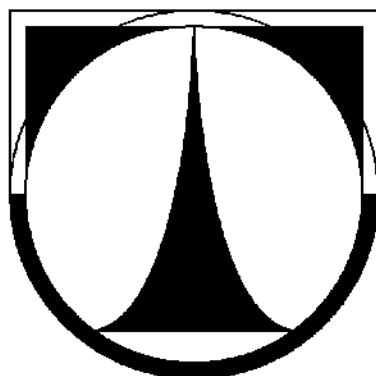


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Katedra vozidel a motorů



Kalibrace CVS systému emisní válcové brzdy

Bakalářská práce

CVS calibration of emission drums brake

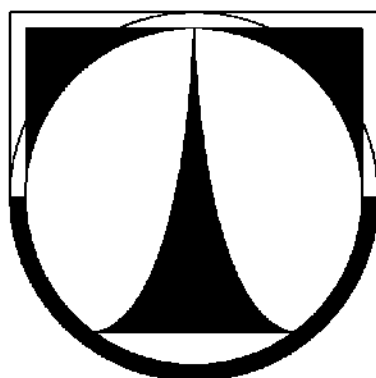
Bachelor thesis

číslo práce: 208

vypracoval Jakub Lindauer (květen 2010)

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní
Katedra vozidel a motorů

Obor – BC2341 Strojírenství
Zaměření – 2301R022 stroje a zařízení
dopravní stroje a zařízení



Kalibrace CVS systému emisní válcové brzdy

Bakalářská práce

CVS calibration of emission drums brake

Bachelor thesis

číslo práce: 208

vedoucí práce: Ing. Josef Blažek, Ph.D., TU v Liberci, KVM
konzultant práce: Ing. Hans Ginzel, TU v Liberci, KVM

Počet stran: 41
Počet obrázků: 33
Počet tabulek: 6
Počet grafů: 2
Počet příloh: 5

vypracoval Jakub Lindauer (květen 2010)

zadání bakalářské práce

Anotace

Kalibrace CVS systému emisní válcové brzdy

Práce se zabývá emisní válcovou brzdou, předpisy pro její používání, podmínkami které je při jejím využívání nutné splnit apod. Dále popisuje vybavení katedry Vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci, především pak CVS systém. Následně uvádí postup kalibrace CVS systému odlišnými cejchovnými plyny a pomocí průtokoměru laminárního proudění. Pro tyto kalibrace definuje postup a protokoly.

Klíčová slova: CVS systém, emisní válcová brzda, LFE, CFO

CVS calibration of emission drums brake

Work deals with emission drums brake, the rules for its use, the conditions in which its use must be met, etc. It also describes the facilities of the department of Vehicles and Motor at the Technical University in Liberec, especially the CVS system. Next it represents the calibration procedure of CVS gauge by different gases and by the laminar flow element. For these calibrations it defines the procedures and protocols.

Keywords: CVS system, emission drums brake, LFE, CFO

Zpracoval:

Dokončeno:

Archivní označení zprávy:

Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou 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 bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou 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.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V.....dne.....

.....
Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Josef Blažek, Ph.D., který mi vždy ochotně poradil a byl mi kdykoli k dispozici. Také mi poskytl fotografie a umožnil mi návštěvu pracoviště s válcovou brzdou ve Škoda auto a.s. . Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Brabci Ph.D., který mi dával cenné rady a vždy mi vyšel vstříc. Práce vznikla za podpory projektu Studentské grantové soutěže TUL.

Seznam symbolů a jednotek

Q	průtok	[m ³ /min]
P	tlak	[Pa]
T	teplota	[°K]
C ₁	kalibrační konstanta systému CVS	[1]
C	konstanta LFE	[1]
C _T	opravný koeficient teploty LFE	[1]
m	hmotnost	[1]
V	objem	[m ³]
K	koncentrace plynu	[ppm]
ρ	hustota	[kg/m ³]

Obsah

1 Úvod	9
2 Legislativa pro měření emisí vozidlových motorů	10
2.1 Předpis pro měření na emisní válcové brzdě (EHK 83)	11
3 Podmínky pro měření na emisní válcové brzdě	11
3.1 Vozidlo a palivo	12
3.2 Vozidlový dynamometr	12
3.3 Systém odběru vzorků výfukových plynů	13
3.3.1 Zařízení k proměnlivému ředění s objemovým dávkovacím čerpadlem	14
3.3.2 Ředící zařízení s kritickým prouděním Venturiho trubicí	17
3.4 Analytické postoje	17
3.5 Plyny	17
3.6 Průběh testu na válcové brzdě	18
4 Pracoviště s válcovou brzdou na TU v Liberci	19
4.1 Dynamometr	19
4.2 Zařízení pro uchycení a zajištění testovaného vozidla	20
4.3 Náporový ventilátor	20
4.4 Zařízení pro analýzu emisí	21
4.4.1 Ředící tunel pro vznětové motory	22
4.4.2 Systém CVS	22
4.4.3 Plynové analyzátory	24
4.4.4 Počítačové vybavení	24
5 Kalibrace systému CVS	25
5.1 Provedená měření	27
5.1.1 Kalibrace CVS pomocí SAO	27
5.1.2 Kalibrace CVS pomocí LFE	30
6 Ověřování celého systému	35
7 Závěr	40

1 Úvod

Technická univerzita v Liberci získala emisní válcovou brzdou, nyní je ovšem nutné vybudovat systém jejího testování, zkoušení a kalibrování, aby bylo zaručeno ověření její správné funkce a přesnosti měření. Pro tyto zkoušky je potřeba vypracovat postupy, výpočty a protokoly k archivaci. Také je třeba řešit, jak často jednotlivé kalibrace a zkoušky provádět. Za tímto účelem vznikla také tato práce, jež se zabývá kalibrací podsystemu emisní válcové brzdy, systému CVS a také ověřením celého systému odběru vzorků. Přesnost a správná funkce tohoto systému bezprostředně souvisí s kvalitním průběhem zkoušek na emisní válcové brzdě. V rámci této práce byly tedy vypracovány postupy a protokoly pro ověření systému CVS a také celého systému odběru vzorků. Práce také rozebírá obecnou problematiku a nároky na měření, které jsou dány předpisy a zákony. Popisuje vybavení válcové zkušebny katedry Vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci.



Obr. 1: Válcová zkušebna TUL (zdroj: foto Jakub Lindauer)

Emisní válcová brzda slouží obecně k měření a diagnostice motorových vozidel, především pak měření jejich emisí, spotřeby paliva a jízdních odporů. Využívá principu reciprocity, tedy že vozidlo stojí a vozovka se pohybuje. Vozovku nahrazují otáčející se zkušební válce, které simulují různé jízdní situace včetně simulace odporu vzduchu a setrvačných účinků vozidla. Takto lze tedy analyzovat motorové vozidlo během provozu za kontrolovaných laboratorních podmínek.

Při měření vozidel se používají jízdní cykly, které se snaží co nejvěrněji napodobit skutečné jízdní situace v laboratorních podmínkách, kde je nutná přesnost a porovnatelnost jednotlivých měření.

2 Legislativa pro měření emisí vozidlových motorů

Emise vozidlových motorů upravují předpisy Evropské hospodářské komise (EHK), které jsou vypracovávány jednotlivými komisemi složených ze zástupců zainteresovaných zemí. Jejich konečné schválení a vydání zajišťuje OSN. Pokud předpis schválí nejméně dvě země a ten se tak stane platným, není pro ostatní země sdružené v EHK povinný a ty ho přijímají dobrovolně na základě svých možností a svojí potřeby. V rámci EHK platí pro emise škodlivin produkováných spalovacími motory silničních vozidel několik předpisů.

Předpis EHK 83 je určen zejména pro vozidla kategorií M1 a N1 do 3500kg a limituje emise složek CO, HC, NO_x a emise škodlivých částic u vznětových motorů. Měření se provádí s celým vozidlem na válcové brzdě, výfukové plyny se jímají do vaků a výsledné koncentrace jsou udány v gramech na kilometr.

Předpis EHK 49 limituje emise škodlivých plyných složek CO, HC, NO_x a částic u vznětových motorů vozidel kategorií M2, M3, N1, N2 a N3. Vozidla kategorie N1 se vznětovým motorem je možné homologovat podle předpisu EHK 83 i EHK 49. Zkouška se provádí pouze s motorem instalovaným na dynamometru. Měření se skládá z měření motoru při ustálených režimech v třinácti bodech.

Předpis EHK 24 limituje emise viditelných škodlivin, které lze také nazvat kouřivost. Platí pro vozidla všech kategorií (M1, M2, M3, N1, N2, N3) vybavená vznětovým motorem.

Měření podle těchto předpisů uskutečňují stanice měření emisí. Ty dále upravuje český zákon. Dle zákona č. 56/2001 Sb. může stanici měření emisí provozovat (§ 63) právnická nebo fyzická osoba, která má k jejímu provozování oprávnění udělené okresním úřadem. Příslušným k rozhodování o udělení oprávnění je okresní úřad, v jehož územním obvodu bude provozovatel stanice měření emisí mít sídlo. V rozhodnutí o oprávnění k měření emisí (§ 65) okresní úřad vymezení podle podmínek technického vybavení typy a značky vozidel, u nichž je stanice měření emisí oprávněna provádět měření emisí, dále místo, kde bude stanice měření emisí

provozována, datum zahájení provozu, rozsah provádění měření emisí a další podmínky pro zahájení činnosti provozování stanice měření emisí. Provozovatel stanice měření emisí je povinen zajistit po celou dobu provozování stanice měření emisí, aby měření emisí vozidel bylo prováděno osobami, které jsou držiteli profesního osvědčení odborné způsobilosti mechanika, technické vybavení a uspořádání druhu stanice měření emisí, včetně prostor pro měření emisí, manipulačních prostor, zařízení na odsávání výfukových plynů, větrání, vytápění, bylo v souladu s rozhodnutím vydaným podle § 65 a prováděcím právním předpisem, přístroje a zařízení používané k provádění měření emisí vozidel byly schváleny a metrologicky navázány podle zvláštního právního předpisu (ze zákona č. 56/2001 Sb.).

2.1 Předpis pro měření na emisní válcové brzdě (EHK 83)

Měření na emisní válcové brzdě tedy předepisuje předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 83 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo (EHK 83). Tento předpis platí pro testování vozidel do 3500kg s nejméně 4mi koly kategorie M1 a N1 se vznětovým a zážehovými motory i v hybridní variantě.

Tento předpis předepisuje několik zkoušek. Typ I ověřuje průměrné emise z výfuku po studeném startu, typ II měří emise oxidu uhelnatého při volnoběhu, typ III emise plynů z klikové skříně, typ IV emise způsobené vypařováním, typ V životnost zařízení proti znečišťujícím látkám, typ VI ověřuje průměrné emise oxidu uhelnatého a uhlovodíků z výfuku za nízkých okolních teplot po startu za studena a nakonec tento předpis definuje i zkoušku palubních diagnostických systémů. Na válcové emisní brzdě se vykonává zkouška typu I a to se vznětovými i zážehovými motory.

3 Podmínky pro měření na emisní válcové brzdě

Předpis EHK 83 klade nároky na vybavení, podmínky a průběh měření na emisní válcové brzdě pro zkoušku typu I. Tato kapitola obsahuje výtah z tohoto předpisu, podrobnější definice, omezení a podmínky lze nalézt ve výše zmíněném předpisu.

3.1 Vozidlo a palivo

Testované vozidlo musí být v dobrém technickém stavu a také musí být zajištěno, tedy musí s ním být najeto alespoň 3000km. Samozřejmě musí být zaručena těsnost výfuku i sání, aby nedocházelo k úniku spalin nebo s přisávání vzduchu. Činnost vozidla nesmí být ovlivněna žádnými zřetelnými vibracemi, které by se na něj mohly přenášet z dynamometru. Vozidlo musí být umístěno přibližně ve vodorovné poloze, aby nedocházelo k neobvyklé dodávce paliva. Vozidlo musí být v laboratoři minimálně 6h před testem, aby se tepelně ustálilo.

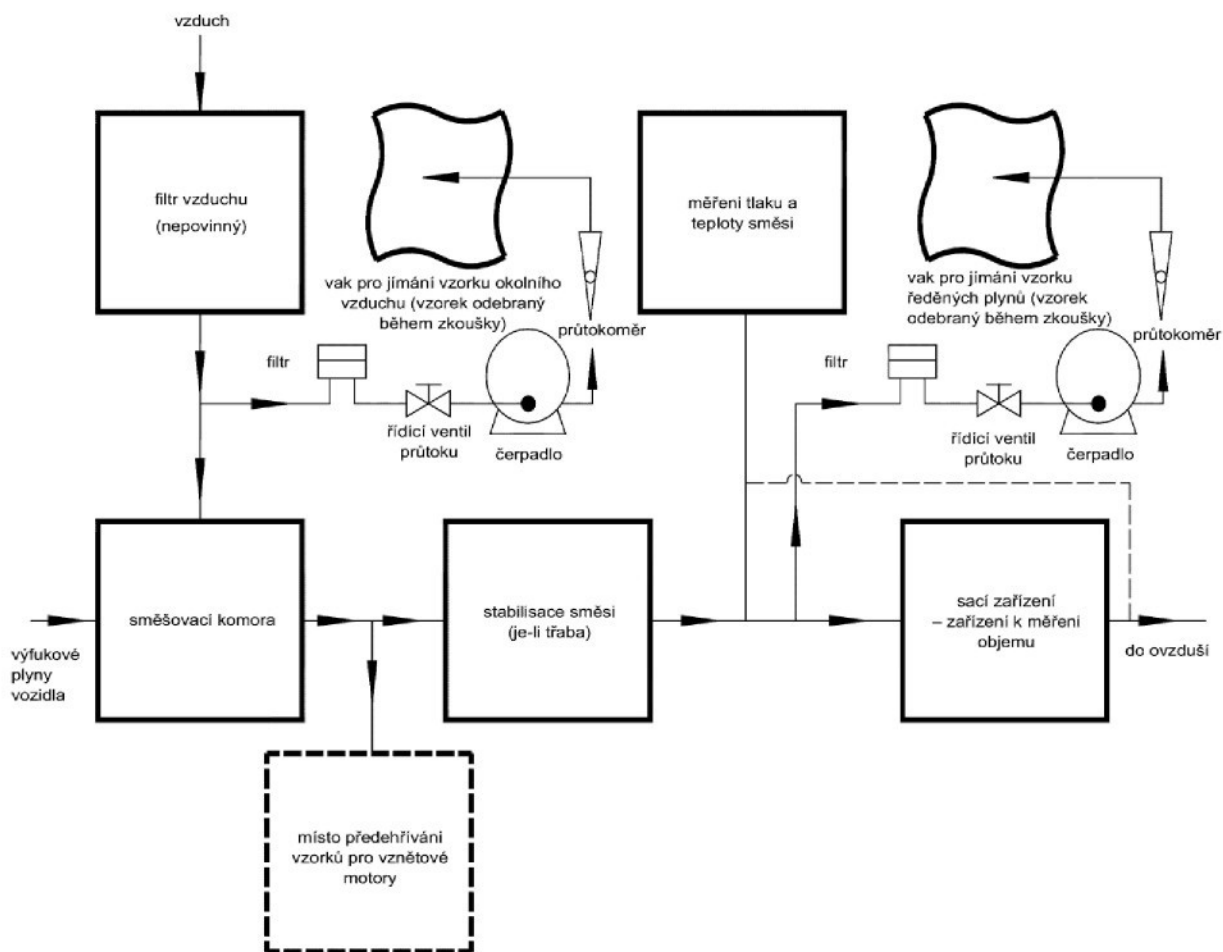
Referenční palivo se volí podle předpisu a požadovaného testu. Na základě znalosti složení paliva můžeme z obsahu oxidu uhličitého ve výfukových plynech určit přibližnou spotřebu paliva vozidla.

