucími emisními limity. Ale samozřejmě má i své nevýhody. Hlavní z nich je, že zemní plyn zabírá mnoho místa, což u vozidel, které ho používají, způsobuje problémy s nádrží, která nemůže být příliš velká, aby ve voze nezabírala mnoho prostoru. To znamená, že automobil na zemní plyn má menší dojezd, než automobil používající běžné palivo. Další nevýhodou jsou menší výkonové parametry motoru na zemní plyn. V tabulce 7 je uvedeno porovnání emisí autobusu na zemní plyn a na naftu.

Tab. 7 Porovnání emisí autobusu na zemní plyn a na naftu v [g/kWh] [18]

	NO <sub>x</sub>	CO	HC	PM	CH <sub>4</sub>
Autobus na naftu	13,4	4,6	5,9	0,3	-
Autobus na zemní plyn	2,9	0,3	0,03	0,06	2,7

### 3.5.3 Bioplyn [18]

Bioplyn se získává metanogením kvašením organických látek. Nejčastěji těmito látkami jsou chlévská mrva, prasečí kejda nebo odpady v městských čistírnách (kalový plyn). Bioplyn je tvořen směsí plynů, kterými jsou metan (55 až 75 %), oxid uhlíčitý (25 až 40 %) a 1 až 3 % dalších plynů (vodík, dusík, sirovodík). Ve většině případů se bioplyn používá pro pohon stabilních motorů využívaných pro výrobu elektrické energie s plným využitím

odpadního tepla tzv. kogenerační jednotky. Pro využití k pohonu motorových vozidel je nutné bioplyn zbavit přebytku nežádoucích příměsí, zejména oxidu uhličitého a sirovodíku, tak aby odpovídal požadavkům na zemní plyn. Výhodou bioplynu jsou nižší emise oproti benzínu a cca 30 % úspora nákladů na palivo. Nevýhodou současného používání bioplynu jako pohonné hmoty je jeho omezené množství a pouze lokální možnost použití. Nejširší uplatnění v dopravě nachází bioplyn v Evropě ve Švédsku, Dánsku, Rakousku, Švýcarsku, Francii a Itálii, mimo Evropu pak v Brazílii, USA, Chile a na Novém Zélandu.

### **3.5.4 Bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje [18]**

Od sedmdesátých let minulého století je zkoumána možnost využití řepkového oleje pro pohon vznětových motorů. Ale ukázalo se, že použití řepkového oleje pro pohon běžných naftových motorů není možné. Je tedy nutné naftový motor pro pohon řepkovým olejem konstrukčně upravit, např. na duotermický motor Elsbethův, nebo přepracovat řepkový olej na metylester řepkového oleje (MEŘO). S odlišnými vlastnostmi řepkového oleje od klasické motorové nafty (fyzikální i palivářské - viskozita, bod vzplanutí, filtrovatelnost) se spolehlivě dokázaly vyrovnat jen některé speciálně upravené motory. Jedná se především o motory s předkomůrkou, popřípadě s vřívou komůrkou a zejména pak o speciální konstrukční řešení motoru Elsbeth. Avšak vzhledem k výši nákladů na úpravu naftových motorů ani relativně nízká cena chemicky neupraveného řepkového oleje nedokázala zvyšovat jejich ekonomickou efektivnost. Z tohoto důvodu se začalo pracovat na druhé možnosti řešení, která spočívá v použití vhodně chemicky upraveného paliva na bázi rostlinných olejů v konstrukčně nezměněných vznětových motorech.

Obecně spočívá úprava fyzikálně - chemických vlastností v přeměně vhodného rostlinného oleje na metylester mastných kyselin obsažených v oleji. Smyslem této chemické přeměny na metylestery je přiblížit výsledné vlastnosti tohoto paliva parametrům klasické motorové nafty.

V případě ČR i Evropy je vhodným rostlinným olejem převážně řepkový olej. Dále je možné použít slunečnicový olej, v USA i sojový olej atp.

Pro použití rostlinného oleje v naftovém motoru, je potřeba tento olej upravit esterifikací na metylester (u nás zkráceně označovaný MEŘO, v zahraničí se používá termín RME - Rapeseed Methyl Ester).

MEŘO znamená Metylester Řepkového Oleje a je to produkt, který vzniká při reakci

řepkového oleje s metanolem, tedy bionafta. Čisté MEŘO se jako palivo používá např. v Rakousku nebo Německu. V ČR se tato bionafta, tzv. první generace, nepoužívá. Na našem trhu se používá tzv. bionafta druhé generace, nazývaná směsná nafta, kde je podíl MEŘO cca 30 %, zbytek pak tvoří klasická motorová nafta.

Ve srovnání s motorovou naftou dochází při použití MEŘO k významnému snížení emisí nespálených uhlovodíků, částic a na nich navázaných polycyklických aromatických uhlovodíků a emisí CO<sub>2</sub>. Další výhodou oproti motorové naftě je, že rostlinné oleje neobsahují žádnou síru, a proto při jejich spalování nedochází ke vzniku oxidů síry SO<sub>x</sub>. Některé vlastnosti MEŘO a čistého řepkového oleje i jejich porovnání s naftou jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 Porovnání vlastností MEŘO, čistého řepkového oleje a nafty [18]

	Nafta s nízkým obsahem síry	MEŘO	Čistý řepkový olej
Cetanové číslo	46	61,2	42,6
Bod varu [°C]	191	347	311
Viskozita při 20 °C [mm <sup>2</sup> /s]	5,1	7,5	77,8
při 50 °C [mm <sup>2</sup> /s]	2,6	3,8	25,7
Obsah síry [% hmot.]	0,036	0,012	0,022
Obsah dusíku [ppm]	0	6	-
Zbytkový obsah uhlíku [%]	0,15	0,02	0,25
Výhřevnost [MJ/kg]	44,5	40,6	40,4
Hustota [kg/m]	845,9	880,2	906,6

### 3.5.5 Paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol) [18]

Alkoholy nižších skupin mají obdobné vlastnosti jako paliva konvenční - ropná. Použití alkoholů jako paliva vyžaduje konstrukční úpravy stávajících motorů. Dále je u alkoholových paliv nutné používat aditiva pro zlepšení mazacích vlastností. Výhodou alkoholů je možnost zvýšení kompresního poměru zážehových motorů díky vysoké antidetonační odolnosti. Při tvorbě směsi dochází k vnitřnímu ochlazování kvůli vysokému výparnému teplu a tím k výrazně lepšímu plnění válců. Výhřevnost alkoholů je sice nižší než u benzinů, ale spalování je rychlejší a dokonalejší. Jejich nevýhodou je schopnost vázat vodu

způsobující korozi a v případě směsného paliva benzin - alkohol způsobuje voda separaci frakcí benzínu a degradaci paliva.

Nejvhodnějšími zástupci alkoholů pro spalovací motory jsou etanol (etylalkohol, alkohol, líc;  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) a metanol (metylalkohol, karbinol, dřevný líc;  $\text{CH}_3\text{OH}$ ).

Etanol se dnes běžně využívá jako náhrada benzínu ve spalovacích motorech, přičemž je to jedno z nejstarších alternativních paliv. Etanol je produktem zemědělské výroby vyráběný kvašením ze surovin obsahujících cukr, celulózu nebo škrob. Výroba etanolu pro průmyslové účely se zakládá na hydrataci etylenu. Při kvasném způsobu výroby etanolu se využívá řady zemědělských plodin, jako např. cukrové i krmné řepy, cukrové třtiny, kukuřice, brambor a obilovin. Proces kvasné výroby etanolu je založen na zkvašování cukerných roztoků (z výchozí melasy, popř. ze surovin obsahujících škrob, např. z brambor po jeho zcukření) kvasinkami rodu *Sacharomyces* s následnou destilací. Zajímavé využití etanolu lze najít ve směsných palivech, kde obsah etanolu činí až 5 % (dáno požadavky EU). V Brazílii je tento podíl až 22 %.

Výroba metanolu ze dřeva je ve světě známá již velmi dlouho. Metanol však vystupoval pouze jako vedlejší produkt při výrobě dřevěného uhlí, a navíc ještě s malým výtěžkem. Dnes už dřevěné uhlí postupně ztratilo význam, ale metanol se stal pro motorová vozidla důležitým palivem. Nejvíce je metanol produkován v Brazílii, USA a Švédsku.

Metanol je čistá kapalina bez zápachu, která se v přírodě vyskytuje jen ojediněle a pro člověka je to jedovatá látka. Dále se vyznačuje velkou univerzálností a také se používá jako výchozí surovina v mnoha chemických procesech. Metanol je možné vyrobit nejen z biomasy, ale i z některých fosilních paliv, jako např. ze zemního plynu nebo uhlí. Nevýhodou výroby metanolu z biomasy je, že jeho cena je asi dvojnásobná v porovnání se syntetickým metanolem vyrobeným ze zemního plynu. Je zajímavé, že z metanolu lze vyrobit i benzin, avšak celý proces výroby probíhá s energetickou ztrátou, a proto se nevyužívá. Metanol je možné převést na vysoce oktanové palivo při relativně nízkých nákladech. Výhodou takového paliva je, že neobsahuje síru, a tím pádem nedochází k takovému znečištění ovzduší. Vozidla spalující v motorech metanol se z hlediska výkonu a jiných charakteristik (dojezd) podobají vozidlům spalujícím benzin. Metanol je možné použít jako palivo v čisté formě nebo jako směs. V případě vznětových motorů je nutné vozidla vybavit pomocným zapalovacím systémem, protože cetanové číslo metanolu je nízké. Tyto motory mohou také spalovat směs metanolu a nafty.

Výhodou metanolu jsou jeho výrobní technologie, které jsou v praxi odzkoušené, spolehlivé a široce využívané (výroba alkoholu). Další výhodou v porovnání s etanolem je, že pro jeho výrobu existuje širší potenciál vstupních surovin a hlavně je metanol mnohem levnější. V porovnání s benzinem má poměrně výrazně vyšší oktanové číslo (přibližně 105). Za zmínku stojí i jeho vysoká energetická hustota, umožňující vyšší účinnost spalování v motoru, má nižší teplotu hoření a produkuje méně škodlivin. Všeobecně je méně rizikový než benzin, lépe se s ním manipuluje, protože není tak prchavý a zároveň je bezpečnější při dopravních nehodách, případný požár se dá snadno uhasit i vodou, protože metanol je rozpustný ve vodě a má nízkou teplotu plamene.

Hlavní nevýhodou je toxicita metanolu jak při vdechnutí, tak i při působení na kůži (riziko při čerpání paliva). Jeho dalším negativem je způsobování rychlejší koroze kovových (i plastových) materiálů, má detergentní účinek (odstraňuje oleje z míst, kde jsou potřebné). V benzinových motorech způsobuje metanol větší problémy se startováním při teplotě pod bodem mrazu, které jsou způsobeny vyšší zápalnou teplotou. Řešením je, obdobně jako v případě nafty, předeřtít paliva. Energetická hustota je asi o polovinu nižší než u nafty, proto vozidla na metanol potřebují cca dvakrát tolik paliva na dosažení stejné vzdálenosti.

Celkově se dá říci, že jednou z výhod etanolu a metanolu je tvorba menšího množství škodlivin při jejich spalování. Souvisí to s tím, že mají jednodušší strukturu než benzin nebo nafta, lépe hoří a celý proces vede k menší tvorbě nespálených zbytků. Z tohoto pohledu je metanol o něco lepším palivem než etanol.

Vlastnosti etanolu a metanolu a jejich porovnání s ropnými palivy jsou uvedeny v tabulce 9.

*Tab. 9 Vlastnosti etanolu a metanolu a jejich porovnání s ropnými palivy [18]*

	<b>Etanol</b>	<b>Metanol</b>	<b>Benzin</b>	<b>Nafta</b>
Výhřevnost [MJ/kg]	26,9	21,3	43,7	42,5
Bod varu [°C]	78,3	64,5	99,2	150
Oktanové číslo	106	105	79-98	-

### 3.5.6 Vodík [18]

Vodík je předmětem současného intenzivního výzkumu jako potenciální palivo pro motorová vozidla. Vodík je možné používat ve vozidle jako palivo buď přímo ve spalovacím motoru, nebo jako zdroj elektrické energie v palivovém článku v elektromobilu. Při výrobě vodíku elektrolýzou vody použitím elektrické energie, vyrobené z obnovitelných zdrojů, je vodík nejčistším současným palivem. Z hlediska snižování emisí skleníkových plynů je podstatné, že automobily jezdící na vodík, oproti elektromobilům využívajících elektřinu z fosilních paliv, nevytváří žádné emise oxidu uhličitého. Problémy s bezpečností a cena vozidel přímo spalujících vodík jsou však hlavní důvody, proč se současný vývoj využití vodíku v automobilech orientuje spíše na palivové články, kde se vodík využívá na výrobu elektrické energie.

Vozidla s palivovými články využívají pro svůj pohon elektrický proud vytvořený elektrochemickou reakcí, přímou přeměnou vnitřní energie paliva, přímo ve vozidle a to bez škodlivých emisí naprosto čistým způsobem, navíc proces v palivových článcích probíhá kontinuálně bez hluku. I přes značné náklady na jejich vývoj se palivové články jeví jako nejperspektivnější technologie pro pohon vozů v příštích letech, která by mohla splnit požadavky na ekologicky čistou a spolehlivou dopravu.

### 3.5.7 Elektrický proud [18]

Již v počátcích rozvoje automobilismu konkurovaly elektromobily vozidlům poháněných spalovacím motorem. Mezi hlavní výhody elektromotoru patří jeho snadné spouštění, tichý chod, jednoduchá konstrukce a fakt, že téměř neznečišťuje ovzduší. Zde je však nutné uvést, že při samotné výrobě elektřiny z fosilních paliv, potřebné pro pohon elektromobilu, vznikají značné emise oxidu uhličitého tzv. skleníkového plynu.

Elektromobily jsou komerčně nabízeny již řadu let, ale nesetkaly se s přílišným zájmem zákazníků. Hlavním problémem je velikost baterií a náklady na výrobu vozidel dostatečné velikosti, výkonu a dojezdu. Další nevýhodou je pomalé dobíjení baterií a jejich velká hmotnost, která způsobuje pomalou akceleraci. Očekávání převratného rozvoje technologie baterií, nezbytného pro širší rozšíření elektromobilů, se zatím nenaplnuje. Elektromobily mají stále svůj význam v dopravě na krátké vzdálenosti, kde bezhlučnost a „nulové“ emise jsou rozhodující.

