

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Vývoj analyzátorů emisí a PM částic

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc

Autor práce: Šimon Zdvořák

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra vozidel a pozemní dopravy

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zdvořák Šimon

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Vývoj analyzátorů emisí a PM částic

Anglický název

The Development of Emission and Particulate Matter analyzers

Cíle práce

Provést rešerši v oblasti vývoje zařízení pro měření jednotlivých škodlivých složek výfukových exhalací vozidlových spalovacích motorů

Metodika

Přehled produkce emisí u jednotlivých typů motorů. Přehled principů měření emisí a PM částic. Legislativní předpisy pro konstrukci a přesnost analyzátorů.

Osnova práce

1. Úvod
2. Emise spalovacích motorů, legislativní předpisy
3. Principy měření jednotlivých emisních složek
4. Přehled vývoje analyzátorů emisí a současná nabídka
5. Závěr

Rozsah textové části

30-40

Klíčová slova

Emisní analyzátoři, zážehový motor, vznětový motor, limitované emise, skleníkové emise,

Doporučené zdroje informací

1. VLK, F.: Diagnostika motorových vozidel, Brno. 2006. ISBN: 802397064X.
2. TAKÁTS, M.: Měření emisí spalovacích motorů, ČVUT Praha 1997, 111s., ISBN 80-01-01632-3
3. ŠUTA, M.: Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví, Brno: Český a Slovenský dopravní klub, 1996, 39s., ISBN 80-901339-4-
4. Snap on Equipment.: Emissions Analyser for Diesel engine, [online], Dostupné z: <<http://hofmann.snaponequipment.eu/product/78916>>
5. Snap on Equipment.: Emissions Analyser for Otto engine, [online], Dostupné z: <<http://hofmann.snaponequipment.eu/product/>>
6. Firemní prameny: Bosch, AVL, Atal, Horiba, Maha,

Vedoucí práce

Kadleček Boleslav, doc. Ing., CSc.

Termín zadání

listopad 2010

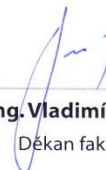
Termín odevzdání

duben 2012



doc. Ing. Boleslav Kadleček, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 9.2.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Doc.Ing.Boleslava Kadlečka,CSc. a použil jen pramenů, které uvádím a cituji v příložené bibliografii.

V Praze dne 8.4.2012

.....

Šimon Zdvorák

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, se kterými jsem mohl o dané problematice hovořit a kteří mi poskytli informace vedoucí k vypracování této práce.

Především bych rád poděkoval vedoucímu této bakalářské práce Doc.Ing.Boleslavu Kadlečkovi,CSc. za rady a pomoc při zpracování práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce řeší problematiku analyzátorů emisí a jejich vývoj.

První část práce se zaměřuje na popis jednotlivých složek spalín výfukových plynů, jejich vliv na lidský organizmus a mechanismus vzniku. Dále jsou zde popsány současné i dřívější legislativní předpisy pro měření daných emisí jak u nás, tak i v Evropské unii.

V dalších kapitolách jsou popsány principy měření jednotlivých emisních složek.

Závěrečná část mé práce pojednává o vývoji emisních analyzátorů, jejich přesnosti a dalších vlastnostech. Dále pak popisují současnou nabídku emisních analyzátorů na trhu.

Klíčová slova

Emisní analyzátory, zážehový motor, vznětový motor, limitované emise, skleníkové emise

Abstract

This bachelor thesis is discussing an issue of emissions analyzers and their development.

The first part focuses on the description of the individual components of exhaust gases, their effect on the human organism and the mechanism of action. It further describes the current and previous legislative provisions for the measurement of the emissions both at home and in the European Union.

The following chapters describe the principles of measurement of individual emission components.

The final part of my work deals with the development of emission analyzers, accuracy and other properties. Then describe the current range of emission analyzers on the market.

Key words

Emission analyzers, petrol engine, diesel engine, limited emissions, greenhouse gas emissions

1	Úvod.....	1
2	Emise spalovacích motorů a jejich legislativa	2
2.1	Složení výfukových plynů spalovacích motorů.....	2
2.2	Popis výfukových plynů	3
2.2.1	Oxid uhelnatý (CO).....	4
2.2.2	Oxidy dusíku (NO _x).....	4
2.2.3	Nespálené uhlovodíky (HC).....	5
2.2.4	Pevné částice (PM).....	6
2.2.5	Oxid uhličitý (CO ₂)	7
2.3	Legislativní předpisy	7
3	Principy měření jednotlivých emisních složek.....	9
3.1	Měření založené na absorpci infračerveného záření.....	9
3.2	Měření založené na absorpci ultrafialového záření	12
3.3	Měření s využitím chemické luminiscence	13
3.4	Měření založené na změně elektrické vodivosti vodíkového plamene	14
3.5	Měření založené na principu magnetických vlastností.....	16
3.6	Určování obsahu kyslíku	16
3.7	Určování součinitele přebytku vzduchu lambda	16
3.8	Měření emise částic ze vznětových motorů.....	16
3.8.1	Opacimetrie	17
3.8.2	Měření kouřivosti filtrační metodou	18
3.8.3	Přímé hmotnostní měření koncentrace částic	19
4	Přehled vývoje analyzátorů emisí a současná nabídka.....	20
4.1	Vývoj emisních analyzátorů	20
4.2	Obecné vlastnosti analyzátorů	23
4.2.1	Rozsah	23
4.2.2	Přesnost	23
4.2.3	Selektivita.....	24
4.2.4	Dynamické vlastnosti analyzátorů	24
4.3	Současná nabídka	24
4.3.1	Bosch.....	25
4.3.2	Atal	26
4.3.3	AVL.....	28
5	Závěr.....	30

1 Úvod

Problematikou znečištění ovzduší se lidstvo a především rozvinuté ekonomiky začaly zabývat již ve třicátých letech dvacátého století (předmětem zájmu se staly částice prachu v hornictví – silikóza, azbest). Prvopočátky měření a analýzy těchto výstupů však ještě potřebovaly jednotnou metodologii a především čas na vypracování sofistikovaných jednotných metod měření a především jejich vyhodnocování a uvádění do praxe. Dlouho také nikdo nebral v potaz částice vznikající při spalovacím procesu ve vznětových a zážehových motorech. Tento problémem začaly řešit až ekonomicky nejsilnější a nejrozvinutější země světa, které začaly pociťovat negativní vlivy motorizace, jako je např. státy OECD a to především USA, Japonsko a země západní Evropy.

Vývoj přístrojů pro měření exhalací průmyslu a emisí vznikajících při spalování fosilních paliv a v neposlední řadě také provozem automobilů na pozemních komunikacích byl vyvolán společenskou objednávkou vlád ekonomicky nejrozvinutějších států světa pod tlakem různých zájmových ekologických skupin.

Vědeckotechnický pokrok umožnil zlevnění a rozšíření sofistikovaných měřících přístrojů sloužících nejen pro monitorování, ale také pro vyhodnocování negativních vlivů znečištění životního prostředí v důsledku industrializace a to především velmi dynamického rozvoje osobní a nákladní přepravy zboží a osob.

V současné době se klade velký důraz na ekologii a snahu o minimalizaci škod lidské činnosti na globální oteplování. Bylo zjištěno, že nezanedbatelným zdrojem skleníkových plynů je letecká doprava, tento druh znečištění životního prostředí ale ve své bakalářské práci neřeším, neboť legislativní úprava této problematiky je řešena v mezivládních dohodách, ale vnitřní dodržování je velmi problematická.

Ve své bakalářské práci řeším pouze část této celospolečensky složité, ale významné problematiky se zaměřením na osobní individuální dopravu.

Cílem mojí bakalářské práce je popsat a analyzovat dynamický vývoj sofistikovaných emisních analyzátorů pro vznětové a zážehové motory automobilů.

2 Emise spalovacích motorů a jejich legislativa

Emise jsou látky vypouštěné do ovzduší během spalovacího procesu. Jsou tvořeny pevnými a plynnými látkami. Poté, co dojde ke styku emisí například s vodními parami, prachem, půdou a jiným, stávají se z emisí imise

2.1 Složení výfukových plynů spalovacích motorů

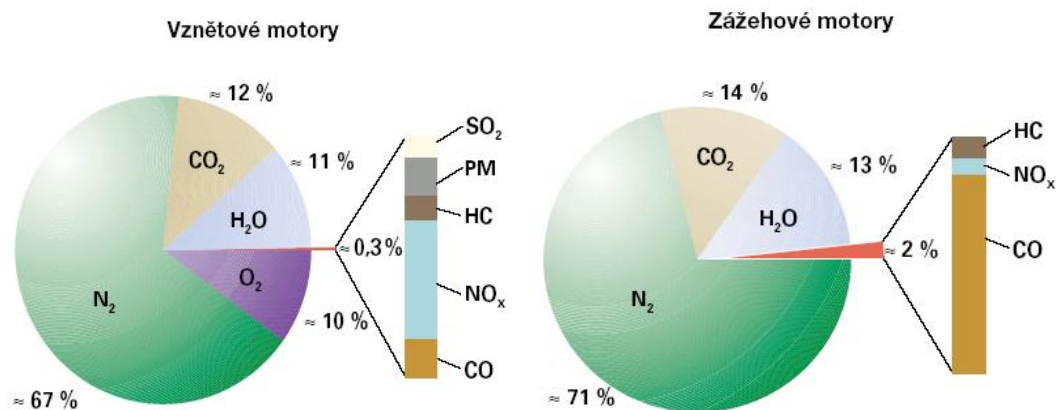
Během hoření uhlovodíkových paliv se vzduchem vzniká dokonalou oxidací oxid uhličitý (CO_2) a voda (H_2O). Při nedokonalé oxidaci uhlíku s vodíkem se ve spalinách nachází oxid uhelnatý (CO) a vodík (H_2). Při přístupu vzduchu, který funguje jako okysličovadlo, je nejvíce zastoupenou složkou dusík (N_2). Dále ve spalinách je také kyslík (O_2), ale ten jen když byl ve směsi s palivem v přebytku a tak se celé jeho množství nespotřebovalo nebo se nevyužil z jiných důvodů. Ve spalovacím prostoru při vysokých teplotách vzniká oxidací vzdušného dusíku oxidy dusíku (NO_x). Nejvíce se tvoří oxid dusnatý (NO) poté oxid dusičitý (NO_2). Při velmi nepříznivých globálních, či lokálních podmínkách pro oxidaci paliva obsahují výfukové plyny nespálené uhlovodíky (HC) různého složení (co do obsahu individuálních uhlovodíků). U motorů s vnější tvorbou směsi se tato složka objevuje jako součást spalin i z důvodů úniku části čerstvé směsi přímo do výfukového traktu zkratovým vyplachováním.

