

**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

2011

Igor Fedchenko

# **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra vozidel a motorů

Obor: B2341 Strojírenství

Zaměření: 2301R022 stroje a zařízení  
dopravní stroje a zařízení

## **Sestava analyzátorů Emerson pro plynné emise výfukových plynů**

### **Assembly Emerson analyzers for gaseous exhaust emissions**

**KVM – 241**

***Igor Fedchenko***

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Blažek, Ph.D., TU v Liberci, KVM  
Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D., TU v Liberci, KVM

Počet stran:.....47

Počet příloh:.....3

Počet tabulek:.....7

Počet obrázků:.....14

27.05.2011

Označení BP: 241

řešitel: Igor Fedchenko

## **Sestava analyzátorů Emerson pro plynné emise výfukových plynů**

### *ANOTACE:*

Tato bakalářská práce je věnována sestavení analyzátorů Emerson pro plynné emise výfukových plynů. Cílem práce bylo vytvoření funkční sestavy analyzátorů NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> určených pro výzkum na KVM. Během práce bylo sestaveno mobilní funkční měřicí stanoviště pro měření plynných škodlivin s automatizovaným sběrem dat, zpracovano výkresovou a technickou dokumentaci celého zařízení s praktický návodem k používání. Taky bylo provedeno základní kalibraci celého zařízení a vytvořeno kalibrační protokoly.

Klíčová slova: MĚŘENÍ EMISÍ, ANALYZÁTOR SPALIN, CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>.

## **Assembly Emerson analyzers for gaseous exhaust emissions**

### *ANNOTATION:*

This bachelor thesis is dedicated to compiling Emerson analyzer for gaseous exhaust emissions. The aim was to create a working group analyzers NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, for research on the KVM. During the work was assembled mobile functional measuring station for the measurement of gaseous pollutants with automated data collection, processing drawings and technical documentation of equipment with practical instructions. Also was done basic calibration of the appliance and a calibration protocols.

Klíčová slova: MEASUREMENT OF EMISSIONS, FLUE GAS ANALYZER,  
CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>.

Zpracovatel: TU v Liberci, KVM

Dokončeno: 2011

Archivní označ. zprávy:

|                |    |
|----------------|----|
| Počet stran:   | 47 |
| Počet příloh:  | 3  |
| Počet tabulek: | 7  |
| Počet obrázků: | 14 |

## Prohlášení k využívání výsledků bakalářské práce.

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména §60 (školní dílo) a §35 (o nevýdělečném díla k vnitřní potřebě školy).

Beru na vědomí, že Technická Univerzita v Liberci (TUL) má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

|                   |                                                                     |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Jméno a příjmení: | Igor Fedchenko                                                      |
| Adresa:           | ul. 50 let Oktyabrya 6/38, Jampol,<br>Sumskaja obl, Ukrajina, 41200 |

## Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci 27.05.2011

Igor Fedchenko

## PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Josefovi Blažkovi, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, cenné rady a připomínky, poskytnuté konzultace které mi pomohly vypracovat tuto práci.

Bakalářská práce vznikla za podpory studentské grantové soutěži č. 2826/115.

## OBSAH

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Seznam symbolů a zkratk.....                                                            | 11 |
| Úvod.....                                                                               | 12 |
| 1. Teoretická část.....                                                                 | 13 |
| 1.1. Složení výfukových plynů spalovacího motoru.....                                   | 13 |
| 1.2. Mechanizmy vytváření výfukových škodlivin<br>v pístových spalovacích motorech..... | 14 |
| 1.3. Výfukové škodliviny pístových spalovacích motorů.....                              | 15 |
| 1.4. Laboratorní metody a přístroje pro zjišťování koncentrace plyných složek.....      | 20 |
| 1.4.1. Měření založené na principu absorpce infračerveného<br>zaření.....               | 20 |
| 1.4.2. Měření s využitím chemické luminescence.....                                     | 20 |
| 1.4.3. Měření kyslíku.....                                                              | 20 |
| 1.4.4. Kalibrování analyzátorů.....                                                     | 22 |
| 1.5. Zákony a předpisy.....                                                             | 22 |
| 2. Praktická část.....                                                                  | 25 |
| 2.1. Jednotlivé části a přístroje sestavy.....                                          | 27 |
| 2.2. Analyzátory výfukových plynů.....                                                  | 28 |
| 2.3. Kondicionování plynu (doprava vzorku).....                                         | 30 |
| 2.4. Způsob měření testovacích a kalibračních plynů.....                                | 30 |
| 2.5. Zapojení komponentů pro automatizovaný sběr dat.....                               | 33 |
| 2.6. Elektrické zapojení sestavy.....                                                   | 34 |
| 2.7. Návod k ovládání obsluhou měřicího stanoviště.....                                 | 36 |
| 2.7.1. Spuštění, inicializace a kontrola parametrů analyzátorů.....                     | 38 |
| 2.7.2. Kalibrace.....                                                                   | 40 |
| 2.7.3. Postup měření.....                                                               | 40 |
| 2.7.4. Vypnutí analyzátoru.....                                                         | 41 |
| 3. Experimentální část.....                                                             | 41 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 3.1. Obecné požadavky.....         | 42 |
| 3.2. Postup kalibrace.....         | 42 |
| 3.3. Postup ověření linearity..... | 42 |
| 4. Závěr.....                      | 44 |
| Seznam literatury.....             | 46 |
| Seznam příloh.....                 | 47 |

## **Seznam symbolů a zkratk**

|      |                                                                                                             |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| KVM  | katedra vozidel a motorů                                                                                    |
| PSM  | pístový spalovací motor                                                                                     |
| VM   | vznětový motor                                                                                              |
| EHK  | Evropská hospodářská komise                                                                                 |
| PM   | pevné částice                                                                                               |
| WCLD | modul analyzátoru který pracuje s využitím chemické luminiscence<br>(Wet Chemiluminescence Analyzer Module) |
| WNX  | modul analyzátoru pro měření NO <sub>x</sub> (Wet NO <sub>x</sub> )                                         |
| FCM  | modul s průtokoměry (Flow Control Module)                                                                   |
| AC   | střídavý proud (alternating current)                                                                        |
| DC   | stejnoseměrný proud (direct current)                                                                        |
| ADP  | analogově-digitální převodník                                                                               |

## ÚVOD

Měření emisí a následná analýza spalín jsou důležitými součástmi experimentální etapy výzkumu a provozního sledování vlastností spalovacích motorů. Samotná emise škodlivin je důležitým parametrem motoru, protože její obsah a složení jsou významným ukazatelem kvality spalovacího procesu a identifikátorem pro něj nastavených podmínek. Existují taky legislativní důvody k udržování ekologických parametrů na přiměřené úrovni. Vozidlo musí splnit požadavek na hladinu emisí škodlivin což je podmínkou k povolení jeho provozu.

Tato bakalářská práce pojednává o montování sestavy analyzátorů která bude použita pro stanovení obsahu  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$  a  $\text{NO}_x$  ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů. Vzhledem ke svému obsahu se řadí mezi práce praktického charakteru jelikož navrhne a složená mobilní sestava bude použita pro analýzu výše vzpomínutých sloučenin v laboratoři KVM.

V bakalářské práci jsou popsány složení a mechanismy vytváření výfukových škodlivin v PSM, jsou uvedeny laboratorní metody a jejich fyzikální principy které založené v základě fungování jednotlivých analyzátorů spalín. Taky v práci projednáno předpisy a zákony které limitují měrné emise ze strany ekologické legislativy pro oblast spalovacích motorů.

Samostatná část je věnována popisu všech komponentů a přístrojů tvořících sestavu analyzátorů pro plynné emise výfukových plynů, jejich plynové a elektrické zapojení a návod k používání obsluhou celého zařízení.

Po kompletním montáži měřicího stanoviště byla provedena kalibrace celého zařízení z následným vytvořením linearizačních protokolů.

# 1. Teoretická část

## 1.1. Složení výfukových plynů spalovacího motoru

Při spalování uhlovodíkového paliva se vzduchem vzniká dokonalou oxidací uhlíku a vodíku obsaženého v palivu *oxid uhličitý* ( $\text{CO}_2$ ) a *voda* ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Během nedokonalé oxidaci těchto latek (při celkovém nebo lokálním nedostatku kyslíku, nedostatku času pro oxidaci) jsou ve spalínách přítomny *oxid uhelnatý* ( $\text{CO}$ ) a *vodík* ( $\text{H}_2$ ). Když vzduch vystupuje jako okysličovadlo je za obsahem vždy nejvýznamnější složkou spalín *dusík* ( $\text{N}_2$ ). *Kyslík* ( $\text{O}_2$ ) se objevuje ve výfukových plynech, když se celé jeho množství nepoužije k oxidaci paliva protože byl v přebytku v čerstvé směsi. Za vysokých teplot ve spalovacím prostoru vznikají oxidací vzdušného dusíku *oxidy dusíku* ( $\text{NO}_x$ ) sestávající zejména z *oxidu dusnatého* ( $\text{NO}$ ) a malého množství *oxidu dusičitého* ( $\text{NO}_2$ ). Při velmi nepříznivých podmínkách pro oxidaci paliva (kyslík v nedostatku, nízká teplota v blízkosti stěn, převyšení mezí zápalnosti) obsahují výfukové plyny *nespalené uhlovodíky* ( $\text{HC}$ ) různého složení (co do obsahu individuálních uhlovodíků). U motorů s vnější tvorbou směsi se tato složka objevuje jako součást spalín i z důvodu úniku části čerstvé směsi přímo do výfukového traktu zkratovým vyplachováním. Za úplného nepřístupu vzduchu (uvnitř kapičky kapalného paliva) nastává při vysoké teplotě dekompozice molekul uhlovodíků, jejímž výsledkem je přítomnost *pevného uhlíku (sazí)* ve spalínách, hlavně u vznětových motorů. S výfukovými plyny odchází z motoru velmi malé množství dalších pevných *částic* (vysokomolekulové produkty tepelného poklesu mazacího oleje, prach, popel, částičky rzi atd.).

Síra obsažená v některých uhlovodíkových palivech vytváří při spalování v motoru oxidy síry, které se následně objevují ve spalínách. Sloučeniny Pb jsou přítomny ve výfukových plynech motoru spalujícího benzín s antidetonační přísadou obsahující olovo.

Z uvedených prvků se mezi sledované škodliviny počítají  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HC}$  (u zážehových i vznětových motorů), saze (pouze u vznětových motorů) a pevné částice (u vznětových motorů). Produkce oxidů síry a sloučenin olova je sledována nepřímo limitováním obsahu síry, respektive olova v palivu. [1]

Procentové složení výfukových plynů uvedeno v příloze. č. 1.

## **1.2. Mechanizmy vytváření výfukových škodlivin v pístových spalovacích motorech**

Škodliviny ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů vznikají jako důsledek:

- Nedokonalého či neúplného spalování a rozpadu vazebních řetězců molekul uhlovodíkových paliv (složky CO, HC a částečně zoxidované nebo jinak přetvořené molekuly HC).

- Nekvalitní, především nehomogenní směsi paliva se vzduchem, kdy účinkem tepelného rozkladu uhlovodíkového paliva (krakováním) dojde k přednostní oxidaci vodíku (vodík má větší afinitu ke kyslíku než uhlík) a při lokálním nedostatku vzduchu (kyslíku) ve směsi uhlík modifikuje do formy sazí (tuhých částic) Tento efekt je typický především pro vznětové motory, v určitých případech (detonační spalování, bohatá směs) však nastává i u zážehových motorů.

- Oxidace atmosferického dusíku při vysokých teplotách spalovacího procesu ve válci motoru (NOx).

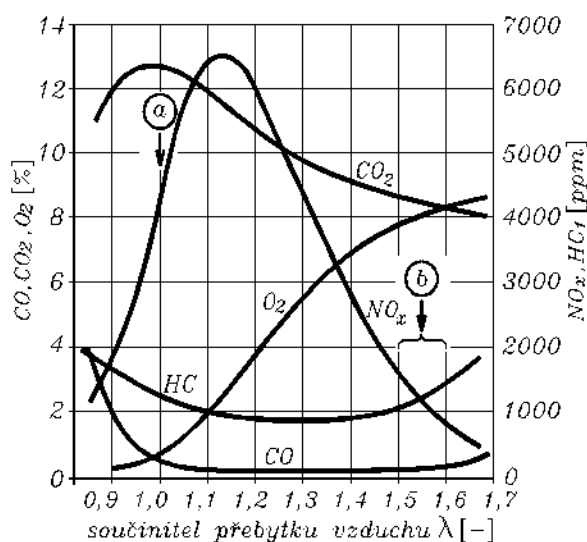
- Nekvalitního či nevhodného paliva, obsahujícího nežádoucí zbytky z původní suroviny, které při spalování zoxidují (SO<sub>2</sub>, tuhé částice), resp. přísady k dosažení některých potřebných vlastností paliva (sloučeniny Pb a pod.).

- Špatného mechanického stavu motoru nebo dokonce nezvládnutého konstrukčního řešení, způsobujícího zvýšenou spotřebu mazacího oleje v motoru (aerosoly-tuhé částice), či nezvládnuté seřízení motoru (ovlivnění všech složek výfukových škodlivin).

Obsah škodlivin ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů závisí především na průběhu spalovacího procesu, dále na konstrukčním a vývojovém zvládnutí celé řady významných úloh, podmiňujících dlouhodobě stabilní a správnou funkci motoru (lze kupř. zdůraznit řešení pístové skupiny) a na kvalitě použitého paliva. [2]

### 1.3. Výfukové škodliviny pístových spalovacích motorů

Produkce výfukových škodlivin ve válci motoru závisí především na bohatosti spalované směsi. Základní pohled na tuto závislost ukazuje obr. č.1, ve kterém jsou vyznačeny dvě možné koncepce nízkoemisního řešení motoru (a – spalování stechiometrické směsi a dodatečné „čištění“ výfukových plynů pomocí 3složkového katalyzátoru, b – spalování velmi chudých směsí s event. 2složkovým, tj.oxidačním katalyzátorem).



Obr. č.1. Závislost koncentrace vybraných složek výfukových plynů na bohatosti spalované směsi [2].