## 4. Způsoby měření emisí spalovacích motorů

Měření emisí lze rozdělit na dva základní způsoby. Prvním z nich jsou emisní kontroly, což je pravidelná emisní kontrola vozidel ve stanicích SME (stanice měření emisí). Druhým způsobem měření emisí jsou homologační testy, při kterých jsou typově schvalována vozidla nová, nebo nově uváděná do provozu. U obou těchto způsobů je měření emisí odlišné. Hlavními rozdíly jsou nejen příslušné legislativní předpisy, ale i různé metodiky měření, úroveň emisních limitů, požadované přesnosti měření, cenové relace, technická úroveň měřicí techniky a statutární zajištění. Jednotlivé metodiky měření u obou způsobů měření emisí lze dále rozdělit na statické a dynamické způsoby měření emisí, které jsou podrobně popsány v této práci v odstavcích 4.2 a 4.3.

### 4.1 Emise výfukových plynů [7], [16]

Při spalování uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Při nedokonalé oxidaci jsou přítomny ještě oxid uhelnatý ( $\text{CO}$ ) a vodík ( $\text{H}_2$ ). Kyslík ( $\text{O}_2$ ) se objevuje ve výfukových plynech zážehového motoru pouze tehdy, byl-li v čerstvé směsi v přebytku, nebo pokud se nevyužil z jiných důvodů. U vznětových motorů se vyskytuje vždy, protože vznětový motor pracuje s přebytkem vzduchu.

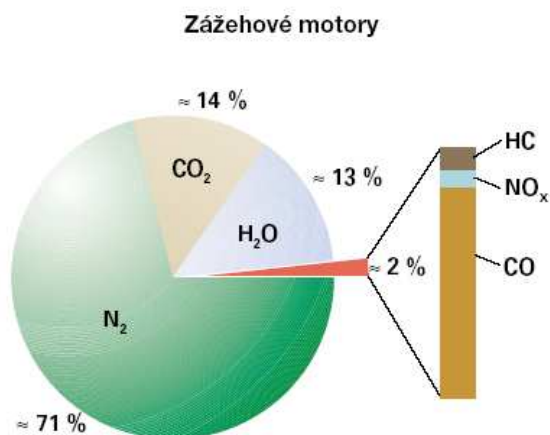
Nejvýznamnější (co se týká jeho obsahu) složkou spalin je dusík ( $\text{N}_2$ ). Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), zastoupené zejména oxidem dusnatým ( $\text{NO}$ ), v menší míře pak oxidem dusičitým ( $\text{NO}_2$ ). Při velmi nepříznivých podmínkách pro oxidaci paliva vznikají ve výfukových plynech nespálené uhlovodíky ( $\text{HC}$ ). U motorů s vnější tvorbou směsi se tato složka objevuje jako součást spalin i z důvodů úniku části čerstvé směsi přímo do výfuku zkratovým vyplachováním.

Za úplného nepřístupu vzduchu (uvnitř kapičky kapalného paliva) nastává při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíků, jejímž výsledkem je přítomnost pevného uhlíku (sazí) ve spalinách a to hlavně u vznětových motorů. S výfukovými plyny odchází z motoru velmi malé množství dalších pevných částic ( $\text{PM}$ ) např. vysoko molekulové produkty tepelného poklesu mazacího oleje, prach, popel, částičky rzi atd.

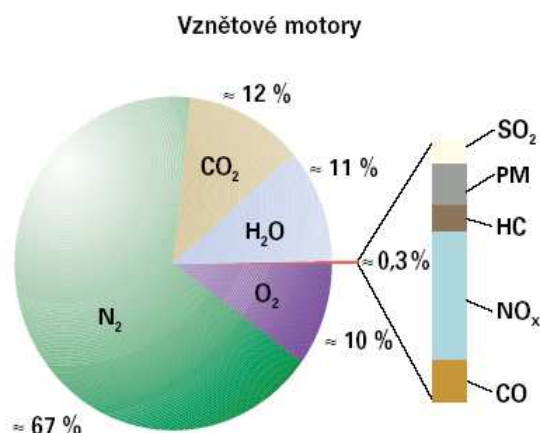
Síra obsažená v některých uhlovodíkových palivech vytváří při spalování v motoru oxidy síry, které se následně objevují ve spalinách.



Přibližné složení výfukových plynů, zážehového a vznětového motoru vyjádřené v procentech, je znázorněno na obrázku 2 a 3.



Obr. 2 Složení výfukových plynů zážehového motoru [7]



Obr. 3 Složení výfukových plynů vznětového motoru [7]

#### 4.1.1 Popis jednotlivých složek výfukových plynů [7], [16]

##### Oxid uhelnatý (CO)

Pro lidský organizmus je jedovatý. Oxid uhelnatý vytváří s krevním barvivem velmi pevný karboxylhemoglobin, který omezuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu. Tím jsou jednotlivé orgány poškozovány nedostatkem kyslíku, i když by tento byl obsažen ve vdechovaném vzduchu v dostatečném množství. Nejcitlivějším orgánem na dostatek kyslíku je mozek, proto by se dal oxid uhelnatý nazvat nervovým jedem. Oxid uhelnatý se dále podílí na vzniku fotochemického (letního) smogu. Celková roční emise CO z antropogenních zdrojů je řádově srovnatelná s přírodními emisemi.

##### Oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>)

Jedná se o produkt dokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalínách je důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu. Je to bezbarvý plyn, bez zápachu, velmi stabilní a málo reaktivní. Jeho škodlivost na lidský organizmus se začne projevovat, až když jeho koncentrace ve vdechovaném vzduchu začne vytěšňovat kyslík.

Oxid uhličitý patří mezi tzv. skleníkové plyny, které způsobují vznik radiční clony omezující sdílení tepla země s okolím. Skleníkový efekt vede k průběžnému zvyšování teploty a posunu klimatických poměrů s celou řadou nežádoucích důsledků. Největším nebezpečím je tání ledovců, které způsobuje zvyšování hladin oceánů.

V důsledku průmyslové činnosti došlo ke zvýšení pozadí koncentrace CO<sub>2</sub> z 280 ppm na 350 ppm. V rámci antropogenních emisí obnáší podíl provozu spalovacích motorů cca 10 %.

### **Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)**

Přímá škodlivost oxidu dusnatého na živý organismus je vcelku nízká. Při dalším pobytu v atmosféře dochází k jeho oxidaci na oxid dusičitý, jehož škodlivost je klasifikována jako závažnější. Při vdechování se na stěnách sliznice tvoří kyselina dusičná (HNO<sub>3</sub>). Dýchací soustava reaguje na vdechování této kyseliny jako na začínající hoření a automaticky přivírá přístup vzduchu do plic. Důsledkem tohoto jevu je pocit dušení a nucení ke kašli. Tento nežádoucí stav nastává již při velmi nízkých koncentracích, resp. při krátkých expozičních dobách.

Oxidy dusíku se, obdobně jako oxid uhelnatý, významně podílejí na tvorbě letního smogu. Rovněž se spolupodílejí na tvorbě kyselých dešťů.

### **Nespálené uhlovodíky (HC)**

Nespálené uhlovodíky jsou směsí různých skupin uhlovodíků, které vstupují jako palivo do oxidačního procesu, nebo vznikají v průběhu spalování paliva ve válci motoru. Nejmenší škodlivost obvykle mají některé původní skupiny uhlovodíkového paliva, větší škodlivost (někdy až extrémní) vykazují potom ty druhy uhlovodíků, které vznikají jako meziprodukty oxidace původní uhlovodíkové molekuly a vlivem různých okolností proběhne cyklus oxidačních reakcí pouze z části (např. účinkem ochlazení v blízkosti stěn válce). Některé meziprodukty oxidačních reakcí patří do skupiny rakovinotvorných látek a jejich škodlivost je potom navíc mimořádná ve spojení s další výfukovou škodlivinou, pevnými částicemi (nespálené uhlovodíky se zachycují na povrchu částic a vdechováním se tak dostávají do lidského organismu velmi nebezpečné látky).

Z plynných škodlivin se z celé škály nespálených či částečně zoxidovaných uhlovodíků považují za nejnebezpečnější polycyklické aromatické uhlovodíky (např. benzyren 3,4), jejichž škodlivost je zesílena zmíněnou vazbou na povrch emitovaných pevných částic. Ze skupiny částečně zoxidovaných uhlovodíků se ve výfukových plynech vyskytují skupiny aldehydů R-CHO, které vznikají zejména v procesu předoxidačních reakcí a jejich existence se často spojuje s nižším teplotním režimem motoru (např. při provozu s velkým přebytkem vzduchu, po spuštění studeného motoru, v nízkých zatíženích motoru

apod.). Nespálené nebo částečně zoxidované uhlovodíky (aldehydy) způsobují charakteristický zápach výfukových plynů. Nespálené uhlovodíky působí v lidském organismu škodlivě na sliznice, vedou k poruchám podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty.

Lze očekávat, že v nejbližší době budou mezi výfukové škodliviny jako samostatné položky zařazeny polycyklické aromatické uhlovodíky a příp. další meziprodukty spalovacího procesu.

### **Oxidy síry (SO<sub>x</sub>)**

Oxidy síry jsou produkovány především vznětovými motory. Podíl emisí oxidů síry plynoucích ze spalovacích motorů je na celkovou produkci téměř zanedbatelný. Jelikož obsah síry v motorové naftě neustále klesá (od roku 2009 nesmí její obsah, u všech motorových naft, přesáhnout 10 mg/kg), klesají i emise plynoucí ze spalovacích motorů.

### **Pevné částice (PM)**

Pevné částice vznikají zejména u vznětových motorů. Obsahují primární uhlík, organický uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a další neidentifikovatelné složky. Obsah základního uhlíku se blíží k 75 procentům. Nicméně složení je závislé na typu motoru a na dodatečných zařízeních vedoucích k jejich snižování jako např. filtru pevných částic. Jádro částic se skládá z pevného uhlíku a popele. Organické a sulfátové směsi a další prvky jsou sorbované na povrch jádra během koagulace, adsorpce a kondenzace částic.

Krátkodobá expozice může způsobit podráždění očí, jícnu, průdušek a neurofyziologické symptomy (nucení ke zvracení a dýchací potíže). Chronická expozice může způsobit zánět a histopatologické změny v plicích.

Částice se v ovzduší nacházejí v různých velikostech. Velké částice jsou odstraněny například polykáním nebo jsou zachyceny v horních cestách dýchacích. Menší částice, zvláště pod 0,1  $\mu\text{m}$  mohou dosáhnout povrchu plic. Tyto částice mohou být odstraněny při čištění plicních sklípků, ale mohou být také unášeny do lymfatického systému anebo dále až do krve. Pevné částice jsou velmi malé částice co do velikosti, většina částic je menších než 1  $\mu\text{m}$  a více než 90 % může být ultra malých < 0,1  $\mu\text{m}$ . V některých případech se vyskytují částice menší než 50 nm. PM jsou též hlavní příčinou výskytu tzv. zimního smogu, typického pro stav teplotní inverze.

## 4.1.2 Mechanismus vzniku škodlivin [7], [16]

### Oxid uhelnatý (CO)

U zážehových motorů je produktem nedokonalé oxidace uhlíku obsaženého v uhlovodíkovém palivu. Prioritní příčinou jeho výskytu ve spalínách je nedostatek kyslíku ve spalované směsi. Znamená to provoz, kdy součinitel přebytku vzduchu  $\lambda$  je menší než 1 (bohatá směs). Nedostatek kyslíku může být místní (v některých válcích nebo v některých oblastech motoru), nebo časový (při hodnotě  $\lambda = 1$  - stechiometrická směs - se v některých pracovních obězích spaluje bohatá směs, jako důsledek fluktuace směšovacího poměru). Oxid uhelnatý je pak přítomen ve spalínách spolu s kyslíkem. Globální nebo lokální nedostatek kyslíku pak lze označit za hmotově-bilanční příčinu emise CO.

U vznětových motorů, při velkých přebytcích vzduchu, CO oxiduje na CO<sub>2</sub>. Koncentrace CO jsou desetinové ve srovnání se zážehovými motory. K výraznějšímu nárůstu dochází v oblastech vyššího zatížení, ale dříve než se projeví nárůst emisí CO, je dosažena hranice kouře, na kterou se nastavuje maximální dodávka paliva dorazem regulační tyče vstřikovacího čerpadla.

### Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>)

Oxidy dusíku vznikají oxidací vzdušného dusíku dodávaného do válce motoru společně s kyslíkem potřebným pro oxidaci paliva. Oxidace dusíku je endotermická, nastává tedy jako součást mechanismu, jimž přírodní síly vzdorují proti zvýšení teplot.

Vznik oxidu dusnatého (NO) je velice závislý na výši teploty. Nejvyšších teplot se dosahuje spalováním mírně bohatých směsí. Podmínkou vysokých koncentrací NO<sub>x</sub> je však kromě vysoké teploty také dostatečný obsah kyslíku. Se stoupajícím přebytkem vzduchu  $\lambda$  je k dispozici více kyslíku, což převládá nad klesající teplotou. Z tohoto důvodu je maximum koncentrace NO<sub>x</sub> při  $\lambda = 1,05-1,1$ .

U vznětových motorů je výskyt NO<sub>x</sub> nižší než u zážehových motorů (při optimalizaci z hlediska energetických vlastností). Je to způsobeno větším přebytkem vzduchu. S rostoucím přebytkem vzduchu jejich koncentrace klesá vlivem zředění přebytečným vzduchem a poklesem spalovacích teplot.

## Nespálené uhlovodíky (HC)

Nespálené uhlovodíky jsou ve výfukových plynech obsaženy jako výsledek předčasně zastavených oxidačních reakcí v některých zónách spalovacího prostoru (nejčastěji u chladnějších stěn válce) nebo vynecháním či poruchou spalování. Dále také jako produkt tepelných krakovacích a dalších chemických reakcí, které byly ukončeny dříve, než mohl proběhnout celý proces jejich oxidace.

Na obsah nespálených uhlovodíků má značný vliv teplotní režim motoru, konstrukce spalovacího prostoru, konstrukce samotného pístu a samozřejmě bohatost směsi. Optimální směšovací poměr z hlediska obsahu nespálených uhlovodíků je v oblasti chudé směsi při přebytku vzduchu  $\lambda = 1,1-1,2$ . Nižší i vyšší součinitel přebytku vzduchu vede ke zvyšování koncentrací nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech.