Za totálního nepřístupu vzduchu, například uvnitř kapky kapalného paliva, nastává při vysoké teplotě rozklad molekul uhlovodíku, výsledkem je přítomnost sazí (pevného uhlíku) ve spalinách. S plynnými spalinami z motoru odchází také malé množství dalších částic. Což jsou různé částičky rzi, prach, popel, vysokomolekulové produkty tepelného rozkladu motorového oleje.

Síra obsažená v některých uhlovodíkových palivech vytváří při spalování v motoru oxidy síry, které se následně objevují ve spalinách. Sloučeniny olova se v dnešní době do benzínu nepřidávají, jejich mazací a antidetonační vlastnosti se nahradili aditivy.

[8, 10]

Obr. 1: Složení výfukových plynů jednotlivých motorů



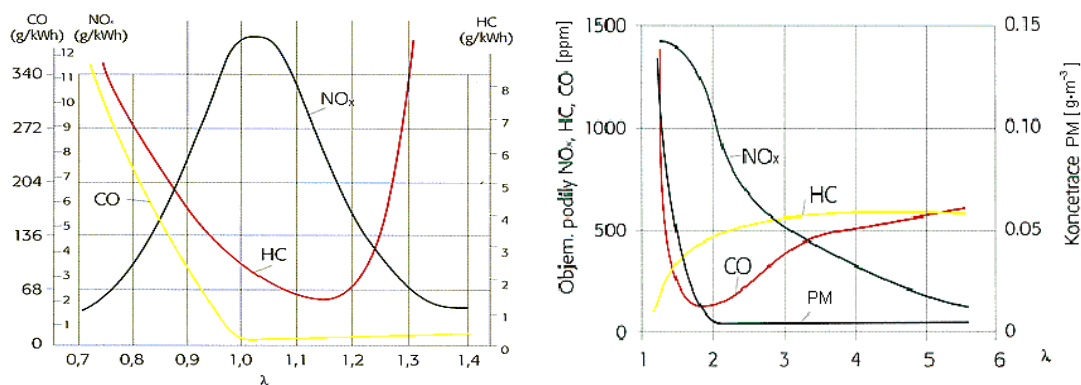
[3]

Z grafů lze vyčíst, že zážehové motory produkují více dusíku, oxidu uhličitého a vody. Naopak z motorů vznětových vychází více kyslíku, sazí, oxidů dusíku a je přítomen i oxid siřičitý.

2.2 Popis výfukových plynů

Díky nedokonalému spalování paliva vznikají škodlivé látky v plynném, kapalném i pevném stavu. Jejich množství ve spalínách je velmi ovlivněno směšovací poměrem (paliva a vzduchu) λ . Těmto látkám se někdy také říká skleníkové emise.

Obr. 2: Produkce emisí zážehového a vznětového motoru v závislosti na λ

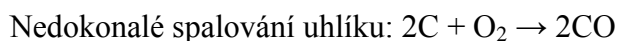


[3]

2.2.1 Oxid uhelnatý (CO)

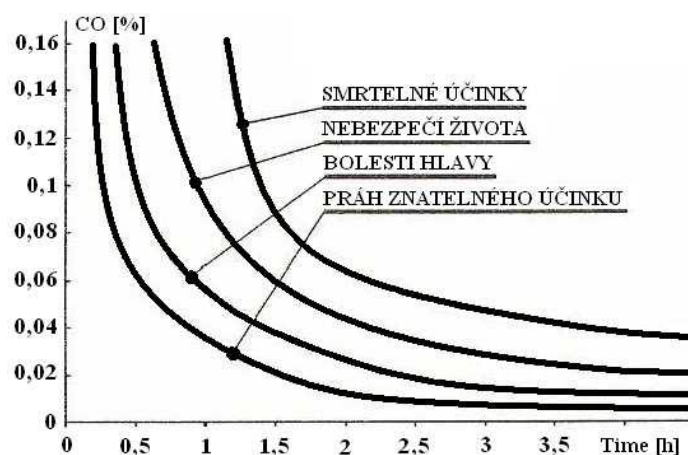
Oxid uhelnatý (carbon monoxide) je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, je lehčí než vzduch, nedráždí lidský organizmus, ale značně jedovatý. Jeho jedovatost je způsobena tím, že je rychle absorbován v plicích a přechází do krve, kde se váže na hemoglobin za vzniku karboxyhemoglobinu a tím blokuje okysličení krve v plicích. Míra vstřebávání oxidu uhelnatého závisí na jeho koncentraci, intenzitě fyzické námahy, stavu plic a dalších faktorů.

Vzniká nedokonalým spalováním při nedostatku kyslíku ve spalované směsi. Tzn. součinitel přebytku vzduchu $\lambda < 1$. Dále reakcí při spalování za nižších teplot ve zhášecích zónách (tj. při stěnách) válce motoru (příčinou je přitom i určitá nehomogenita tzv. homogenních směsí).



[7, 10]

Obr. 3: Účinek oxidu uhelnatého na lidský organismus



[10]

2.2.2 Oxidy dusíku (NO_x)

V motorových spalínách je nejčastěji obsažen oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Pro oba dva oxidy se používá obecná zkratka NO_x. Kromě nich se ve spalínách vyskytují také N₂O, N₂O₃ a N₂O₅, ale jejich množství je zanedbatelné.

Oxid dusnatý lidskému organismu škodí jen velmi málo. Mnohem závažnější je oxid dusičitý. Ten při delším pobytu v zemské atmosféře vzniká oxidací oxidu dusnatého. Jeho nebezpečí tkví v tom, že při vdechování se na stěnách sliznice tvoří kyselina dusičná (HNO₃). Dýchací soustava na vdechování HNO₃ reaguje jako na začínající hoření a tělo samo přivírá přístup vzduchu do plic. Díky tomu má člověk pocit dušení a nucení ke kašli. To nastává i při

velmi nízkých koncentracích nebo i při krátkých expozičních dobách. Dále bylo popsáno poškození imunity, přičemž astmatici jsou na oxidy dusíku citlivější. Oxidy dusíku se výrazně podílejí na tvorbě letního smogu (nejvýznamnější negativní dopad emisí na životní prostředí) a na kyselých deštích.

Vznik oxidů dusíku se vysvětluje hlavně termickým mechanismem, v malé části dochází ke vzniku NO_x i tzv. promptním způsobem. Při těchto reakcích vzniká oxid dusný (N_2O), který není toxický, oxid dusičitý (NO_2) a oxid dusnatý (NO) – oba jsou toxické. Oxidy dusíku vznikají v motorech při vysokých teplotách a tlacích a jejich rozhodující podíl se vytváří v době nejteplejší fáze spalování, tj. na začátku oxidace paliv. Oxidy dusíku jsou tvořeny zhruba z 95 % NO .

[3, 19]

2.2.3 Nespálené uhlovodíky (HC)

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

Z plynných škodlivin se z celé škály nespálených či částečně zoxidovaných uhlovodíků považují za nejnebezpečnější polycyklické aromatické uhlovodíky (např. benzen, benzo(a)pyren 3,4), jejichž škodlivost je zesílena zmíněnou vazbou na povrch emitovaných pevných částic. Ze skupiny částečně zoxidovaných uhlovodíků se ve výfukových plynech vyskytují skupiny aldehydů $\text{R}\cdot\text{CHO}$, které vznikají zejména v procesu předoxidačních reakcí a jejichž existence se často spojuje s nižším teplotním režimem motoru (např. při provozu s velkým přebytkem vzduchu, po spuštění studeného motoru, v nízkých zatíženích motoru apod.). Nespálené nebo částečně zoxidované uhlovodíky (aldehydy) způsobují charakteristický zápach výfukových plynů. Nespálené uhlovodíky působí v lidském

organismu škodlivě na sliznice, vedou k poruchám podmíněných reflexů a poškozují dýchací cesty.

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

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

[3]

2.2.4 Pevné částice (PM)

Pevné částice (PM – particulate matter) vznikají výhradně u vznětových motorů, jsou to částice pevného a kapalného materiálu, jejichž velikost se pohybuje od několika nanometrů až po půl milimetru. Obsahují organický uhlík, primární uhlík a malé množství sulfátu, dusíku, vody a dalších složek. Obsah uhlíku je přibližně 75%. Jádro částic je z pevných uhlíků a popele. Organické a sulfátové směsi jsou na povrchu jádra. Jelikož jsou velmi malé, mohou být unášeny vzduchem. Odlišují se svým zdrojem a mechanismem vzniku.

