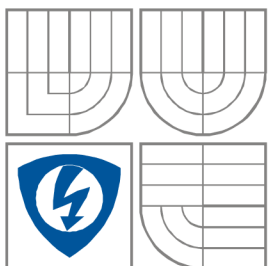


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND  
COMMUNICATION

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

## KONTROLA IMISÍ NA LÉKAŘSKÉM PRACOVÍŠTI.

TEST OF IMMISSIONS ON THE MEDICAL WORKPLACE.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Pavλίna Macková

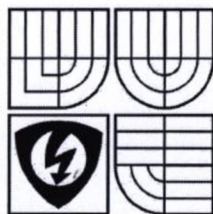
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. Karel Jehlička, CSc.

SUPERVISOR

**BRNO, 2010**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Biomedicínská technika a bioinformatika

**Student:** Pavlína Macková

**Ročník:** 3

**ID:** 106133

**Akademický rok:** 2009/10

**NÁZEV TÉMATU:**

**Kontrola imisí na lékařském pracovišti.**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte problematiku udržení hygienicky přijatelné atmosféry na pracovišti, které využívá látky (plyny) ovlivňující (výkonnost) i pracovníků. Prostudujte metody detekce takových látek a metody měření jejich koncentrací. Zaměřte se na použití plynových analyzátorů například B&K. Zhodnoťte možnost registrace dlouhodobého (pro celý výkon na jednom pacientovi) překročení sumačních limitů. Zajistěte informaci o krátkodobém překročení povolených koncentrací. Uvažte možnost přenosu informací do zvoleného zobrazení stavu pacienta například u anesteziologa. Vyberte nejvhodnější uspořádání odběru plyných vzorků, evidence a archivace výsledků či havárií. Vytvořte schema uvedených aktivit, případně realizujte programově.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

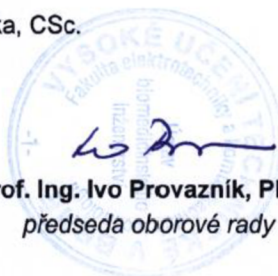
- [1] Rajchl, J., Všetická, M., Encyklopedie fyziky. Akademia Praha 2006. (Absorpce v plyných směsích)
- [2] Popis, vlastnosti a parametry analyzátorů B&K se zdrojem s interferenčními filtry a se zpracováním spektra na připojeném PC. Firemní dokumentace 2000 až 2007.

**Termín zadání:** 8.2.2010

**Termín odevzdání:** 31.5.2010

**Vedoucí práce:** Ing. Karel Jehlička, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**



prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.  
předseda oborové rady

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá možnostmi měření a kontroly imisí na lékařském pracovišti. Seznamuje s plynnými imisemi vyskytujícími se především na operačních sálech a zaměřuje se na možné způsoby detekcí těchto plynů. Dále jsou v práci přiblíženy detekční techniky nabízené firmami Brüel & Kjær a LumaSense Technologies. Pro srovnání je uvedena i možnost detekcí užitím analyzátorů firmy Geotechnical Instruments. Závěr práce je věnován návrhu systému měření plynných imisí na lékařském pracovišti – operačním sále.

## **Klíčová slova**

plyn, medicínální plyny, anestetické plyny, pára, imise, detekce, analýza, koncentrace, lékařské pracoviště, monitorování, klimatizace

## **Abstract**

Bachelor's thesis deals with the possibilities of measurement and test immissions on the medical workplace. It acquaints with the gasses immissions occurring mainly on the surgery. It is focused on possible ways of detection. The Bachelor's thesis describes techniques of detection offered by companies Brüel & Kjaer and LumaSense Technologies. For comparison, there is given the possibility of detection by Geotechnical Instruments. The final section is dedicated to system of measurement air immissions on the medical workplace, especially to surgery.

## **Key words**

gas, medicinal gas, anesthetic gas, immission, vapor, detection, analysis, concentration, medical workplace, monitoring, air-condition



## **Bibliografická citace**

MACKOVÁ, P. *Kontrola imisí na lékařském pracovišti..* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 50 s., 5 příl..  
Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Jehlička, CSc.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Kontrola imisí na lékařském pracovišti jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 31. května 2010

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Karlu Jehličkovi, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji panu Ing. Liboru Salajkovi za poskytnutí odborných konzultací.

V Brně dne 31. května 2010

.....  
podpis autora

# Obsah

Seznam obrázků.....	8
1 Úvod .....	9
2 Imise a jejich vlivy na pracovníky.....	10
2.1 Klimatizace.....	10
2.2 Medicinální plyny.....	11
3 Kvalita ovzduší na pracovišti .....	15
4 Detekce a měření koncentrací látek.....	17
4.1 Detekční principy .....	17
4.2 Detekční trubičky .....	21
4.3 Systém detekce Brüel & Kjær .....	22
4.4 Systém detekce LumaSense Technologies .....	28
5 Vlastní návrh systému měření .....	34
5.1 Schéma systému měření .....	34
5.2 Popis funkcí systému měření .....	36
5.3 Zpracování naměřených výsledků .....	38
Závěr.....	40
Seznam použité literatury .....	41
Seznam zkratk a symbolů .....	43
Seznam příloh.....	44
Přílohy .....	45

# Seznam obrázků

Obr. 1: Měřicí můstek s pellistorovými senzory. ....	17
Obr. 2: Schéma polovodičového senzoru. ....	21
Obr. 3: Schematický diagram vzorkovacího a dávkovacího systému . ....	24
Obr. 4: Hlavní zobrazení (Top View).....	25
Obr. 5: Sloupcový diagram (Bar diagram). ....	26
Obr. 6: Graf plynných koncentrací v závislosti na čase. ....	26
Obr. 7: Rozsah optických filtrů. ....	27
Obr. 8: Schéma monitorování plynů monitorem INNOVA 1316. ....	28
Obr. 9: Okno s grafickým výstupem měřených plynů. ....	29
Obr. 10: Okno s numerickými hodnotami vypočtenými pro měřené plyny.....	29
Obr. 11: Schéma měřicího systému monitoru 1314. ....	30
Obr. 12: Zobrazení detailů měřených dat. ....	31
Obr. 13: Schéma vzorkovacího systému INNOVA 1309. ....	32
Obr. 14: Příklad využití systému INNOVA. ....	33
Obr. 15: Schéma systému měření plynných imisí pomocí jednoho analyzátoru. ....	34
Obr. 16: Schéma systému měření plynných imisí pomocí více analyzátorů.....	35
Obr. 17: Úprava trubičky pro odběr vzorku v případě měření v odvodu klimatizace..	36

# 1 Úvod

Vzhledem ke stále vzrůstajícím nárokům na hygienické limity pracovního prostředí, je třeba zajistit dostatečnou a kvalitní kontrolu imisí na potenciálně nebezpečných pracovištích. Cílem je zabezpečení kvality ovzduší tak, aby nedocházelo k omezení výkonu pracovníků a především, aby nebylo ovlivněno jejich zdraví. Bakalářská práce je zaměřena na monitorování kvality ovzduší lékařských pracovišť, přesněji na monitorování plynných imisí.

Vysoký důraz na kvalitu ovzduší lékařských pracovišť je kladen zejména na oblasti s neustálým příivodem kyslíku, jako jsou anesteziologicko-resuscitační oddělení, jednotky intenzivní péče a operační sály. Přínosné je také monitorování funkčnosti ventilačních zařízení k zabezpečení neustálé, kvalitní výměny vzduchu. Na těchto pracovištích by nemělo docházet ke kontaminaci vzduchu nežádoucími plynnými příměsemi, které mohou vznikat přímo na pracovišti, nebo by se mohly dostat do místnosti ventilačním zařízením. Mezi detekované plyny patří kyslík, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxid dusný a další medicínální plyny, včetně anestetických.

Monitorování operačních sálů vede k optimalizaci pracovních podmínek, jak pro lékaře a zdravotní personál, tak pro pacienty. Detekce anestetických plynů je důležitá především při dlouhodobých operačních výkonech, kdy by mohlo dojít, díky nežádoucím únikům těchto plynů, k ovlivnění soustředěnosti operatérů či ostatních zdravotních pracovníků. Detekce oxidu uhelnatého představuje účinný varovný prostředek při vzniku požáru.

Kromě monitorování plynů je vhodné měřit i aktuální atmosférický tlak. Výsledné hodnoty naměřených koncentrací plynů je nutno přepočíst v závislosti na atmosférickém tlaku, abychom dostali odpovídající výsledky. Ovlivnění koncentrací plynů atmosférickým tlakem je jednoduše vysvětlitelné z často uváděného příkladu „řidkého“ vzduchu ve vysokohorských oblastech. Pocit nedostatku kyslíku ve vzduchu je způsoben poklesem atmosférického tlaku na nižší hodnoty, procentuální zastoupení kyslíku zůstává však stejné.

Bakalářská práce se dále zaměřuje na principy monitorování plynných imisí. V závěrečné části práce je navržen princip měření plynných imisí, který zajistí dostatečnou a spolehlivou kontrolu ovzduší lékařských pracovišť (operačních sálů).

## 2 Imise a jejich vlivy na pracovníky

Kontrola imisí na lékařských pracovištích je důležitá a potřebná především na odděleních chirurgie (operačních sálech) a anesteziologicko-resuscitačních odděleních. Tato oddělení jsou nejvíce náročná na dodržování hygienických limitů imisí vyskytujících se v ovzduší. Kontrola a soustavné monitorování imisí je důležité pro nekomplikovanou léčbu pacientů, ale také pro zajištění optimálních pracovních podmínek pro lékařský personál. Především na operačních sálech, kdy je od operačního týmu očekáván stoprocentní výkon s maximální soustředěností i při několikahodinových chirurgických zákrocích, je třeba zajistit veškeré podmínky k tomu, aby nedošlo k ovlivnění pracovníků nežádoucími imisemi.

Plynné imise vyskytující se na těchto odděleních jsou ovlivnitelné kvalitním klimatizačním systémem, funkčním a nezávadným lékařským přístrojovým (technickým) vybavením, typem a kvalitou používaných inhalačních směsí. Mezi základní monitorované plyny patří kyslík, oxid uhličitý, oxid uhelnatý a anestetické plyny jako například oxid dusný či isofluran.

Jednotlivé faktory ovlivňující kvalitu ovzduší a pracovní podmínky na pracovišti se pokusím přiblížit v následujících podkapitolách.

### 2.1 Klimatizace

Vybavení nemocničních zařízení klimatizačními systémy je v současné době naprosto automatickou a dá se říci i nezbytnou záležitostí. Klimatizační systém umožňuje nahradit přirozené větrání, udržuje optimální teplotu, vlhkost a také vyšší čistotu prostředí, která je pro nemocniční zařízení nutným požadavkem. Oddělení chirurgie, speciálně operační sály, kladou na kvalitu klimatizací požadavky nejvyšší. Hlavními požadavky na klimatizační zařízení je zajištění předepsaných parametrů vzduchu, ochrana otevřené rány proudem filtrovaného vzduchu před kontaminací mikroorganismy, ochrana pacienta před podchlazením a v neposlední řadě ochrana operačního týmu před anestetickými plyny.

Pro čisté prostory se volí třístupňová filtrace. Použitím třístupňové filtrace se sníží zanášení dražších absolutních koncových filtrů a současně se dosáhne jistoty v zamezení průniku prachových částic a mikroorganismů do čistého prostoru. V klimatizačním systému je možno použít 4 typy filtrů. První filtry slouží pro hrubou filtraci. Jejich odlučivost pro atmosférický prach se pohybuje v rozmezí 50 – 80 %. Tyto filtry mají malou tlakovou ztrátu a velkou jímavost. Používají se jako předfiltry nebo při jednostupňové filtraci, kde nejsou velké nároky na čistotu v oblasti jemných částic. Druhým typem jsou filtry pro střední filtraci. Odlučivost těchto filtrů je v rozmezí 80 – 95 %. Požaduje se u nich velká jímavost a schopnost zachytit i jemné částice. Používají se jako předfiltry nebo při jednostupňové filtraci. Třetím typem jsou filtry pro jemnou filtraci. Jejich odlučivost se pohybuje v rozmezí 95 – 99 %. U těchto typů filtrů je požadována malá tlaková ztráta a schopnost zachytit nejjemnější částice. Používají se jako druhý (třetí) stupeň filtrace. Posledním typem filtrů jsou filtry pro absolutní filtraci. Jejich odlučivost je asi 99,9 %. Požaduje se u nich úplné zachycení submikronických částic prachu. Jejich využití je jako třetí nebo další stupeň filtrace pro speciální provozy.