Na obsah HC má kromě konstrukce motoru vliv i jeho technický stav a stálost správného seřízení.

K vytváření nebezpečných polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH) v průběhu spalovacího procesu dochází zejména v případech, kdy původní uhlovodíková molekula obsahuje dva a více atomů uhlíku. V těchto případech se významná (určující) role vzniku PAH připisuje tzv. acetylenové (ethinové)  $C_2H_2$  cestě s ethylenem ( $C_2H_4$ ) jako meziproduktem krakovacích reakcí, z něhož dehydrogenací vznikne acetylén, který je potom za určitých (vhodných) podmínek základem následných dehydrogenačních a polymerizačních reakcí.

## Pevné částice (PM)

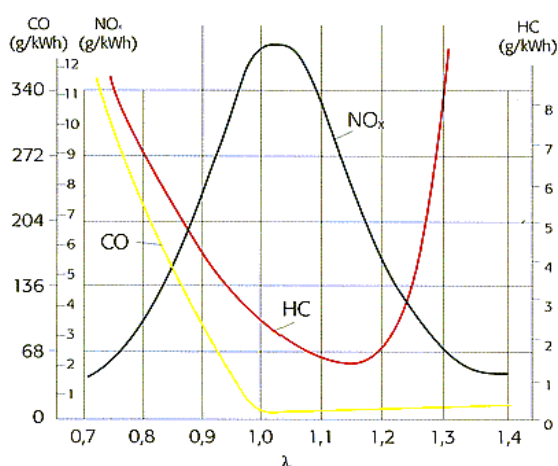
Primární uhlík se tvoří při spalování neodpařených kapek paliva v prostředí s vysokou teplotou a při extrémně nízkých lokálních hodnotách přebytku vzduchu. Emise pevných částic tedy souvisí zejména s kvalitou rozprašení paliva při jeho vstřikování do válce. Je zřejmé, že přísun kyslíku k částicím paliva se zlepšuje se zvětšováním celkového množství vzduchu, proto se emise částic snižuje s jeho rostoucí hodnotou.

Organické složky pevných částic (SOF - Soluble organic fraction) pocházejí z nespáleného paliva, motorového oleje a produktů částečného spalování a pyrolýzy. SOF vznikají v případě, že je nespálené palivo a mazací olej uvězněn ve štěrbinách válce nebo v chladných bodech uvnitř válce bez možnosti oxidace nebo pyrolýzy (tepelného rozkladu). Při vysokých teplotách ve výfukovém potrubí jsou tyto směsi v plynné formě, ale při zchlazení a zředění, některé z méně těkavých organických sloučenin mohou sorbovat na

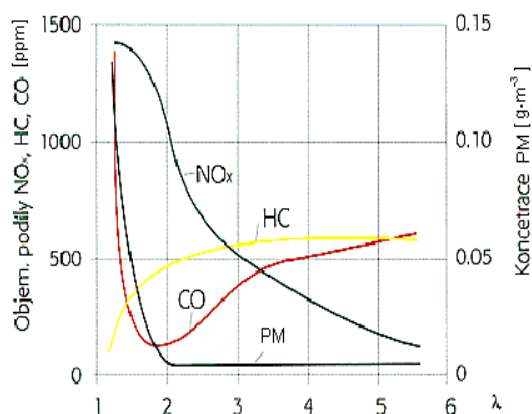
povrch částic. Jestliže je málo adsorpčních míst, organické sloučeniny mohou kondenzovat např. v kyselinu sírovou a tvořit jádra nanočástic. Řada fyzikálních reakcí probíhá při ochlazování a zředování výfuku (tvoření zárodků, kolaguace, kondenzace a adsorpce).

Tvoření sulfátů závisí na obsahu síry v palivu a mazacím oleji. Většina síry je emitována jako  $\text{SO}_2$ , jen asi 2 – 3 % jsou přeměněna na  $\text{SO}_3$ . Použitím přídavných oxidačních zařízení (oxidační katalyzátor) dojde k oxidaci zhruba 70 %  $\text{SO}_2$  na  $\text{SO}_3$ . To má za následek, že při použití oxidačního katalyzátoru a nafty s obsahem 5 ppm síry může dojít až ke zdvojnásobení sulfátových emisí oproti motoru bez katalyzátoru s naftou o obsahu 50 ppm síry.

Emise CO, HC a  $\text{NO}_x$  jsou někdy označovány souhrnným názvem plynné emise. Koncentrace jednotlivých složek těchto emisí (obrázek 4 a 5) závisí zejména na kvalitě spalované směsi (bohatosti, tj. hodnotě  $\lambda$  a povaze směsi, tj. jedná-li se buď o homogenní, nebo o heterogenní směs).



Obr. 4 Produkce emisí zážehového motoru v závislosti na  $\lambda$  [7]



Obr. 5 Produkce emisí vznětového motoru v závislosti na  $\lambda$  [7]

## 4.2 Statický způsob měření emisí

Při statickém způsobu měření emisí je motor v ustálených otáčkách a zatížení. Během těchto testů se odebírají pouze vzorky emisí, ze kterých se poté určuje koncentrace jednotlivých škodlivin. Do statického způsobu měření emisí lze zařadit testy při vně nezatíženém motoru, mezi které patří testy při volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách, případně s kontrolou lambda sondy a dále zkušební test ESC.

### 4.2.1 Testy při vně nezatíženém motoru [8]

Testy při vně nezatíženém motoru jsou základní a nejjednodušší testy pro měření emisí vozidel v provozu, při kterých je spalovací motor vně nezatížen. V současnosti se používají v podstatě na celém světě zejména z důvodu časově nenáročného a levného měření. Výhodou těchto testů jsou relativně nízké náklady na měřicí přístroje. Proti nim však stojí řada nevýhod. Tou zásadní nevýhodou je, že se měří pouze podíl jednotlivých složek emisí, nikoli však skutečné množství produkovaných emisí. Další nevýhodou přístrojů pro tato měření je poměrně dlouhá doba odezvy na změnu koncentrace složek emisí (např. při akceleraci).

#### 4.2.1.1 Testy při volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách [7], [8]

Emise výfukových plynů se měří při volnoběžných resp. zvýšených volnoběžných otáčkách (2000 až 3000 min<sup>-1</sup>), při kterých se v koncovce výfukového potrubí měří pouze koncentrace škodlivých emisí CO, HC a nelimitovaných emisí CO<sub>2</sub> vyjádřených v (%) nebo (ppm).

Dostatečným a relativně cenově přijatelným testovacím zařízením je tzv. tříložkový analyzátor NDIR (Non-Dispersive Infrared).

Samozřejmě, že tyto testy nejsou dokonalé. Nedokonalost volnoběžných testů se projevuje v tom, že nedokáže odhalit katalyzátor se sníženou účinností, který při volnoběžných otáčkách ještě plní své funkce, ale při zatížení a s tím související vyšší produkci emisí je již plnit nedokáže. Další závažný nedostatek volnoběžných testů spočívá v tom, že koncentrace emisí NO<sub>x</sub> je při těchto režimech zanedbatelná (řádově několik ppm) a obvykle tedy nejsou tímto měřením vybaveny ani běžné analyzátory.

#### 4.2.1.2 Testy při volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách s kontrolou lambda sondy [7], [8], [10]

Jedná se o rozšíření předchozího testu, který navíc zahrnuje kontrolu funkce lambda sondy, umístěné ve výfukovém potrubí. Pro kontrolu správné funkce lambda sondy se používají 3 typy testů.

- 1. typ lambda testu** spočívá v měření koncentrace emisí CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub> a HC při zvýšených otáčkách (2000 až 3000 min<sup>-1</sup>) a vypočtení hodnoty  $\lambda$  z obsahu složek výfukových plynů podle Brettschneiderova vzorce. Obvykle hodnotu  $\lambda$  počítají přímo přístroje pro měření emisí a je limitována ( $\lambda = 1 \pm 0,03$ ) nebo je tato hodnota u motorů, které jsou řízeny v jiných režimech, stanovena výrobcem. Tento druh testu je nejrozšířenější a používá se i v ČR.
- 2. typ lambda testu** (podle Richtera 1993) spočívá v simulaci poruchy směšovacího poměru ve smyslu ochuzení nebo obohacení směsi. Dle německých norem se kontroluje odezva systému řízení směsi na poruchu a doba, kdy se systém ustálí do původního stavu, jednak při volnoběžných otáčkách a dále pak při zvýšených otáčkách.
- 3. typ lambda testu** spočívá ve srovnání několika naměřených charakteristik lambda regulace s etalonovými charakteristikami od výrobce.

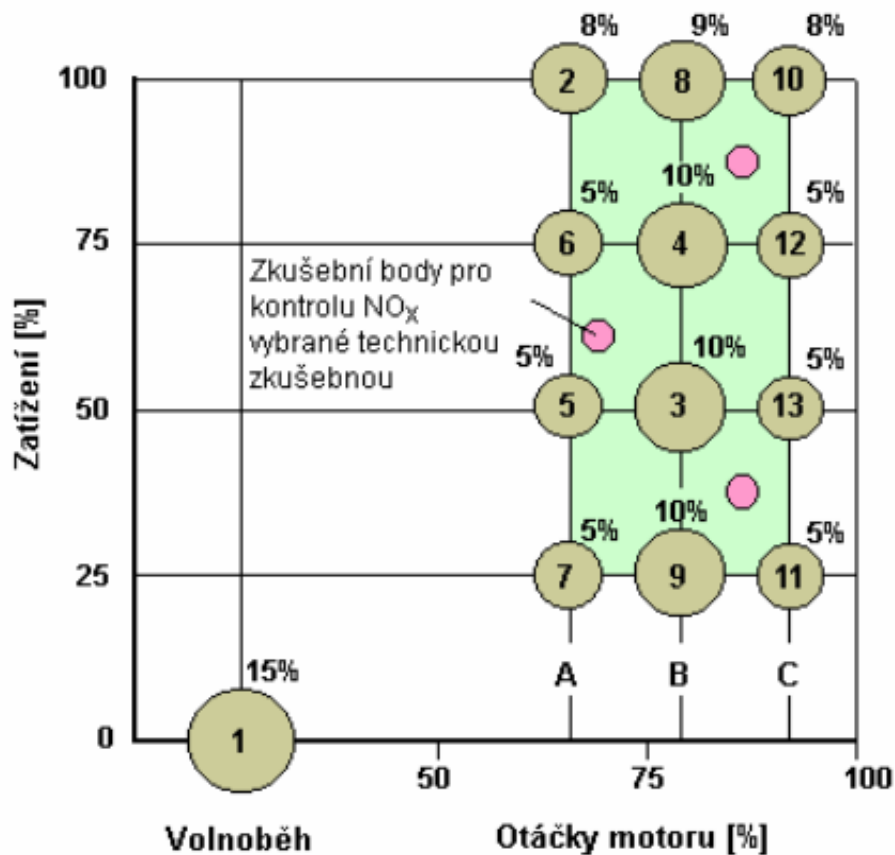
Pro tyto testy jsou požadovány přístroje NDIR, které musí být navíc vybavené výpočtem  $\lambda$  (první typ lambda testu). Pro druhý typ lambda testu je nutné zařízení pro simulaci poruch a osciloskop. K třetímu typu lambda testu je navíc potřeba plná počítačová podpora umožňující porovnání datových souborů charakteristik  $\lambda$  od různých výrobců a typů motorů.

#### 4.2.2 Zkušební test ESC [2], [8], [15]

Při homologaci vozidel nad 3,5 tuny se používá test ESC (European Stationary Cycle) spolu s testem ETC (European Transient Cycle) a pro vznětové motory navíc platí test ELR (European Load Response) pro měření kouřivosti motoru. Limity emisí CO, HC, NO<sub>x</sub> a pevných částic, příp. kouřivosti, jsou opětovně stanovené specificky pro každou kategorii vozidel velmi přísně, na hranicích technické, technologické a ekonomické dosažitelnosti. V Evropě byl zaveden směrnicí 199/96/ES ze dne 13. prosince roku 1999 a nahradil dříve používaný předpis ECE R 49.



ESC je stacionární test, při kterém se zkouší samostatný motor na zkušebním stanovišti (dynamometru) při předepsaných otáčkách a zatížení motoru. Zatěžovacím režimem je tzv. 13 - ti bodový test, 13 předepsaných ustálených režimů otáček a zatížení motoru (obrázek 6).



Obr. 6 Průběh ESC testu (tzv. 13 - ti bodový test) [2]

Každému režimu je normou přiřazena „váha“, která se zahrne spolu s příslušnými hodnotami naměřených emisních složek a zatížení do stanovených výpočtů měrných emisí g/kWh (tabulka 10).

Tento test se vyznačuje vysokými průměrnými součiniteli zatížení a velmi vysokou teplotou výfukových plynů, přičemž A, B a C jsou otáčky určované pro každý motor.

Tab. 10 Parametry ESC testu [7]

Režim	Otáčky motoru	Zatížení [%]	Váha [%]	Doba trvání [min.]
1	volnoběžné	0	15	4
2	A	100	8	2
3	B	50	10	2
4	B	75	10	2
5	A	50	5	2
6	A	75	5	2
7	A	25	5	2
8	B	100	9	2
9	B	25	10	2
10	C	100	8	2
11	C	25	5	2
12	C	75	5	2
13	C	50	5	2

V průběhu předepsaného sledu provozních stavů zahřátého motoru se kontinuálně analyzují emise z výfuku na vzorku surových výfukových plynů. Zkušební cyklus se skládá z většího počtu režimů otáček a výkonu, které odpovídají typickému provoznímu rozsahu vznětových motorů. V průběhu každého režimu se měří koncentrace všech plynných znečišťujících látek, průtok výfukových plynů a výkon a změřené hodnoty se zvažují. Vzorek částic se zředí stabilizovaným okolním vzduchem.

Během celého postupu zkoušky se odebere jeden vzorek a zachytí se na vhodných filtrech. Pro každou znečišťující látku se vypočtou emitované gramy na kilowatthodinu. Kromě toho se změní  $\text{NO}_x$  ve třech zkušebních bodech v oblasti kontroly, které vybere technická zkušebna (zkušební body musí být vybrány za použití schválených statistických metod náhodného výběru), a změřené hodnoty se porovnají s hodnotami vypočtenými z režimů zkušebního cyklu, které zahrnují vybrané zkušební body.