Větší částice (hrubá frakce – PM_{2,5-10}) jsou tvořeny hlavně prachem z vozovek, oděry pneumatik a brzdových destiček a spalovacími procesy s emisemi částec paliva a sazí. V ovzduší zůstávají kratší dobu a jejich výskyt se omezuje na blízké okolí zdroje.

Menší částice (jemná frakce – PM_{2,5}) vznikají mnohem složitěji, jelikož zahrnují několik procesů, které lze rozdělit na primární a sekundární. Primární procesy vzniku menších pevných částic jsou vymezeny na spalovací prostor, kam patří kondenzace plynných emisí na povrch vzniklých částic nebo koagulací nejjemnějších částic při spalování paliva. Sekundární procesy obsahují děje, které jsou spojeny se vznikem a transformacemi částic v atmosféře.

Emise pevných částic mají prokazatelně negativní dopady na lidské zdraví, je tomu tak hlavně ve velkých městech, kde je vysoká intenzita dopravy. Samotná látka není toxická, nebezpečí závisí hlavně na tom, jaká z nebezpečných látek je na tyto pevné částice vázána. Dlouhodobé vystavení jejich účinkům vede k srdečním onemocněním, zánětlivým onemocněním plic, někdy až k rakovině plic.

[3, 4]

2.2.5 Oxid uhličitý (CO₂)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez chuti a zápachu, ve vyšších koncentracích (nad 10%) může způsobit ztrátu vědomí až smrt. Není přímo škodlivou látkou, proto není legislativně omezen, ale přispívá k tvorbě tzv. skleníkového efektu, který má za následek, globální oteplování Země (snižuje ochranné účinky ozónové vrstvy proti ultrafialovému záření). Po chemické stránce se jedná o produkt dokonalé oxidace a jeho přítomnost ve spalínách je důsledkem kvalitně uskutečněného spalovacího procesu.

Doprava se na celkové produkci CO₂ podílí asi jen 13 procenty. V porovnání s průmyslem a zemědělstvím se nejedná o zásadní podíl. Přesto je vyvíjen enormní tlak na výrobce automobilů, aby snížili produkci CO₂, ale na druhou stranu v dnešní době normy nelimitují množství CO₂ ve spalínách. Například v roce 2010 vypouštěly nově vyrobené vozy průměrně 145,9 gramů CO₂ na ujetý kilometr. Proti roku 2003 to bylo 20gramové snížení.

[4, 7, 9]

2.3 Legislativní předpisy

V roce 1968 bylo poprvé ve světě zavedeno omezení škodlivých emisí výfukových plynů u osobních automobilů. Stalo se tak v USA. V dnešní době po celém světě existuje mnoho testů emisí jak na osobní, tak i na ostatní druhy dopravy, které hlídají, aby nebyly překročeny stanovené hodnoty. Nejprísnejší a zároveň nejdůležitější předpisy jsou z USA, Evropy a Japonska.

Nyní každý nově vyrobený automobil musí splňovat příslušné homologační předpisy. Proto ještě před uvedením vozidla na trh musí projít náročným schvalovacím měřením tzv. homologační zkouškou. V naprosté většině zemí jsou součástí těchto předpisů ustanovení o množství povolených škodlivin ve výfukových plynech.

V Evropě byla prvním platným předpisem uvedena směrnice EHK 15. Stalo se tak v roce 1971. V České republice platila od roku 1972. Obsahovala 4 jízdní cykly a měřilo se v ní množství oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků ve spalínách. Později se měřil také oxid dusíku (NO_x).

Koncem osmdesátých let byla směrnice EHK 15 nahrazena novou, modernější směrnicí EHK 83. Ta se stala základním kamenem i pro dnešní předpisy. Tato vyhláška vstoupila v platnost v roce 1989, u nás však v roce 1991. Předpis uvádí tři typy hodnocení:

- **Typ A** hodnotí vozidla se zážehovým motorem bez úpravy spalín. Tudiž v dnešní době se uplatňuje pouze na přezkušování starších typů vozů.

- **Typ B** hodnotí také vozidla se zážehovým motorem, které navíc musí obsahovat katalyzátor (používají bezolovnatý benzín)
- **Typ C** hodnotí vozidla se vznětovým motorem (tyto motory používají motorovou naftu)

Tento předpis je určen především pro kategorii vozidel M₁ a N₁ do celkové hmotnosti 3 500 kg a udává limitní množství emisních složek CO, HC, NO_x, které se také nazývají jako limitované emise. Od revize EHK.01 se udávají i složky pevných částic. V předpisu EHK 83 je typickým znakem, že se měření vozidel do hmotnosti 3,5 tuny provádí na válcové zkušebně, kde se simuluje jízda vozidla. Výfukové plyny se jímají do vaků a výsledné koncentrace emisních složek se udávají v g na kilometr. Dříve se měřily gramy na test.

Předpis EHK 83 od svého vydání prošel mnoha úpravami, které se zpravidla týkaly zpřísnění limitních hodnot emisí. Na začátku devadesátých let díky sjednocování legislativy ve státech Evropské unie začali vycházet nové předpisy. Tyto předpisy se už pojmenovávaly podle evropských zvyklostí. Dnes je známe pod označením EURO (můžeme se setkat i s kratším označením EU a číslo revize) a dané číslo revize. Toto označení díky sjednocování legislativy užívají i státy mimo Evropskou unii. Dané evropské emisní limity jsou uvedené v tab. 1

[1, 3]

Tab. 1 Emisní limity pro osobní automobily (kategorie M1)

Stupeň	Platnost	CO	HC	HC + NO _x	NO _x	PM
		g/km				
vznětový motor						
Euro 1	07.1992	2,72	-	0,97	-	0,14
Euro 2, IDI	01.1996	1,0	-	0,7	-	0,08
Euro 2, DI	01.1996	1,0	-	0,9	-	0,1
Euro 3	01.2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Euro 4	01.2005	0,5	-	0,3	0,25	0,025
Euro 5	09.2009	0,5	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	09.2014	0,5	-	0,17	0,08	0,005
Zážehový motor						
Euro 1	07.1992	2,72	-	0,97		-
Euro 2	01.1996	2,2	-	0,5		-
Euro 3	01.2000	2,3	0,2	-	0,15	-
Euro 4	01.2005	1,0	0,1	-	0,08	-
Euro 5	09.2009	1,0	0,1	-	0,06	0,005
Euro 6	09.2014	1,0	0,1	-	0,06	0,005

IDI - komůrkové vznětové motory

DI - vznětové motory s přímým vstřikováním

[16]

3 Principy měření jednotlivých emisních složek

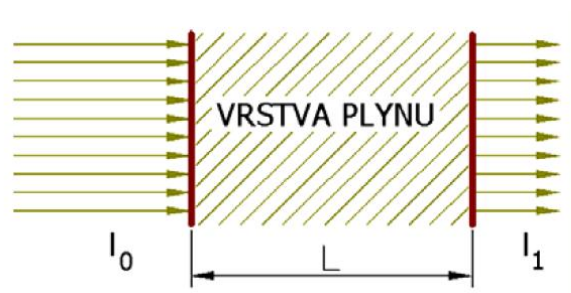
Jak jsme si uvedli v předešlé kapitole, ve spalovacím motoru vznikají při spalování paliva různé látky. Některé jsou škodlivé velmi a některé méně. A proto se musí měřit jejich množství.

3.1 Měření založené na absorpci infračerveného záření

Toto měření je založen na principu průchodu elektromagnetického záření vrstvou plynu, při kterém je část energie pohlcena. Každá vlnová délka je charakterizována absorpčním Λ Lambert-Beerovým zákonem.

Pro zjišťování určitého plynu ve spalinách se využívá skutečnost, že každý plyn má určitou závislost absorpčního koeficientu na vlnové délce záření. Ale molekula plynu musí být složena z více než jednoho druhu atomu.

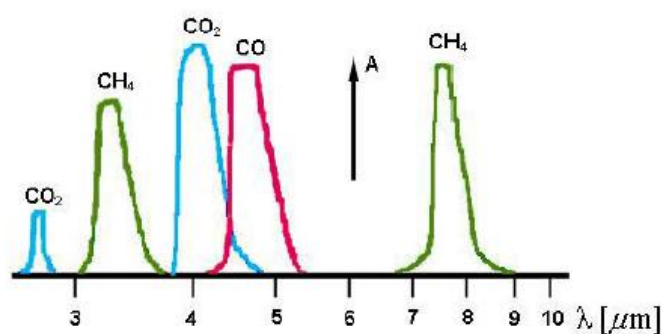
Obr. 4: Průchod elektromagnetického záření



[1]

Absorpci určitého plynu určuje daná plocha pod křivkou, kterou vidíme na obr. 2–2. Extrémy vibračních absorpčních spekter jsou v rozmezí vlnových délek nebo frekvencí, pro které se využívá označení infračervená oblast. Odtud plyne název metody.