K udržení požadované sterility prostředí však musí být i samotné klimatizační systémy udržovány v čistotě. V případě nedostatečné možnosti údržby, by mohlo dojít vlivem

příznivých teplotních a vlhkostních podmínek k hromadění nečistot v rozvodech klimatizace. Tyto nečistoty (mikroorganismy, bakterie, viry, plísně, alergeny, prach atd.) by se pak mohly šířit po celém nemocničním prostředí a nepříznivě ovlivnit zdraví pacientů i personálu. Všechny díly klimatizační jednotky musí být vyrobeny ze snadno čistitelných, omyvatelných materiálů.

Pro zajištění optimálních pracovních podmínek je vhodné kontrolovat také teplotu a vlhkost vzduchu přiváděného do místností. Teplotu je nutno regulovat v závislosti na funkci jednotlivých oddělení a při regulaci musíme zohledňovat jak požadavky pacientů tak pracovníků. Příliš vysoká, nebo naopak nízká teplota na operačním sále, by mohla nepříznivě ovlivnit pracovní výkon lékařů i ostatního personálu, především při několikahodinových operačních výkonech. Stejně tak příliš nízká teplota může způsobit podchlazení pacienta.

## **2.2 Medicinální plyny**

### **2.2.1. Základní medicinální plyny**

Medicinální plyny jsou vyčleňovány jako samostatná skupina technických plynů. Tyto plyny mají v medicíně své stálé a v mnoha případech i nezastupitelné místo. Za medicinální plyny jsou označovány: kyslík, dusík, oxid dusný, helium, oxid uhličitý, oxid dusnatý a xenon. Z důvodu možnosti vzniku požáru je vhodné monitorovat také koncentraci oxidu uhelnatého.

Medicinální plyny nalézají své uplatnění jako podpora dýchání, pomáhají při vyšetřování plic a kardiovaskulárního systému, slouží při laparoskopických operacích, diagnostice a dalších. Velkou část medicinálních plynů zastupují plyny anestetické. Těmto plynům je proto věnována samostatná kapitola.

#### **Kyslík**

Zastoupení kyslíku v atmosféře se pohybuje kolem 21% obj.. Jedná se o vysoce reaktivní, bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu. Kyslík může přímo reagovat s většinou prvků za vzniku oxidů. Tyto reakce jsou vysoce exotermní, dochází při nich k uvolňování velkého množství tepla.

V pracovním prostředí (v místnosti) je podíl kyslíku ovlivněn možností větrání či účinností klimatizačního zařízení. Za nebezpečný je považován pokles kyslíku ve vzduchu pod 16% obj.. V případě překročení obsahu kyslíku ve vzduchu nad 21% obj. zdravotní riziko nehrozí, zvyšuje se však možnost výskytu požáru. Při zvýšení podílu kyslíku ve vzduchu zhruba na 40% obj. se rychlost spalování zvyšuje asi 10-ti násobně. V uzavřených a špatně větraných prostorách je riziko vzniku požáru ještě vyšší. Velmi důležité je vyvarovat se styku kyslíku s oleji, plastickými mazivy, mastnotami. Při styku kyslíku s těmito látkami, by mohlo dojít k okamžité explozi.

Dalším rizikem při práci se zkapalněným kyslíkem (i ostatními zkapalněnými plyny) je vznik omrzlin, které svým charakterem připomínají popáleniny.

Použití medicinálního kyslíku je především pro podporu dýchání pacientů při poruše dýchacího systému a při dechové nedostatečnosti. Kyslík je dále společně s anestetickými plyny a vzduchem přidáván pacientům do dýchací směsi při chirurgických zákrocích.[19]



## Dusík

Zastoupení dusíku v ovzduší je kolem 78% obj.. Za normálních podmínek je dusík bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Je málo reaktivní.

Ve směsi s 21% obj. kyslíku je dusík neškodný. Koncentrace kyslíku však může být přítomností dusíku snižována. Snižování obsahu kyslíku ve vdechovaném vzduchu způsobí snižování parciální tlaku kyslíku v plicích. Tento stav se může u osob projevit ztrátou vědomí a při pozdním poskytnutí první pomoci vést až ke smrti.

Dusík je v medicíně používán v kapalném stavu v kryobiologii pro skladování orgánů pro transplantace. [19]

## Helium

Helium je bezbarvý, netečný plyn netvořící žádné sloučeniny. V malém množství se vyskytuje v zemské atmosféře, dále v radioaktivních horninách či zemním plynu. Jedná se o nehořlavý plyn, který hoření ani nepodporuje.

Při vyšších koncentracích helium snižuje koncentraci kyslíku ve vzduchu. Zkapalněný může způsobit omrzliny.

V medicíně nalézá helium uplatnění při chlazení. Využívá se u elektromagnetů lékařských tomografů (magnetické rezonanci) k dosažení supravodivého stavu.[19]

## Oxid uhličitý

Oxid uhličitý je za normálních podmínek bezbarvý, nejedovatý a nehořlavý plyn. Nebezpečná je redukce oxidu uhličitého v přítomnosti železa, zinku a některých dalších kovů, kdy vzniká pro lidské tělo toxický oxid uhelnatý.

V medicíně je oxid uhličitý využíván jako dýchací plyn. Přidání CO<sub>2</sub> v přesně stanovené nízké koncentraci (přibližně 5% obj.) do dýchací směsi s kyslíkem zajistí zvýšení efektivity dýchání. Dále se CO<sub>2</sub> uplatňuje například při transplantacích umělých orgánů a laparoskopických operacích.

Vyšší koncentrace oxidu uhličitého mohou být pro člověka nebezpečné. Při koncentraci kolem 8% obj. nastává pocit dráždění sliznice a dýchacích cest, kašel, podráždění očí, bolest hlavy, zvyšuje se krevní tlak. Při koncentracích nad 20% obj. hrozí bezprostřední smrt. Na pracovištích s potenciálním nebezpečím výskytu vyšších koncentrací či úniků CO<sub>2</sub> je proto vhodné provádět monitorování obsahu CO<sub>2</sub> ve vzduchu.

Jak již bylo uvedeno, oxid uhličitý se v lékařství mimo jiné používá pro zvýšení efektivity dýchání či jeho stimulaci. Tohoto účinku může být využito po provedení chirurgického zákroku. Pacientům, kteří nejsou schopni začít samovolně dýchat je do dýchací směsi přidána nízká koncentrace CO<sub>2</sub>, která stimuluje nervovou soustavu. Díky stimulaci dojde k prohloubení a zrychlení dýchání, pacient začne dýchat sám a je možno jej odpojit od dýchacího přístroje. [19]

## Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý (CO) se uvolňuje do ovzduší při nedokonalém spalování. Pro člověka představuje ve vysokých koncentracích značné riziko. Díky tomu, že je oxid uhelnatý bezbarvý a bez zápachu, je nebezpečí možné otravy ještě vyšší.

Oxid uhelnatý se v lidském těle pojí s hemoglobinem daleko lépe než kyslík. Po navázání na hemoglobin vzniká tzv. karboxyhemoglobin (COHb). Úbytek oxyhemoglobinu (vazba kyslíku a hemoglobinu) poté způsobí nedostatečné okysličení tkání. Obsah COHb v těle je závislý na koncentraci oxidu uhelnatého v ovzduší. Za nebezpečné jsou považovány koncentrace již 0,05% obj. CO v ovzduší. Při vyšších koncentracích může docházet k selhávání některých funkcí organismu, projevuje se bolest hlavy, závratě.

Výskyt CO na lékařském pracovišti by mohl být spojen s průnikem CO z vnějšího prostředí. Těmto nežádoucím kontaminacím by měl bránit klimatizační systém a jeho filtry. Přítomnost CO by mohla znamenat také možný výskyt požáru. [15]

### 2.2.2 Inhalační anestetika

Inhalační anestetika jsou při chirurgických zákrocích používána k úvodům do anestezie, ale také pro vedení anestezie celkové. Při použití inhalačních anestetik máme na výběr ze dvou skupin – anestetické plyny a anestetika kapalná (prchavá). Mezi používané anestetické plyny patří oxid dusný, cyklopropan, kyslík a helium. Éter, halotan, isofluran, sevofluran, desfluran a enfluran jsou anestetika prchavá.

Obě skupiny inhalačních anestetik se liší způsobem uchovávání i způsobem podání. Anestetika plynná jsou uchovávána v tlakových nádobách a jsou podávána přímo pomocí narkotizačního přístroje. Oproti tomu anestetika kapalná jsou uchovávána v tmavých skleněných lahvičkách. Před použitím se musí nejdříve kapalina přeměnit na páru, poté jsou podávány pomocí speciálních odpařovačů, které umožňují dávkování v přesných koncentracích. Užití těchto odpařovačů může být v některých případech spojeno s nežádoucím rizikem, který je blíže specifikován níže.

V dalších podkapitolách jsou popsáni zástupci obou skupin inhalačních anestetik i s přiblížením možných nežádoucích účinků.

### Oxid dusný

Všeobecně známým anestetikem je oxid dusný (N<sub>2</sub>O), označovaný též jako rajský plyn. Oxid dusný je netoxický, bezbarvý, nehořlavý plyn, nasládlé vůně a chuti. Při teplotách nad 600°C podporuje hoření a ve směsi se čpavkem a vodíkem tvoří výbušné směsi.

Svým charakterem patří spíše mezi anestetika. Je podáván ve směsi s kyslíkem v poměru 50-70%. Ve velké míře se používá k úvodu do anestezie. K navození celkové anestezie je nutno použít dávek o vyšších koncentracích nebo použít směs oxidu dusného a kyslíku společně s jiným inhalačním anestetikem v doporučeném poměru. Využití oxidu dusného je spojeno také s jeho analgetickými účinky. Své uplatnění nachází například ve stomatologii či porodnictví.

Únik oxidu dusného může být rozpoznán kromě kontrolních měření také díky jeho příjemné, nasládlé vůni. Při dlouhodobějším pobytu v místech s vyšší koncentrací oxidu dusného se může projevit slzení či pálení očí, podráždění nosu, kašel, malátnost, únava, nevolnost. [18][19]

## Isofluran

Isofluran je zástupcem kapalných anestetik. Svými účinky je využíván k úvodu a vedení celkové narkózy. K úvodu do anestezie se používá koncentrace přibližně 0,5% obj., pro uvedení pacienta do celkové anestezie je nutno zvýšit koncentraci na 1,5-3%<sup>1</sup> obj.. Po několika minutách je již možno zahájit chirurgický zákrok. K udržování anestezie se obvykle isofluran přidává ke směsi kyslíku a oxidu dusného. Doporučené koncentrace zastoupení jednotlivých plynů v dýchací směsi jsou uváděny v příbalových informacích léčiv. Dávkování se řídí typem prováděné anestezie a věkovou skupinou pacientů.

K aplikaci isofluranu je nutno používat speciální odpařovač, který bude anestetikum dávkovat s vysokou přesností. K eliminaci nežádoucího úniku přípravku do ovzduší na pracovišti je nutno vždy po ukončení plánovaných chirurgických zákroků odpařovač vyčistit.

Únik isofluranu může doprovázet a indikovat nepříjemný až mírně dráždivý éterový zápach, který může způsobit podráždění dýchacích cest. U osob, které přišli s isofluranem do kontaktu, se mohou následně projevit poruchy dýchání, kašel, třesavka, nevolnost či zvracení.

Při používání isofluranu je doporučeno dbát na kvalitu absorbentu oxidu uhličitého v dýchacím systému. Pokud by došlo k vysušení tohoto absorbentu, může dojít k reakci s oxidem uhličitým za vzniku oxidu uhelnatého a následnému zvýšení hladiny karboxyhemoglobinu v těle pacientů či pracovníků. [18][19][21]

## Sevofluran

Sevofluran patří stejně jako isofluran mezi kapalná prchavá anestetika řadící se do skupiny halogenovaných éterů.

Páry sevofluranu mohou být použity jak k úvodu do celkové anestezie, tak i k jejímu udržování. Podání sevofluranu zajišťuje rychlý úvod i probuzení z anestezie. Zastoupení jednotlivých plynů v dýchací směsi je uváděno v příbalových informacích podávaného inhalačního anestetika. Obecně se k úvodu do anestezie používá koncentrace 5-7% obj., k vedení anestezie je použita koncentrace 0,5-3%<sup>2</sup> obj. ve směsi s kyslíkem a oxidem dusným o doporučených koncentracích.