Kontrolou NO<sub>x</sub> se zjišťuje účinnost zařízení motoru k omezení emisí v typickém provozním rozsahu motoru.

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

$$\text{Otáčky A} = n_{lo} + 0.25(n_{hi} - n_{lo})$$

$$\text{Otáčky B} = n_{lo} + 0.50(n_{hi} - n_{lo})$$

$$\text{Otáčky C} = n_{lo} + 0.75(n_{hi} - n_{lo})$$

**Horní otáčky**  $n_{hi}$  jsou určeny jako 70 % frekvence otáček při jmenovitém výkonu.

**Dolní otáčky**  $n_{lo}$  jsou určeny jako 50 % frekvence otáček při jmenovitém výkonu.

#### **4.2.2.1 Postup zkoušky ESC [15]**

Zkouška musí být provedena v pořadí čísel režimů, jak je uvedeno v tabulce 13. Motor musí pracovat v každém režimu po předepsanou dobu, přičemž se mění otáčky a zatížení v prvních 20 sekundách. Uvedené otáčky se musí udržovat v rozmezí  $\pm 50$  1/min. a uvedený točivý moment se musí udržovat v rozmezí  $\pm 2$  % maximálního točivého momentu při zkušebních otáčkách. Na žádost výrobce se může postup zkoušky opakovat v počtu dostatečném k zachycení většího množství částic na filtru.

#### **4.2.2.2 Odběr vzorku částic [15]**

Během celého postupu zkoušky se použije jedna dvojice filtrů (primární a koncový filtr). Váhové faktory pro jednotlivé režimy vymezené v postupu zkušebního cyklu se musí uvažovat tak, že se v každém jednotlivém režimu cyklu odebere vzorek proporcionální hmotnostnímu průtoku výfukových plynů. Toho lze dosáhnout tím, že se seřídí průtok vzorku, doba odběru nebo ředící poměr tak, aby bylo splněno kritérium efektivních váhových faktorů.

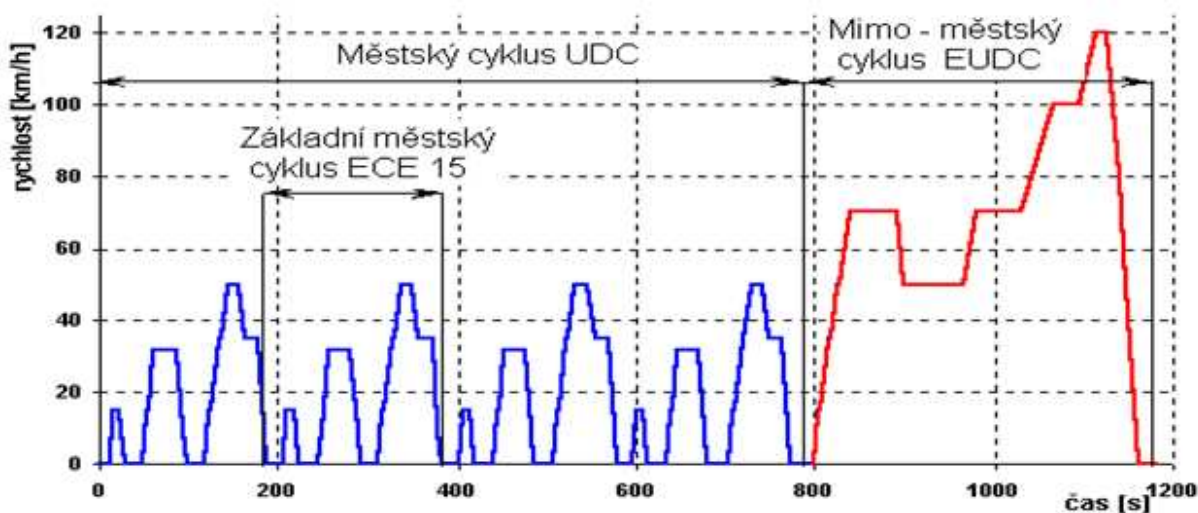
Doba odběru na jeden režim musí být nejméně 4 sekundy na váhový faktor 0,01. Odběr se musí provést v každém režimu co nejpozději. Odběr vzorku částic musí skončit nejdříve 5 sekund před koncem každého režimu.

## 4.3 Dynamický způsob měření emisí

Dynamický způsob měření se vyznačuje tím, že vozidlo nebo samostatný motor je umístěn na zkušebním stanovišti, kde je během celého měření zatížen a emise jsou odebírané kontinuálně a na konci měření se vyhodnocují. Výstupem měření je množství jednotlivých složek emisí v gramech za jízdní cyklus, což se dále přepočítává na g/km nebo g/kW. Do dynamického způsobu měření emisí patří homologace vozidel do 3,5 tuny v EU a ČR, konkrétně předpis EHK 83 (v ČR od roku 1991) a zkušební testy ECE 15, UDC (Urban Driving Cycle) a EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Přičemž UDC + EUDC je také označován jako NEDC (New European Driving Cycle). Dále je sem možné zařadit testy při neustáleném zatížení, mezi které patří zkušební cyklus Modem IM a zkrácené zkušební cykly TÜV-A a Modem short, zkušební test ETC, ELR a EHK 24, testy při volné akceleraci motoru a dálkové snímání emisí.

### 4.3.1 Zkouška dle předpisu EHK 83 (NEDC) [7], [14]

Zkouška NEDC se vyznačuje simulací jízdního cyklu na řízeném válcovém dynamometru, která zahrnuje 4x režim základního městského cyklu ECE 15 a označuje se jako městský cyklus UDC a 1x režim mimoměstského cyklu EUDC. Tato měření jsou provedena bezprostředně za sebou (UDC + EUDC). Časový průběh celého testu je znázorněn na obrázku 7 a parametry testu v tabulce 11.



Obr. 7 Průběh zkušebního cyklu NEDC [7]

Tab. 11 Parametry zkušebního cyklu NEDC [7]

Část cyklu	Doba [s]	Dráha [m]	Ø Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Volnoběh [s]	Ø Rychlost [km/h]	Max. rychlost [km/h]
UDC (4 ECE15)	780	4 052	0,487	252	27,60	50
EUDC	400	6 955	0,395	41	69,70	120
UDC+EUDC	1180	11 007	0,458	293	44,70	120

#### 4.3.1.1 Základní městský cyklus ECE 15 [14]

Základní městský cyklus se opakuje 4x za sebou a označuje se jako UDC (Urban Driving Cycle). Začíná se při studeném motoru, který se temperuje min. 6 hodin na teplotu 20 až 30 °C. Efektivní doba jednoho cyklu ECE 15 je 195 sekund a teoretická vzdálenost ujetá během tohoto cyklu je 1 013 m při průměrné rychlosti 19 km/h. Během cyklu jsou předepsána rychlost, zařazený rychlostní stupeň, vypnutí spojky a doba řazení. Povolená odchylka rychlosti je 2 km/h a odchylka času 1 sekunda.

#### 4.3.1.2 Mimoměstský cyklus EUDC [14]

Mimoměstský cyklus následuje bezprostředně za cyklem UDC. Efektivní doba jízdy je 400 sekund, při které se ujede teoretická vzdálenost 6 955 m při průměrné rychlosti 62,6 km/h. Maximální rychlost během tohoto cyklu je 120 km/h.

#### 4.3.2 Testy při neustáleném zatížení [8]

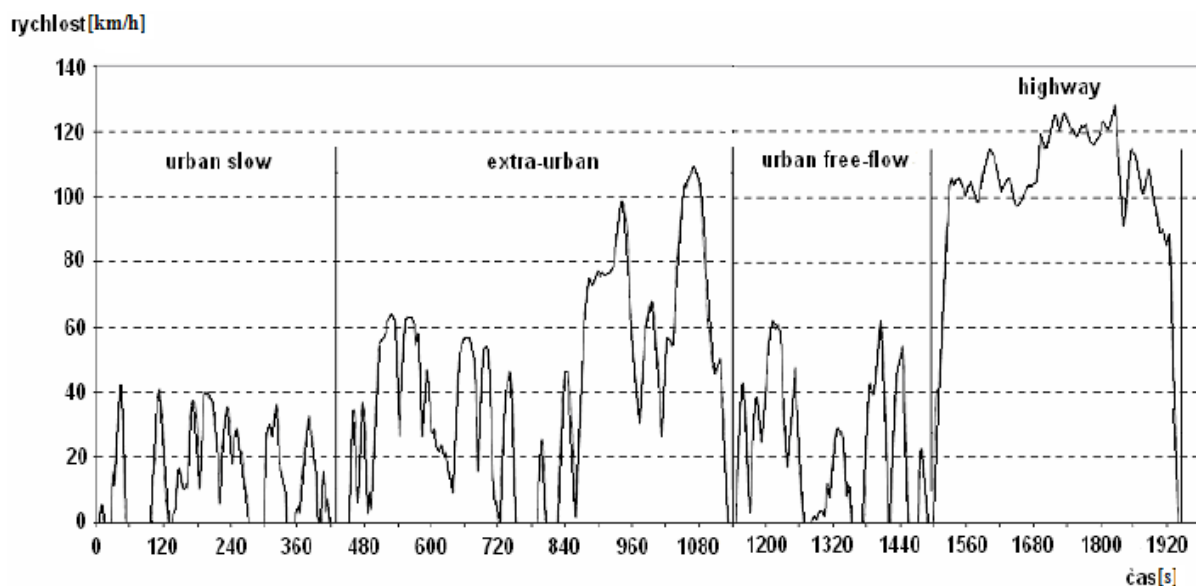
V Evropě se používají metody simulace typických jízdních režimů, které jsou obvykle obdobou stávajících homologačních cyklů, nebo jejich zkrácených verzí. Ve skupině tzv. „dlouhých“ testů patří mezi nejvýznamnější zkušební cykly MODEM IM. Ve zkrácené verzi tzv. „krátkých“ testů jsou nejvýznamnější německé zkušební cykly TÜV-A a francouzský MODEM short.

##### 4.3.2.1 Dlouhé homologační testy [7], [8]

###### MODEM IM

Modem IM je v současnosti jeden z nejvíce uznávaných jízdních cyklů, který byl vyvinut v národním institutu pro dopravu INRETS (Lyon, France). Cyklus představuje

simulaci zatížení vozidla při jízdě na válcovém dynamometru typickou pro městské, mimo-městské a dálniční režimy. Celý test se sestává ze čtyř částí, které simulují pomalou jízdu v hustém městském provozu (slow urban), volnou jízdu v řídkém městském provozu (free-flow urban), mimo městskou jízdu na běžné komunikaci (road) a jízdu ve volném dálničním provozu (motorway). Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu Modem IM je vidět na obrázku 8 a parametry tohoto cyklu jsou uvedeny v tabulce 12. Porovnání emisních faktorů pro jednotlivé části cyklu Modem IM zobrazuje tabulka 13.



Obr. 8 Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu Modem IM [4]

Tab. 12 Parametry jednotlivých částí cyklu Modem IM + (srovnání s cyklem NEDC) [7]

Modem I&M subcycle	Trvání [s]	Dráha [m]	Zrychlení [ $m/s^2$ ]	Volnoběh [s]	Ø Rychlost [km/h]	Max. rychlost [km/h]
slow urban	428	1 705	0.583	134	20.9	42.3
free-flow urban	355	2 248	0.702	71	28.5	62.3
road	712	8 485	0.685	96	49.6	109.2
motorway	452	12683	0,418	11	103,5	128,7
NEDC	1 180	11 007	0.458	293	44.7	120.0

Tab. 13 Porovnání emisních faktorů pro jednotlivé části cyklu Modem IM [4]

Část	Váhový faktor	CO [g/km]	HC [g/km]	NO <sub>x</sub> [g/km]	CO <sub>2</sub> [g/km]	Ø Spotřeba [l/100 km]
slow urban	0,174	3,642	0,434	0,482	348	15,1
free-flow urban	0,404	0,999	0,087	0,274	222	9,5
road	0,126	2,532	0,244	0,37	288	12,4
motorway	0,296	1,655	0,064	0,286	200	8,6

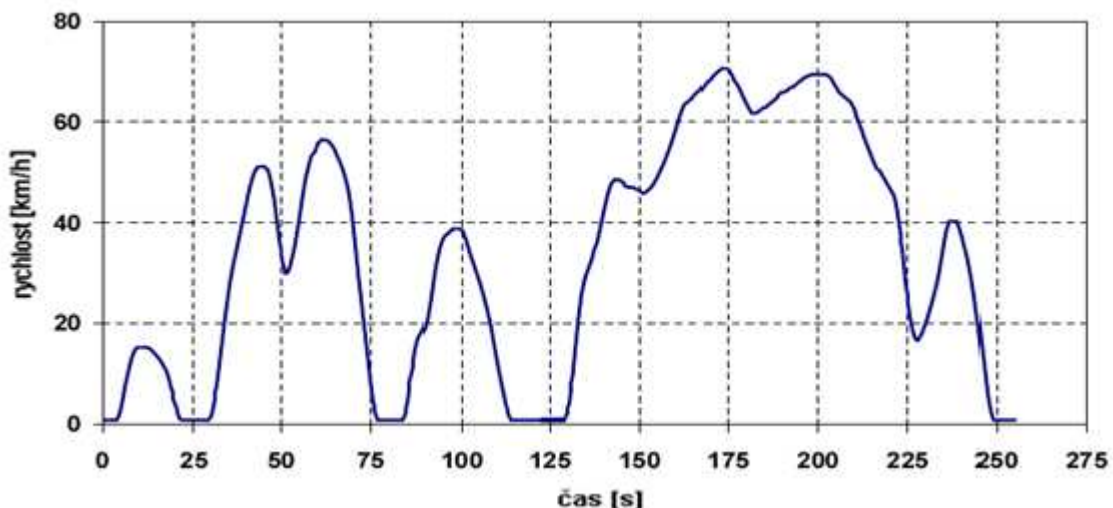
Základní metodou vývoje cyklu MODEM bylo vyhodnocení skutečných jízdních režimů běžných osobních vozidel. Jednalo se o zapůjčená soukromá vozidla a bylo např. přihlédnuto i k pohlaví a věku majitele, jeho profesi, popularitě typu vozidla, technické vyspělosti vozidla (zážehové, vznětové, s katalyzátorem, se vstřikováním, zeměpisnému regionu, přepravním vzdálenostem atd.). Monitorovaná vozidla byla zapůjčena v 6-ti evropských městech, kterými byly Londýn a Derby v UK, Kolín nad Rýnem a Krefeld v Německu, Marseilles a Grenoble ve Francii. Za účelem zkoušek byla vozidla vybavena systémy pro sběr dat, které byly později souhrnně vyhodnoceny (otáčky motoru, rychlost, zrychlení, poloha škrtkové klapky, teploty motoru i okolí, použití provozní brzdy atd.).