3.2 Vozidlový dynamometr

Dynamometr je schopen simulovat jízdní zatížení buď tak, že křivku zatížení nelze regulovat a tehdy hovoříme o dynamometrech s pevnou křivkou zatížení nebo je křivka zatížení regulována alespoň dvěma parametry jízdního zařízení a jde o dynamometry s nastavitelnou křivkou zatížení.

Dynamometr musí být vybaven prostředky k simulaci setrvačné hmotnosti, a tedy musí být známy celková setrvačná hmotnost rotujících částí případně včetně simulované setrvačné hmotnosti. Seřízení dynamometru musí být stále a během času se nesmí samovolně měnit. U dynamometru s pevnou křivkou zatížení se simulátor zařízení seřídí tak, aby pohltil výkon působící na hnací kola při ustálené rychlosti 80km/h a pohlcený výkon je zaznamenán při rychlosti 50km/h. Postup seřízení dále udává předpis EHK 83. U dynamometru s nastavitelnou křivkou zatížení se simulátor zařízení seřídí tak, aby pohltil výkon působící na hnací kola při ustálených rychlostech 120, 100, 80, 60, 40 a 20km/h. Postup seřízení dále udává předpis EHK 83.

3.3 Systém odběru vzorků výfukových plynů



Obr. 2: Blokové schéma systému s proměnlivým ředěním pro měření emisí výfukových plynů (zdroj: předpis EHK83)

Systém odběru vzorku výfukových plynů umožňuje analyzovat výfukové plyny a tak určit přesné koncentrace jednotlivých plynů v nich obsažených. K tomu slouží systém odběru vzorku plynů s konstantním objemem (constant volume sampler - CVS). Při odběru vzorků s konstantním objemem je zapotřebí, aby byly výfukové plyny neustále dle přesných kritérií ředěny okolním vzduchem. Při tom musí být neustále měřen celkový objem směsi výfukových plynů a vzduchu a zároveň musí být odebírán vzorek této směsi pro analýzu stejně jako vzorek okolního vzduchu. Množství znečišťujících látek se stanoví z koncentrací vzorku přepočtených na obsah znečišťujících látek v okolním vzduchu a z úhrnného průtoku po dobu zkoušky.

Výfukové plyny se tedy ředí dostatečným množstvím okolního vzduchu, aby se zabránilo jakékoliv koncentraci vody v systému odběru a měření. Systém odběru vzorků umožňuje měření středních objemových koncentrací CO_2 , CO , HC a NO_x a u vozidel se vznětovými motory navíc i emise částic, obsažených ve výfukových

plynech emitovaných během zkušebního cyklu vozidla. Sonda pro odběr vzorku musí odebírat homogenní směs vzduchu a výfukových plynů. K tomuto účelu slouží směřovací komora, ve které se mísí výfukové plyny vozidla a ředící vzduch a musí být konstruována právě tak, aby na výstupu z komory vznikla homogenní směs. Celý systém pro odběr vzorků musí být plynotěsný, aby nedocházelo ke kontaminaci vzorků okolním vzduchem nebo výfukovými plyny. Při konstrukci celého systému odběru vzorků s proměnlivým ředěním jsou použity materiály a technická řešení, která neovlivní koncentraci jakékoliv znečišťující látky ve zředěných výfukových plynech. Pokud by nebylo možné tuto podmínku dodržet, musely být tyto součásti systému umístěny až za místo, kde dochází k odběru vzorku.

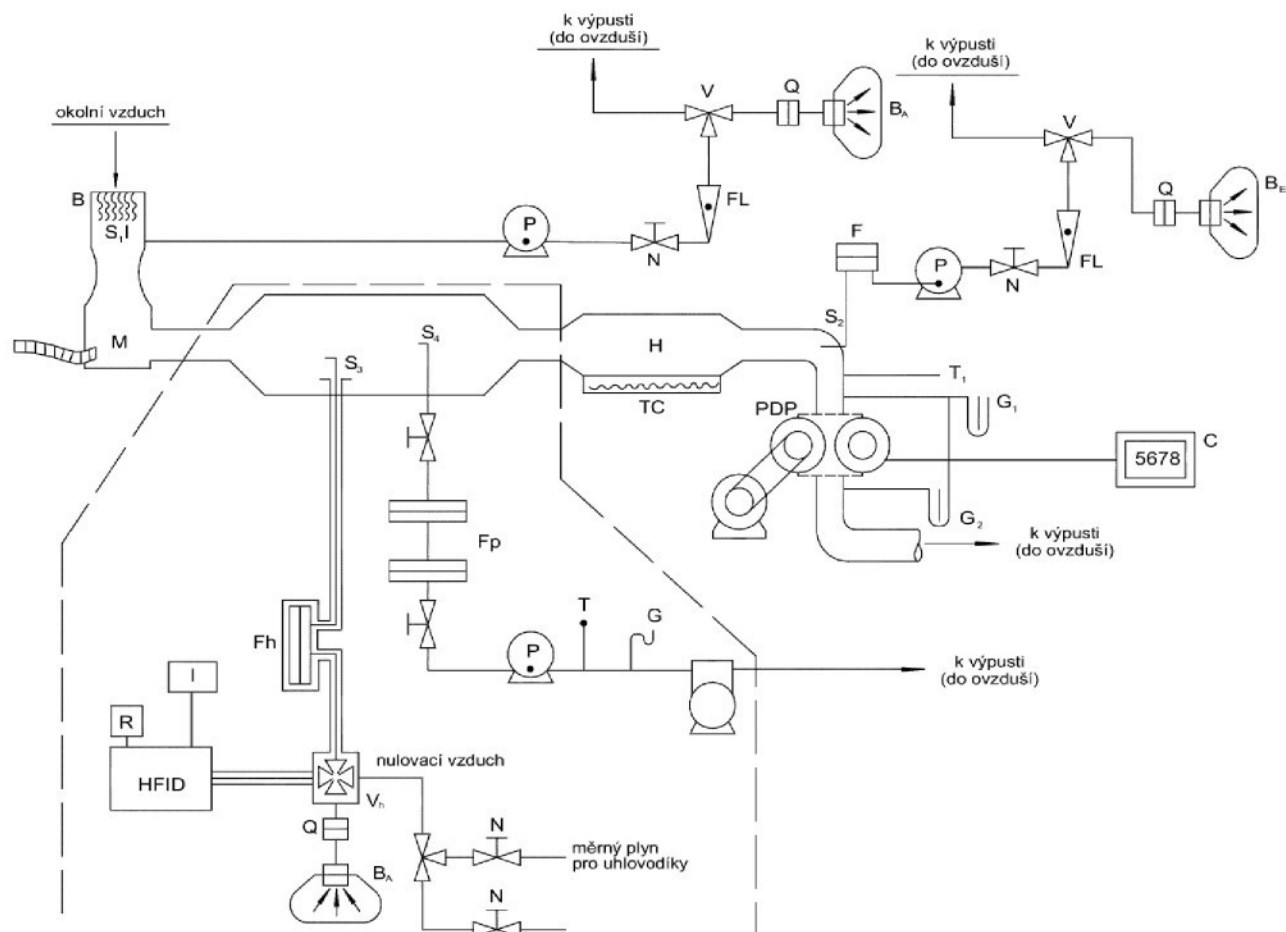
Vzorky plynů se shromažďují ve vácích pro jímání vzorků s takovou kapacitou, aby během odběru nebránila proudění plynu. Tyto vaky musí být vyrobeny z takových materiálů, které po 20 minutách skladování nemění obsah plynů znečišťujících látek o více než $\pm 2\%$.

Spojovací trubky u vozidel vybavených výfukovým systémem obsahujícím více koncových výfukových trubek musí být propojeny sběrným potrubím montovaným co nejblíže k vozidlu. Spojovací trubka mezi konci výfukových trubek a směšovací komorou musí být co nejkratší a v žádném případě nesmí významně měnit statický tlak na konci výfukových trubek zkoušeného vozidla po dobu trvání zkoušky nebo měnit složení výfukových plynů.

Pokud měříme vznětový motor, odebíráme vzorek pro analýzu uhlovodíků a částic v ředícím tunelu. V ředícím tunelu dochází k turbulentnímu proudění a v jeho radní části jsou sondy pro odběr vzorků. Sonda pro odběr částic se nachází přibližně v ose tunelu. Sonda pro měření uhlovodíku je instalována ve stejné vzdálenosti od začátku tunelu, jako sonda pro odběr částic a to tak, aby se sondy navzájem neovlivňovaly.

3.3.1 Zařízení k proměnlivému ředění s objemovým dávkovacím čerpadlem

Systém odběru vzorků při konstantním objemu může být řešen několika způsoby. Předpis EHK 83 uvádí dvě možné varianty, které ale nejsou přesně normalizovány a v jejich návrhu mohou být odlišnosti. První možnou variantou je řešení pomocí objemového dávkovacího čerpadla. Průtok plynu je u tohoto systému zajištěn a zároveň přesně určen pomocí kalibrovaného čerpadla (PDP-CVS). Plyn je



požaduje se jen pro zkoušky vznětových motorů

Obr. 3: Systém odběru vzorků pracující s konstantním objemem a s objemovým dávkovacím čerpadlem (PDP-CVS) (zdroj: předpis EHK 83)

Popis obrázku:

B – filtr pro ředící vzduch

M – směšovací komora

H – výměník tepla

TC – systém řízení teploty

PDP – objemové dávkové čerpadlo

T – čidla teploty

G – manometry

S – sondy pro odběr konstantních vzorků

F – filtr pro odlučování tuhých částic

P – čerpadla

N – regulátory průtoku

FL – průtokoměry

V – rychločinné ventily

Q – plynotěsné spojovací prvky s rychlouzávěrem

B_A, B_E – vaky pro jímání vzorků

C – digitální počítač pro záznam otáček

Další vybavení požadované při zkoušení vozidel se vznětovými motory:

F_h – vyhřívaný filtr

S₃ – místo pro odběr uhlovodíků

V_h – vyhřívaný vícecestný ventil

Q – je rychlospojka, která umožňuje analýzu vzorku okolního vzduchu B_A v analyzátoru typu HFID

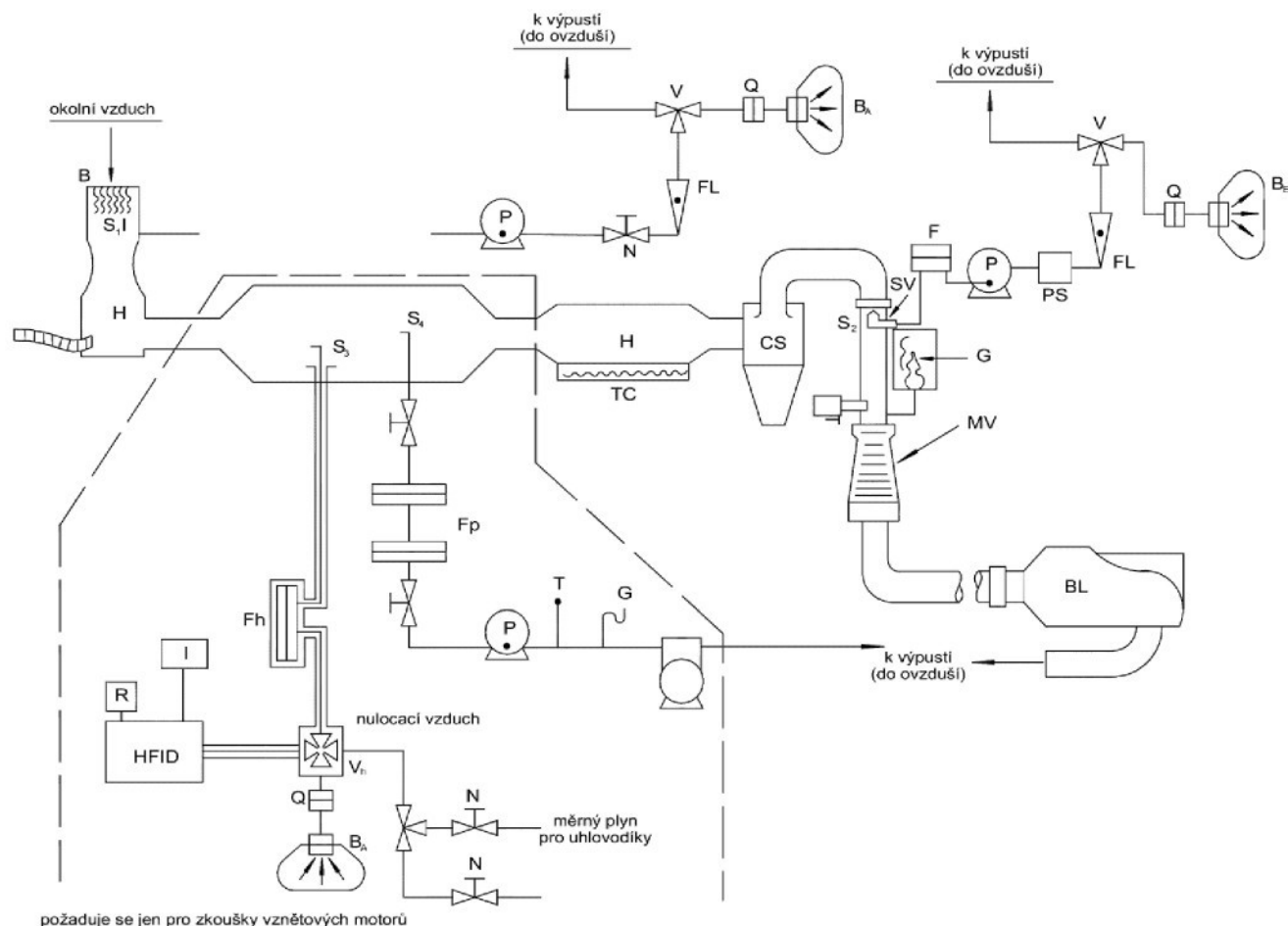
HFID – vyhřívaný plamenný ionizační detektor