Únik plynu z odpařovače by u pracovníků mohl vyvolat útlum dýchacího a oběhového systému. Tyto změny se negativně projeví na jejich pracovním výkonu.

Při používání sevofluranu je nutno dbát obdobně jako u používání isofluranu na kvalitu náplně pohlčovače CO<sub>2</sub>. Při použití suché náplně pohlčovače může dojít k zahřívání, uvolňování kouře nebo vzplanutí v anesteziologickém přístroji. Zahřívání může způsobit také rozdílné dávkování anestetika oproti nastavení na odpařovači. [18][19][20]

---

<sup>1</sup> Příbalový leták inhalačního anestetika Forane 1x100ml

<sup>2</sup> Příbalový leták inhalačního anestetika Sevorange 250ml

## 3 Kvalita ovzduší na pracovišti

Podmínkami ochrany zdraví na pracovištích se kromě příslušných norem zabývá Nařízení vlády 361/2007 Sb. Toto nařízení zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství. Upravuje například rizikové faktory pracovních podmínek, jejich členění, hygienické limity, metody a způsob jejich zjišťování, bližší hygienické požadavky na pracoviště a pracovní prostředí.

Nařízení vlády dále definuje hygienické limity chemických látek upravených dle zákona o chemických látkách. Jedná se o přípustné expoziční limity a nejvyšší přípustné koncentrace.

Konkrétní hodnoty přípustných expozičních limitů a nejvyšších koncentrací chemických látek jsou uvedeny v Nařízení vlády 361/2007 Sb.<sup>3</sup> Dále se nařízení vlády zabývá úpravou hodnocení inhalačních expozic a způsobem měření škodlivin v pracovním prostředí.<sup>4</sup>

Vzhledem k nutnosti zajistit kromě ochrany pracovníků, také bezpečnost pacientovi, je nutné přizpůsobit veškeré uváděné hodnoty přípustných expozičních limitů i nejvyšších koncentrací látek, rozmezí odběrů vzorků či další zjišťované faktory konkrétní situaci. Pacient nesmí být ohrožen na životě i při vyhlášení havarijního stavu. V takovém případě je nutno s tímto počítat a vybavit pracoviště například kyslíkovými maskami pro personál či zvolit jiný vhodný způsob řešení vzniklé situace.

### Přípustný expoziční limit

Označení přípustný expoziční limit (PEL) určuje celosměnový časově vážený průměr koncentrací plynů, par či aerosolů v pracovním prostředí. Jedná se o koncentrace, jimž může být vystaven zaměstnanec během pracovních směn v období jednoho týdne, tak aby nedošlo k poškození jeho zdraví či ohrožení jeho pracovního výkonu. Přípustný expoziční limit se vztahuje k práci zaměstnance, jehož průměrná plicní ventilace nepřekročí 20 l/min během osmihodinové směny. Koncentrace látky v pracovním ovzduší, která vzniká při technologickém procesu, nesmí překročit 1/3 přípustného expozičního limitu.[1]

### Nejvyšší přípustná koncentrace

Pokud hovoříme o nejvyšší přípustné koncentraci látky, máme na mysli takovou koncentraci, již nesmí být pracovník během směny vystaven. S nejvyšší přípustnou koncentrací porovnáváme časově vážený průměr koncentrace látky měřené po dobu cca 15 minut. Počet úseků, ve kterých byla povolena koncentrace překročena, se může opakovat maximálně 4x s odstupem jedné hodiny. [1]

---

<sup>3</sup> Nařízení vlády 361/2007 Sb., příloha č. 2, část A

<sup>4</sup> Nařízení vlády 361/2007 Sb., příloha č. 3, část C

## Další způsoby zabezpečení ochrany zdraví

K zabezpečení ochrany zdraví při práci jsou stanoveny ochranné pracovní prostředky. U zaměstnanců, kteří trvale používají osobní ochranné pracovní prostředky, jsou během směny zařazeny povinné bezpečnostní přestávky.

Důležitým faktorem ochrany zdraví je i zajištění dostatečného větrání – přirozeného/nuceného a dostatečné proudění vzduchu. Množství vyměňovaného vzduchu je určeno charakterem vykonávané práce. Minimální množství přirozeného vzduchu přiváděného na pracoviště je udáváno v rozmezí 50 m<sup>3</sup>/h , 70 m<sup>3</sup>/h nebo 90 m<sup>3</sup>/h, dle zařazení vykonávané práce do příslušné třídy<sup>5</sup>. Nucené větrání musí být použito vždy, pokud přirozené větrání prokazatelně nepostačuje k celoročnímu zajištění ochrany zdraví zaměstnance. Přiváděný vzduch musí být filtrován a v zimě ohříván. Oběhový vzduch je nutné vyčistit tak, aby zpětný vzduch přiváděný na pracoviště neobsahoval chemické látky nebo aerosoly včetně prachů v koncentraci vyšší než 5 % jejich přípustného expozičního limitu. Chemická látka či aerosol musí být zachyceny přímo u zdroje a to zakrytím zdroje nebo vybavením zdroje odsáváním. Odsávání má zamezit šíření plynu či aerosolu do pracovního ovzduší a znemožnit z venkovního prostředí zpětné nasátí již odvedených látek. [1]

Hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro zdravotní zařízení, ale i další vnitřní prostředí pobytových místností, jsou stanoveny také Vyhláškou 6/2003 Sb. Jsou zde uvedeny mimo jiné i limitní koncentrace chemických faktorů a prachu v těchto prostředích.<sup>6</sup> [2]

---

<sup>5</sup> Nařízení vlády 361/2007 Sb., příloha č. 1, část A, tabulka 1

<sup>6</sup> Vyhláška 6/2003 Sb., příloha č. 2

## 4 Detekce a měření koncentrací látek

Analyzátory plynů se používají pro detekce toxických plynů, detekce úniků, měření koncentrací specifických plynů, měření kyslíku ve spalinách či k měření koncentrací hořlavých plynů a par ve vzduchu. Dalšími vyhledávanými analyzátory jsou zabezpečovací analyzátory pro signalizace nebezpečí výbuchu. Analyzátory slouží také jako ochrana před negativním působením nadměrných koncentrací nebezpečných látek na člověka.

### 4.1 Detekční principy

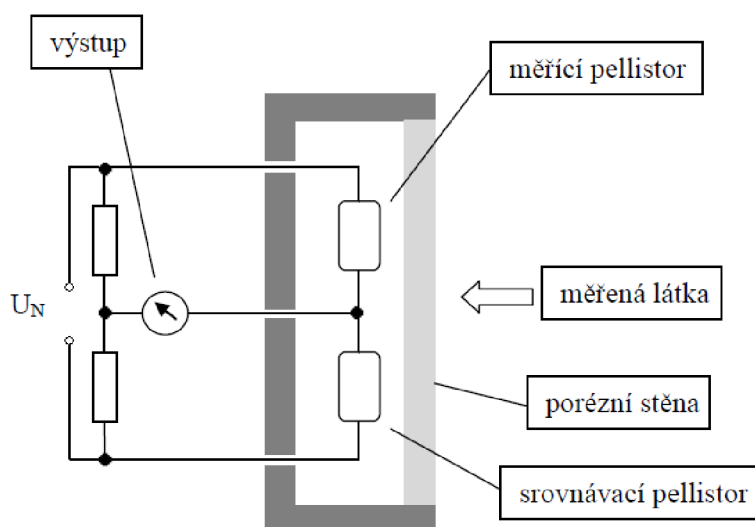
#### Katalytické spalování

Metoda katalytického spalování je určena především pro měření koncentrace hořlavých plynů a par. Tato metoda je založena na použití pellistorového senzoru. Měření koncentrace plynů vychází z množství tepla uvolněného při řízené spalovací reakci.

Analyzátor je složen z elektricky žhaveného tělíska, na jehož povrchu je katalyticky účinná vrstva, na níž probíhá spalovací reakce měřené látky. Při spalování dochází k nárůstu teploty a tím ke zvýšení elektrického odporu.

Konstrukce pellistoru sestává ze dvou spirálek tenkého platinového drátku (0,03 až 0,1mm), zalitých v keramických perličkách vytvořených na bázi oxidu hlinitého. Pellistor je zapojen do Wheatsonova můstku spolu s dalším pellistorem, na kterém však katalytická reakce neprobíhá. Tento referenční pellistor kompenzuje možné rušivé vlivy při měření.

Při měření koncentrací plynů máme na výběr ze dvou možných způsobů analýzy. První, označovaný jako neizotermní, je způsoben vyvoláním spalovací reakce přítomným hořlavým plynem.



Obr. 1: Měřicí můstek s pellistorovými senzory.

Při reakci dojde ke zvýšení teploty a tím i zvýšení odporu. Zvyšování odporu následně způsobí elektrickou nerovnováhu můstkového zapojení a měřená koncentrace hořlavého plynu je úměrná výstupnímu elektrickému napětí nebo proudu, dle typu měření.

Druhý způsob měření, izotermní, spočívá v udržení konstantní teploty citlivého prvku. Koncentrace měřené hořlavé látky je úměrná elektrickému příkonu, který potřebujeme k udržení konstantní teploty pellistoru.

Pellistorové senzory se vyznačují stabilitou, vysokou rychlostí odezvy (do 10s), velkým rozsahem pracovních teplot (-40°C až 60°C, někdy i 150°C). Nevýhodou těchto senzorů však je potřeba minimálního obsahu kyslíku 10% obj.. Dále funkčnost pellistoru ovlivňují katalytické jedy, které mohou způsobit otravu pellistoru a tím snížit jeho citlivost. Vyšší energetickou náročnost kompenzuje nižší pořizovací cena.

Pellistor nedokáže v několikasožkové směsi rozlišit jednotlivé látky a proto je jeho využití především k zabezpečovacím účelům, tedy měření obsahu hořlavých plynů a par ve vzduchu. [4] [5] [6]

## **Elektrochemický princip**

Elektrochemický detekční princip využívá elektrochemických senzorů především při detekcích kyslíku či nízkých koncentrací toxických látek v ovzduší. Senzory se člení do tří skupin. První ampérometrické senzory jsou používány v menší míře. Jsou založeny na detekci proudu procházejícího mezi dvěma elektrodami ponořenými do elektrolytu. V měřicím obvodu je zapojen zdroj stejnosměrného napětí, jehož hodnota odpovídá limitnímu proudu určeného plynu. Z velikosti limitního proudu získáváme koncentraci měřené látky.

Druhou možností elektrochemických detekcí jsou senzory galvanometrické. Tyto senzory využívají měření v gelovém či tekutém elektrolytu. Článek s gelovým elektrolytem využívá systém 2 až 4 elektrod. Prostor s elektrolytem a elektrodami odděluje od okolní atmosféry difúzní bariéra vyrobena nejčastěji z teflonu, polypropylenu či silikonového kaučuku. Při měření koncentrace kyslíku dochází k redukci molekul kyslíku na katodě a oxidaci materiálu druhé elektrody. Tato oxidace je určující pro životnost galvanometrických senzorů. Probíhající reakcí na elektrodách dojde ke změně elektrického potenciálu článku. Proud, který článkem prochází je úměrný parciálnímu tlaku kyslíku v měřeném vzorku.

Metoda gelového elektrochemického článku je vhodná především pro běžné plyny a je poměrně spolehlivá i levná. Nevýhodami je dlouhá doba odezvy, možnost poškození vysokou koncentrací plynu a možný vznik interferencí (především při měření ozonu).

Elektrochemický článek s tekutým elektrolytem sestává ze tří elektrod ponořených do roztoku elektrolytu. Třetí elektroda funguje jako referenční. Je určena ke stabilizaci potenciálu pracovní elektrody a umožňuje rozšířit lineární oblast měření. Mezi anodou a difúzní bariérou je tenký film elektrolytu, kde dochází k elektrochemické reakci. Se vzrůstající teplotou vzrůstá i potenciál. Tato metoda má prakticky neomezenou životnost i rychlou odezvu. Měření je prováděno s vysokou citlivostí k daným plynům a je zaručen nízký vliv teploty a vlhkosti. Metoda je spíše vhodná pro stacionární aplikace.