#### 4.3.2.2 Zkrácené emisní testy [7]

Jedná se o zkrácené emisní testy při neustáleném zatížení na válcovém dynamometru, které simulují skutečné jízdní režimy vozidel ve významných, zejména městských podmínkách. Z důvodu lepší korelace obvykle vycházejí ze stávajícího EU homologačního testu NEDC.

#### MODEM short cycle [7]

Modem short cycle, jehož průběh je znázorněný na obrázku 9, byl vyvinut rovněž v institutu INRETS (Lyon, France). Základní parametry cyklu jsou uvedeny v tabulce 14.



Obr. 9 Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu Modem short cycle [7]

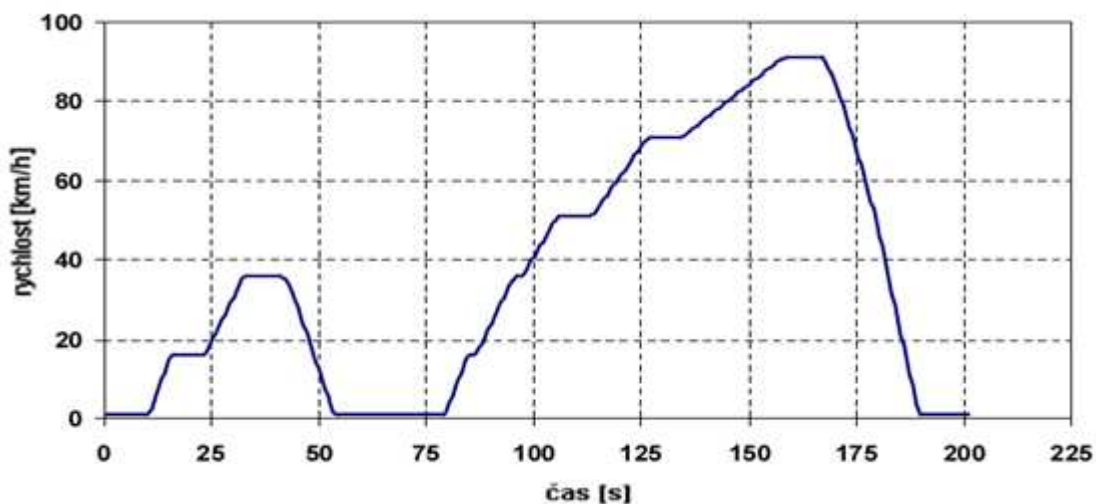
Tab. 14 Základní parametry tzv. zkrácených cyklů (Modem a TÜV-A) [7]

Short cycle	Trvání [s]	Dráha [m]	Ø Rychlost [km/h]	Zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	Volnoběh doba [s]	Max. rychlost [km/h]
Modem	255	2 246	31.7	0.723	51	69.7
TÜV-A	200	1 969	35.4	0.535	51	90.0

#### TÜV-A short cycle [7]

Tento zkrácený test byl vyvinut v TÜV Rheinland a vychází rovněž z cyklu NEDC s velmi dobrou korelací emisí. Bylo vymyšleno několik variant (TÜV A-B-C), v literatuře je nejvíce uznávaná varianta „A“ (obrázek 10) a její základní parametry jsou uvedeny v tabulce 14, společně s parametry cyklu MODEM short.





Obr. 10 Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu TUV-A short cycle [7]

### 4.3.3 Zkušební test ETC [2], [7], [15]

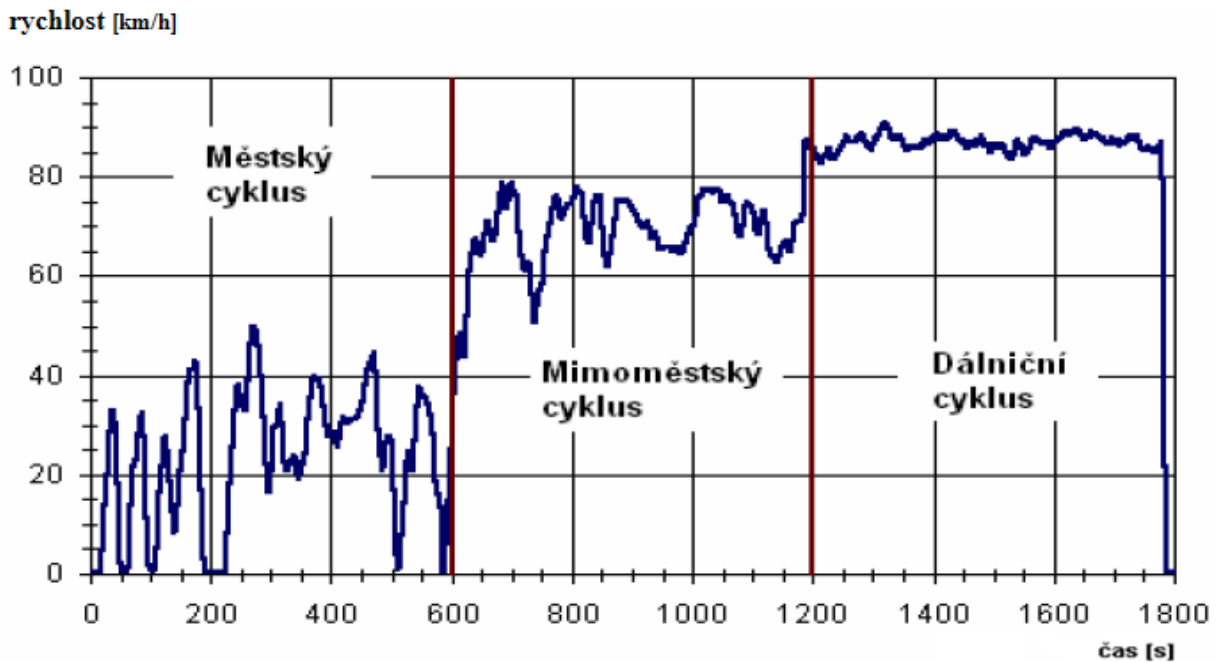
Zkušební test ETC (European Transient Cycle) byl v EU zaveden spolu s testem ESC a používá se při homologaci vozidel nad 3,5 tuny. Jedná se o jízdní cyklus, při kterém se opětovně zkouší samostatný motor na zkušebním stanovišti. Tento test je založený na skutečných silničních měřeních v provozu těžkých vozidel. Různé jízdní stavy ETC testu jsou reprezentované třemi částmi tj. městský, mimoměstský a dálniční cyklus. Trvání celého cyklu je 1800 s a trvání každé části je 600 s.

**Městský cyklus** reprezentuje jízdu s nejvyšší rychlostí 50 km/h s častými starty, zastaveními a běhy naprázdno.

**Mimoměstský cyklus** se vyznačuje počínající výraznou akcelerační částí a dále jízdou průměrnou rychlostí 72 km/h.

**Dálniční cyklus** je jízda s průměrnou rychlostí 88 km/h.

ETC cyklus má dvě varianty, jednak se jedná o zkoušku na válcovém dynamometru a dále pak o zkoušku motoru na zkušebním stanovišti (motorovém dynamometru). Rychlost vozidla v závislosti na době trvání cyklu ETC na válcovém dynamometru je znázorněna na obrázku 11. K homologaci vozidel byl schválen pouze motorový test.



Obr. 11 Rychlost vozidla v závislosti na době trvání cyklu ETC na válcovém dynamometru [2]

Při homologaci vozidel dle předpisu EURO III si výrobci vozidel mohli vybrat, zda chtějí schvalovat motor dle testu ESC, který bylo nutné u vznětových motorů doplnit testem ELR pro měření kouřivosti (v některých literaturách označovaný souhrnně ESC/ELR), nebo dle transientního motorového testu ETC, který se nemusel u vznětových motorů doplňovat testem ELR. Při homologaci vozidel dle předpisu EURO IV se musí motor, pro větší objektivnost, zkusit oběma testy, ESC/ELR i testem ETC. U zážehových motorů se test ELR neprovádí.

#### 4.3.4 Metodika měření kouřivosti (EHK 24) [8]

Metodika měření kouřivosti je limitována u všech vozidel se vznětovým motorem, jednak předepisuje měření kouřivosti nejméně v šesti bodech vnější charakteristiky při ustálených režimech, dále pak opakované měření v režimu „volné akcelerace“, kde je mimo limit kouřivosti stanoven také maximální rozptyl naměřených hodnot u stanoveného počtu po sobě jdoucích volných akcelerací. Pro měření kouřivosti těžkých vozidel (HDV) se vznětovými motory platí test ELR (European Load Response).

### **4.3.5 Zkušební test ELR [2], [7], [15]**

Zkušební test ELR (European Load Response) slouží pro měření kouřivosti těžkých vozidel a v EU platí již od roku 2000.

Skládá se ze sekvence tří zátěžových úrovní střídavě mezi 10 % a 100 % v každé ze tří frekvencí otáček motoru definovaných jako u cyklu ESC (viz. kapitola 4.2.2). Následuje 4. cyklus vybraný technickou zkušebnou (zkušební body se vybírají metodou náhodného výběru) a hodnota se porovnává s hodnotami předcházejících zátěžovacích cyklů.

Kouřivost motoru je během celého cyklu ELR vzorkována s četností minimálně 20 Hz a finální hodnoty jsou výsledkem speciálního algoritmu. Za prvé se zjišťuje průměrná hodnota kouřivosti postupně v každé sekundě celého cyklu. Ve druhém kroku se zjišťuje nejvyšší průměrná hodnota kouřivosti v každém ze tří zátěžových cyklů pro každý režim otáček. Za třetí se vypočítají průměrné hodnoty v každém otáčkovém cyklu.

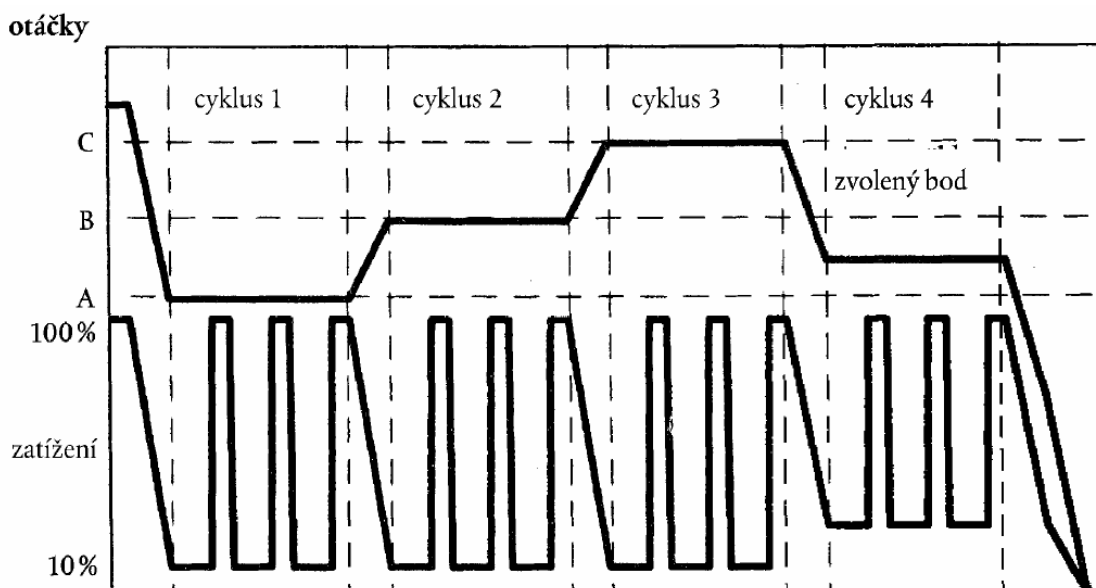
Finální hodnota kouřivosti je určena váženým průměrem z průměrné hodnoty v každém cyklu A (váha 0,43), B (0,56), a C (0,01).

#### **4.3.5.1 Postup zkušebního testu ELR [15]**

Před měřením se motor zahřeje odběrem maximálního výkonu tak, aby se stabilizovaly parametry motoru. Toto ochrání měření před vlivem úsad ve výfukovém systému.

Zkouška se skládá ze tří stupňů zatížení při každé ze tří hodnot otáček motoru A (cyklus 1), B (cyklus 2) a C (cyklus 3) po nichž následuje cyklus 4 při otáčkách, které jsou v kontrolní oblasti, a se zatížením mezi 10 % a 100 %.

Při běhu zkoušeného motoru na dynamometru se musí dodržet následující postup zkoušky znázorněný na obrázku 12.



Obr. 12 Průběh testu ELR při měření kouřivosti vozidel nad 3,5 t [15]

### 4.3.6 Testy při volné akceleraci motoru [8]

Tyto testy se řadí do emisních kontrol vozidel v EU. Při těchto testech se měří kouřivost vznětových motorů průběžně v celém cyklu, tj. volnoběžné otáčky, následuje volná akcelerace až do nejvyšších otáček a následná decelerace zpět na volnoběžné otáčky.

Cyklus se několikrát opakuje podle předepsaného postupu a vzorky výfukových plynů se filtrují, resp. prosvěčují podle metody použité měřicí techniky na základě tzv. Bacharach nebo Bosch metody, resp. opacimetrie.

### 4.3.7 Dálkové snímání emisí [3], [8]

Dálkové snímání emisí patří do emisních kontrol vozidel v provozu v USA, kde je v některých regionech na nejvyšší světové úrovni.