R, I – prostředky pro integrování a záznam okamžité koncentrace uhlovodíků

L_h – vyhřívané odběrné potrubí

S₄ – sonda pro odběr vzorku částic

F_p – filtrační jednotka složená ze dvou za sebou montovaných filtrů



Obr. 4: Systém odběru vzorků pracující s konstantním objemem a s kritickým prouděním Venturiho trubici (systém CFV-CVS) (zdroj: předpis EHK 83)

Popis obrázku:

B – filtr pro ředící vzduch

M – směšovací komora

H – výměník tepla

TC – systém řízení teploty

CS – cyklonový urychlovač

S – sondy pro odběr vzorků

SV – odběrná venturiho trubice

F – filtr pro odlučování tuhých částic

P – čerpadla

N – regulátory průtoku

PS – tlumiče rázů v odběrné lince

FL – průtokoměry

V – rychločinné ventily

Q – plynotěsné spojovací prvky s rychlouzávěrem

B_A, B_E – vaky pro jímání vzorků

G – manometr

T – čidla teploty

MV – měřící Venturiho trubice s kritickým prouděním

BL – dmychadlo

Další vybavení požadované při zkoušení vozidel se vznětovými motory:

F_h – vyhřívaný filtr

S₃ – místo pro odběr uhlovodíků

V_h – vyhřívaný vícecestný ventil

HFID – vyhřívaný plamenný ionizační detektor

R, I – prostředky pro integrování a záznam okamžité koncentrace uhlovodíků

L_h – vyhřívané odběrné potrubí

S₄ – sonda pro odběr vzorku částic

F_p – filtrační jednotka složená ze dvou za sebou montovaných filtrů

čerpán za konstantní teploty a tlaku a jeho průtok je dán počtem otáček kalibrovaného čerpadla. Odběr vzorku je zajištěn pomocí čerpadla, průtokoměru a regulovaného průtokového ventilu.

3.3.2 Ředící zařízení s kritickým prouděním Venturiho trubici

Druhou možností popsanou v předpisu EHK 83 je použití Venturiho trubice (CFV-CVS). Tento systém využívá principu mechaniky pro kritické proudění. Systém obsahuje celkem dvě Venturiho trubice, které mají na vstupu stejný tlak a teplotu. První měří průtok celkové směsi ředícího vzduchu a výfukových plynů a druhá průtok odebíraného vzorku. Díky tomu můžeme získat poměr mezi těmito veličinami.

3.4 Analytické postoje

Plynné znečišťující látky se musí analyzovat následujícími přístroji. Analyzátor oxidu uhelnatého (CO) a oxidu uhličitého (CO₂) musí být typu NDR, což je nedisperzní analyzátor s absorpcí v infračerveném pásmu. Dále analyzátor oxidů dusíku (NO_x), který musí být typu CLA, což je chemicko-luminiscenční analyzátor, nebo typu NDUVR, což je nedisperzní analyzátor s rezonanční absorpcí v ultrafialovém pásmu, oba typy s konvertorem NO_x-NO. Také se musí váhově určit množství částic. Tyto částice se vždy odebírají pomocí dvou filtrů vložených za sebou do toku vzorkovacího plynu. U vznětových motorů se musí znečišťující látky analyzovat na uhlovodíky (HC), kdy musí být analyzátor plamenný ionizační s detektorem, ventily, potrubím atd. Analyzátor musí být vyhříván na 463 K (190 °C) ± 10 K a musí být kalibrován propanem vyjádřeným jako ekvivalent atomů uhlíku (C₁). K tomuto analyzátoru musí být použito i vyhřívané vedení na stejnou teplotu a toto vedení musí být opatřeno vyhříváním filtrem (FH) s účinností 99 % pro částice ≥ 0,3 μm, kterým se odloučí všechny pevné částice z plynulého proudu plynu určeného k analýze.

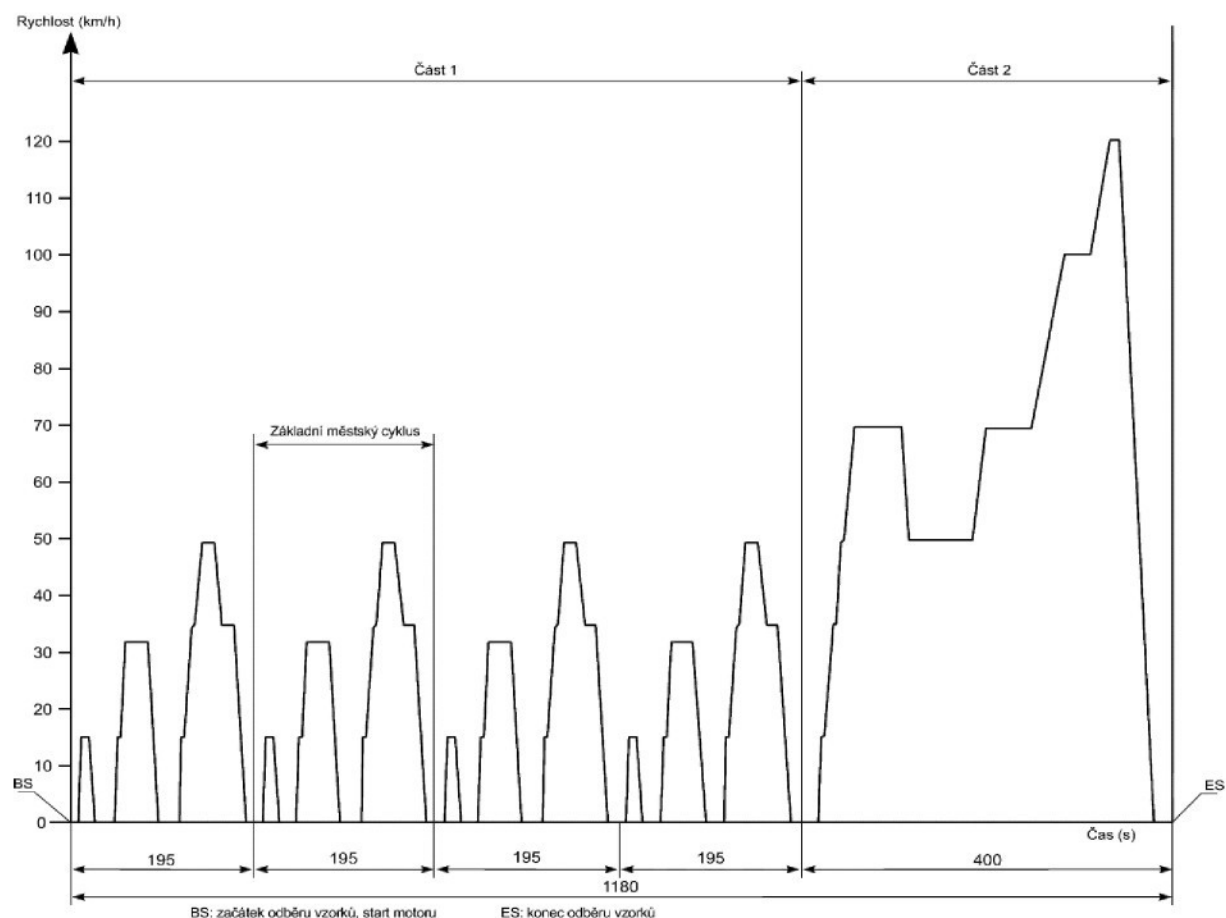
3.5 Plyny

Pro kalibraci a pro provoz musí být k dispozici, pokud je to nutné, některé čisté plyny. Je to tedy čištěný dusík, čištěný syntetický vzduch, čištěný kyslík, čištěný vodík, oxid uhelnatý a propan. Dále jsou potřeba směsi, tedy směs C₈H₈ a čištěného syntetického vzduchu, směs CO a čistého dusíku, směs CO₂ a čištěného dusíku a směs NO a čištěného dusíku. Přesné složení a koncentrace těchto plynů dále definuje předpis EHK 83.

3.6 Průběh testu na válcové brzdě

Vozidlo musí být několik hodin před testem umístěno v laboratoři a je tedy tepelně ustálené, čímž je zajištěno, že součástí testu bude i studený start. Umístí se na dynamometr a zajistí se, aby bylo umístěno rovně a správně ukotveno. Zajištění se provede zachycením nehnatých kol a také pomocí tažného zařízení. Samotný jízdní test se skládá ze dvou základních částí. Městského cyklu, při kterém vozidlo dosahuje rychlosti až 50km/h a slouží k simulaci městského provozu vozidla. Během tohoto cyklu vozidlo několikrát zrychluje a opět zpomaluje až do úplného zastavení. Druhý cyklus je mimo město. Tento cyklus simuluje jízdu mimo město po dálnici, kdy vozidlo postupně zrychluje až na rychlost 120km/h. Celý cyklus vykonává řidič vozidla, který se orientuje podle monitoru, na kterém vidí průběh testu, aktuální rychlost, požadovanou rychlost i oblast dovolené odchylky.

Předpis EHK 83 přesně definuje všechny fáze cyklu jako rychlost, načasování apod. včetně povolených odchylek od těchto parametrů, které jsou dovoleny, aby byl test platný.



Obr. 5: Pracovní cyklus pro zkoušku typu I (zdroj: předpis EHK 83)

4 Pracoviště s válcovou brzdou na TU v Liberci

Pracoviště s válcovou brzdou se nachází ve Výzkumném centru spalovacích motorů a automobilů Josefa Božka na katedře Vozidel a motorů Technické univerzity v Liberci.

Válcová brzda byla uvedena do provozu v roce 2007. Brzda byla získána z laboratorního pracoviště Daimler Chrysler.

4.1 Dynamometr

Vozidlový dynamometr se skládá ze dvou ocelových válců, z nichž každý má průměr 1219 mm a jsou napojeny přírubou přímo na stejnosměrný (DC) motor. Tento DC motor je řízen pomocí tyristorové regulace. Celková simulovaná setrvačná hmota je řízena jak elektronicky tak mechanicky, kde základní setrvačnost je 1361 kg. Kromě toho, může být setrvačnick také ovládán elektromagneticky.



Obr. 6: Dynamometr (zdroj: foto Ing. Josef Blažek, Ph.D.)
Na fotografii jsou vidět válce pro hnanou nápravu vozidla, dále pak elektromotor před nimi a vpravo od válců je setrvačnick. Vzadu za válci je systém pro uchycení nehnané nápravy vozidla

Základní parametry:

Výrobce:	Froude Consine, Worcester, England
Typ:	48 inch chassis dynamometer
Sériové označení:	V6000
Tlak připojeného vzduchu:	6 bar
Max. testovací rychlost:	200 km/h
Max. trakční síla:	3000 N
Max. pohlcený výkon:	100 kW
Max. výkon motoru:	100 kW
Rozsah setrvačnosti vozidla:	907-2722 kg
Průměr válců:	1,219 m (48 in)
Pracovní teplota:	od -15°C do +45°C

Simulace vozidla:

Základní mechanická setrvačnost komponentů rotačních částí je 2995 lbs. Hmotnost vozidla v rozsahu 2000 lbs. až 6000 lbs. je elektricky simulovaná stejnosměrným motorem.

Základní setrvačná hmotnost:	2995 lbs.
Přídavná setrvačná hmota:	1980 lbs.
Min. simulační hmotnost:	2000 lbs.
Max. simulační hmotnost:	6000 lbs.
Nastavitelný krok:	1 lb.



Obr. 7: Ovládání dynamometru (zdroj: foto Jakub Lindauer)
Ovládá zádržný systém, protáčení válců, spuštění testu...

4.2 Zařízení pro uchycení a zajištění testovaného vozidla

Vozidlo se na válcovou brzdu umístí tak, aby hnaná náprava spočívala na zkušebních válcích a druhá nehnaná náprava byla na nastavitelných záklopkách. Tyto záklopy jsou pneumaticky ovládány a zajistí nehnanou nápravu. Záklopy i se zajištěnými koly lze také celé posouvat a nastavit tak přesný rozvoz náprav. Nastavení se provádí buď pomocí dálkového ovládání, ovládacího panelu nebo je jmenovitá hodnota nastavena číselně.



Obr. 8: Kolo zajištěné záklopkami (zdroj: foto Jakub Lindauer)

Kvůli vznikajícím podélným a příčným silám na hnané přední nápravě, která nemusí být zcela rovně, se takováto vozidla pojišťují ještě pomocí tažného zařízení. Zajištění umožňuje potřebné stupně volnosti a je spojeno s rámem zařízení.



Obr. 9: Zajištění pomocí tažného zařízení (zdroj: foto Jakub Lindauer)

4.3 Náporový ventilátor

Náporový ventilátor složí k ofukování vozidla, aby byl motor správně chlazen jako při skutečné jízdě. Jeho otáčky jsou regulovány v závislosti na rychlosti otáčení válců dynamometru. Předpis EHK 83 předepisuje parametry pro výstup ventilátoru. Jeho minimální plocha musí být 0,2 m², výška od spodní hrany asi 20 cm a

vzdálenost od předě vozidla asi 30 cm. Za účelem splnění tohoto předpisu byla na originálním ventilátoru namontována redukce.

