



# EMISE SPALOVACÍHO MOTORU PŘI PROVOZU NA PLYNNÁ PALIVA

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

*Studijní program :* N2301 Strojní inženýrství  
*Studijní obor :* 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení  
*Autor práce :* **Bc. Dong Nguyen Phu**  
*Vedoucí práce :* Doc. Ing. Lubomír Moc, CSc.



# ZADÁNÍ DP

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

### *EMISE SPALOVACÍHO MOTORU PŘI PROVOZU NA PLYNNÁ PALIVA*

Jméno a příjmení: Bc. Dong Nguyen Phu  
Vedoucí DP: Doc. Ing. Moc Lubomír, CSc  
Rok: 2015

Tato diplomová práce se věnuje problematice legislativou předepsaných emisních testů osobních automobilů a kogeneračních jednotek. Budou popsány vlastnosti používaných plyných paliv pro spalovací motory a metodika emisních testů definovaná Evropskou komisí. Dále je důležité uvedení teorie výpočtu koncentrací složení emisí. Posuzují se závislosti emisí na jednotlivých parametrech (výkon zdroje a obsah kyslíku ve výfukových plynech) ze zkoušek, které byly provedeny Katedrou vozidel a motorů v průběhu let 2002 až 2013 na různých kogeneračních jednotkách.

**Klíčová slova:** Zemní plyn, výfukové plyny, emise, metoda měření.

## **ANNOTATION OF MASTER THESIS**

### *EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE DURING THE OPERATION ON GASEOUS FUELS*

Name: Bc. Dong Nguyen Phu  
Thesis head: Doc. Ing. Moc Lubomír, CSc  
Year: 2015

This master thesis is dedicated to the issue of legislation prescribed emission tests for personal cars and cogeneration units. It will be described the characteristics of used gaseous fuels for internal combustion engine and emission tests methodology defined by the European Commission. Furthermore, it is important to mention the calculation theory of the composition emissions concentrations. The emission dependences are assessed on individual parameters (power of sources and oxygen content in exhaust gases) from the tests, that are conducted by the Department of vehicles and engines during the years 2002 to 2013 on various cogeneration units.

**Keywords:** Natural gas, exhaust gases, emission, measuring method.

## PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí vloženou do IS STAG.

V Liberci, dne 25/5/2015.

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji mnohokrát panu vedoucímu doc. Ing. Lubomír Moc, CSc. mé diplomové práce za jeho cenné rady, odborné vedení, opravení překlepů, správný pravopis a výbornou spolupráci a řadu informací nezbytných k napsání mé diplomové práce.

## Seznam použitých symbolů a označení

Symbol	Význam	Jednotka
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý	
CO	Oxid uhelnatý	
NO <sub>x</sub>	Oxidy dusíku	
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	Nespálené uhlovodíky	
PM	Pevné částice	
SO <sub>2</sub>	Oxid siřičitý	
O <sub>2</sub>	Kyslík	
Č.	Číslo	
Obr.	Obrazky	
EHK	Evropské unie existují v Evropě	
NDIR	Nedispersní Infračervená metoda	
CLA	Chemiluminiscenční metoda	
FID	Plamenoionizační analyzátor	
CNG	Stlačený zemní plyn	
LNG	Zkapalněný zemní plyn	
LPG	Propan-Butan	
F <sub>D</sub>	Celková síla pohlcená vozidlovým dynamometrem	N
F <sub>v</sub>	Hodnota odpovídající valivému odporu	N
k <sub>vz</sub>	Součiniteli odporu vzduchu	N/(km/h) <sup>2</sup>
v	Rychlost	km/h
N	Počet otáček čerpadla	
$\bar{c}_s$	Střední objemová koncentrace složky emise v jednotlivých cyklech	mg/m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
$\bar{\sigma}_s$	Střední směrodatná odchylka složky emise v jednotlivých cyklech	
$\bar{\delta}_s$	Relativní směrodatná odchylka složky emise v jednotlivých cyklech	%
c <sub>s</sub>	Střední objemová koncentrace sl. emise v celém souboru měření	mg/m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
σ <sub>s</sub>	Střední směrodatná odchylka složky emise v celém souboru měření	
δ <sub>s</sub>	Relativní směrodatná odchylka složky emise v celém souboru měření	%
C <sub>s, vl</sub>	Koncentrace složky ve vlhkých plynech	mg/m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
G <sub>pal</sub>	Spotřeba paliva	kg/h
G <sub>vzd</sub>	Spotřeba vzduchu	kg/h
G <sub>sp</sub>	Hmotnost tok spalin	kg/h
E <sub>i</sub>	Střední hmotností tok složky emise	kg/h
ρ <sub>i</sub>	Hustota škodliviny	kg.m <sup>-3</sup>
ρ <sub>sp</sub>	Hustota spalin	kg.m <sup>-3</sup>
ρ <sub>vzd</sub>	Hustota vzduchu	kg.m <sup>-3</sup>
V	Střední objemová spotřeba	m <sup>3</sup> /h
DF	Faktor ředění	

Symbol	Význam	Jednotka
$F_s$	Stechiometrický faktor	
$a$	Molární poměr vodíku v paliva	
$M_i$	Hmotnost emisí znečišťující látky	g/km
$k_1, k_2$	Konstanty clonky	
$P$	Tlak	kPa
$T$	Teplota	K
$d$	Vzdálenost odpovídající zkušebnímu cyklu	km
$K$	Přepočítávací koeficient	
$\lambda$	Součinitel přebytku vzduchu	-
$L_t$	Teoretická spotřeba vzduchu na spálení 1 kg paliva	[kg/kg]
$f_i$	Emisní faktor	kg/10 <sup>6</sup> m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
$\varepsilon_t$	Přesnost měřidla teplota	
$\varepsilon_p$	Přesnost měřidla tlak	
$\tau$	Doba spotřeby	[s]

## OBSAH

1. Úvod.....	10
2. Přehled jednotlivých složek emisí.....	11
2.1 Působení emisí PSM na člověka a na životní prostředí.....	11
2.1.1 Chemické.....	11
2.1.2 Skleníkový efekt .....	12
2.1.3 Poškozování ozonové vrstvy.....	12
2.2 Mechanismus vzniku škodlivin v PSM.....	13
2.2.1 Oxid uhelnatý CO.....	13
2.2.2 Oxid uhličitý CO <sub>2</sub> .....	13
2.2.3 Nespálené uhlovodíky HC.....	13
2.2.4 Oxidy dusíky NO <sub>x</sub> (směs N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> ).....	14
2.2.5 Pevné částice PM.....	14
2.2.6 Oxid síry SO <sub>x</sub> .....	15
2.2.7 Kyslík O <sub>2</sub> .....	15
3. Všeobecná ustanovení pro provozování stacionárních zdrojů znečišťování.....	17
3.1 Vyhláška Ministerstva životního prostředí.....	17
3.2 Jednorázové měření.....	18
3.2.1 Vyhodnocení jednorázového měření.....	19
3.3 Technické předpisy EHK.....	19
3.3.1 Emisní norma EURO (pro mobilní použití motoru).....	21
3.4 Tabulka limitů pro stacionární použití motoru.....	22
3.5 Norma ČSN EN ISO 8178 (motory pro nevozidlové použití).....	24
4. Způsob měření a přehled používaných analyzátorů .....	25
4.1 Infračervená metoda (NDIR).....	25
4.2 Měření s využitím chemické luminescence (CLA).....	26
4.3 Měření založené na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene (FID).....	27
4.4 Kyslíková sonda O <sub>2</sub> snímač.....	28
4.5 Měření paramagnetických vlastností.....	29
4.6 Měření s elektrochemickým analyzátozem typ MRU 95/3 CD.....	30
4.7 Přístrojové vybavení v laboratoři.....	31
5. Plynná paliva.....	32
5.1 Zemní plyn.....	32



5.1.1 Stlačený zemní plyn (CNG).....	33
5.1.2 Zkapalněný zemní plyn (LNG).....	33
5.2 Propan-Butan (LPG).....	34
5.3 Vodík.....	35
6. Postupy při měření emisí podle použití spalovacího motoru.....	37
6.1 Motory použití pro osobní automobily.....	37
6.1.1 Postup kalibrace dynamometru.....	38
6.1.2 Výpočet objemu při užití objemového dávkovacího čerpadla.....	39
6.1.3 Korekce objemu na normální podmínky.....	39
6.1.4 Hmotnost emisí plynných znečišťujících látek.....	39
6.1.5 Korekce koncentrace ředicího vzduchu.....	40
6.1.6 Výpočet faktoru ředění.....	40
6.2 Měření emisí dle předpisu EHK 49.....	41
6.2.1 Postup zkoušky na zkušebním dynamometru (ESC a ELR).....	41
6.2.1.1 Zkouška ESC.....	42
6.2.1.2 Zkouška ELR.....	43
6.2.2 Zkouška ETC.....	44
6.3 Měření emisí u motorů pro stacionární použití.....	45
6.3.1 Výpočet koncentrací složek emise.....	45
6.3.2 Korekce na smluvní koncentraci kyslíku ve výfukových plynech.....	46
6.3.3 Výpočet hmotnostního toku emisí škodlivin.....	47
6.3.4 Výpočet emisního faktoru.....	47
7. Výsledky měření emisí.....	48
8. Závěr.....	74
9. Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	75
10. Seznam použité literatury.....	77

## **1. Úvod.**

Se stále zvyšujícími se nároky na ochranu životního prostředí a snižování zdrojů jeho znečišťování jsou kladeny vysoké nároky na všechna průmyslová odvětví. Automobilová doprava přispívá významným podílem k celkovému množství škodlivin produkovaných dopravou, které poškozují nejen životní prostředí, ale také mají neblahý vliv na lidský organismus. Se vzrůstajícím počtem automobilů se začalo zvyšovat množství látek znečišťujících životní prostředí. Tato skutečnost se odráží i v legislativě většiny států, a dochází tak k postupnému zpřísňování emisních limitů. Konstrukteři jsou nuceni ke zlepšování konstrukce pístových spalovacích motorů, případně k aplikaci technologií, které snižují množství škodlivých látek ve výfukových plynech automobilů. Tyto snahy výrobců jsou podmíněny splněním požadavků, které vyžadují platné emisní standardy, označované jako standardy EURO. Stále nižší obsah škodlivých složek ve výfukových plynech dále vede k nutnosti použití přesnějších způsobů měření a striktnějšímu definování podmínek emisních testů osobních i nákladních automobilů (EHK 83 a EHK 49). Jednou z možností k výraznému snížení výfukových emisí z automobilové dopravy je plynofikace určité části vozidel. Plynofikace motorových vozidel má největší význam pro autobusovou a komunální dopravu ve větších městech.

V teoretické části této diplomové práce budou popsány hlavní škodlivé látky produkované spalovacími motory, dále pak legislativní rámec zabývající se emisní problematikou. Budou popsány vlastnosti používaných plynných paliv pro spalovací motory a metodika emisních testů definovaná Evropskou komisí. Dále je důležité uvedení teorie výpočtu koncentrací složení emisí.

V praktické části budou uvedeny závislosti mezi složkami emisí a výkonem, obsahem kyslíku ve výstupním výfuku s popisem trendu škodlivých složek výfukových plynů. Součástí je dále analýza výsledků z měření emisí kogeneračních jednotek, které byly provedeny Katedrou vozidel a motorů v průběhu let 2002 až 2013.

## **2. Přehled jednotlivých složek emisí .**

V této kapitole se budu stručně zabývat popisem základních škodlivin obsažených ve výfukových plynech a jejich vlivem na lidské zdraví a životní prostředí. Představím také rozdíl mezi složkami emisí zážehového a vznětového motoru.

### **2.1 Působení emisí PSM na člověka a na životní prostředí.**

Jsou to látky jedovaté “toxické“ (škodlivě působící na živé organizmy jejich přímým poškozením) a látky mutagenní (schopné vyvolat nežádoucí změny genetického kódu pro reprodukci buněk , zejména karcinogeny, vyvolávající zhoubné bujení atd).

#### **2.1.1 Chemické.**

##### **Oxid uhličitý CO<sub>2</sub>:**

- Bez zápachu,
- při nadýchání způsobuje zvýšení krevního tlaku,
- jed způsobující pouze akutní problémy bez zdravotních následků.

Nárůst obsahu oxidu uhličitého v atmosféře je jednou z významných příčin skleníkového efektu. Tento nárůst je způsoben spalováním fosilních paliv, průmyslem, ničením tropických pralesů a rovněž i dopravou.

##### **Oxid uhelnatý CO:**

- Bez zápachu,
- váže se na hemoglobin v červených krvinkách, snižuje množství O<sub>2</sub> v krvi,
- způsobuje zrychlené dýchání, bolest hlavy, závrať.

##### **Oxidy dusíku NO<sub>x</sub> :**

- NO<sub>2</sub> je plyn červenohnědé barvy s nepříjemným zápachem,
- NO je plyn,
- toxické, dráždí oči, plíce a dýchací cesty,
- způsobují nespavost, kašel, zrychlené dýchání, modrání kůže.

##### **Nespálené uhlovodíky C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> :**

- Způsobují zápach výfukových plynů,
- zvláště nebezpečné jsou polycylické aromatické uhlovodíky (PAH),
- škodlivost se zvyšuje vazbou na povrch pevných částic,
- poškozují dýchací cesty, některé jsou karcinogenní.

##### **Pevné částice :**

- Pevné i kapalné fáze,

- tuhé částice absorbují uhlíkový dioxid, jejichž negativní účinek se tak zvětšuje,
- karcinogenní a mutagenní účinky,
- částice o rozměrech  $0,1 \div 1 \mu m$  jsou pro lidský organismus nejnebezpečnější.

### Oxid siřičitý $SO_2$ :

- Je štiplavě páchnoucí, bezbarvý a silně napadá sliznice,
- tvoří kyselé deště, a tím poškozuje zejména lesní porosty.

V každém palivu je určité množství síry, které se pracuje na jejím odstranění.

### Sloučeniny olova :

- Sloučeniny olova jsou velmi jedovaté látky, které se dostávají do krve, kostní dřeně a nervového systému, zabraňují okysličování buněk.

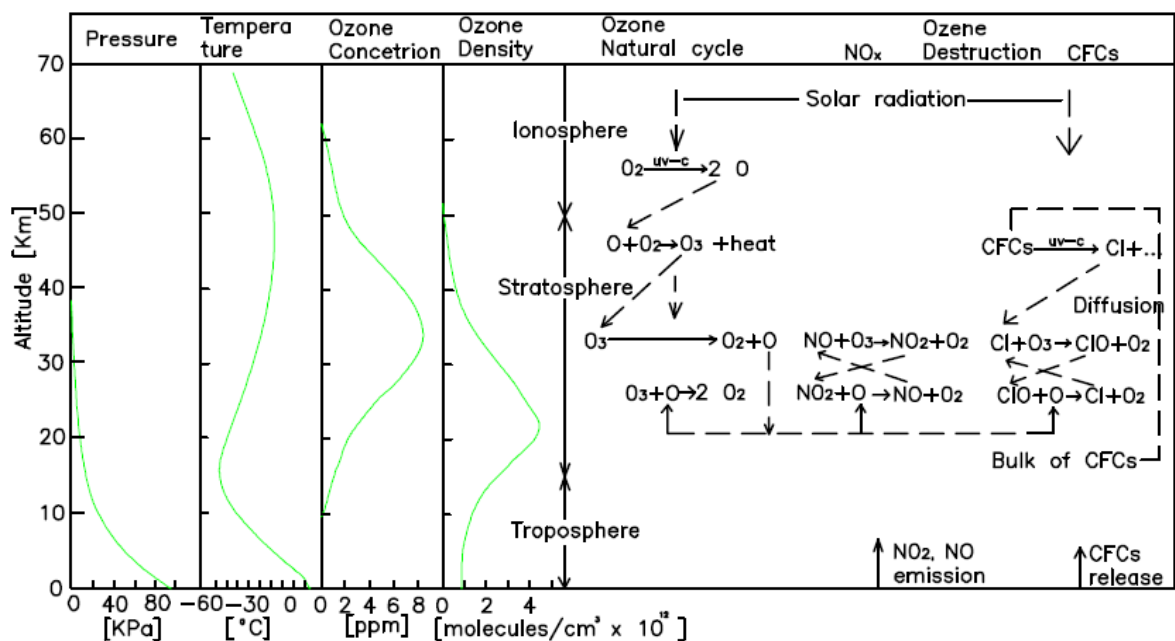
Obsah olova ve výfukových plynech je dán jeho množstvím v palivu. Také bezolovnaté benziny obsahují olovo, ale norma dovoluje maximálně 0,013g/l. U olovnatých benzinů je to maximum 0,15 a minimum 0,07g/l.

### 2.1.2 Skleníkový efekt .

- Cca 30% energie ze slunečního záření je odraženo ze Zemského povrchu do vesmíru,
- skleníkové plyny absorbují odražené infračervené záření,
- absorbcí záření dochází ohřevu atmosféry,

### 2.1.3 Poškození ozonové vrstvy.

- účinek  $NO_x$  a účinek freonů.



Obr.2.1. Mechanismy poškození ozonové vrstvy.[7]

## **2.2 Mechanismus vzniku škodlivin v PSM.**

### **2.2.1 Oxid uhelnatý CO.**

Oxid uhelnatý vzniká u zážehových motorů především při bohaté směsi ( $\lambda < 1$ ), díky nedostatečnému obsahu kyslíku potřebnému pro oxidaci uhlíku na neškodlivý oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). V oblasti přebytku paliva (bohaté směsi) stoupá objemový obsah CO s klesající hodnotou  $\lambda$  prakticky lineárně. V oblasti přebytku vzduchu, tzn. chudé směsi, je objemový obsah CO nízký a na hodnotě  $\lambda$  prakticky nezávislý. Vznětový motor srovnatelné velikosti emituje oproti zážehovému zhruba 10 % CO, přičemž výraznější nárůst je v oblasti vyšších zatížení motoru.

Disociace produktů dokonalého spalování při teplotách nad  $2000^\circ\text{C}$  a rychlá expanze (ochlazení) spalin, nedostatku času pro oxidaci, a vlivem tzv. „zamrznutí“ (neúplná oxidace). Příčinou „zamrznutí“ oxidačních reakcí je snížení teploty (pod  $1700^\circ\text{C}$ ) během expanze. K tomuto jevu dochází zejména při spalování chudých směsí (vyšší hodnota součinitele přebytku vzduchu).

### **2.2.2 Oxid uhličitý $\text{CO}_2$ .**

Oxid uhličitý je nejedovatý produkt spalování. Při stechiometrickém směšovací poměru je hodnota  $\text{CO}_2$  maximální a dosahuje hodnoty cca 10 až 15 % podle složení paliva. To odpovídá dokonalému spalování. Hodnota  $\text{CO}_2$  má zároveň velmi velkou vypovídací schopnost o stavu motoru a jeho částí. Pokud je např. hodnota  $\text{CO}_2$  nízká a zároveň jsou nízké i hodnoty CO a HC, svědčí to o netěsnosti výfukového systému a naředění výfukových plynů.

### **2.2.3 Nespálené uhlovodíky HC.**

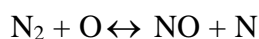
Stejně jako u emisí CO stoupá hodnota HC v oblasti bohaté směsi s klesající hodnotou  $\lambda$ . Důvodem je přebytek paliva, neúplné spalování a tím i zvýšená hodnota emisí nespálených a částečně spálených uhlovodíků. Minimum hodnoty HC leží v oblasti  $\lambda = 1,1$  až  $1,2$ . Na rozdíl od CO však s rostoucí hodnotou  $\lambda$  obsah HC vlivem nedokonalého spalování dále stoupá. Kromě tohoto faktoru má na hodnotu HC významný vliv celkový stav motoru a jeho seřízení event. i mechanická poškození zejména pístové skupiny motoru.

Předčasné zastavení oxidačních reakcí na konci hoření ve „zhášecích vrstvách“, v malých štěrbinách, kde se nešíří plamen, z mazacího oleje „přes pístní kroužky, vodítka ventilů, odvětrání klikové skříně“, vlivem technického stavu a teplotního režimu motoru, vlivem vlastností paliva.

Vznětové motory vzhledem k vysokým přebytkům vzduchu nedosahují při provozní teplotě motoru tak vysokých hodnot koncentrací emisí HC jako zážehové.

#### 2.2.4 Oxidy dusíku $\text{NO}_x$ (směs $\text{N}_2\text{O}$ , $\text{NO}$ , $\text{NO}_2$ ).

Vysoká teplota, tlak a rychlá expanze “ochlazení”, při níž zamrznou reakce ve spalovacím prostoru vedou k oxidaci dusíku obsaženého v nasávaném vzduchu. Kromě oxidu dusnatého ( $\text{NO}$ ) vznikají v malých množstvích také oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) a oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Proces se popisuje Zeldovičovým mechanismem mechanismem tvorby  $\text{NO}$  s postupně probíhajícími reakcemi :



Maximum hodnoty  $\text{NO}_x$  u zážehových motorů leží v oblasti lehkého přebytku vzduchu s hodnotou  $\lambda = 1,05 \dots 1,1$ . U vznětových motorů je produkce  $\text{NO}_x$  nižší, což je dáno právě rozdílnou regulací a nižšími spalovacími teplotami. U vznětových motorů (spalování chudých směsí) může být  $\text{NO}_2$  zastoupeno až v 60% a u zážehových motorů tvoří 95%  $\text{NO}$ . Účinné snížení produkce emisí  $\text{NO}_x$  lze dosáhnout pomocí chlazeného EGR .

#### 2.2.5 Pevné částice PM.

Vznikají při:

- neúplné oxidaci palivové směsi při lokálním součiniteli  $\lambda < 0,6$ ,
- neúplné oxidaci při nízkých teplotách hoření, převážně u vznětových motorů a u zážehových motorů s přímým vstřikem paliva.

Pevné znečisťující látky, souhrnně označovány jako pevné částice PM (particulate matter), v sobě zahrnují různé fáze (pevná kapalina) rozličných druhů sloučenin; např: popel, karbon , saze, oxidy síry, těžké kovy ( $\text{Ni}$  ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Pb}$   $\text{Hg}$ ), palivo, olej, kapalně částice jsou tvořeny kapkami uhlovodíků, které pocházejí z paliva. PM částice mají porézní strukturu s velmi velkým specifickým povrchem. Vlivem těchto vlastností na sebe vážou ostatní sloučeniny (adsorpce plynu), zejména nespálené uhlovodíky (typ PAH) a  $\text{SO}_2$ . V organizmech se tyto látky opět uvolňují (např. po vdechnutí), čímž stoupá jejich rizikovost. Jejich velikost se pohybuje v rozmezí 20 nm až 2  $\mu\text{m}$ , nejvyšší četnost je kolem 100 nm. Velikost koncentrace PM se odvíjí od konstrukčního provedení motoru a množství síry v použitém palivu. Produkci PM lze snížit lepší atomizací vstřikovaného paliva “problém u konce vstřiku”.

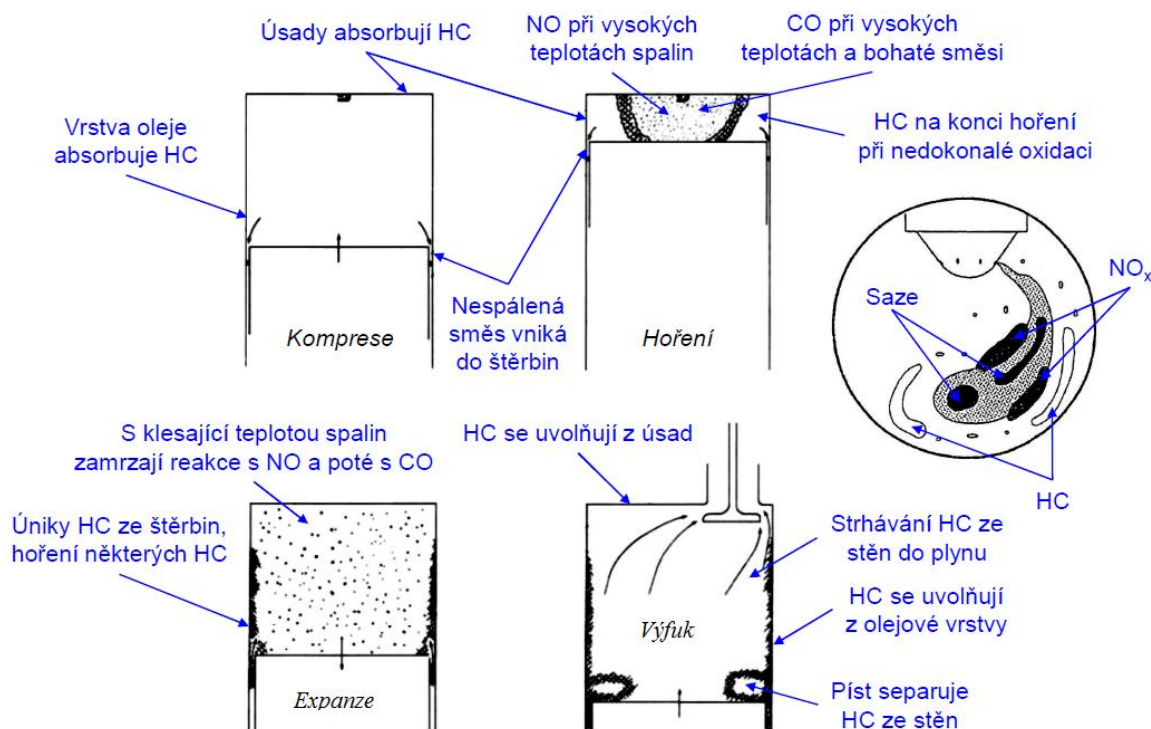
## 2.2.6 Oxid síry SO<sub>x</sub>.

Emise oxidu síry obsažené v palivu a oleji v průběhu hoření způsobují snížení účinnosti katalyzátoru. Obsahují převážně SO<sub>2</sub>. Při spalování zemního plynu je produkce SO<sub>2</sub> zcela zanedbatelná. Kontrola emisí SO<sub>2</sub> nepodléhá přímo emisním předpisům, ale omezuje se pomocí stanovených limitů obsahu síry v palivu (má sestupný trend).

## 2.2.7 Kyslík O<sub>2</sub>.

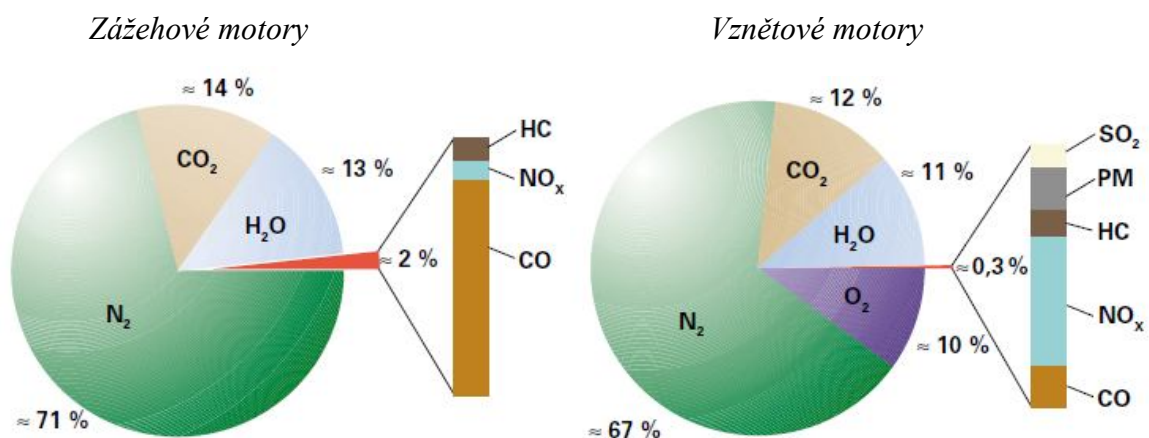
Kyslík se vyskytuje ve výfukových plynech pouze při spalování chudé směsi s přebytkem vzduchu. Jeho hodnota je však důležitá při měření emisí 4-složkovým infraanalyzátořem, protože se používá pro výpočet hodnoty  $\lambda$ , která se kontroluje při emisní zkoušce vozidel s řízeným katalyzátorem.