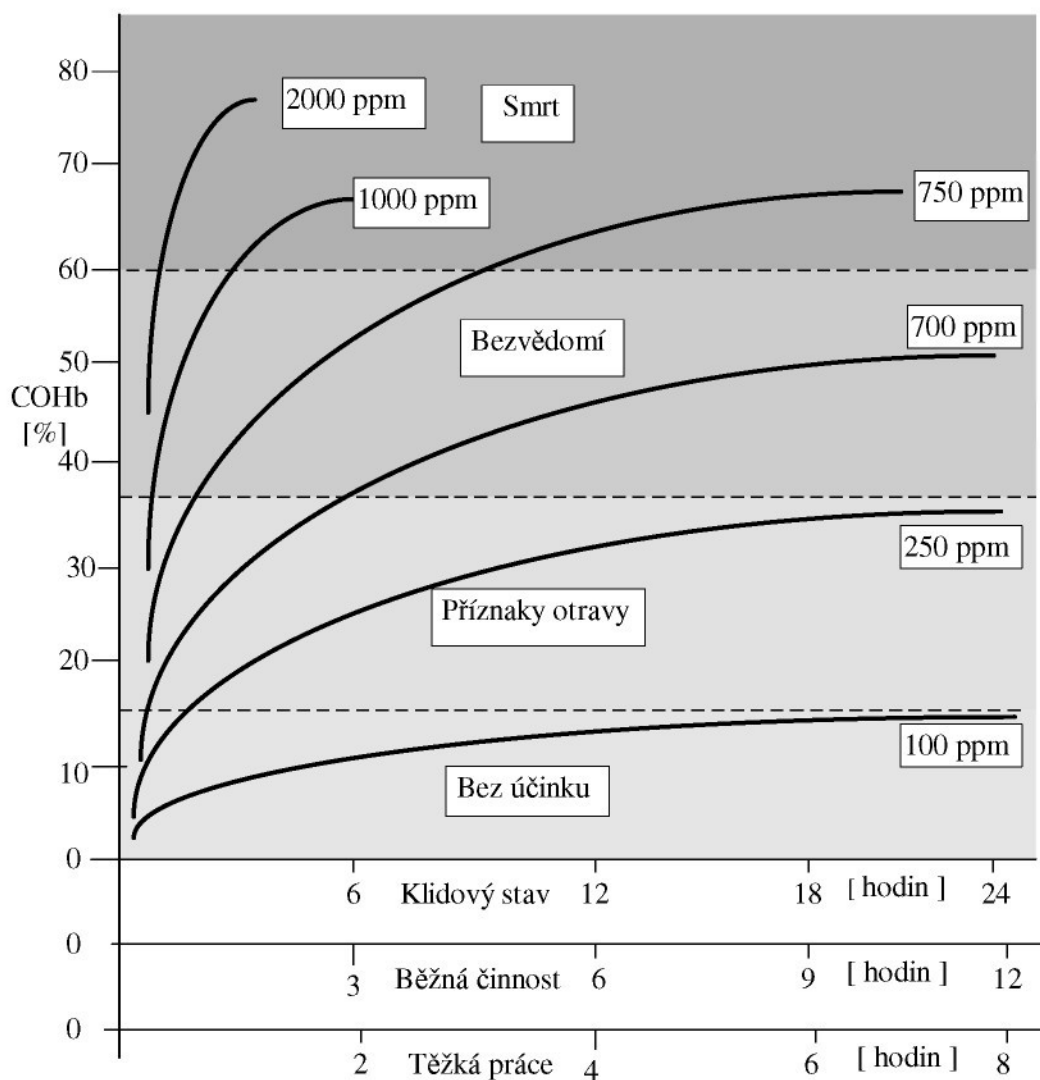
Současná legislativa omezuje ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů emise pevných částic (PM) a plyných škodlivin ve složkách oxidů dusíku ( $NO_x$ ), nespálených uhlovodíků (HC) a oxidu uhelnatého (CO). Za nejnebezpečnější škodlivinu ve výfukových plynech se považují pevné částice; jsou přítomny zejména u vznětových motorů. Z předcházejícího výkladu a s využitím dalších poznatků z výzkumu pístových spalovacích motorů je možné shrnout dosavadní základní skutečnosti o dnes sledovaných škodlivinách ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů takto [2]:

*Oxidy dusíku (  $NO_x$  ).* Oxidy dusíku patří mezi nejvíce toxické složky výfukových plynů. Za normálních atmosférických podmínek, dusík je velmi inertní

plyn. Za vysokých tlaků a především teplot, dusík aktivně reaguje s kyslíkem. Ve výfukových plynech motoru více než 90% z celkového množství NO<sub>x</sub> je oxid dusnatý NO, který je ještě ve výfukovém systému a následně v atmosféře se snadno oxiduje na dusičitý (NO<sub>2</sub>). Oxidy dusíku dráždí sliznice očí, nosu, ničí lidské plíce, protože při pohybu dýchacím ústrojím reagují z vlhkostí horních dýchacích cest, tvoří kyseliny dusičné a kyseliny dusité. Zpravidla otravu lidského těla NO<sub>x</sub> není okamžitě, ale postupně.

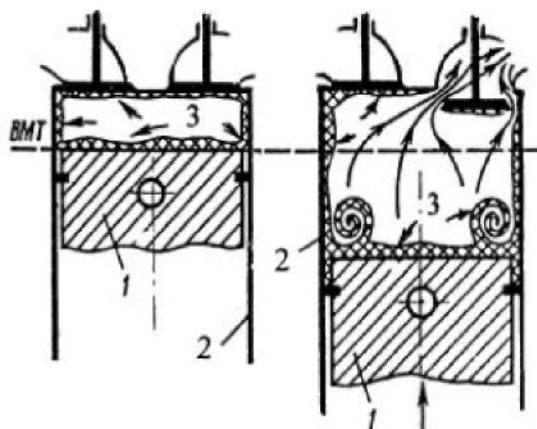
Na velikost emise oxidů dusíku má významný vliv teplota ve spalovací komoře. Tak, když teplota stoupá 2500 - 2700 K se zvyšuje reakční rychlost o 2,6 krát, zatímco při poklesu teploty 2500 - 2300 K - sníží o 8 krát, tj. Čím vyšší teplota, tím vyšší je koncentrace NO<sub>x</sub>. Časné vstřikování paliva nebo vysoce tlaky stlačení ve spalovací komoře také přispívají k tvorbě NO<sub>x</sub>. Čím vyšší je koncentrace kyslíku, tím vyšší je koncentrace oxidů dusíku.

*Oxid uhelnatý (CO).* Čirý, bez zápachu, jedovatý plyn, lehčí než vzduch, mírně rozpustný ve vodě. Oxid uhelnatý - produkt nedokonalého spalování palivové směsi, ve vzduchu hoří modrým plamenem se vznikem oxidu uhličitého. Ve spalovací komoře motoru CO vzniká za nevyhovující poprašování paliva, v důsledku studené reakce při spalování paliva s nedostatkem kyslíku a rovněž za disociace oxidu uhličitého při vysokých teplotách. Za následného spalování po zažehu (po horním mrtvém bodu během expanze) je možné hoření oxidu uhelnatého v přítomnosti kyslíku se vznikem oxidu uhličitého. Přitom proces vyhořívání CO pokračuje ve výfukovém potrubí. Je třeba poznamenat, že za provozu vznětových motorů (poněvadž pro VM je charakteristické spalování chudých směsí, tj. s přebytkem vzduchu), koncentrace CO ve výfukových plynech je nízká (asi 0,1 - 0,2%), tedy jako pravidlo, je koncentrace CO určena pro benzinové motory. Z veškerých výfukových plynů oxid uhelnatý CO je nejjedovatější složkou - je to silný krevní jed, jehož škodlivost se ještě zvyšuje přítomností oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Vliv koncentrace CO v ovzduší na lidský organismus ukazuje obr. 2.



Obr. č. 2. Vliv obsahu CO v ovzduší na lidský organismus [2].

*Nespálené uhlovodíky (HC).* Uhlovodíky - organické sloučeniny, jejichž molekuly jsou vyrobeny pouze z uhlíku a vodíku, jsou toxické látky. Ve výfukových plynech obsahuje více než 200 různých HC, které jsou rozděleny do alifatické (otevřený nebo uzavřený řetěz) a obsahující benzenový nebo aromatický kruh. Aromatické uhlovodíky obsahují v molekule jeden nebo více cyklů z 6 atomů uhlíku spojených jednoduchými nebo dvojitými vazby (benzen, naftalen, antracen, atd.). Mají příjemnou vůni. Přítomnost HC ve výfukových plynech motorů vysvětluje se to tím, že směs ve spalovací komoře je různorodá proto vedle stěn v velice obohačených oblastech probíhá hašení plamení a přerušení řetězové reakce (Obr. č. 3.)



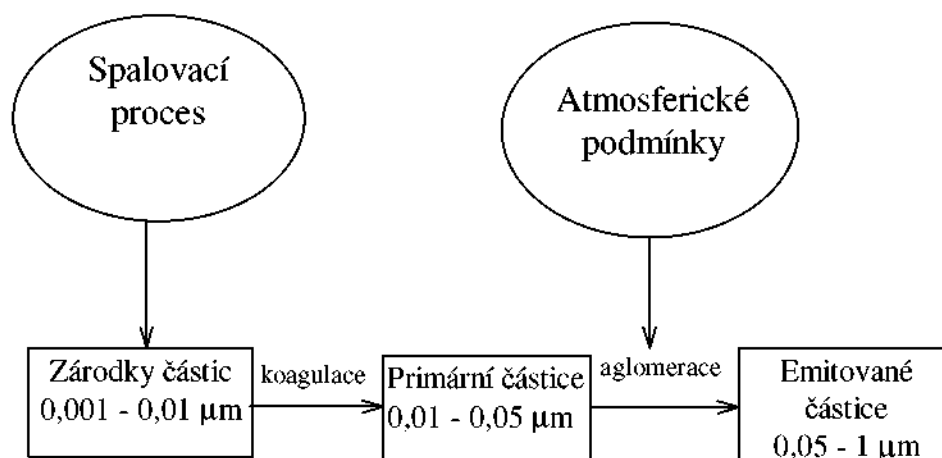
Obr. č. 3. Schema vzníku HC v výfukových plynech.

1- pist, 2- valec, 3- vrstva směsi blízko stěny [3].

Ne zcela spálené HC, emitovány s výfukovými plyny a směs z několika set chemických sloučenin, mají nepříjemný vůně. HC jsou příčinou mnoha chronických chorob. Toxické rovněž páry benzínu které jsou uhlovodíky. Přípustné průměrné koncentrace benzínových par je  $1,5 \text{ mg/m}^3$ . Obsah HC ve výfukových plynech se zvyšuje s škrcením, když je motor v režimu nuceného volnoběhu (například při brzdění motorem). Při práci motoru za uvedených režimů zhoršuje se proces vytváření palivové směsi (míchání směsi paliva a vzduchu) klesá rychlost spalování, zhoršuje se vznícení a jako následek vzniká ho časté selhání. Nedokonalé spalování u studených stěn způsobuje uvolnění HC, pokud do konce spalování jsou místa se silným lokálním nedostatkem vzduchu, nedostatečnou poprašováním paliva, se špatnou vířivostí vzduchu a nízkých teplotách (např. režim volnoběhu). Uhlovodíky se tvoří velice obohacených oblastech, kde omezen přístup kyslíku, stejně jako u relativně chladné stěny spalovací komory. Hrají aktivní roli při formování biologicky aktivních látek, které způsobují podráždění očí, nosu a krku a jejich onemocnění a poškození rostlin a živočichů. Uhlovodíkových sloučenin mají narkotický účinek na centrální nervový systém, mohou způsobit chronická onemocnění, a některé aromatické HC mají toxické vlastnosti.

*Tuhé částice.* Ve výfukových plynech, zejména vznětových motorů, se vyskytují tuhé, škodlivé částice. Jejich vznik je spojen především se spalovacím procesem, mají však i přímou souvislost s kvalitou konstrukčního řešení motoru, jeho technickým stavem a s kvalitou použitého paliva. Ve výfukových plynech se vyskytují jak v pevné,

tak v kapaln  f zi. Pevn  částice jsou složeny zejména ze sazí, karbonu, popela, sloučenin síry a kovů (zejména síranů), nitridů, oxidů síry a vody, v zan  na sloučeninách s ry. Kapaln  částice jsou tvořeny kapénkami uhlovodíků a pocházejí jak z paliva, tak i z motorového oleje. Při vstupu výfukových plynů do atmosféry dojde účinkem rychlého ochlazen  výfukových plynů jejich z ed n m atmosférick m vzduchem ke spojování těchto částic, p  em  v sledn  rozměr takto emitovaných pevných částic mnohon sobn  převyšuje p vodn  rozměr částic ve spalinách. Ve v t sin  p  ad  se rozměr   odliv ch částic pohybuje v rozsahu 0,3 - 1  $\mu\text{m}$ , ve výfukových plynech však může mít menší množství   odliv ch částic velikost a  5 - 30  $\mu\text{m}$ , na stěnách spalovacího prostoru a výfukového systému motoru mohou   odliv  částice vytvářet seskupen  i v t   ch rozm   . Mechanismus tvo en  pevných částic ve výfukových plynech pístových spalovacích motorů je schematicky ukázán na obr.  . 4.



Obr.  . 4. Schema mechanismu tvo en  pevných částic ve výfukových plynech [2].

V znamn  vliv na obsah pevných částic ve výfukových plynech m  druh použitého paliva: p stov  spalovací motory na plynné paliva obsahují v razn  nižší množství pevných částic a plynov  motory tedy představují ekologickou variantu pohonných jednotek pro vozidla i pro stacionární pou it . Slo en  tuhých částic ve výfukových plynech závisí na provozním režimu motoru (otáčkách i zat  en ). [2]

## **1.4. Laboratorní metody a přístroje pro zjišťování koncentrace plyných složek**

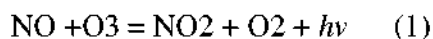
Existuje hodně metod a principů měření emise výfukových plynů spalovacího motoru. Tady uvedu jen tě principy na kterých pracují analyzátory které patří k sestavě. V závislosti na modelu analyzátoru budou použity další metody měření.