Základní parametry:

Výrobce:	FIMA
Typ:	ANP3E560MF
Výkon ventilátoru:	1.75 kW
Max. rychlost:	1560 ot/min
Max. proudění:	15,000 m ³ /h
Výstupní plocha:	0.218 m ²

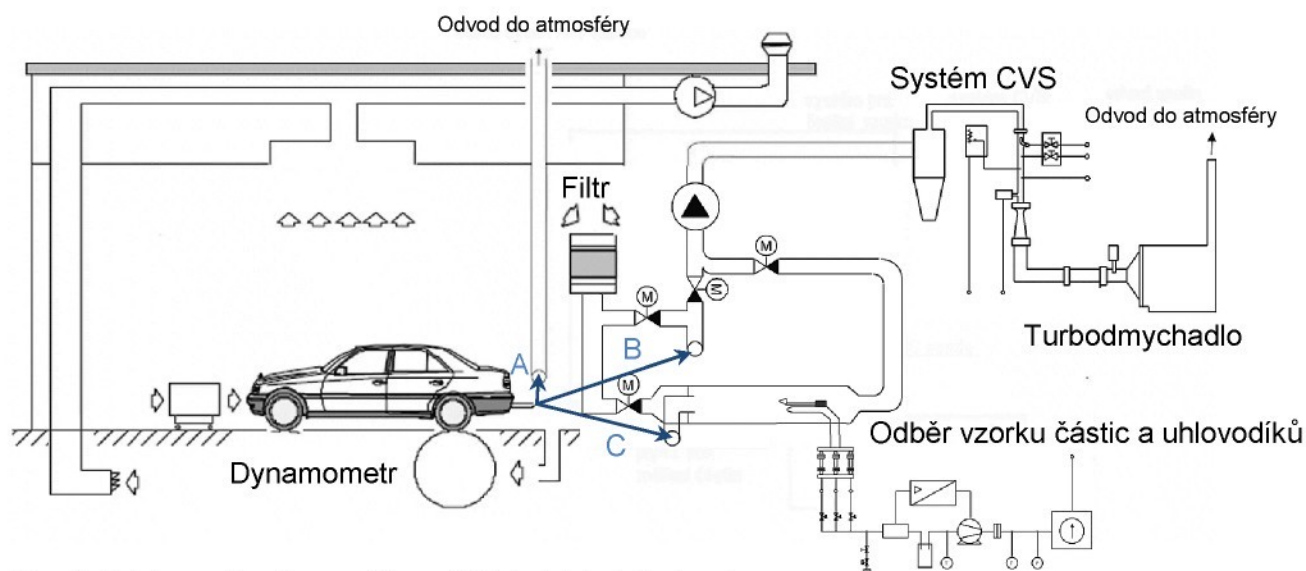
Ventilátor obsahuje i frekvenční měnič, který zajišťuje plynulou změnu otáček od 0 až do 1560 ot/min.



Obr. 10: Náporový ventilátor s redukcí (zdroj: foto Jakub Lindauer)

4.4 Zařízení pro analýzu emisí

Zařízení pro analýzu emisí má dva vstupy a to pro vznětové a zážehové motory, protože jsou u nich kladeny různé nároky na analýzu. U vznětových motorů jsou zplodiny navíc vedeny skrze ředící tunel, ve kterém je odebírán vzorek pro analýzu uhlovodíků a částic. U zážehových motorů jsou výfukové plyny ředěny a vedeny přímo do systému CVS.



Obr. 11: Schéma zařízení pro analýzu emisí (zdroj: Jakub Lindauer)

Nápojení výfuku:

- A – odvod nad střechu do atmosféry
- B – pro měření zážehových motorů
- C – pro měření vznětových motorů

4.4.1 Ředící tunel pro vznětové motory

Spaliny při měření vznětových motorů jsou vedeny speciálně pro tyto motory určeným ředícím tunelem, v jehož zadní části se nachází sondy pro odběr vzorků částic a uhlovodíků. Vzorek částic je získán díky sérii filtrů, kterými je vzorek výfukových plynů profiltrován. Tyto filtry jsou po zkoušce zváženy a díky rozdílu hmotnosti je určeno množství částic emitovaných během celého testu.

Analyzátor uhlovodíků kladé velké nároky na provozní teplotu, a proto je umístěn v blízkosti sondy. Celé zařízení je izolováno a vyhříváno.

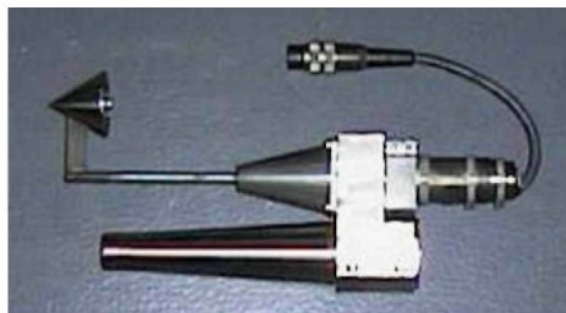
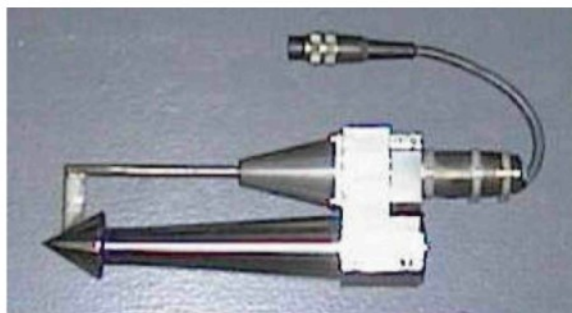
V tomto tunelu jsou umístěny dvě sady sond, a to pro evropský a americký test. Požadovaná sada sond je volena a nastavena elektronicky.



Obr. 12: filtr a vedení s ventily, v pravé části ředící tunel pro vznětové motory (zdroj: foto Jakub Lindauer)



Obr. 13: analyzátor uhlovodíků a na stěně ventily s filtry pro měření částic (zdroj: foto Jakub Lindauer)



Obr. 14: sondy pro evropský test (vlevo) a pro americký test (vpravo) (zdroj: Daimler Chrysler - Exhaust Gas Test Center Test Ring 6)

4.4.2 Systém CVS

Použité zařízení je CVS 9330T. Systém přesně měří protékající množství směsi výfukových plynů a ředícího vzduchu stejně jako objem odebraného vzorku. Zařízení měří teplotu a tlak protékající směsi a díky cejchované konstantě dokáže určit průtok. V systému je i výměník tepla, takže nejsou kladeny takové nároky na rychlost reakce tepelného senzoru. Za systémem CVS je ještě umístěno dmychadlo,

které vytváří průtok systémem a vypouští spaliny do ovzduší mimo budovu laboratoře.

Základní parametry:

Výrobce:	FIMA
Typ:	9330 T
Výstupní průtok:	20 m ³ /h
Typ výtlačného ventilátoru:	Turbo-kompresor
Princip měření:	Venturi
Provozní podmínky tepelného výměníku:	cca 35°C
Čerpadlo pro odběr vzorku:	Membránové čerpadlo
Průtok vzorku:	5 l/min
Kolísání tlaku na výstupu:	< 12 hPa



Obr. 15: Systém CVS (zdroj: foto Jakub Lindauer)



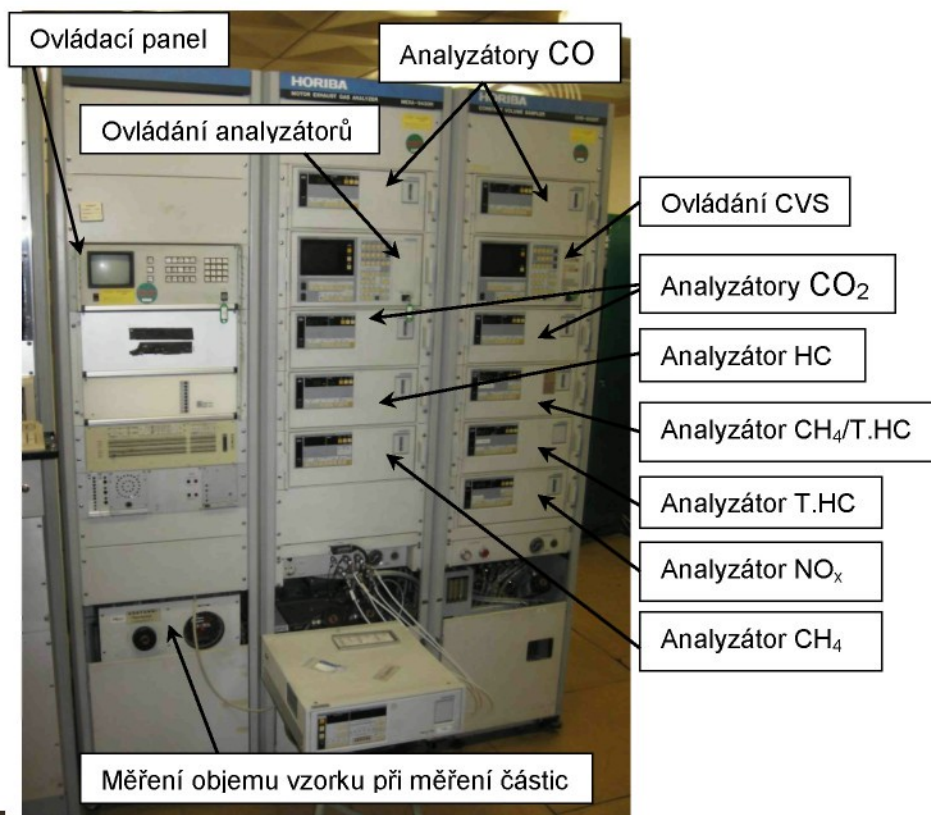
Obr. 16: systém CVS zevnitř, je vidět Venturiho trubice (zdroj: foto Jakub Lindauer)



Obr. 17: dmyhadlo tvořící průtok systémem CVS (zdroj: foto Jakub Lindauer)

4.4.3 Plynové analyzátory

Systém je vybaven několika odběrnými vaky, do kterých je shromažďován vzorek. Ten je následně analyzován analyzátory. Ty využívají různé detekční techniky a slouží vždy k analýze konkrétní složky vzorku směsi výfukových plynů a ředícího vzduchu.



Obr. 18: Analyzátory a ovládací panely brzdy (zdroj: foto Jakub Lindauer)



Obr. 19: Tlakové nádoby s plyny

Tyto analyzátory se před samotným měřením automaticky kontrolují pomocí předepsaných čistých plynů a směsí, které jsou uloženy v tlakových nádobách. Kontroluje se nula analyzátoru a správná detekce známe koncentrace plynu. Automatická kontrola proběhne také po skončení testu. Kromě této automatické kalibrace je třeba vykonávat i celkovou diagnostiku analyzátorů, při které jsou analyzátory linealizovány.

4.4.4 Počítačové vybavení

Emisní válcová brzda je vybavena celkem třemi počítači typu PC. Jeden je vybaven systémem Windows NT a slouží jako hlavní počítač pro záznam dat a propojení s centrální počítačovou sítí. Druhý slouží k ovládání a nastavování parametrů testu samotné brzdy. Má záznamy o datech, jejichž aktuální hodnoty ukazuje na displeji, má informace o parametrech testu a předává je centrálnímu počítači. Používá operační systém MS-DOS. Displeje těchto počítačů jsou umístěny

na stole s výhledem na měřené vozidlo skrze sklo. Třetí počítač vybaven také systémem Windows NT slouží k předávání informací o probíhajícím testu obsluze vozidla. Jeho displej je na pohyblivém rameni a lze ho tak nastavit přímo k čelnímu oknu měřeného vozidla. Řidič na displeji vidí svoji aktuální rychlost, diagram požadované rychlosti a také oblast dovolených tolerancí, ve které se smí se svou rychlostí pohybovat. Výstup z tohoto PC lze také přepnout na displej na hlavním stole. Kromě PC je v systému umístěn i průmyslový počítač.



Obr. 20: Displeje hlavních ovládacích PC (zdroj: foto Jakub Lindauer)



Obr. 21: Displej informačního PC pro řidiče na pohyblivém rameni (zdroj: foto Jakub Lindauer)

5 Kalibrace systému CVS

Kalibrace je založena na vzorci pro kritické proudění Venturiho trubici

$$Q_s = \frac{C_1 \cdot P}{\sqrt{T}} \quad (1)$$

kde:

Q_s – průtok Venturiho trubici [m^3/min]

C_1 – kalibrační koeficient [1]

P – absolutní tlak ve Venturiho trubici [mm Hg]

T – teplota ve Venturiho trubici [$^{\circ}\text{K}$]

Průtok je tedy funkcí tlaku a teploty. Při kalibraci systému určujeme tento tlak a teplotu, dále nezávislým zařízením měříme průtok. Z těchto veličin můžeme určit kalibrační koeficient Venturiho trubice. Nezávislé změření průtoku se provede průtokoměrem laminárního proudění (laminar flow element - LFE), hladkou dýzou (smooth approach orifice - SAO) nebo jiným průtokoměrem. Tento průtokoměr se zapojí na začátek, za něj se umístí omezovač průtoku pro jeho regulaci a nakonec je zapojen systém CVS. Dmychadlo systému CVS tedy nasává vzduch skrze tento průtokoměr, omezovač průtoku a dále přes Venturiho trubici.