Posledním využívaným typem je elektrochemický senzor s pevným elektrolytem. Elektrolytem je keramická hmota, ve které při měření dochází k pohybu iontů. Keramická hmota je za normální teploty nevodivá. Je proto nutné hmotu zahřát až nad hodnotu 600°C, optimálně v rozmezí 650°C až 950°C. Při těchto teplotách dosahuje pohyblivost elektrických



nábojů hodnot umožňujících snímat napětí na elektrodách. Ve výsledku dochází k porovnání koncentrace měřeného plynu s koncentrací plynu ve srovnávací směsi. [4] [6]

## **Infračervený princip**

Výhodou senzorů pracujících s infračerveným zářením je, že nemusí přicházet do přímého kontaktu s detekovaným plynem. Nedochozí tak k ovlivnění jejich činnosti a ani životnost není zásadně omezena. Hlavní součásti detektoru jsou chráněny optickými prvky. Dochází pouze k interakci molekul plynu s infračervenými paprsky. Do styku s plynem přichází pouze vzorkovací komora a související součásti. Tyto součásti jsou chráněny proti korozi a bývají navrženy tak, že jsou snadno vyměnitelné.

Infračervené senzory se vyznačují vysokou mírou selektivity a také širokým spektrem citlivosti. Můžeme měřit koncentrace v řádu ppm až po 100% dolní meze výbušnosti.

Senzory infračerveného záření využívají oblast elektromagnetického spektra v oblasti vlnových délek mezi  $3 \cdot 10^3$  až  $3 \cdot 10^4$  nm. Detekce plynů probíhá na základě měření absorpcí na určité frekvenci infračerveného záření. Tato frekvence odpovídá vibraci nebo rotaci molekulární vazby mezi atomy.

Jednotlivé molekuly plynů reagují specificky na velikost frekvence infračerveného záření, důvodem je rozdílná síla chemické vazby mezi atomy a jejich hmotnost. Absorbované spektrum atomů (molekul) je poté srovnáno se známým spektrem plynů.

Koncentrace měřeného plynu se zjišťuje na základě pohlceného záření či měření teploty. Nárůst teploty odpovídá pohlcené energii při interakci vln emitovaných infračerveným zářením s molekulami plynu. Pohlcená část vlnění má stejnou frekvenci s vibrací atomových vazeb.

Senzory pracující s infračerveným zářením jsou vhodné například pro detekce CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. Nepodléhají vlivům teploty ani vlhkosti a mají vysokou rychlost odezvy. Výhodou je také jejich odolnost vůči katalytickým jedům a expozici vysokým koncentracím měřených plynů. Mají prakticky neomezenou životnost. [4] [6]

## **Fotoionizační princip**

Fotoionizační senzor pracuje na principu ionizace molekul plynu UV zářením (ultrafialovou zářivkou) a následného měření elektrického náboje. Je používán především k detekci těkavých organických látek.

Senzor detekuje náboj vznikající ionizací plynu a následně jej převádí na elektrický proud, který je dále zesílen a převeden na koncentraci měřeného plynu.

UV lampa je naplněna plynem o nízkém tlaku. Dodáním energie plynu, dojde k vybuzení ultrafialového záření. Při práci s UV lampou je nutno dbát na hodnotu jejího ionizačního potenciálu. Hodnota ionizačního potenciálu UV lampy musí být větší než ionizační potenciál plynu. Tímto vztahem je podmíněna ionizace plynu. UV lampa musí být pravidelně čištěna, neboť je v přímém styku s detekovaným plynem. Znečištění může způsobit nepřesnosti v měření.

Fotoionizační senzory jsou moderními prostředky detekce plynů nepodléhající vlivům teploty ani vlhkosti. Vyznačují se vysokou citlivostí, rychlostí odezvy kolem 3s a přesností i při nízkých koncentracích. Jedním detektorem je možno měřit široké spektrum látek. Pro většinu sloučenin ovšem není zajištěna dostatečná selektivita. [4] [6]

## Tepelně-vodivostní princip

Senzor (TCD) využívaný u tepelně-vodivostního principu pracuje na základě porovnávání tepelné vodivosti vzorku s referenčním plynem, kterým bývá obvykle vzduch. Vychází z poznatku, že tepelná vodivost plynu je tím větší, čím menší je průměr molekuly plynu a čím vyšší je teplota a měrné teplo plynu. Vychází z rovnice množství převedeného tepla  $Q [J]$ , které projde plochou  $S [m^2]$  za čas  $t [s]$ .

$$Q = \lambda S t \frac{d\theta}{dx}, \quad (1)$$

kde  $\lambda$  je měrná tepelná vodivost [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ],  $\frac{d\theta}{dx}$  teplotní spád [ $K \cdot m^{-1}$ ].

Tepelnou vodivost směsi plynů, které spolu navzájem nereagují, lze ve většině případů vypočítat podle směšovacího pravidla

$$\lambda_s = \sum_{i=1} m_i \lambda_i, \quad (2)$$

kde  $\lambda_s$  a  $\lambda_i$  jsou měrné tepelné vodivosti směsi a jednotlivých složek,  $m_i$  molové zlomky složek.

Měřicí zařízení sestává ze dvou komůrek válcového tvaru, v nichž se nachází vyhřívaný termistor nebo platinové či wolframové vlákno. Pomocí elektrického proudu dochází k zahřátí komůrek na teplotu 100°C až 150°C. Měřicí komory jsou konstruovány tak, aby teplo bylo přenášeno především tepelnou vodivostí plynu a ostatní způsoby přenosu, jako je záření a přímý styk vlákna s blokem, byly zanedbatelné.

Jedna komůrka je vystavena působení měřeného plynu, druhá pak obsahuje plyn referenční. Rozdílnou hodnotou tepelné vodivosti měrného plynu oproti plynu referenčnímu dosáhneme změnu teploty měrného prvku. S vyšší tepelnou vodivostí měrného plynu se teplota měrného prvku sníží a naopak. Změna teploty způsobí následně změnu elektrického odporu, který vyhodnocujeme. Celý princip je obdobný principu pellistorových senzorů.

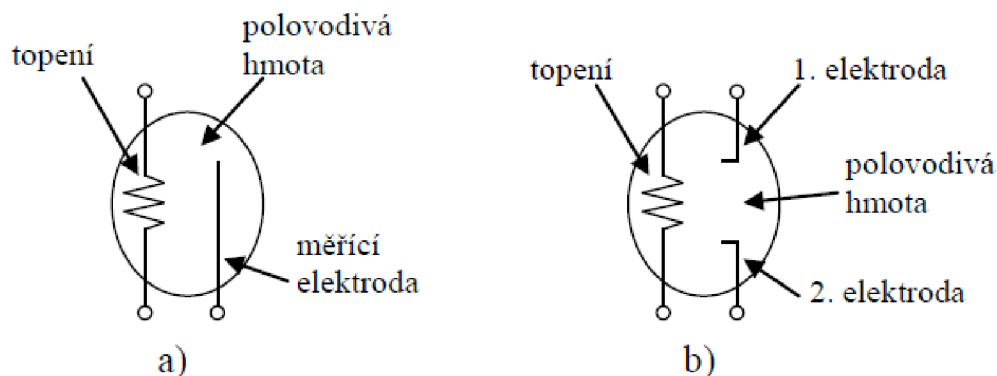
Tepelně-vodivostní analyzátoři jsou vhodné pro binární směsi nebo jiné směsi plynů s dostatečným rozdílem měrných tepelných vodivostí. Můžeme je použít pro analýzu směsí  $H_2$  a  $N_2$ ,  $H_2$  a  $O_2$ ,  $CH_4$  a vzduch,  $SO_2$  a vzduch. Výhodou těchto analyzátorů je, že mohou pracovat po dlouhou dobu téměř bez obsluhy a vyznačují se vysokou rychlostí odezvy. Nevýhodou však je možnost ovlivnění měření změnou okolní teploty. Plyny s nižší tepelnou vodivostí než vzduch způsobují interference. [4]

## Polovodičový princip

Polovodičové senzory umožňují v současné době detekce až 150 druhů plynů. Při tomto principu detekce jsou nejvyužívanější polovodičové senzory oxidového typu. Senzory tohoto typu využívá polovodičové vlastnosti oxidů kovů. Oxidy mohou na svém povrchu adsorbovat vzdušný kyslík a tím způsobí polovodivost senzoru. V závislosti na druhu použitého senzoru dochází k ovlivnění požadovaných vlastností a selektivity senzoru. Po zahřátí topným vinutím (platinová, platiniridiová, wolframová spirálka) na teplotu kolem 300 až 400°C dochází k ionizaci kyslíku. Takto aktivovaný kyslík může vstupovat do reakcí s molekulami plynů a par za vzniku nestabilních radikálů. Při reakcích dochází ke změnám

elektrické vodivosti oxidové vrstvy, která je způsobená nahrazením molekul kyslíkových molekulami detekovaných plynů či par.

Pro detekční vrstvy je využíváno mikrokrystalických oxidů kovů s přídavkem katalyticky aktivních složek. Nejčastěji používané jsou oxidy  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Topná spirálka může být u některých přístrojů využívána také jako elektroda pro měření vodivosti (Obr. 2 a).



Obr. 2: Schéma polovodičového senzoru.

Detektory polovodičového typu mají velmi dlouhou životnost. Díky nepříliš vysoké selektivitě se využívají především pro orientační měření a je možno je uplatnit i při měřeních v domácnostech. Nejčastěji jsou však využívány pro detekce úniků plynů, zjišťování netěsností. Další uplatnění nalezneme pro detekce čistoty vzduchu či obsahu oxidu uhelnatého. Odezva měření se pohybuje od několika sekund až po desítky minut. Výstupní signál je obvykle logaritmicky závislý na koncentraci plynu.

Polovodičové senzory jsou výrazně závislé na vlhkosti, teplotě, tlaku a proudění. Jak již bylo zmíněno, senzory jsou málo selektivní a nepřesně reagují na některé plyny. Senzor potřebuje pro svou činnost kyslík o minimální koncentraci 18% obj., kalibrace systému bývá často velice obtížná a není možné provádět kalibrace přímo na místě. [4] [6]

## 4.2 Detekční trubičky

Za nejjednodušší detekční techniku plynů můžeme považovat tzv. detekční trubičky. Tenká skleněná trubička je vyplněna jemným práškem (nosičem), na kterém jsou zakotveny příslušné reagentie či jejich směsi. Odložením konce detekční trubičky a následným nasátím plynu pomocí pumpičky dojde k chemické reakci specifického plynu a reagentie. Reagentie se zbarví. Výška zbarvené směsi odpovídá koncentraci měřeného plynu, kterou určíme odečtením ze stupnice vytištěné na každé trubičce.

Životnost detekčních trubiček se pohybuje v rozmezí 2 až 3 let. K nasávání plynu slouží pístový princip – pumpička. Právě díky tomuto pístovému principu je umožněno několikanásobné použití trubiček. Opakovatelnost měření je zhruba 5 – 15% v závislosti na koncentračním rozsahu měření.

Detekční trubičky můžeme dle jejich konstrukce použít k měření jednoho plynu, měření více plynů najednou (Polytec) či jako difuzivní. Na lékařském pracovišti můžeme využít také detekčních trubiček určených pro stanovení kvality stlačeného vzduchu v dýchacích přístrojích. Dostupné druhy detekčních trubiček jsou shrnuty v příloze (Tabulka 4).

Na trhu máme k dispozici například detekční trubičky Gastec, ke kterým je dodávána i řada speciálních doplňků a příslušenství. Například pumpička GV-100S má v sobě zabudovaný diamantový nožik pro usnadnění odlamování špiček detekčních trubiček. Konstrukce pístu umožňuje snadné použití a pro širší rozsah měření nabízí nasávání 100 ml nebo 50 ml plynu. Pro použití systému detekčních trubiček k měření nebezpečných plynů a par v oblasti kontroly hygieny slouží přenosný kufřík. Tento kufřík je vybaven pumpičkou GV-100S, hadicovou sondou pro odběr vzorků z obtížně dostupných míst, sadou 12 detekčních trubiček, sadou kouřových trubiček pro měření směru proudění vzduchu a příručkou.

Na lékařských pracovištích naleznou detekční trubičky uplatnění spíše při rychlých orientačních měřeních a v případech, kdy nemáme k dispozici automatický kontinuální detekční systém. [3]

### **4.3 Systém detekce Brüel & Kjær**

Lékařské prostředí klade velmi vysoké požadavky na hygienické limity plynů či výparů. Měření na těchto pracovištích potřebují být maximálně selektivní, citlivé, stabilní a s dobrým časem odezvy. Kromě potřeby monitorování koncentrací plynů je třeba také, v případě naměření nebezpečně vysoké koncentrace plynu, neprodleně informovat spuštěním automatického alarmu. Dostupné monitory firmy Brüel&Kjær monitor toxických plynů (Toxic-gas Monitor Type 1306) a monitor k analýze více vzorků plynů (Multi-gas Monitor Type 1302) tyto požadavky splňují. Oba analyzátory jsou jednoduché pro nastavování, jsou schopny pracovat samostatně bez potřeby neustálé kontroly, vyznačují se snadnou kalibrací, nevyžadují vysoké náklady na údržbu a jsou vysoce spolehlivé.