### **1.4.1. Měření založené na principu absorpce infračerveného záření**

Měřicí účinek dělí podle absorpce infračerveného záření při průchodu vrstvou plynů. Plynové specifické vlnové délky absorpčních pásů charakterizují druh plynu, zatímco síla absorpce umožňuje změřit koncentrace naměřených složek. Tato metoda se používá pro měření obsahu CO, HC a CO<sub>2</sub>.

### **1.4.2. Měření s využitím chemické luminescence**

Chemická luminescence je emise specifických energetických kvant provázející některé chemické reakce. Při analýze výfukových plynů spalovacího motoru se tato metoda používá pro stanovení koncentrace oxidů dusíku. Základ měření tvoří reakce:



Kde  $h\nu$  – energetické kvantum ( $h$ ...PLANCKova konstanta,  $\nu$ ....frekvence)

Ozon se vyrábí působením elektrostatického pole o vysokém napětí na molekuly kyslíku. Jako vstupní látka reakce (1) figuruje z oxidu dusíku pouze NO. Pro zjištění celkové emise oxidu dusíku (NO<sub>x</sub> = NO + NO<sub>2</sub>) se přepnou elektromagnetické ventily tak, aby vzorek procházel vyhřívaným katalitickým reaktorem, ve kterém dochází k redukci oxidu dusičitého na dusnatý. Přístroj tedy může pracovat v režimu měření koncentrace NO, nebo v režimu měření koncentrace NO<sub>x</sub>. Koncentraci NO<sub>2</sub> lze zjišťit jako rozdíl hodnot naměřených v obou režimech při analýze stále stejného vzorku. [1]

### **1.4.3. Měření kyslíku**

V závislosti na modelu analyzátoru existuje dva principy měření kyslíku, a to paramagnetické a elektrochemické měření. Analyzátor MLT T PO<sub>2</sub> který máme v sestavě pracuje po prvním principu takže popíšeme tady právě jeho.

Stanovení koncentrace  $O_2$  je založena na paramagnetickému principu (magnetomechanickému principu).

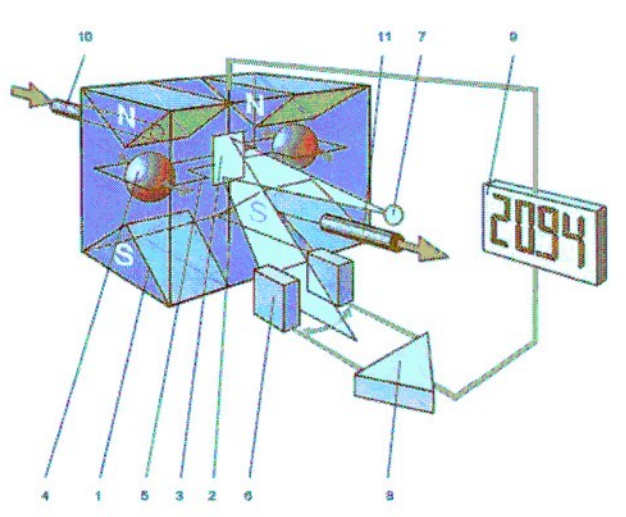
Dvě naplněné dusíkem ( $N_2$  je diamagnetický) křemene koule jsou uspořádány v "činka" konfiguraci a zavěšeny na platinovém drátu, umístěny uvnitř buňky.

Upevněné na drátu malé zrcadlo odráží světelný paprsek do fotodetektoru. Měřicí buňka je umístěna uvnitř nehomogenní magnetického pole generované silným permanentním magnetem.

Molekuly kyslíku ve vzorku plynu se kvůli jejich paramagnetické vlastnosti jsou vychýleny do oblasti nejvyšší intenzity pole. To vytváří různé síly na obou sférách a výsledný točivý moment otočí zrcadlo a činku z klidové polohy. Toto generuje signál fotodetektoru, protože paprsek je vychýlen taky.

Iniciovaný fotodetektorem signál předzesilovač řídí kompenzační proud přes smyčku kolem činky tak aby účinkem magnetického pole vrátil činku do klidové polohy. Je to přímé měření koncentrace  $O_2$  ve směsi plynů.

Kompletní analyzáční buňka se skládají z analyzáční komory, permanentní magnetu, zpracovací elektroniky a teplotní čidla. Pro MLT T PO2 snímač sám o sobě je termostatem až do cca 55 stupnu celsia.



Obr. č. 5. Princip konstrukce paramagnetické analyzáční buňky

1. Permanentní magnet
2. Platinový drát
3. Zrcadlo
4. Skleněná kulička
5. Smyčka

6. Fotodetektor
7. Zdroj světla
8. Předzesilovač
9. Displej
10. Vstup plynu
11. Vystup plynu [3].

#### **1.4.4. Kalibrování analyzátorů**

Souhrn všech činností, které se provádí obsluha měřicího stanoviště za účelem zajištění vypovídací schopnosti hodnot, naměřených analýzou spalin se nazývá *kalibrování*. Pro dosažení shody údaje přístroje s absolutní hodnotou příslušné koncentrace nutno provést *kalibraci* přístroje, tj. sestavení závislosti mezi skutečnou koncentrací komponenty ve vzorku a úrovní elektrické analogové veličiny přiváděné na svorky ukazovacího přístroje.

Jediným korektním postupem pro přezkušování kalibrace je použití *kalibračních plynů*.

Nulová výchylka přístroje se nastaví (obvykle nlovacím potenciometrem) při proplachování měřicího systému dusíkem, nebo alespon (úsporně) čistým suchým vzduchem (samozřejmě ne při nulování analyzátoru pro měření koncentrace O<sub>2</sub>), ve zvláštních případech se vyžaduje syntetický vzduch. Pro přezkoušení dalších bodů kalibrační křivky se na vstup přístroje (pro vzorek) přivede směs individuálního plynu (jehož koncentraci ve spalinách má příslušný přístroj zjišťovat) s nosným plynem, který odezvu přístroje neovlivní (většinou N<sub>2</sub>, nebo syntetický vzduch). Koncentrace měřené komponenty v cejchovním plynu, používaném při průběžné provozní verifikaci, má být přibližně shodná s předpokládaným obsahem v analyzovaném vzorku.

Při proplachování měřicího systému kalibračním plynem (v našem případě CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO) se (obvykle potenciometrem na ovládacím panelu) nastaví výchylka stupnice shodná s koncentrací sledované složky v kalibračním plynu. [1]

### **1.5. Zákony a předpisy**

Každé nově vyráběné vozidlo, které se dostane na trh, musí splňovat příslušné homologační předpisy. Evropský standard pro automobilové motory je vytvářen Evropskou hospodářskou komisí (EHK) v rámci Dohody o přijetí jednotných podmínek

pro homologaci a vzájemné uznávání homologace výbavy dílů motorových vozidel. Tyto předpisy EHK jsou platné ve většině evropských států. V rámci Evropské unie je navíc kompetentním orgánem v oblasti předpisové báze, vztahující se k emisnímu hodnocení automobilů, Motor Vehicle Emission Group (MVEG), která je součástí administrativy EU. [4]

V rámci EHK platí pro emise škodlivin produkovaných spalovacími motory silničních vozidel následující předpisy.

Předpis EHK 49 limituje emise škodlivých plyných složek CO, HC, NO<sub>x</sub> a částic u vznětových motorů vozidel kategorií M2, M3, N1, N2, N3 (vozidla kategorie N1 poháněná vznětovým motorem lze homologovat podle předpisu EHK 83 i EHK 49). Měření emisních vlastností se provádí na samostatném motoru (bez vozidla).

| Předpis                | Platný od | Limity měrných emisí [g/kWh] |      |                 |      |
|------------------------|-----------|------------------------------|------|-----------------|------|
|                        |           | CO                           | HC   | NO <sub>x</sub> | PM   |
| EHK 49.00 (ECE R49.00) | 1983      | 14,0                         | 3,5  | 18,0            | -    |
| EHK 49.01              | 1990      | 11,2                         | 2,4  | 14,4            | -    |
| EHK49.02(EURO1)        | 1993      | 4,5                          | 1,1  | 8               | 0,36 |
| EHK49.03(EURO2)        | 1996      | 4                            | 1,1  | 7               | 0,15 |
| EHK 49.04(EURO 3)      | 2001      | 2,1                          | 0,66 | 5               | 0,1  |
| EURO 4                 | 2005      | 1,5                          | 0,46 | 3,5             | 0,02 |
| EURO 5                 | 2008      | 1,5                          | 0,46 | 2,0             | 0,02 |

Tab. č. 1. Předpisy EHK 49 [5].

Předpis EHK 83 platí pro vozidla kategorií M a N a podle tab. č. 2. limituje

emise složek CO, HC, NO<sub>x</sub> a od revize EHK 83.01 i emise škodlivých částic u vznětových motorů. Charakteristickým znakem metodiky zkoušek podle předpisu EHK 83 je, že u vozidel o celkové hmotnosti do 3,5 t se zkouška provádí při testu simulujícím jízdu vozidla na válcové zkušebně. Měření má kumulativní charakter, tzn. výfukové plyny se jímají do vaků a výsledné koncentrace jsou udány v g na km, dříve gramy na test.

#### Rozsah působnosti

| Kategorie vozidla <sup>(*)</sup> | Max. hmotnost | Vozidla se zážehovými motory včetně hybridních vozidel |                   |                    | Vozidla se vznětovými motory včetně hybridních vozidel |
|----------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------------------------------------|
|                                  |               | Benzin                                                 | NG <sup>(*)</sup> | LPG <sup>(b)</sup> | Motorová nafta                                         |
| M <sub>1</sub>                   | ≤ 3,5 t       | R83                                                    | R83               | R83                | R83                                                    |
|                                  | > 3,5 t       | R83                                                    | —                 | —                  | —                                                      |
| M <sub>2</sub>                   | —             | R83                                                    | —                 | —                  | R49 nebo R83 <sup>(c)</sup>                            |
| M <sub>3</sub>                   | —             | R83                                                    | —                 | —                  | —                                                      |
| N <sub>1</sub>                   | —             | R83                                                    | R49 nebo R83      | R49 nebo R83       | R49 nebo R83                                           |
| N <sub>2</sub>                   | —             | R83                                                    | —                 | —                  | R49 nebo R83 <sup>(c)</sup>                            |
| N <sub>3</sub>                   | —             | R83                                                    | —                 | —                  | —                                                      |

<sup>(\*)</sup> Zemní plyn.

<sup>(b)</sup> Zkapalněný ropný plyn.

<sup>(c)</sup> Předpis č. 83 se vztahuje pouze na vozidla o referenční hmotnosti ≤ 2 840 kg jakožto o rozšíření schválení uděleného pro motor použitý ve vozidlech kategorií M<sub>1</sub> nebo N<sub>1</sub>.

„R49 nebo R83“ znamená, že výrobci mohou získat schválení typu podle tohoto předpisu nebo předpisu č. 49.

Tab. č. 2. Kategorie vozidel [6].

Podle EHK č.83 výsledné hmotnosti plynných emisí, a v případě vozidel vybavených vznětovými motory i hmotnosti částic získané při každé zkoušce, musí být menší než mezní hodnoty uvedené v následující tabulce:

Mezní hodnoty

|           |                               |       | Referenční<br>hmotnost<br>(RW)<br>(kg) | Hmotnost oxidu<br>uhelnatého<br>(CO) |       | Hmotnost<br>uhlovodíků<br>(HC) |       | Hmotnost oxidů<br>dusíku<br>(NO <sub>x</sub> ) |       | Kombinace<br>hmotností<br>uhlovodíků<br>a oxidů dusíku<br>(HC + NO <sub>x</sub> ) |       | Hmot-<br>nost<br>částic <sup>(1)</sup><br>(PM) |
|-----------|-------------------------------|-------|----------------------------------------|--------------------------------------|-------|--------------------------------|-------|------------------------------------------------|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------|
|           |                               |       |                                        | L <sub>1</sub><br>(g/km)             |       | L <sub>2</sub><br>(g/km)       |       | L <sub>3</sub><br>(g/km)                       |       | L <sub>2</sub> + L <sub>3</sub><br>(g/km)                                         |       |                                                |
| Kategorie |                               | Trída |                                        | Benzín                               | Nafta | Benzín                         | Nafta | Benzín                                         | Nafta | Benzín                                                                            | Nafta | Nafta                                          |
| A(2000)   | M <sup>(2)</sup>              | —     | všechny                                | 2,3                                  | 0,64  | 0,20                           | —     | 0,15                                           | 0,50  | —                                                                                 | 0,56  | 0,05                                           |
|           | N <sub>1</sub> <sup>(3)</sup> | I     | RW ≤ 1 305                             | 2,3                                  | 0,64  | 0,20                           | —     | 0,15                                           | 0,50  | —                                                                                 | 0,56  | 0,05                                           |
|           |                               | II    | 1 305 < RW<br>≤ 1 760                  | 4,17                                 | 0,80  | 0,25                           | —     | 0,18                                           | 0,65  | —                                                                                 | 0,72  | 0,07                                           |
|           |                               | III   | 1 760 < RW                             | 5,22                                 | 0,95  | 0,29                           | —     | 0,21                                           | 0,78  | —                                                                                 | 0,86  | 0,10                                           |
| B(2005)   | M <sup>(2)</sup>              | —     | všechny                                | 1,0                                  | 0,50  | 0,10                           | —     | 0,08                                           | 0,25  | —                                                                                 | 0,30  | 0,025                                          |
|           | N <sub>1</sub> <sup>(3)</sup> | I     | RW ≤ 1 305                             | 1,0                                  | 0,50  | 0,10                           | —     | 0,08                                           | 0,25  | —                                                                                 | 0,30  | 0,025                                          |
|           |                               | II    | 1 305 < RW<br>≤ 1 760                  | 1,81                                 | 0,63  | 0,13                           | —     | 0,10                                           | 0,33  | —                                                                                 | 0,39  | 0,04                                           |
|           |                               | III   | 1 760 < RW                             | 2,27                                 | 0,74  | 0,16                           | —     | 0,11                                           | 0,39  | —                                                                                 | 0,46  | 0,06                                           |

(1) Pro vznětové motory.