Po sestavení celého zařízení se omezovač průtoku zcela otevře a spustí se dmychadlo systému CVS. Systém se nechá ustálit a zaznamenají se první hodnoty. Nastavení omezovače průtoku se postupně mění a zaznamená se alespoň osm hodnot v oblasti kritického proudění. Z naměřených dat na průtokoměru se určí průtok Q_s pro každý bod měření. Dále pro každý bod měření určíme kalibrační koeficient C_1 pomocí upravené rovnice pro kritické proudění Venturiho trubici.

$$C_1 = \frac{Q_s \cdot \sqrt{T_v}}{P_v} \quad (2)$$

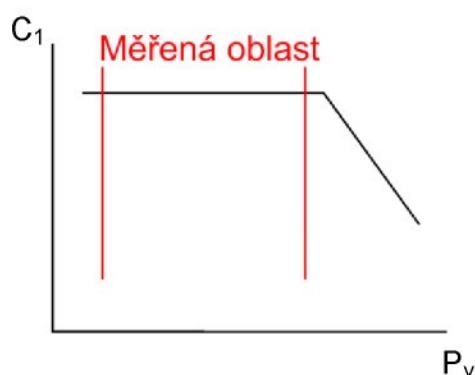
C_1 – kalibrační koeficient [1]

Q_s – průtok při 273,2 °K a 101,33 kPa [m³/min]

T_v – teplota na vstupu Venturiho trubice [°K]

P_v – absolutní tlak na vstupu Venturiho trubice [kPa]

Sestaví se graf závislosti kalibračního koeficientu C_1 na tlaku na vstupu Venturiho trubice P_v . Pokud je proudění Venturiho trubici kritické a má tak rychlost zvuku, bude hodnota C_1 přibližně konstantní. Při velkém poklesu tlaku se kritické proudění naruší, změní se v jiný typ proudění a kalibrační koeficient C_1 klesne. Tyto změny C_1 se neberou v úvahu.



Obr. 22: Průběh C_1 na P_v (zdroj: Jakub Lindauer)

Pokud jsou určeny kalibrační koeficienty C_1 pro jednotlivé body měření, je třeba určit ještě jejich směrodatnou odchylku. Ta se určí ze vztahu:

$$SC_1 = \left[\frac{\sum (C_{1n} - \bar{C}_1)^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

SC_1 – směrodatná odchylka

$\bar{C}_1$ – průměrná hodnota C_1

n – počet měření

Hodnota SC_1 nesmí být vyšší než 0,3% z $\bar{C}_1$.

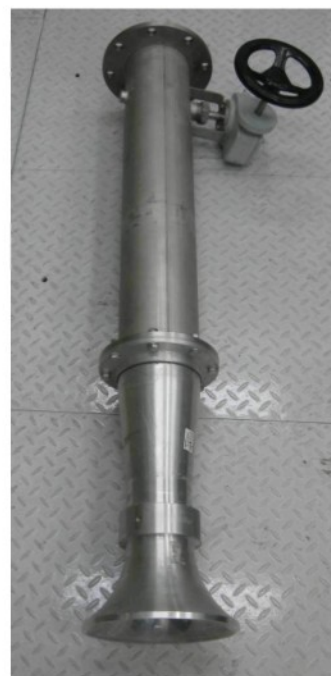
$$\frac{SC_1}{\bar{C}_1} \leq 0,003 \quad (4)$$

5.1 Provedená měření

Katedra vozidel a motorů získala společně s emisní válcovou brzdou i LFE určené ke kalibraci systému CVS. Bohužel předběžné měření s tímto LFE ukázalo, že výpočet průtoku podle dodané dokumentace neodpovídá skutečnosti. Proto byl zapůjčen průtokoměr SAO ze ŠKODA AUTO a.s. v Mladé Boleslavi. Tento SAO je součástí vybavení válcové zkušebny a je určen ke kalibraci systémů CVS. S průtokoměrem SAO byl dodán i kalibrační protokol v Microsoft Excelu, který provede i všechny nezbytné výpočty. Nejprve tedy byla provedena kalibrace systému CVS pomocí tohoto zařízení. Následně byl učiněn pokus o určení správné konstanty LFE pomocí kalibrovaného systému CVS.

5.1.1 Kalibrace CVS pomocí SAO

Měření průtoku pomocí SAO pracuje na principu průtoku venturiho tryskou o známém průměru. Pokud známe přibližné parametry proudícího plynu (vzduch) a tlak v místě zúžení, můžeme určit průtok. Měření pomocí SAO je tedy i relativně jednoduché, stačí nám měřit jen podtlak v zúžení a teplotu vstupujícího vzduchu. Oproti LFE je SAO přesnější, tlakové ztráty na průtokoměru jsou podstatně nižší a jeho parametry jsou stabilní, protože u něj nedochází k zanášení prachem. SAO je vyrobeno z nerezové oceli a obsahuje mosaznou vložku s dírkami po obvodu pro měření tlaku. Zapůjčený průtokoměr SAO je typ HORIBA SAO 800 SCFM s průměrem zúžení 3,449 in.



Obr. 23: Zapůjčený průtokoměr SAO (zdroj: foto Jakub Lindauer)

Systém SAO byl zapůjčen společně s ventilem pro regulaci průtoku vzduchu. Na výstupní trubku SAO byla nasunuta redukce na požadovaný průměr a pomocí pružné hadice byl průtokoměr SAO propojen se systémem CVS. Byla zkontrolována těsnost všech spojů mezi průtokoměrem a systémem CVS.

Dále byly připraveny měřicí přístroje pro záznam tlaku a teploty průtokoměru SAO. Čidlo teploměru bylo nastaveno přibližně do oblasti nasávání vzduchu. Digitální manometr byl napojen jedním vstupem na průtokoměr a druhý vstup zůstal volný, měřil tedy tlak vůči barometrickému.



Obr. 24: Průtokoměr SAO se senzory
(zdroj: foto Jakub Lindauer)

Použité přístroje:

- Teploměr COMARK C9011
- Digitální Manometr MRU DM9200 (DM 400710)
- Průtokoměr HORIBA SAO 800 SCFM 3,449 in
- Digitální snímač tlaku, vlhkosti a teploty T7511 (DM 707705)

Měření byla provedena celkem tři. Vždy u první hodnoty byl ventil omezující průtok zcela otevřen a během měření postupně přivírá. Zaznamenávané hodnoty byly tedy tlak a teplota na průtokoměru SAO a pak dále teplota a tlak v systému CVS odečtené z ovládací obrazovky systému. Také byl zaznamenán barometrický tlak. Naměřené hodnoty byly vloženy do



Obr. 25: Panel systému CVS zobrazující teplotu, tlak, koeficient a vypočtený průtok (zdroj: foto Jakub Lindauer)

kalibračního protokolu v Microsoft Excelu zapůjčeného s průtokoměrem SAO. Tento program měření vyhodnotil, určil novou konstantu systému CVS a také stanovil, zda je směrodatná odchylka v odpovídající mezi vůči průměrné hodnotě kalibračního koeficientu a zda je tedy měření platné.

Závěr měření:

Byla určena nový kalibrační koeficient systému CVS, který se výrazně lišil od původně nastavené hodnoty a to o 4,66%. Nelze tedy jinak než doporučit nastavení této hodnoty do systému. Tento nový kalibrační koeficient má hodnotu 0,21215.

-----SAO-----			-----CVS-----			C1 obtenida	DP SAO (mmH2O)
DP SAO (mBar)	DP SAO ("H2O)	IT (°C)	P1 (mmHg)	T1 (°C)	P.Atm. (mmHg)		
1	3,69	1,48	705,00	35,6	717,80	0,21240	37,6682
2	3,70	1,49	704,25	35,7	717,80	0,21259	37,719
3	3,70	1,49	700,50	35,8	714,10	0,21285	37,719
4	3,63	1,46	699,75	35,7	717,80	0,21222	37,0332
5	3,63	1,46	699,75	35,7	717,80	0,21190	37,0078
6	3,57	1,43	696,75	35,6	717,80	0,21135	36,4236
7	3,62	1,46	696,00	35,6	714,10	0,21185	36,957
8	3,59	1,44	693,75	35,7	717,80	0,21210	36,576
						C1avg: 0,21215	

Resultat: Neuer C1 Wert, und Durchfluß-Equivalent

C1= C1 avg= **0,21215** Qcal equivalent: **9,42**

Bewertung der Ergebnisse:

Durchschn.Err./C1avg= **0,22%** **Resultat gültig**

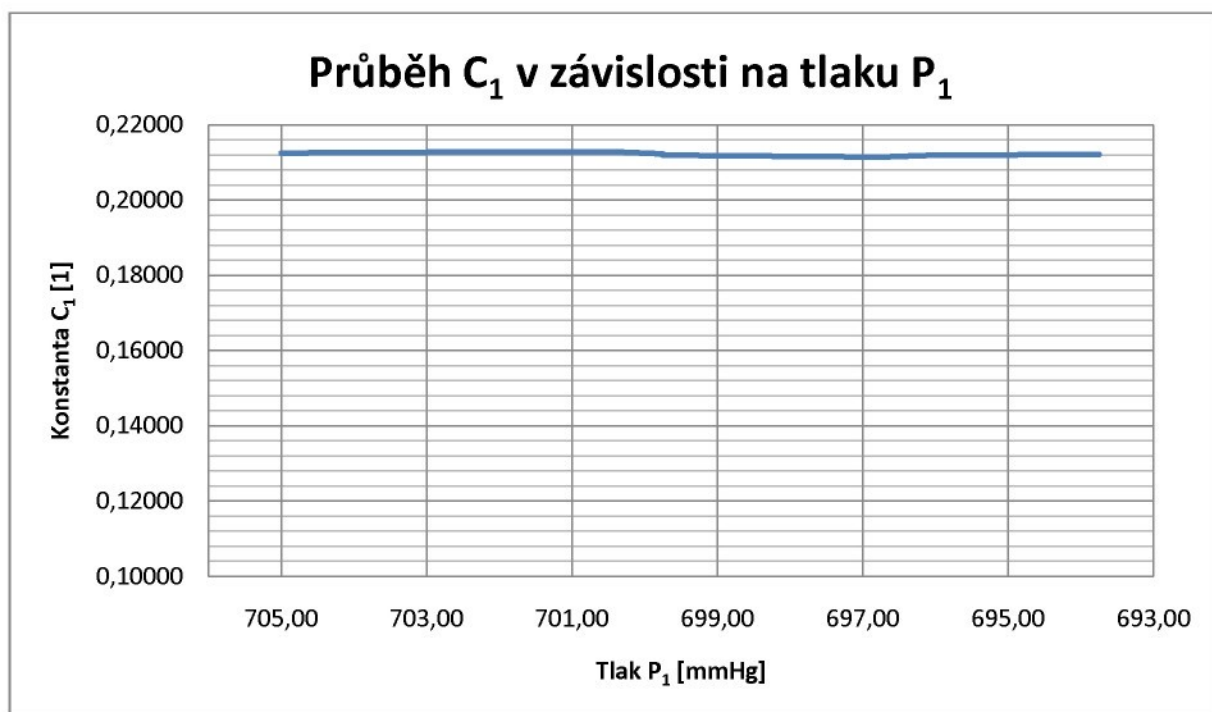
Differenz C1 original gegen C1 neu:

C1 original= 0,20270

C1 neu= 0,21215

Differenz= -4,66%

Tab. 1: Hlavní část kalibračního protokolu s naměřenými hodnotami a výsledky výpočtu včetně klasifikace kalibrace. Celý kalibrační protokol je součástí příloh. Hodnoty tučně byly změřeny a zadány do souboru.



Graf 1: Průběh C_1 v závislosti na tlaku P_1 (zdroj: Jakub Lindauer)

Soubor protokolu obsahuje i výpočet jednotlivých průtoků se zobrazenou odchylkou vůči SAO se starým i novým kalibračním koeficientem systému CVS. Tato kontrola není součástí tištěného protokolu.

Valorisierung der Resultate

C1 original= 0,2027 C1 Neu= 0,21215

Durchschn. Q (SAO)	Durchschnitt (C1 org.)	Error	Durchschnitt (C1 neu)	Error
8,52	8,1334453	-4,57%	8,512821	-0,11%
8,52	8,1234771	-4,65%	8,502388	-0,20%
8,48	8,0789131	-4,77%	8,455746	-0,33%
8,45	8,0715699	-4,49%	8,44806	-0,03%
8,44	8,0715699	-4,34%	8,44806	0,12%
8,38	8,0382667	-4,09%	8,413203	0,38%
8,39	8,0296141	-4,32%	8,404147	0,15%
8,37	8,0023603	-4,43%	8,375622	0,03%

Tab. 2: Jednotlivé dopočítané průtoky včetně odchylek

5.1.2 Kalibrace CVS pomocí LFE

Kalibrace pomocí LFE nemohla být provedena, byl tedy alespoň učiněn pokus o určení nové konstanty průtokoměru LFE a vypracovány návody a protokoly pro toto měření.

Průtokoměr LFE využívá rezistoru ve tvaru plástve, u nějž je rozdíl tlaků úměrný protékajícímu množství plynu. Kvůli citlivosti celého rezistoru na nečistoty je LFE vybaven vzduchovým filtrem a tak více trpí jeho parametry zanášením tohoto filtru. Průtokoměr byl dodán s válcovou brzdou již z laboratoře Daimler Chrysler, kde sloužil ke kalibraci systému CVS. Při transportu byl ovšem poškozen a musela být provedena jeho oprava. Konkrétně šlo o opravu spojovací trubky mezi rezistorem a ventilem pro regulaci průtoku. Typ průtokoměru LFE je RICARDO P.7024 108HX s maximálním průtokem 0,3m³/s.