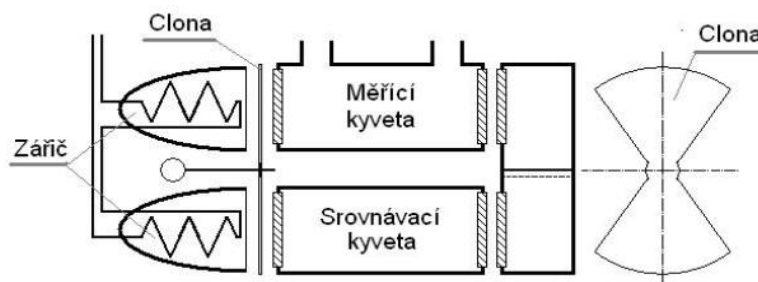
Obr. 5: Absorpční spektra jednotlivých složek spalin



[10]

Přístroj na měření absorpce infračerveného záření využívá princip, že infračervené záření vysílané zářičem prochází kyvetami s dírami z materiálu, který propouští příslušné vlnové délky. Srovnávací kyveta je naplněna například plynem N_2 , který nepohlcuje infračervené záření. Měřicí kyveta se proplachuje vzorkem plynu, který chceme analyzovat. Takže část procházejícího plynu je pohlcena. Měřítkem koncentrace absorpčně aktivních plynů ve vzorku je tedy rozdíl v intenzitě záření, které prošlo. Výběrovost přístroje se dosáhne komparátorem, který se skládá ze dvou komor naplněných plynem. Koncentrace se v té zkoumané směsi zjišťuje. Plyn v komparátoru poté absorbuje jen v oblasti individuálního absorpčního spektra. Díky koncentraci sledované složky ve vzorku se náplň komor ohřívá rozdílně.

Obr. 6: Infraanalyzátor



[10]

Kvůli průběžnému osvětlování komparátor záření, které prošlo kyvetami, by se jeho teplota náplně asymptoticky přibližovala do stavu rovnováhy přivedené energie a ztrátám sdíleným tepla do okolí. Proto se do zařízení přidala rotující clona se sudým počtem křídel, aby průběh teplot v obou komorách byl periodický a usnadnilo se tak vyhodnocení signálu. Amplituda rozdílu teplot v kyvetách je v ustáleném stavu úměrná koncentraci sledované

složky. V praxi se neměří teplota komor, ale měří se hodnota kapacity deskového kondenzátoru, který je tvořen membránou. Membrána odděluje komory od sebe a souběžně nataženou sítkou. Membrána se prohýbá díky změnám tlaku v komorách. Tyto změny tlaku jsou způsobeny různým množstvím přivedeného tepla do komor komparátoru (tento děj při zanedbání malé změny objemu lze považovat za izochorický). Konečné změny polohy membrány způsobí změnu kapacity kondenzátoru, kterou změří a vyhodnotí elektronické obvody pro zpracování tohoto signálu.

Tento popsaný přístroj se nazývá NDIRA (Non Dispersive Infrared Analyser), což znamená bezdisperzní infraanalyzátor. Bezdisperzní je, protože selektivita není dosažena normálními metodami, mezi které patří například monochromatický zdroj záření nebo filtry.

Výše popsaný přístroj se přesně nedokáže vypořádat s překrýváním absorpčních spekter některých složek analyzovaných spalin. Na obrázku vidíme, že tento problém nastává u analýzy oxidu uhlíku. Ohřev komor komparátoru naplněného oxidem uhelnatým bude ovlivněn případnou koncentrací oxidu uhličitého v analyzovaném vzorku. Tato chyba se může výrazně projevit, když je koncentrace rušivé složky mnohem větší než měřená. To je například spalování benzínu, kdy za řízeným katalyzátorem je koncentrace oxidu uhelnatého v setinách procenta, ale koncentrace oxidu uhličitého je cca 15 %. Tento problém se řeší umístěním filtrační kyvety naplněné potenciálně rušivou komponentou do obou souběžných tras paprsku. Rušivá komponenta filtruje vlnové délky, u kterých by hrozila interference.

Další značně účinnou metodou pro potlačené příčné citlivosti je uspořádání komparátoru NDIRA s komorami, které mají rozdílnou délku, umístěným za sebou. Takovéto analyzátoři používají rotující clonu s lichým počtem křídel.

Analyzátoři NDIRA se především využívají jako standardní měřiče ke zjišťování koncentrace oxidu uhelnatého a uhličitého. Při použití analyzátoru, pro stanovení koncentrace nespálených uhlovodíků ve spalinách, narazíme na problémy s jejich různým složením. Díky tomu je obtížné určit ideální náplň komparátoru a filtrační kyvety. Ale vycházíme z podobných složení nespálených uhlovodíků při spalování stejného paliva. Také si musíme uvědomit, že naměřená koncentrace nespálených uhlovodíků nijak nezohledňuje různou škodlivost uhlovodíků, ale udává jen celkový objem nespálených uhlovodíků ve výfukových plynech. Proto metodou NDIRA lze použít jen pro rychlou kontrolu produkce HC ze stejných typů motorů.

Citlivost, neboli měřicí rozsah přístroje je především závislá na délce kyvety. Ty se nevyrábí s přestavitelnou délkou a tak poměr nejmenšího a největšího rozsahu je přibližně 1:10. Díky tomu nelze obsáhnout všechny možné koncentrace CO ve spalinách v rozmezí od setin procenta do jednotek procent. Takže se zpravidla nevystačí s jedním přístrojem.

Analyzátor NDIRA mají také komponenty sloužící k zajištění požadovaných vlastností spalin. Patří mezi ně tlak, teplota, rychlost průtoku vzorku kyvetou, vlhkost atd..

Infraanalyzátor je nejjednodušší a zároveň nejlevnější typ analyzátoru, protože při vlastním měření nepotřebuje žádnou dodávku dalších provozních látek. Díky tomu se hojně využívá ve výzkumu a vývoji.

[1, 10, 13]

3.2 Měření založené na absorpci ultrafialového záření

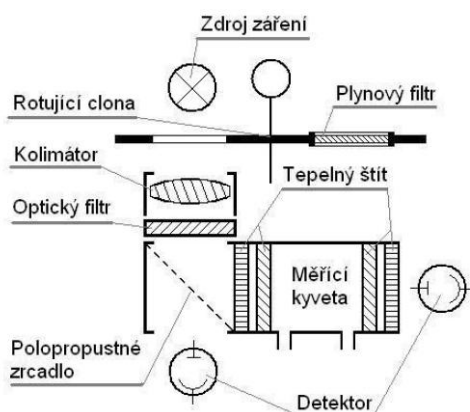
Přístroje založené na absorpci ultrafialového záření patří stejně jako infraanalyzátory do skupiny optických analyzátorů.

Jako zářič je zde plynová výbojka s dutou katodou. Ultrafialové záření vyslané výbojkou je v čase modulováno díky rotující cloně a místně rozděleno polopropustným zrcadlem neboli děličem. Část záření prochází skrz měřicí kyvetu, ve které dochází k jejímu částečnému pohlcení absorpčně aktivními složkami, které se nachází v analyzovaných spalinách. Měřicí kyveta je neustále proplachovaná procházejícím plynem. Referenční paprsek je veden na korekční detektor neboli fotonásobič.

Citlivost výběru přístroje je zajištěna výběrem plynového filtru, který je v jednom křídle rotující clony, a plynové náplně výbojky.

Díky symetricky umístěnému otvoru na opačné straně clony se zpracováním výstupních signálů z obou detektorů generuje napětí. Toto napětí je lineární funkcí koncentrace sledovaného vzorku. Příčná citlivost přístroje je snížena použitým optickým filtrem a díky uspořádání s referenčním paprskem vyloučí vliv neselektivní absorpce.

Obr. 7: Analyzátor sloužící k absorpci UV záření



[10]

Přístroje založené na principu absorpce UV záření se využívají ke zjišťování koncentrace oxidů dusíku. Jako jsou NO a NO₂. Tento způsob měření je však poměrně málo využíván, protože životnost výbojky je značně omezená. Náplň se při používání časem spotřebovává.

Měřicí rozsah tohoto přístroje je kolem stovek ppm NO. Což pro analýzu spalovacích motorů je optimální. Avšak pro měření koncentrace oxidu dusičitého je tento rozsah příliš hrubý. Elektronicky se ale dá přepínat rozsah v poměru 1:10.

[1, 10]

3.3 Měření s využitím chemické luminiscence

Tato metoda se využívá ke stanovení koncentrace oxidů dusíku ve spalínách. Tato metoda je emise určitých energetických kvant (fotonů), které provázejí některé chemické reakce. Zápis hlavní reakce je: $NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2 + h_\nu$

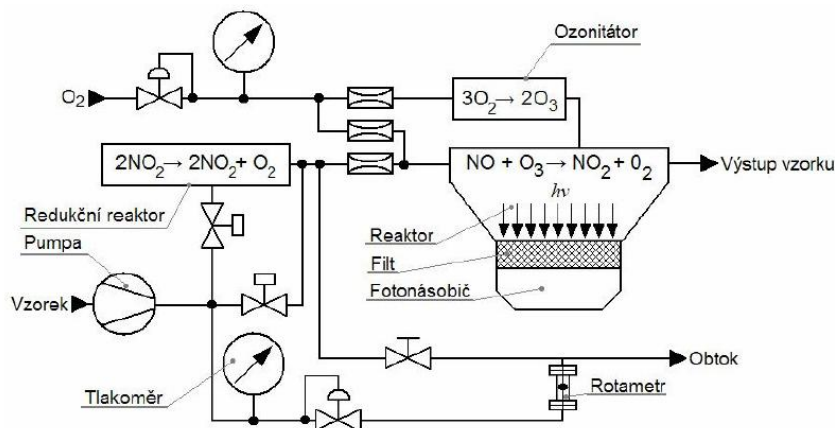
h_ν je energetické kvantum

Výroba ozónu probíhá působením elektrostatického pole na molekulu kyslíku při vysokém napětí. Do reaktoru se přivádí dohromady se spalínami. V reaktoru je nainstalovaný fotonásobič. Jeho výstupní signál je přímo úměrný množství dopadajících energetických fotonů. Dále se tento výstupní signál zpracovává.