Mechanismus vzniku škodlivin v PSM je schematicky na obr.2.2



Obr.2.2. Mechanismus vzniku škodlivin PSM.[7]

Složení výfukových plynů zážehových a vznětových motorů. Na uvedených diagramech je znázorněno přibližné složení výfukových plynů zážehových a vznětových motorů.



Obr.2.3. Procentuální složení výfukových plynů spalovacích motorů.[16]



### **3. Všeobecná ustanovení pro provozování stacionárních zdrojů znečišťování.**

#### **3.1 Vyhláška Ministerstva životního prostředí.**

Ochranou ovzduší se rozumí, předcházení znečišťování ovzduší a snižování úrovně znečišťování tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozující ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší. Zákon zapracovává přílušné předpisy Evropské unie a upravuje je pro ČR zákon č.201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

V zákoně se uvádí:

- a) přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší,
- b) způsob posuzování přípustné úrovně znečištění a znečišťování ovzduší a jejich vyhodnocení,
- c) nástroje ke snižování znečištění a znečišťování ovzduší,
- d) práva a povinnosti osob a působnost orgánů veřejné správy při ochraně ovzduší,
- e) práva a povinnosti dodavatelů pohonných hmot a působnost orgánů veřejné správy při sledování a snižování emisí skleníkových plynů z pohonných hmot v dopravě.

Další legislativní normou je zákon č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona ochrany ovzduší.

Předpis obsahuje:

- a) způsob a podmínky zjišťování úrovně znečišťování měřením a výpočtem, způsob vyhodnocení výsledků zjišťování úrovně znečišťování, způsob zjišťování a vyhodnocení plnění tmavosti kouře,
- b) obecné emisní limity, specifické emisní limity, způsob výpočtu emisních stropů a technické podmínky provozu stacionárních zdrojů a způsob vyhodnocování jejich plnění,
- c) způsob stanovení počtu provozních hodin,
- d) požadavky na kvalitu paliv, požadavky na způsob prokazování jejich plnění a formát a rozsah ohlašování splnění těchto požadavků,
- e) požadavky na výrobky s obsahem těkavých organických nických látek,
- f) náležitosti provozní evidence a souhrnné provozní evidence, provozního řádu, odborného posudku, rozptylové studie a protokolu o jednorázovém měření emisí,
- g) způsob uplatnění kompenzačních opatření a minimální hodnoty příspěvku stacionárního zdroje k úrovni znečištění.

Vyhláška byla vydána v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 98/34/ES ze dne 22. června 1998 o postupu při poskytování informací v oblasti technických norem, předpisů a pravidel pro služby informační společnosti, ve změně směrnice 98/48/ES.

### **3.2 Jednorázové měření .**

(1) Jednorázové měření emisí se provádí při:

- a) prvním uvedení stacionárního zdroje do provozu,
- b) každé změně paliva, suroviny nebo tepelně zpracovávaného odpadu v povolení provozu,
- c) každém zásahu do konstrukce nebo vybavení stacionárního zdroje, která by mohla vést ke změně emisí

a to nejpozději do 3 měsíců od vzniku některé z těchto skutečností nebo ve lhůtě stanovené v povolení provozu.

(2) Kromě měření podle odstavce 1 se dále provádí jednorázové měření emisí v následujících intervalech:

- a) jedenkrát za kalendářní rok u stacionárních zdrojů v motorech s příkonem větším než 5 MW
- b) jedenkrát za 3 kalendářní roky,  
u spalovacích motorů o celkovém jmenovitém tepelném příkonu od 1 MW do 5 MW spalujících plynná nebo kapalná paliva,
- c) dvakrát za kalendářní rok,  
u spalovacích motorů o celkovém jmenovitém tepelném příkonu 50 MW a vyšším.

(3) Jednorázové měření emisí podle odstavce 2 se provádí v případech uvedených

- a) nejdříve po uplynutí 6 měsíců od data předchozího jednorázového měření,
- b) nejdříve po uplynutí 18 měsíců od data předchozího jednorázového měření,
- c) nejdříve po uplynutí 3 měsíců od data předchozího jednorázového měření.

(4) Namísto měření emisí znečišťujících látek podle odstavce 2 se pro zjištění úrovně znečišťování použije výpočet u spalovacích motorů zdrojů spalujících plynná a nebo kapalná do celkového jmenovitého tepelného příkonu 1 MW.

### 3.2.1 Vyhodnocení jednorázového měření.

Výsledky jednorázového měření se vyhodnotí:

- a) při použití manuálních metod jako hodnota váženého průměru podle doby odběru jednotlivých měření vyjádřených po přepočtu na stanovené stavové a referenční podmínky,
- b) při použití přístrojů pro kontinuální měření jako průměrné hodnoty za každých 30 minut měření vyjádřené po přepočtu na stanovené stavové a referenční podmínky jako aritmetický průměr těchto hodnot za celé měření,
- c) při použití přístrojů s elektrochemickými články jako průměrné hodnoty za každých 15 minut měření vyjádřené po přepočtu na stanovené stavové a referenční podmínky a jako aritmetický průměr těchto hodnot za celé měření.

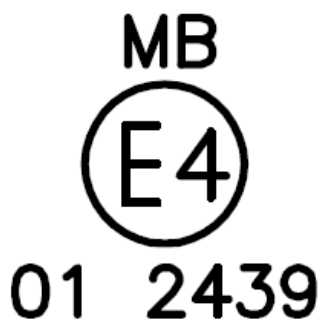
U spalovacích motorů zpracovávající nebezpečný odpad s instalovanou technologií ke snižování emisí je přepočet na referenční obsah kyslíku prováděn pouze tehdy, pokud zjištěný obsah kyslíku po dvou měření emisí překračuje stanovenou hodnotu referenčního obsahu kyslíku.

Vyhodnocení jednorázového měření obsahuje údaje o hmotnostní koncentraci znečišťující látky, jejím hmotnostním toku, měrné výrobní emisní limity a dále specifikaci provozních a stavových podmínek.

Hodnoty koncentrací PCDD, PCDF a polychlorovaných bifenyly se stanoví jako součty hodnot hmotnostních koncentrací jednotlivých PCDD, PCDF a polychlorovaných bifenyly vynásobených koeficienty ekvivalentů toxicity uvedenými v části II přílohy č.1.

### 3.3 Technické předpisy EHK.

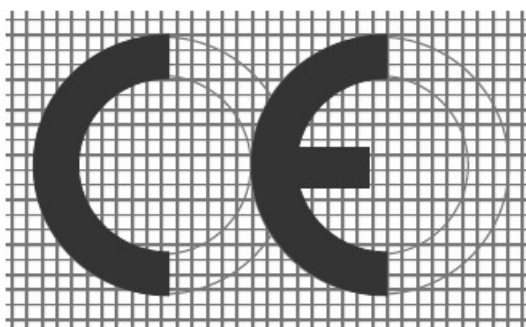
Po vzniku Evropského společenství a následně Evropské unie existují v Evropě dva paralelní legislativní systémy. První systém představuje předpisy Evropské hospodářské komise (EHK) označované, stejně jako výrobky podle nich schvalované, symbolem "E" v kroužku:



*Obr.3.1. Uspořádání značek schválení typu.[15]*

Obecně předpisy EHK, nejen emisní, vznikají v rámci jednotlivých komisí složených ze zástupců zainteresovaných zemí. Jejich konečné schválení a vydání zajišťuje OSN. Když předpis začne platit (je k tomu je potřeba, aby jej přijaly nejméně dvě země), neznamená to, že je pro všechny státy sdružené v EHK automaticky povinné. Přistoupení k předpisům EHK je dobrovolné a jednotlivé země se pro přijetí předpisu a termín jeho zavedení rozhodují na základě svých možností a své potřeby.

Druhým systémem jsou tzv. směrnice (direktivy) Evropské unie (EU), které jsou povinné pro všechny členské země EU. Pro označování těchto předpisů, resp. výrobků se používá symbol “e” v kroužku.



*Obr.3.2. Evropská značka shody.[15]*

V Evropě můžeme státy podle emisní legislativy rozdělit do tří základních skupin:

- Státy, které přijímají předpisy EHK (patří sem i ČR). Tyto země přijímají předpisy podle svých možností, proto se mohou i předpisy limitující hodnoty škodlivých složek výfukových plynů, platné pro nová vozidla v jednotlivých státech lišit.
- Členské země EU, které se povinně řídí směrnicemi. Tady naopak platí, že výrobci vozidel ze států, které nejsou členy unie zajišťují, aby vozidla jejich produkce limitní hodnoty dané směrnicemi plnily, jinak jsou na západoevropských trzích neprodejné.
- Státy, které samy zavedly přísnější limity množství emisí škodlivin, než jsou legislativně v rámci Evropy požadovány.

Systém označování předpisů EHK je patrný z následujícího schématu: **EHK xx.yy**

xx: číslo předpisu

yy: číslo úpravy

V rámci EHK platí pro emise škodlivin produkované spalovacími motory silničních vozidel následující předpisy:

- Předpis EHK 83 je určen zejména pro vozidla kategorií M1 a N1 do 3,5 t celkové hmotnosti a limituje emise složek CO, HC, NO<sub>x</sub> a od revize EHK 83.01 i emise škodlivých částic u vznětových motorů. Charakteristickým znakem metodiky zkoušek podle předpisu EHK je, že u vozidel o celkové hmotnosti do 3,5 t se zkouška provádí při testu simulující jízdu vozidla na válcové zkušební. Měření má

kumulativní charakter, tzn. výfukové plyny se jímají do vaků a výsledné koncentrace jsou udány v g.km<sup>-1</sup>.

- Předpis EHK 49 limituje emise škodlivých plynných složek CO, HC, NO<sub>x</sub> a částic u vznětových motorů vozidel kategorií M1 nad 3,5 t celkové hmotnosti (osobní), M2, M3, N1, N2, N3 (vozidla kategorie N1 poháněná vznětovým motorem lze homologovat podle předpisu EHK 83 i EHK 49). Výsledné koncentrace jsou udány v g.kWh<sup>-1</sup>.

Předpisy EHK se vyvíjejí a jsou průběžně revidovány. Revize spočívá především ve zpřísnování limitů nebo rozšíření sledovaných složek. Rovněž je určena metoda měření emisí. Pro měření obsahu CO, HC, NO<sub>x</sub> se používá infračervená metoda (CO), plamenoionizační metoda (HC), chemické luminescence metoda (NO<sub>x</sub>).

### 3.3.1 Emisní norma EURO (pro mobilní použití motoru).

Na starém kontinentu začala platit první emisní norma až v roce 1971-EHK 15. První Euro se objevilo v roce 1992, Od té doby téměř pravidelně každé čtyři roky vyjde nova emisní norma Euro. Čím vyšší číslo, tím větší přísnost normy. V roce 2009 platilo Euro 5 a od září 2014 platí Euro 6. Emisní norma Euro platná v zemích Evropské unie stanovuje limitní hodnoty výfukových exhalací. Omezuje množství oxidu uhelnatého (CO), uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) a množství pevných částic (PM). Hodnoty se uvádějí v gramech za ujetý kilometr. Pro oba předpisy EURO je stanoven počet částic na km u vznětových motorů. Přehled limitů jednotlivých emisních norem EURO:

Rok/Euro		CO (g/km)		NO <sub>x</sub> (g/km)		HC+NO <sub>x</sub> (g/km)		HC (g/km)	PM (g/km)	Poč.částic (1/km)
		Benz	Naf	Benz	Naf	Benz	Naf			
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18	-
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**	-
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05	-
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025	-
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005	6.10 <sup>11</sup>
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005	6.10 <sup>11</sup>

Tab.3.1 EU emisí standardy pro osobní automobily.[6 ]

Benz “ benzínové motory” ; Naf “ naftové motory”. PM “ pevné částice”

- \* 0,90 pro naftové motory s přímým vstřikováním paliva,
- \*\* 1,00 pro motory s přímým vstřikováním paliva.

### 3.4 Tabulka limitů pro stacionární použití motoru.

Specifické emisní limity ze Sbírky zákonů č. 415/2012 jsou vztaženy k celkovému jmenovitému tepelnému příkonu pro normální stavové podmínky a suchý plyn, při referenčním obsahu kyslíku v odpadním plynu 5% v případě kapalných a plyných paliv.

**Specifické emisní limity pro pístové spalovací motory o celkovém jmenovitém tepelném příkonu vyšším než 0,3 MW a nižším než 50 MW.**

Plynový motor				
Výkon	Druh paliva	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>-3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>-3</sup> ]	CO [mg/m <sup>-3</sup> ]
> 0,3 -1 MW	Kapalné palivo	500	-	650
	Zemní plyn a adegazační plyn	500	-	650
	Plynné palivo obecně	1000	-	1300
> 1-5 MW	Kapalné palivo	500	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500	-	650
	Plynné palivo obecně	500 1000 <sup>3)</sup>	130	1300
> 5-50 MW	Kapalné palivo	500	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500	-	650
	Plynné palivo obecně	500	130	650
Dieselový motor				
> 0,3 -1 MW	Kapalné palivo	4000	-	650
	Zemní plyn a degazační plyn	4000	-	650
	Plynné palivo obecně	4000	-	1300
> 1-5 MW	Kapalné palivo	500 600 <sup>2)</sup> 4000 <sup>3)</sup>	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500 4000 <sup>3)</sup>	-	650
	Plynné palivo obecně	500 4000 <sup>3)</sup>	130	1300
> 5-50 MW	Kapalné palivo	500 600 <sup>2)</sup> 2000 <sup>3)</sup>	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500 2000 <sup>3)</sup>	-	650
	Plynné palivo obecně	500 2000 <sup>3)</sup>	130	650

Tab.3.2. Specifické emisní limity platné do 31. prosince 2017.[1]

Vysvětlivky: 1) Se vstříkovacím zapalováním.

2) Platí pro těžký topný olej.

3) Platí pouze pro pístové spalovací motory před 17. květnu 2006.

Výkon	Druh paliva	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>-3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>-3</sup> ]	CO [mg/m <sup>-3</sup> ]
> 0,3 -1 MW	Kapaliné palivo	400	-	450
	Plynné palivo a zkapalněný plyn	500	-	650
> 1-5 MW	Kapaliné palivo	400	50	450
	Plynné palivo a zkapalněný plyn	500	-	650
> 5-50 MW	Kapaliné palivo	400	20	450
	Plynné palivo a zkapalněný plyn	500	-	650

Tab.3.3. Specifické emisní limity platné od 1. ledna 2018.[1]

**Specifické emisní limity pro pístové spalovací motory o celkovém jmenovitém tepelném příkonu 50 MW a vyšším.**

Výkon	Druh paliva	SO <sub>2</sub> [mg/m <sup>-3</sup> ]	NO <sub>x</sub> [mg/m <sup>-3</sup> ]	TZL [mg/m <sup>-3</sup> ]	CO [mg/m <sup>-3</sup> ]
500-100 MW	Kapalné palivo obecně	350	450	30	175
	Zkapalněný plyn	5	200	5	100
	Plynné palivo obecně	35	200	5	100
	Zemní plyn	35	100	5	100
100-300 MW	Kapalné palivo obecně	250	200	25	175
	Zkapalněný plyn	5	200	5	100
	Plynné palivo obecně	35	200	5	100
	Zemní plyn	35	100	5	100
> 300 MW	Kapalné palivo obecně	200	150	20	175
	Zkapalněný plyn	5	200	5	100
	Plynné palivo obecně	35	200	5	100
	Zemní plyn	35	100	5	100

Tab.3.4. Specifické emisní limity pro příkon 50 MW a vyšším.[1]

### 3.5 Norma ČSN EN ISO 8178 (motory pro nevozidlové použití)

Určuje metodiku měření koncentrací škodlivých emisí podle použití spalovacího motoru (charakteristické provozní podmínky – skupina C1 až G3). Zkušební režimy jsou stanoveny hodnotou otáček (střední a jmenovitě) a zatížení motoru (10, 25, 50, 75 a 100 %). K jednotlivým zkušebními režimům jsou přiřazeny váhové koeficienty pro emise a výkon motoru.

Bod	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Motor	<b>Otáčky</b>										
	<b>Jmenovitě</b>					<b>Střední</b>					<b>n<sub>vol</sub></b>
Zatížení(%)	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
C 1	0,15	0,15	0,15		0,10	0,10	0,10	0,10			0,15
C 2	0,7				0,23	0,07				0,38	0,25
D 1	0,30	0,50	0,20								
D 2	0,05	0,25	0,30	0,30	0,10						
E 1	0,06						0,14	0,15	0,25		0,40
E 2	0,20	0,50	0,15	0,15							
F	0,25							0,15			0,60
G 1						0,09	0,20	0,29	0,30	0,07	0,05
G 2	0,09	0,20	0,29	0,30	0,07						0,05
G 3	0,90										0,01

Tab.3.5. Zkušební režimy a váhové faktory dle klasifikace motorů.[14]

Vysvětlivky:

- C, je terénní vozidlo (z angličtiny též off-road),
- D, je generátor (z angličtiny též constant speed),
- E, je námořní aplikace (z angličtiny marine application),
- F, je lokomotiva (z angličtiny též locomotive),
- G, je utility, trávnik a zahrada aplikace (z angličtiny též utility, lawn and graden).



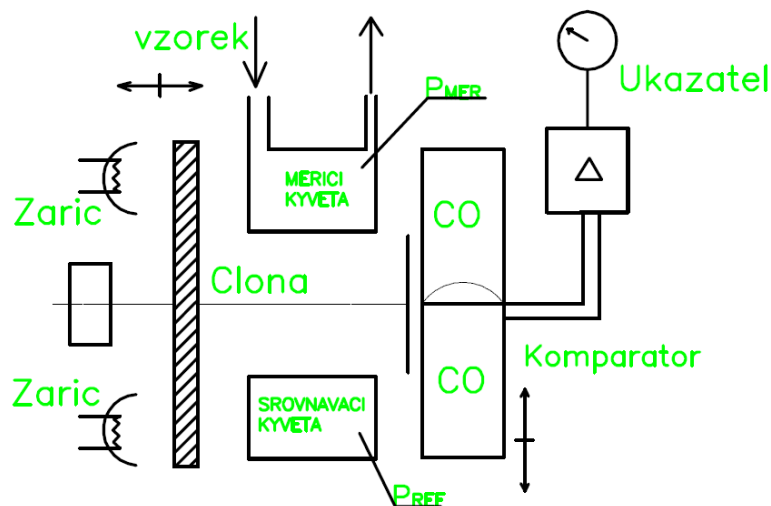
#### 4. Způsob měření a přehled používaných analyzátorů .

Pro měření emisí výfukových plynů u motorů podle předpisů EHK, se měří obsah oxidu uhelnatého (CO), nespálené uhlovodíky (HC), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>). Pro měření obsahu CO, HC, NO<sub>x</sub> se používá infračervená metoda, plamenoionizační metoda, chemické lumniscence metoda...

##### 4.1 Infračervená metoda (NDIR).

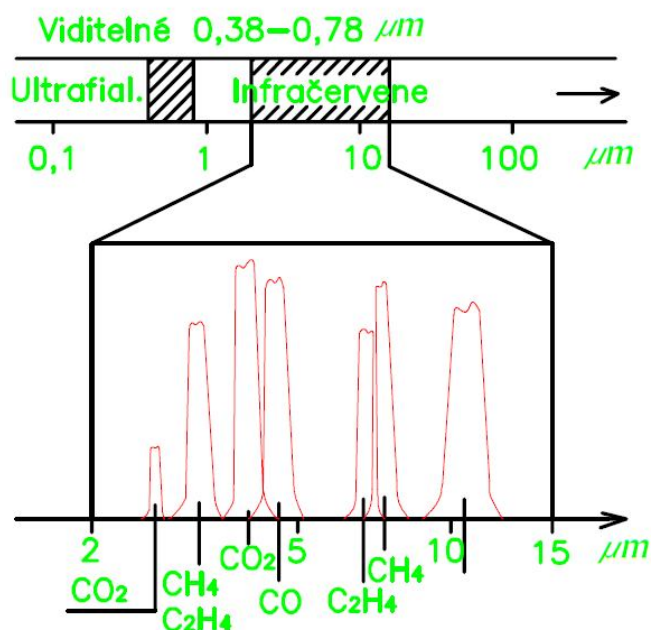
Infračervený analyzátor se používá hlavně pro měření CO. Infračervené záření emitované zářičem prochází kyvetami s okny z materiálu, který propouští pouze příslušné vlnové délky (viditelné světlo: cca 380-780 nm, infračervené větší než 800 nm). V analyzátoru jsou umístěny dvě kyvety, měřicí a srovnávací. Srovnávací kyveta je naplněna plynem, který nepohlcuje infračervené záření. Měřicí kyveta se propracuje vzorkem analyzovaného plynu, přičemž část procházejícího záření je případně pohlcena. Rozdíl v intenzitě záření je tedy měřítkem koncentrace všech absorpčně činných plynů ve vzorku. Selektivnost přístroje se dosáhne komparátorem složeným ze dvou komor naplněných plynem, jehož koncentrace v analyzované směsi se zjišťuje.

Tento druh analyzátoru je vhodný pro měření koncentrace CO, CO<sub>2</sub>, pro měření obsahu HC, analyzátor není vhodný pro měření složky NO<sub>x</sub> .



Obr.4.1. Infraanalyzátor výfukových plynů.[9]

Existují různé metody, jak změřit zeslabení vlnových délek charakteristických pro tyto tři plyny. Vlnová délka pro HC leží mezi 3 a 3,5  $\mu\text{m}$ , pro CO<sub>2</sub> asi 4,2  $\mu\text{m}$  a pro CO něco nad 4,5  $\mu\text{m}$ .



Obr.4.2. Absorpční spektra výfukových plynů.[9]

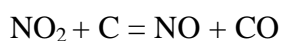
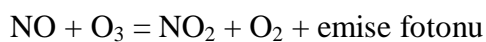
Metoda se používá u přístrojů: Thermo Fischer Scientific Model 48C, Hartman Braun (typy HB-VRAS 2T nebo HB-VRAS 3E) v laboratoři.



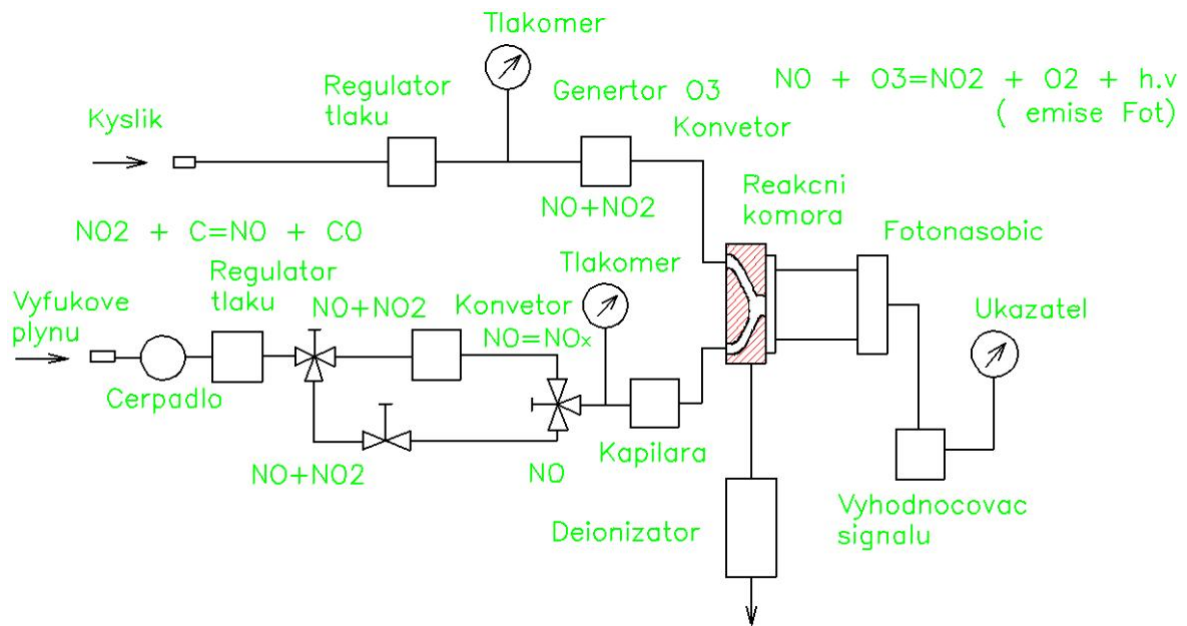
Obr.4.3. Přístroj Thermo Fischer Scientific Model 48C.

#### 4.2 Měření s využitím chemické luminiscence (CLA).

Chemiluminiscenční analyzátor (CLA) měří  $\text{NO}_x$ . Tento analyzátor využívá emise fotonů z části vybuzených molekul  $\text{NO}_2$  vzniklých oxidací  $\text{NO}$  ozonem.



Ozón se vyrábí v přístroji působením elektrostatického pole o vysokém napětí na molekuly kyslíku. Společně se vzorkem spalín se přivádí do reaktoru, v němž je zabudován fotonásobič, jehož signál je úměrný množství dopadajících energetických kvant (selektivita na frekvenci se dosáhne přeřazením optického filtru). Výstup signálu fotonásobiče se dále zpracovává elektronikou přístroje, která udává koncentraci  $\text{NO}_x$  ve výfukových plynech.



Obr.4.4. Chemiluminiscenční analyzátor výfukových plynů.[9]

Metoda se používá u přístrojů: Thermo environmental instruments – model 42C-HL, analyzátorů Horiba (typy HORIBA CLA 150, ROSEMOUNT...) v laboratoři KVM.

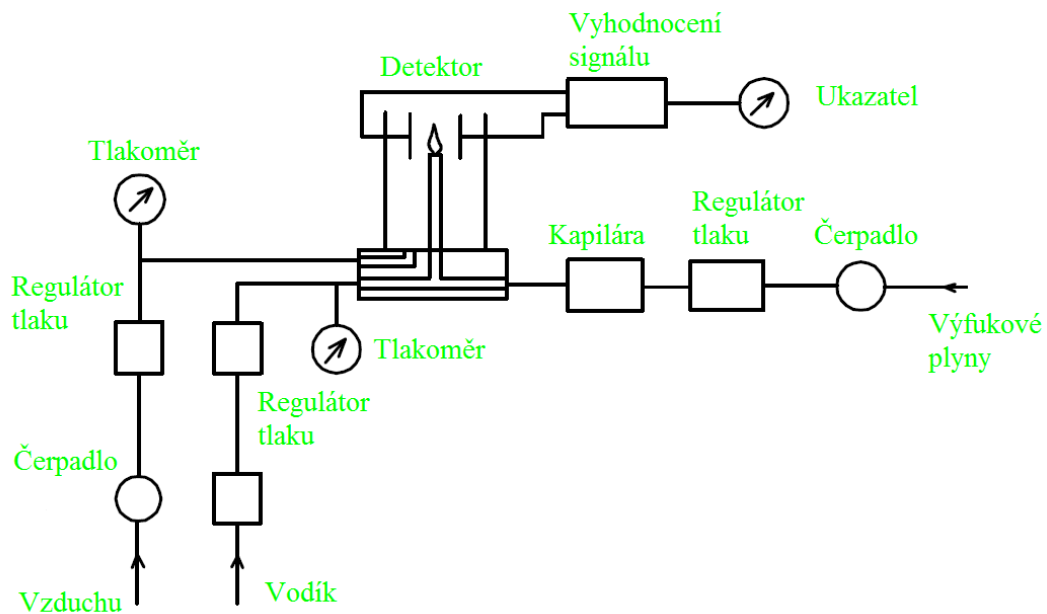


Obr.4.5. Přístroj Thermo environmental instruments – model 42C-HL.