Po určení nového kalibračního koeficientu systému CVS bylo možné pokusit se určit také novou konstantu průtokoměru LFE. Obecné vztahy pro určení průtoku LFE jsou:

$$Q_{LFE} = C \cdot 10^{-3} \cdot EDP \cdot C_T \quad (5)$$



Obr. 26: Průtokoměr LFE (zdroj: foto Jakub Lindauer)



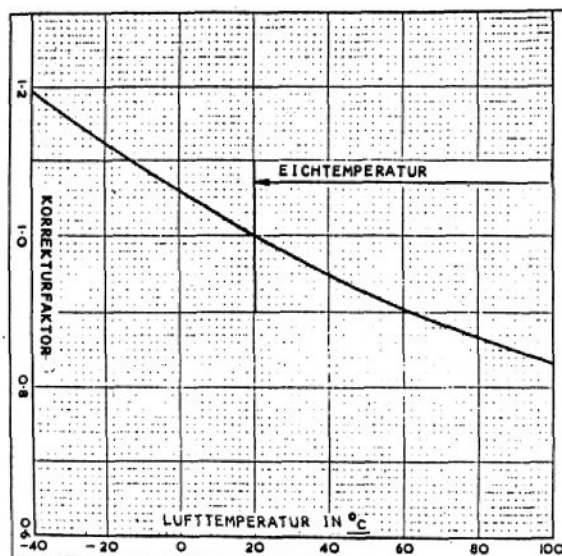
Obr. 27: Rezistor ve tvaru plástve průtokoměru LFE (zdroj: foto Jakub Lindauer)

Q_{LFE} – průtok [m^3/s]

C – konstanta LFE [1]

EDP – pokles tlaku v LFE [mm H₂O]

C_T – opravný koeficient teploty [1], který se určí z následujícího grafu:



Graf 2: Graf pro určení opravného koeficientu teploty C_T dle teploty vstupujícího vzduchu (zdroj: manuál LFE)

Další vztah slouží k určení normovaného průtoku vztaheného ke standardním podmínkám 101,3kPa (760mmHg) a 273°K:

$$Q_{CAL} = Q_{LFE} \cdot 60 \cdot \frac{273}{ETI} \cdot \frac{P_b}{101,3} \quad (6)$$

Q_{CAL} – přepočítaný kalibrační průtok [m^3/min]

Q_{LFE} – průtok průtokoměrem LFE [m^3/s]

ETI – teplota vzduchu vstupujícího do LFE [°K]

P_b – barometrický tlak v okolí LFE [kPa]

Tento průtok Q_{CAL} by měl odpovídat průtoku Q_s systému CVS. Úpravou vztahů 1,5 a 6 je možné získat vzorec pro výpočet konstanty LFE dosazením základních naměřených veličin:

$$C = \frac{C_1 \cdot P \cdot 10^3}{60 \cdot EDP \cdot C_T \cdot \sqrt{T}} \cdot \frac{ETI}{273} \cdot \frac{101,3}{P_b} \quad (7)$$

C – konstanta LFE [1]

C_1 – kalibrační koeficient CVS[1]

P – absolutní tlak na Venturiho trubici [mm Hg]

EDP – pokles tlaku v LFE [mm H₂O]

C_T – opravný koeficient teploty [1]

T – teplota na Venturiho trubici [°K]

ETI – teplota vzduchu vstupujícího do LFE [°K]

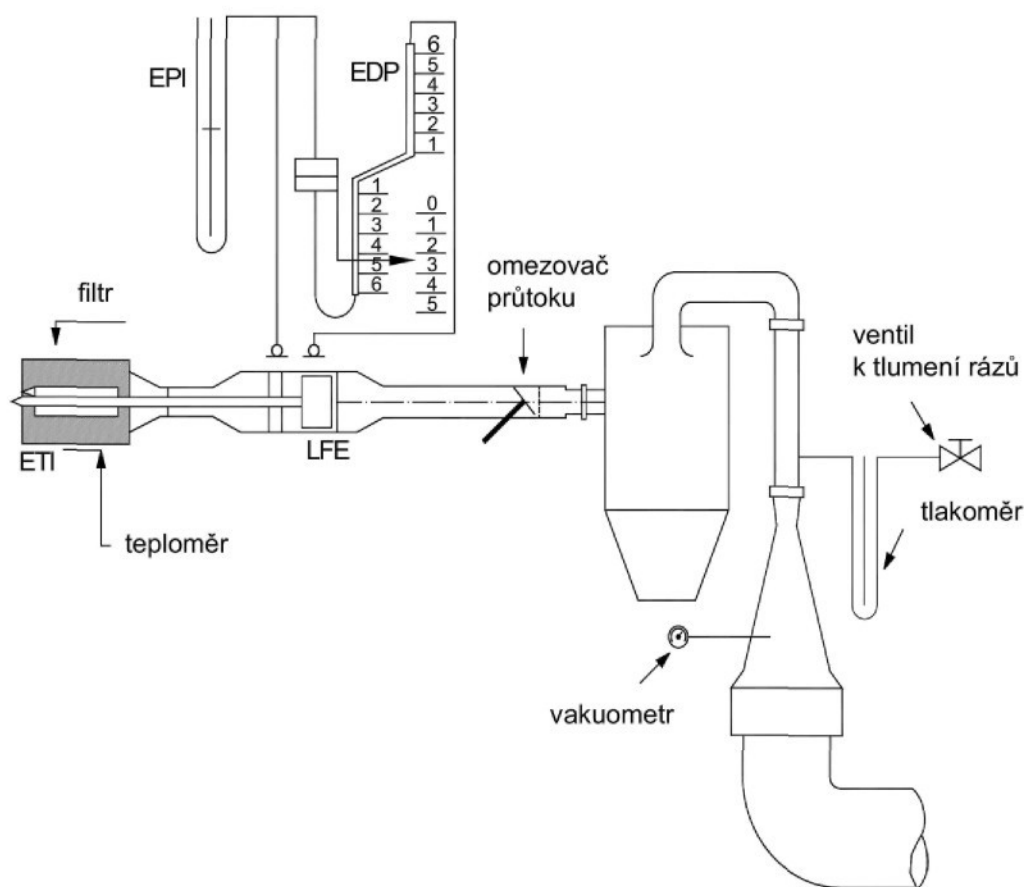
P_b – barometrický tlak v okolí LFE [kPa]

Postup měření:

Kalibraci CVS systému průtokoměrem LFE upravuje přímo předpis EHK 83. Ten také definuje potřebnou přesnost měření jednotlivých veličin. U měření pomocí LFE je potřeba měřit tyto parametry s předepsanou přesností:

- | | |
|--|----------------------------|
| • barometrický tlak (přepočtený) (P_b) | $\pm 0,03 \text{ kPa}$, |
| • teplota vzduchu na vstupu LFE (ETI) | $\pm 0,15 \text{ °K}$, |
| • podtlak před LFE (EPI) | $\pm 0,01 \text{ kPa}$, |
| • pokles tlaku v trubici LFE (EDP) | $\pm 0,0015 \text{ kPa}$, |
| • průtok vzduchu (Q_{CAL}) | $\pm 0,5 \%$, |
| • podtlak na vstupu CFV (P) | $\pm 0,02 \text{ kPa}$, |
| • teplota na vstupu Venturiho trubice (T) | $\pm 0,2 \text{ °K}$. |

Celé zařízení s LFE se sestaví dle schématu, ve kterém jsou i patrné jednotlivé měřené veličiny. Jedná se v podstatě o stejné zapojení jako s průtokoměrem SAO, průtokoměr LFE je tedy před systémem CVS a dmychadlo systému CVS nasává vzduch skrze vzduchový filtr LFE, rezistor, regulační ventil a dále přes Venturiho trubici systému CVS.



Obr. 28: Schéma uspořádání pro kalibraci CFV - CVS (zdroj: předpis EHK83)

Celé zařízení bylo sestaveno, na osazení na výstupní trubci LFE byla silikonem upevněna redukce. Na tu byla nasunuta pružná hadice vedoucí dále k vícecestnému ventilu na vstupu systému CVS. Tento ventil musel být přepnut do polohy, kdy propojoval průtokoměr LFE a systém CVS.

Následně byla puštěna voda do systému CVS, byl aktivován systém CVS do stavu Stand-by a nechal se ustálit na pracovní teplotu, která se pohybuje mezi 308-309°K. Na LFE byly napojeny dva vodní U manometry, jeden pro měření podtlaku před rezistorem a druhý pro měření rozdílu tlaků před a za rezistorem. Teplota nasávaného vzduchu byla měřena v blízkosti vstupního vzduchového filtru.



Obr. 29: LFE se senzory napojené na CVS(zdroj: foto Jakub Lindauer)

Použité přístroje:

- Teploměr COMARK C9011
- Vodní manometr 2x
- Průtokoměr RICARDO P.7024 108HX
- Digitální snímač tlaku, vlhkosti a teploty T7511 (DM 707705)

Po ustálení systému CVS byly zaznamenány první hodnoty, tedy tlak a teplota systému CVS, teplota na vstupu LFE, podtlak a rozdíl tlaků na LFE a také barometrický tlak, který byl zaznamenán jeden pro celé měření. Následně byl průtok přiškrcen regulačním ventilem a po ustálení zaznamenány další hodnoty všech měřených parametrů. Takto bylo zaznamenáno osm hodnot a provedena celkem tři měření. Na jejich základě byla pomocí vztahu (7) určena nová konstanta LFE a také procentuální poměr směrodatné odchylky a průměrné hodnoty této nové konstanty.

Závěr měření:

Nová konstanta byla určena, ovšem její chyba je neakceptovatelná a její aplikace na dřívější měření nepřinesla uspokojivé výsledky. Muselo být tedy doporučeno nechat průtokoměr LFE znovu ocejchovat. Změna parametrů průtokoměru mohla být způsobena zanesením vzduchového filtru, opravou provedenou na zařízení nebo je možné, že byla dodána chybná dokumentace k průtokoměru. Návod na kalibraci CVS systému emisní válcové brzdy pomocí LFE a kalibrační protokol pro toto měření jsou součástí příloh. Kalibrační protokol je vypracován v Microsoft Excelu a provádí všechny nezbytné výpočty včetně

hodnocení měření. Po určení nové konstanty LFE jí stačí zadat do souboru, případně bude třeba upravit výpočtové vztahy, pokud by nebylo možné průtokoměr cejchovat pouze určením této konstanty.

měření	Tlak CVS [kPa]	Tlak CVS [mmHg]	Teplota CVS [°K]	Průtok [m ³ /min]
1	92,8	696,0	308,7	8,40
2	92,6	694,5	308,7	8,39
3	92,4	693,0	308,7	8,37
4	92,2	691,5	308,7	8,35
5	92,0	690,0	308,7	8,33
6	91,8	688,5	308,7	8,31
7	91,3	684,8	308,7	8,27
8	91,0	682,5	308,7	8,24

Tlak LFE [mmH ₂ O]	Rozdíl tlaků LFE [mmH ₂ O]	Rozdíl tlaků LFE [mmHg]	Teplota LFE [°C]	Přepočítaný průtok [m ³ /s]	Konstanta LFE [1]
41,0	95,2	7,01	23,4	0,16033	1,724
40,5	94,9	6,98	23,5	0,16054	1,726
39,8	94,8	6,98	23,6	0,16025	1,725
39,6	95,0	6,99	23,7	0,15996	1,718
39,7	94,7	6,97	23,9	0,15972	1,721
39,3	93,8	6,90	24,0	0,15942	1,734
39,0	93,2	6,86	24,0	0,15855	1,736
37,3	90,7	6,68	24,1	0,15809	1,779

průměr: 1,733

Tlak oprava C_T : 0,98

95,83 kPa

odchylka: 1,05%

teplota

24 °C

Tab. 3: 1. měření a určení konstanty LFE. Hodnoty tučně byly změřeny a zadány

měření	Tlak CVS [kPa]	Tlak CVS [mmHg]	Teplota CVS [°K]	Průtok [m ³ /min]
1	92,9	696,8	308,8	8,41
2	92,5	693,8	308,8	8,38
3	92,2	691,5	308,8	8,35
4	92,0	690,0	308,8	8,33
5	91,7	687,8	308,8	8,30
6	91,3	684,8	308,8	8,27
7	90,7	680,3	308,8	8,21
8	89,5	671,3	308,8	8,10

Tlak LFE [mmH ₂ O]	Rozdíl tlaků LFE [mmH ₂ O]	Rozdíl tlaků LFE [mmHg]	Teplota LFE [°C]	Přepočítaný průtok [m ³ /s]	Konstanta LFE [1]
41,9	96,0	7,07	24,2	0,16138	1,715
40,6	95,6	7,04	24,2	0,16069	1,716
40,2	95,5	7,03	24,5	0,16033	1,713
39,9	94,2	6,93	24,2	0,15982	1,731
38,9	93,6	6,89	24,0	0,15919	1,735
37,8	92,9	6,84	24,5	0,15876	1,744
35,5	89,8	6,61	24,5	0,15772	1,792
32,4	82,8	6,09	24,5	0,15563	1,918

průměr: 1,758

Tlak oprava C_T : 0,975

95,85 kPa

odchylka: 3,70%

teplota

25,3 °C

Tab. 4: 2. měření a určení konstanty LFE. Hodnoty tučně byly změřeny a zadány

měření	Tlak CVS [kPa]	Tlak CVS [mmHg]	Teplota CVS [°K]	Průtok [m ³ /min]
1	92,9	696,8	308,8	8,41
2	92,4	693,0	308,8	8,37
3	92,1	690,8	308,8	8,34
4	91,7	687,8	308,8	8,30
5	91,4	685,6	308,8	8,28
6	90,7	680,3	308,8	8,21
7	90,4	678,0	308,8	8,19
8	89,6	672,0	308,8	8,11
9	88,8	664,5	308,8	8,02

Tlak LFE [mmH ₂ O]	Rozdíl tlaků LFE [mmH ₂ O]	Rozdíl tlaků LFE [mmHg]	Teplota LFE [°C]	Přepočítaný průtok [m ³ /s]	Konstanta LFE [1]
40,8	96,7	7,12	24,8	0,16164	1,706
40,7	95,6	7,04	24,6	0,16066	1,715
40,6	94,2	6,93	24,4	0,16003	1,734
39,3	93,0	6,84	24,4	0,15934	1,748
38,5	92,7	6,82	24,5	0,15887	1,749
35,8	89,0	6,55	24,5	0,15765	1,808
35,5	88,4	6,51	24,4	0,15708	1,813
31,5	83,2	6,12	24,4	0,15569	1,909
26,0	73,6	5,42	24,5	0,15400	2,135

průměr: 1,813

Tlak oprava C_T : 0,975

95,89 kPa

odchylka: 7,19%

teplota

25,8 °C

Tab. 5: 3. měření a určení konstanty LFE. Hodnoty tučně byly změřeny a zadány

Nejhoršího výsledku bylo dosaženo u 3. měření, kde bylo měřeno při nejnižších tlacích a tak mohlo být měření ovlivněno zněnou proudění Venturiho trubici.

6 Ověřování celého systému

Ověřování celého systému odběru vzorků se provádí měřením konstantního průtoku čistého plynu zařízením s clonkou s kritickým prouděním (critical flow orifice - CFO). Známe množství čistého plynu, kterým je propan (C_3H_8) nebo oxid uhelnatý (CO), je zavedeno do systému CVS přes kalibrovanou clonku s kritickým prouděním. Pokud je vstupní tlak plynu dost vysoký, dochází ke kritickému proudění a průtok Q clonkou je konstantní a nezávislý na vstupním tlaku. Systém CVS pracuje stejně jako při zkoušce emisí po dobu 5-10min. Plyn nashromážděný ve vacích se analyzuje obvyklým způsobem a koncentrace se porovnávají se známou koncentrací vstupního plynu.