(2) Kromě vozidel, jejichž maximální hmotnost přesahuje 2 500 kg.

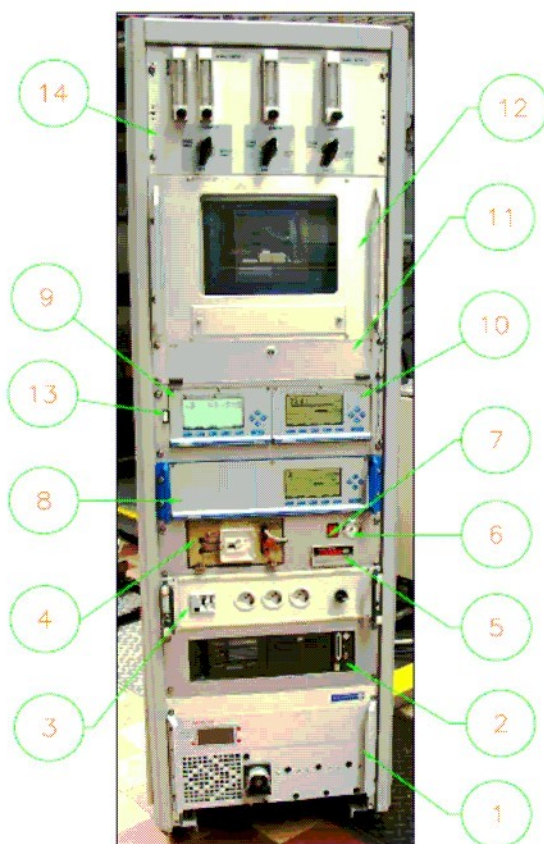
(3) A včetně vozidel kategorie M, které jsou uvedeny v poznámce (2).

Tab. č. 3. Mezní hodnoty výfukových plynů podle EHK 83 [6].

## 2. Praktická část

V praktické části jsem se zabýval montážní složkou práce v laboratoři KVM. Měl jsem k dispozici skřín kam postupně jsem dodal analyzátory na měření CO/CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, ledničku a ostatní přístroje nezbytné pro sestavu analyzátorů Emerson pro plynné emise výfukových plynů.

Na obr. č. 6 zobrazena hotova sestava analyzátorů Emerson pro plynné emise výfukových plynů.



Obr. č. 6. Sestava analyzátorů Emerson pro plynne emise výfukových plynů.

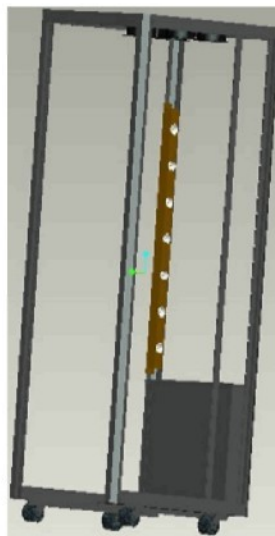
| Poznačka | Nazev součásti                               |
|----------|----------------------------------------------|
| 1        | Lednička MAK10                               |
| 2        | Počítač                                      |
| 3        | Pojistna skřin                               |
| 4        | Konverzní modul WET NO <sub>x</sub>          |
| 5        | Snímač barometrického tlaku                  |
| 6        | Snímač tlaku vzorkovací plynu                |
| 7        | Spínač čerpadla                              |
| 8        | Platforma NGA 2000P                          |
| 9        | Analyzátor CO/CO <sub>2</sub> (MLT 1T IR IR) |
| 10       | Analyzátor kyslíku (MLT T PO <sub>2</sub> )  |
| 11       | Klavesnice                                   |
| 12       | Monitor                                      |

|    |                             |
|----|-----------------------------|
| 13 | Přepínač CO/CO <sub>2</sub> |
| 14 | Modul s průtokoměry         |

Tab. č. 4. Označení jednotlivých komponentu sestavy.

## 2.1. Jednotlivé části a přístroje sestavy

**Skřín analyzátorů:** sklada se z vystužní ramu na kolach, k jednomu ze zadních žeber je upnutá panel ze zasuvky, od které se živí jednotlivě přístroje sestavy (pojistná skřín, snimač tlaku, lednička, apod.) nahoře jsou umístěny čtyři ventilatory, které take se živí od zasuvky na zadním žebře. Viz. Obr. č. 7.



Obr. č. 7. Skřín analyzátorů.

**Lednička MAK 10:** používá se pro chlazení vzorkovacího plynu. Lednička má 1 ... 4 výměníky tepla, v nichž se vzorek plynu ochladí na přibližně +3 °C. Za další úkol má oddělování a vylučování kondenzátu. Kondenzát je neustále vytlačován rychlostí 3,4 ml/min pro každou cestu plynu. Tímto analyzátory jsou chráněny před vlhkostí vzorkovacího plynu.

**Filtr:** je umístěn na zadním panelu sestavy. Slouží pro odstranění nečistot s vzorku plynu.

**Snímač barometrického tlaku:** slouží pro získání informace o velikosti barometrického tlaku v okolí sestavy analyzátorů.

**Snímač tlaku vzorkovacího plynu:** slouží pro získání informace o velikosti tlaku vzorkovací plynu na vstupu do modulu s průtokoměry.

**Čerpadlo:** je umístěné vedle vstupu vzorku plynu. Je zapojené na jednu stranu se vstupem vzorku plynu a na druhou z ledničkou. Funkci čerpadla je pohánět vzorkovací plyn sestavou. Zapíná čerpadlo spínačem umístěným na předním panelu sestavy nad snímačem tlaku.

**Pojistná skřín:** elektrické napětí do sestavy vstupuje přes pojistnou skřín ze které se napájí veškeré komponenty vyžadující k svému provozu elektrický proud. Ze předu pojistné skříně se nachází jističe, které v případě problému z napětí odpojí sestavu od sítě. Taky vpředu pojistné skříně umístěné zásuvky které se používají pro externí přístroje.

**Počítač:** spolu s monitorem, klávesnicí a analogově-digitalním převodníkem slouží pro automatizovaný sběr dat z všech analyzátorů spalín. Veškeré přístroje spojené mezi sebou datovými kabely.

**Elektromagnetický ventil CO/CO<sub>2</sub>:** je umístěný na zadním panelu sestavy a slouží pro přepínání mezi kalibrační plyny CO a CO<sub>2</sub>. Ovládání ventilu je prováděno přes přepínač umístěný na předním panelu vedle analyzátoru CO/CO<sub>2</sub>.

## **2.2. Analyzátory výfukových plynů**

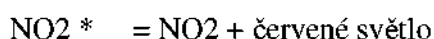
**Analyzátor CO/CO<sub>2</sub> (MLT 1T IR IR)** - je speciálně navržen pro měření mimořádně nízkých emisí monooxidu uhlíku. Zkratka IR znamená že pracuje na principu absorpce infračerveného záření, zkratka T – že je umístěn na stole (table top).

**Analyzátor kyslíku (MLT T PO<sub>2</sub>)** - tento analyzátor s paramagnetickým senzorem se používá pro stanovení koncentrace kyslíku v analyzované směsi.

**Analyzátor WET NO<sub>x</sub> (WNX)** - je to konverzní modul, který přijímá horký vlhký vzorkový plyn, ochladí a vysuší ho pro využití WCLD analyzátorém (s využitím chemické luminiscence), který je zabudovaný v platformě.

**Platforma NGA 2000 P** - je základním elementem sestavy který obsahuje veškeré nutné komponenty pro ovládání ostatních analyzátorů nebo může být využitý

jako samostatný analyzátor. Obsahuje WCLD modul, který využívá chemické luminiscence (o principu práce jakého jsem pověděl v teoretické části práce. Tady jen uvedu jak analyzátor využívá tuto metodu), techniku, která je založena na reakci mezi oxidem dusnatým (NO) a ozonem (O3) k výrobě NO2 a kyslíku (O2). Některé z molekul NO2 takto vyrobené jsou v elektronickém excitovaném stavu (NO2 \*). Tyto se okamžitě vrátí do základního stavu, s emisí fotonů. Zúčastněné reakce jsou:



Intenzita vyzařovaného červeného světla je úměrná koncentraci NO v původním vzorku plynu a měří se při pomoci fotodiody. Vzorek plynu přichodící do CLD modulu by měl být čistý a suchý.

Analyzátory mají být instalovány co nejblíže ke průtokoměrům, aby se zabránilo nízkou dobu odezvy způsobené dlouhé cesty vzorku plynu. Pro nejlepší výsledky, umístíme modul WET NOx u vzorku potoků a CLD modul v blízkosti WET NOx modulu pro minimalizaci času přepravy vzorku. Za účelem snížení doby odezvy, je použita čerpací stanice s odpovídající vysokou čerpací rychlosti. Nakonec, měřicí stanoviště je provozované v režimu bypass, aby se zabránilo příliš vysokým průtokům a příliš vysokým tlakům.

Technické údaje jednotlivých analyzátorů najdeté v Tab. č. 5

| Hodnoty              | MLT 1T IR IR                           | MLT T PO2  | Platforma<br>(WCLD modul)         | WET NOx<br>Konverzní modul        |
|----------------------|----------------------------------------|------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Rozsah               | 50..2500ppm<br>CO<br>1...20% CO2       | 0...25% O2 | 0...10 až<br>0...10000 ppm<br>NOx | 0...10 až<br>0...10000 ppm<br>NOx |
| Průtok plynu         | 0.2 – 1.5 l/min<br>Doporučené: 1 l/min |            | 0.4 l/min                         | 0.75 – 2.2 l/min                  |
| Přípustný tlak       | ≤150 kPa abs.                          |            | 48±13.8 kPa                       | 34...62 kPa                       |
| Přípustná<br>teplota | +5 °C až +40 °C                        |            | 0 °C... 55 °C                     | +70°C nebo méně                   |

|                          |                                                                                                             |                                                                                                                |  |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| vzorkových<br>plynů      |                                                                                                             |                                                                                                                |  |
| Opakovatelnost<br>měření | $\leq 1\%$ vztahující se k plnému rozsahu, při konstantní tlaku a teplotě                                   | $\pm 0.5\%$ plného rozsahu, při konstantní teplotě                                                             |  |
| Čas odezvy               | $3s \leq t_{90} \leq 7s$ z analyzátoru<br>přívod plynu v průtok plynu<br>cca. 1,0 l / min (elektrický = 2s) | <1s pro 90% plného rozsahu pro rozsah 25 ppm, nebo víc <3s pro 90% plného rozsahu pro rozsahy meně než 25 ppm. |  |

Tab. č. 5. Technické údaje jednotlivých analyzátorů.

### 2.3. Kondicionování plynu (doprava vzorku)

Kondicionování vzorku plynu je nejdůležitější pro úspěšné fungování jakékoliv sestavy analyzátorů.

Plyn musí splňovat následující podmínky:

Musí být

- bez kondenzovaných složek,
- bez prachu,
- bez agresivních složek, které nejsou kompatibilní s materiálem plynu cest.
- mají teploty a tlaky, které jsou v rámci specifikace uvedené v Tab. č. 5.

"Technické údaje"

### 2.4. Způsob měření testovacích a kalibračních plynů

Jedním z nejdůležitějších úkolů během montáže sestavy bylo správně zapojit veškeré vstupy a výstupy jednotlivých analyzátorů pomocí hadice, propojit jejich odpovídající průtokoměry a ostatní komponenty sestavy analyzátorů.

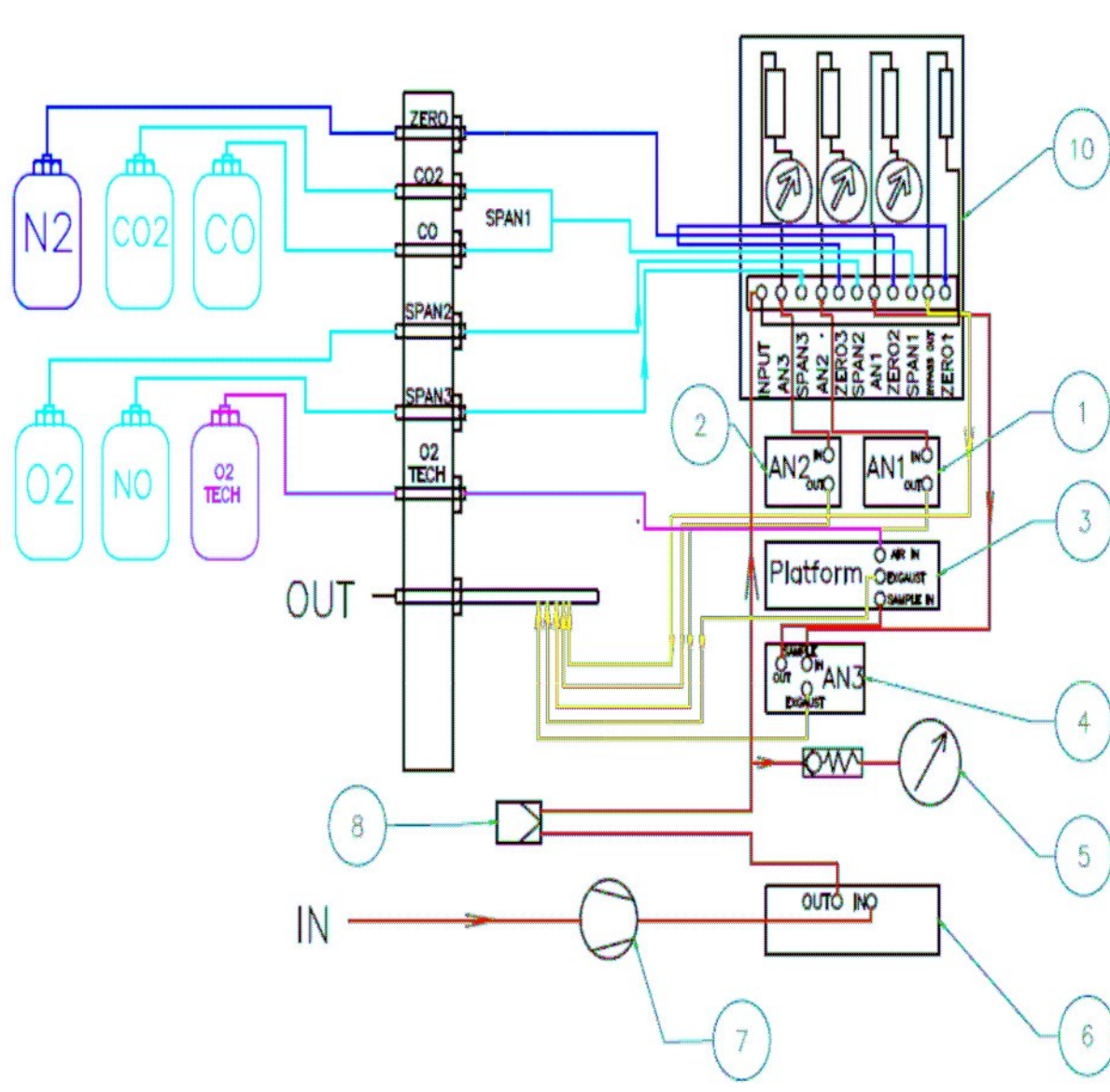
Schéma zapojení soustavy pro měření testovacích a kalibračních plynů je ukázána na Obr. č. 8. Modrou barvou jsou zobrazeny hadice, které přivádí

k průtokoměrům nulovací plyn, modrou barvou – kalibrační plyny, červenou – vzorkovací plyn, fialovou - technický kyslík a žlutou odpadní plyny. Aby nedošlo k záměně, všechny hadičky jsou označené. Plyn vstupuje do analyzátorů přes plynové přípojky, které jsou umístěné na zadním panelu každého analyzátoru. Nulovací a kalibrační plyny jsou zavedeny přímo přes vstup vzorku plynu.