### 4.3 Měření založené na principu změny elektrické vodivosti vodíkového plamene (FID).

Po připojení elektrického potenciálu na vodíko-vzduchový plamen vzniká velmi malý proud iontů. Přivedením organicky vázaného uhlíku do zóny hoření proud iontů narůstá úměrně průtočnému množství uhlovodíků ve vzorku spalin. Na tomto principu pracuje analyzátor, který se původně vyvinul jako detektor chromatografu a proto se nazývá plamenoionizační detektor (FID).

Difúzní vodíkový plamen při spuštění přístroje se zapálí žhavicí svíčkou. Spalovací vzduch nasávaný z atmosféry se zbavuje přítomných organických sloučenin v katalytickém čističi. Část vzduchu společně se vzorkem a vodíkem před vstupem do hořáku se reguluje, aby se podle koncentrace kyslíku ve vzorku neměnil tvar plamene.



Obr.4.6. Plamenoionizační analyzátor výfukových plynů.[9]

Tlak vodíku se reguluje v závislosti na tlaku spalovacího vzduchu. V pneumatické části přístroj je soustava regulátorů a kapilár pro nastavování tlakových a průtokových podmínek. Celý vzorek je umístěn v termostatu a může být temperován až do 200°C. Po zesílení se hodnota proudu procházejícího plamenem indikuje na ukazovacím přístroji jako údaj koncentrace. Údaj přístroje je úměrný počtu uhlíkových atomů v organických sloučeninách obsažených v analyzovaném vzorku.

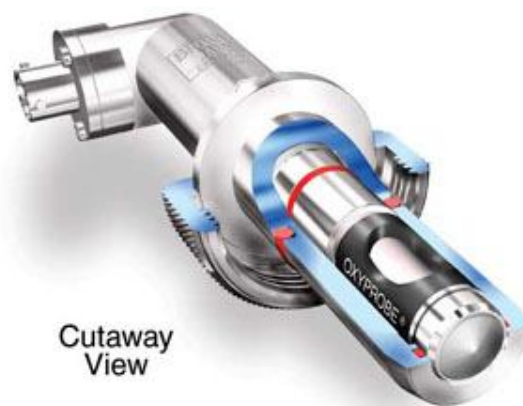
Metoda se používá u přístrojů: Total hydrocarbons THC, HORIBA-FIA 321K a C.O.V-FID 2001/C v laboratoři KVM.



Obr.4.7. Přístroj Total hydrocarbons THC.

#### 4.4 Kyslíková sonda O<sub>2</sub> snímač.

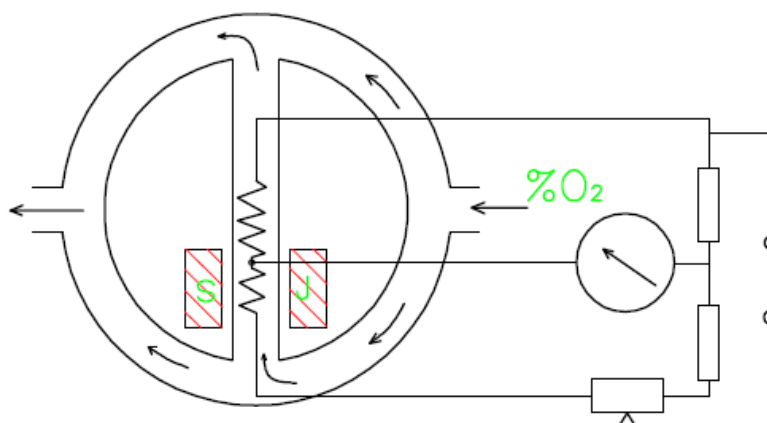
Pro určování obsahu kyslíku se obecně používá difúzní snímač hraničního proudu. Ten se skládá z porézní teflonové pozlacené fólie, podle jedné určité metody namíchané olověné elektrody a akumulátorové kyseliny. Jestliže se na snímač přivede napětí 200 mV, stává se proud v rozsahu 0 – 100 mA měřítkem obsahu kyslíku.



Obr.4.8. Lambda sonda

#### 4.5 Měření paramagnetických vlastností.

Paramagnetické látky mají vysokou permeabilitu a jsou tedy vtahovány do magnetického pole. Z plynů nejvyšší permeabilitu vykazuje kyslík, proto se princip měření magnetických vlastností plynu používá v přístrojích pro stanovení koncentrace kyslíku v analyzované směsi. Klíčovou součástí všech přístrojů na tomto principu je permanentní magnet nebo elektromagnet, jehož přitahuje molekuly kyslíku. Podle způsobu organizace průtoku vzorku v blízkosti pólových nástavců magnetu a zejména podle způsobu měření intezity působení magnetického pole na vzorek se rozlišují přístroje magnetomechanické, magnetopneumatické a termomagnetické.



Obr.4.9. Termomagnetický analyzátor.[9]

Vodorovný příčný kanál prstencové komory nese dvě vyhřívací vinutí z odporového materiálu s vysokým teplotním koeficientem. Kyslík vtažený do magnetického pole z levé prstencové větve ztrácí při zvýšení teploty (podle Curieho zákona) magnetizmus a je vytlačován přísunem studeného kyslíku. Strháváním okolních nemagnetických molekul vzniká stabilní průtok příčným kanálem (tzv. magnetický vítr). Levé odporové vinutí se chladí stálým ofukováním studeným proudem vzorku. Ochlazování pravého vinutí je méně

intenzivní, protože magnetický vítr je už zahřátý. Rozdíl teplot (a odporů) vinutí je úměrný koncentraci kyslíku ve vzorku.

Metoda se používá u přístrojů: Servomex model 1420-O<sub>2</sub>, Siemens-OXYMAT 5E



*Obr.4.10. Přístroj servomex model 1420.*

#### **4.6 Měření s elektrochemickým analyzátozem typ MRU 95/3 CD.**

Analyzátor spalin MRU 95/3 CD je analyzátor s elektrochemickými články. Potřebné části měřicího přístroje jsou sonda, nádržka kondenzátu, jemný filtr, tiskárenský papír, teplotní čidlo. Přístroj provádí kontinuální měření: O<sub>2</sub>-CO-CO<sub>2</sub>-SO<sub>2</sub>-NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>, teplota spalin, teplota okolí, tlak, intenzita kouře, účinnosti spalování, koeficient v ztráty tepla výfukových zplodin. Měří se v údajích ppm nebo mg/m<sup>3</sup>. Analyzátor provádí dále přepočet údajů na zvolený obsah kyslíku ve spalinách a to na: 3% / 5% / 8% / 13%. Měření lze provádět pro různé druhy paliva: zemní plyn, zkapalněný plyn, svítiplyn, lehký olej, těžký topný olej, dřevo a uhlí.



*Obr.4.11. Měření s elektrochemickým analyzátozem typu MRU 95/3 CD.*

## Princip funkce:

Po zapojení běží asi 2-3 sekundy automatický zkušební program mikroprocesoru v analyzátoru a kontroluje všechny interní funkce. Poté se objeví hlášení „Great ok“ přístroj v pořádku a začíná běžet asi 3 minuty, proplachování senzoru okolním čistým vzduchem. Po 3 minutách, nastaví mikroprocesor v analyzátoru „Nullpunkt“ nulový bod a měřicí přístroj je schopen měření. Pokud je na displeji „sensorem nicht bereit“ senzory nejsou připraveny. Po úspěšné kalibraci se zavede odběrová sonda plynu do spalinového potrubí a vestavěným čerpadlem plynu membránové čerpadlo ze spalinového potrubí nasává výfukové plyny. Na hrotu sondy je NiCr-Ni plášťový termočlánek, který zjišťuje teplotu toku spalín.

Dopravní čerpadlo plynu získává za minutu asi 1 litr spalín. Senzory potřebují k reakci jen asi 200 ml. Zbytek se volně vyfukuje. Čerpadlo musí dopravovat přesně regulovaný objem a proud plynu musí vykazovat určitý tlak, aby molekuly plynu mohly přes difúzní mřížku pronikat do senzorů. Výsledné hodnoty senzorů jsou mikroprocesorem vyhodnocovány a indikovány na displeji, event. Lze je tisknout nebo uložit na počítače. Černá hadice plynu slouží je k měření jemného tahu.

## 4.7 Přístrojové vybavení v laboratoři KVM.

Analyzátory použité pro měření koncentrací emisí ve výfukových plynech

- Sestava analyzátorů 1:

Složka	Typ	Analyzátor
THC	FID	AMLUK FID E 2000, v.č. 2139/910527
THC/CH <sub>4</sub>	FID	HORIBA FIA 321 K, v.č. 851023021
CO	NDIR	HORIBA VIA-510, v.č. 56923901
		Hartmann-Braun-URAS 2T, v.č. 3082809 0, rozsah 0-9 %
CO <sub>2</sub>	NDIR	HORIBA AIA-310 K, v.č. 565480014
		Hartmann-Braun-URAS 3E, v.č. 3088574 2, rozsah 0-16 %
NO <sub>x</sub>	CLA	HORIBA CLA 150, m v.č. 850236011
Filtr		JUM VE 112, 8850/N
Chladnička		HELEMANN GK1 KB-19/TL.4GX

- Sestava analyzátorů 2:

Složka	Typ	Analyzátor
CO/CO <sub>2</sub>	NDIR	ROSEMOUNT NGA 2000
O <sub>2</sub>	Paramagnetický	ROSEMOUNT NGA 2000
NO <sub>x</sub>	CLA	ROSEMOUNT NGA 2000

Tab.4.1. Přístrojové vybavení v laboratoři.

## 5. Plynná paliva.

Plynná paliva mají proti kapalným palivům ropného původu menší hmotnostní podíl C v 1 kg paliva a výrazně nižší výfukové emise. Jednodušší stavba molekul u plynných paliv zajišťuje průběh hoření s výrazně menší produkcí nových uhlovodíkových molekul, které jsou hygienicky velmi rizikové (PAH, PAH<sub>KARC</sub>). Jednou z možností k výraznému snížení výfukových emisí z automobilové dopravy je plynofikace určité části vozidel. Plynofikace motorových vozidel má největší význam pro autobusovou a komunální dopravu ve větších městech. Směs plynných paliv se vzduchem se proti klasickým kapalným palivům vyznačuje dobrou zápalností i schopností spalovat ve válci motoru i velmi chudé směsi s relativně vysokým součinitelem přebytku vzduchu, při spalování chudých směs se potom významně zvyšuje jejich odolnost proti klepání.

### 5.1 Zemní plyn.

Zemní plyn je fosilní palivo, které se těží jak na pevnině, tak z ložisek nacházejících se na mořském dnu. Jeho hlavní složkou je metan, skládá se z 70-98 % metanu, 0-5 % dusíku, 5 % vyšších uhlovodíků, Sirovodík 0-5 % a ethan, propan. Používá se ve formě CNG a LNG (stlačený-zkapalněný).

Parametr	Jednotky	Metan
Měrná hmotnost plynu	kg.m <sup>-3</sup>	0,72
Měrná hmotnost kapaliny	kg.m <sup>-3</sup>	415
Teplota bodu varu při barometrickém tlaku	<sup>0</sup> C	-161,4
Výhřevnost	MJ.kg <sup>-1</sup>	48,6
Stechiometrické množství vzduchu	kg.kg <sup>-1</sup>	17,2
Zápalná teplota stochiometrické směsi	<sup>0</sup> C	520
Rozmezí zápal.paliv směsi	l	0,7 až 2,1
OČVM	l	130

Tab.5.1. Vlastnost metanu.[ 8]

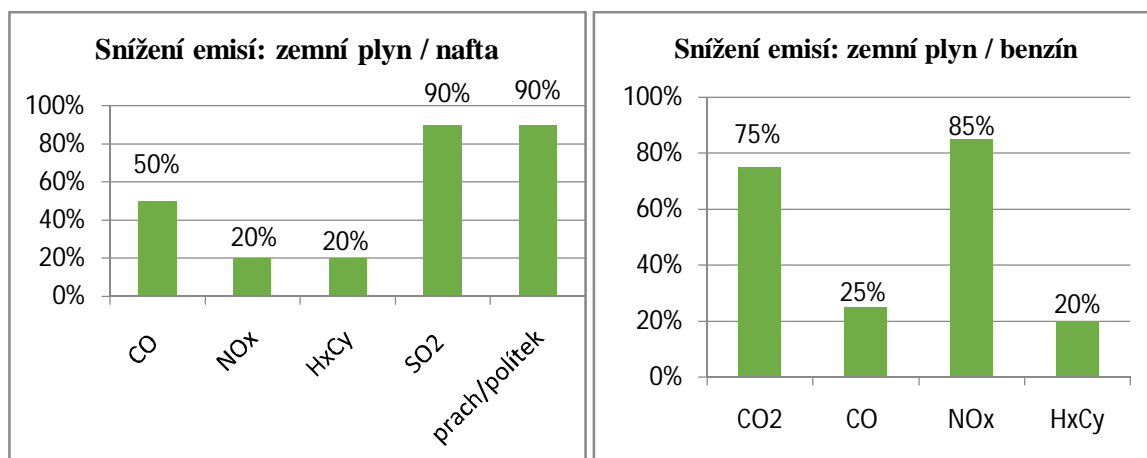
Výhody:

Ekologické výhody zemního plynu v dopravě jsou jednoznačné, vyplývají z jeho složení, především poměru atomů uhlíku a vodíku v molekule. Nízké emise škodlivých látek do ovzduší než s klasickým pohonem. Proti provozu na benzin zemní plyn umožňuje 20 až 25% snížení emisí CO<sub>2</sub> a dalších sledovaných škodlivin: oxidů, oxidů uhelnatého, uhličitého, pevných částic, ale také karcinogenních látek: polyaromatických uhlovodíků, aldehydů, aromatů včetně benzenu. Také vliv na skleníkový efekt je menší než s benzínem či naftou.

- Vyšší oktanové číslo zemního plynu proti benzínu,
- zápalná teplota zemního plynu je proti benzínu dvojnásobná,



- menší hlučnost automobilů poháněných CNG,
- nižší náklady na provoz vozidla v důsledku nižší ceny paliva,
- nedochází ke znečištění motorového oleje palivem a úsadami, což vede ke zvýšení životnosti oleje, a tím ke snížení nákladů souvisejících s výměnou oleje.



Graf.5.1. Snížení emisí u osobních vozidel na zemní plyn a naftu/benzín.

Nevýhody:

- Malé množství plnicích stanic,
- náklady spojené s přestavbou vozidla a také náklady na zřizování plnicích stanic,
- poměrně nízká dojezdová vzdálenost. Na nádrž o objemu 80 litrů je možné ujet jen 200 až 300 km, což by odpovídalo asi 20 litrům benzínu,
- zmenšení zavazadlového prostoru u osobních automobilů, nárůst výšky autobusů, v důsledku instalace tlakových lahví.

### 5.1.1 Stlačený zemní plyn (CNG).

Pod zkratkou CNG „Compressed Natural Gas“. Převážně se plní do tlakových s plnicím tlakem 20 MPa, při tomto tlaku se objem plynu zmenší asi 200 krát. V současné době je CNG využíván jako moderní ekologické a ekonomické motorové palivo v motorech vyvíjené jednotlivými výrobci, prioritně pro spalování zemního plynu. Získání zemního plynu je relativně jednodušší než výroba LNG.

### 5.1.2 Zkapalněný zemní plyn (LNG).

Zemní plyn se zbaví nečistot a příměsí a zkapalní se ve zkapalňovací koloně. Je zchlazen na  $-162^{\circ}\text{C}$  při atmosférickém tlaku. Proces zkapalnění je velmi složitý a energeticky náročný. Objem se zmenší přibližně 600 krát. LNG je studená, namodralá, průzračná kapalina bez zápachu, nekorozivní, netoxická, málo viskózní, hustota 0,4-0,42  $\text{kg/m}^3$  a zápalná teplota  $540^{\circ}\text{C}$ . Výsledkem je větší dojezd a více místa v úložném prostoru oproti CNG. LNG se musí převážet z terminálů, či zkapalňovacích stanic na místo určení.

## 5.2 Propan-Butan (LPG).

Zkratka LPG (Liquefied Petroleum Gas) znamená zkapalněný ropný plyn. Chemicky se jedná o směs propanu ( $C_3H_8$ ) a butanu ( $C_4H_{10}$ ), obsahuje jen velmi málo síry, žádné olovo a benzenové uhlovodíky. Jedná se o směs obsahující tři či čtyři atomy uhlíku v řetězci s jednoduchými vazbami. Za normálních atmosférických podmínek se propan-butan vyskytuje v plynné formě. Ochlazením nebo stlačením ho lze převést do kapalného stavu. V kapalném stavu zaujímá pouze 1/260 plynného objemu. Snadný přechod mezi dvěma skupenstvími je pro praxi velmi výhodný. LPG má vysokou výhřevnost a nízké emise škodlivých látek do ovzduší.

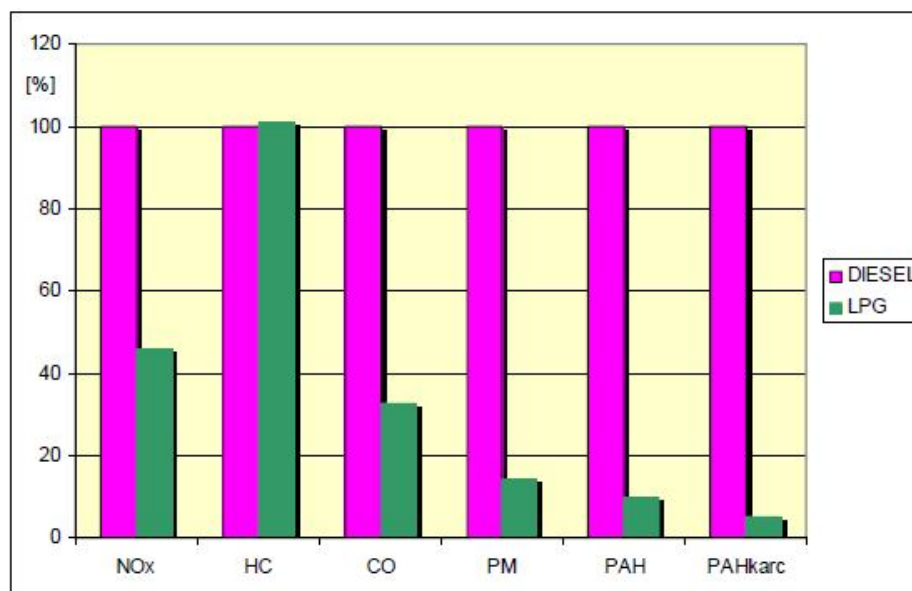
Vlastnosti	jednotky	propan	n-butan	i-butan
Hustota plynu (0°C, 101 kPa)	kg · m <sup>-3</sup>	2,01	2,64	2,64
Hustota kapalné fáze (20°C)	kg · m <sup>-3</sup>	501	578	558
Výhřevnost	MJ · kg <sup>-1</sup>	46,2	45,9	45,9
Bod varu (101,08 kPa)	°C	-42,6	-0,6	-12,6
Bod tání (101,08 kPa)	°C	-190	-135	-145
Výparné teplo	kJ · kg <sup>-1</sup>	441,1	396,5	386,6
Stechiometrické množství vzduchu	m <sup>3</sup> · m <sup>-3</sup>	23,9	31,1	31,1
Výhřevnost stochiometrické směsi	MJ · m <sup>-3</sup>	3,73	3,78	3,78
OČVM	1	112	94	99
Metanové číslo	1	34	10	14

Tab.5.2. Vlastnosti Propan-butan.[8]

LPG má v různých zemích rozdílné složení a to jak jeho letní, tak zimní verze, druhy LPG jsou dle ČSN EN 589.

Výhody:

- nižší výfukové emise,
- nižší hlučnost a klidnější chod motoru,
- klesají náklady na pohonné hmoty téměř na polovinu,
- prodlužuje se životnost oleje a tím výměnná lhůta,
- možnost přepínání mezi LPG a benzinem a zvýšená je i stabilita vozů u klasické koncepce.
- velmi dobře mísitelný se vzduchem, což zajišťuje velmi vysokou homogenitu palivové směsi a zvýšená je životnost motoru,
- dostatečně hustá síť čerpacích stanic LPG v ČR i Evropě.



Graf.5.2. LPG mají výrazně nižší výfukové emise.[7]

Nevýhody:

- Snížení výkonu motoru,
- počáteční investice při instalaci.

### 5.3 Vodík.

Největší množství vodíku je vázané ve vodě. Energie vložená do rozkladu je ve vodíku akumulována do okamžiku zpětného převodu řízené spalování v SM. Vodík se spaluje podobně jako konvenční pohonné hmoty. Avšak vodík tvoří se vzduchem velmi výbušnou směs. Vodík představuje obnovitelný zdroj energie nenarušující životní prostředí. Při jeho spalování vzniká pouze voda a prakticky neuhlíkové palivo, neprodukuje CO, CH, CO<sub>2</sub>. Spalování probíhá s přebytkem vzduchu, který ve spalovacím prostoru odebírá teplo, a tím zabraňuje samovznícení směsi. V praxi stlačený 25-70 MPa, kapalný -253 °C a má inverzní teplotu velmi nízkou 200 K hluboko pod 0 °C.

Vlastnosti	Jed.	Vodík 1 Pa	Vodík 250 Pa	Vodík 350 Pa	Vodík 700 Pa	Kapalný vodík
Hustota	kg/m <sup>3</sup>	0,084	17	22,2	39	71,08
Měrný objem	l/kg	11939	58,8	45,2	25,9	14,1
M.O vztažený k benz.		8354,7	41,15	31,6	18,14	9,85
Výhřevnost	MJ/kg	119	119	119	119	119
Hustota energie	MJ/l	0,01	2,024	2,64	4,6	8,46
H.E vztažený k benz.		0,0003	0,065	0,085	0,15	0,27

Tab.5.3. Vlastnosti vodík.[8]

Výhody:

- Velmi nízké emise a zdroj energie je obnovitelný,
- není pro člověka toxický .

Nevýhody:

- Malá objemová výhřevnost,
- rychlý průběh hoření, vzniká klepání a nižší kompresní poměr.

**Souhrn:**

Plynofikace motorových vozidel má největší význam pro autobusovou a komunální dopravu ve větších městech, kde jsou původní naftové motory nahrazeny motory plynovými. Výsledky emisních měření na těchto motorech jednoznačně ukazují plynový motor jako ekologicky šetrnou pohonnou jednotku silničních vozidel. V optimalizovaném provedení má konverze naftových motorů na pohon CNG nebo LPG jednoznačně kladný efekt na množství emitovaných oxidů dusíku, oxidu uhelnatého, částic, aldehydů a polycyklických aromatických uhlovodíků. Proti naftovému motoru mají plynové motory nižší emise škodlivých částic. Plynové vozidlové motory jsou nepochybně účinným prostředkem k omezení negativního působení dopravy na životní prostředí ve městech, z tohoto hlediska je zejména plynofikace autobusové MHD perspektivou pro zlepšování ovzduší ve městech.[18].

V tabulce 5.4, můžeme vidět srovnání výhřevností jednotlivých paliv. Z této tabulky je patrné, že největší výhřevnost má vodík, ale vzhledem k jeho nízké měrné hmotnosti je jeho objemová výhřevnost malá.

Palivo	Výhřevnost [MJ.kg <sup>-1</sup> ]	Výhřevnost [MJ.l <sup>-1</sup> ]
Metan	48,6	20,2
Propan-Butan	46,2	23,08
Kapalný vodík	119	8,46

*Tab.5.4. Srovnání výhřevností jednotlivých paliv.*

Za neekologičtější palivo můžeme považovat vodík, při jehož spalování vzniká až o 99,9 % méně škodlivých emisí ve srovnání se spalováním benzínu, ale vzhledem k jeho špatné skladovatelnosti a téměř neexistující infrastruktuře je jeho hromadné nasazení v dnešní době nerealizovatelné. Nejvíce využívaným a nejkvalitnějším motorovým plyným palivem je zemní plyn.

## 6. Postupy při měření emisí podle použití spalovacího motoru.

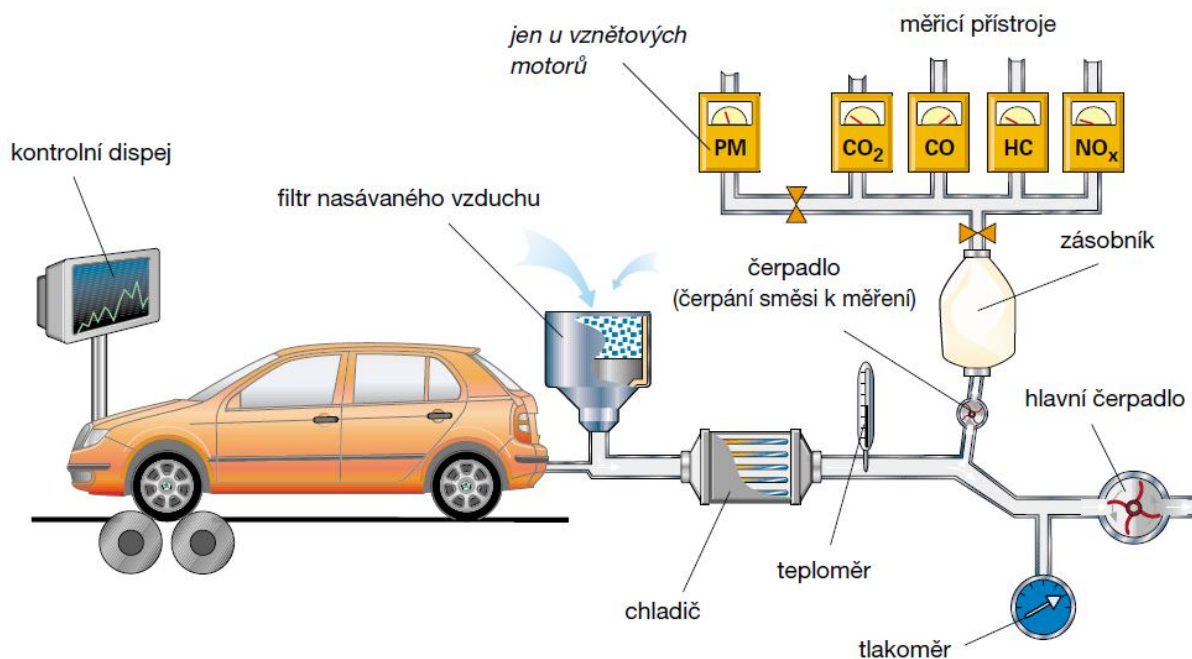
Způsob měření emisí závisí na způsobu použití motoru. V následující části uvádím stručný přehled postupů pro:

- vozidlové použití spalovacího motoru, (předpis EHK 83 a EHK 49),
- stacionární použití spalovacího motoru.

Pro vozidlové použití motoru dále uvádím postup měření používaný při technických kontrolách vozidel dle zákona č. 302/2001 Sb. V této normě jsou specifikovány požadavky na přesnost přístrojového vybavení, pro testy, dále pak je popsána příprava vozu před testem a přesně stanovený postup samotného emisního testu.