Během měření tedy zaznamenáváme vstupní tlak plynu na clonku, teplotu plynu, celkové proteklé množství plynu systémem CVS za určitý čas, koncentraci plynu v okolí a v směsi a také podmínky měření, tedy barometrický tlak, teplotu a vlhkost vzduchu. Na základě těchto naměřených hodnot lze určit celkové množství plynu, který protekl clonkou a také systémem CVS. Na základě porovnání těchto dvou množství lze určit, zda systém pro odběr vzorků pracuje správně. Použité zařízení s clonkou s kritickým prouděním je Horiba CFO-201 sn. 100122.

Obecné vztahy pro ověření celého systému:

Nejprve určíme celkové množství plynu, které zaznamenal systém CVS:

$$m_{CVS} = \frac{V_{mix} \cdot (K_v - K_a) \cdot \rho}{1\,000\,000} \quad (1)$$

m_{CVS} – množství propanu proteklého systémem CVS [g]

V_{mix} – celkový objem proteklý systémem CVS [m^3]

K_v – koncentrace ve vaku vzorku [ppm]

K_a – koncentrace ve vaku okolního vzduchu [ppm]

ρ – hustota [g/m^3] (pro propan $\rho = 51,908 \text{ g/ft}^3 = 1643,7 \text{ g/m}^3$)

Pro určení průtoku clonkou musíme nejprve určit absolutní tlak na clonku:

$$P = PI + (P_b \cdot 0,14504) \quad (2)$$

P – absolutní tlak na vstupu clonky [psi]

PI – naměřený tlak na CFE [psi]

P_b – barometrický tlak [kPa]

Nyní lze určit průtok clonkou CFO, která je kalibrovaná pomocí tří konstant:

$$CFOF = \frac{A + (B \cdot P) + (C \cdot P^2)}{\sqrt{9/5 \cdot (T + 273,15)}} \quad (3)$$

CFOF – průtok clonkou CFO [ft³/min]

A, B, C – kalibrační konstanty pro [°R] a [psi] v [1]

P – absolutní tlak na vstupu clonky [psi]

T – teplota plynu v CFO [°C]

Po určení průtoku za čas můžeme pomocí známého času a hustoty určit proteklou hmotu:

$$m_{CFO} = \left(\frac{CFOF}{60} \cdot t \right) \cdot \rho \quad (4)$$

m_{CFO} – množství propanu proteklého systémem CFO [g]

CFOF – průtok clonkou CFO [ft³/min]

t – doba plnění vaků [s]

ρ – hustota [g/ft³] (pro propan $\rho = 51,908 \text{ g/ft}^3 = 1643,7 \text{ g/m}^3$)

Pokud je použit propan, jsou naměřené koncentrace přepočteny jako ekvivalent C₁ (propan C₃H₈ -> násobíme 3x), výsledné množství v g je následně opět vyděleno, aby byla získána hmota propanu.

Nakonec ještě určíme chybu měření, která nesmí překročit mez ±2%:

$$\left| \frac{m_{CVS} - m_{CFO}}{m_{CFO}} \right| \cdot 100 \leq 2 \quad (5)$$

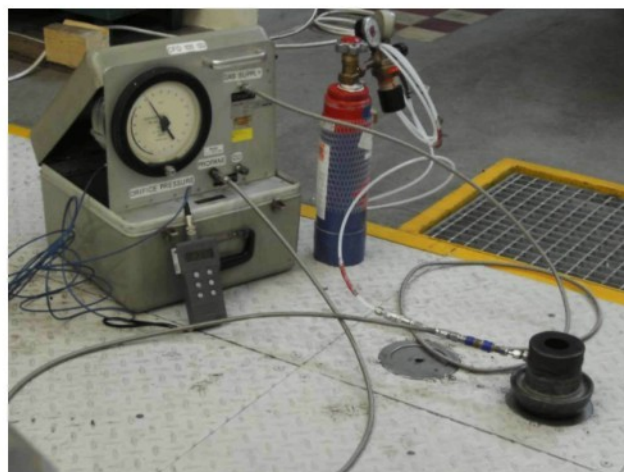
m_{CVS} – množství propanu proteklého systémem CVS [g]

m_{CFO} – množství propanu proteklého systémem CFO [g]

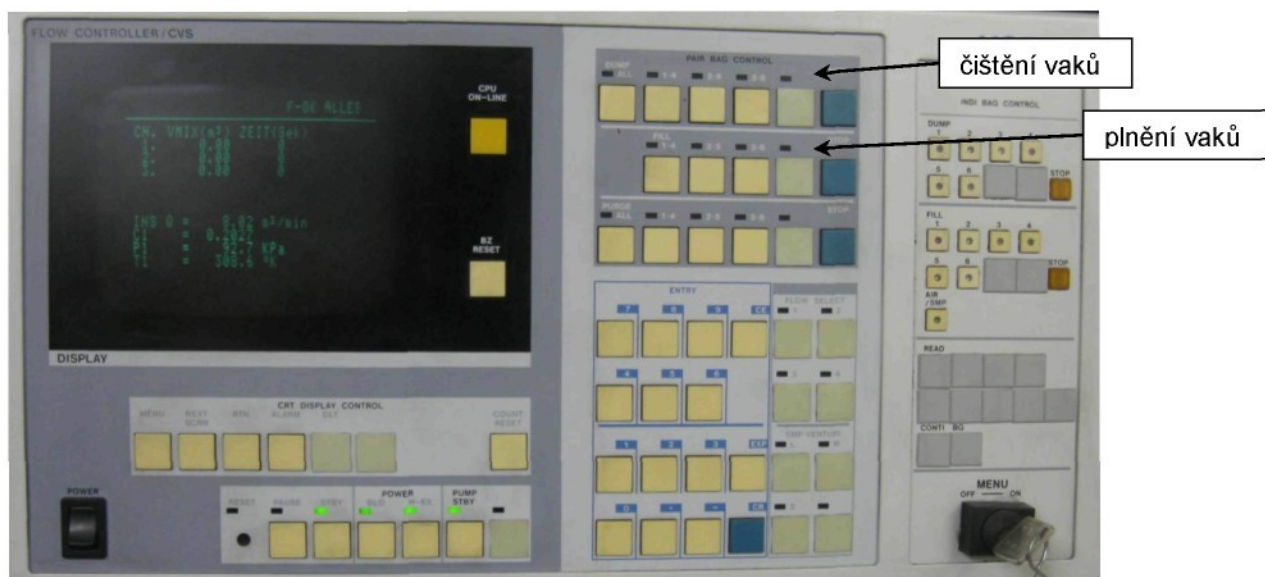
Postup měření:

1. Zapojte systém CFO, tedy na jeho vstup připojte propan a na výstup nástavec, který vložte do vstupu pro emisní zkoušky benzínových motorů.
2. Nastavte na CFO nulu, umístěte čidlo teploměru v blízkosti spirály na zadní straně CFO.
3. Nastavte ventily do pozice jako pro emisní zkoušku benzínových vozidel.
4. Otevřete vodu do systému CVS. Tlak vody by se měl pohybovat mezi 4 - 5 bary.

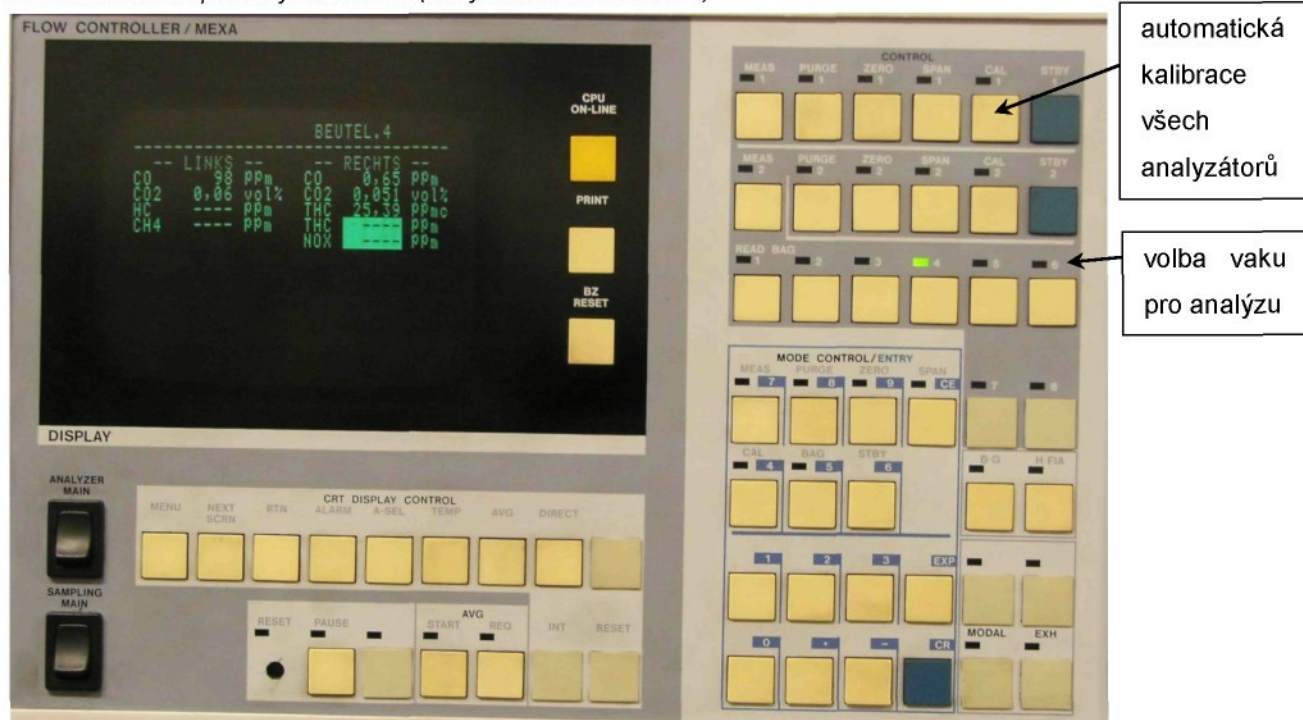
5. Aktivujte systém CVS. Zapněte hlavní vypínač a poté stiskněte STBY, čímž nastavíte Stand-By režim. Systém se začne zahřívát a kontrolovat vaky.
6. Po zahřátí systému na pracovní teplotu pohybující se mezi 308 – 309 °K otevřete propanovou láhev a nastavte výstupní tlak v oblasti kalibrování CFO.
7. Aktivujte plnění jedné sady vaku (1.4 2.5 3.6) pomocí panelu CVS tlačítkem v oblasti FILL pro konkrétní sadu vaků.
8. Během plnění vaků odečtěte teplotu plynu v CFO, tlak CFO, teplotu, barometrický tlak a vlhkost vzduchu.
9. Po uplynutí požadované doby plnění vaků (300s) zastavte plnění stiskem tlačítka STOP v oblasti FILL.
10. Zavřete bombu s propanem.
11. Kalibrujte analyzátor T.HC CH₄, nejprve vpustěte nulovací plyn pomocí tlačítka ZERO v oblasti MODE. Pokud nula neseď, kalibrujte jí stiskem tlačítka CAL v oblasti MODE. Následně vpustěte kalibrační plyn pomocí tlačítka SPAN a opět v případě potřeby kalibrujte tlačítkem CAL.
12. Proveďte analýzu koncentrací uhlovodíků v použitých vacích. U ovládání analyzátorů stiskněte v oblasti READ BAG tlačítko příslušného vaku a odečtěte hodnotu.
13. Vyčistěte použitou sadu vaku pomocí tlačítka příslušné sady vaku v oblasti DUMP na ovládacím panelu CVS.
14. Opakujte celé měření ještě jednou (body 6 až 13).
15. Po skončení měření deaktivujte systém CVS stiskem tlačítka PAUSE na ovládacím panelu CVS. Systém se sám vypne po několika minutách.
16. Zavřete vodu do systému CVS.



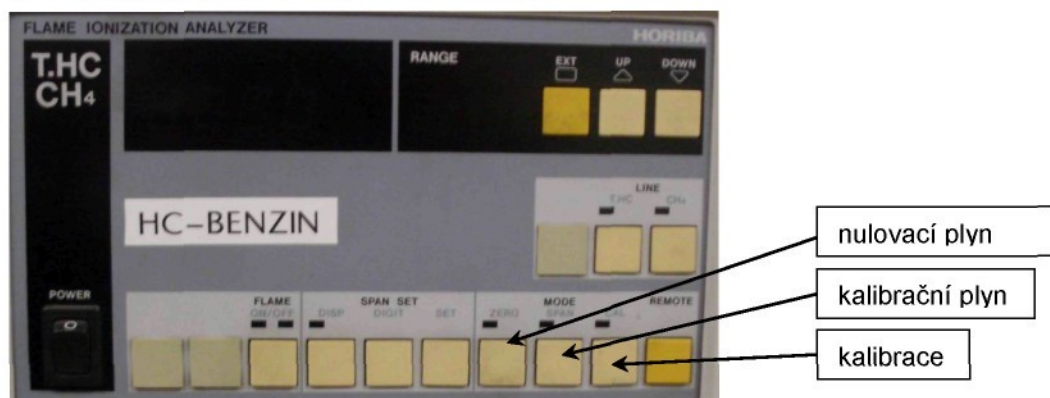
Obr. 30: CFO s připojeným propanem a napojené na vstup systému odběru vzorků (zdroj: foto Ing. Josef Blažek, Ph.D.)



Obr. 31: Ovládací panel systému CVS (zdroj: foto Jakub Lindauer)



Obr. 32: Ovládací panel analyzátorů (zdroj: foto Ing. Josef Blažek, Ph.D.)



Obr. 33: Ovládací panel analyzátoru T.HC CH₄ (zdroj: foto Lukáš Patočka)

Závěr měření:

Byla provedena tedy celkem dvě měření, ovšem naměřené výsledky byly velice neuspokojivé. Chyba se při obou měření blížila 40%. Po prozkoumání dokumentace bylo zjištěno, že označení CFE zcela neodpovídá, je tedy možné, že dodaný kalibrační protokol není určen pro dodaný CFE a jeho konstanty jsou tedy jiné. Muselo být tedy opět doporučeno nechat CFE oceňovat.