Využití Brüel&Kjær plyných monitorů spadá nejen do oblasti pracovního zdraví a hygieny. Monitory mohou být použity také k včasné detekci úniků či náhodných uvolnění plynů, k monitorování kvality vzduchu a vyhodnocování ventilačních systémů a také pro monitoring emisí.

#### **Monitor k analýze více vzorků plynů (Multi-gas Monitor Type 1302)**

Monitor k analýze více vzorků plynů (dále jen monitor 1302) umožňuje měření koncentrací až 5 plynů a vodních výparů v jakékoliv plynné směsi. Selektivita měření je závislá na zvoleném optickém filtru. V monitoru je umístěn jakýsi filtrový „kolotoč“, na kterém může být umístěno až 5 optických filtrů. Tímto dosáhneme možnosti monitorování pěti plynů současně.

Monitor 1302 se vyznačuje schopností automatického nastavení pro přítomný druh plynu interferující s měřeným vzorkem. Vzorky vzduchu mohou být pomocí trubiček přiváděny k analýze až z 50 m vzdálených míst. Výsledné naměřené koncentrace detekovaných plynů spolu s dalšími doplňujícími informacemi jsou zobrazeny na obrazovce a při kontinuálním měření jsou neustále obnovovány. Doba měření jednoho plynu se pohybuje kolem 35s, při měření 5 plynů se měření prodlouží na 105s. Veškerá data získaná během monitorování jsou ukládána v paměti a mohou být kdykoliv znovu zobrazena na displeji obrazovky či vytištěna.

Společně s dostupným aplikačním softwarem (Application Software type 7620) a jedním nebo dvěma dávkovači/vzorkovači (Multipoint Sampler and Doser 1303) dosáhneme rozšíření monitorovacích schopností celého systému. Takto upravený monitorovací systém

nám umožní souvislé monitorování vzorků vzduchu přivedených až z 6 (nebo 12) rozdílných míst. [7]

### **Monitor toxických plynů (Toxic-gas Monitor Type 1306)**

Monitor toxických plynů (dále jen monitor 1306) je využíván pro detekce jednotlivých plynů, ale může být použit i v případě detekci směsí. Optický filtr, který je v monitoru nainstalovaný určuje specifické použití pro zvolený monitorovaný plyn.

Monitor je obsluhován a kontrolován přes PC. Uživatel zvolí intervaly měření koncentrací monitorovaného plynu a následně jsou prováděny automatické analýzy vzorků vzduchu. Monitor se hodí pro použití v otevřených i uzavřených prostorech a není náročný na obsluhu.

K monitorovacím zařízením je k dispozici i aplikační software (Application Software Type 7619 nebo Application Software Type 7621). Softwary jsou určeny pro jeden počítač a umožňují kontrolu 31 monitorů (software 7619) nebo 3 monitorů (software 7621). Tyto dva články vytváří společně monitorovací systém schopný automatického sběru, ukládání, analýzy a testování měřených dat. Výstupy všech prováděných operací jsou zobrazeny na obrazovce počítače formou tabulek, sloupcových diagramů či grafů a jsou neustále aktualizovány.

Software kromě ovládání průběhu měření představuje také informativní jednotku v případě zjištěných nebezpečných koncentrací měřených plynů. V případě, že koncentrace přesáhne předem definovanou úroveň, software automaticky spustí signalizaci. [7]

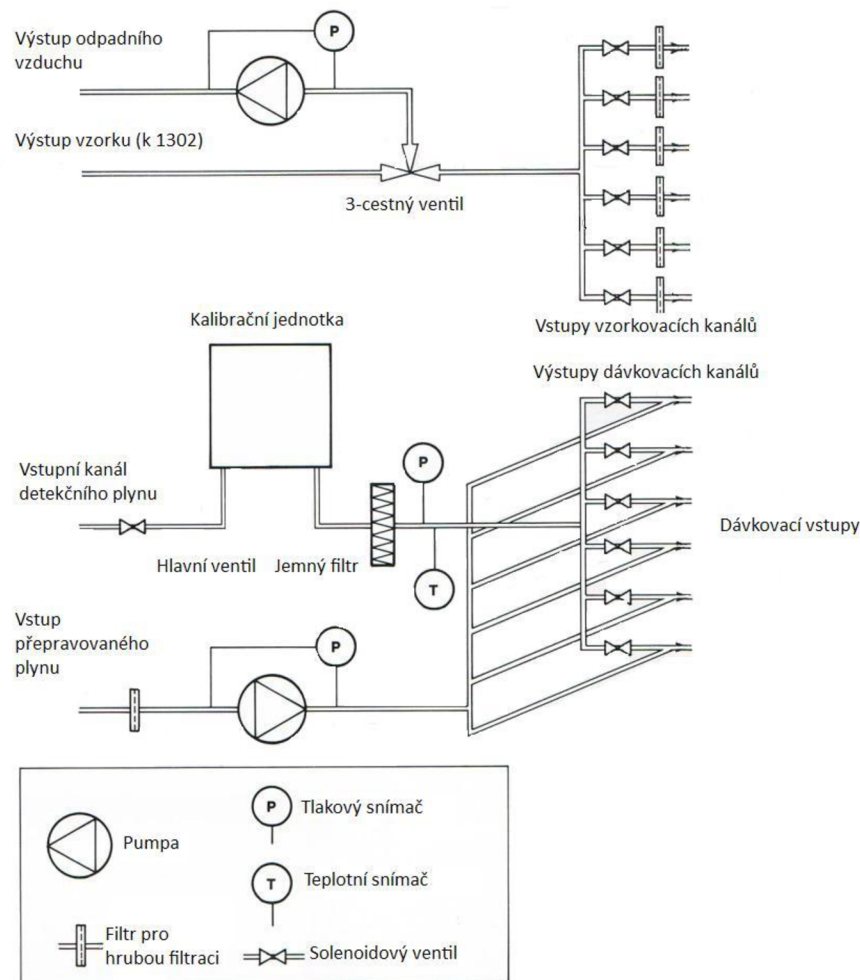
### **Vzorkovací a dávkovací systém pro přívod vzorků z více odběrových míst (Multipoint Sampler and Doser 1303)**

Vzorkovací a dávkovací systém používaný firmou Brüel & Kjær (dále jen dávkovací a vzorkovací systém 1303) slouží k dvěma základním operacím s detekovanými plyny. V prvním případě dochází ke vzorkování vzduchu v 6 lokalitách a následnému dodání těchto vzorků k analýze monitoru 1302. Jednotlivé vzorkovací body od sebe mohou být vzdáleny až 50m, což umožňuje monitorování i v potenciálně nebezpečném (výbušném) prostředí.

V druhém případě může být vzorkovací a dávkovací systém 1303 využit pro komplexní analýzu změn složení vzduchu či kontrolu ventilační efektivity. Vzorky vzduchu jsou dodávány trubičkami opět z až 6 různým míst vzdálených až 50m. Ve vzorkovacím a dávkovacím systému 1303 dojde k označení těchto vzorků a automatickému počítání jejich množství. Poté je označený vzduch opět navzorkován a poslán k analýze monitoru 1302.

Vzorkovací systém má všech 6 přístupových kanálů opatřených ventilem a jsou připojeny na přední desce 1303. Těchto šest kanálů se následně spojí a dostává se k třicestnému ventilu. Odtud jsou buď vzorky poslány k analýze monitoru 1302, nebo odeslány skrz pumpu na výstup jako odpad.

Kanály dávkovacího systému jsou taktéž opatřeny ventilem. Každý kanál má navíc na vstupu hubici sloužící ke zmenšení vnitřního průměru kanálu a tím k úpravě poměru toku detekovaného plynu. Všech šest kanálů se upevňuje na přední panel 1303. Na zadním panelu jsou umístěny další 2 vstupní kanály: vstup detekčního plynu a vstup pro přepravu vzduchu. Dávkovací systém umožňuje kontinuální i přerušované dávkování.



**Obr. 3: Schematický diagram vzorkovacího a dávkovacího systému.**  
 Vzorkovací systém je zobrazen na obrázku nahoře, dávkovací systém dole.

Pro získání podrobnějších informací potřebných k analýze, je k dávkovacímu i vzorkovacímu systému dodán ještě teplotní snímač. Měřicí rozsah snímače je od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+50^{\circ}\text{C}$  s odchylkou  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Snímač upřesní informace o prostředí odebraných vzorků. Schéma dávkovacího a vzorkovacího systému je zobrazeno na Obr. 3.

Vzorkovací a dávkovací systém 1303 je dálkově řízený přes rozhraní IEEE 488/IEC625-1, může být také řízen monitorem 1302 přes rozhraní RS 232C. Systém nevyžaduje žádné speciální nastavování. Kalibrace stejně jako úkon dávkování a vzorkování probíhá samostatně. 1303 kalibruje každou dávkovací trysku samostatně. Kalibrace umožní systému 1303 získat přesné informace o množství detekovaného plynu dodávaného během dávkovací procedury. Množství dodávaného detekovaného plynu je počítáno z efektivní průtokové oblasti. Získáváme také informace o tlaku, teplotě a dávkovací periodě.

Spolehlivost měření vzorkovacího a dávkovacího systému je zaručena automatickým testováním hardwaru i softwaru, tato kontrola však může být provedena i mimo pravidelné kontroly spuštěním přes řídicí PC. V případě výskytu problému systém informuje o druhu problému a navrhnou postup řešení.

Použití vzorkovacího a dávkovacího systému 1303 společně s monitorem 1302 umožňuje široký rozptyl měření, například ke kontrole klimatizačního systému. Pro tento účel je použit dávkovací/vzorkovací systém jako doplňkový. Dávkovací systém označuje dodávky vzduchu do místnosti se známým množstvím detekovaného plynu. Vzorkovací systém pak bere vzorky vráceného vzduchu z místnosti a dodává vzorky k analýze monitoru 1302.

Zatímco monitor 1302 vykonává jednu analýzu, systém 1303 odebírá z místnosti další vzorek k analýze. Jakmile je známo množství dodávaného detekovaného plynu do místnosti a monitor 1302 určí zbývající koncentrace detekovaného plynu, může být vykonán propočet ventilačního systému. [8]

## Aplikační software Brüel & Kjær

K rozšíření možností zpracování a kontroly informací jsou k monitoru dodávány dva aplikační softwary (Application Software for Toxic-gas Monitoring - Types 7619 and 7621). Vybrané aplikační softwary poskytují maximální komunikaci s monitorem 1306 a zajišťují veškerou kontrolu nad probíhajícími monitorovacími procesy. S pomocí softwaru typu 7619 může být ovládáno až 31 monitorů plynů naráz. Oproti tomu software typu 7621 umožňuje ovládání maximálně 3 monitorů plynů.

V případě naměření příliš vysokých koncentrací analyzovaného plynu software na tento problém automaticky upozorní užitím signalizačního systému. Není tak třeba neustálé osobní kontroly výstupních dat. Kromě signalizací také systém zabezpečuje kalibrace monitorů a data o kalibracích ukládá pro možné pozdější prohlédnutí.