### 6.1 Motory použití pro osobní automobily.

Při samotné zkoušce jede vozidlo v předepsaném cyklu, který je uveden dle předpisu EHK 83/351/EHS pro vozidla kategorie M<sub>1</sub> (palivo benzin, LPG, CNG). Vozidlo je zatěžováno dynamometrem, který simuluje reálné podmínky provozu vozidla. V průběhu emisního testu jsou výfukové plyny nasávány spolu s filtrovaným vzduchem tak, aby proud směsi výfukových plynů a vzduchu byl stále stejný a rovnoměrný, a dále odpovídal předem definovanému množství. Toto proudění je zajištěno za pomoci systému pro ředění výfukových plynů. V okamžiku, kdy vozidlo produkuje více výfukových plynů (např. při akceleraci), je přisáváno méně vzduchu a ve chvílích, kdy je výfukových plynů méně, přisává se vzduchu více[17]. Schématicky je tento proces znázorněn na obr.5.1



Obr.6.1. Schéma systému měření emisí.[17]

### 6.1.1 Postup kalibrace dynamometru.

Proces kalibrace dynamometru představuje proces převedení silničního modelu na podmínky laboratoře. Cílem je dosáhnout pomocí dynamometru (elektrický brzdňý motor) simulaci zatížení stejných podmínek jako na silnici. Vůz provozem na dynamometru ohřejeme na provozní teplotu, čímž dojde ke stabilizaci odporových sil podvozku, především pneumatik. Toto ohřátí se provádí zjetím běžného emisního cyklu nebo ustálenou rychlostí. Poté vůz dynamometr rozjede na rychlost cca 120 km/h a nechá ho samovolně za pomoci přednastavené síly zpomalovat. U dynamometru s nastavitelnou křivkou zatížení se zatížení na dynamometru musí shodovat s jízdním zatížením s předností  $\pm 5\%$  při rychlosti 120, 100, 80, 60 a 40 km/h, a  $\pm 10\%$  při rychlosti 20 km/h. Počítač vyhodnotí odchylky dosažených časů zpomalování vzhledem k silničnímu modelu a koriguje zatížení dynamometru.

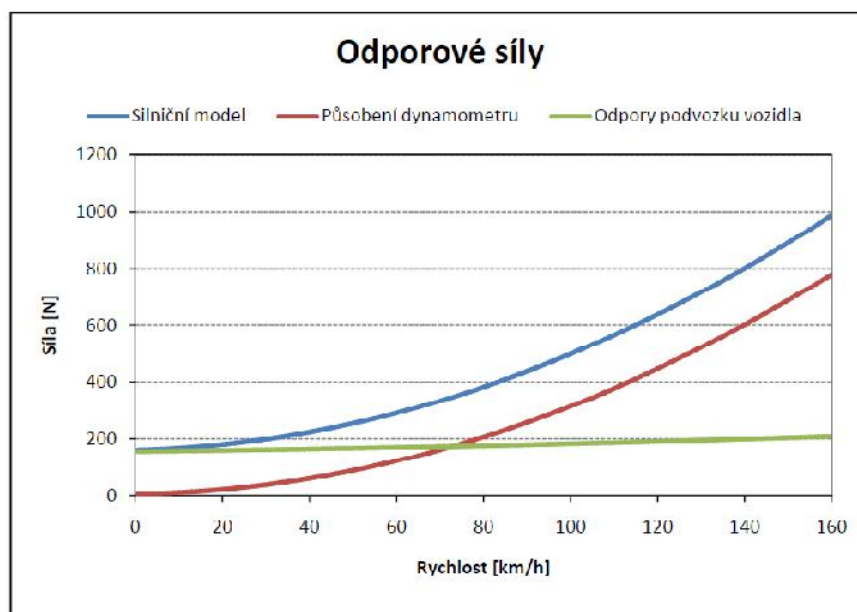
Za pomoci tohoto procesu dojde ke stanovení kvadratické rovnice pro nastavení celkové odporové síly dynamometru. Síla pohlcovaná brzdou a vnitřním třením vozidlového dynamometru při rychlosti od 0 do 120 km/h je následující :

$$F_D = (F_V + k_{VZ} \cdot V^2) \pm 0,1 \cdot F_{80}$$

kde:  $F_D$  je celková síla pohlcená vozidlovým dynamometrem [N],

- $F_V$  je hodnota odpovídající valivému odporu [N],
- $k_{VZ}$  je hodnota odpovídající součiniteli odporu vzduchu [ $N/(km/h)^2$ ],
- $V$  je rychlost [km/h],
- $F_{80}$  je zatížení při 80 km/h [N].

Křivka síly pohlcené dynamometrem, silniční model a odpory podvozku vozidla



Graf.6.1. Zobrazení odporových sil v závislosti na rychlosti vozidla.[15]

### 6.1.2 Výpočet objemu při užití objemového dávkovacího čerpadla.

Objem zředěných výfukových plynů se při systému s objemovým dávkovacím čerpadlem výpočet z následující rovnice:

$$V = V_0 \cdot N$$

kde:

- V je objem zředěných výfukových plynů vyjádřený v litrech na zkoušku (před korekcí)
- $V_0$  je objem plynu dopravovaný objemovým dávkovacím čerpadlem při zkušebních podmínkách
- N je počet otáček čerpadla za zkoušku

### 6.1.3 Korekce objemu na normální podmínky.

Objem zředěných výfukových plynů vyjádřený v litrech a korigovaný na normální podmínky (teplota 273,2 K a 101,33 kPa) a vypočteme pomocí vzorce:

$$V_{zvp} = V \cdot K_1 \cdot \left( \frac{P_B - P_1}{T_P} \right)$$

přičemž:

$$K_1 = \frac{273,2(K)}{101,33(kPa)} = 2,69$$

kde:

- $P_B$  je barometrický tlak ve zkušební místnosti [kPa],
- $P_1$  je podtlak na vstupu objemového dávkovacího čerpadla [kPa],
- $T_P$  je průměrná teplota zředěného výfukového plynu vstupujícího [K].

### 6.1.4 Hmotnost emisí plynných znečišťujících látek.

Výsledná hodnota vyprodukovaných emisí uvedená v g/km není přímo měřená veličina, určí se pomocí vzorce:

$$M_i = \frac{V_{zvp} \cdot \rho_i \cdot k_h \cdot C_i \cdot 10^{-6}}{d}$$

kde:

- $M_i$  je hmotnost emisí znečišťující látky [g/km],
- $\rho_i$  je hustota znečišťující látky [g/l] za normální teploty a tlaku (273,2 K a 101,33 kPa),
- $C_i$  je koncentrace znečišťující látky i ve zředěném výfukovém plynu vyjádřená v [ppm] a přepočtená podle množství znečišťující látky i obsažené v ředicím vzduchu,

- $h_k$  je opravný součinitel vlhkosti používaný pro výpočet hmotnosti emisí oxidů dusíku. Pro složky HC a CO se přepočet na vlhkost neprovádí.
- $d$  je vzdálenost odpovídající pracovnímu cyklu v [km].

### 6.1.5 Korekce koncentrace ředícího vzduchu.

Koncentrace znečišťující látky ve zředěném výfukovém plynu se koriguje hodnotou znečišťující látky v ředícím vzduchu takto:

$$C_i = C_e - C_d \cdot \left(1 - \frac{1}{DF}\right)$$

kde:

- $C_i$  je koncentrace znečišťující látky  $i$  ve zředěném výfukovém plynu vyjádřená v [ppm] a přepočtená podle množství znečišťující látky  $i$  obsažené v ředícím vzduchu,
- $C_e$  je naměřená koncentrace znečišťující látky  $i$  ve zředěném výfukovém plynu vyjádřená v [ppm],
- $C_d$  je koncentrace znečišťující látky  $i$  ve vzduchu používaném k ředění vyjádřená v [ppm],
- $DF$  je faktor ředění.

### 6.1.6 Výpočet faktoru ředění.

$$DF = \frac{F_S}{C_{CO_2} + (C_{HC} + C_{CO}) \cdot 10^{-4}}$$

Hodnota  $F_S$  lze jednotlivá paliva použít průměrnou hodnotu:

Pro benzin (E5) je	13,4
Pro naftu (B5) je	13,5
Pro LPG je	11,9
Pro NG/biometan je	9,5
Pro etanol (E85) je	12,5

kde:

- $C_{CO_2}$  je koncentrace  $CO_2$  ve zředěném výfukovém plynu ve vaku pro jímání vzorků vyjádřená v [%] objemu,
- $C_{HC}$  je koncentrace HC ve zředěném výfukovém plynu ve vaku pro jímání vzorků vyjádřená v [ppm] ekvivalentu uhlíku,
- $C_{CO}$  je koncentrace CO ve zředěných výfukových plynech ve vaku pro jímání vzorků, vyjádřená v [ppm].



- $F_s$  je stechiometrický faktor:

$$F_s = 100 \cdot \frac{1}{1 + \frac{a}{2} + 3,76 \cdot \left(1 + \frac{a}{4}\right)}$$

kde: a je molární poměr vodíku v palivu.

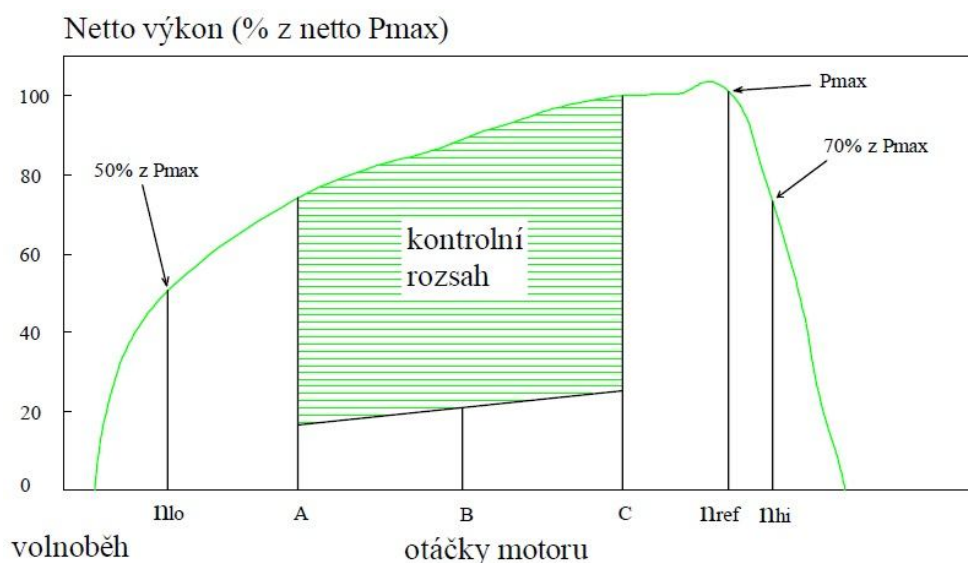
## 6.2 Měření emisí dle předpisu EHK 49.

Spalovací motory dopravních prostředků musí splňovat stále přísnější limity škodlivin stanovené předpisy EHK č.49. U plynových motorů vozidel kategorie M2, M3, N2, N3 provozovaných na zemní plyn (NG) a LPG se v rámci schvalování typu (homologace). Způsoby stanovení emisí plynných znečišťujících látek, znečišťujících částic a kouře z motoru, který se bude zkoušet. Jsou popsány tři zkušební cykly: ESC, ELR a ETC, které se měří, obsahují plynné složky (oxid uhelnatý, součet uhlovodíků u vznětových motorů je při zkoušce ESC; uhlovodíky jiné než metan u vznětových a plynových motorů jen při zkoušce ETC; metan u plynových motorů jen při zkoušce ETC a oxidy dusíku); částice (jen u vznětových motorů) a kouř (u vznětových motorů je při zkoušce ELR). Limity koncentrací jsou stanoveny v jednotkách [g/kWh].

### 6.2.1 Postup zkoušky na zkušebním dynamometru (ESC a ELR).

Otáčky motoru A, B a C udá výrobce podle následujících ustanovení:

- Horní otáčky  $n_{hi}$  se určí výpočtem 70% je maximálního netto výkonu  $P_n$ , nejvyšší otáčky, při kterých má motor tuto hodnotu výkonu na křivce výkonu, jsou otáčky  $n_{hi}$ .
- Dolní otáčky  $n_{lo}$  se určí výpočtem 50% je maximálního netto výkonu  $P_n$ , nejnižší otáčky, při kterých má motor tuto hodnotu výkonu, jsou otáčky  $n_{lo}$ .



Graf.6.2. Specifické definice zkušebních cyklů.[16]

Otáčky A, B a C se vypočtou takto: Otáčky A =  $n_{lo} + 25\% (n_{hi} - n_{lo})$   
 Otáčky B =  $n_{lo} + 50\% (n_{hi} - n_{lo})$   
 Otáčky C =  $n_{lo} + 75\% (n_{hi} - n_{lo})$

### 6.2.1.1 Zkouška ESC.

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 režimu 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 zvaží.

Se zkušebním motorem se provede následující třináctirežimový cyklus na zkušebním dynamometru:

Číslo režimu	Otáčky motoru	Proc. zatížení	Váhový faktor	Trvání režimu
1	Volnoběžné	-	0,15	4 minuty
2	A	100	0,08	2 minuty
3	B	50	0,10	2 minuty
4	B	75	0,10	2 minuty
5	A	50	0,05	2 minuty
6	A	75	0,05	2 minuty
7	A	25	0,05	2 minuty
8	B	100	0,09	2 minuty
9	B	25	0,10	2 minuty
10	C	100	0,08	2 minuty
11	C	25	0,05	2 minuty
12	C	75	0,05	2 minuty
13	C	50	0,05	2 minuty

Tab.6.1. Zkušební třináctirežimový cyklus na dynamometru.[16]

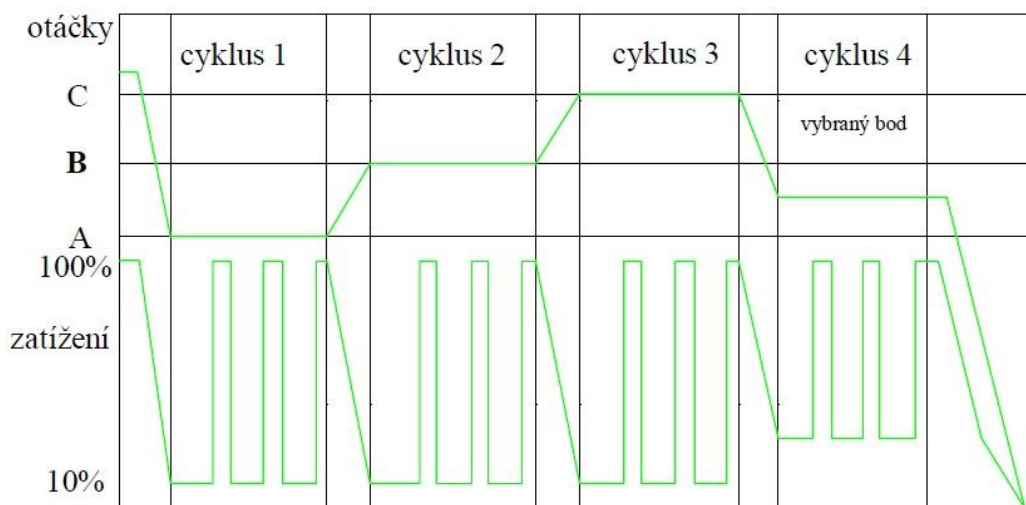
Motor musí pracovat v každém režimu po předepsanou dobu, přičemž se mění otáčky a zatížení v prvních 20 sekundách. Specifikované otáčky se musí udržovat v rozmezí  $\pm 50 \text{ min}^{-1}$  a specifikovaný točivý moment se musí udržovat v rozmezí  $\pm 2\%$  maximálního točivého momentu při zkušebních otáčkách. Na žádost výrobce se může postup zkoušky opakovat v počtu dostatečném k zachycení většího množství částic na filtru. Výrobce musí předložit podrobný popis postupů vyhodnocování měřených hodnot a výpočtů. Plynné emise se určují je při prvním cyklu. Během celého postupu zkoušky se použije jeden pár

filtrů. Váhové faktory pro jednotlivé režimy specifikované v postupu zkušebního cyklu se musí uvažovat tak, že se v každém jednotlivém režimu cyklu odebere vzorek proporcionální hmotnostního průtoku výfukových plynů.

Výstup analyzátorů se zapisuje zapisovačem nebo se zaznamenává odpovídajícím systémem záznamu dat v průběhu zkušebního cyklu, kdy výfukový plyn prochází analyzátory.

### 6.2.1.2 Zkouška ELR.

Motor a systém se zahřejí během při maximálním výkonu tak, aby se stabilizovaly parametry motoru podle doporučení výrobce. Když je motor stabilizován zahájí se cyklus v rozmezí  $20 \pm 2$  s po fázi stabilizace. Zkouška se skládá ze sledu tří stupňů zatížení při každých ze tří 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%. Kromě toho se provede čtvrtý zatěžovací stupeň vybraný zkušebnou a hodnota se porovná s hodnotami předcházejících zatěžovacích stupňů. Nejvyšší hodnota kouře se určí průměrovacím algoritmem. Při běhu zkoušeného motoru na dynamometru se musí dodržet následující sled zkoušky znázorněný na grafu.5.2.



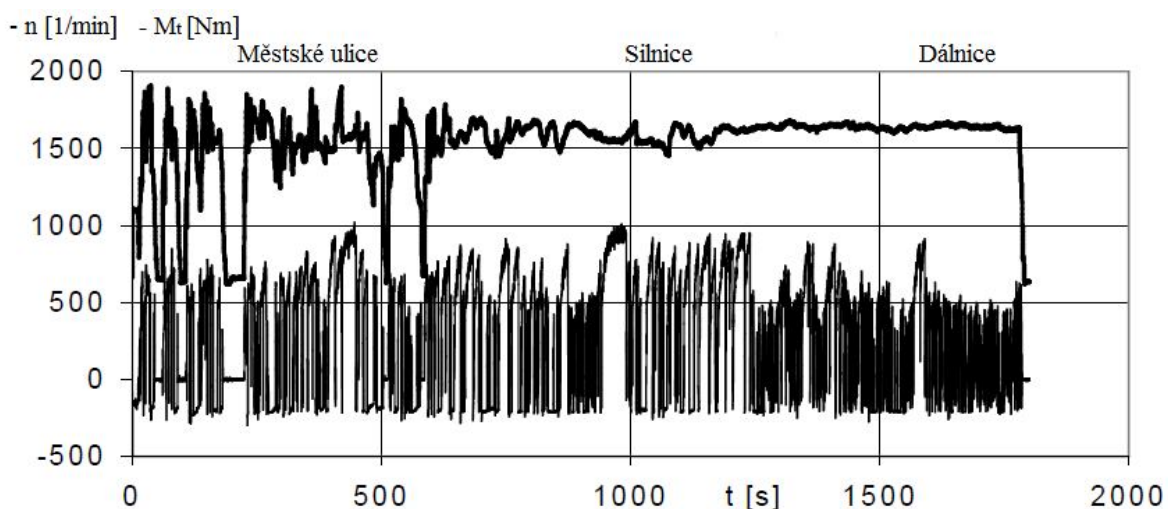
Graf.6.3. Sled zkoušky ELR.[16]

- Motor musí běžet s otáčkami A a se zatížením 10% po dobu  $20 \pm 2$  s. Specifikované otáčky se musí dodržovat v rozmezí  $\pm 20 \text{ min}^{-1}$  a specifikovaný točivý moment v rozmezí  $\pm 2 \%$  maximálního točivého momentu při otáčkách zkoušky.
- Na konci předcházejícího úseku se ovládací páka otáček uvede rychle do zcela otevřené polohy a tam se udržuje dobu  $10 \pm 1$  s. Dynamometr musí působit zatížením potřebným k tomu, aby otáčky motoru kolísaly nejvýše o  $\pm 150 \text{ min}^{-1}$  během prvních 3 s a nejvýše o  $\pm 20 \text{ min}^{-1}$  v průběhu zbývajících částí měřeného úseku.

- c) Sled popsaný v a) a b) se opakuje dvakrát.
- d) Po ukončení třetího stupně zatížení se v průběhu  $20 \pm 2$  s motor seřídí na otáčky B a na zatížení 10%.
- e) Sled a) až c) se provede s motorem běžícím s otáčkami B.

### 6.2.2 Zkouška ETC.

Zkouška se provádí při neustáleném cyklu s motorem zahřátým na provozní teplotu, přičemž tento předepsaný cyklus nahrazuje, s velmi dobrou přibližností silniční jízdní režimy specifické pro motory velkého výkonu instalované v nákladních automobilech a autobusech. V průběhu testu se analyzují výše uvedené znečišťující látky po zředění celkového množství výfukových plynů stabilizovaným okolním vzduchem. S použitím signálů zpětné vazby pro točivý moment a otáčky motoru přicházejících z dynamometru se integruje výkon v čase trvání cyklu a výsledkem je práce vykonaná motorem za cyklus. Během testu je motor zatěžován v 1800 režimech, které se mění každou sekundu. Test je dále složen ze třech částí, každá část je 600 s. Jsou to simulace městského, silničního a dálničního provozu.



Graf.6.4. Plán průběhu zkoušky ETC na dynamometru. [16]

Koncentrace  $\text{NO}_x$  a HC za cyklus se určí integrací signálu analyzátoru. Koncentrace CO,  $\text{CO}_2$  a NMHC se může určit integrací signálu analyzátoru nebo odběrem vzorku do vaku. Pokud se jedná o částice, zachytí se proporcionalní vzorek na vhodných filtrech. K výpočtu hodnot hmotnosti emisí znečišťujících látek se určí průtok zředěných výfukových plynů za cyklus. Z hodnot hmotnosti emisí ve vztahu k práci motoru se určí gramy každé znečišťující látky emitované na kilowatthodinu [g/kWh].

### 6.3 Měření emisí u motorů pro stacionární použití.

Stacionární plynové motory, používané v energetických jednotkách (zejména pro kogenerační provoz s produkcí elektrické energie a tepla), jsou pro energetické jednotky nejnižších výkonů založeny na nepřepřlňovaných motorech koncepce  $\lambda = 1$  (stechiometrická směs) se speciálním 3 složkovým katalyzátorem ve výfukovém potrubí, který zajišťuje velmi nízké výfukové emise plynových motorů při provozu na zemní plyn. Většina plynových motorů v kogeneračních jednotkách jsou přepřlňované motory s koncepcí  $\lambda \gg 1$  (spalování velmi chudých směs), které často mají ve výfukovém potrubí 2 složkový (oxidační) katalyzátor.

#### 6.3.1 Výpočet koncentrací složek emise.

Limity hmotnostní koncentrace škodlivin jsou předepsány vyhláškou MŽP č. 415/2012 Sb.

Průběh měření závisí na použitých analyzátozech:

- Při použití elektrochemického analyzátoru se měří 3 cykly v délce 15 minut minimálně s 5 sekundovým intervalem a tím získáme 180 hodnot,

Pozn: Při použití ostatních analyzátorů je doba měření 6 hodin, měření s cykly 30 min, tj. 12 cyklů, minimalně 30 sekundový interval, získáme 720 hodnot.

Výpočet parametrů složek CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, T.HC.

a) v jednotlivých cyklech (doba 15 nebo 30 minut), vypočteme:

- Střední objemovou koncentraci složky emise:  $\bar{c}_{s,i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n c_{s,i,j}$
- Střední směrodatnou odchylku složky emise:  $\bar{\sigma}_{s,i} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (c_{s,i,j} - \bar{c}_{s,i})^2}$
- Relativní směrodatnou odchylku složky emise:  $\bar{\delta}_{s,i} = \frac{\bar{\sigma}_{s,i}}{\bar{c}_{s,i}} \cdot 100\%$

kde: n je počet naměřených hodnot v cyklu 15 nebo 30 min.

b) v celém souboru měření (celkové hodnoty ze 3 event. 12 cyklů).

- Střední objemová koncentrace složky emise
  - ❖ Pro měření analyzátozy el. převodníky:  $c_{s,i, \text{stř}} = \frac{1}{3} \sum_{1}^3 \bar{c}_{s,i}$
  - ❖ Pro měření analyzátozy kontinuálními:  $c_{s,i, \text{stř}} = \frac{1}{12} \sum_{1}^{12} \bar{c}_{s,i}$
- Střední směrodatná odchylka složky emise:
  - ❖ Pro měření analyzátozy el. převodníky:  $\sigma_{s,i, \text{stř}} = \frac{1}{3} \sum_{1}^3 \bar{\sigma}_{s,i}$
  - ❖ Pro měření analyzátozy kontinuálními:  $\sigma_{s,i, \text{stř}} = \frac{1}{12} \sum_{1}^{12} \bar{\sigma}_{s,i}$
- Střední relativní směrodatná odchylka složky emise:  $\delta_{s,i, \text{stř}} = \frac{\sigma_{s,i, \text{stř}}}{c_{s,i, \text{stř}}} \cdot 100$

Pozn: nejistota určení hmotnostní koncentrace složky je vypočtena ze složek systematických nejistot a uvádí se jako rozšířená poměrná nejistota pro pásmo spolehlivosti 95% :

- Relativní střední směrodatná odchylka složky emise:  $\delta_{s,i,5\%} = \sqrt{\delta_{s,O_2,stř}^2 + \delta_{s,i,stř}^2}$

kde:  $\delta_{s,O_2,stř}$  je poměrná nejistota relativní směrodatné odchylky objemové koncentrace  $O_2$ .

### 6.3.2 Korekce na smluvní koncentraci kyslíku ve výfukových plynech.

Pro určení hmotnostních koncentrací škodlivin v exhalacích stacionárního spalovacího motoru v  $mg/m_N^3$  při smluvní koncentraci 5%  $O_2$ , musí se měřit koncentrace kyslíku v exhalacích s následnou korekcí naměřených hodnot koncentrací škodlivin na smluvní hodnotu koncentrace kyslíku v exhalacích. Korekce se provádí z důvodů:

- Mezní přípustné hodnoty koncentrace škodlivin nelze obejít ředěním spalin.
- Korigované hodnoty koncentrací lze použít k porovnávání různých spalovacích motorů pracujících s různými skutečnými součiniteli přebytku vzduchu.

Korekce se provádí podle následujícího vztahu:

$$C_{s,i,5\%} = \frac{16}{21 - c_{O_2,M}} \cdot C_{s,i,stř}$$

kde:

- $C_{s,i,5\%}$  je koncentrace korigovaná na smluvní koncentraci 5%  $O_2$ ,
- $c_{O_2,M}$  je naměřená koncentrace kyslíku ve spalinách,
- $C_{s,i,stř}$  je koncentrace změřená při skutečné objemové koncentraci  $O_2$  ve spalinách.

a) Výpočet hmotnost koncentrací  $C_s$  v  $mg/m_N^3$  z korigovaných objemových koncentrací  $C_{s,5\%}$  v (ppm) pro stav plynu v normálních podmínkách se provede podle vztahu:

$$C_s = C_{s,i,5\%} \cdot \rho_{n,i}$$

- $\rho_{n,i}$  [ $kg \cdot m^{-3}$ ] je hustota škodliviny v normálních podmínkách teplota  $t = 0^\circ C$  a tlak  $p = 101,3$  kPa :
  - ❖ Oxidy dusíku  $NO_2$ :  $\rho_{n,i} = 2,05$  [ $kg \cdot m^{-3}$ ].
  - ❖ Oxid uhelnatý  $CO$ :  $\rho_{n,i} = 1,25$  [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

b) Koncentrace kyslíku ve spalinách se počítá ze zjištěného teoretického přebytku vzduchu pro spalování, nebo se určuje analyzátozem:

$$O_2 = \frac{21 \cdot (\lambda - 1)}{\lambda - 0,1} \quad [\%]$$

c) Výpočet součinitele přebytku vzduchu:  $\lambda = \frac{20,9}{20,9 - O_{2,měř}}$

### 6.3.3 Vypočet hmotnostního toku emisí škodlivin.

Emisní toky se vyhodnocují pro stav vlhkých plynů. Objemové koncentrace složek CO, NO<sub>x</sub> se při měření určují z podmínek suchých plynů a proto je nutné provést jejich přepočítání na podmínky vlhkých plynů.