Další vstupní látkou reakce (1) je oxid dusnatý. Pro zjištění celkové emise oxidů (NO_x → NO + NO₂) se přepne elektromagnetický ventil v přístroji tak, aby spaliny plynuly katalytickým reaktorem, který je vyhříván. V něm probíhá redukce NO₂ na NO. Přístroj tedy

měří buď koncentraci NO_2 nebo NO_x . Pro zjištění oxidu dusičitého stačí pouze odečíst od sebe naměřené hodnoty ve dvou režimech.

Obr. 8: Chemiluminiscenční analyzátor



[10]

Výše popsany přístroj se nazývá chemiluminiscenční analyzátor, zvaný také jako CLA (ChemiLuminiscent Analyser). Tento přístroj je velmi citlivý, nevykazuje příčnou citlivost na jiné složky ve vzorku a jeho rozsah je veliký. Ale v průběhu měření se musí přístroji dodávat kyslík do ozonizéru.

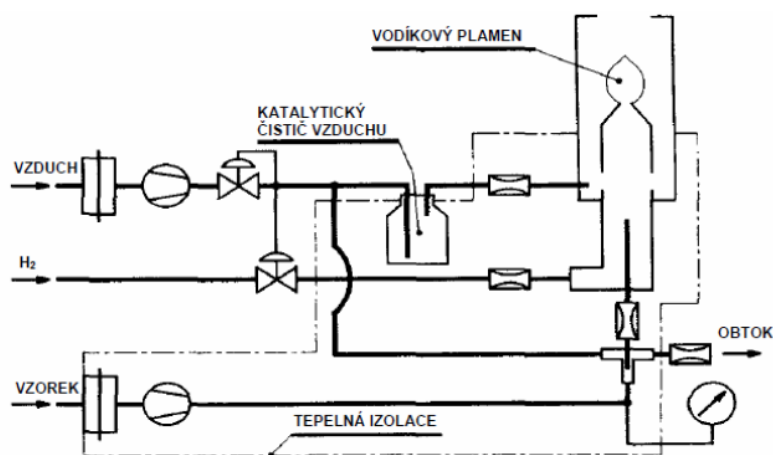
[10, 12]

3.4 Měření založené na změně elektrické vodivosti vodíkového plamene

Toto měření se provádí plamenoionizačním detektorem (FID – Flame Ionization Detector). Tento analyzátor funguje na principu, který byl dříve vyvinut jako detektor chromatografu. Funguje na principu, že přivedením elektrického potenciálu na vodíko-vzduchový plamen vznikne malý proud iontů. Když se přivede organicky vázaný uhlík do plamene, tak proud iontů úměrně vzroste průtočnému množství uhlovodíků.

FID analyzátor je zobrazen na obr.2-6. Vodíkový plamen je zapalován žhavicí svíčkou při spuštění stroje. Vzduch potřebný k jeho hoření je nasáván z atmosféry a ještě před vstupem projde katalytickým čističem, který ho zbaví organických nečistot, aby se předešlo zkreslení měření. Tlak vodíku je regulovaný. Díky tomu se zajistí trvalý směšovací poměr a také se zabrání úniku vodíku při vypnutí analyzátoru. Celé vedení měřených spalin vede skrz termostat, aby se udržovala stálá teplota. Teplota se může zvednout například až na 200 °C.

Obr. 9: Plamenoionizační detektor



[10]

V analyzátoru se nachází dvojice elektrod, které snímají procházející proud iontů. Jedna elektroda je zpravidla tvořena samotným tělesem hořáku a druhá má různé tvary. Nejčastěji má tvar šroubovice s různým průměrem nebo je to rovný drát, a nebo těleso trubkového tvaru. Tato druhá elektroda je vhodně umístěna v plameni.

U těchto analyzátorů musíme dbát na správné koncentraci kyslíků ve směsi, protože tyto přístroje jsou příčně citlivé právě na kyslík. Pro potlačení chyby je důležité se soustředit na nastavení správného směšovacího poměru mezi vodíkem, který přivádíme do plamene, a spalovacím vzduchem.

Koncentrace nespálených uhlovodíků, kterou určíme pomocí přístroje FID, se může velmi lišit od hodnot naměřených metodou NDIRA na stejném vzorku. Tento rozdíl je závislý především na konkrétním složení uhlovodíku a také na použité náplni komparátoru NDIRA. Proto se udává u naměřených hodnot, kterou metodou se to zjistilo.

Abychom získali přesnější hodnoty, je vhodné přivádět analyzované spaliny přes speciální katalytický reaktor. Ten dodatečně oxiduje nemetanové uhlovodíky. Přístroj potom ukáže koncentraci metanu ve vzorku. Získanou koncentraci nemetanových uhlovodíků, též zvaných jako NMOC (Non Methan Organic Components), spočteme tak, že od sebe odečteme koncentraci metanu od celkové emise uhlovodíků. Ta se značí jako THC (Total Hydro Carbons)

[1, 10]

3.5 Měření založené na principu magnetických vlastností

Díky vysoké permanentní permeabilitě jsou paramagnetické látky vtahovány do magnetického pole. Ze všech plynů má kyslík největší permeabilitu a díky tomu se princip měření magnetických vlastností plynů využívá v analyzátoch k určení koncentrace kyslíku v dané směsi. Hlavní součástí přístrojů pracujících na tomto principu je permanentní elektromagnet, jehož pole přitahuje molekuly kyslíku.

[12]

3.6 Určování obsahu kyslíku

Pro určování kyslíku se používá difuzní snímač hraničního proudu. Tento přístroj je složen buď z porézní pozlacené teflonové fólie nebo podle druhé metody z namíchané olověné elektrody a akumulátorové kyseliny. Poté když se na snímač přivede napětí o hodnotě 200 mV, tak se měřítkem obsahu kyslíku stane proud v rozmezí 0 až 100 mA.

[12]

3.7 Určování součinitele přebytku vzduchu lambda

Součinitel přebytku vzduchu lambda se vypočítává pomocí Brettschneiderova vzorce. Aby bylo možné hodnotu lambdy spočítat, je nutné nejprve znát obsah čtyř složek emisí výfukových plynů a to jsou CO₂, HC, CO a O₂. Hodnoty plynů se mohou udávat buď ve tvaru zlomku nebo v procentech. Ve čtyřsložkových infraanalyzátoch se přebytek vzduchu lambda vypočítává a zobrazuje podle vzorce.

[12]

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

3.8 Měření emise částic ze vznětových motorů

Spaliny ze vznětového motoru se vyznačují jevem, kterému se říká kouřivost. Tato vlastnost na rozdíl od ostatních složek emisí je viditelná pouhým okem a tudíž se tato problematika stala číslem jedna pro zjišťování škodlivosti. První metodou, která se kouřivostí zabývá, je založena na usazování částic kouře na filtrační papírek. Přes tento papír se profiltruje vzorek spalin určitého objemu danou rychlostí. Podle zčernání filtračního papírku se pomocí optické metody hodnotí množství světla pohlceného zaneseným filtrem ku

pohlcení světla čistým filtračním papírem. Tato měřená veličina se nazývá kouřivost stanovená filtrační metodou.

Další používaná veličina se nazývá opacita spalin (pohltivost světla). Měří se přístrojem zvaný opacimetr. Opacita zjišťuje pohltivost světla sloupcem výfukových plynů dané délky. Což znamená, že je přesně daná optická dráha.

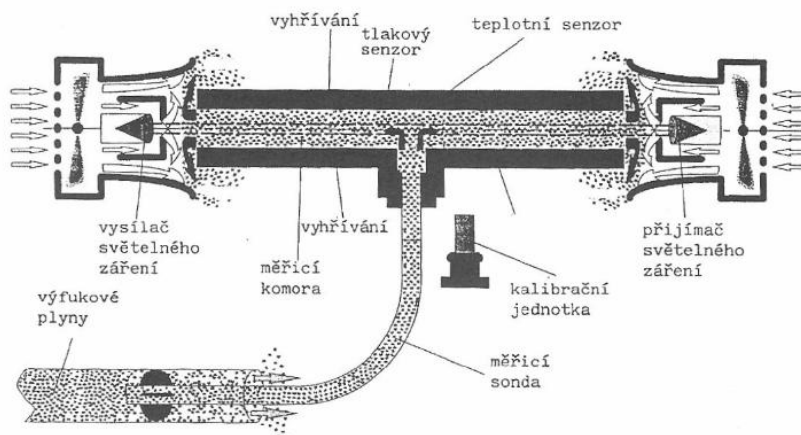
Tyto dvě metody mají společnou nevýhodu. Protože nemohou naměřené hodnoty vztahovat k výkonovým parametrům motoru. Aby to bylo možné, tak se musela upravit filtrační metoda. Zavedlo se do ní vyhodnocení usazeného množství částic spalin jako rozdílu hmotností čistého a zaneseného filtru.

[10]

3.8.1 Opacimetrie

Přístroj na měření kouřivosti se jmenuje opacimetr. Díky němu se zjišťuje pohltivost světla sloupcem spalin. Sloupec má přesně definovanou délku. Měřicí komora analyzátoru je složena z detektoru, který je tvořený fotodiodou, a na druhé straně lampou. Fotodioda zachytává vyzářené světlo z lampy a měří, kolik ho na ní dopadne. Když je v komoře čistý vzduch, tak vyzářené světlo není ničím zachytávané a díky tomu je opacita nulová. Když vpustíme do trubice spaliny s pevnými částicemi, rázem je světlo z lampy částečně pohlcované a opacita se tím pádem zvýší. Kdyby nastalo, že žádné světlo nedojde až k fotodiodě, tak opacita bude rovna 100%.