<u>Plyn:</u>	propan		
<u>hustota plynu:</u>	51,908 g/ft ³	=	1643,7 g/m ³
<u>konstanty CFO:</u>	A: -2,65830E-03		
	B: 3,73142E-03		
	C: 2,01712E-06		
	Měření 1		Měření 2
Teplota prostředí:	24,6 °C		23,9 °C
Tlak prostředí:	96,5 kPa		96,4 kPa
Vlhkost prostředí:	47,6 %		49,0 %
Doba plnění pytlů:	300 s		300 s
<u>Hmotnostní tok CVS:</u>			
Koncentrace propanu ve vzorku:	25,41 ppm		25,19 ppm
Koncentrace propanu v okolí:	1,02 ppm		0,46 ppm
Koncentrace ve vzorku ekvivalentní C₁:	76,23 ppm		75,57 ppm
Koncentrace v okolí ekvivalentní C₁:	3,06 ppm		1,38 ppm
Rozdíl ekvivalentních koncentrací:	73,17 ppm		74,19 ppm
Celkový proteklý objem CVS:	42,49 m ³		42,56 m ³
Hmota systémem CVS:	1,7034 g		1,7300 g
<u>Hmotnostní tok CFE:</u>			
Tlak plynu v CFE:	50 psi		52 psi
Teplota plynu v CFE:	21,2 °C		21,1 °C
Absolutní tlak CFE:	64,0 psi		66,0 psi
Průtok CFE:	0,01062 ft ³ /min		0,01096 ft ³ /min
Hmota systémem CFE:	2,7554 g		2,8458 g
<u>Hodnocení měření</u>			
Chyba:	-38,18%		-39,21%
	NEVYHOVUJE		NEVYHOVUJE

Tab. 6: Výťah z kalibračního protokolu CFE, kompletní protokol je součástí příloh

7 Závěr

První pokus o kalibraci systému CVS pomocí průtokoměru laminárního proudění LFE ukázal velký rozdíl ve v naměřených průtocích. Průtokoměr LFE nebyl nikdy předtím v laboratoři používán ani ověřován, nebylo tedy jisté, jaký je jeho stav a zda je k němu dodána odpovídající dokumentace. Navíc musela být provedena drobná oprava. Z těchto důvodů byl zapůjčen průtokoměr s hladkou dýzou SAO z laboratoře válcové zkušebny firmy ŠKODA AUTO a.s.. Pomocí tohoto nezávislého průtokoměru byl systém CVS kalibrován a byl zjištěn jeho nový kalibrační koeficient. Starý koeficient měl hodnotu 0,2027 a nově určený má hodnotu 0,21215, rozdíl mezi nimi činí -4,66%. Lze tedy jen doporučit nastavení této nové hodnoty.

Co se týče průtokoměru LFE, ani další měření s ním nepřinesla uspokojivé výsledky, lze tedy jen doporučit, aby byl průtokoměr znovu ocejchován. Další kalibrace systému CVS už mohou být provedena tímto LFE, pro tyto kalibrace je vypracován postup a kalibrační protokol.

Ověřování celého systému proběhlo pomocí zařízení s clonkou s kritickým prouděním CFO. Ovšem toto měření nepodalo uspokojivé výsledky. U prvního měření byla odchylka mezi protelkým množstvím systémem CVS a CFO -38,18% a u druhého byla tato odchylka -39,21%. Dovolená odchylka jsou $\pm 2\%$. Tato chyba je nejspíše způsobena nesprávnou dokumentací, kdy přesně neodpovídá značení na CFO s jeho kalibračním protokolem. Pravděpodobně jsou tedy chybné konstanty CFO a je potřeba je znovu určit. Muselo být tedy doporučeno nechat CFO ocejchovat.

Aby mohli být vykonávány pravidelné kontroly a kalibrace systému CVS a systému odběru vzorků, je potřeba provést kalibraci přístrojů na tyto zkoušky určených, kterými laboratoř v současné době disponuje. Jedná se konkrétně o průtokoměr laminárního proudění LFE RICARDO P.7024 108HX a zařízení s clonkou s kritickým prouděním CFO Horiba CFO-201 sn. 100122.

Kalibrace CVS pomocí průtokoměru LFE bude prováděna jednou za rok, musí být tedy provedena rok po poslední kalibraci, tedy do 6. 5. 2011. Kontrola pomocí CFO bude prováděna jednou za rok nebo před důležitým měřením. První kalibrace se provede, jakmile bude dostupné přesné vybavení.

Zdroje:

1. František Vlk: Zkoušení a diagnostika motorových vozidel, 1. vydání, Brno 2001
2. Zákon č. 56/2001 Sb., o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích a o změně zákona č. 168/1999 Sb., o pojištění odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o pojištění odpovědnosti z provozu vozidla), ve znění zákona č. 307/1999 Sb.
3. Horiba: Instruction manual for CVS (CVS-9130, CVS-9330, CVS-9330T)
4. Laminar-Luftmengenmesser (nach Alcock) Bedienungsanleitung (deutsch)
5. Podklady od firmy Daimler-Chrysler



Ověření systému odběru vzorků zařízením s clonkou s kritickým prouděním

Postup měření:

1. Zapojte systém CFO, tedy na jeho vstup připojte propan a na výstup nástavec, který vložte do vstupu pro emisní zkoušky benzínových motorů.
2. Nastavte na CFO nulu, umístěte čidlo teploměru v blízkosti spirály na zadní straně CFO.
3. Nastavte ventily do pozice jako pro emisní zkoušku benzínových vozidel.
4. Otevřete vodu do systému CVS. Tlak vody by se měl pohybovat mezi 4 - 5 bary.
5. Aktivujte systém CVS. Zapněte hlavní vypínač a poté stiskněte STBY, čímž nastavíte Stand-By režim. Systém se začne zahřívat a kontrolovat vaky.
6. Po zahřátí systému na pracovní teplotu pohybující se mezi 308 – 309 °K otevřete propanovou láhev a nastavte výstupní tlak v oblasti kalibrování CFO.
7. Aktivujte plnění jedné sady vaku (1.4 2.5 3.6) pomocí panelu CVS tlačítkem v oblasti FILL pro konkrétní sadu vaků.
8. Během plnění vaků odečtěte teplotu plynu v CFO, tlak CFO, teplotu, barometrický tlak a vlhkost vzduchu.
9. Po uplynutí požadované doby plnění vaků (300s) zastavte plnění stiskem tlačítka STOP v oblasti FILL.
10. Zavřete bombu s propanem.
11. Kalibrujte analyzátor T.HC CH₄, nejprve vpusťte nulovací plyn pomocí tlačítka ZERO v oblasti MODE. Pokud nula nesedí, kalibrujte ji stiskem tlačítka CAL v oblasti MODE. Následně vpusťte kalibrační plyn pomocí tlačítka SPAN a opět v případě potřeby kalibrujte tlačítkem CAL.
12. Proveďte analýzu koncentrací uhlovodíků v použitých vacích. U ovládání analyzátorů stiskněte v oblasti READ BAG tlačítko příslušného vaku a odečtěte hodnotu.
13. Vyčistěte použitou sadu vaku pomocí tlačítka příslušné sady vaku v oblasti DUMP na ovládacím panelu CVS.
14. Opakujte celé měření ještě jednou (body 6 až 13).
15. Po skončení měření deaktivujte systém CVS stiskem tlačítka PAUSE na ovládacím panelu CVS. Systém se sám vypne po několika minutách.
16. Zavřete vodu do systému CVS.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní - Katedra vozidel a motorů
Studentská 2, 461 17 Liberec 1

Kalibrace CVS průtokoměrem laminárního proudění LFE

Postup měření:

1. Na výstup LFE upevněte redukci pomocí silikonu a nechte několik hodin tuhnout.
2. Připravte LFE vedle systému CVS a propojte je hadicí.
3. Nastavte pomocí stykačů ventil na vstupu CVS tak, aby nasával skrze LFE.
4. Zcela otevřete ventil LFE.
5. Otevřete vodu do systému CVS. Tlak vody by se měl pohybovat mezi 4 - 5 bary.
6. Aktivujte systém CVS. Zapněte hlavní vypínač a poté stiskněte STBY, čímž nastavíte Stand-By režim. Systém se začne zahřívat a kontrolovat vaky.
7. Během zahřívání systému zapojte manometry dle schématu na LFE a připravte teploměr. Jeho čidlo by mělo být v blízkosti sacího filtru.
8. Po zahřátí systému na pracovní teplotu pohybující se mezi 308 – 309 °K odečtěte první hodnoty, tedy oba tlaky LFE, teplotu LFE, teplotu a tlak CVS a také barometrický tlak, teplotu a vlhkost okolí pro celé měření.
9. Přivřete ventil LFE, nechte ustálit a znovu odečtěte všechny hodnoty. Postup opakujte, dokud nenaměříte 8 hodnot.
10. Po skončení měření deaktivujte systém CVS stiskem tlačítka PAUSE na ovládacím panelu CVS. Systém se sám vypne po několika minutách.
11. Zavřete vodu do systému CVS.



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní - Katedra vozidel a motorů
Studentská 2, 461 17 Liberec 1

Kalibrační list č. 1

Zařízení: Systém odběru vzorků emisní válcové brzdy
Uživatel: Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní - Katedra vozidel a motorů
Kalibrační metoda: Dle kalibračního postupu
Použitý CFE: Horiba CFO-201 sn. 100122
Datum měření 25.5.2010

Výsledek kalibrace: NEVYHOVUJE

Kalibraci provedl:

Podpis

Jakub Lindauer

.....

Plyn: propan
hustota plynu: 51,908 g/ft³ = 1643,7 g/m³
konstanty CFO: A: -2,65830E-03
B: 3,73142E-03
C: 2,01712E-06

	Měření 1	Měření 2
Teplota prostředí:	24,6 °C	23,9 °C
Tlak prostředí:	96,5 kPa	96,4 kPa
Vlhkost prostředí:	47,6 %	49,0 %
Doba plnění pytlů:	300 s	300 s

Hmotnostní tok CVS:

Koncentrace propanu ve vzorku:	25,41 ppm	25,19 ppm
Koncentrace propanu v okolí:	1,02 ppm	0,46 ppm
Koncentrace ve vzorku ekvivalentní C ₁ :	76,23 ppm	75,57 ppm
Koncentrace okolí ekvivalentní C ₁ :	3,06 ppm	1,38 ppm
Rozdíl ekvivalentních koncentrací:	73,17 ppm	74,19 ppm
Celkový proteklý objem CVS:	42,49 m ³	42,56 m ³
Hmotnost systému CVS:	1,7034 g	1,7300 g

Hmotnostní tok CFE:

Tlak plynu v CFE:	50 psi	52 psi
Teplota plynu v CFE:	21,2 °C	21,1 °C
Absolutní tlak CFE:	64,0 psi	66,0 psi
Průtok CFE:	0,01062 ft ³ /min	0,01096 ft ³ /min
Hmotnost systémem CFE:	2,7554 g	2,8458 g

Hodnocení měření

Chyba: -38,18%

-39,21%

NEVYHOVUJE

NEVYHOVUJE



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní - Katedra vozidel a motorů
Studentská 2, 461 17 Liberec 1

Kalibrační list č.

Zařízení:

CVS systém FIMA 9330 T

Výrobní číslo:

Uživatel:

Technická univerzita v Liberci
Fakulta strojní - Katedra vozidel a motorů

Výrobce:

FIMA

Kalibrační metoda:

Dle kalibračního postupu

Teplota prostředí:

°C

Tlak prostředí:

kPa

Vlhkost prostředí:

%

Použitý průtokoměr LFE:

Použité manometry:

Použitý teploměr:

Další použité vybavení:

Datum měření

DD.MM.YYYY

Výsledek kalibrace:

VYHOVUJE

Kalibraci provedl:

Podpis

.....

0 kPa

0

1

průměrná hodnota C_1 :

Směrodatná odchylka/průměrná hodnota C_1 :

0,00% VYHOVUJE

původní C_1 : 0,00000

nová C_1 : 0,00000

rozdíl:

0,00%

[illegible]



CVS-Calibration Check using SAO

Test-Cell:
CVS-Type: FTMA 9330 T
CVS-Serial-no.: 56548002C
CVS-Venturi:
Venturi-Serial-no.:

Operator: Lindauer

Verified by:

Atm.
pressure: 717,80 mmHg

Flow equipment: Type: SAO
Model: Horiba SAO-800
Serial-no.:
Caibration: CEESI, trazable to NIST
Diff.-pressure equipment: Type: Digital manometer
Model: MRU DM9200
Serial-no.:
Caibration:
Temperature equipment: Type: Digital-Thermometer
Model: COMARK C9011
Serial-no.:
Caibration:

SAO-Parameters:

Throat Diameter: 3,4490 inches

Coefficients:

9,8830E-01	a0
0,0000E+00	a1
0,0000E+00	a2
0,0000E+00	a3
0,0000E+00	a4
0,0000E+00	a5

-----SAO-----			-----CVS-----			C1 obtenida	DP SAO (mmH2O)
DP SAO (mBar)	DP SAO ("H2O)	IT (°C)	P1 (mmHg)	T1 (°C)	P.Atm. (mmHg)		
1	3,69	1,48	705,00	35,6	717,80	0,21240	37,6682
2	3,70	1,49	704,25	35,7	717,80	0,21259	37,719
3	3,70	1,49	700,50	35,8	714,10	0,21285	37,719
4	3,63	1,46	699,75	35,7	717,80	0,21222	37,0332
5	3,63	1,46	699,75	35,7	717,80	0,21190	37,0078
6	3,57	1,43	696,75	35,6	717,80	0,21135	36,4236
7	3,62	1,46	696,00	35,6	714,10	0,21185	36,957
8	3,59	1,44	693,75	35,7	717,80	0,21210	36,576
						C1avg: 0,21215	

Resultat: Neuer C1 Wert, und Durchfluß-Equivalent

C1= C1 avg= 0,21215 Qcal equivalent: 9,42

Bewertung der Ergebnisse:

Durchschn.Err./C1avg= 0,22% **Resultat gültig**

Differenz C1 original gegen C1 neu:

C1 original= 0,20270

C1 neu= 0,21215

Differenz= -4,66%