Střední hmotnostní tok složky emise:

$$E_i = C_{s,i, stř.}^v \cdot \rho_i \cdot V_{sp} = C_{s,i, stř.}^v \cdot \frac{\rho_i}{\rho_{sp}} \cdot G_{sp} = C_{s,i, stř.}^v \cdot \frac{\rho_i}{1,293} \cdot [G_{pal} + G_{vzd}]$$

kde:

- $C_{s,i, stř.}^v$  je střední objemová koncentrace složky emisí ve vlhkých plynech [kg/h],
- $\rho_i$   $\rho_{sp}$  jsou hustota škodliviny a hustota exhalací [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],
- $V_{sp}$  je střední objemová spotřeba spalin,
- $G_{sp}$  je hmotnost tok vlhkých spalin [kg/h],
- $G_{pal}$  je hmotnost spotřeba paliva [kg/h],
- $G_{vzd}$  je hmotnost tok vzduchu nasávaného motorem [kg/h].

### 6.3.4 Vypočet emisního faktoru.

Emisní faktor je určen jako množství škodliviny v [kg] vznikající při spálení  $10^6 \text{ m}_N^3$  plynu. Vypočet emisního faktoru podle vztahu:

$$f_i = E_i \frac{10^6 \cdot \rho_{pal}}{G_{pal}} \text{ nebo } f_i = \frac{E_i}{V_{pal}} \cdot 10^6$$

kde:

- $f_i$  je emisní faktor pro i-tou složku,
- $E_i$  je střední hmotnostní tok složky emise,
- $G_{pal}$  je množství spotřebovaného paliva,
- $\rho_{pal}$  je hustota paliva,
- $V_{pal}$  je střední objemová spotřeba paliva.

## 7. Výsledky měření emisí.

Výsledky v tabulkách jsou získané z protokolů o autorizovaném měření od roku 2002 do 2013 ve zkušební laboratoři pístových spalovacích motorů Technické univerzity v Liberci.

Kogenerační jednotka je určena pro zásobování připojených objektů teplem a vyrobená elektrická energie je dodávána do veřejné sítě. Kogenerační jednotka je provozována pouze v režimu max. seřízeného výkonu. Autorizované jednorázové měření emisí a ověření výkonu motoru bylo provedeno ve třech krátkodobých nepřetržitých 15 minutových měřeních výkonu. Analyzátor MRU 95/3D snímá koncentrace složek v intervalu 3 sekund (složky CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>). Měření složky T.HC bylo provedeno analyzátozem HB FIDAS 2T a měření složky NMHC byly vypočteny z T.HC na pokladě provedených analyzátozem HORIBA FIA 321K a musí splňovat další podmínky motorů (zatížení motoru v cyklech, otáčky motoru, atmosférický tlak, relativní vlhkost, teplota nasávaného vzduchu, teplota chladicí kapaliny výstup, teplota oleje a teplota spalin za katalyzátorem). Výsledek výpočtu emisních faktorů a měrných výrobních emisí jednotlivých složek emisí je proveden z průměrných koncentrací složek pro celé kontinuální měření přepočtených na smluvní 5% obsahu zbytkového kyslíku v podmínkách suchých plynů (odpovídající přebytek vzduchu pro tento stav  $\lambda = 1,3125$ ). Spotřeba plynu byla přepočtena na normální podmínky (101,325 kPa a 0°C).

V diplomové práci jsou uvedeny hodnoty ze zkušebních protokolů. Základní princip postupu prováděné analýzy výsledků jsou popsány v následující části práce. K vyhodnocení byla použita regresní analýza. Regresní analýza je statistická metoda.

$$y = a_1x + a_0$$

kde:

- $a_0$  odhaduje hodnotu závisle proměnné za předpokladu, že hodnoty všech regresorů jsou nulové,
- $a_1$  odhaduje závisle proměnnou v případě, kdy se regresor zvýší o 1.

Regresní koeficient se zjišťuje odhadem na základě vyhodnocení výběrového souboru. Regresní koeficient má obdobné vlastnosti jako korelační koeficient. Velikost koeficientu je v rozmezí  $-1 \leq r_{xy} \leq 1$ . Odhad střední hodnoty podmíněných středních hodnot závislé náhodné veličiny:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_1^n y_i$$

Rozptyl závislé náhodné veličiny:

$$\bar{\sigma}^2 y = \frac{1}{n-1} \sum_1^n [y_i - \bar{y}]^2$$



Pro posouzení průběhu regresní funkce se použije rozptyl vzhledem k teoretickým hodnotám ( hodnotám na regresní přímce).

$$\bar{\sigma}^2_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_1^n [y_i - \bar{y}]^2$$

Regresní koeficient:

$$R_{xy} = r_{xy} = \sqrt{1 - \frac{\bar{\sigma}^2_{xy}}{\bar{\sigma}^2_y}}$$

Udává kvalitu regresního modelu, tj.jaká část rozptylu vysvětlované proměnné je vysvětlena modelem. Nízká hodnota R, nemusí znamenat názký stupeň závislosti mezi proměnnými, ale může signalizovat chybnou volbu typu regresní funkce.

Pro lepší přehlednost a vzájemné porovnání jsou hodnoty z měření vloženy do společného grafu, pro jednotlivé složky emisí výfukových plynů.

Dále uváděné rozbory byly zaměřeny na:

- posouzení závislosti emisí na výkonu zdroje,
- posouzení závislosti emisí na obsahu kyslíku ve spalinách (bohatost směsi při spalování paliva)
- bezprostřední měření pro 50, 75 a 100% výkon kogenerační jednotky.

## Seznam měřených zdrojů

- 1) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.1.
- 2) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.2.
- 3) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.3.
- 4) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.4.
- 5) Děčín – Želenice: JENBACHER J 616 GS-CO2 soustrojí č. 1.
- 6) Děčín – Želenice: JENBACHER J 616 GS-CO2 soustrojí č. 2.
- 7) Děčín – Želenice: JENBACHER J 616 GS-CO2 soustrojí č. 3.
- 8) Týnec: CAT 3616 soustrojí č. 1
- 9) Týnec: TEDOM MT 1000 CAT soustroj č.2
- 10) Děčín: Motor JMS 616 soustrojí NDM 20 rok 2002
- 11) Děčín: Motor JMS 616 soustrojí NDM 20 rok 2004
- 12) Děčín: Motor JMS 316 soustrojí NDM 10 rok 2002
- 13) Děčín: Motor JMS 316 soustrojí NDM 10 rok 2004

### Poznámka:

Vyhodnocované soubory dat emisí byly získány z měření při skutečných provozních podmínkách, které byly v jednotlivých letech proměnlivé. Při analýze jsou ovlivňující faktory považovány za relativně stálé (s určitou hodnotou variability) a jejich souhrnný vliv je hodnocen jako nevýznamný. Při analýze výsledků byly zvoleny za významné pouze obsah O<sub>2</sub> a celkový příkon jednotky.

Pouze u kogeneračních jednotek 10 až 13 byla stálost těchto provozních parametrů zaručena (bezprostřední měření pro 50, 75 a 100% výkon kogenerační jednotky).

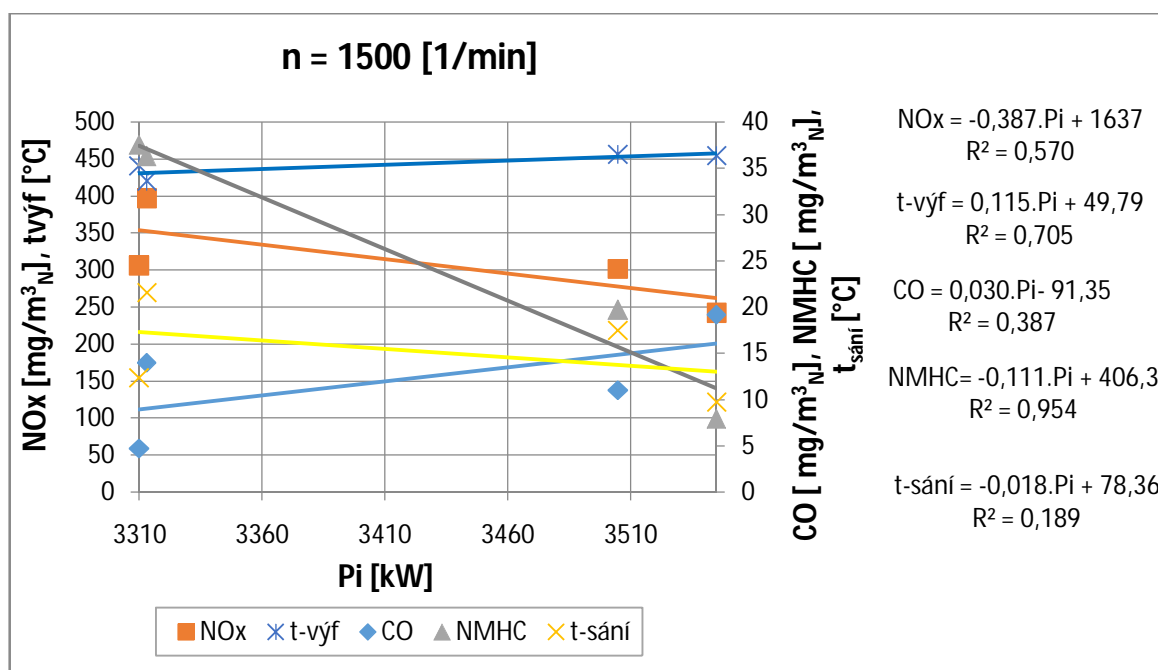
1) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.1.

Složka	Jed./rok	2004	2006	2008	2009	$\bar{C}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	14,0	4,7	11,0	19,2	12,23	6,05	49,52
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	396,7	305,9	302,2	241,9	311,68	63,83	20,48
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	36,3	37,5	19,7	7,9	25,35	14,19	55,97
O <sub>2</sub>	%	9,9	10,7	10,46	10	10,27	0,38	3,69
P <sub>i</sub>	kW	3313	3310	3505	3545	3418	124,35	3,64
P <sub>el</sub>	kW	1162	1162	1170	1170	1166	4,62	0,40
t <sub>sání</sub>	°C	21,6	12,4	17,5	9,8	15,33	5,27	34,36
t <sub>výf</sub>	°C	420	441,3	457	455	443,33	17,04	3,84
λ	-	1,90	2,05	2,00	1,92	1,97	0,07	3,58
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	330,49	338,0	350,75	354,9	343,54	11,28	3,28
η	%	35,07	35,11	33,38	33	34,14	1,11	3,24
f <sub>i</sub> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	167,8	56,3	133,0	235,3	148,10	74,49	50,30
f <sub>i</sub> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	4755,2	3395,1	3655,0	2963,1	3692,1	764,03	20,69
f <sub>i</sub> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	435,1	449,5	238,3	111,5	308,60	162,94	52,80

Tab.7.1

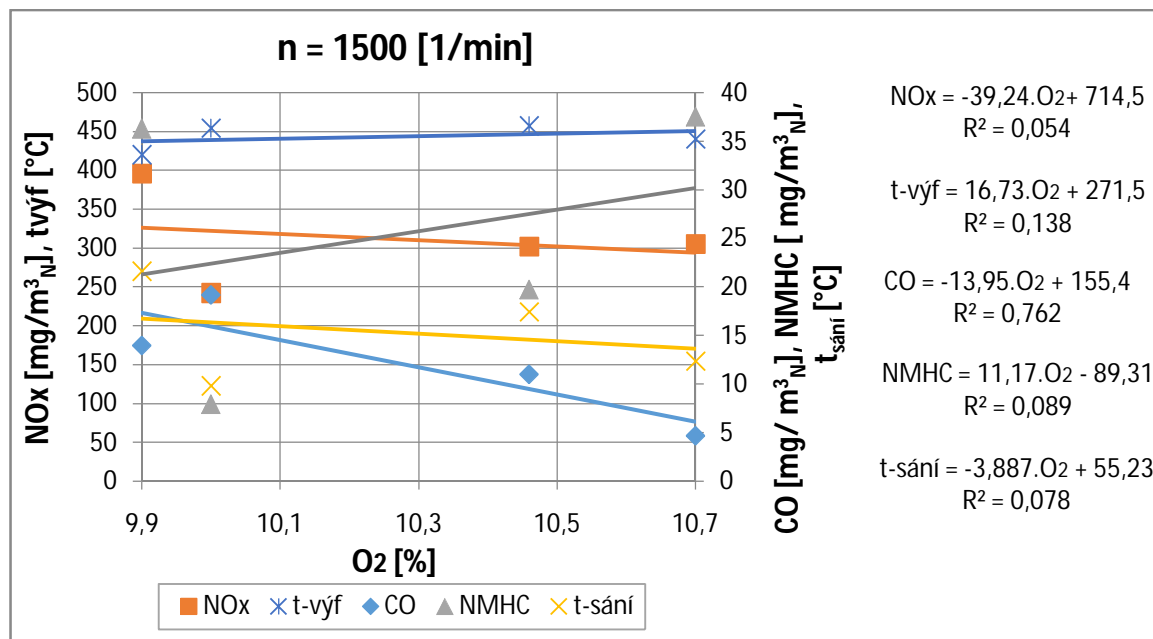
Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce č. 1, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Bynově. Získal jsem údaje v letech 2004–2009 z protokolů zážehového plynového motoru MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K výrobní číslo 620 16.00306 soustrojí č.1. Motor má zdvihový objem 70,82 dm<sup>3</sup>, vrtání válce 170 mm, zdvih pístu 195mm, počet válců 16, elektrický výkon 1160 kW, jmenovité otáčky 1500 min<sup>-1</sup>. Z jednotlivých údajů jsem počítal střední hodnoty  $\bar{C}$ , směrodatnou odchylku  $\bar{\sigma}$  a relativní směrodatnou odchylku  $\bar{\delta}$ .

V grafech jsou vyneseny hodnoty jednotlivých složek v režimu zvýšených výkonu a kyslíku.



Graf.7.1. Závislost na výkonu.

Údaje jsem zakreslil do grafu a pomocí regresní analýzy jsem získal tyto vztahy.  $\text{NO}_x$  je závislé na teplotě sání. Obsahu  $\text{NO}_x$ , NMHC klesají pokud  $t_{\text{sání}}$  klesá. Vznik  $\text{NO}_x$  je ovlivněn vysokou teplotou a tlaku.



Graf.7.2. Závislost na kyslíku.

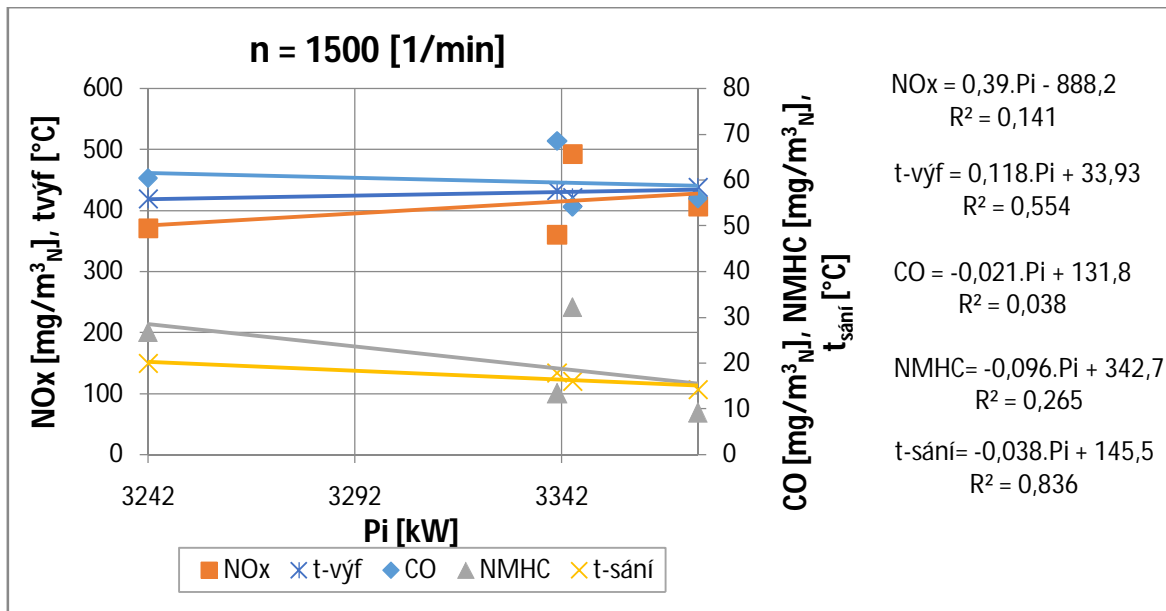
Na grafu můžeme vidět průběhy  $\text{NO}_x$ , NMHC. Tyto mají trendy v závislosti na kyslíku: Emise  $\text{NO}_x$  se snižují, když  $\text{O}_2$  se zvyšuje. Růstem součinitele přebytku vzduchu  $\lambda$ , se zároveň zvyšují i NMHC. Minimum hodnoty NMHC leží v oblasti  $\lambda = 1,1$  až  $1,3$ .

2) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.2.

Složka	Jed./rok	2004	2006	2008	2009	$\bar{C}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$
CO	$\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$	60,5	54,2	68,6	56,0	59,83	6,42	10,73
$\text{NO}_x$	$\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$	371,8	493,7	361,6	407,4	408,63	60,02	14,69
NMHC	$\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$	26,8	32,2	13,4	9,2	20,40	10,87	53,30
$\text{O}_2$	%	10	10,80	10,43	9,83	10,27	0,44	4,26
$P_1$	kW	3242	3344	3341	3375	3325	57,81	1,74
$P_{\text{el}}$	kW	1170	1160	1170	1170	1167	5,00	0,43
$t_{\text{sání}}$	$^{\circ}\text{C}$	20	16,1	17,9	14,3	17,08	2,44	14,30
$t_{\text{výf}}$	$^{\circ}\text{C}$	420	422	434	439	428,75	9,22	2,15
$\lambda$	-	1,92	2,07	2,00	1,89	1,97	0,08	4,15
$V_{\text{zp}}$	$\text{m}^3_{\text{N}}/\text{h}$	323,73	338,0	334,31	337,48	333,38	6,64	1,99
$\eta$	%	36,09	34,68	35,02	34,67	35,11	0,67	1,91
$f_i(\text{CO})$	$\text{kg}/10^6 \text{m}^3_{\text{N}}$	725,2	649,7	826,5	685,6	721,75	76,34	10,58
$f_i(\text{NO}_x)$	$\text{kg}/10^6 \text{m}^3_{\text{N}}$	4456,7	5917,8	4373,5	4989,8	4934,5	710,15	14,39
$f_i(\text{NMHC})$	$\text{kg}/10^6 \text{m}^3_{\text{N}}$	390,8	455,5	186,3	129,8	290,60	157,02	54,03

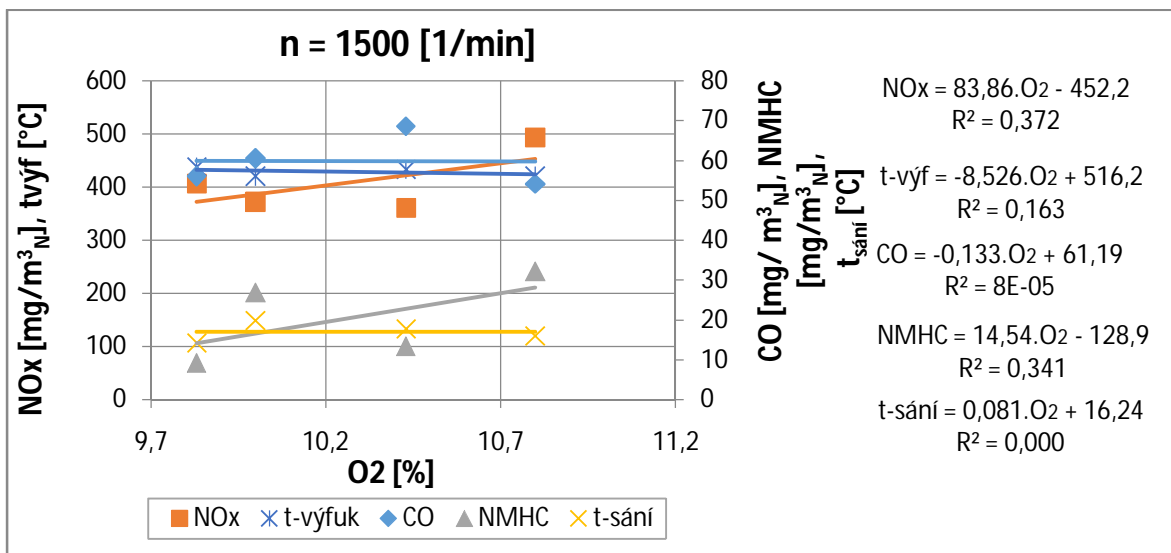
Tab.7.2

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce č. 2, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Bynově. Získal jsem údaje v letech 2004 až 2009 z protokolů zážehového plynového motoru MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, výrobní číslo 620 16.00307 soustrojí č.2. Motor má zdvihový objem 70,82 dm<sup>3</sup>, vrtání válce 170 mm, zdvih pístu 195mm, počet válců 16, elektrický výkon 1160 kW, jmenovité otáčky 1500 min<sup>-1</sup>.



Graf.7.3. Závislost na výkonu.

Na grafu můžeme vidět průběh NO<sub>x</sub> se zvyšuje. Významný vliv na emise NO<sub>x</sub> má růst výkonů motoru. Uvedenému stavu odpovídají větší variabilitu NO<sub>x</sub> a Pe, popsaná střední směr odchylkou. NMHC klesá. Hodnoty s koeficientem determinace je velmi nízký, tedy 0,141. Tím pádem docházíme k tomu, že není přesně vysoký.



Graf.7.4. Závislost na kyslíku.

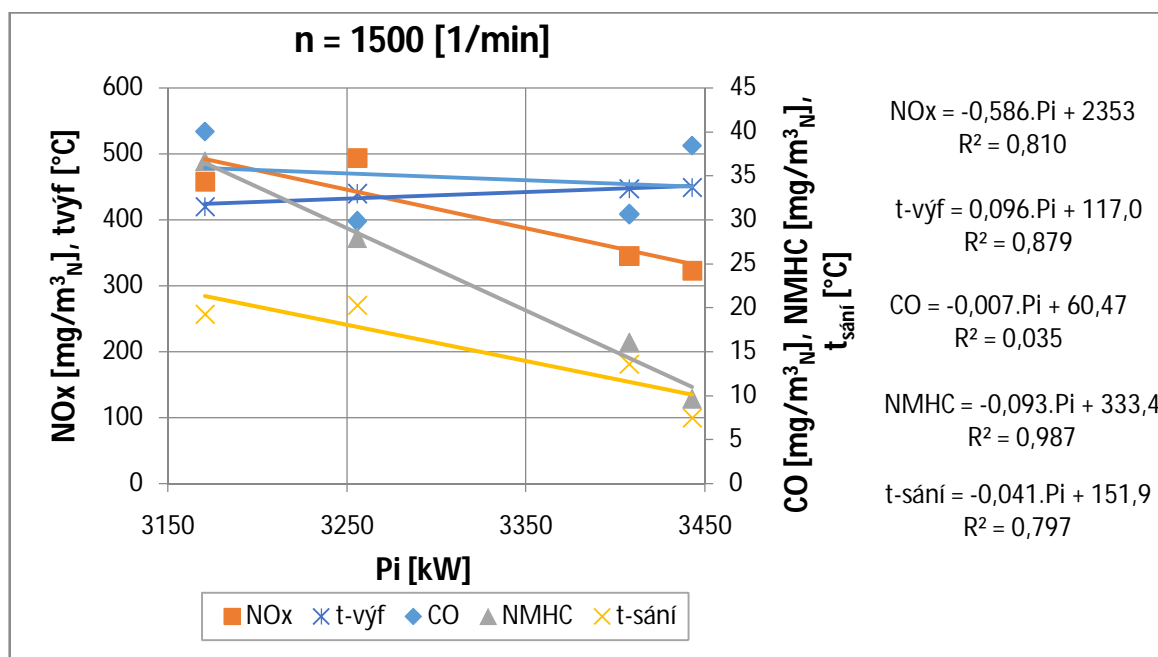
Průběh NMHC se zvyšuje tehdy, když O<sub>2</sub> roste. Pro průběh CO neroste ani neklesá a mají relativní směrodatnou odchylku 10,37%.

### 3) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.3.

Složka	Jed./rok	2004	2006	2008	2009	$\bar{C}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	40,0	29,8	30,6	38,4	34,70	5,25	15,12
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	457,7	493,5	345,7	322,7	404,90	83,47	20,61
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	36,6	27,9	16,0	9,6	22,53	12,06	53,56
O <sub>2</sub>	%	10,2	10,1	10,53	10,06	10,22	0,21	2,09
P <sub>i</sub>	kW	3171	3256	3408	3443	3319,5	128,02	3,86
P <sub>el</sub>	kW	1160	1160	1170	1170	1165	5,77	0,5
t <sub>sání</sub>	°C	19,3	20,3	13,6	7,5	15,18	5,91	38,92
t <sub>výf</sub>	°C	420	439	447	449	438,75	13,23	3,01
λ	-	1,95	1,94	2,02	1,93	1,96	0,04	2,03
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	316,6	325,08	340,99	344,74	331,85	13,27	4,00
η	%	36,58	35,63	34,33	33,98	35,13	1,20	3,41
f <sub>i</sub> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	479,5	357,2	370,1	470,4	419,30	64,58	15,40
f <sub>i</sub> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	5486,4	5915,4	4181,2	3953,1	4884	963,88	19,74
f <sub>i</sub> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	533,4	382,4	222,5	116,4	313,68	182,79	58,27

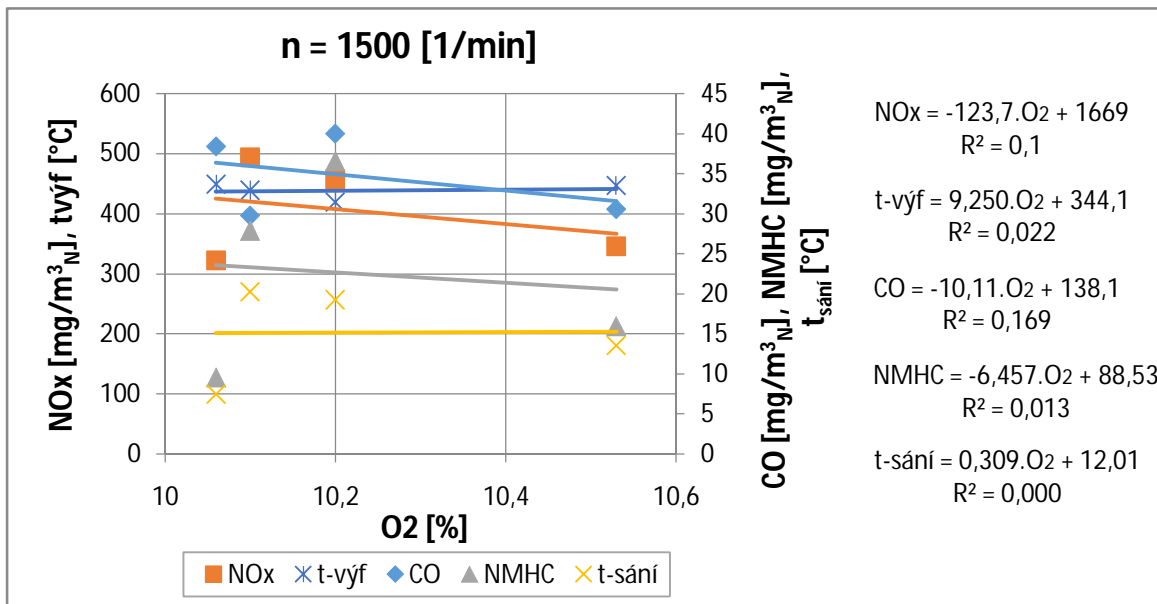
Tab.7.3

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce č. 3, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Bynově. Získal jsem údaje v letech 2004 – 2009 z protokolů zážehového plynového motoru MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, výrobní číslo 620 16.00288 soustrojí č.3. Podmínky měření zatížení motoru v cyklech 1162 kW, otáčky motoru 1500 min<sup>-1</sup>, atmosférický tlak 99 kPa, relativní vlhkost 25 %, teplota nasávaného vzduchu 21 °C, teplota oleje 81 až 83 °C.