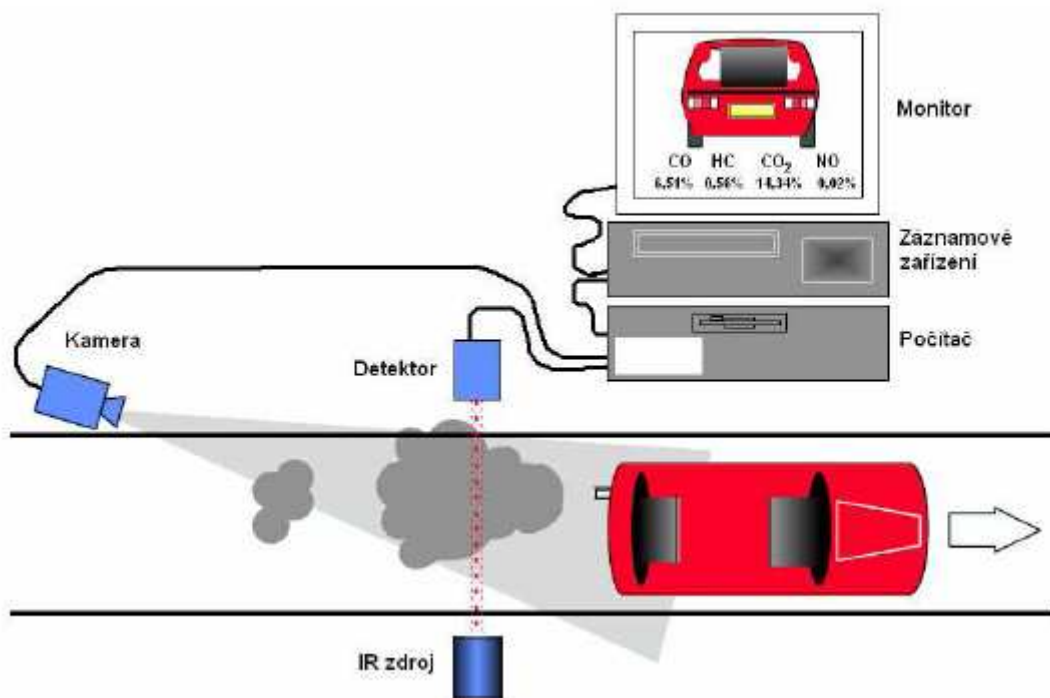
Vývoj dálkového snímání emisí (RSD) při jízdě vozidla na komunikaci se v USA datuje na začátek 70. let v Kalifornii. Koncern GM (General Motors) postavil několik monitorovacích stanišť, ovšem výsledky byly nespolehlivé a další vývoj stagnoval. Za první úspěšný vývoj je považován systém FEAT (Fuel Efficiency Automobile Test), vyvinutý na univerzitě v Denveru jako alternativu ke stávajícím jednoduchým testům, který je v současnosti celosvětově uznávaným systémem. První typy zařízení kontrolovaly metodou NDIR pouze emise CO a CO<sub>2</sub> a v roce 1991 bylo přidáno také měření HC.

Tento systém využívá princip absorpce infračerveného (IR) záření různými plyny v různých vlnových délkách. Vysílač IR záření se postaví na jednu stranu vozovky a toto záření je zachycováno přijímačem na straně druhé. Pokud vozidlo projede tímto zářením, počítač porovná vlnové délky IR záření, které projdou výfukovými plyny s běžnou vlnovou délkou IR záření. Potom počítač vyhodnotí množství uhlovodíků, oxidů dusíku, oxidu uhličitého a oxidu uhelnatého. Pokud vozidlo překročí maximální limity, kamera zaznamená registrační značku vozidla.

RSD zatím nedosahuje přesnosti např. testů při zatěžovacích zkouškách, avšak ve srovnání s jednoduchými volnoběžnými testy je téměř na stejné úrovni. Problémy jsou u měření vozidel při nízkých venkovních teplotách (vodní páry zkreslují měření) a vozidel, které v okamžiku měření nejsou ještě zahřáté na provozní teplotu.

Po rozsáhlé řadě měření bylo konstatováno, že pro zvýšení spolehlivosti je třeba měřit také rychlost a zrychlení vozidla, atmosférické podmínky (teploty, síly a směry větru apod.), a také požadavek měření  $\text{NO}_x$ .

Schéma dálkového snímání emisí systému FEAT je znázorněno na obrázku 13.



Obr. 13 Dálkové snímání emisí systému FEAT [21]

## 5. Praktické měření emisí

Praktické měření emisí bylo provedeno na zkušebním stanovišti (motorovém dynamometru), které se nachází na katedře Vozidel a pozemní dopravy České zemědělské univerzity v Praze (obrázek 14).



*Obr. 14 Pohled na zkušební stanoviště (motorový dynamometr)*

Na motorovém dynamometru je umístěn samostatný motor z automobilu Škoda Fabia 1.2 HTP s upravenou řídicí jednotkou pro zvýšení výkonu motoru (jehož parametry jsou uvedeny v tabulce 15), který je zatěžován elektromagnetickou vířivou brzdou. Jednotlivé složky emisí byly měřeny při použití různých druhů paliv. Konkrétně se jednalo o automobilový benzin Natural 95, Natural 98 a vysoko oktanový benzin s přidávanými speciálními aditivami Natural 100 Shell V-Power.

Tab. 15 Technické parametry měřeného motoru vozidla Škoda Fabia 1.2 HTP

Zdvihový objem [cm <sup>3</sup> ]	1198
Výkon motoru [kW]/ot. [1/min.]	49/4750
Točivý moment motoru [Nm]/ot. [1/min.]	117/3000
Vrtání [mm]	76,5
Zdvih [mm]	86,9
Počet válců	3
Počet ventilů	6
Rok výroby	12/2005
Počet najetých kilometrů	50000
Palivo	Benzin N95
Kompresní poměr	10,3 : 1
Řídící jednotka motoru	Simos 3PD

Základním měřicím přístrojem byl emisní analyzátor VMK, který kontinuálně, každou vteřinu, zaznamenával hodnoty emisí CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC a O<sub>2</sub> ve výfukových plynech. Všechny potřebné přístroje nutné pro obsluhu a měření emisí na zkušebním stanovišti (motorovém dynamometru) jsou znázorněny na obrázku 15.



Obr. 15 Přístroje nutné pro obsluhu a měření emisí na zkušebním stanovišti

Dalším z použitých přístrojů byl diagnostický systém VAG-COM, sloužící pro komunikaci s řídicí jednotkou motoru, jehož jednou z funkcí je sledování a záznam okamžitých hodnot, které řídicí jednotka zpracovává (jeho software je vidět na obrázku 16).



Obr. 16 Pohled na software diagnostického programu VAG-COM

## 5.1 Emisní analyzátor VMK [19]

Při měření byl použit emisní analyzátor VMK (obrázek 17), který je určen k měření koncentrací CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HC a O<sub>2</sub> ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů s vnitřním spalováním směsi. Vychází z přenosných, lehkých, robustních servisních analyzátorů používaných při servisu a technických prohlídkách automobilů se zážehovými motory v americkém státě Kalifornii.



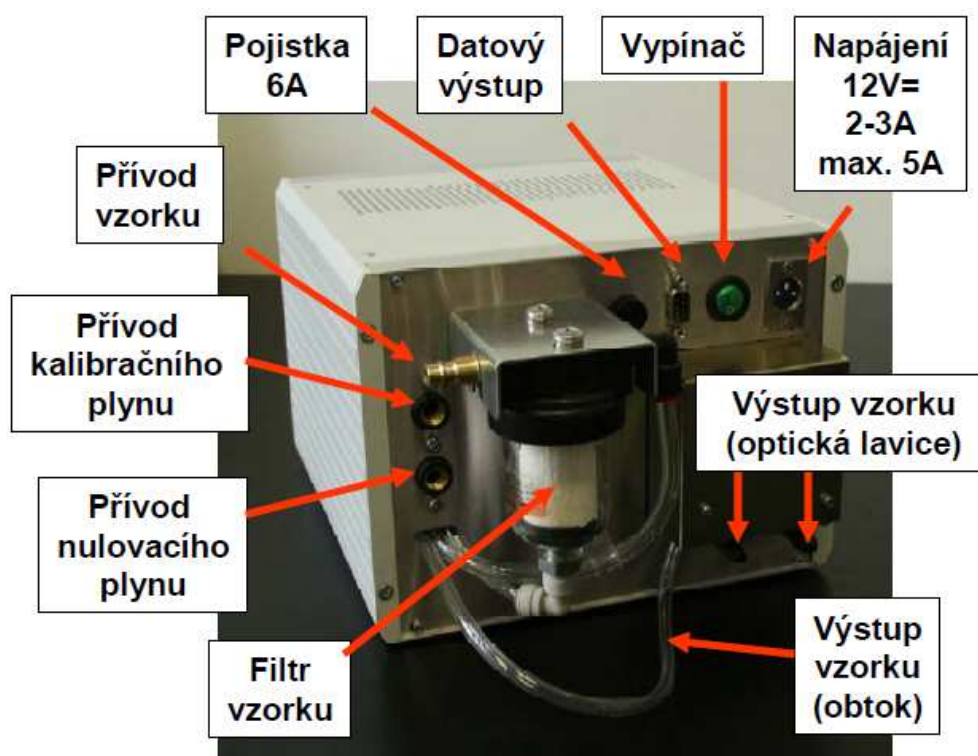
Obr. 17 Emisní analyzátor VMK



Přístroj byl upraven tak, aby se mohl používat ke kontinuálním měřením po delší dobu, k měřením na palubě silničního nebo drážního vozidla, případně jiného stroje vybaveného spalovacím motorem, k měření vznětových motorů a dále aby bylo dosaženo přesnosti a opakovatelnosti měření co nejvíce se přibližující laboratorním přístrojům.

Klíčovou částí přístroje je nedisperzní infračervený analyzátor. Přístroj využívá principu absorpce (pohlcování) infračerveného záření molekulami složenými z atomů alespoň dvou různých prvků. Základní částí přístroje je optická lavice, složená z optické kyvety se vzorkem, na jejímž jednom konci je zdroj infračerveného záření, a na druhém konci detektor, jímž se měří koncentrace infračerveného záření po průchodu kyvetou se vzorkem. Měření se provádí v takových oblastech vlnových délek, ve kterých je příznivá (zpravidla vysoká) absorpce sledované látky a zároveň minimální absorpce ostatních látek. Za ideálních podmínek je intenzita infračerveného záření  $I$  zaznamenávána detektorem funkcí intenzity světla  $I_0$  bez přítomnosti sledované látky, molekulární koncentrace  $C$  sledované látky a absorpčního koeficientu  $A$  sledované látky, dle Beer-Lambertova zákona. Měření koncentrací NO a O<sub>2</sub> je založeno na principu elektrochemického článku.

Přehled uživatelských vstupů a výstupů emisního analyzátoru VMK je znázorněn na obrázku 18.



Obr. 18 Přehled uživatelských vstupů a výstupů emisního analyzátoru VMK [19]

## Technické parametry emisního analyzátoru VMK

### Kombinovaný rozsah:

**CO:** 50 - 5000 ppm,

**CO<sub>2</sub>:** 0 - 16 % obj.,

**NO<sub>x</sub>:** 0 - 5000 ppm,

**O<sub>2</sub>:** 0 - 4 % vol. rozlišení 0,01 % vol.,

4 - 21 % vol. rozlišení 0,1 % vol.,

**HC:** -12 - 2000 ppm vol. rozlišení 1 ppm vol.,

2001 - 9000 ppm vol. rozlišení 10 ppm vol.,

### Odezva:

**CO, CO<sub>2</sub>:** bez uvážení vzorkovací trati: 2 - 3 s na skokovou změnu,

**Celková:** 5 - 10 s statické zpoždění (dle délky vzorkovací trati a výfukového potrubí),

**NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>:** vzhledem ke konstrukci analyzátoru je zpoždění 1 - 2 s za koncentrací CO<sub>2</sub>,

### Nejistota měření:

**CO:** 3 % relativní z naměřené hodnoty, nejméně 0,02 % absolutní,

**CO<sub>2</sub>:** 4 % relativní z naměřené hodnoty, nejméně 0,2 % absolutní,

Při zahřátí alespoň 2 hodiny a nulování alespoň jednou za 20 - 30 min. může být přesnost CO i CO<sub>2</sub> vyšší.,

**O<sub>2</sub>:** 0,1 % vol.,

**HC:** 10 ppm vol.,

### Výstup:

Digitální výstup měřených koncentrací každou sekundu po sériové lince RS - 232, ukládání hodnot na paměťovou kartu.

## 5.2 Elektromagnetická vířivá brzda [17]

Elektromagnetická vířivá brzda neboli vířivý dynamometr (obrázek 19) je spojen s klikovou hřídelí motoru Škoda Fabia 1.2 HTP, pro možnost jeho zatěžování. Parametry vířivého dynamometru jsou uvedeny v tabulce 16.



Obr. 19 Elektromagnetická vířivá brzda (vířivý dynamometr)

Tab. 16 Parametry vířivého dynamometru ZSE Praha Mez Vsetín

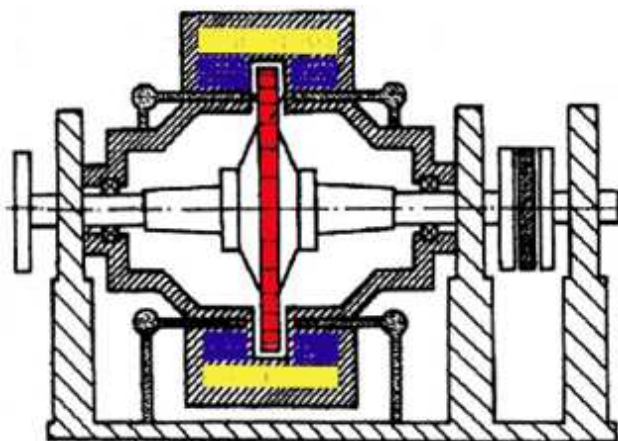
<b>VÍŘIVÝ DYNAMOMETR IP23/ICW37</b>		TYP:	V125
TVAR:	IM6814	ČÍSLO:	714279
4,2 – 125 – 125 kW		134 – 478 – 149,5 Nm	
300 – 2500 – 8000 1/min		50 – 417 – 1333 Hz	
BUZENÍ:	91 V	1,7 A	
MNOŽSTVÍ VODY:	0,9 l/s	TLAK:	0,16 MPa, max. 25 °C
ROK VÝROBY:	1986	ČSN:	350 000

Elektromagnetické vířivé brzdy pracují na principu vzniku vířivých proudů při toku stejnosměrného proudu budícím vinutím.

Často jsou řešeny tak, že výkyvně uložené těleso obsahuje ozubený pólkový kotouč, budící vinutí a chladicí komory, kterými protéká voda (schematicky znázorněno na obrázku 20).