Data naměřená pomocí monitorů aplikační software automaticky odečte po ukončení jedné měřicí sekvence. Po tomto odečtení jsou aktualizována veškerá předchozí data. Aplikační software zpracovává získaná data do 4 různých formátů. První formát – hlavní (Top View, Obr. 4) zobrazuje aktuální provozní situaci, monitorovací výsledky a pracovní status. S hlavním zobrazením bývá zobrazován také druhý formát zpracování dat, sloupcový diagram (Bars format, Obr. 5), který poskytuje rychlé reference o aktuálních výsledcích měření při každé signalizační monitorovací úrovni. Formát získaných dat (Data Record) zobrazuje kompletní monitorovací výsledky ve formě tabulek. Z tohoto formátu můžeme získat kompletní průměrné koncentrace plynů z daného monitoru sledované během 15 minut až 1 týdne. Posledním možným formátem zpracování výstupních informací je grafický výstup (Graph mode, Obr. 6). Grafický formát zobrazí křivky plynných koncentrací v závislosti na čase, který definuje sám uživatel. Na stejných osách mohou být zobrazeny až 3 monitorovací výsledky umožňující jejich vzájemné porovnání. [9]

Top View				Date: 1988-05-06
				Time: 10:06:50
Monitor no.	Conc( mg/m <sup>3</sup> )	Status	User text	
1	0.47	8	Storage tank no.3	
2	0.28	8	Fractioning column 1	
3	2.36	8	Storage tank no.8	

1: Com. error   2: Mon. alarm   3: User defined alarm   4: Error flag(s) set  
 5: F.calib. enable   6: F.calib. in progress   7: Power down   8: Ok

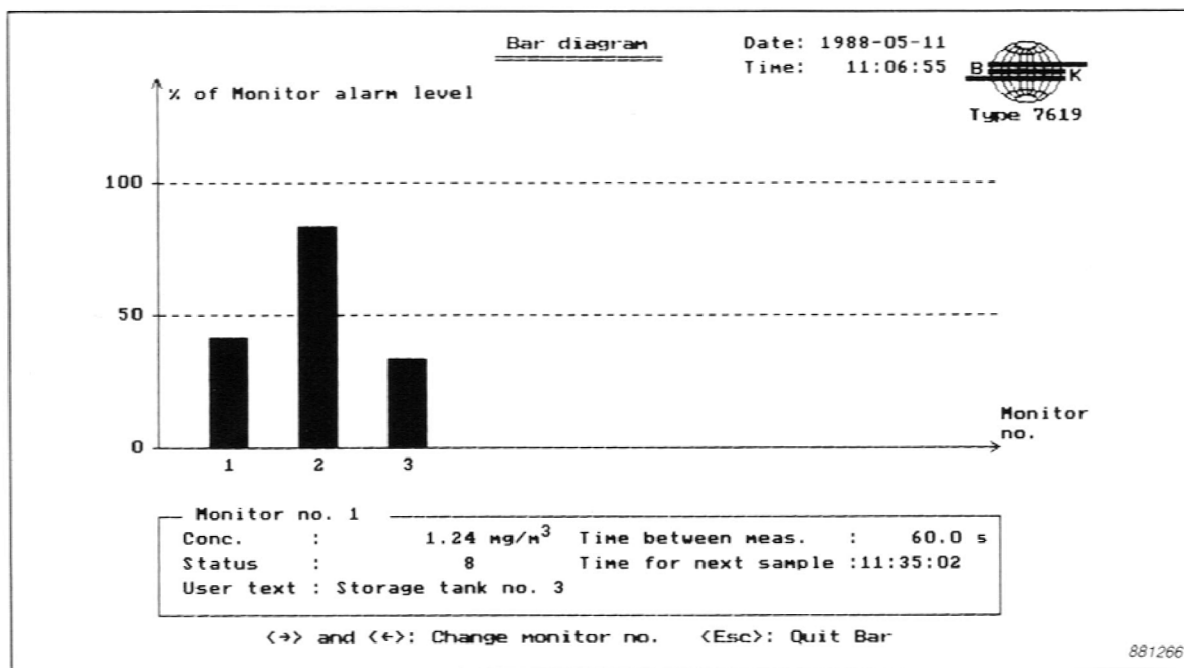
---

Command line:   Data Record   **Setup/Status**   Graph   Print   Command Mode  
                   Calib Mode   Bars   Page down   Page up   Config   Exit

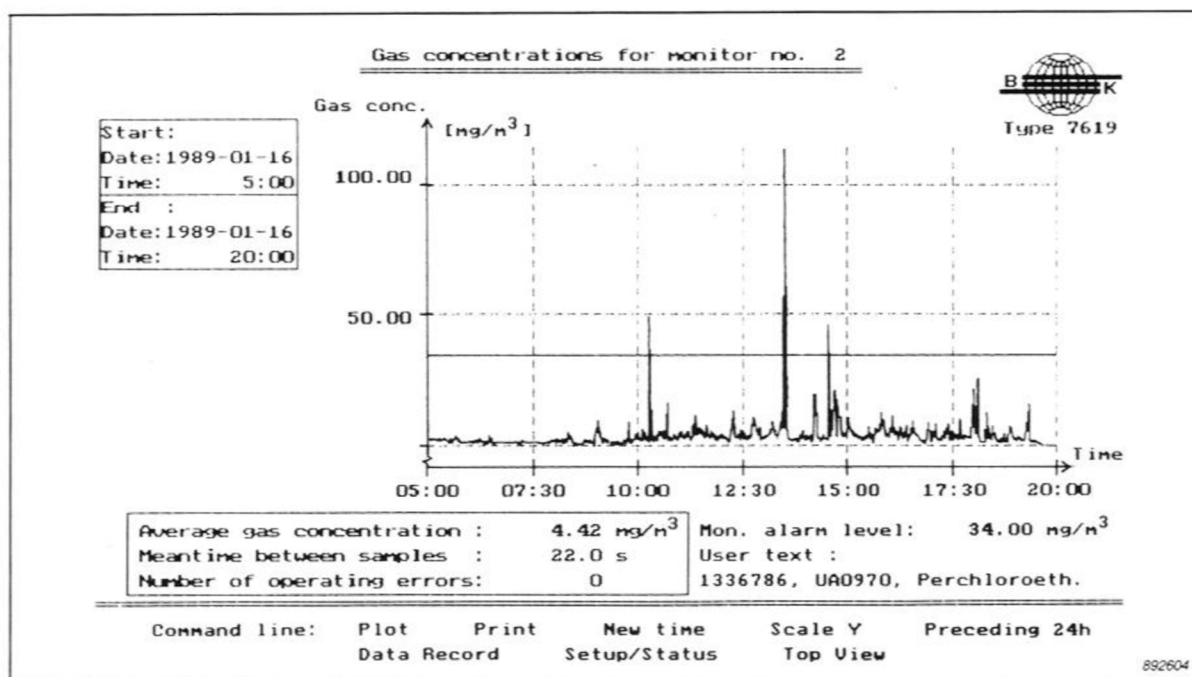
881269

Obr. 4: Hlavní zobrazení (Top View).





**Obr. 5: Sloupcový diagram (Bar diagram).**  
Ukazuje poslední výsledek z každého monitorování s ohledem na jeho signalizační úroveň.



**Obr. 6: Graf plynných koncentrací v závislosti na čase.**  
Časové období specifikováno uživatelem.

## Optické filtry

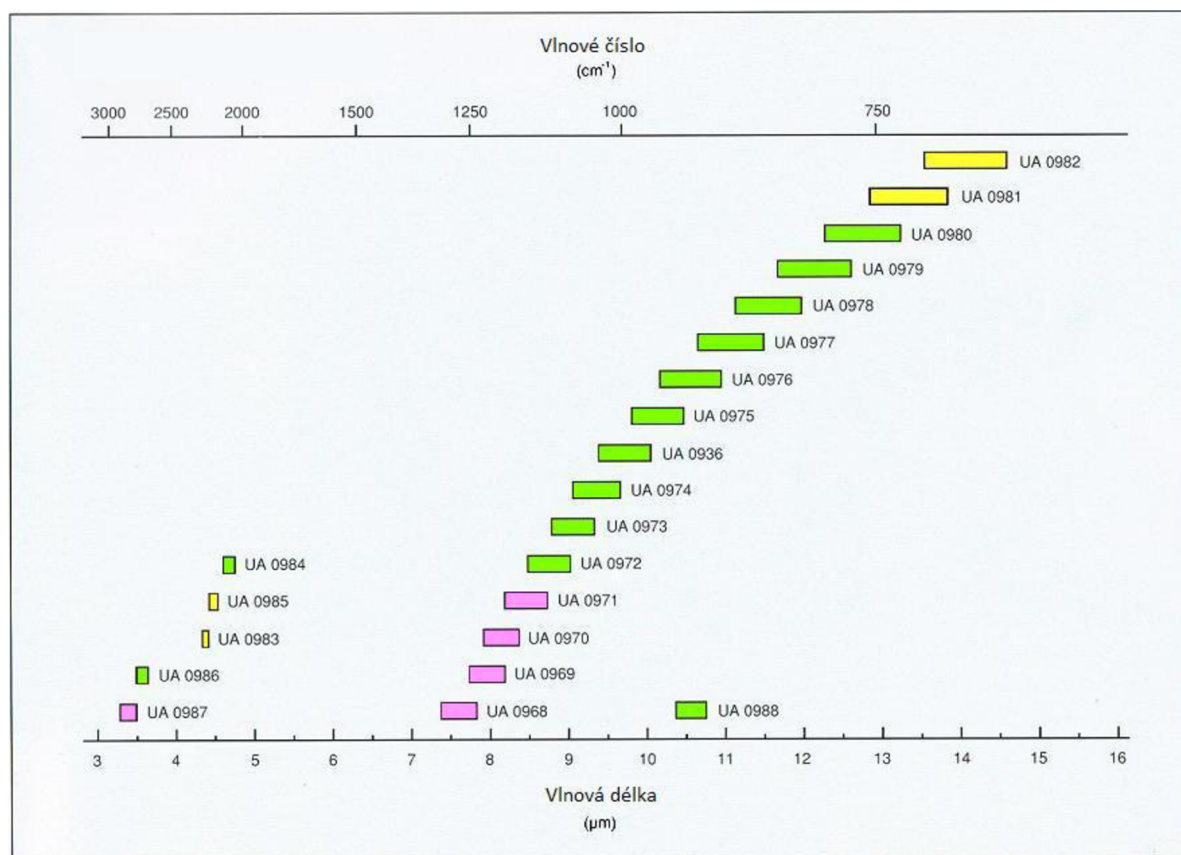
Monitory Brüel&Kjær využívají k monitorování plynů charakteristické absorpční spektrum jednotlivých typů plynů. Detekční technika je založena na fotoakustické absorpční spektroskopii. Citlivosti měření je dosaženo přidavným ozářením světlem požadované vlnové délky a použitím optických filtrů. Brüel&Kjær nabízí až 22 filtrů, které pokryjí zájmovou oblast infračerveného spektra a navíc i oblast 2000 – 3000 cm<sup>-1</sup>.

Brüel&Kjær optické filtry zobrazují rozdílné charakteristiky. Monitor 1306 pracuje s filtrem jedním, oproti tomu monitor 1302 může pracovat až s 5 filtry, čímž umožňuje monitorování širokého rozsahu plynů souběžně.

Každý optický filtr je složen ze tří samostatných filtrů umožňujících průchod infračervené složky spektra. Jedná se o filtr pásmové propusti, dlouhovlnný filtr a krátkovlnný filtr. Filtr dlouhovlnný a krátkovlnný slouží k výběru spektra požadovaných vlnových délek. Pásmová propust je dána specifickými přenosovými vlastnostmi a určuje střed vlnových délek a vlnových rozsahů optických filtrů. Tímto určuje také druhy detekovaných plynů. Detekční limity jsou nejčastěji kolem 0,1 ppm.

Problémem infračervené detekční techniky spočívá v oblasti vodní absorpce ( $1500 - 2000 \text{ cm}^{-1}$ ). Monitory Brüel&Kjær řeší tento problém úpravou měření pro konkrétní vlhkostní úroveň.

Výběr správného optického filtru k měření je založen na znalosti absorpčního spektra plynu, který chceme monitorovat. Tímto výběrem zaručíme nejvyšší možnou selektivitu měření a docílíme přesných výsledků. Při výběru musíme brát také ohled na interference dalších plynů pozadí. Právě v závislosti na pozadí přítomných plynů a na požadovaném detekčním rozsahu mohou být filtry selektivní v rozdílných časech.



**Obr. 7: Rozsah optických filtrů.**

Pro kódování optických filtrů se využívá 3 základních barev. Jedná se o růžovou, žlutou a zelenou. Každá z těchto barev má svoji specifickou senzitivitu při určitých interferencích.

**Růžové** optické filtry jsou senzitivní na interference vodních par.

**Žluté** optické filtry jsou senzitivní na interference oxidů uhlíku. Interference oxidu uhličitého může být kompenzována použitím monitoru 1302 s využitím optického filtru UA 0983.