Graf.7.5. Závislost na výkonu.

Průběh CO, NO<sub>x</sub>, NMHC klesají. NMHC mají trend velkého snížení, které se mění relativní směrodatnou odchylku 53,56 %. V souboru měření byla zjištěna velká variabilitu NO<sub>x</sub>, která odpovídá větší variabilitě celkového příkonu jednotky, přičemž změna elektrického výkonu je poměrně malá. Významná emise ovlivňuje obsah kyslíku ( $\lambda$ ), který má hodnotu s koeficientem determinace 0,810, má vysokou spohlelivost.



Graf.7.6. Závislost na kyslíku.

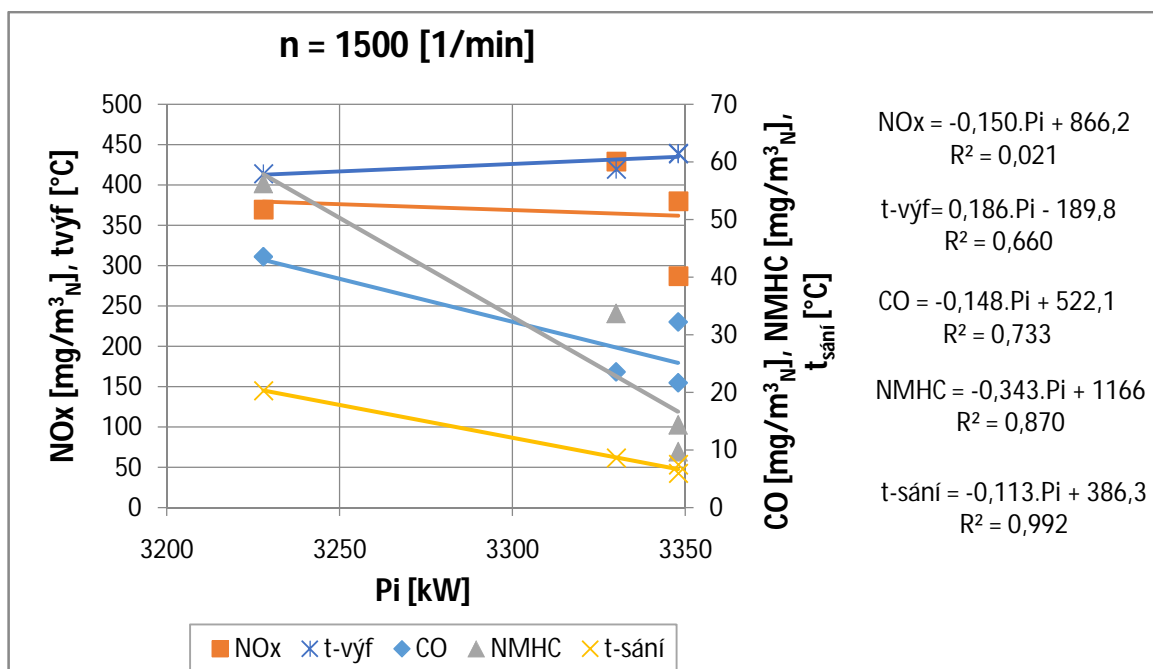
Průběh NMHC mají trend, který neroste ani neklesá, růst obsahu O<sub>2</sub> z 10,06 až 10,53%. Průběh emisí NO<sub>x</sub> a CO klesá. Obsah O<sub>2</sub> má malou relativní směrodatnou odchylku 2,09 %.

#### 4) Děčín – Bynov: MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, soustrojí č.4.

Složka	Jed./rok	2004	2006	2008	2009	$\bar{c}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	43,6	23,6	21,7	32,2	30,28	9,99	32,99
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	369,8	429,3	380,1	287,5	366,68	58,82	16,04
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	56,2	33,7	14,3	9,7	28,48	21,21	78,48
O <sub>2</sub>	%	10,6	10,7	9,6	10,33	10,31	0,5	4,82
P <sub>i</sub>	kW	3228	3330	3348	3348	3313,5	57,63	1,74
P <sub>el</sub>	kW	1165	1165	1170	1170	1167,5	2,89	0,25
t <sub>sání</sub>	°C	20,3	8,7	7,4	6,0	10,60	6,56	61,89
t <sub>výf</sub>	°C	414	420	439	440	428,25	13,23	3,09
$\lambda$	-	2,03	2,05	1,85	1,98	1,98	0,09	4,54
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	322,30	332,46	335,03	343,29	333,27	8,65	2,60
$\eta$	%	36,09	34,98	34,95	34,95	35,24	0,57	1,61
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	522,6	282,9	287,9	394,0	371,85	112,81	30,34
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	4432,7	5145,9	4597,2	3521,7	4424,4	674,63	15,25
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	818,7	457,9	201,98	119,0	399,4	314,55	78,76

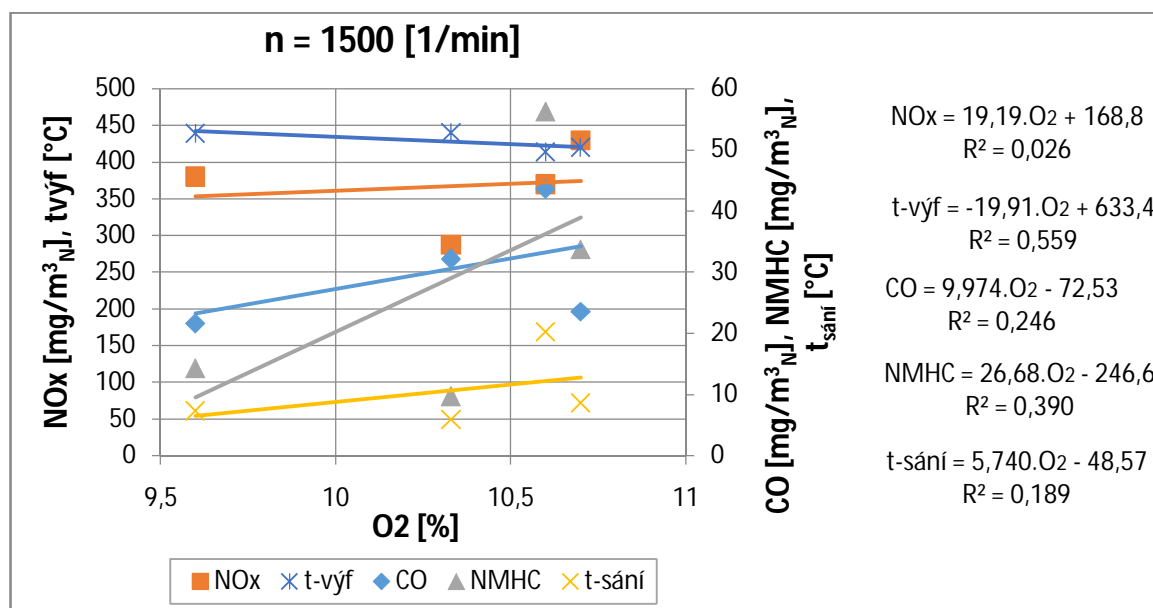
Tab.7.4

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce č. 4, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Bynově. Získal jsem údaje v letech 2004 – 2009 z protokolů zážehového plynového motoru MWM DEUTZ TBG 620 V 16 K, výrobní číslo 620 16.00287 soustrojí č.4, elektrický výkon 1160 kW.



Graf.7.7. Závislost na výkonu.

V závislosti na příkonu kogenerační jednotky emise CO a NO<sub>x</sub> klesají (trend na grafu je zřejmě způsoben změnou obsahu kyslíku) a NMHC klesá ještě víc, NMHC má relativní směrodatnou odchylku 78,48 %. Hodnoty jsou olivněny poklesem, t<sub>sání</sub> klesá což je zřejmé z velké relativní směrodatné odchylky 61,89 % a vliv t<sub>výf</sub> se tento vliv na parametru se projevil méně, zvýšil se pouze o 3,09 %.



Graf.7.8. Závislost na kyslíku.



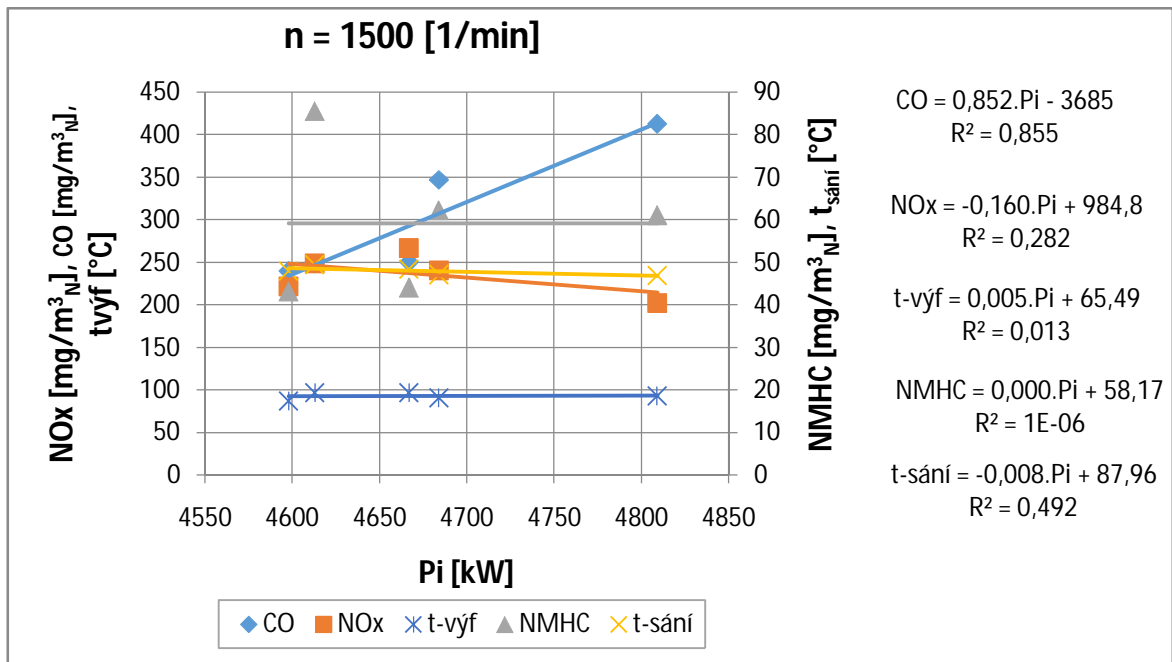
Na grafu můžeme vidět, že průběh CO, NO<sub>x</sub> a NMHC mají trend se zvyšovat. Když se zvyšuje průběh O<sub>2</sub>, tak průběhy CO a NMHC se zvyšují normálně a NO<sub>x</sub> se snižuje. Zde NO<sub>x</sub> má opačný průběh a zřejmě se uplatňují ostatní ovlivňující parametry, což z měření nelze popsat. Pro průběh t<sub>výf</sub> se taky snižuje.

5) Děčín – Želenice: JENBACHER J 616 GS-CO2 soustrojí č. 1.

Složka	Jed./rok	2004	2006	2007	2008	2009	$\bar{c}$	$\sigma$	$\delta$
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	248,3	250,1	239,6	346,7	412,6	299,5	76,92	25,69
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	249,3	267,2	221,6	240,8	202,1	236,2	25,15	10,65
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	85,6	44,0	43,1	62,2	61,1	59,20	17,32	29,26
O <sub>2</sub>	%	11,9	12,4	12,5	12,2	11,1	12,02	0,56	4,68
P <sub>1</sub>	kW	4613	4667	4598	4684	4809	4674	83,47	1,79
P <sub>el</sub>	kW	1705	1700	1700	1700	1700	1701	2,24	0,13
t <sub>sání</sub>	°C	49,5	48,5	48	47,2	47	48,04	1,02	2,12
t <sub>výf</sub>	°C	97	97	87	91	93	93,00	4,24	4,56
$\lambda$	-	2,32	2,46	2,49	2,40	2,13	2,36	0,14	6,03
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	460,59	466,10	458,95	468,74	481,5	467,18	8,94	1,91
$\eta$	%	36,96	36,43	36,97	36,29	35,35	36,40	0,66	1,82
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2976,3	2747,8	2872,0	4193,3	5053,6	3568,6	1013	28,39
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2988,3	3202,6	2656,3	2912,4	2475,6	2847	285	10,01
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1285,0	588,6	574,2	846,6	848,8	828,64	287,8	34,73

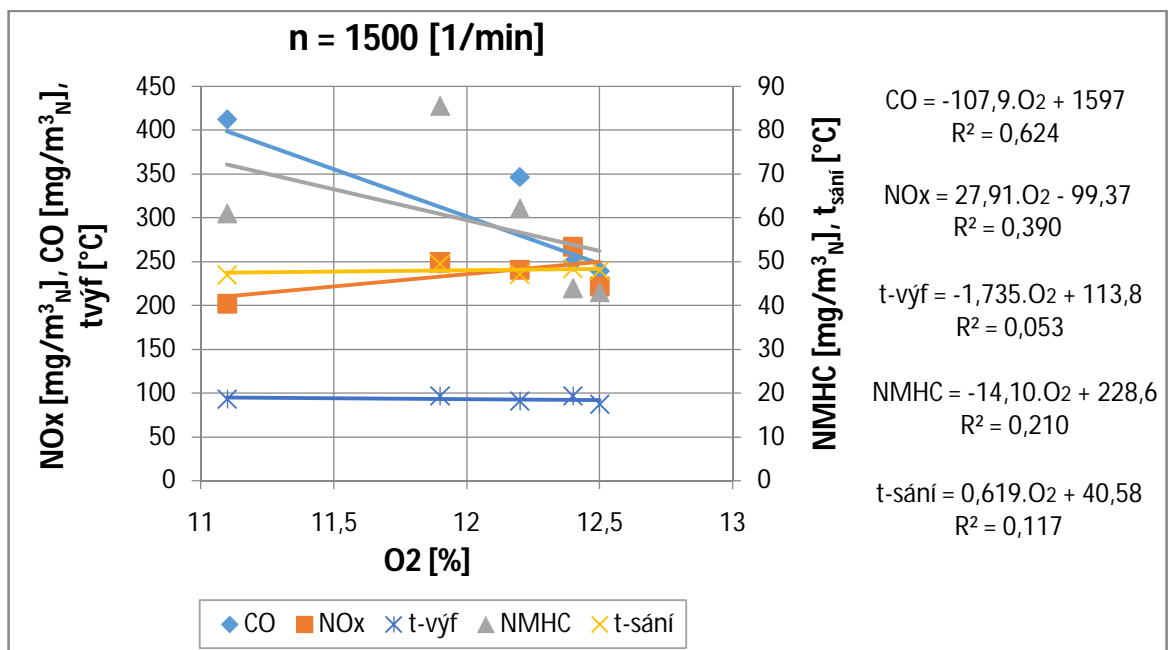
Tab.7.5

Měření bylo provedeno na motoru, který pohání kogenerační jednotku č. 1, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Želenicích. Získal jsem údaje v letech 2004 až 2009 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 616 GS-CO2 výrobní číslo 261685. Motor mají zdvihový objem 99,8 dm<sup>3</sup>, vrtání válce 190 mm, zdvih pístu 220 mm, počet valců 16, elektrický výkon 1754 kW, jmenovité otáčky 1500 min<sup>-1</sup>, kompresní poměr 11.



Graf.7.9. Závislost na výkonu.

Z tabulky pro soubor měření je zřejmě velká variabilita pro celkový příkon, což se projevuje i ve větší variabilitě všech složek emisí. V grafu 7.9 je navržena závislost poklesu NO<sub>x</sub> při vyšším příkonu motoru, což jistě není správné tvrzení.



Graf.7.10. Závislost na kyslíku.

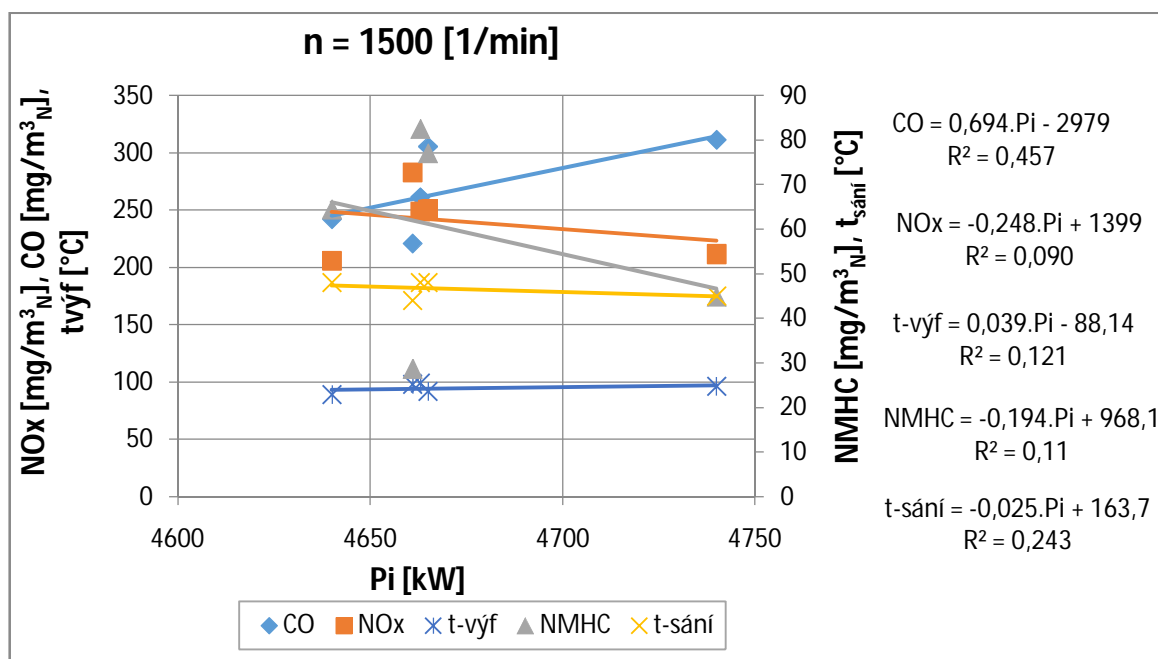
Obsah O<sub>2</sub> se zvyšuje z 11,1 až na 12,5 %. Průběh NO<sub>x</sub>, NMHC rozdílí z teorie (NO<sub>x</sub> klesá, CO a NMHC zvyšují). Jsou zjištěné průběhy odlišné CO klesá, při nižším obsahu kyslíku (O<sub>2</sub>). Významně ovlivňujícím faktorem je proměnlivý příkon kogenerační jednotky.

6) Děčín – Želenice: JENBACHER J 616 GS-CO2 soustrojí č. 2.

Složka	Jed./rok	2004	2006	2007	2008	2009	$\bar{c}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	261,7	221,1	242,4	305,7	311,6	268,50	39,42	14,68
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	248,5	282,7	205,8	251,0	211,6	239,92	31,59	13,17
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	82,5	28,7	64,5	77,0	44,9	59,52	22,48	37,77
O <sub>2</sub>	%	12,0	11,83	12,86	12,43	11,1	12,04	0,66	5,50
P <sub>i</sub>	kW	4663	4661	4640	4665	4740	4673,8	38,35	0,82
P <sub>el</sub>	kW	1696	1695	1695	1700	1700	1697,2	2,59	0,15
t <sub>sání</sub>	°C	48	44	48	48	45	46,6	1,95	4,18
t <sub>výf</sub>	°C	99,3	98	89	92	96,3	94,92	4,31	4,54
λ	-	2,35	2,30	2,60	2,47	2,13	2,37	0,18	7,41
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	465,61	465,4	463,17	466,82	474,61	467,12	4,39	0,94
η	%	36,37	36,37	36,53	36,44	35,86	36,31	0,26	0,72
f <sub>i</sub> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	3136,9	2650,3	2905,6	3697,4	3816,5	3241,3	502,9	15,52
f <sub>i</sub> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2978,7	3388,7	2466,9	3035,8	2593,6	2892,7	369	12,76
f <sub>i</sub> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	988,9	383,6	854,7	1045,0	623,5	779,1	274,3	35,21

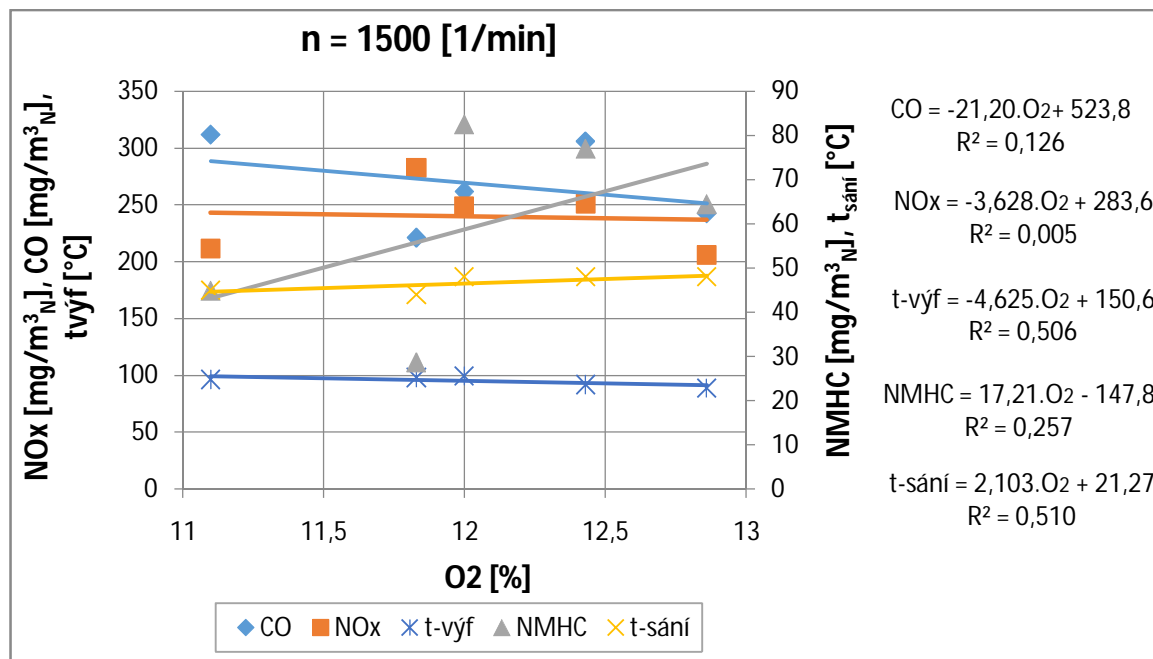
Tab.7.6

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce č. 2, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Želenicích. Získal jsem údaje v letech 2004 až 2009 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 616 GS-CO2 výrobní číslo 261685 1, ve kterém je mechanicky spojen s elektrickým třífázovým generátorem. K pohonu je využíván zemní plyn z centrálního plynového rozvodu.



Graf.7.11. Závislost na výkonu.

Průběhy emisí a jejich trendy jsou podobné jako u jednotky č.5. Také zde lze považovat celkový příkon jednotky za významně variabilní. Hodnoty s koeficientem determinace velmi nízký 0,09.



Graf.7.12. Závislost na kyslíku.

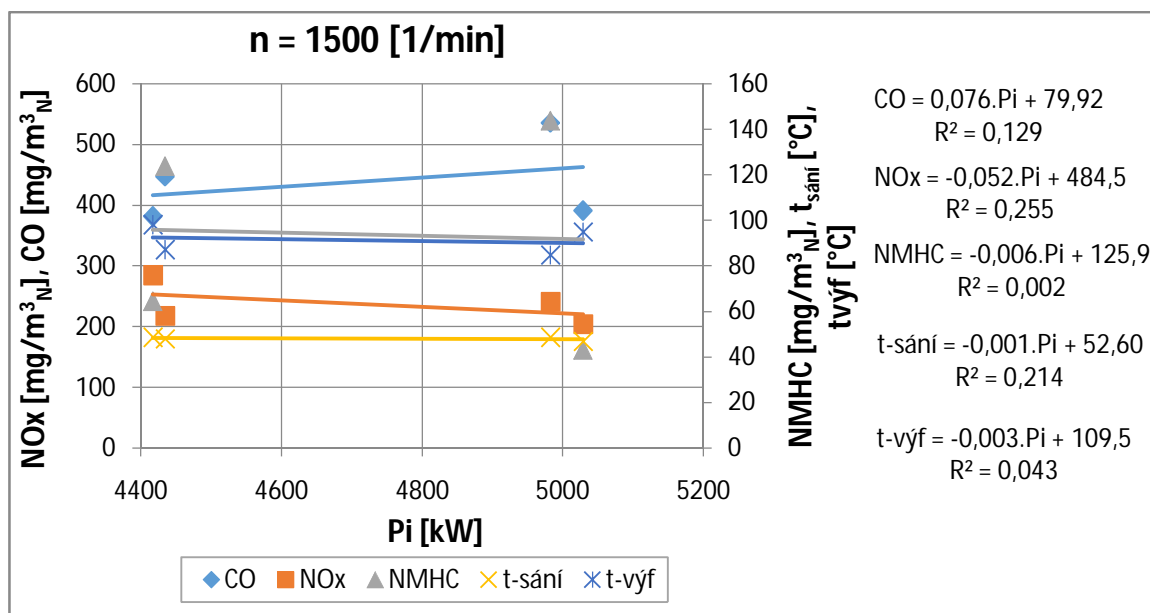
Na grafu můžeme vidět průběh CO klesá, který má nedostatek kyslíku při spalování, což je jeden z hlavních způsobů vzniku CO, jak je popsáno v podkapitole 1.2.1. Pro průběh NMHC mají trend se zvyšovat a NO<sub>x</sub> klesá.

#### 7) Děčín – Želenice: JENBACHER J 616 GS-CO2 soustrojí č. 3.

Složka	Jed./rok	2006	2007	2008	2009	$\bar{c}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	381,2	446,9	535,8	390,6	438,63	70,98	16,18
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	284,2	218,1	241,3	204,9	237,13	34,80	14,68
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	64,4	123,8	143,7	42,9	93,70	47,77	50,98
O <sub>2</sub>	%	12,1	13,63	12,6	10,16	12,12	1,46	12,00
P <sub>i</sub>	kW	4417	4434,6	4982	5029	4715,6	335,32	7,11
P <sub>el</sub>	kW	1565	1470	1700	1700	1608,7	112,28	9,98
t <sub>sání</sub>	°C	48,5	48	48,5	47	48	0,71	1,47
t <sub>výf</sub>	°C	98	87	85	95	91,25	6,24	6,48
λ	-	2,38	2,87	2,52	1,95	2,43	0,38	15,82
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	441,2	442,66	498,52	503,53	471,48	34,18	7,25
η	%	35,43	33,15	34,12	33,8	34,13	0,96	2,81
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	4569,4	5356,9	6480,4	4784,3	5297,7	855,63	16,15
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	3406,6	2614,3	2918,5	2509,5	2862,3	402,24	14,05
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	864,2	1625,4	1940,0	602,6	1258	628,42	49,95

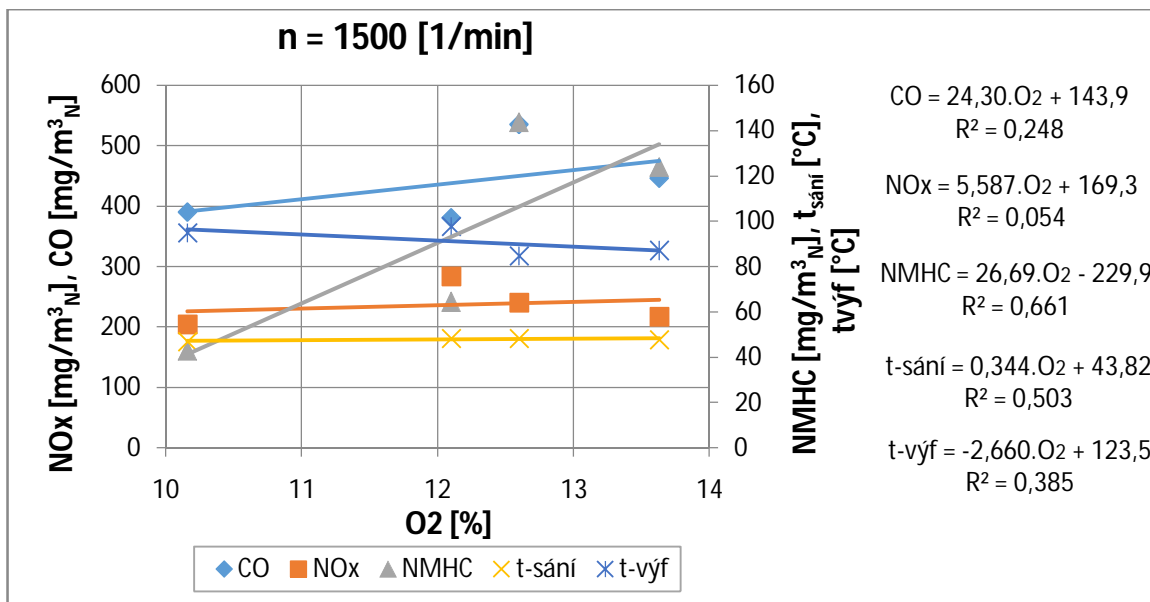
Tab.7.7

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce č. 3, z firmy TERMO Děčín a.s., v Děčíně-Želenicích. Získal jsem údaje v letech 2006 až 2009 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 616 GS-CO2 výrobní číslo 261685 2, elektrický výkon 1754 kW.