Protéká-li budícím vinutím stejnosměrný proud, vzniká magnetické pole, které má statický charakter v zubech pólového kotouče. Tzn., že obíhá současně s pólovým kotoučem, přičemž siločáry procházejí zuby pólového kotouče pouze v axiálním směru, ale pokud jsou siločáry vztažené ke stěnám chladicích komor, má magnetické pole frekvenci shodnou

s frekvencí otáčejících se zubů. Takto vznikají ve stěnách vířivé proudy, které vytváří pole s brzdícím účinkem. Stator dynamometru je uložen výkyvně a proti pohybu je zajištěn pákou, na jejímž konci je umístěn tenzometr. Pomocí tenzometru je snímána síla, kterou působí dynamometr na motor a při známé délce ramena lze snadno vypočítat aktuální brzdící moment.



Obr. 20 Schematicky znázorněna elektromagnetická vířivá brzda, kde je červeně označený pólový kotouč, žlutě budící vinutí a modře chladicí komory [17]

### 5.3 Postup při měření emisí

Před začátkem měření se nejprve motor nastartoval a nechal několik minut běžet, aby byl dokonale prohřátý na provozní teplotu. Poté se provedla výměna stávajícího paliva za první zkoušený vzorek, kterým byl benzín Natural 95. Dále bylo potřeba otevřít přívod vody, nutný k chlazení motoru a vířivého dynamometru. Následovalo zapojení výfukové sondy emisního analyzátoru VMK a zapnutí diagnostického přístroje VAG-COM, který po propojení s řídicí jednotkou motoru ukazoval jeho okamžité provozní parametry.

Samotné měření se provádělo podle vnější otáčkové charakteristiky, tzn., že byl motor naplněn zatížen (akcelerační pedál byl nastaven na maximální dodávku paliva). V tomto maximálním zatížení, cca okolo 5000 1/min., se začalo s měřením a postupným zvyšováním brzdícího momentu pomocí dynamometru, byl motor plynule brzděn až téměř k hranici volnoběhu cca okolo 1000 1/min. Na konci měření se motor zcela odlehčil a nechal běžet několik minut na prázdko. Dále se, při použití stejného paliva, zjišťovalo množství emisí ve volnoběžných otáčkách (832 1/min.) a zvýšených volnoběžných otáčkách (cca 2500 1/min.), obdobná zkouška jako při emisních kontrolách vozidel ve stanicích SME. Jednotlivé hodnoty výfukových plynů byly zaznamenávány kontinuálně každou vteřinu do emisního analyzátoru VMK.

Po takto odečtených hodnotách bylo ukončeno měření prvního vzorku paliva a pokračovalo se měřením druhého a následně třetího vzorku paliva tj. benzinu Natural 98 a Natural 100. Postup měření byl u obou vzorků paliv stejný jako u benzinu Natural 95, který je popsán výše.

## 5.4 Vyhodnocení naměřených dat

Všechny naměřené a odečtené hodnoty jednotlivých složek emisí výfukových plynů byly zpracovány v programu MS Excel. V tabulkách 17, 18 a 19 jsou vidět hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití různých druhů benzinů. Z těchto tabulek je patrné, že emise CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a HC u všech měřených benzinů při volnoběžných otáčkách i zvýšených volnoběžných otáčkách jsou téměř shodné. Patrná změna je pouze u oxidu uhelnatého, kde je znatelný rozdíl v hodnotách mezi volnoběhem a zvýšeným volnoběhem (platí pro všechna paliva). Další viditelný rozdíl u této složky emisí je, že se u obou měřených otáček motoru, se zvyšujícím oktanovým číslem benzinů, zvyšují i hodnoty emisí CO.

*Tab. 17 Hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití paliva Natural 95*

<b>NATURAL 95</b>	Volnoběžné otáčky 832 [1/min.]	Zvýšené volnoběžné otáčky cca 2500 [1/min.]
CO <sub>2</sub> [%]	15,32	15,28
CO [ppm]	10	50
NO <sub>x</sub> [ppm]	2	1
HC [ppm]	6	8

Tab. 18 Hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití paliva Natural 98

<b>NATURAL 98</b>	Volnoběžné otáčky 832 [1/min.]	Zvýšené volnoběžné otáčky cca 2500 [1/min.]
CO <sub>2</sub> [%]	15,3	15,22
CO [ppm]	15	60
NO <sub>x</sub> [ppm]	2	0
HC [ppm]	7	9

Tab. 19 Hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití paliva Natural 100

<b>NATURAL 100</b>	Volnoběžné otáčky 832 [1/min.]	Zvýšené volnoběžné otáčky cca 2500 [1/min.]
CO <sub>2</sub> [%]	15,1	15,17
CO [ppm]	30	70
NO <sub>x</sub> [ppm]	4	3
HC [ppm]	7	9

Dále jsou v tabulkách 20, 21 a 22 znázorněny hodnoty emisí, pro různé druhy benzinů, naměřené při zatěžování motoru Škoda Fabia 1.2 HTP vířivým dynamometrem od cca 5000 1/min. (maximální zatížení motoru) až do téměř volnoběžných otáček cca okolo 1000 1/min. Jsou zde uvedeny pouze složky emisí po 500 1/min.

Tab. 20 Hodnoty jednotlivých složek emisí naměřených při zatěžování zkoušeného motoru vířivým dynamometrem po cca 500 1/min. při použití paliva Natural 95

<b>NATURAL 95</b>				
Otáčky [1/min.]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	HC [ppm]
1000	2,552	13,19	6	25
1500	1,983	13,71	15	30
2000	1,115	14,11	23	32
2500	2,841	13,19	20	33
3000	4,373	12,29	14	44
3500	4,487	11,89	14	37
4000	3,77	12,5	29	33
4500	4,556	11,72	30	35
5000	4,243	11,7	48	38

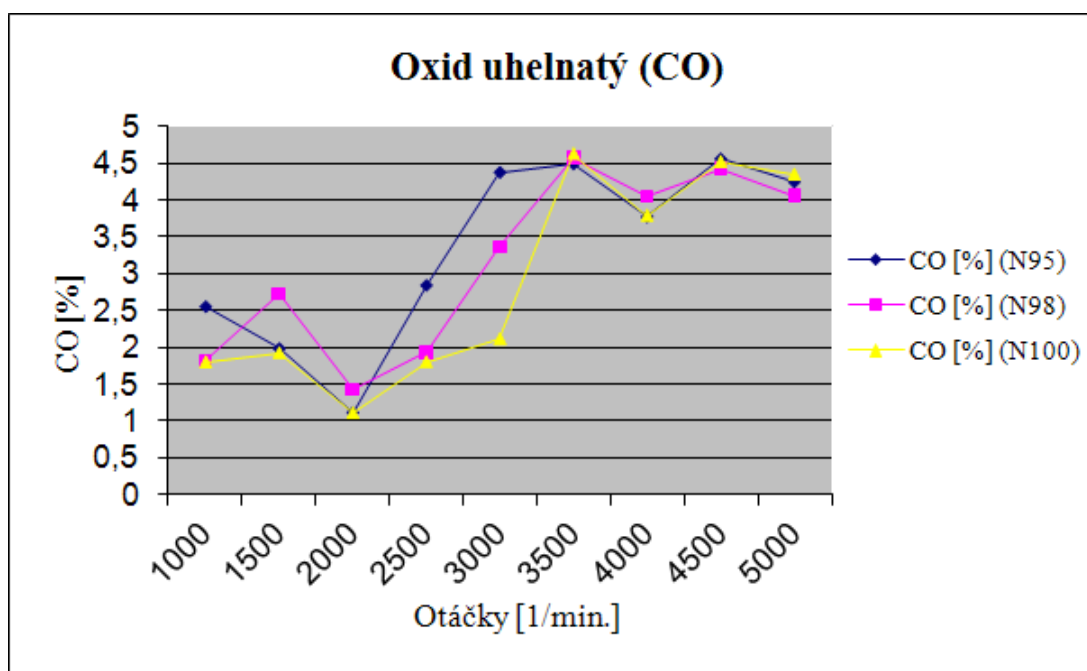
Tab. 21 Hodnoty jednotlivých složek emisí naměřených při zatěžování zkoušeného motoru vířivým dynamometrem po cca 500 1/min. při použití paliva Natural 98

<b>NATURAL 98</b>				
Otáčky [1/min.]	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	HC [ppm]
1000	1,817	13,83	20	47
1500	2,73	13,99	21	36
2000	1,423	14,23	18	28
2500	1,928	13,64	14	29
3000	3,355	12,84	1	36
3500	4,571	12,14	7	40
4000	4,054	12,47	12	38
4500	4,428	12,37	6	39
5000	4,06	12,56	49	47

Tab. 22 Hodnoty jednotlivých složek emisí naměřených při zatěžování zkoušeného motoru vířivým dynamometrem po cca 500 l/min. při použití paliva Natural 100

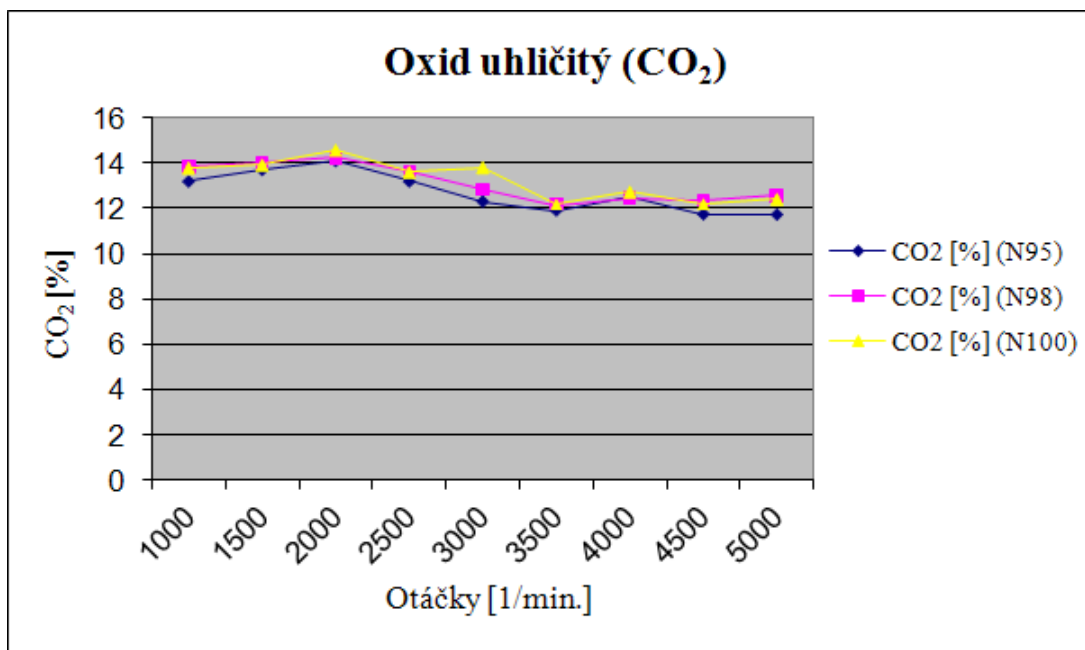
<b>NATURAL 100</b>				
	CO [%]	CO <sub>2</sub> [%]	NO <sub>x</sub> [ppm]	HC [ppm]
Otáčky [1/min.]				
1000	1,791	13,79	52	55
1500	1,915	13,91	50	40
2000	1,099	14,56	28	30
2500	1,793	13,6	35	34
3000	2,103	13,81	42	32
3500	4,623	12,16	10	38
4000	3,785	12,74	25	39
4500	4,516	12,18	15	39
5000	4,342	12,42	42	41

Z naměřených hodnot emisí zpracovaných do tabulek 20, 21 a 22 byly vytvořeny grafy, které jsou znázorněny na obrázcích 21, 22, 23 a 24. V každém z uvedených grafů je vždy vidět konkrétní složka škodlivých emisí při určitých otáčkách a pro různý druh benzínu.