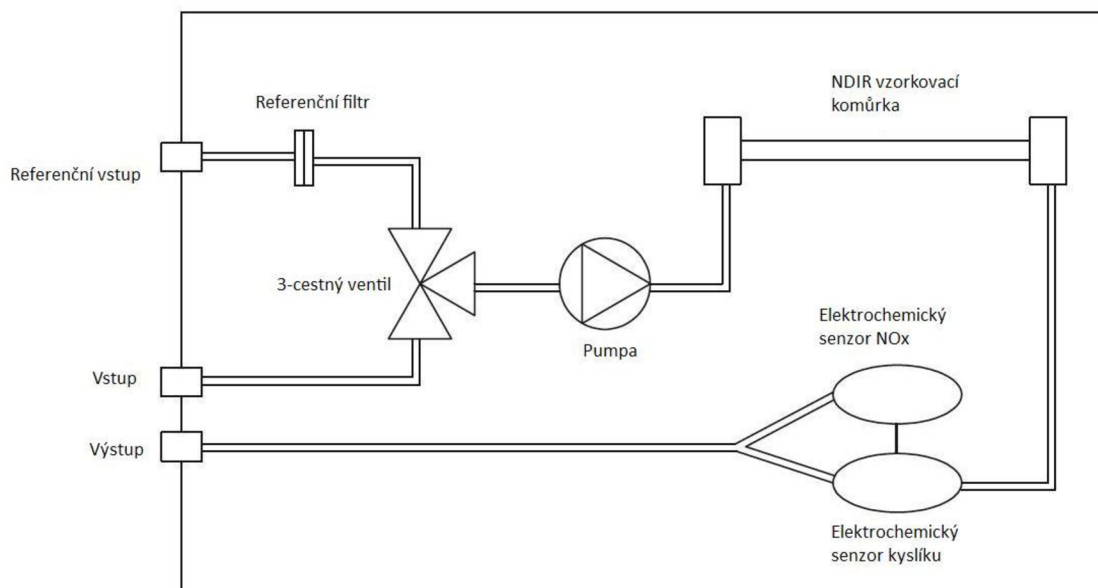
**Zelené** optické filtry nejsou ovlivněny interferencí vodních par ani oxidů uhlíku. U měření plynu v čistém ovzduší, při využití jednoho ze zelených filtrů, nebudou detekční limity přítomností interferencí vodních par či oxidu uhlíku ovlivněny. [7]

## 4.4 Systém detekce LumaSense Technologies

Firma Brüel&Kjær se zabývala vývojem techniky detekce plynů především během let 1990 – 1994. Díky firemním změnám se však později vývojem těchto přístrojů přestala zabývat a veškerý další vývoj monitorů plynů i s příslušenstvím převzala firma LumaSense Technologies.

### Monitor k analýze více vzorků plynů (Multi-gas Monitor – INNOVA 1316)

Monitorovací systém INNOVA 1316 slouží k měření koncentrací až 5 plynů včetně kyslíku. Systém bývá využíván především ke kontrole možných netěsností, ke kontrolám výrobních procesů, monitorování bioplynů a dalším. Monitorovanými plyny mohou být: oxid uhelnatý, oxid uhličitý, uhlovodíky (n-hexan, propan). Vhodně zvolenou kombinací doplňkových senzorů je možno měřit také koncentrace kyslíku a oxidu dusného.

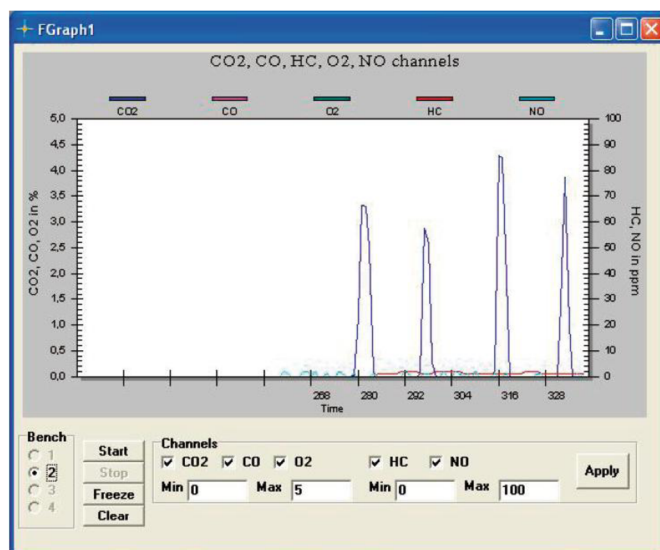


Obr. 8: Schéma monitorování plynů monitorem INNOVA 1316.

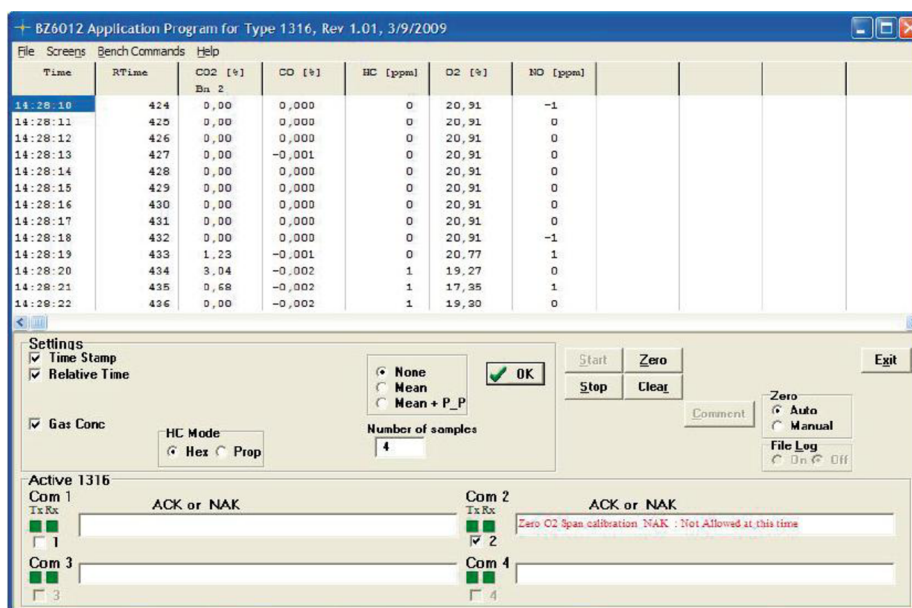
Výhodou INNOVA 1316 je, stejně tak jak tomu bylo u přístrojů Brüel&Kjær, že monitor neklade vysoké požadavky na zkušenosti pracovníků. Základní kalibrace přístroje jsou vyžadovány zřídka. Běžné kalibrace přístroj vykonává samostatně během měření, čímž je zabráněno nežádoucím chybám měření. Software dodávaný s monitorem je taktéž nenáročný na ovládání. Komunikace mezi softwarem a monitorem je zajištěna přes USB nebo RS-232 rozhraní. Veškerá měřená data jsou během měření zobrazována v číselných hodnotách či grafech na displeji a následně ukládána do paměti PC.

Metody měření koncentrací plynů je založena na NDIR technologii<sup>7</sup>. Tato metoda se zaměřuje na jednu ze základních vlastností plynů - absorpci určité vlnové délky záření. Tedy vlastnosti různého druhu plynů absorbovat konkrétní vlnovou délku.

Na Obr. 8 je zobrazeno základní schéma měření. Vzorky vzduchu jsou přiváděny do systému a skrz třicestný ventil jsou přiváděny k pumpě. Pumpa navzorkovaný vzduch posílá skrz vzdušný filtr (výměna starého vzorku vzduchu za nový) k měřicímu modulu či ke 2 sensorům. V NDIR modulu je světlo z infračerveného zdroje posláno skrz proměřovací komůrku a projde skrz specializované a referenční filtry. Následně je spočítána absorpce energie na specifických vlnových délkách. Po projití vzorku modulem, je plyn poslán na optický elektrochemický sensor ke změření signálu. Změřený signál je poslán následně zpět do modulu NDIR a obě získané koncentrace jsou poslány ke zpracování softwarem. [11]



Obr. 9: Okno s grafickým výstupem měřených plynů.



Obr. 10: Okno s numerickými hodnotami vypočtenými pro měřené plyny.

<sup>7</sup> NDIR – nedisperzivní infračervený spektrometr

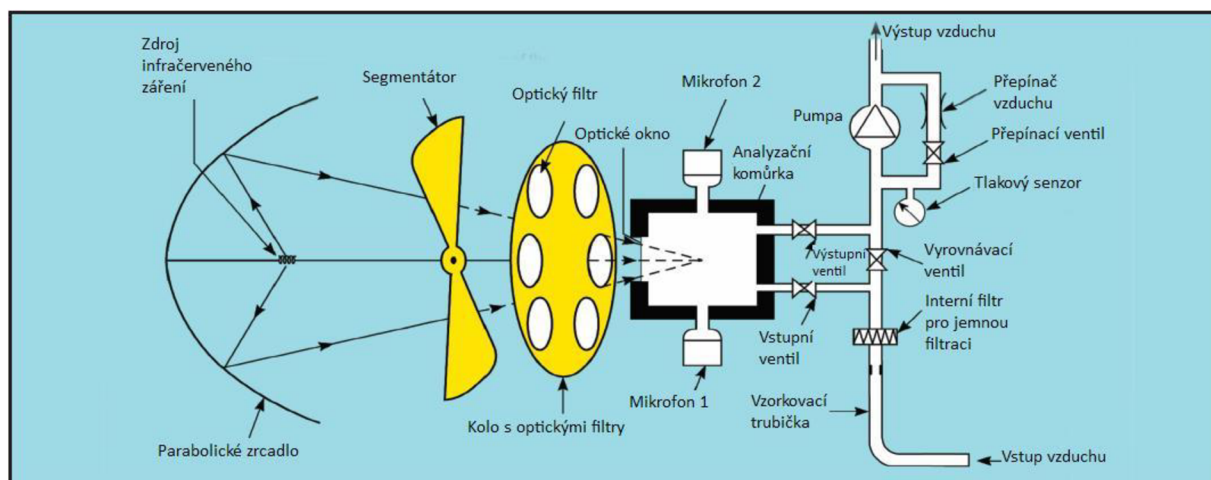
## Fotoakustické monitory (Photoacoustic Multi-gas Monitor – INNOVA 1314 a Photoacoustic Field Gas-Monitor – INNOVA 1412)

Metoda detekce plynů pomocí fotoakustických monitorů INNOVA 1314 a INNOVA 1412 je založena na stejném principu i postupu, proto jsou uvedeny informace k oběma monitorům současně.

Monitor INNOVA 1314 bývá využíván k emisnímu monitorování znečištěného ovzduší z chemických procesů, při kontrole pracovního prostředí a to především v místech s možnou produkcí nebo akumulací toxických či karcinogenních směsí. Monitor INNOVA 1412 je určen k měření kvality vzduchu v místnostech, k ventilačním měřením, bývá užíván ke zjišťování akumulací toxických či karcinogenních směsí v pracovním prostředí. V nemocnicích je pak využíván k monitorování anestetických činitelů na operačních sálech a případně i dalších pracovištích.

Monitory INNOVA 1314 a INNOVA 1412 jsou určeny k detekci těch druhů plynů, které absorbují infračervené světlo. Na rozdíl od monitoru INNOVA 1316 však při měření využívají navíc fotoakustickou detekční metodu.

Selektivita měření monitorů je zajištěna u širokého rozsahu měřených plynů a par. Dosažní vysoké selektivity je zajištěno užitím až 5 optických filtrů, díky čemuž můžeme také měřit koncentrace až pěti složek plynů nebo vodních par ve vzorku vzduchu. Detekční limit leží typicky v oblasti ppb a je závislý na druhu monitorovaného plynu. Odezva celého systému je i u širokého dynamického rozsahu lineární. Monitory jsou vysoce stabilní a spolehlivé. Nutná kalibrace probíhá jednou či dvakrát do roka (s výměnou používaných optických filtrů). Další nutné kontrolní operace systém zabezpečuje účinným samotestováním. Při nalezení chyby je informace zapsána do výsledků měření a je tak zajištěna integrita dat. Zkvalitnění přesnosti měření je dosaženo také kompenzací teplotních a tlakových změn a dále kompenzací interferencí vodních par či dalších přítomných známých plynů.



Obr. 11: Schéma měřícího systému monitoru 1314.