Graf.7.13. Závislost na výkonu.

Hodnota obsahu NO<sub>x</sub> a NMHC ve spalinách nebyla překročena. Emise klesají, při t<sub>sání</sub>, která se mění velmi málo, střední směrodatnou odchylku 1,47%. Maximální hodnota obsahu NO<sub>x</sub> je 284,2 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>.



Graf.7.14. Závislost na kyslíku.

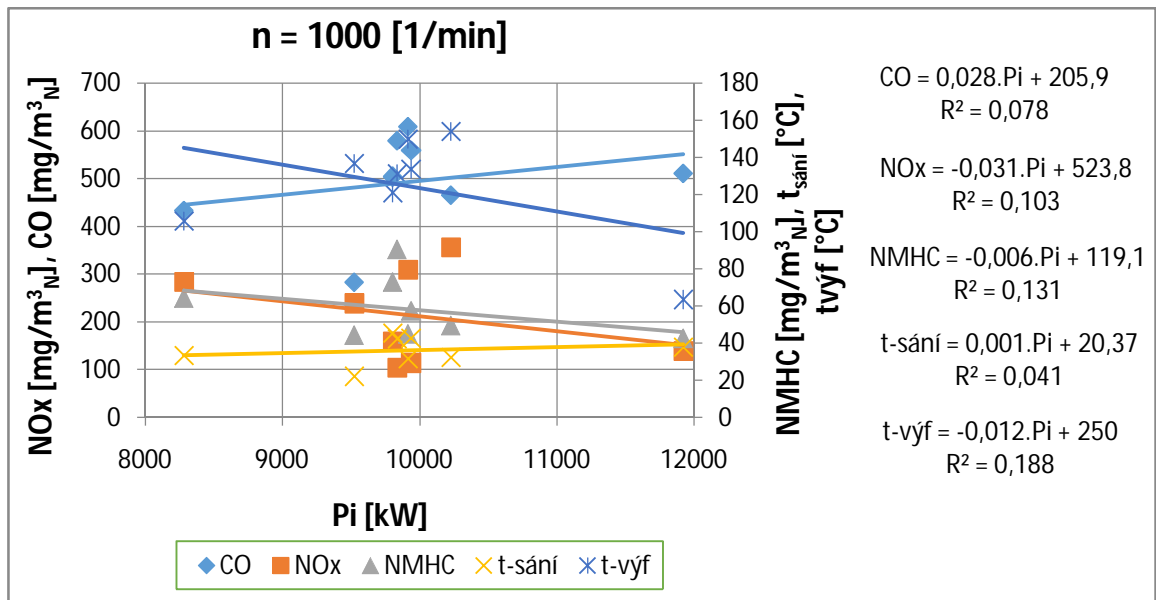
Hodnota obsahu NO<sub>x</sub> a NMHC se zvyšují na 14,68% a 50,98%, když kyslík zvyšuje velkou relativní směrodatnou odchylku 12% převažujícím vlivem je příkon kogenerační jednotky. Hodnota obsahu CO se zvyšuje.

8) Týnec: CAT 3616 soustrojí č. 1

Složka	Jed./rok	2002	2004	2006	2007	2009	2011	2012
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	282,9	433,3	609,8	465,5	504	511,2	559,5
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	238,5	284,6	310,6	357,3	160,4	139,5	113,7
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	44,1	64,3	44,9	49,5	73	42,6	57,3
O <sub>2</sub>	%	11,97	11,54	11,8	11,35	12,65	12,46	12,65
P <sub>i</sub>	kW	9521	8282	9914	10227	9801	11922	9940
P <sub>el</sub>	kW	3730	3742	3787	3805	3780	3845	3840
t <sub>sání</sub>	°C	22	33,5	31,8	32,4	45,6	38	43
t <sub>výf</sub>	°C	137	106	150	154,2	121	63,4	133,8
λ	-	2,34	2,23	2,30	2,19	2,53	2,48	2,53
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	951,3	826,9	992,2	1024,7	981,3	1193,6	988,1
η	%	39,18	45,18	38,20	37,21	38,57	32,25	38,63
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	3267,4	5193,9	7309,6	5580	6126,5	6261,6	6820
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2754,6	3411,4	3723,1	4283	1949,8	1708,7	1385,4
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	619,1	861,9	604,1	668	990,7	580,6	698,2
Složka	Jed./rok	2013	$\bar{c}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$			
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	580,2	493,30	103,22	20,92			
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	104,8	213,68	97,00	45,39			
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	90,5	58,28	16,88	28,97			
O <sub>2</sub>	%	13,3	12,22	0,66	5,41			
P <sub>i</sub>	kW	9836	9930,3	997,52	10,05			
P <sub>el</sub>	kW	3830	3794,8	43,38	1,14			
t <sub>sání</sub>	°C	42,6	36,11	7,76	21,49			
t <sub>výf</sub>	°C	131	124,55	29,04	23,32			
λ	-	2,75	2,42	0,19	7,78			
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	976,8	991,86	100,7	10,15			
η	%	38,94	38,52	3,51	9,11			
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	7056,6	5951,9	1301,8	21,87			
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1274,7	2561,3	1147,2	44,79			
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	1101,1	765,46	195,79	25,58			

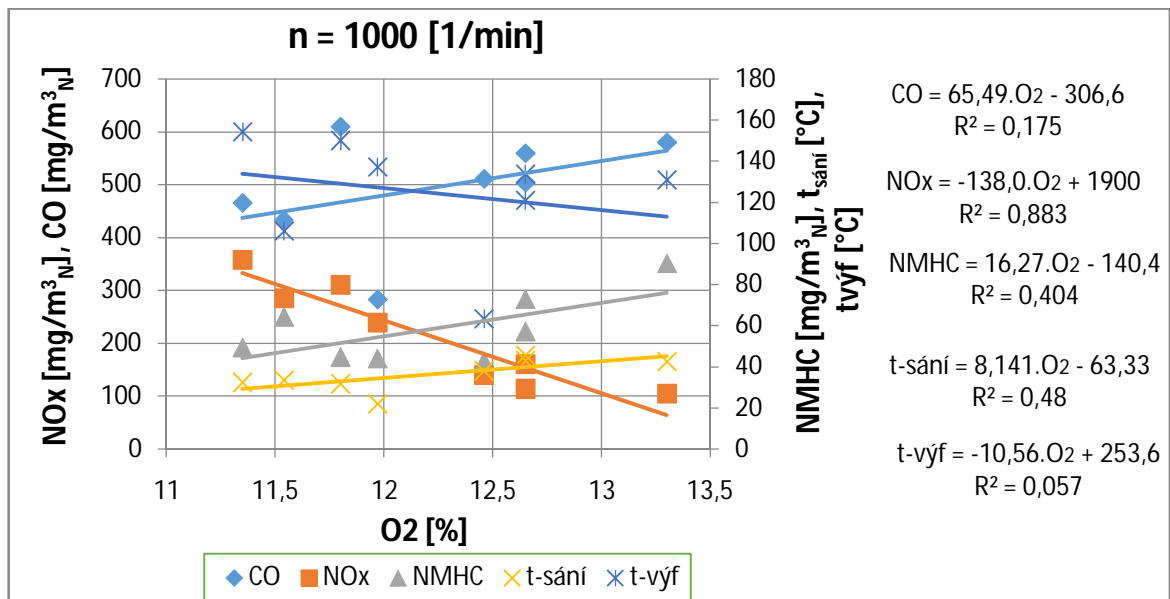
Tab.7.8

Měření koncentrací plyných škodlivin ve výfukových plynech stacionárního plynového přeplňovaného zážehového motoru CATERPILLAR BL W41 při provozních režimech kogenerační jednotky CAT 3616 ve firmě teplárna Týnec s.r.o, ve které je mechanicky spojen s elektrickým třífázovým generátorem KATO. Elektrický výkon motoru v cyklech má 3730 kW a otáčky motoru 1000 min<sup>-1</sup>.



*Graf.7.15. Závislost na výkonu.*

Na grafu můžeme vidět, že průběh NO<sub>x</sub> a NMHC jejich trend klesající, zřejmě je způsoben změnou obsahu kyslíku i při rostoucím průběhu t<sub>sání</sub>. Opačný průběh je pro CO. Průběh t<sub>výf</sub> se taky snižuje. Hodnota obsahu P<sub>i</sub> se mění s relativní směrodatnou odchylkou 10,05 %.



*Graf.7.16. Závislost na kyslíku.*

Obsah O<sub>2</sub> se zvyšuje od 11,35 do 13,3 %. Emise složky NMHC se zvyšují, jak je popsáno v podkapitole 1.2.3.

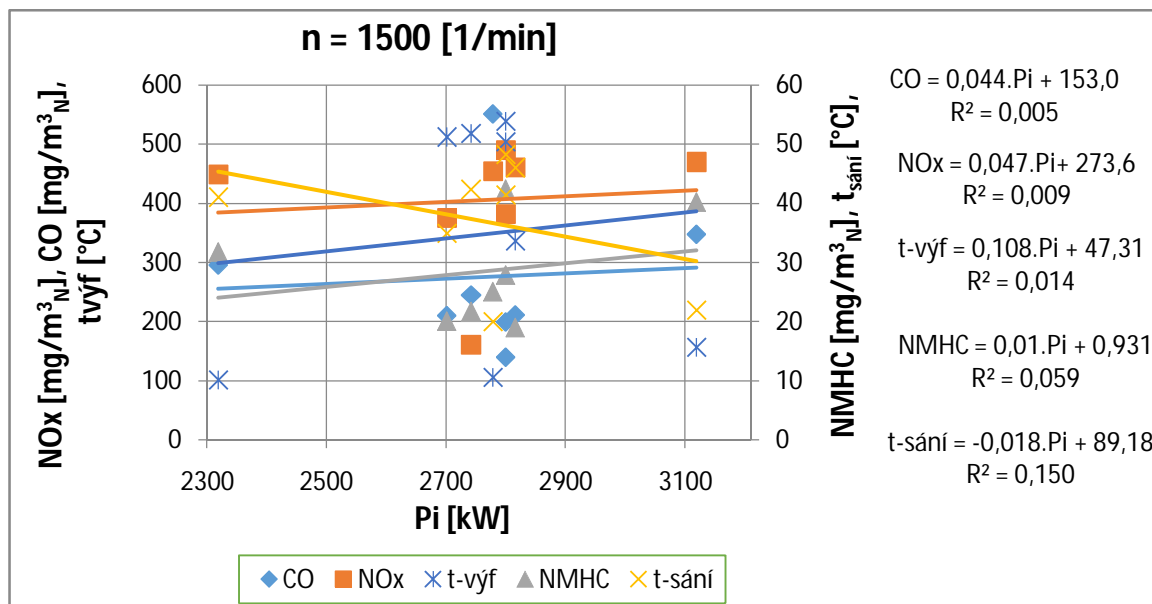
9) Týnec: TEDOM MT 1000 CAT soustroj č.2

Složka	Jed./rok	2002	2006	2007	2008	2009	2011	2012
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	347,8	551,9	295,3	139,7	211,4	244,6	210,3
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	469,7	454,7	449,9	382,2	461,2	161,6	375,6
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	40,2	25	31,7	27,8	18,9	21,6	20
O <sub>2</sub>	%	9,13	10,8	10,6	10,43	9,26	10,06	10,2
P <sub>i</sub>	kW	3119	2779	2319	2800	2816	2742,7	2701,3
P <sub>el</sub>	kW	970	916	730	930	1021	975	1000
t <sub>sání</sub>	°C	22	20	41	48,3	46	42,3	35
t <sub>výf</sub>	°C	157	106	101,6	540	337,3	518,7	512
λ	-	1,78	2,07	2,03	2,00	1,80	1,93	1,95
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	311,64	278,1	232,4	280,96	281,93	273	268,7
η	%	31,10	32,96	31,48	33,21	36,26	35,55	37,02
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	4017	6688,4	3539,7	1633,1	2569,7	2937,9	2563
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	5424,9	5510,5	5392,9	4467,4	5606,1	1953,4	4578,4
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	564,8	341,8	432,7	380,1	267,4	229,9	277,9
Složka	Jed./rok	2013	$\bar{c}$	$\bar{\sigma}$	$\bar{\delta}$			
CO	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	198,8	274,98	128,54	46,57			
NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	490,9	405,73	106,79	26,32			
NMHC	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	42,3	28,44	8,96	31,52			
O <sub>2</sub>	%	10,4	10,11	0,61	6,02			
P <sub>i</sub>	kW	2800	2759,6	218,37	7,91			
P <sub>el</sub>	kW	1000	942,75	93,04	9,87			
t <sub>sání</sub>	°C	41,5	37,01	10,63	28,72			
t <sub>výf</sub>	°C	505	347,20	197,63	56,92			
λ	-	1,99	1,94	0,11	5,45			
V <sub>zp</sub>	m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /h	277	257,47	21,7	7,88			
η	%	35,71	34,16	2,26	6,62			
<i>f<sub>i</sub></i> (CO)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	2417,5	3295,79	1550	47,03			
<i>f<sub>i</sub></i> (NO <sub>x</sub> )	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	5970,9	4863,06	1281,6	26,36			
<i>f<sub>i</sub></i> (NMHC)	kg/10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	514,1	376,09	120,64	32,08			

Tab.7.9

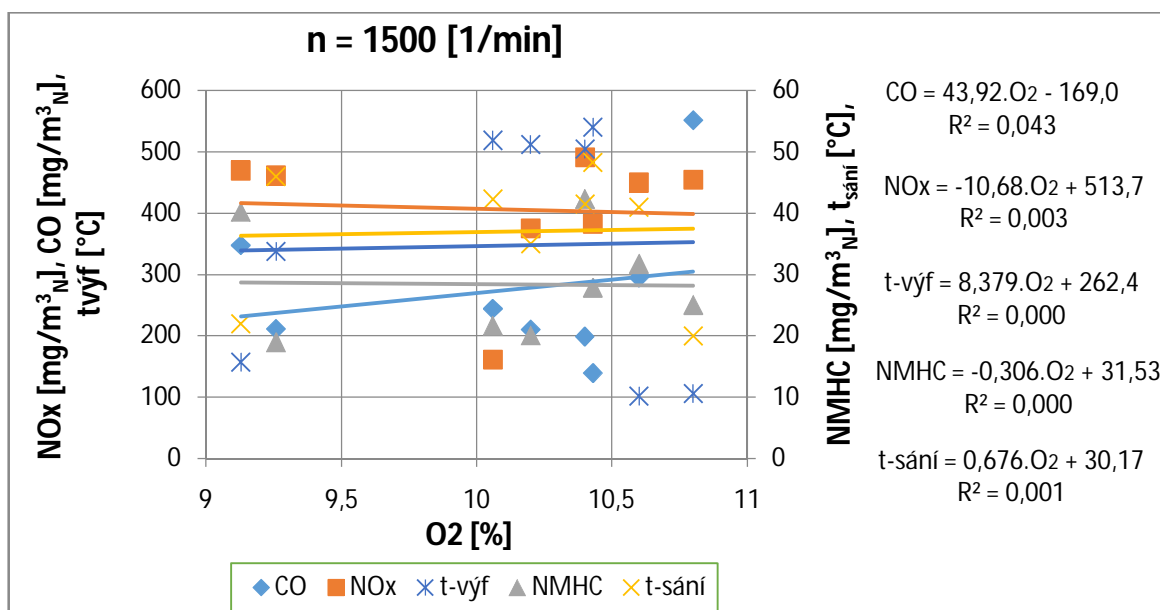
Měření koncentrací plyných škodlivin ve výfukových plynech stacionárního plynového přeplňovaného zážehového motoru CATERPILLAR 4 ECO 1458-3516 při provozních režimech kogenerační jednotky TEDOM CAT 1000 ve firmě Teplárna Týnec s.r.o, ve které je mechanicky spojen s elektrickým třífázovým generátorem LEROY-SOMER. Má elektrický výkon motoru v cyklech 1070 kW, otáčky motoru 1500 min<sup>-1</sup>.





Graf.7.17. Závislost na výkonu.

Hodnoty obsahu NO<sub>x</sub> a NMHC se zvyšují na 26,32 a 31,52 % . Při průběhu výkonu je relativní směrodatná odchylka 7,91 % a t<sub>sání</sub> klesá na 28,7 % . Průběh CO se zvyšuje 46,57%.



Graf.7.18. Závislost na kyslíku.

Na grafu můžeme vidět průběhy NO<sub>x</sub> a NMHC. Trend NO<sub>x</sub> závislosti na kyslíku, NO<sub>x</sub> je pokles a NMHC se zvyšují (při malém růstu na λ), když O<sub>2</sub> se zvyšuje. Emise mají hodnotu s koeficientem determinace, skoro jsou nulovou.

**Poznámka:**

Výše popsaným postupem se získá standardní kombinovaná nejistota nebo v individuálních případech pouze nejistota určité skupiny. Standardní nejistota znamená, že při skládání byly použity hodnoty směrodatných odchylek. Při splnění jistých předpokladů je možné považovat rozdělení takto určené nejistoty za přibližné normální (Gaussovo). Z toho pak vyplývá, že takto vypočtená nejistota pokrývá asi 67 % možných výsledků, jinak řečeno, že asi 1/3 výsledků může padnout mimo takto stanovené pole nejistot. Jelikož z metrologického hlediska je takováto situace dosti těžko přijatelná, přistupuje se k vynásobení standardní nejistoty rozšiřujícím koeficientem, který umožní získat pokrytí možných výsledků s vyšší pravděpodobností. K rozšiřování nejistoty lze přistupovat několika způsoby.

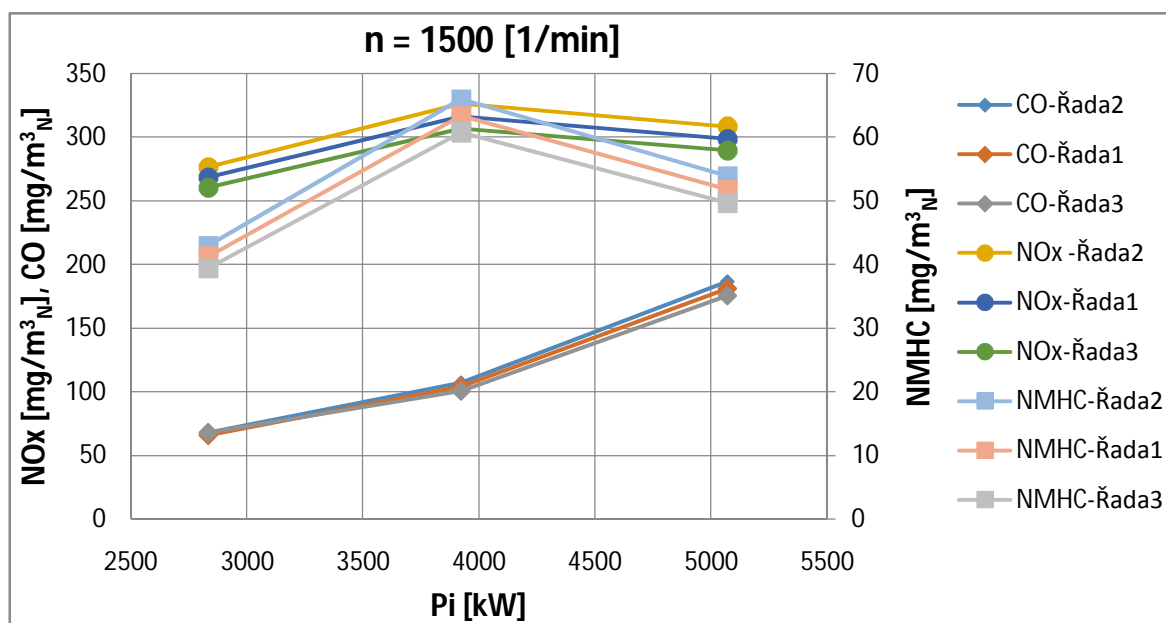
V běžné praxi se obvykle hodnota rozšiřujícího koeficientu určí dohodou pro určitou hrubě odhadovanou pravděpodobnost pokrytí výsledku. S předpokladem normálního rozdělení jsou pak vžité základní hodnoty koeficientu rozšíření 2 pro pravděpodobnosti pokrytí přibližně 95%. Pouze u kogeneračních jednotech 10 až 13 byla stálost těchto provozních parametrů zaručena (bezprostřední měření pro 50, 75 a 100% výkon kogenerační jednotky).

10) Děčín: Motor JMS 616 soustrojí NDM 20 rok 2002

%	P <sub>i</sub>	CO		NO <sub>x</sub>		NMHC	
	kW	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	
		CO ± ε	Pásmo	NOx ± ε	Pásmo	NMHC ± ε	Pásmo
100	5070,6	181,0 ± 5,39	186,39	299,1 ± 9,09	308,19	51,8 ± 2,13	53,93
			181,0		299,1		51,8
			175,61		290,01		49,67
75	3923,0	103,8 ± 3,09	106,89	316,7 ± 9,63	326,33	63,4 ± 2,66	66,06
			103,8		316,7		63,4
			100,71		307,07		60,74
50	2834,4	65,8 ± 1,96	67,76	268,6 ± 8,16	276,76	41,2 ± 1,73	42,93
			65,8		268,6		41,2
			67,76		260,44		39,47

Tab.7.10

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce, označení soustrojí NDM 20, na plynovém zdrojovém soustrojí instalovaném v objektu CZT Děčín. Získal jsem údaje v letech 2002 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 616 GSE 02. Měření bylo provedeno při 50, 75 a 100%. Motor má zdvihový objem 99,8 dm<sup>3</sup>, vrtání válce 190 mm, zdvih pístu 220 mm, počet válců 16 V 60°, elektrický výkon 2000 kW, jmenovitě otáčky 1500 min<sup>-1</sup>.



Graf.7.19. Závislost na výkonu.

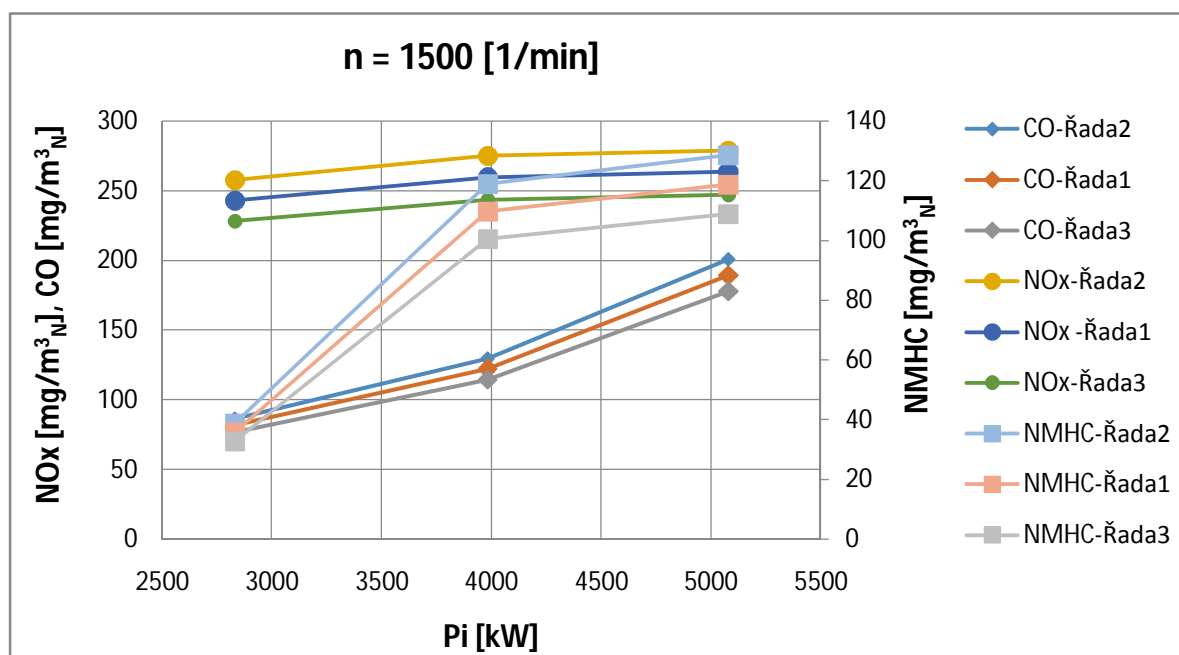
Na grafu můžeme vidět změny průběhu příkonu pro 50, 75 a 100% kogenerační jednotky. Obsah CO je menší, protože rozšiřování nejistoty je maximální ± 5,39 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub> a trend se zvyšuje díky příkonu. Emise NO<sub>x</sub> má opačnou reakci. Horní body CO mají pásmo ± 9,09 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>, každá mezera mezi je stejná, proto se budou snižovat. NMHC se bude opakovat stejně.

## 11) Děčín: Motor JMS 616 soustrojí NDM 20 rok 2004

%	P <sub>i</sub>	CO		NO <sub>x</sub>		NMHC	
	kW	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	
		CO ± ε	Pásmo	NOx ± ε	Pásmo	NMHC ± ε	Pásmo
100	5082,2	189,1 ± 11,4	200,5	263,7 ± 15,9	278,9	118,8 ± 9,9	128,7
			189,1		263,7		118,8
			177,7		247,1		108,9
75	3984,9	121,9 ± 7,4	129,3	259,4 ± 15,7	275,1	109,8 ± 9,2	119
			121,9		259,4		109,8
			114,5		243,7		100,6
50	2832,8	81,5 ± 4,9	86,4	242,9 ± 14,8	257,7	35,7 ± 3,0	38,7
			81,5		242,9		35,7
			76,6		228,1		32,7

Tab.7.11

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce, označení soustrojí NDM 20, na plynovém zdrojovém soustrojí instalovaném v objektu CZT Děčín. Získal jsem údaje v letech 2004 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 616 GSE 02.



Graf.7.20. Závislost na výkonu.