Vzorkovací plyn vstupuje do sestavy přes čerpadlo (7) odkud je veden do ledničky(6). V ledničce se plyn ochladí na teplotu +3 °C a vstupuje se do filtru (8), který je uchycený na zadním panelu (9). Dále plyn proudí na vstup (input) modulu z průtokoměry (Flow Control Module, dále FCM) (10). V tomto modulu jsou umístěné přepínače mezi vzorkovacími, kalibračními a nulovacími plyny pro každý ze třech analyzátorů. Tady je však umístěn průtokoměr bypassu z důvodu zabránění příliš vysokým průtokům a příliš vysokým tlakům. Ochlazený plyn došlý na vstup FCM postupuje na jednotlivé průtokoměry, odkud jde přes výstupy na odpovídající vstupy analyzátorů označené SAMPLE IN. Z výstupu bypassu přes výstup odpadních plynů na zadním panelu (9) jde ven z sestavy. Z konverzního modulu WET NOx (4) přes výstup označený SAMPLE OUT plyn postupuje na vstup SAMPLE IN modulu WCLD, který je zabudovaný v platformě (3). Z příslušné láhve do WCLD modulu přes vstup AIR je přiváděn technický kyslík (O<sub>2</sub> tech), který je nezbytný pro výrobu ozonu a který je zároveň s tím nutný pro zajištění měření na principu chemické luminescence. Z analyzátorů jsou plyny, přes jednotlivé výstupy SAMPLE OUT, dopravené na výstup odpadních plynů ven.

Když jsou na modulu s průtokoměry (10) přepínače nastaveny na kalibrační plyny, tak z příslušných lahví přes určité vstupy na zadním panelu (9) přichází kalibrační plyny na odpovídající vstupy FCM (10), dále přes průtokoměry postupují na vstupy analyzátorů SAMPLE IN, a z analyzátorů přes výstupy SAMPLE OUT jsou dopravené na výstup odpadních plynů, odkud jdou ven. Každému analyzátoru náleží vlastní kalibrační plyn. Jsou to plyny, které měří jednotlivé analyzátory. Pro analyzátor MLT 1T IR IR (1) – CO/CO<sub>2</sub>, pro analyzátor MLT T PO<sub>2</sub> (2) – O<sub>2</sub>, Pro konverzní modul WET NOx (4) a WCLD analyzátor – NO. Ačkoliv analyzátor MLT 1T IR IR (1) pracuje se dvěma kalibračními plyny, je na zadním panelu (9) uchycený elektromagnetický ventil, který přepíná vstupy mezi plyny CO a CO<sub>2</sub>. Přepínač je

V případě, že na modulu s průtokoměry (10) jsou přepínače nastaveny na nulovací plyny, tak z příslušné láhve přes příslušný vstup na zadním panelu (9) přichází nulovací plyn na odpovídající vstupy FCM (10) a celý děj se opakuje. Pro veškeré analyzátory je stejný nulovací plyn – dusík (N<sub>2</sub>).



Obr. č. 8. Shéma pohybu testovacích a kalibračních plynů.

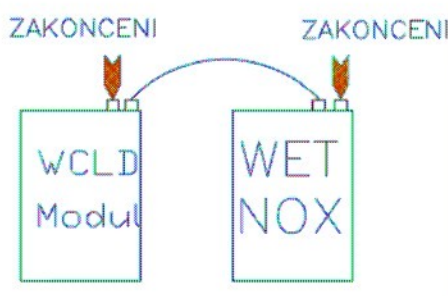
| Poznačka | Nazev součástí          |
|----------|-------------------------|
| 1        | Analyzátor MLT 1T IR IR |

|    |                                                                   |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| 2  | Analyzátor MLT T PO2                                              |
| 3  | Platforma NGA 2000 P                                              |
| 4  | Konverzní modul WET NOx(WNX)                                      |
| 5  | Tlakoměr                                                          |
| 6  | Lednička MAK 10                                                   |
| 7  | Čerpadlo                                                          |
| 8  | Filtr                                                             |
| 9  | Zadní panel se vstupy kal. a nul. plynu a výstupy odpadních plynu |
| 10 | Modul s průtokoměry                                               |

Tab. č. 6. Označení jednotlivých komponent sestavy.

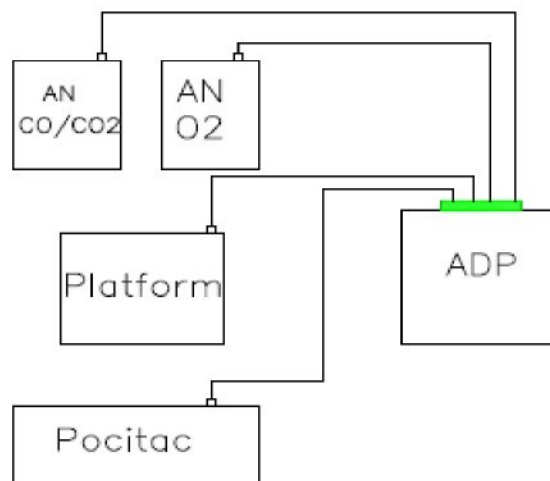
## 2.5. Zapojení komponentů pro automatizovaný sběr dat

Modul zabudovaný v platformě WCLD a konverzní modul WET NOx jsou spojeny síťovým kabelem pro komunikaci a výměnu informací.



Obr. č. 9. Síťové zapojení WCLD s konverzním modulem WET NOx.

Zároveň s tím jsou počítač, platforma, analyzátor O2 a analyzátor CO/CO2 propojeny s analogově-digitalním převodníkem (ADP) přes datové kabely pro zajištění automatizovaného sběru dat podle schématu, uvedeného na obr. č. 10. Díky tomuto zapojení jsou při měření na analyzátorcích veškerá data zobrazena na monitoru počítače.



Obr. č. 10. Zapojení pro automatizovaný sběr dat.

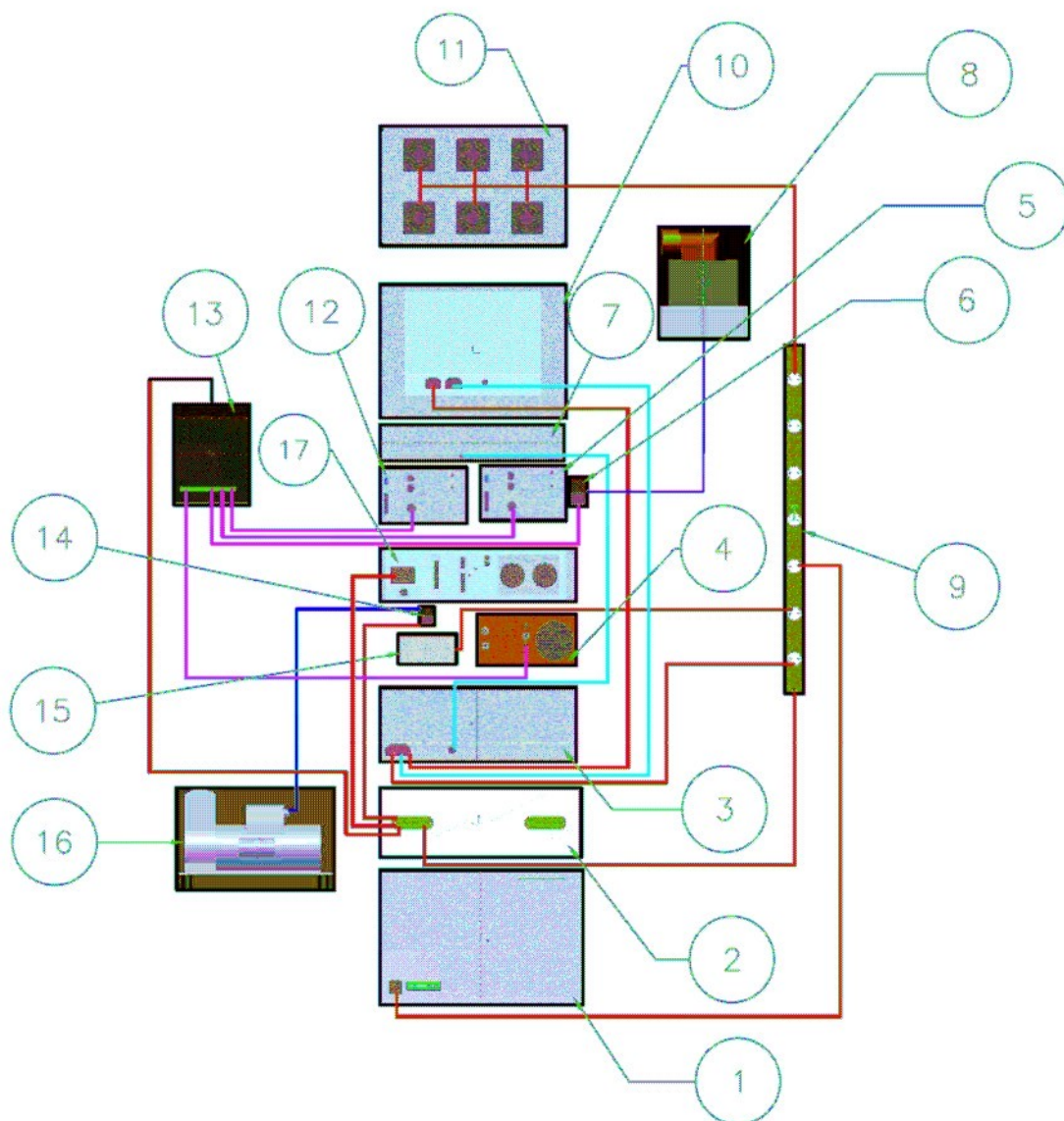
## 2.6. Elektrické zapojení sestavy

Elektrické zapojení sestavy je ukazano na obr. č.11.

Napětí ze sítě vstupuje do pojistné skříně (2). Zdroj napětí (13), čerpadlo (16) se spínačem (14), platforma NGA 2000 P (17), a panel se zásuvkami (9) berou energii z pojistné skříně (2) přes 230/115 Vac kabely. Zdroj napětí (13) převádí napětí 230/115 Vac na 24 Vdc, které je potřebné pro provoz analyzátorů a přepínače CO/CO<sub>2</sub> (8).

Monitor (10) je spojený s počítačem (3) datovým kabelem a 230/115 Vac kabelem. Ostatní elementy sestavy, jako jsou ventilátory (11), snímač tlaku (15), lednička (1) a počítač (3) se napájí přímo ze zásuvek (9) 230/115 Vac.

Na obr. č.11 jsou fialovou barvou ukázány kabely 24 Vdc, které vystupují ze zdroje napětí (9), červenou barvou kabely 230/115 Vac, světle modrou barvou jsou označeny datové kabely, které se spojují počítač s klávesnicí a počítač s monitorem, tmavě modrou barvou jsou zakresleny kabely, které se spojují spínač (14), jež zapíná/vypíná čerpadlo (16), a přepínač (6), který ovládá elektromagnetický ventil CO/CO<sub>2</sub> (8). Tento přepínač a s ním i elektromagnetický ventil CO/CO<sub>2</sub> jsou spojené se zdrojem napětí (13).



Obr. č. 11. Elektrické zapojení sestavy.

| Poznačka | Nazev součástí                   |
|----------|----------------------------------|
| 1        | Lednička MAK 10                  |
| 2        | Pojistná skříň                   |
| 3        | Počítač                          |
| 4        | Konverzní modul WET NOX          |
| 5        | Analyzátor MLT 1T IR IR (CO/CO2) |
| 6        | Přepínač CO/CO2                  |
| 7        | Klávesnicé počítače              |

|    |                                 |
|----|---------------------------------|
| 8  | Elektromagnetický ventil CO/CO2 |
| 9  | Lišta se zasuvky                |
| 10 | Monitor počítače                |
| 11 | Horní deska s ventilátory       |
| 12 | Analyzátor MLT PO2              |
| 13 | Zdroj napětí                    |
| 14 | Spínač čerpadla                 |
| 15 | Snímač tlaku                    |
| 16 | Čerpadlo                        |
| 17 | Platform NGA 2000               |

Tab. č. 7. Označení jednotlivých komponentu sestavy.

## 2.7. Návod k ovladání obsluhou měřicího stanoviště

Na předním panelu veškeré výše vyjádřených analyzátorů je zobrazen operační čelní panel (Obr. č. 12). Celý operační postup je znázorněn na LC displeji. Provoz a programování přístroje se provádí pomocí čtyř kurzorových kláves, klávesu ENTER a pěti funkčních kláves. Na zadním panelu analyzátorů jsou umístěny konektor pro napájení 24 V DC, plynové přípojky a konektor pro připojení k síti.