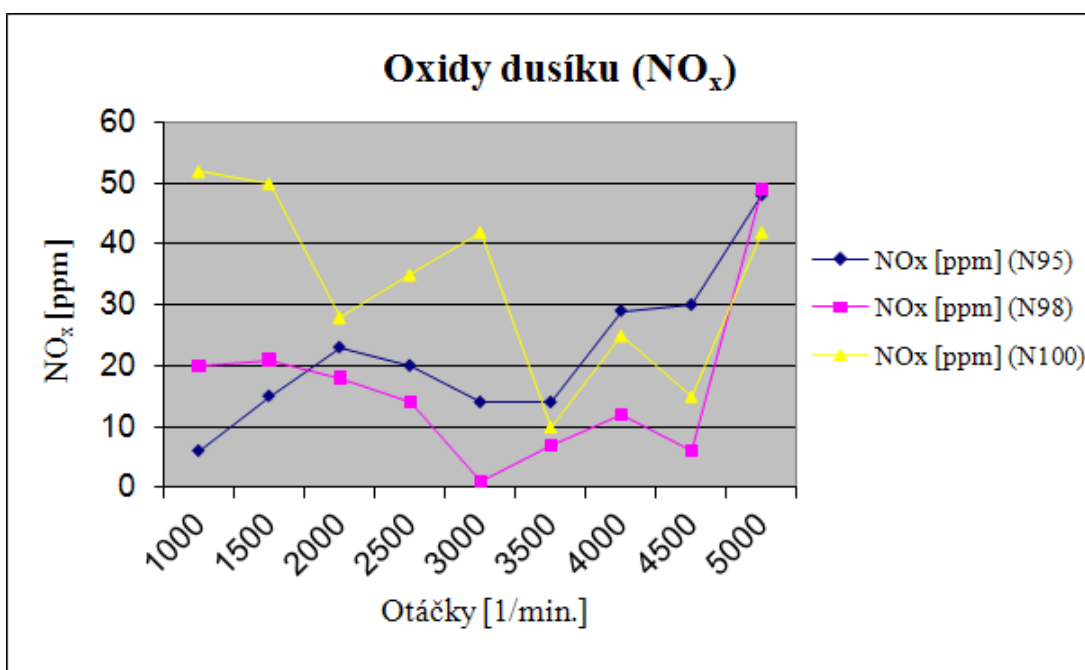


Obr. 21 Emise oxidu uhelnatého při jednotlivých druzích benzínů

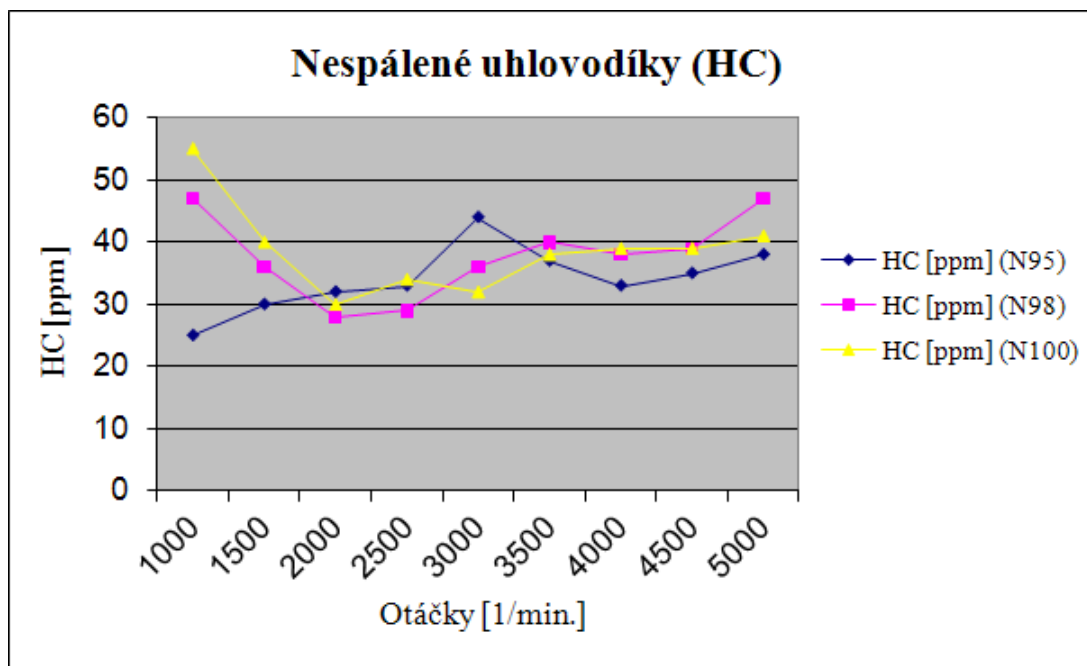




Obr. 22 Emise oxidu uhličitého při jednotlivých druzích benzinů



Obr. 23 Emise oxidů dusíku při jednotlivých druzích benzinů



Obr. 24 Emise nespálených uhlovodíků při jednotlivých druhích benzinů

Z grafu na obrázku 22, který se týká emisí oxidu uhličitého, je patrný prakticky shodný průběh křivek u všech měřených benzinů.  $\text{CO}_2$  má téměř stejné hodnoty i v celém spektru měřených otáček. Dalo by se tedy říci, že na produkci emisí  $\text{CO}_2$  nemá vliv hodnota oktanového čísla ani použité otáčky. Na obrázku 21 a 24 je vidět průběh emisí oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků. Tyto křivky u obou grafů již nemají téměř shodný průběh jako u oxidu uhličitého, ale u obou těchto případů křivky vykreslují, pro jednotlivá oktanová čísla benzinů, podobné tvary. Nejhůře jsou na tom, z tohoto pohledu, emise oxidů dusíku zobrazené na obrázku 23, kde je průběh křivek pro různé měřené benziny naprosto odlišný. Z grafů je dále patrné, že nejvyšších hodnot emisí  $\text{NO}_x$  dosahuje Natural 100 v nízkých volnoběžných otáčkách a naopak Natural 95 a 98 ve vysokých maximálních otáčkách.

## 6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, zda má použité palivo vliv na emise spalovacího motoru. Konkrétně zde byl řešen pouze vliv různého druhu benzínu. Jednalo se o benzin Natural 95, Natural 98 a vysokooktanový Natural 100 Shell V-Power.

Praktické měření emisí probíhalo na zkušebním stanovišti (motorovém dynamometru) na katedře Vozidel a pozemní dopravy České zemědělské univerzity v Praze. Na tomto dynamometru je umístěn motor ze Škody Fabia 1.2 HTP, jehož kliková hřídel je spojena s elektromagnetickou vířivou brzdou pro možnost jeho zatěžování. Jednotlivé naměřené hodnoty emisí CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a HC se zaznamenávaly kontinuálně každou vteřinu do emisního analyzátoru VMK.

Při samotném měření se postupně zjišťovaly hodnoty emisí pro jednotlivé druhy benzínů. Začalo se s měřením emisí při volnoběžných otáčkách (832 1/min.) a zvýšených volnoběžných otáčkách (cca 2500 1/min.). Jedná se vlastně o totožné zjišťování emisí jako při pravidelných měření emisí vozidel ve stanicích SME. Výsledky těchto měření ukázaly, že emise CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a HC měly téměř shodné hodnoty jak při volnoběžných otáčkách a zvýšených volnoběžných otáčkách, tak i při použití různého druhu benzínu. Rozdíl byl pouze u složky CO, kde byly naměřené hodnoty odlišné, ale spíše při rozdílných otáčkách, nežli u různého benzínu. Při tomto způsobu měření emisí neměla hodnota oktanového čísla benzínů prakticky žádný vliv na emise spalovacího motoru.

Následovalo měření začínající od maximálně zatíženého motoru (cca 5000 1/min.), který se začal postupně zatěžovat zvyšováním brzdného momentu pomocí elektromagnetické vířivé brzdy, až do téměř volnoběžných otáček (cca 1000 1/min.). Zde se již nepatrně projevil vliv různého oktanového čísla, i když pouze u emisí CO, NO<sub>x</sub> a HC. Naproti tomu u složky CO<sub>2</sub> nebyly vidět skoro žádné změny. Průběh jednotlivých křivek CO<sub>2</sub> pro každý použitý benzin byl téměř totožný.

Je však třeba zdůraznit že u takto zatěžovaného motoru se naměřili mnohem větší koncentrace jednotlivých složek emisí, než při pouhých volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách, při kterých je motor vně nezatížen, jako je tomu ve stanicích SME. Z tohoto vyplývá, že způsob měření emisí při pravidelných emisních kontrolách vozidel není dostačující, nedává pravdivou představu o produkci škodlivých emisí, jako když je motor vozidel zatížen v běžném provozu, kde je koncentrace škodlivin mnohonásobně větší.

## 7. Seznam literatury

- [1] Blažek, J., Rábl, V.: *Základy zpracování a využití ropy*. 2. vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. 254 s. ISBN 80-7080-619-2.
- [2] *DieselNet* [online]. 1997 , 1.7.2007. Dostupné z WWW: <<http://www.dieselnet.com/>>.
- [3] *Emissions: How Remote Sensing Works* [online]. 2005. Dostupné z WWW: <<http://www.motorists.org/emissions/home/how-remote-sensingworks/>>.
- [4] Haan, P. de, Keller, M.: *Real-world driving cycles for emission measurements: Artemis and Swiss cycles*. [online]. 2001. 52 s. Dostupné z WWW: <<http://www.bafu.admin.ch/luft/>>.
- [5] Halderman, J.: *Automotive fuel emissions kontrol systéme*. Upper Saddle River, N.J. Pearson/Prentice Hall, 2006 ISBN 013110445X.
- [6] Horejš, K., Motejl, V.: *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů: II. díl Motory, paliva, emise, diagnostika*. 4. vydání. Brno: Littera, 2009. 392 s. ISBN 978-80-85763-52-2.
- [7] Hromádko, J.: *Posuzování jakosti motorových vozidel z hlediska jejich provozní spotřeby paliva a škodlivých emisí*. Praha, 2007. 125 s. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [8] Kadleček, B.: *Systém péče o spalovací motory: z hlediska vlivu na životní prostředí a ekonomiku provozu*. [s.l.], 2003. 149 s. Habilitační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- [9] Matějovský, V.: *Automobilová paliva*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. 224 s. ISBN 80-247-0350-5.
- [10] Papoušek, M., Štěrba, P.: *Diagnostika spalovacích motorů: Praktická příručka*. 2. vydání Brno: Computer Press, a.s., 2007. 224 s. ISBN 978-80-251-1697-5.
- [11] Pejša, L. a kol.: *Technická diagnostika*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Praha, 1995. ISBN 80-213-0249-6.
- [12] Pexa, M.: *Možnosti uplatnění dynamických měření při diagnostice motorových vozidel*. Praha, 2005. 194 s. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.

- [13] Pražák, V. *Motorová paliva - historie a současnost* [online]. 2003 [cit. 2011-03 03]. Dostupné z WWW: <[www.ceskarafinerska.cz/data/publications/motorova\\_paliva\\_historie\\_soucasnost.pdf](http://www.ceskarafinerska.cz/data/publications/motorova_paliva_historie_soucasnost.pdf)>.
- [14] Předpis č. 83. *Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo.*
- [15] Směrnice 2005/55/ES. *O sbližování právních předpisů členských států týkajících se opatření proti emisím plynných znečišťujících látek a znečišťujících částic ze vznětových motorů vozidel a emisím plynných znečišťujících látek ze zážehových motorů vozidel poháněných zemním plynem nebo zkapalněným ropným plynem.*
- [16] Takáts, M.: *Měření emisí spalovacích motorů.* Praha: ČVUT, 1997. 111 s. ISBN 80-01-01632-3.
- [17] *Ústav techniky a automobilové dopravy.* [online]. 2005. Dostupné z WWW: <<http://web2.mendelu.cz/autozkusebna/html/typbrzd.htm>>.
- [18] Vlk, F.: *Alternativní pohony motorových vozidel.* Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5
- [19] V.M.K., spol. s r.o.: *Příručka uživatele pro přenosný analyzátor.* Praha: V.M.K. spol. s r.o., 2009. 10 s.
- [20] *Vše o LPG* [online]. 2007. Dostupné z WWW: <[www.lpg.cz](http://www.lpg.cz)>.
- [21] *Working Groups Reports: Inspection and maintenance.* [online]. 2003. Dostupné z WWW: <<http://ec.europa.eu/environment/archives/autooil/pdf/im.pdf>>.

## Seznam obrázků:

- Obr. 1 Blokové schéma obvyklého zpracování frakcí z atmosférické destilace ropy
- Obr. 2 Složení výfukových plynů zážehového motoru
- Obr. 3 Složení výfukových plynů vznětového motoru
- Obr. 4 Produkce emisí zážehového motoru v závislosti na  $\lambda$
- Obr. 5 Produkce emisí vznětového motoru v závislosti na  $\lambda$
- Obr. 6 Průběh ESC testu (tzv. 13 - ti bodový test)
- Obr. 7 Průběh zkušebního cyklu NEDC
- Obr. 8 Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu Modem IM
- Obr. 9 Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu Modem short cycle
- Obr. 10 Časový průběh rychlosti vozidla ve zkušebním cyklu TÜV-A short cycle
- Obr. 11 Rychlost vozidla v závislosti na době trvání cyklu ETC na válcovém dynamometru
- Obr. 12 Průběh testu ELR při měření kouřivosti vozidel nad 3,5 t
- Obr. 13 Dálkové snímání emisí systému FEAT
- Obr. 14 Pohled na zkušební stanoviště (motorový dynamometr)
- Obr. 15 Přístroje nutné pro obsluhu a měření emisí na zkušebním stanovišti
- Obr. 16 Pohled na software diagnostického programu VAG-COM
- Obr. 17 Emisní analyzátor VMK
- Obr. 18 Přehled uživatelských vstupů a výstupů emisního analyzátoru VMK
- Obr. 19 Elektromagnetická vířivá brzda (vířivý dynamometr)
- Obr. 20 Schematicky znázorněna elektromagnetická vířivá brzda, kde je červeně označený pólový kotouč, žlutě budící vinutí a modře chladičí komory
- Obr. 21 Emise oxidu uhelnatého při jednotlivých druzích benzinů
- Obr. 22 Emise oxidu uhličitého při jednotlivých druzích benzinů
- Obr. 23 Emise oxidů dusíku při jednotlivých druzích benzinů
- Obr. 24 Emise nespálených uhlovodíků při jednotlivých druzích benzinů

## Seznam tabulek:

- Tab. 1 Aktuální alternativní paliva a prognóza jejich uplatnění na trhu v [%]
- Tab. 2 Prokázané zásoby ropy v různých oblastech světa v letech 1985, 1995 a 2005
- Tab. 3 Vybrané všeobecné požadavky na automobilové benziny podle ČSN EN 228
- Tab. 4 Vybrané požadavky na kvalitu motorových naft podle ČSN EN 590
- Tab. 5 Požadavky na filtrovatelnost motorových naft podle ČSN EN 590
- Tab. 6 Porovnání vlastností LPG s naftou pro použití v autobusu
- Tab. 7 Porovnání emisí autobusu na zemní plyn a na naftu v [g/kWh]
- Tab. 8 Porovnání vlastností MEŘO, čistého řepkového oleje a nafty
- Tab. 9 Vlastnosti etanolu a metanolu a jejich porovnání s ropnými palivy
- Tab. 10 Parametry ESC testu
- Tab. 11 Parametry zkušebního cyklu NEDC
- Tab. 12 Parametry jednotlivých částí cyklu Modem IM + (srovnání s cyklem NEDC)
- Tab. 13 Porovnání emisních faktorů pro jednotlivé části cyklu Modem IM
- Tab. 14 Základní parametry tzv. zkrácených cyklů (Modem a TÜV-A)
- Tab. 15 Technické parametry měřeného motoru vozidla Škoda Fabia 1.2 HTP
- Tab. 16 Parametry vířivého dynamometru ZSE Praha Mez Vsetín
- Tab. 17 Hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití paliva Natural 95
- Tab. 18 Hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití paliva Natural 98
- Tab. 19 Hodnoty jednotlivých složek emisí ve volnoběžných a zvýšených volnoběžných otáčkách při použití paliva Natural 100
- Tab. 20 Hodnoty jednotlivých složek emisí naměřených při zatěžování zkoušeného motoru vířivým dynamometrem po cca 500 1/min. při použití paliva Natural 95
- Tab. 21 Hodnoty jednotlivých složek emisí naměřených při zatěžování zkoušeného motoru vířivým dynamometrem po cca 500 1/min. při použití paliva Natural 98
- Tab. 22 Hodnoty jednotlivých složek emisí naměřených při zatěžování zkoušeného motoru vířivým dynamometrem po cca 500 1/min. při použití paliva Natural 100