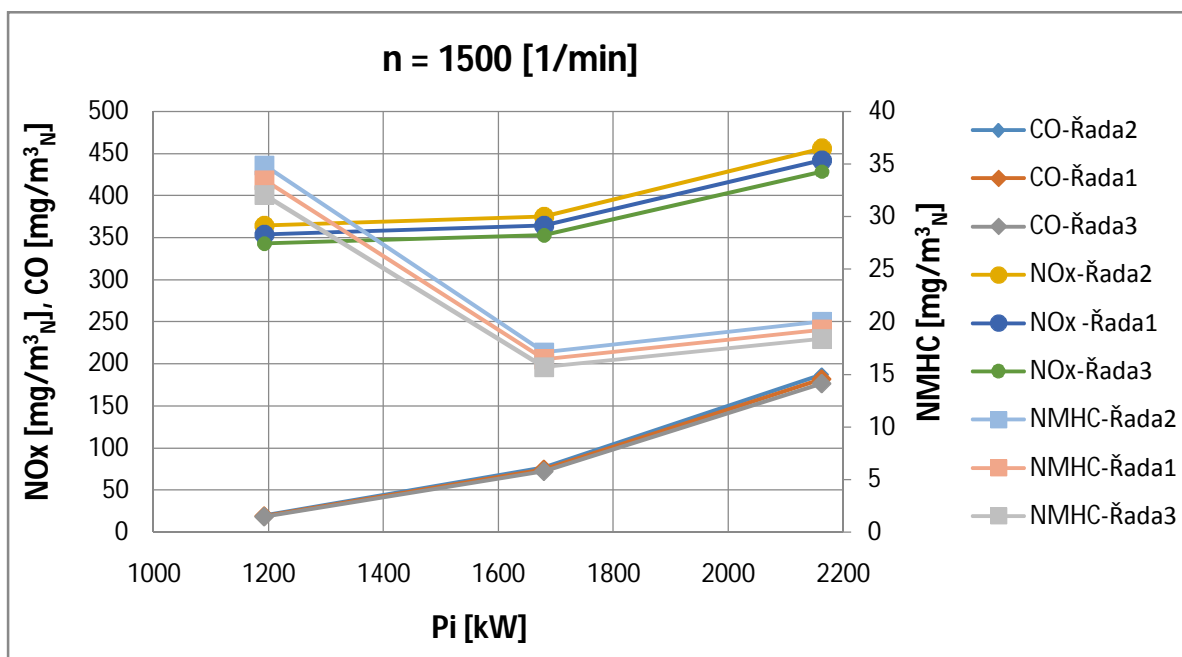
Na grafu vidíme změny obsahu CO, NO<sub>x</sub> a NMHC, které mají o něco větší pásmo. Všechny emise rostou. Zde NO<sub>x</sub> má opačný průběh a zřejmě se uplatňují ostatní ovlivňující parametry, což z měření nelze popsat.

12) Děčín: Motor JMS 316 soustrojí NDM 10 rok 2002

%	P <sub>i</sub>	CO		NO <sub>x</sub>		NMHC	
	kW	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	
		CO ± ε	Pásmo	NOx ± ε	Pásmo	NMHC ± ε	Pásmo
100	2163,2	182 ± 5,44	187,44	442,1 ± 13,4	455,5	19,2 ± 0,81	20,01
			182		442,1		19,2
			176,56		428,7		18,39
75	1679,9	74,4 ± 2,22	76,62	364,2 ± 11,07	375,27	16,4 ± 0,69	17,09
			74,4		364,2		16,4
			72,18		353,13		15,71
50	1192,7	18,7 ± 0,56	19,26	354 ± 10,76	364,76	33,5 ± 1,41	34,91
			18,7		354		33,5
			18,14		343,24		32,09

Tab.7.12

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce, označení soustrojí NDM 10, na plynovém zdrojovém soustrojí instalovaném v objektu centrálního zdroje tepla Děčín. Získal jsem údaje v letech 2002 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 316 GSB 02, výrobní číslo motoru 3441221. Měření bylo provedeno při 50, 75 a 100%. Motor má počet válců 16 V 60°, elektrický výkon 827 kW, jmenovité otáčky 1500 min<sup>-1</sup>.



Graf.7.21. Závislost na výkonu.

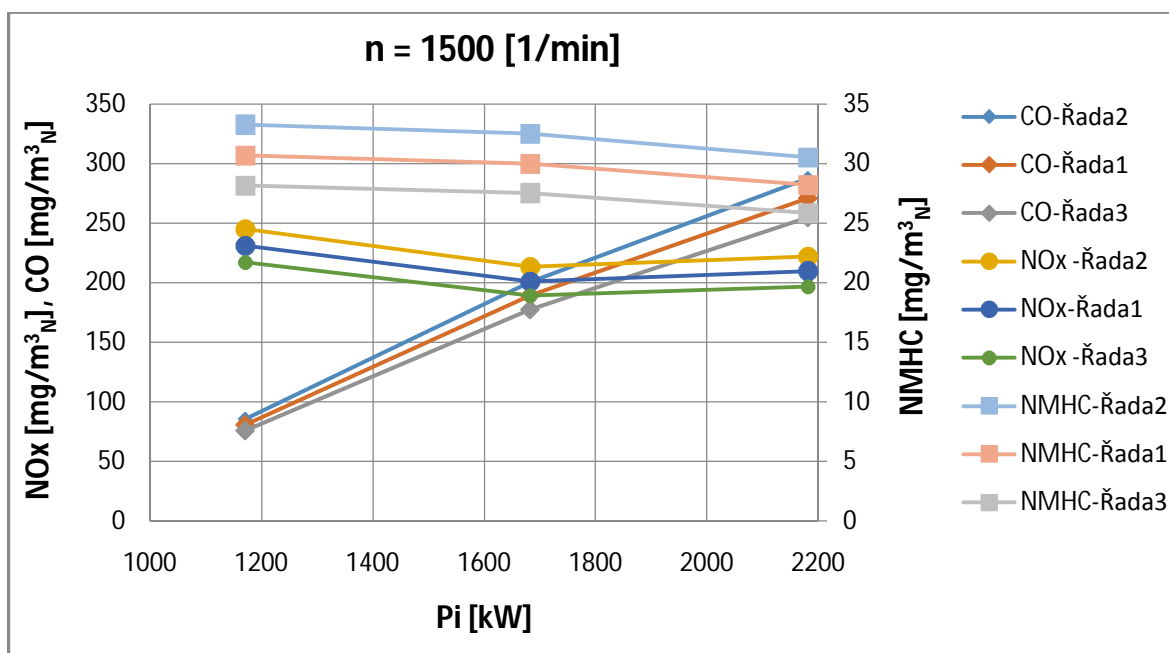
Z grafu vyčteme změny průběhu emisí, obsah NMHC klesá dolů. Obsah NO<sub>x</sub> je opačný tedy stoupá o něco víc a obsah CO stoupá s nekonstantou pásem.

13) Děčín: Motor JMS 316 soustrojí NDM 10 rok 2004

%	P <sub>i</sub>	CO		NO <sub>x</sub>		NMHC	
	kW	mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>		mg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>	
		CO ± ε	Pásmo	NOx ± ε	Pásmo	NMHC ± ε	Pásmo
100	2180,8	271 ± 16,45	287,45	209,3 ± 12,7	222	28,2 ± 2,35	30,55
			271		209,3		28,2
			254,55		196,6		25,85
75	1682,4	189 ± 11,47	200,47	201,2 ± 12,21	213,41	30 ± 2,51	32,51
			189		201,2		30
			177,53		188,99		27,49
50	1170,4	80,5 ± 4,89	85,39	230,9 ± 14,02	244,92	30,7 ± 2,54	33,24
			80,5		230,9		30,7
			75,61		216,88		28,16

Tab.7.13

Měření bylo provedeno na kogenerační jednotce, označení soustrojí NDM 10, na plynovém zdrojovém soustrojí instalovaném v objektu centrální zdroj tepla Děčín. Získal jsem údaje v letech 2004 z protokolů zážehového plynového motoru JENBACHER J 316 GSB 02, výrobní číslo motoru 3441221. Měření bylo provedeno při 50, 75 a 100%.



Graf.7.22. Závislost na výkonu.

Na obrázku jsou vidět změny obsahu: emise CO její přímka roste a její pásmo se také zvyšuje. NMHC klesá a pásmo je 2,54 mg/m<sup>3</sup><sub>N</sub>. NO<sub>x</sub> trochu klesá.

## Souhrn:

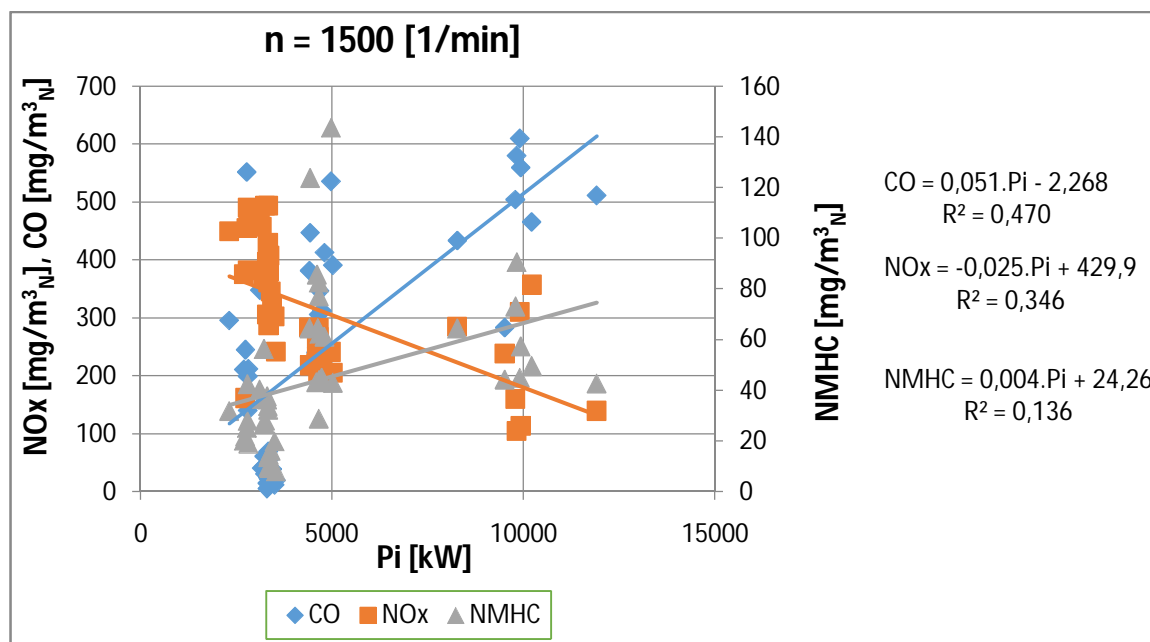
Pro všechny kogenerační jednotky jsem získal údaje mezi rokem 2002 až 2013, z jednotlivých údajů jsem spočítal:

- střední hodnoty  $\bar{C}$ ,
- směrodatnou odchylku  $\bar{\sigma}$ ,
- relativní směrodatnou odchylku  $\bar{\delta}$ .

Pro lepší přehlednost a vzájemné porovnání jsou hodnoty z měření vloženy do společného grafu, pro jednotlivé složky emisí výfukových plynů. Které by bylo vhodné lineární regresi použít:  $y = a_1x + a_0$ .

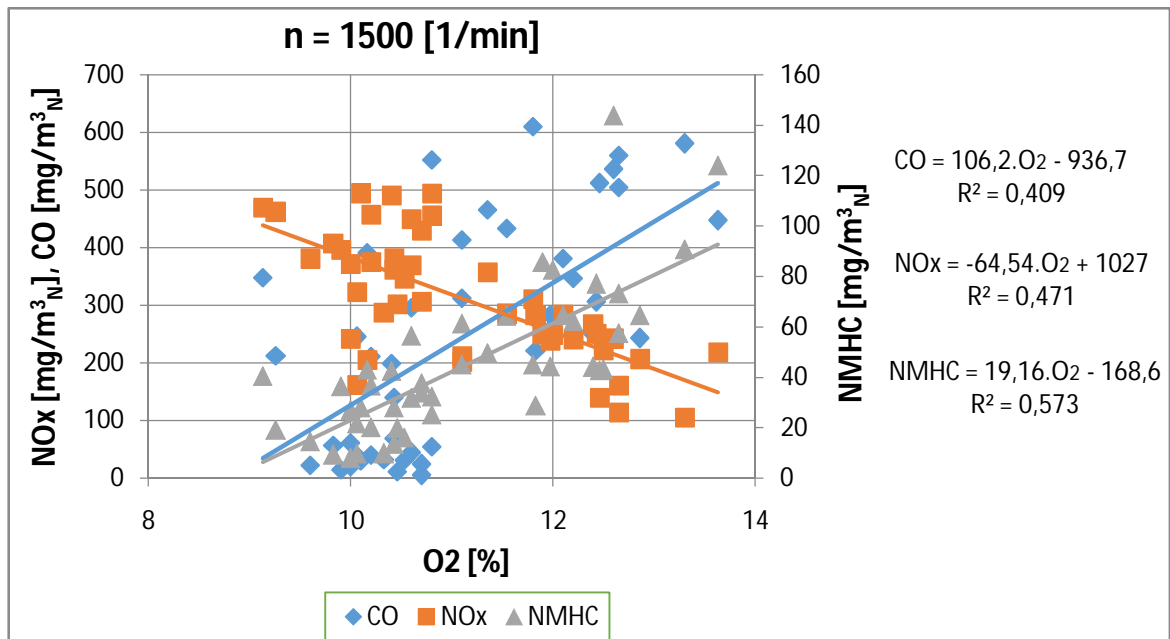
Koeficient determinace  $R_{xy}^2$  vyjadřuje vztah mezi CO [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ], NO<sub>x</sub> [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ], NMHC [ $\text{mg}/\text{m}^3_{\text{N}}$ ] a Pi [kW], O<sub>2</sub> [%], jeho hodnoty se pohybují v intervalu (0 ; 1). Čím je R<sup>2</sup> větší a lepší, tím přesnější jsou výsledky hodnocení.

Obecný přehled vývoje v závislosti na vybraných parametrech získáme z následující tabulky uvádějící trendy na zvýšení a snížení emisí složky v grafech i se závislostí navzájem. Celkem bylo vyhodnoceno 9 (1 až 9) předcházejících grafů.



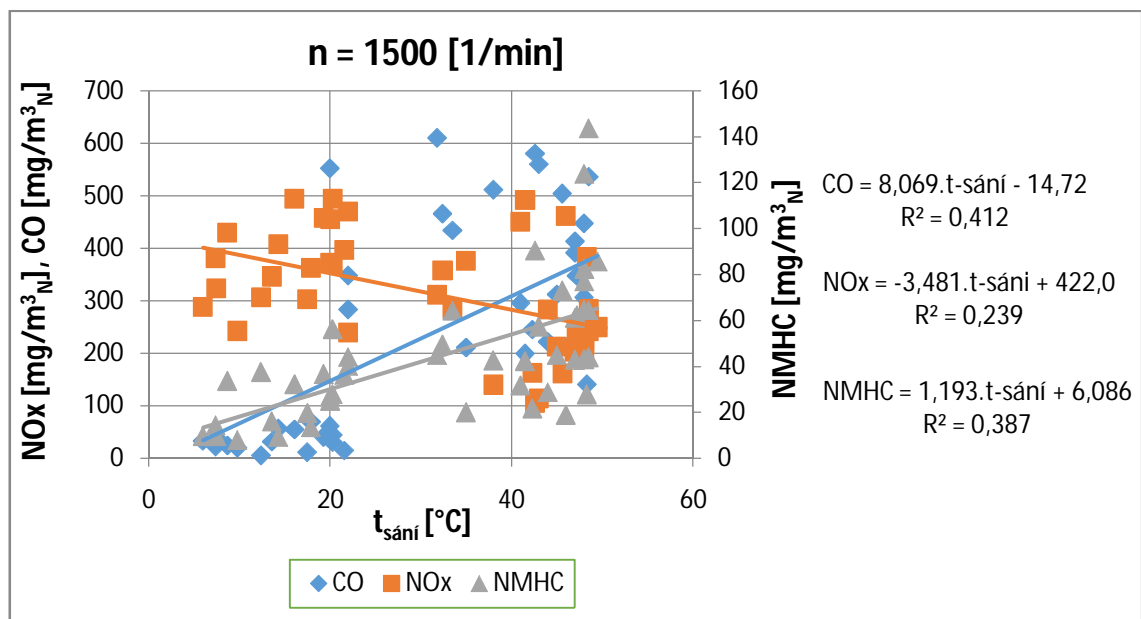
Graf.7.23. Závislost na výkonu.

V závislosti všech motorů na příkonu kogenerační jednotky emise, NO<sub>x</sub> klesá. V souboru měření byla zjištěna velká variabilita NO<sub>x</sub>, která odpovídá větší variabilitě celkového příkonu jednotky, což jistě není správné tvrzení. Průběh je významně ovlivněn bohatostí směsi obsahem O<sub>2</sub>, byla u měřených motorů různá. Koeficient determinace je 0,346. Průběh NMHC a CO mají trend, které rostou s koeficientem determinace 0,136 a 0,470.



Graf.7.24. Závislost na kyslíku.

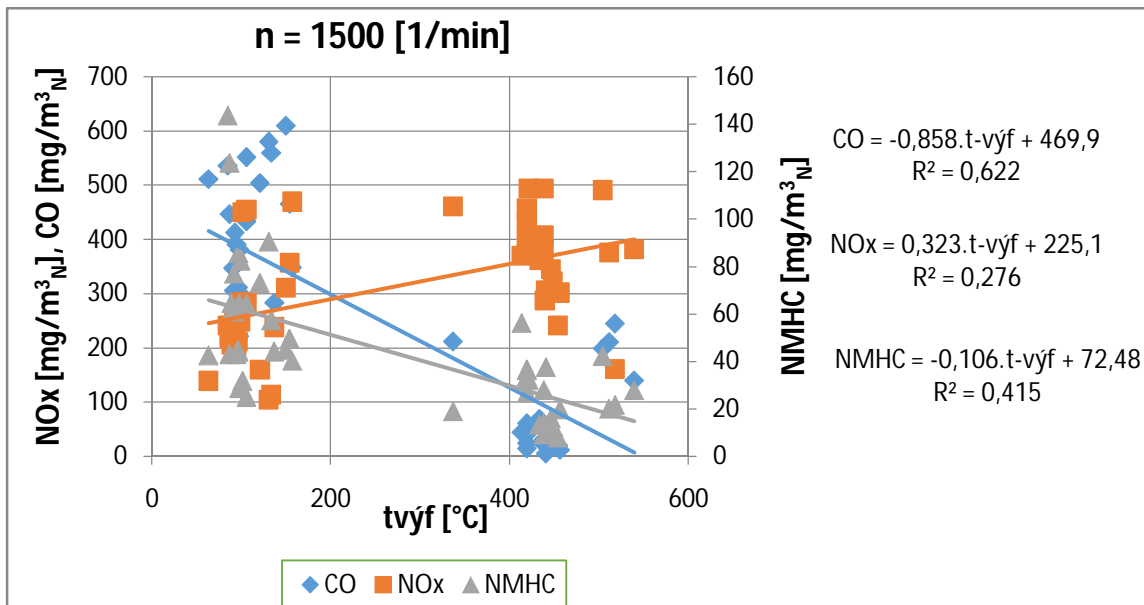
Na grafu můžeme vidět, že průběh CO a NMHC mají trend se zvyšovat, NMHC má největší koeficient determinace 0,573, emise NO<sub>x</sub> se snižují při poklesu O<sub>2</sub> (růstem součinitele přebytku vzduchu λ). Regresní přímka je s koeficientem determinace 0,471.



Graf.7.25. Závislost na teplotě sání

Z grafu emise závislosti na teplotě sání jde vyčíst obsah NO<sub>x</sub>, který klesá. V grafu 7.25 je navržena závislost poklesu NO<sub>x</sub> při vyšších teplot motoru, což jistě není správné tvrzení. Průběh je významně ovlivněn bohatostí směsi s obsahem O<sub>2</sub> (trend na grafu je zřejmě způsoben změnou obsahu kyslíku), neustálený stav měření, který má malý koeficient determinace 0,239. Emise CO a NMHC stoupají.





*Graf.7.26. Závislost na teplotě výfukové*

Graf.7.26 zobrazuje opak. NO<sub>x</sub> tentokrát stoupá a CO a NMHC naopak prudce klesají.

## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo kvantitativní zhodnocení vlivu jednotlivých faktorů pro výsledky emisních testů. V teoretické části jsem provedl literární rešerši, která zahrnuje stručný úvod do problematiky škodlivých látek produkované spalovacími motory (kapitoly 1 a 2) a legislativní rámec, jež se touto oblastí zabývá (kapitola 3). Dále je zde popsán způsob měření a přehled používaných analyzátorů (kapitola 4). Popisují se vlastnosti používaných paliv pro spalovací motor (kapitola 5) a postupy při měření emisí podle použití spalovacího motoru (kapitola 6).

V praktické části diplomové práce (kap.7) jsem zpracoval výsledky ze zkušebních protokolů. Základní principy postupu prováděné analýzy výsledků jsou popsány v následující části práce. K vyhodnocení byla použita metoda regresní analýzy. Pro vyšší přehlednost a vzájemné porovnání jsou hodnoty z měření vloženy do společného grafu hodnot jednotlivých složek emisí výfukových plynů.

Jak bylo uvedeno v praktické části, na grafech jsem zjistil emise závislosti pro příkon, kyslíku, teploty sání a teploty výfukové.

Díky analýze závislosti příkonu, kyslíku, teploty sání a teploty výfukové vylučují vlivy, které jsem rozepsal viz.7. kapitola, kde jsou hlavní výsledky.

K závěru jsem dospěl, že závislost na:

- Základní podmínky kyslíku se zvyšují a tím dochází, že CO a NMHC stoupají, NO<sub>x</sub> klesá.
- Teplotě výfukové dochází k opaku, že CO a NMHC naopak klesají a NO<sub>x</sub> stoupá.
- Závislost na příkonu a teplotě sání jsou stejné jako u kyslíku.

Hodnocení vychází z předpokladu, že ostatní možné parametry významně neovlivňují složky emisí a uplatňuje se pouze jeden vybraný, který je v grafu popisován. Např. v grafu 7.25, 7.23 je navržena závislost poklesu NO<sub>x</sub> při vyšším příkonu motoru, což jistě není správné tvrzení. Chyba tohoto měření je ovlivněna bohatostí směsi. Na zkoušce je vidět, že  $\lambda$  klesá, a tím se snižuje obsah O<sub>2</sub>. Chybu je tedy nutno připsat měnící se hodnotě  $\lambda$  a neustálenému stavu měření.

Z hodnot jednotlivých dílčích nejistot jsem získal porovnání pásma emisí, které jsem mohl posoudit jejich relativní podíl na celkové nejistotě.

## **9. Seznam obrázků, tabulek, grafů.**

### **Seznam obrázků**

- Obr.2.1. Mechanismy poškozování ozonové vrstvy.[7]
- Obr.2.2. Mechanismus vzniku škodlivin PSM.[7]
- Obr.2.3. Procentuální složení výfukových plynů spalovacích motorů.[16]
- Obr.3.1. Uspořádání značek schválení typu.[15]
- Obr.3.2. Evropská značka shody.[15]
- Obr.4.1. Infraanalyzátor výfukových plynů.[9]
- Obr.4.2. Absorpční spektra výfukových plynů.[9]
- Obr.4.3. Přístroj Thermo Fischer Scientific Model 48C.
- Obr.4.4. Chemiluminiscenční analyzátor výfukových plynů.[9]
- Obr.4.5. Přístroj Thermo environmental instruments – model 42C-HL.
- Obr.4.6. Plamenoionizační analyzátor výfukových plynů.[9]
- Obr.4.7. Přístroj Total hydrocarbons THC.
- Obr.4.8. Lambda sonda.
- Obr.4.9. Termomagnetický analyzátor.[9]
- Obr.4.10. Přístroj servomex model 1420.
- Obr.4.11. Měření s elektrochemickým analyzátozem typu MRU 95/3 CD.
- Obr.6.1. Schéma systému měření emisí.[17]

### **Seznam tabulek**

- Tab.3.1 EU emisí standardy pro osobní automobily.[6 ]
- Tab.3.2. Specifické emisní limity platné do 31. prosince 2017.[1]
- Tab.3.3. Specifické emisní limity platné od 1. ledna 2018.[1]
- Tab.3.4. Specifické emisní limity pro příkon 50 MW a vyšším.[1]
- Tab.3.5. Zkušební režimy a váhové faktory dle klasifikace motorů.[14]
- Tab.4.1. Přístrojové vybavení v laboratoři.
- Tab.5.1. Vlastnosti metanu.[ 8]
- Tab.5.2. Vlastnosti Propan-butan.[8]
- Tab.5.3. Vlastnosti vodík.[8]
- Tab.5.4. Srovnání výhřevností jednotlivých paliv.
- Tab.6.1. Zkušební třinácti režimový cyklus na dynamometru.[16]
- Tab.7.1 až tab.7.13 jsou složení každé motoru.

## **Seznam grafů**

Graf.5.1. Snížení emisí u osobních vozidel na zemní plyn a naftu/benzín.

Graf.5.2. LPG mají výrazně nižší výfukové emise.[7]

Graf.6.1. Zobrazení odporových sil v závislosti na rychlosti vozidla.[15]

Graf.6.2. Specifické definice zkušebních cyklů.[16]

Graf.6.3. Sled zkoušky ELR.[16]

Graf.6.4. Plán průběhu zkoušky ETC na dynamometru.[16]

Graf.7.1 až graf.7.26 jsou závislost na výkonu a závislost na kyslíku

## **10. Seznam použité literatury.**

- [1] Vyhláška MŽP č. 415 ze dne 21.11.2012, *o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*. In: sbírka zákonů České republiky. 2012, částka 151, s. 5226-5336.
- [2] Zákon č. 201 ze dne 2.5.2012 *o ochraně ovzduší*. In: sbírka zákonů České republiky. 2012, částka 69, s. 2786-2841.
- [3] [www.petro.cz](http://www.petro.cz).
- [4] Su, L: *Vliv provozních podmínek na emisní vlastnosti kotlů na plynná paliva*. Liberec 2013. Bakalářská práce. TUL, Fakulta strojní, katedra vozidel a motorů.
- [5] *Protokoly z autorizovaných měření emisí*.
- [6] Emisní norma EURO. [http://cs.wikipedia.org/wiki/Emisní\\_norma\\_Euro](http://cs.wikipedia.org/wiki/Emisní_norma_Euro).
- [7] Scholz, C; Páv, K: *Přednáška z předmětu pohonné jednotky 1*, TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.
- [8] Laurin, J: *Přednáška z předmětu pohonné jednotky 3*, TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.
- [9] Takáts, M: *Měření emisí spalovacích motorů*, ČVUT Praha, 1997.
- [10] Jan, F: *Analýza nejistot emisních testů na vozidlovém dynamometru*, Liberec, 2014. Diplomová práce. TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.
- [11] Moc, L: *Zpracování výsledků měření plynných emisí ve výfukových plynech spalovacího motoru*, Liberec 1997, TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.
- [12] Mišelnický, L: *Motory na alternativní paliva, Brno 2010*, Bakalářská práce, VUTBR, Fakulta strojní.
- [13] Moc, L: *Přednáška z předmětu inženýrská statistika*, Liberec, TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.
- [14] Informace o normě ČSN EN ISO 8178- Část 2: *Měření plynných emisí a emisí částic výfukových plynů v místě instalace*.
- [15] Předpis č. 83 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN): *Jednotná ustanovení pro chvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo*.
- [16] Předpis č. 49 Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN): *jednotná ustanovení o opatřeních 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*.

[17] Škoda Auto: *Učební pomůcka Emise výfukových plynů motorových vozidel*. Škoda Auto a.s.,2005.

[18] Beroun, S., Blažek, J., Hájek, T., Salhab, Z.: *Vliv seřízení motoru a druhu paliva na parametry pracovního oběhu*. Liberec, TUL, Fakulta strojní, Katedra vozidel a motorů.