Obr. 10: Opacimetr



[12]

Předepisuje se také teplota spalin v měřicí trubici. Ta je měřena teplotním senzorem, který je zabudovaný v trubici. Pozor se také musí dávat, aby se detektor a lampa nezanášeli nečistotami, to by vedlo k nepřesnému měření.

[10, 12]

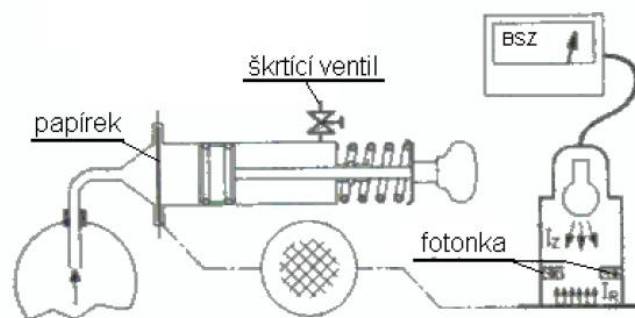
3.8.2 Měření kouřivosti filtrační metodou

Na obrázku vidíme schéma přístroje na měření kouřivosti filtrační metodou a s ruční sondou. Princip analyzátoru spočívá na zachycení částic sazí na filtračním papírku, přes který prochází spaliny z motoru určenou rychlostí a daným objemem. To je nastaveno škrtícím ventilem. Množství nanesených částic se vyhodnotí pomocí reflektivního fotometru. Fotometr je citlivý na množství světla, které se odrazí od zaneseného filtračního papíru. Tímto principem získáme tzv. stupeň zčernání SZ (Schwarzungszahl) nebo také známý pod označením Bn (Bosch Number)

Modernější provedení přístroje už je automatické, s kontinuálním páskem papíru, vestavěnou pumpou a s přívodní hadicí, která je natrvalo připevněna k výfuku.

[10, 12]

Obr. 11: Filtrační kouřoměr



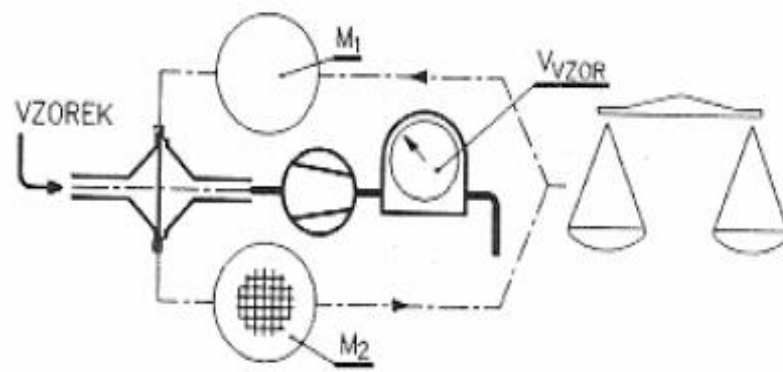
[10]

3.8.3 Přímé hmotnostní měření koncentrace částic

Princip gravimetrického stanovení obsahu pevných částic ve výfukových plynech není nijak složitý. Filtrační prvek je ze skelných vláken potažených teflonem. Jeho hmotnost se přesně zjistí na laboratorních vahách. Poté se vloží do příslušného držáku a pumpou se přes něj prosává vzorek spalin. Po skončení měření se filtr znovu zváží a stanoví se hmotnostní koncentrace částic v analyzovaných spalinách.

[10]

Obr. 12: Gravimetrické měření obsahu částic



[10]

4 Přehled vývoje analyzátorů emisí a současná nabídka

4.1 Vývoj emisních analyzátorů

Historie a vývoj přístrojů v autoopravárenství sloužících k měření a diagnostice byl vždy spojen s vývojem techniky používané ve vozidlech. Prudký rozvoj tohoto odvětví nastal po druhé světové válce, kdy technologie vyvíjené pro potřeby válčení postupně začali nacházet uplatnění i v normálním civilním životě. S tím souvisel i vývoj měřicí a diagnostické techniky. Ze začátku se konstruovaly měřicí přístroje jednosložkové. V té době ještě nebyla počítačová technika na takové úrovni jako dnes a tak byly přístroje analogového typu. Dosahovali velkých rozměrů, nebyli moc pohyblivé a bylo nutné je často kalibrovat.

Jedním takovým přístrojem je analyzátor JT 220 z firmy Jiskra Tábor. Tento analyzátor měří směšovací poměr motoru. Na stupnici jsou hodnoty od 9 do 17. Přesnost tohoto přístroje je 0,1 dílu. Optimální hodnota směšovacího poměru v té době byla 13 (směšovací poměr závisí na daném druhu paliva). Tento přístroj se používal tak, že se připojila sonda k výfukovému traktu vozu. Spaliny musely být ještě před vstupem do analyzátoru chlazeny, což se dělalo pomocí přídatného chladiče.

Obr. 13: Analyzátor JT 220



[20]

Postupem času vlivem neustálému vyvíjení a zmenšování elektronických součástek se přístroje na analýzu motorových spalín zmenšovali. S tím šel ruku v ruce i vývoj víceúčelových stacionárních přístrojů. To v podstatě znamenalo několik menších přístrojů

složených do jedné skříně. Jako příklad lze uvést přístroj od firmy Jiskra Tábor, Paltest JT 251. (viz obr.3.1) začal se vyrábět v 70 letech 20. století. Tyto přístroje byly velmi používané po zavedení pravidelných technických kontrol vozidel v druhé polovině 20. století. Jejich funkce byla měření, kontrola a seřizování mechanických emisních systémů motoru. Ze spalin motoru analyzovali pouze obsah oxidu uhelnatého. Ten brali jako ukazatel správného spalování paliva v motoru. Na tomto analyzátoru jsou přístroje k měření předstihu, k analýze výfukových plynů, na kontrolu těsnosti a také osciloskop.

Tento přístroj Paltest JT 251 je určen ke kontrole a nastavení zapalovacích soustav, zdrojových soustav a palivových soustav čtyřtákních zážehových benzínových motorů s počtem válců 4, 6 a 8, s klasickým a tranzistorovým zapalovacím systémem. Tento přístroj provádí 16 operací na jednom vozidle, ale pouze jedna je za účelem měření spalin motoru. Tedy měření procentuálního obsahu oxidu uhelnatého. Provádí se to tím způsobem, že nejdříve se vypustí voda z chladiče analyzátoru, nastaví se 4,5% CO na analyzátoru a otáčky motoru se dají na volnoběh. Poté se zasune sonda do výfuku automobilu minimálně 40 cm. Po ustálení měřené hodnoty se data zaznamenají. Toto se opakuje i pro otáčky 1500, 3000 a 4500 min^{-1} . Dále se po ustálení volnoběhu pomocí akceleračního pedálu provede krátká akcelerace motoru. Kontroluje se, na jakou nejvyšší hodnotu vystoupá procentuální obsah CO ve spalinách. Tato hodnota se zapíše. V té době se tyto údaje psali ručně do tabulek.

Rozsah tohoto analyzátoru se pohybuje od 0 do 10% CO, nejmenší možný odečet je 0,1% CO.

Obr. 14: Paltest JT 251



[21]

Díky dalšímu vývoji v oblasti spalovacích motorů, kdy byly neřízené emisní systémy (karburátory nebo mechanické vstřikování) nahrazeny modernější technikou přípravy směsi s elektronickou regulací, se muselo zkvalitnit i analyzování. Například paralelní diagnostika pomocí digitálního osciloskopu. Také bylo potřeba sestrojít přístroje ke komunikaci s řídicími jednotkami. Ať už se jedná o řídicí jednotky sloužící k vstřikování paliva nebo zapalování.

Na začátku devadesátých let byly v Evropě zavedeny nové emisní normy Euro I. Díky tomu se začali vyvíjet vícesložkové emisní analyzátorů a opacimetry. Ty se stali nedílnou součástí tehdejších motortesterů. Tyto přístroje měřili jednotlivé složky emisí s větší přesností než doposud.

Od devadesátých let byla digitalizace měřící techniky už na tak vysoké úrovni, že bylo možné dělat motortestery na bázi klasického kancelářského počítače. To vedlo ke zlevnění výroby, snadnější ovladatelnosti a možnosti digitálně zpracovávat získané hodnoty.

[11, 20, 21]

4.2 Obecné vlastnosti analyzátorů

Na analyzátory emisí jsou kladeny požadavky, aby daný přístroj měl příslušný rozsah, přesnost, selektivitu a aby byly údaje nezávislé na vnějších vlivech.

4.2.1 Rozsah

Měřicí rozsah je jeden z nejdůležitějších údajů daného analyzátoru. Pojmeme rozsah se rozumí oblast hodnot měřené veličiny ohraničené dvěma hranicemi. Horní a spodní hranicí rozsahu. Mezi těmito hodnotami je analyzátor schopen vyjádřit velikost dané naměřené veličiny. K vyjádření rozsahu analyzátorů se využívá různých způsobů. Prvním je uvést obě hranice, které vymezují rozsah. Například může být rozsah 5 až 10% CO₂. Další možností je udat šířku intervalu pouze jedním číslem (5% CO₂). Tento druhý údaj se nazývá největší hodnota měřicího rozsahu.