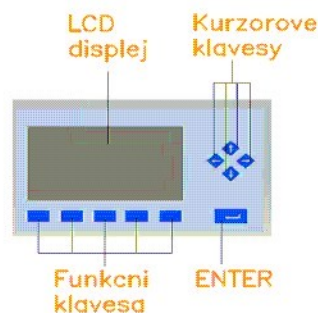
LCD obrazovka zobrazuje všechny naměřené hodnoty na analyzátorů, stav hodnot a všechny instrukce uživatelského menu.

Funkčním klávesám, nazývané také softwarová tlačítka, jsou přiřazené hodnoty v závislosti na nabídce, nebo jsou zobrazovány na obrazovce. Legenda je zobrazena nad nimi.

ENTER slouží k potvrzení již dříve zadané proměnné hodnoty, k spuštění vybrané funkce, nebo k přejítí do podnabídky vybraných řádku menu.

Kurzorové klávesy (šípky doprava a doleva) se používají pro pohyb nahoru nebo dolů řádky v menu nebo k inkrementace a dekrementace počtu proměnných.

Kurzorové klávesy (šípky nahoru a dolů) se používají pro pohyb dozadu nebo dopředu mezi stránkami menu.



Obr. č. 12. Provoz na předním panelu.

Pokud stiskneme klávesu F3 nebo “šipka doprava“ klávesu v každé jednotlivé složce displeju, přepneme k hlavnímu menu. Jak zřejmě z obr. č. 13. Z hlavního menu se můžeme přepnout k všem operační úrovni modulů analyzátorů pro nastavení a ovládání parametrů měření, kalibrace a přenosu dat.

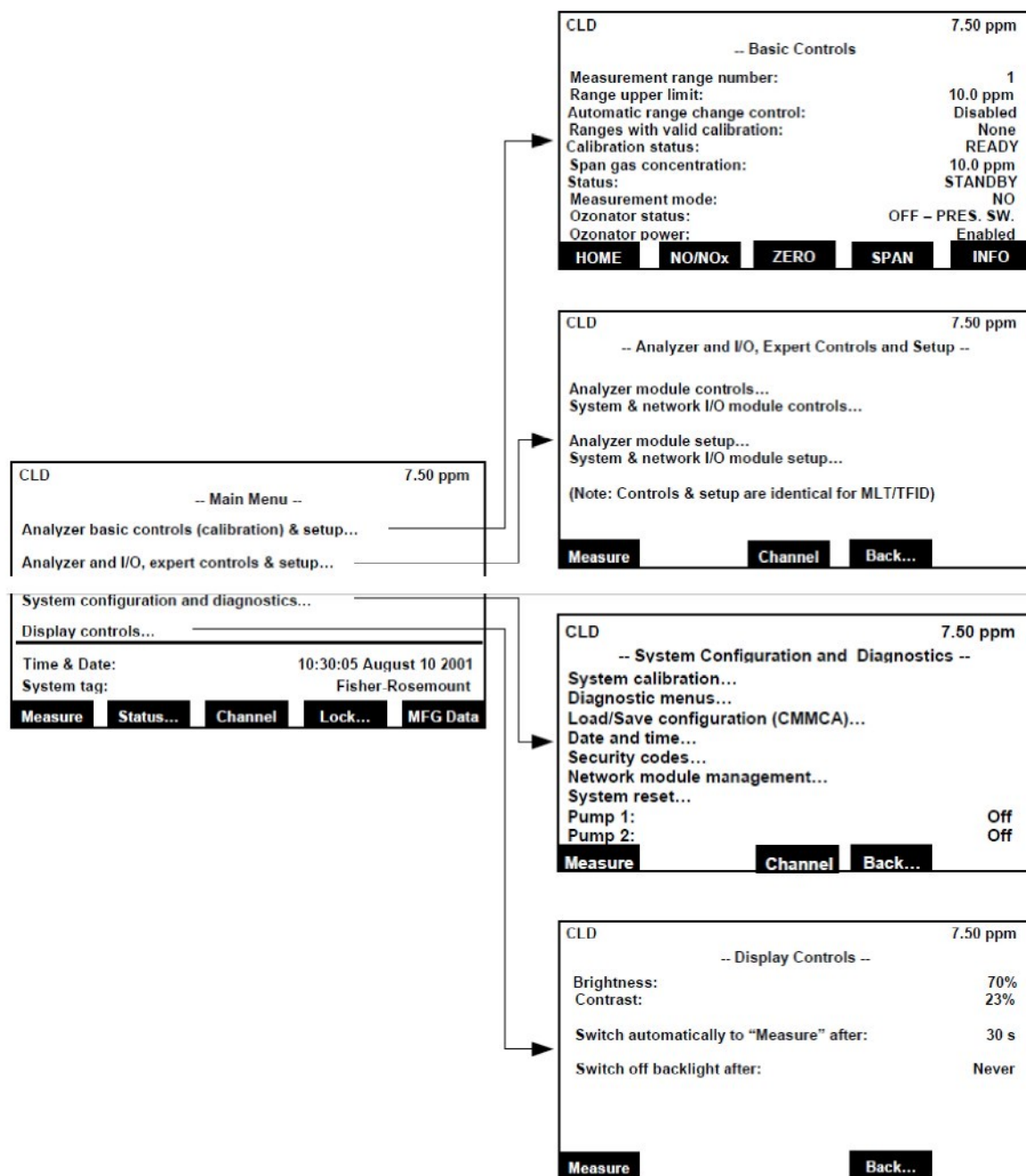
Menu obsahují čtyři typy řádků:

**Menu řádka** – řádka ukončena třemi tečkami (...). Stisknutím ENTERu když tato řádka je označena přestoupíme do jednotlivých submenu.

**Funkční řádka** – řádka ukončena vykřičníkem (!). Při pomoci této řadky volíme jednotlivé funkce, které spouštíme klávesou ENTER když funkční řádka bude označena.

**Variabilní řádka** – řádka ukončena dvojtečkou (:) zobrazuje parametr proměnného modulu. Některé parametry mohou být změněny a některé parametry zobrazují pouze status a nelze je měnit. Parametry, které nelze měnit se budou zobrazovat v menu pod čarou.

**Textová řádka** - řádka bez interpunkční značky, zobrazí se pouze informace softwaru.



Obr. č. 13. Hlavní menu analyzátorů z vycházející z něho submenu.

### 2.7.1. Spuštění, inicializace a kontrola parametrů analyzátorů

Jakmile přístroje byly správně vyrobeny a namontovány v souladu s obecnými pokyny uvedenými v sekcích 2.4. – 2.6. je zařízení připraveno k provozu.

Zařízení se zapíná stanovením požadovaného napětí.

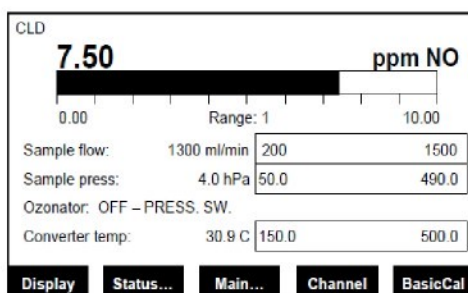
Všechny analyzátory budou zapnutý přepínačem, který je umístěný na předním panelu pojistné skříně.

Analyzátory potřebují od 15 do 50 minut na zahřátí po zapnutí, v závislosti na stanovené teplotě.

Z lahvi podvedeme k příslušným vstupů jednotlivé kalibrační a nulovací plyny. Taky podvedeme technický vzduch, nutný pro vyrábění ozonu ve WCLD modulu.

Inicializační postup, další nastavení a měření je skoro stejně u všech analyzátorů. Rozebereme na příkladě analyzátoru dusíku celý proces měření spalín od zapnutí analyzátoru až do jeho vypnutí.

Po zapnutí modulů analyzátorů, provádí inicializační postup. Vlastní představení sekvence několika obrazovek s informacemi o inicializace stavu, konstatuje, kontrolu softwaru.



Obr. č. 14. Zobrazení měřicího režimu.

Po inicializace a objevení obrazovky uvedené na obr. č. 14 začneme základní kontrolu parametrů analyzátorů. Tato kontrola se provádí pomocí hlavního menu a vycházející z něho submenu které jsou uvedené na obr. č. 13.

Stisknutím klávesy F3 přepneme do hlavního menu kde zvolíme první řádku. Tímto dostaneme do submenu “Základní kontrola” (“Basic Controls”). Toto submenu popisuje nejdůležitější měření, nastavení a kalibrace analyzátorů. Nastavíme tady horní hodnotu rozsahu, koncentrace kalibrační plynů a zapojíme ozonátor.

Pak vrátíme do hlavního menu a zapneme druhou řádku. Tímto se dostaneme do submenu “Kontrola vstupu/vystupu analyzátorů a menu nastavení” (“Analyzer and I/O expert controls and Setup Menu”). Toto submenu poskytuje nastavení parametrů pro měření a kalibrace analyzátorů, jako je nastavení síti, průtoků veškeré plynů a bypassu, tlaku vzorků, teploty ozónu a konvertoru. Taky se dá nastavit jednotky měření plynů,

tlaku, a teploty.

Nastavit parametry displeje (jasnost a kontrast) je možné při pomoci submenu “Kontrola obrazovky” (“Display control”).

### **2.7.2. Kalibrace**

Po kontrole a nastavení parametrů sleduje kalibrace analyzátorů. Kalibrace spouští v submenu “Základní kontrola” hlavního menu. Na začátku bude provedena kalibrace nuly stisknutím klavesy F3, po nastavení nuly provedeme kalibrace stisknutím klavesy F4.

Tato procedura podrobně popsána v experimentální částí bakalářské práce.

Pro postup kalibrace požadované zkušební plyny, které vstupují do analyzátorů prostřednictvím příslušných plynových přívodů s rychlostí průtoku plynu o 1 l/min (stejná jako u vzorku).

#### **Zkušební plyny**

##### **a) Nulový plyn**

Pro nulování analyzátorů je potřeba propláchnout dusíkem (N<sub>2</sub>).

##### **b) Kalibrační plyny**

Kalibrace všech analyzátorů bude provedena s čistými kalibračními plyny, aby se zabránilo interference mezi plyny (např. CO<sub>2</sub> a CO) měřené v analyzátoru, pomocí zkušebně směsi plynů.

Kalibrace pro měření kyslíku bude provedena při pomoci čistého kyslíku jako kalibračního plynu, ačkoliv koncentrace kyslíku je známá a konstantní.

### **2.7.3. Postup měření**

Po provedení kalibrace už můžeme začít měření. Základní krok při měření koncentrace plynu je přijetí vzorku plynu do analyzátorů.

- Nastavíme ventily na FCM v polohu “Vzorek” (“Sample”).
- Vpustíme vzorek plynu k příslušnému vstupu přívodu plynu na zadním panelu sestavy.
- Nastavíme průtok plynu na přípustnou míru a už můžeme provádět měření.

Měření se provede tak že vzorek plynu vpustí na příslušný vstup který umístěný

na zadním panelu sestavy. Vzorek plynu projde sestavou podle odstavce 2.4. Naměřená v analyzátorů veškerá data, bude uvedena na monitoru počítače. Po měření je potřeba opět provést kalibrace analyzátorů.

#### **2.7.4. Vypnutí analyzátorů**

Před vypnutím analyzátorů, doporučuje se první propláchnutí všech plynových potrubí technickým vzduchem (úsporně) po dobu asi 5 minut. Celý postup pro vypnutí je následující:

- pustit technický vzduch na příslušný vstup nulovacího plynu na zadním panelu sestavy.

- nastavit tok plynu do přípustné míry.

Po 5 minutách uplynutí:

- Vypnout přepínačem analyzátory na předním panelu pojistné skříně.
- Vypnout počítač.
- Vypnout dodávek plynu.
- Odpojit plynovody.
- Odpojit od sítě pojistnou skřín.

### **3. Experimentální část**

V experimentální části měl jsem provést základní kalibraci celého zařízení a vytvořit kalibrační protokoly.

Kalibrace, což je částí ověření linearity analyzátorů byla provedena při pomoci externího přístroje – děličky *Horiba GD-03* v laboratoři KVM.

Ověření linearity každého analyzátorů byla provedena zvlášť. Postup ověření linearity je stejný, liší se jenom nastavením provozních rozsahu pro jednotlivé kalibrační plyny.

Pro NO<sub>x</sub> rozsah je 4060 ppm, pro CO<sub>2</sub> = 14%, pro CO = 89.2 ppm, pro O<sub>2</sub> = 9.02 %.

### 3.1. Obecné požadavky

Přepínačem umístěným na pojistní skříni budou zapnuté všechny analyzatory. Během 40 minut musí analyzatory ohřát. Ventily jednotlivých průtokoměrů se nachází v poloze *Kalibrační plyn (Span)*.

### 3.2. Postup kalibrace

Dělič plynu se připojí k lahvi dusíku (N<sub>2</sub>) a k lahvi kalibračního plynu. Na jinou stranu se připojí k jednotlivým vstupům pro dusík (N<sub>2</sub>) a příslušný kalibrační plyn které umístěné na zadní panelu sestavy. Na lahvích je nastavený tlak 90 kPa. Při kalibraci analyzátoru NO<sub>x</sub> pro vyrábění ozonu k sestavě přes vstup na zadním panelu podvedený z lahvi technický kyslík (O<sub>2</sub> tech). Na platformě nastavíme ozonator při pomoci funkčních, kurzorových klaves a Enteru.

Na děličce, displeji analyzátoru a monitoru počítače podle lahvi je nastavena koncentrace příslušného kalibračního plynu.

Zkoušení analyzátorů začne kalibrací nuly (nulováním). Pustíme do děličky dusík z lahvi. Z děličky dusík zavede do sestavy. Nastavíme na děličce nulu a čekáme až spadne hodnota rozsahu na displeji analyzátoru na nulu. Trvá to kolem 30 sekund. Spustíme na analyzátoru povel *kalibrace nuly*. Týmto zavedeme nulový signál do analyzátoru a přístroj se vynuluje. Máme první linearizační bod.