Maximální rozsah u analyzátorů je roven 100% měřené složky. Minimální dosažitelný rozsah závisí na druhu užití metody zjišťování dané látky, ale také na konstrukčním složení přístroje. Udává se, že požadovaná relativní přesnost měření je u analyzátorů okolo 2 až 5%. Výjimečně bývá lepší než 1%.

[2]

4.2.2 Přesnost

Přesnost daného přístroje udává interval, jehož krajní hranice nesmí chyba měření za určitých podmínek překročit (například tlak, teplota prostředí). Šířka tohoto intervalu se udává různými způsoby. Jedním z nich je, že se udává v jednotkách veličiny, se kterou se měří. Dalším je vztažení poloviny šířky intervalu k měřicímu rozsahu používané u elektrických měřicích přístrojů při určení třídy pevnosti.

Udávaná přesnost platí jen pro určité podmínky, proto by měl být každý takový údaj doplněn o ovlivňující faktory, při kterých už uvedená přesnost neplatí. Specifickým zdrojem chyb u samočinných analyzátorů plynu může být i kalibrace, prováděná ručně nebo automaticky podle kalibračních plynů různého složení, s použitím kalibračních kyvet apod. U většiny analyzátorů je třeba počítat s celkovou chybou 1 % až 5 % z měřicího rozsahu

Na každém elektrickém měřicím přístroji je třída přesnosti uvedena. Ta je ale uvedena pouze pro daný elektrický měřicí přístroj a ne pro celý analyzátor.

[2, 5]

4.2.3 Selektivita

Žádný analyzátor nedokáže naprosto bez jakékoli chyby určit obsah dané složky ve směsi. Této schopnosti se říká selektivita. Je to schopnost analyzátoru rozlišit měřenou složku od ostatních plynných složek směsi a potlačit jejich vliv na údaj analyzátoru. Tato selektivita vyjadřuje i kvantitativně tzv. příčnou (křížovou) citlivostí, která udává, jaký vliv na přesnost měření mají doprovodné plyny. I když v mnohých případech způsobuje tento problém menší chybu než ostatní podmínky (tlak, průtok, teplota)

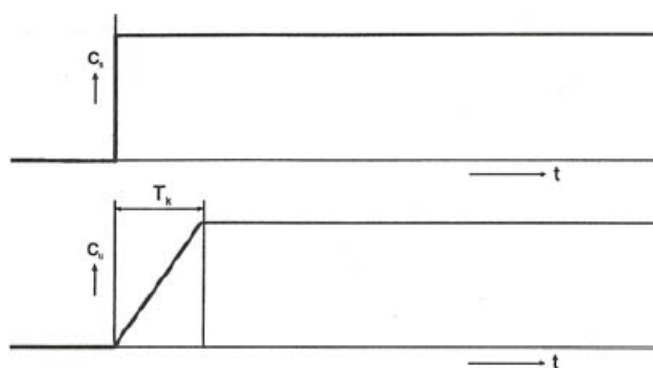
[2, 5]

4.2.4 Dynamické vlastnosti analyzátorů

Pro funkci analyzátoru plynů jsou důležité také jeho dynamické vlastnosti, které se vyhodnocují z přechodové charakteristiky. Velkou roli hraje zejména doba odezvy na skokovou změnu, často definovaná dobou nastavení t_{90} , za kterou dosáhne údaj analyzátoru 90 % ustálené hodnoty po skokové změně koncentrace. Při extraktivním měření je nutné brát při hodnocení dynamických vlastností analyzátoru v úvahu také dopravní zpoždění vznikající při dopravě měřeného vzorku plynu z místa odběru až do analyzátoru.

[5]

Obr. 15: Přechodová charakteristika



[2]

4.3 Současná nabídka

V současné době se problematikou diagnostiky spalovacích motorů zabývá velké množství firem ať tuzemských či světových. Například mezi ně patří firmy AVL, Atal spol. s r.o. se sídlem v Táboře, Horiba, Maha Consulting, Bosch a další. Všechny tyto firmy vyrábí přístroje na analýzu výfukových plynů vznětových a zážehových motorů. Dá se říci, že každý jejich analyzátor lze sestavovat jako stavebnici. Každá tato část se propojí s osobním

počítačem, kde probíhá zpracovávání daných výsledků měření a vyhodnocení. Tyto přístroje jsou podrobněji popsány v následujících odstavcích.

4.3.1 Bosch

Firma Bosch byla založena v roce 1886. U nás je aktivní od konce 19. století, kdy obchodovala také s firmou Laurin & Klement. První oficiální pobočka Bosch byla založena roku 1920 v Praze a po nucené 44leté přestávce se po roce 1989 vrátila a od prosince roku 1991 je opět činná. Bosch vyrábí velkou spoustu přístrojů na diagnostiku vozidel, mezi ně patří také emisní analyzátory. V současné době nabízí na českém trhu 5 analyzátorů a to produkty BEA 150, 250, 350, 460 a 850. Analyzátor BEA 150 slouží k měření vznětových motorů, analyzátor BEA 250 k měření zážehových motorů a BEA 350 je složen z analyzátorů BEA 150 a BEA 250, takže dokáže analyzovat emise z obou typů motorů.

Obr. 16: Analyzátor Bosch BEA



[18]

Přístroj BEA 460 je optimálním zařízením pro úřední měření emisí. Zařízení bylo vyvinuto ve spolupráci s organizacemi pro kontrolu v oblasti autoopravenství a je pro dílnu připraveno tak, aby byly splněny aktuální i budoucí požadavky na analýzu emisí. Modulární koncepce je rozšířitelná na kompletní diagnostiku řídicích jednotek. Obsluha je prováděna bezdrátově nebo pomocí kabelového spojení přes PC nebo notebook. Analyzátor splňuje požadavky české legislativy a je schválený pro úřední měření emisí v ČR. Analyzátor BEA 850 je modulárně řešený komplex pro měření emisí u zážehových a vznětových motorů s bohatým základním vybavením umožňujícím měření přídatných veličin (předstih, úhel

sepnutí, napětí lambda sondy, odpor, dynamický předvstřík a další) a zobrazení pomalých signálů na osciloskopu (napětí lambda sondy, doba vstříku, poměrné sepnutí a další)

4.3.1.1 BEA 150

Dalším nabízeným přístrojem je analyzátor BEA 150. Ten měří emise vznětových motorů u osobních a nákladních automobilů. Tento analyzátor obsahuje měřicí komoru opacimetru, která má tyto vlastnosti:

- vysoká přesnost měření díky optimálnímu proudění v měřicí komoře
- dlouhé intervaly údržby díky patentované technologii vícenásobných vzduchových závěsů
- rychlé čištění komory
- výfuková sonda s nastavitelnou délkou
- možnost napojení výstupu z měřicí komory na odsávací zařízení
- velmi krátká doba zahřátí, k provozu je připravena již 3 minuty po zapnutí.

Technické údaje jako jsou měřicí rozsah a rozlišení jsou uvedeny v tabulce.

[18]

Tab. 2 Technické parametry BEA 150

Komponenty	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0 - 10 % obj	0,001 % obj
CO2	0 - 18 % obj	0,010 % obj
HC	0 - 9999 ppm obj	1,0 ppm obj
O2	0 - 22 % obj	0,010 % obj.
Lambda	0,5 - 9,999	0,001
NO	0 - 5000 ppm obj	≤ 1,0 ppm obj

4.3.2 Atal

Firma Atal Tábor, která v Čechách má za sebou velkou historii, vyrábí už několikátou generaci přístrojů pro diagnostiku. V současné době nabízí analyzátor výfukových plynů, které měří jak vznětové tak zážehové motory. Pro měření zážehových motorů nabízí analyzátor ACTIGAS Compact 505 a modul AT 505. Pro měření vznětových motorů kouřoměr Modul Opacimetru AT 605 řízený počítačem.

Obr. 17: Analyzátor ACTIGAS Compact 505



[14]

Kouřoměr AT 605 je přístroj, který používá pro měření kouřivosti opacitní metodu, která je založena na měření optického útlumu světla procházejícího sloupcem měřeného kouře v měrné kyvetě. Tento přístroj umí realizovat jak ustálená, tak akcelerační měření. Během akceleračního testu registruje volnoběžné a přeběhové otáčky motoru, špočkové hodnoty kouřivosti a doby akcelerace. Tento přístroj je určen pro pracoviště emisních kontrol a servisní pracoviště naftových motorů.

4.3.2.1 ACTIGAS Compact 505

Tento přístroj je kompaktní čtyř (pěti) složkový analyzátor plynů určený pro údržbu a kontrolu zážehových motorů. Díky vestavěnému modulu analyzátoru AT505 je možné tento přístroj používat pro emisní kontroly vozidel v České republice.

Tab. 3 Technické parametry ACTIGAS Compact 505

Komponenty	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0 - 10 % obj	0,01 % obj
CO2	0 - 20 % obj	0,1 % obj
HC	-12 - 2000 ppm obj	1,0 ppm obj
	2001 - 9000 ppm obj	10,0 ppm obj
O2	0 - 4 % obj	0,01 % obj.
	4 - 21 % obj	0,1 % obj.
Lambda	0,5 - 2,0	0,001
NO	0 - 5000 ppm obj	1 ppm obj

Tento analyzátor má maximální dobu náběhu deset minut, váží deset kilogramů, jeho provozní teplota je od 5 do 40°C a dokáže pracovat v tlaku od 860 do 1060 hPa.

Dále k tomuto analyzátoru lze přidat různá příslušenství. Například dvoukanálový osciloskop s multimetrem, dále multiznačkový diagnostický systém pro diagnostiku elektronických řídicích jednotek vozidel. Také lze přidat již zmiňovaný modul opacimetru AT 605, který je založen na opacitní metodě. Lze přidat i další komponenty k měření otáček motoru, předstihu a mnoha dalších.

[14]

4.3.3 AVL

Firma AVL je největší světovou soukromou a nezávislou firmou zabývající se vývojem hnacích soustav se spalovacími motory a měřicí a zkušební techniky. Tato firma nabízí tři přístroje k analýze výfukových plynů. Jedná se o přístroje AVL DiCom 4000, AVL DiGas 4000 a AVL DiSmoke 4000. Prvně jmenovaný slouží k měření emisí jak ze zážehového tak i vznětového motoru, druhý přístroj AVL DiGas měří pouze emise benzínových motorů a poslední přístroj AVL DiSmoke měří jen emise naftových motorů.

4.3.3.1 AVL DiCom 4000

Jak bylo řečeno, tento přístroj měří emise zážehového i vznětového motoru. Software je u tohoto analyzátoru v češtině. Měřicí komora pro zjišťování dieslových motorů je bezúdržbová. Dále také obsahuje diagnostiku pro rychlé hledání závad. Dokáže i testovat přípravu směsi, zapalování, úhel zážehu či dynamický počátek vstříku. Analyzátor odpovídá směrnicím Euro OBD.

Pracovní teplota analyzátoru se pohybuje od 5°C do 45°C, přístroj váží 17,7 kilogramů. Dále lze k tomuto analyzátoru dokoupit volitelné doplňky, například pro měření otáček motoru nebo OPCE měření oxidů dusíku.

[15]

Tab. 4 Emisní přístroj AVL DiCom 4000

Komponenty	Měřicí rozsah	Rozlišení
CO	0 - 10 % obj	0,01 % obj
CO2	0 - 20 % obj	0,10 % obj
HC	0 - 20 000 ppm obj	1,0 ppm obj
NO	0 - 9000 ppm obj	1,0 ppm obj
O2	0 - 23 % obj	0,010 % obj.
Lambda	0 - 9,9	0,1
Otáčky motoru	250 - 8000 ot/min	10 ot/min
Teplota oleje	0°C - 120°C	1°C
Stroboskop	0 - 60° c.a.	0,1° c.a.
Opacita	0 - 100%	1%
Absorbce (hodnota k)	0 - 99,9 m/-1	0,01 m/-1

Cena tohoto analyzátoru v současné době je 197 000 Kč bez daně.

5 Závěr

Pokud se týká technického vývoje měřících přístrojů pro monitorování a měření emisí, lze konstatovat, že jsou na špičkové technické úrovni a v souladu s úrovní vědeckého poznání v dané oblasti. Je mnoho výrobců, ale jednotlivé sofistikované měřicí přístroje mají stejnou funkci a jsou konstruovány na stejném základě, ale mají jiný obal. Stejně tak i výrobci osobních automobilů a to jak se vznětovým, tak i zážehovým motorem, splňují ta nejpřísnější kritéria stanovená platnou legislativou pro danou oblast.

Jako velmi specifický a obtížně predikovatelný se v této oblasti jeví „lidský faktor“ a to jak v oblasti aplikace do praxe velmi přesných měřících přístrojů pro měření emisí (špatná kalibrace), nebo problematika Stanic technické kontroly, které provádějí ledabyle technickou kontrolu motorových vozidel. V neposlední řadě se jeví jako velmi důležitá důsledná silniční kontrola technického stavu vozidel prováděná PČR, která může velmi významně přispět ke zkvalitnění našeho životního prostředí odstavením vozidel, která nesplňují emisní podmínky. Mnoho řidičů jezdí po pozemních komunikacích s technikou, která nesplňuje náročné emisní podmínky, a nebo je jejich technický stav v rozporu s platnou legislativou a technickými normami a proto velmi významně a negativně zatěžují naše životní prostředí

Velmi zajímavou alternativou pro zlepšení životního prostředí je i přidávání určitého množství bioetanolu do pohonných hmot. Další alternativou jsou automobily s hybridním pohonem. Z ekologického hlediska se jako optimální jeví elektromobily, ale zde není řešeno z jakých zdrojů je elektrický proud, který se používá pro jejich pohon, vyráběn (spalování fosilních paliv, jádro či vyrobené z obnovitelných zdrojů).

Dle mého názoru bylo zadání bakalářské práce splněno, neboť v předchozích kapitolách jsem provedl komplexní rešerši vývoje emisních analyzátorů od jejich prvopočátku až do současnosti.

Použité zdroje

- [1] M. Adamou, Měření emisí vozidel za jízdy, Praha, 2009. 46s. Diplomová práce na Technické fakultě České zemědělské univerzity. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing.Boleslav Kadleček CSc.
- [2] T. Bartovský, Analyzátoři emisí, Praha: Vuste servis, 1994, p. 160.
- [3] J. Hromádko, J. Hromádko, V. Höning a P. Miler, Spalovací motory, Praha: Grada, 2011.
- [4] P. Hronza, Emisní kontroly vozidel v provozu, Praha, 2010. 37s. Bakalářská práce na Technické fakultě České zemědělské univerzity. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing.Boleslav Kadleček CSc.
- [5] K. Kabeš, „Průmyslové analyzátoři složení plynů – přehled trhu,“ [Online]. [cit.2.3.2012]. Dostupné z: <http://www.automatizace.cz/article.php?a=942>.
- [6] Doc. Ing. Boleslav Kadleček, Přednáška Emise1.
- [7] R. Matušů, Měření emisí při statických a dynamických režimech, Praha, 2009. 55s. Diplomová práce na Technické fakultě České zemědělské univerzity. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pexa,
- [8] J. Sajdl, „Emise výfukových plynů,“ [Online]. [cit. 24.3.2012]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/emise-vyfukovych-plynu/>.
- [9] M. Šuta, Účinky výfukových plynů z automobilů na lidské zdraví, Brno: Český a Slovenský dopravní klub, 1996.
- [10] M. Takáts, Měření emisí spalovacích motorů, Praha: ČVUT, 1997.
- [11] L. Vařeka, Design univerzálního motortesteru pro autoservis, Brno, 2008. 53s. Diplomová práce na Fakultě strojního inženýrství Vysokého učení technického. Vedoucí diplomové práce akad. soch. Ladislav Křenek, Ph.D.
- [12] F. Vlk, Diagnostika motorových vozidel, Brno, 2006.
- [13] „Analýza výfukových plynů,“ [Online]. [cit. 28.3.2012]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/KA04-13.htm>.
- [14] „Analyzátoři emisí ACTIA ATAL,“ [Online]. [cit.2.4.2012]. Dostupné z: <http://www.atal.cz/>.
- [15] „AVL Ditest,“ [Online]. [cit.1.4.2012]. Dostupné z: <http://www.avlcechy.cz/ditest.html>.
- [16] „Emission Standards,“ [Online]. [cit. 8.3.2012]. Dostupné z: <http://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>.
- [17] „Harmonizace technických předpisů evropského společenství,“ [Online]. [cit. 19.3.2012]. Dostupné z: <http://predpisy.tuv-sud.cz/novinky/harmonizace.pdf>.
- [18] „Katalog diagnostiky BOSCH,“ [Online]. [cit.2.4.2012]. Dostupné z: <http://aa.bosch.cz/download/katalog/katalog-diag-09.pdf>.
- [19] „Oxidy dusíku,“ [Online]. [cit. 28.3.2012]. Dostupné z: http://www.vscht.cz/uchop/velebudice/ovzdusi/oxidy_dusiku.htm.
- [20] „Paltest JT 220,“ [Online]. [cit.27.3.2012]. Dostupné z: <http://www.trabime.cz/trabi.php?id=6&tid=116>.
- [21] „Příručka Paltest JT 254,“ [Online]. [cit.1.4.2012]. Dostupné z: <http://skoda-virt.cz/cz/clanky/technicke-informace/6648-prirucka-paltest-jt-254/>.

Seznam obrázků:

- Obr. 1 : Složení výfukových plynů jednotlivých motorů
- Obr. 2 : Produkce emisí zážehového a vznětového motoru v závislosti na λ
- Obr. 3 : Účinek oxidu uhelnatého na lidský organismus
- Obr. 4 : Průchod elektromagnetického záření
- Obr. 5 : Absorpční spektra jednotlivých složek spalin
- Obr. 6 : Infraanalyzátor
- Obr. 7 : Analyzátor sloužící k absorpci UV záření
- Obr. 8 : Chemiluminiscenční analyzátor
- Obr. 9 : Plamenoionizační detektor
- Obr. 10 : Opacimetr
- Obr. 11 : Filtrační kouřoměr
- Obr. 12 : Gravimetrické měření obsahu částic
- Obr. 13 : Analyzátor JT 220
- Obr. 14 : Paltest JT 251
- Obr. 15 : Přejížděvací charakteristika
- Obr. 16 : Analyzátor Bosch BEA
- Obr. 17 : Analyzátor ACTIGAS Compact 505

Seznam tabulek:

- Tab. 1 : Emisní limity pro osobní automobily (kategorie M1)
- Tab. 2 : Technické parametry BEA 150
- Tab. 3 : Technické parametry ACTIGAS Compact 505
- Tab. 4 : Emisní přístroj AVL DiCom 4000