Dáme na děličku kalibrační plyn z příslušným rozsahem. Spustíme na displeji analyzátoru povel *kalibrace (span)*. Po chvíli nastaví nám příslušný rozsah na displeji analyzátoru. Týmto zavedeme do analyzátoru kalibrační signál a přístroj se nakalibruje. Máme koncový linearizační bod.

Pak opakuje se postup nulování.

### 3.3. Postup ověření linearity

Po kalibraci v následujícím postupu bude provedena linearizace, která slouží k sestavení kalibrační křivky daného analyzátoru. Na základě měření budou vytvořené linearizační protokoly, které jsou uvedeny v příloze.

- 1) Děličkou bude v rovnoměrných odstupech rozloženo jmenovitou koncentraci

kalibračního plynu na jedenact bodů včetně nuly a koncového bodu. Koncentrace plynu je 80% rozsahu stupnice přístroje v daném měřicím rozsahu. Jednotlivé body jsou uvedené v prvním sloupci tabulky linearizačních protokolů.

- 2) Pro jednotlivé polohy přepínače děliče se odečte jmenovitá hodnota koncentrace pro každý kalibrační bod ( sl. 2 ).
- 3) Zaznamenává se přímo naměřená hodnota pro každý kalibrační bod ( sl. 3 ).
- 4) Hodnota naměřených bodů se přepočte podle staré kalibrační křivky (sl. 4).
- 5) Vypočte se odchylka hodnot vypočtených podle staré kalibrační křivky od vztažných hodnot a zaznamená se do sloupců odchylka v ppm a v % ( sl. 3 – sl.2 = sl. 5;  $\text{sl.5} : \text{sl. 2} \times 100\% = \text{sl. 6}$  ).
- 6) V některých bodech uprostřed rozsahu odchylka je větší než 2%, je potřeba vypočítat metodou nejmenších čtverců novou křivku. Postupujeme se od polynomu nejnižšího řádu k polynomům vyšších řádů tak dlouho, až se dosáhne odchylky od jmenovité hodnoty kalibračních bodů méně než  $\pm 2\%$ . V případě analyzátoru kyslíku odchylka od jmenovité hodnoty kalibračních bodů méně než  $\pm 2\%$  byla dosahována při polynomu druhého řádu, v případě analyzátoru CO/CO<sub>2</sub> tato odchylka byla dosahována při polynomu prvního řádu. V případě analyzátoru dusíku odchylka od jmenovité hodnoty v prvním kalibračním bodě stanoví nepřipustných 62% při polynomu prvního řádu. Tady by museli spočítat křivku podle polynomu druhého řádu ale z ohledem na to že analyzátor NO<sub>x</sub> je lineární to křivka vyššího řádu signalizuje chybu. Chyba mohla být způsobena nepřesností při měření nebo poruchou analyzátoru. Doporučuji provést ještě jednou kalibrace analyzátoru dusíku, když odchylka zůstane je nutné poslat analyzátor dusíku na opravu.
- 7) kalibračních bodů méně než  $\pm 2\%$  byla dosahována při polynomu prvního řádu
- 8) Body nové křivky se uvedou do protokolu ( sloupek nová křivka – sl. 7 ).
- 9) Vypočítá se odchylka bodů nové křivky dle bodu 5 v ppm a % ( sl. 8 a 9).
- 10) Při všech měřeních se musí dodržet stejné tlaky přiváděných plynů ( 90 kPa ).

#### 4. Závěr

Během vypracování bakalářské práce bylo navrhuto a sestaveno mobilní měřicí stanoviště s automatizovaným sběrem dat. Tato sestava analyzátorů Emerson pro plynné emise výfukových plynů bude použita při zkoumání provozních vlastností spalovacích motorů v laboratoři KVM.

Vytvořilo se to tak že do samotné skříně bylo dodáno jednotlivé analyzátory, a veškeré nezbytné komponenty které pohaní testovací plyn, ochladi ho, očistí, proměří průtok, naměří tlak testovacího plynů a barometrický tlak okolí.

Bylo navrženo schéma zapojení testovacích a kalibračních plynů a elektrického zapojení sestavy analyzátorů, podle těchto schém provedeno zapojení testovacích a kalibračních plynů a elektrické zapojení analyzátorů s příslušné komponenty sestavy.

Pro estetický výhled sestavy bylo navrženo lišty které umístěné na předním panelu sestavy a zakrývají prostor kolem analyzátorů a počítače. Podle mého návrhu v externím podniku vyrobili lišty. Výkresy lišt jsou umístěné na CD disku který je vložený na desce bakalářské práci.

Byla prostudována literatura věnovaná měření emisí spalovacích motorů, bylo seznámeno s předpisy EHK které legislativně omezují obsah škodlivin kvůli ochraně životního prostředí.

Po kompletním sestavení měřicí stanoviště bylo vyzkoušené v laboratoři KVM. Byla provedena kalibrace celého zařízení a vytvořeno linearizační protokoly na základě kterých je možné udělat závěr o tom že smontovaná sestava analyzátoru Emerson za výjimkou analyzátoru dusíku je plně funkční a může být použita pro měření emise CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, a NO<sub>x</sub>.

Analyzátor dusíku přes velkou odchylku od jmenovité hodnoty v prvním kalibračním bodě musí být kalibrovaný ještě jednou, když odchylka zustane po opakované kalibrace analyzátor dusíku musí být posláný na opravu.

Značné odchylky původní kalibrační křivky od vztažné hodnoty ostatních analyzátorů v linearizačních bodech uprostřed rozsahu jsou zdůvodněné nepřestností práce děliče plynů. Jednak odchylka nové navřené kalibrační křivky je v mezích normy a stanoví méně dvou procentů. Kalibrační křivka byla spočítána metodou nejmenších čtvců, a požadována odchylka od jmenovité hodnoty každého kalibračního bodu o

méně než  $\pm 2\%$  byla dosažena u analyzátoru CO/CO<sub>2</sub> při výpočtu polynomu prvního řádu, v případě analyzátoru kyslíku při výpočtu polynomu druhého řádu což znamená že analyzatory jsou v pořádku a hotově k provozu.

## Seznam literatury

- [1] TAKATS , M.: Měření emisí spalovacích motorů. vyd. Praha, ČVUT 1994.
- [2] BEROUN, S.: Spalovací proces ve válci pístového spalovacího motoru.  
Výfukové emise. vyd. Liberec. TUL 2007.
- [3] Princip konstrukce paramagnetické analyzáční bunky.  
<http://www2.emersonprocess.com>
- [4] Emisní předpisy EURO.  
<http://radovancech.sweb.cz/emise3.htm>
- [5] Předpisy EHK 49.  
<http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/ZVM/ZVM-7pr.pdf>
- [6] Kategorie vozidel a tabulka mezních hodnot výfukových plynů podle EHK  
83.  
<http://eurlex.europa.eu>
- [7] HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. Terminologie obrábění a  
montáže. 1. vyd. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, ÚTØV, 2005.
- [8] DUŠÁK, K. Technologie montáže - terminologie. 1. vyd. Liberec: TUL,  
2003.

## **Seznam příloh**

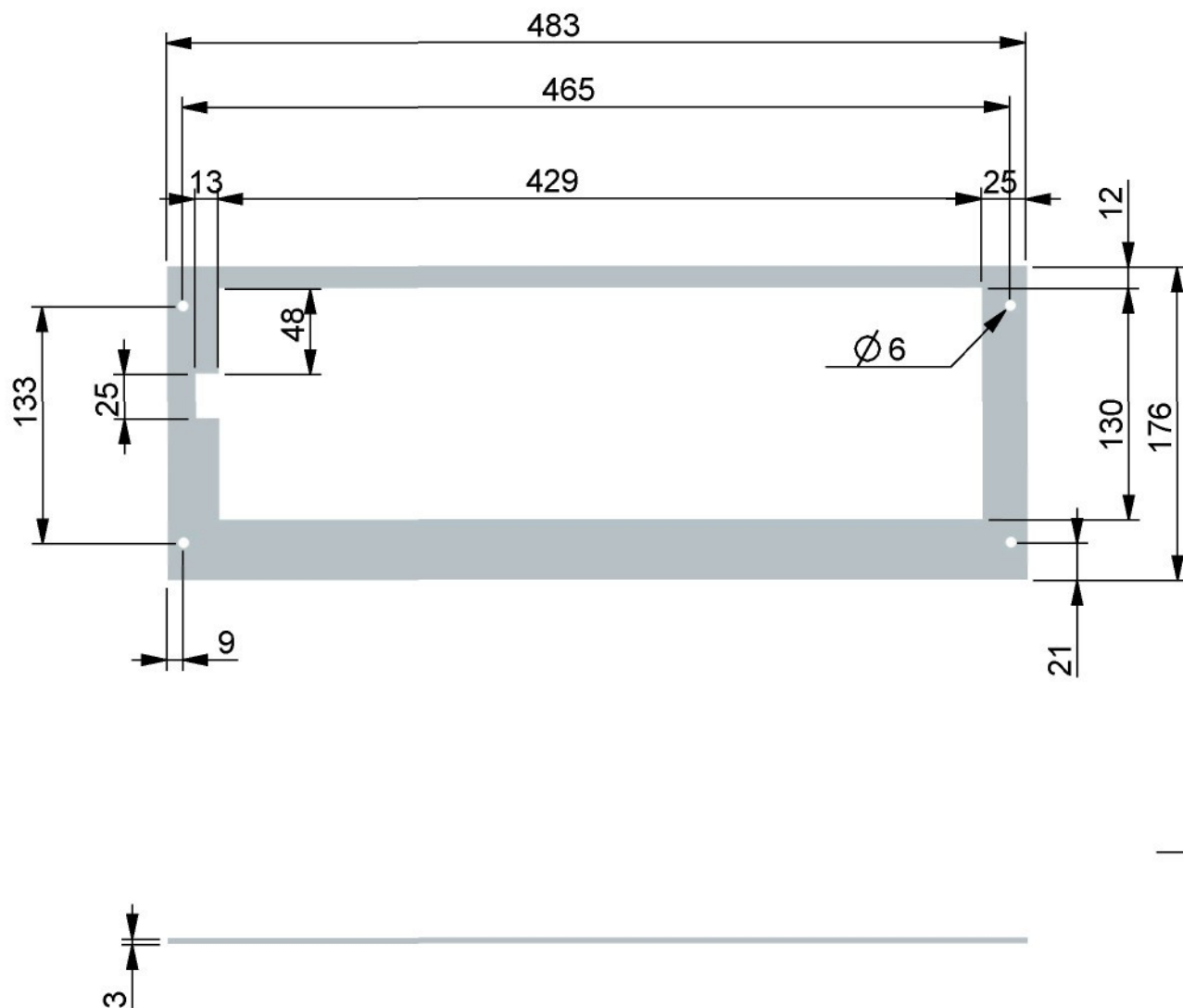
Příloha č. 1..... tab. složení výfukových plynů.

Příloha č. 2..... linearizační protokoly jednotlivých analyzátorů.

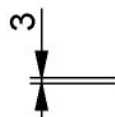
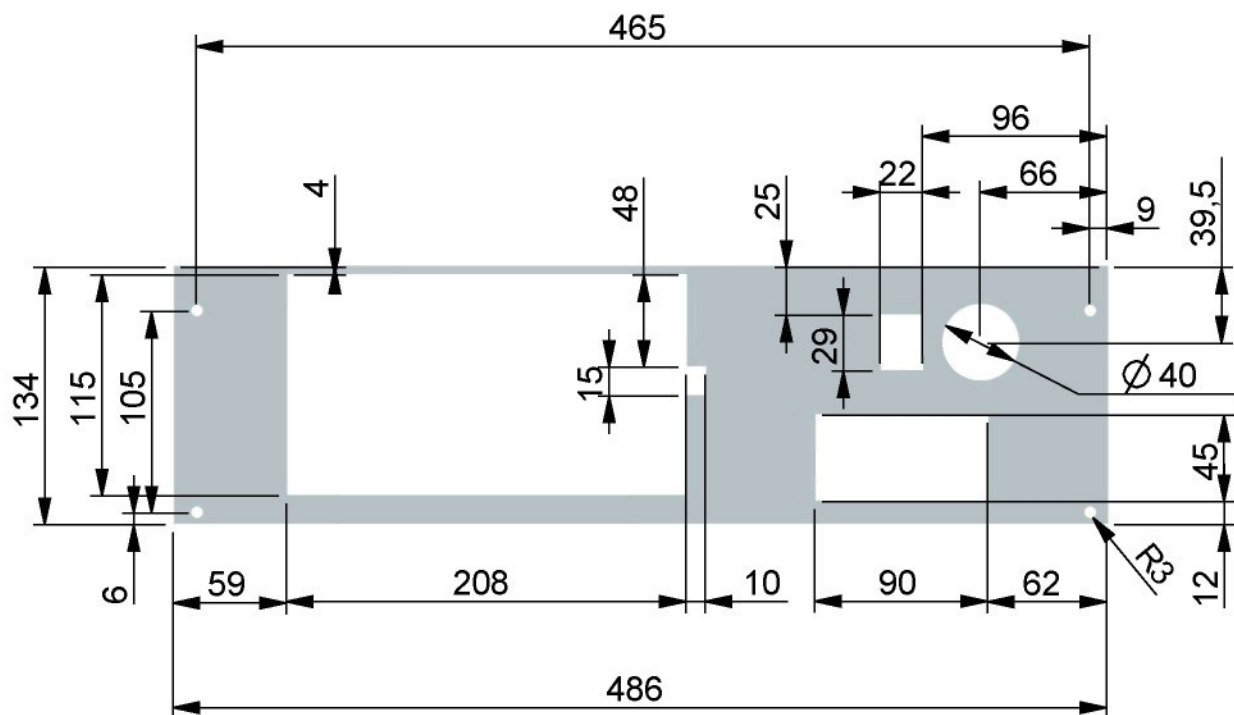
Příloha č. 3..... výkres sestavy analyzátorů.

**Příloha č. 1**  
**Tabulka složení výfukových plynů.**

| Komponenty<br>výfukových<br>plynů | Obsah, %       |                  | Popis      |
|-----------------------------------|----------------|------------------|------------|
|                                   | Motor          |                  |            |
|                                   | Zažehový       | Vznětový         |            |
| Dusík                             | 74,0 -<br>77,0 | 76,0 -<br>78,0   | nejedovatý |
| Kyslík                            | 0,3 - 8,0      | 2,0 - 18,0       | nejedovatý |
| Voda                              | 3,0 - 5,5      | 0,5 - 4,0        | nejedovatá |
| Oxid uhličitý                     | 5,0 - 12,0     | 1,0 - 10,0       | nejedovatý |
| Oxid uhelnatý                     | 0,1 - 10,0     | 0,01 - 5,0       | jedovatý   |
| Nespálené<br>uhlovodíky           | 0,2 - 3,0      | 0,009 -<br>0,5   | jedovaté   |
| Aldehydy                          | 0 - 0,2        | 0,001 -<br>0,009 | jedovaté   |
| Oxid síry                         | 0 - 0,002      | 0 - 0,03         | jedovatý   |
| Saze, g/m <sup>3</sup>            | 0 - 0,04       | 0,01 - 1,1       | jedovatá   |
| Benzopyren,<br>mg/m <sup>3</sup>  | 0,01 -<br>0,02 | až 0,01          | kancerogen |

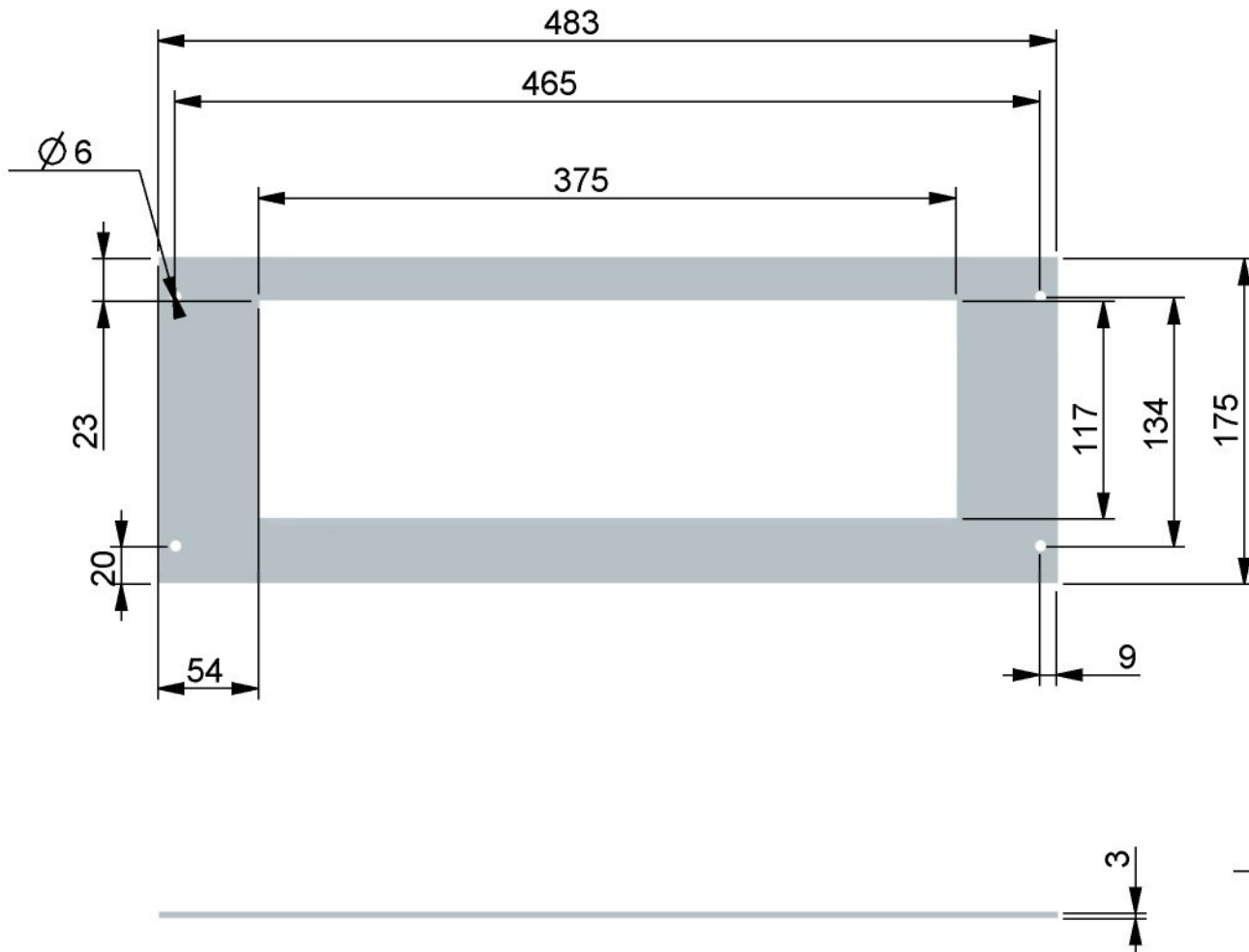


|                   |  |       |  |                      |  |                |  |                                                                                                 |  |
|-------------------|--|-------|--|----------------------|--|----------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Rozměry 483x176x3 |  |       |  | PRESNOST ISO 2768 mK |  |                |  |                                                                                                 |  |
|                   |  |       |  | Mater. 12 060.7      |  | Tr. odp. 002   |  | TOLEROVANI ISO 8015                                                                             |  |
|                   |  |       |  | C. hm. kg            |  | Hr. hm. kg     |  | PROMITANI  |  |
|                   |  |       |  | c)                   |  |                |  |                                                                                                 |  |
|                   |  |       |  | b)                   |  |                |  |                                                                                                 |  |
|                   |  |       |  | a)                   |  |                |  |                                                                                                 |  |
| Zmena             |  |       |  | Datum                |  | Index          |  | Podpisy                                                                                         |  |
| Meritko           |  | Pozn. |  | Navrhl               |  |                |  |                                                                                                 |  |
| 1:100             |  |       |  | Kreslil              |  | Igor Fedchenko |  | Nazev                                                                                           |  |
|                   |  |       |  | Prezkoušel           |  |                |  | Lista1                                                                                          |  |
| C.seznamu         |  |       |  | Technolog            |  |                |  | Typ                                                                                             |  |
| C.sestavy         |  |       |  | Normaliz.            |  |                |  | Cis.vykresu                                                                                     |  |
| Stary vykr.       |  |       |  | Schvalil             |  |                |  | Vykres1                                                                                         |  |
| Novy vykr.        |  |       |  | Datum                |  | 30-05-2011     |  |                                                                                                 |  |
|                   |  |       |  |                      |  |                |  | List                                                                                            |  |

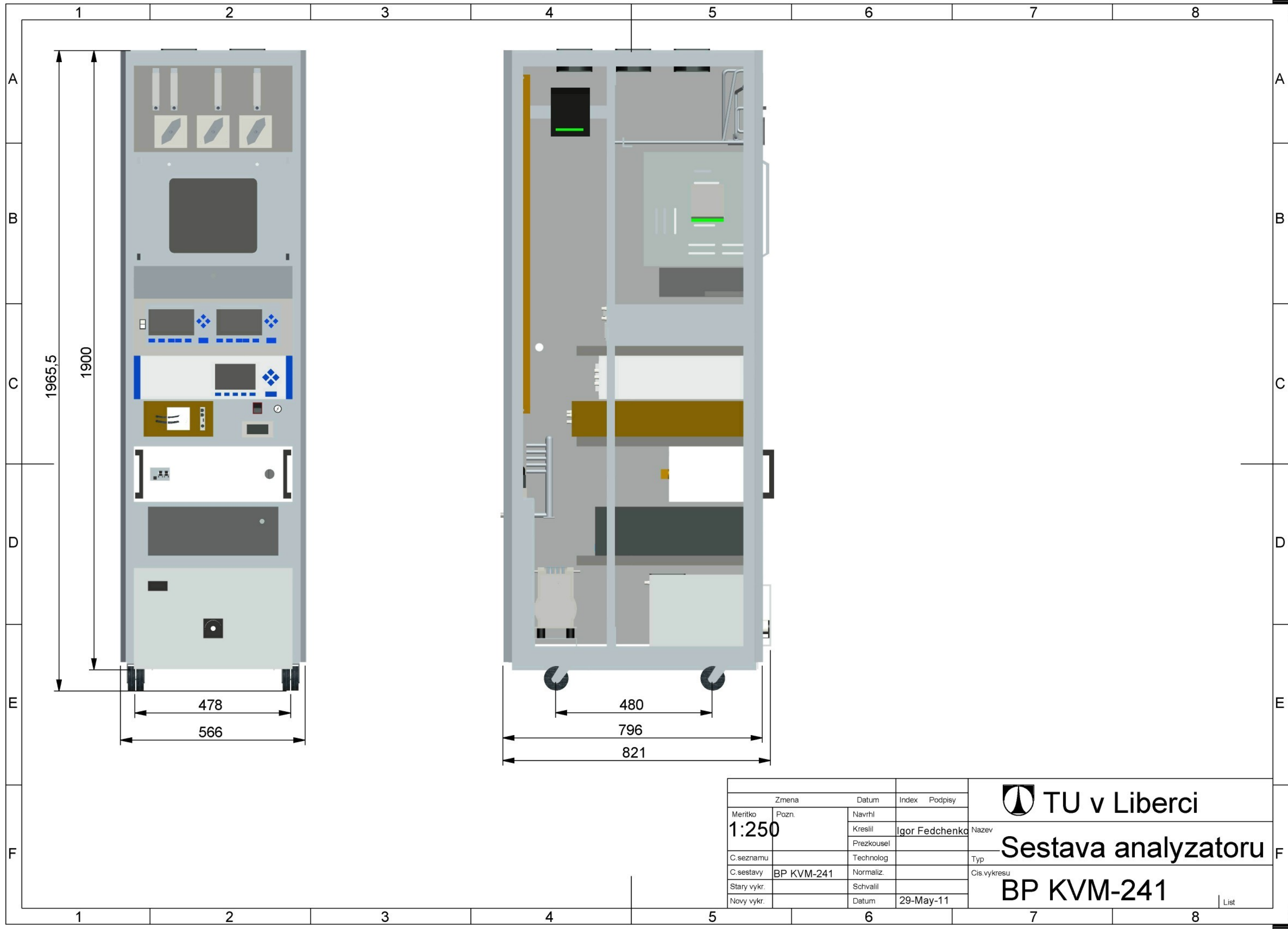


|              |       |            |                |                                                                                                  |                        |                      |     |                                                                                                 |
|--------------|-------|------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rozm.-Polot. |       |            |                |                                                                                                  |                        | PRESNOST ISO 2768 mK |     |                                                                                                 |
|              |       | c)         |                | Mater.                                                                                           | 12 060.7               | Tr. odp.             | 002 | TOLEROVANI ISO 8015                                                                             |
|              |       | b)         |                | C. hm.                                                                                           | kg                     | Hr. hm.              | kg  | PROMITANI  |
|              |       | a)         |                |  TU v Liberci |                        |                      |     |                                                                                                 |
| Zmena        |       | Datum      | Index          |                                                                                                  |                        |                      |     |                                                                                                 |
| Meritko      | Pozn. | Navrhl     |                |                                                                                                  | Nazev                  |                      |     |                                                                                                 |
| 1:100        |       | Kreslil    | Igor Fedchenko |                                                                                                  |                        |                      |     |                                                                                                 |
|              |       | Prezkousel |                |                                                                                                  |                        |                      |     |                                                                                                 |
| C.seznamu    |       | Technolog  |                |                                                                                                  | Typ                    |                      |     |                                                                                                 |
| C.sestavy    |       | Normaliz.  |                |                                                                                                  | Cis. vykresu           |                      |     |                                                                                                 |
| Stary vykr.  |       | Schvalil   |                |                                                                                                  | Lista2<br><br>Vykres 3 |                      |     |                                                                                                 |
| Novy vykr.   |       | Datum      | 30-05-2011     |                                                                                                  |                        |                      |     |                                                                                                 |
|              |       |            |                |                                                                                                  | List                   |                      |     |                                                                                                 |

List



|              |       |                 |                |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |
|--------------|-------|-----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|---------|
| Roz. -Polot. |       | Lista 483 x 175 |                |                                                                                                                    |                                                                                                                   | Presnost |     |         |
|              |       | c)              |                | Mater.                                                                                                             | 12 060.7                                                                                                          | Tr. odp  | 002 |         |
|              |       | b)              |                | C. hm                                                                                                              |                                                                                                                   | Hr. hm.  |     |         |
|              |       | a)              |                | <div> <b>TU v Liberci</b></div> |                                                                                                                   |          |     |         |
| Zmena        |       | Datum           | Index          |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     | Podpisy |
| Meritko      | Pozn. | Navrhl          |                |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |
| 1:100        |       | Kreslil         | Igor Fedchenko |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |
|              |       | Prezkousel      |                |                                                                                                                    | <div>Nazev<div>Lista 3</div></div> <div>Cis. vykresu<div>vykres 3</div></div> <div>list 1<div>listu 1</div></div> |          |     |         |
| C. seznamu   |       | Technolog       |                |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |
| C. sestavy   |       | Normaliz.       |                |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |
| Stary vykr.  |       | Schvalil        | Josef Blazek   |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |
| Novy vykr.   |       | Datum           | 26-May-11      |                                                                                                                    |                                                                                                                   |          |     |         |



| Zmena       |            | Datum      | Index          | Podpisy | <div> TU v Liberci</div> <div>Sestava analyzatoru</div> <div>BP KVM-241</div> <div>List</div> |
|-------------|------------|------------|----------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Meritko     | Pozn.      | Navrhl     |                |         |                                                                                                                                                                                    |
| 1:250       |            | Kreslil    | Igor Fedchenko |         |                                                                                                                                                                                    |
|             |            | Prezkousel |                |         |                                                                                                                                                                                    |
| C.seznamu   |            | Technolog  |                |         | Typ                                                                                                                                                                                |
| C.sestavy   | BP KVM-241 | Normaliz.  |                |         | Cis.vykresu                                                                                                                                                                        |
| Stary vykr. |            | Schvalil   |                |         |                                                                                                                                                                                    |
| Novy vykr.  |            | Datum      | 29-May-11      |         |                                                                                                                                                                                    |