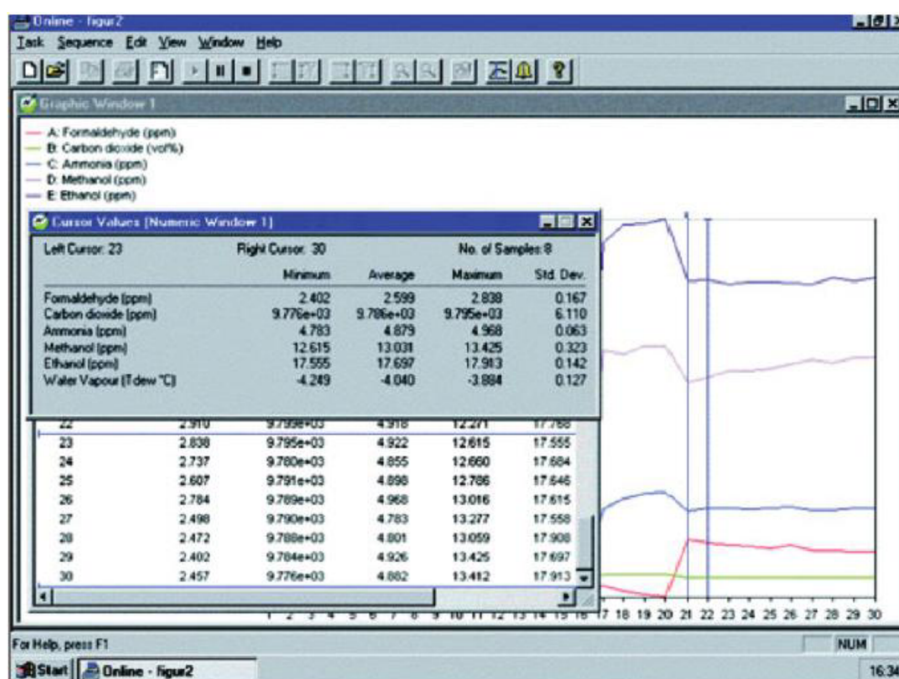
Měřící cyklus monitorů je zobrazen na Obr. 11. Na začátku měření posílá pumpa vzorek vzduchu ze vzorkovacího bodu skrz vzdušný filtr (výměna starého vzduchu za nový). Ke kontrole správné funkčnosti pumpy je použit tlakový senzor. Po výměně starého vzduchu za nový je tento vzorek hermeticky uzavřen v analyzační komůrce.



Zdroj infračerveného světla je umístěn v parabolickém zrcadle. V ideálním případě požadujeme, aby zdroj záření vyzařoval spojité spektrum, tak abychom byli schopni pokrýt celé rozmezí absorpce měřených plynů. Světlo odražené od zrcadel prochází skrz mechanický segmentátor a prochází přes vybraný optický filtr umístěný na filtrovém kole. Díky pulzaci světla dochází k vzrůstu a poklesu teploty plynu, což je příčinou vzrůstu a poklesu tlaku plynu v uzavřené komůrce. Takto získaný akustický signál, který je přímo úměrný koncentraci přítomného plynu v komůrce, měří dva mikrofony umístěné ve stěně komůrky. V závislosti na počtu měřených plynů je filtrové kolo otáčeno a dochází k měření nových signálů pro další plyny. Čas odezvy měření se pohybuje kolem 13s pro měření jednoho plynu či vodní páry a 26s při měření 5 plynů či vodních par.

Ovládání systému je zajištěno dvěma uživatelskými rozhraními (standardně IEEE-488 a RS-232). Systém můžeme ovládat přímo z čelního panelu pomocí tlačítek a na displeji se objevujících navigačních textů. Další možnost ovládání je přes PC software s grafickým rozhraním.

Výsledky měření mohou být zpracovány on-line i off-line. On-line měření posílá výsledky přímo do PC. Zde jsou zobrazeny na obrazovce v tabulkách a grafech (Obr. 12). Zobrazení můžeme nastavit pouze pro požadovaný plyn či definované koncentrační rozsahy. Všechny výsledky jsou po dokončení měření a analýz uloženy do databáze ve formátu MS Access. Off-line měření zobrazuje data v paměti displeje (Display Memory). Data jsou neustále aktualizována, jsou prováděny statistické analýzy měřených plynných koncentrací a výpočty rozdílů hodnot pro monitorovaný plyn. Z paměti displeje mohou být data uložena do paměti monitoru (Back-ground Memory) a kdykoliv zpětně vyzvednuta ke zpracování do paměti displeje. Pokud je to nutné mohou být přes standardní rozhraní nahrána do software na PC. [12][13]



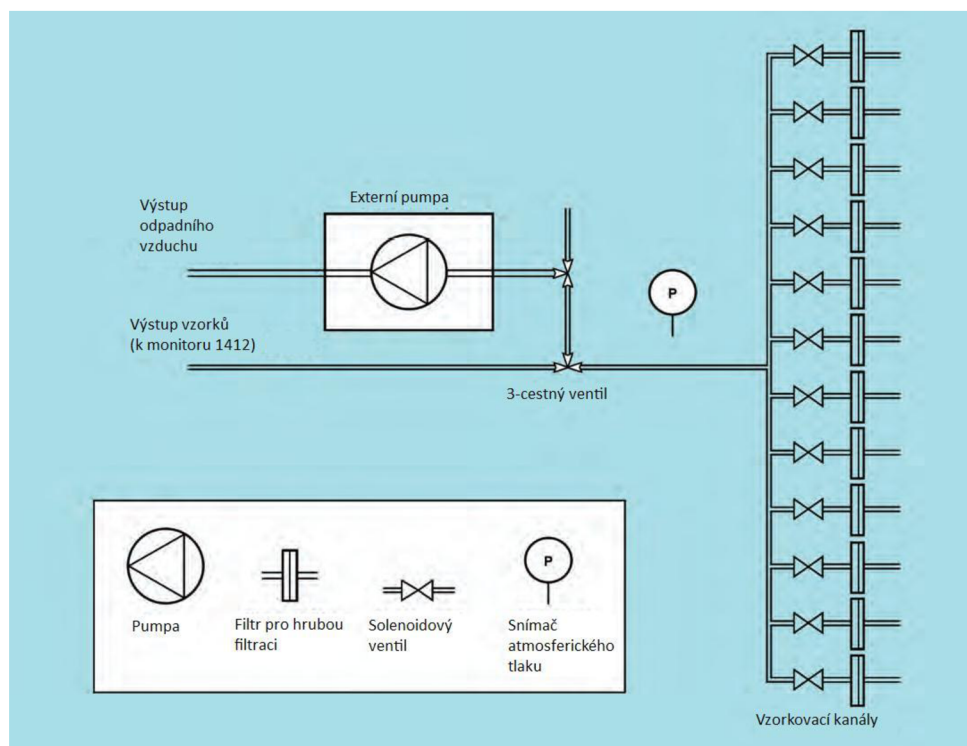
Obr. 12: Zobrazení detailů měřených dat.

## Vzorkovací systém pro přívod vzorků z více míst (Multipoint Sampler – INNOVA 1309)

Vzorkovač INNOVA 1309 slouží k rozšíření monitorovacích schopností plyných monitorů LumaSense Technologies. Díky tomuto rozšíření je možno získávat vzorky až z 12 rozdílných vzorkovacích míst a doručovat je následně k analýze monitoru plynů. K INNOVA 1309 může být připojeno také 6 teplotních snímačů 3 typů: snímač teploty vzduchu, snímač teploty povrchu a snímač operativní teploty (Air Temperature Transducer MM0034, Surface Temperature Transducer MM0035 nebo Operative Temperature Transducer MM0060). Snímače teploty upřesní informace o prostředí ve specifickém vzorkovacím bodě.

Schéma vzorkovače je zobrazeno na Obr. 13. Vzdušný systém sestává z 12 vstupních kanálů opatřených ventilem. Všechny 12 kanálů je pomocí trubiček připevněno na čelním panelu vzorkovače INNOVA 1309. Na konci každé vzorkovací trubičky se nachází vzdušný filtr, který zabraňuje kontaminaci vzorku nežádoucími příměsí. Dále se 12 kanálů spojuje v jeden a skrz třicestný ventil jsou vzorky plynu posílány buď k analýze monitoru INNOVA 1412, nebo přes pumpu na výstup jako odpadní vzduch. Rychlost přenosu plyných vzorků je zhruba 4 m/s.

Spolehlivost systému je dosažena obvyklým samotestováním celého systému (hardware i software). Kontrola a obsluha vzorkovače INNOVA 1309 je zprostředkována z osobního počítače přes rozhraní IEEE/IEC nebo kontrolou přes plyný monitor (rozhraní RS-232).



Obr. 13: Schéma vzorkovacího systému INNOVA 1309.

Využití vzorkovače INNOVA 1309 společně s monitorem INNOVA 1412 a dostupným aplikačním softwarem INNOVA 7300 je zobrazeno na Obr. 14. Vzorkovací systém bere vzorky ze vzduchu v místnosti i ze vzduchu z místnosti odváděného a doručuje je k analýze monitoru INNOVA 1412. Během analyzování vzorku v monitoru INNOVA 1412 odebírá vzorkovač INNOVA 1309 nový vzorek a posílá jej opět k analýze. Aplikační



software INNOVA 7300 provádí nad celou operací kontrolu. Je schopen kontrolovat vždy jeden vzorkovač INNOVA 1309 a jeden monitor INNOVA 1412.

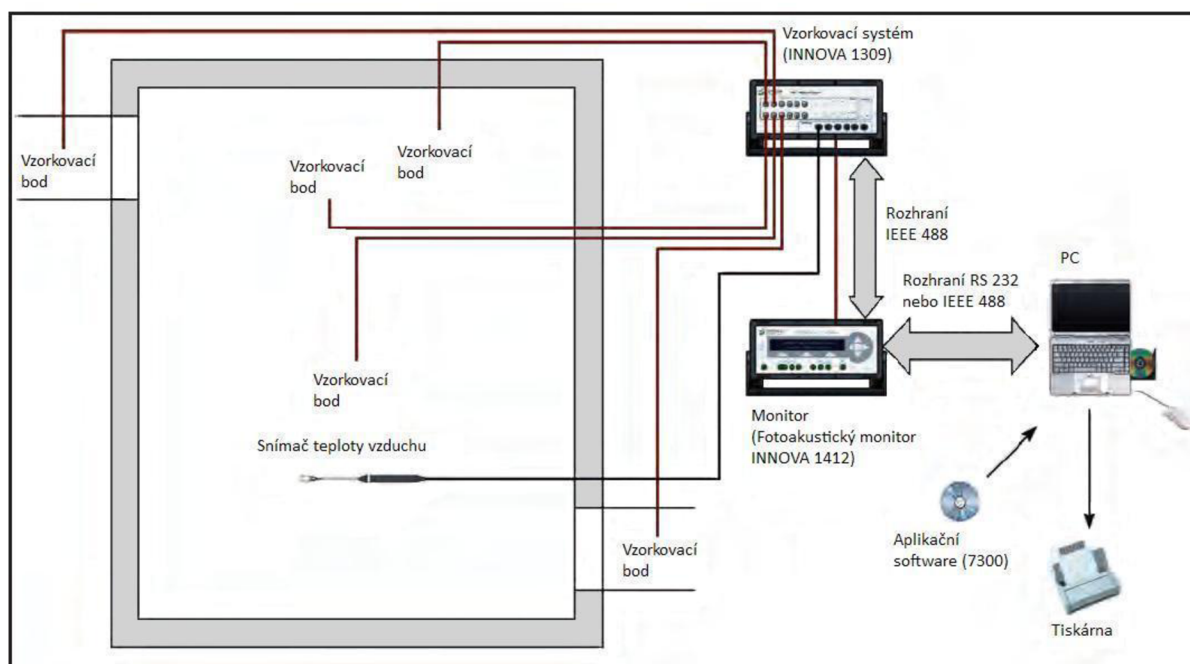
Monitor INNOVA1412 je také možno rozšířit o vzorkovací a dávkovací systém 1303, který zůstal v původní podobě dodávané firmou Brüel&Kjær. [14]

## Aplikační software pro LumaSense Technologies

K monitoru INNOVA 1412 jsou dodávány dva typy aplikačních softwarů (Application Software – INNOVA 7300 a Application Software – INNOVA 7620).

Aplikačním softwarem 7300 může počítač vzdáleně kontrolovat monitor INNOVA 1412 společně s jedním vzorkovačem INNOVA 1309 pro monitorování vzorků vzduchu až z 12 míst.

Užitím softwaru 7620 může počítač kontrolovat monitor INNOVA 1412 společně se dvěma vzorkovacími a dávkovacími systémy INNOVA 1303. Tímto způsobem jsou získány vzorky vzduchu z 12 monitorovacích míst. Celý systém slouží ke kontrole změn složení vzduchu v místnostech a kontrole klimatizační efektivity. [13]

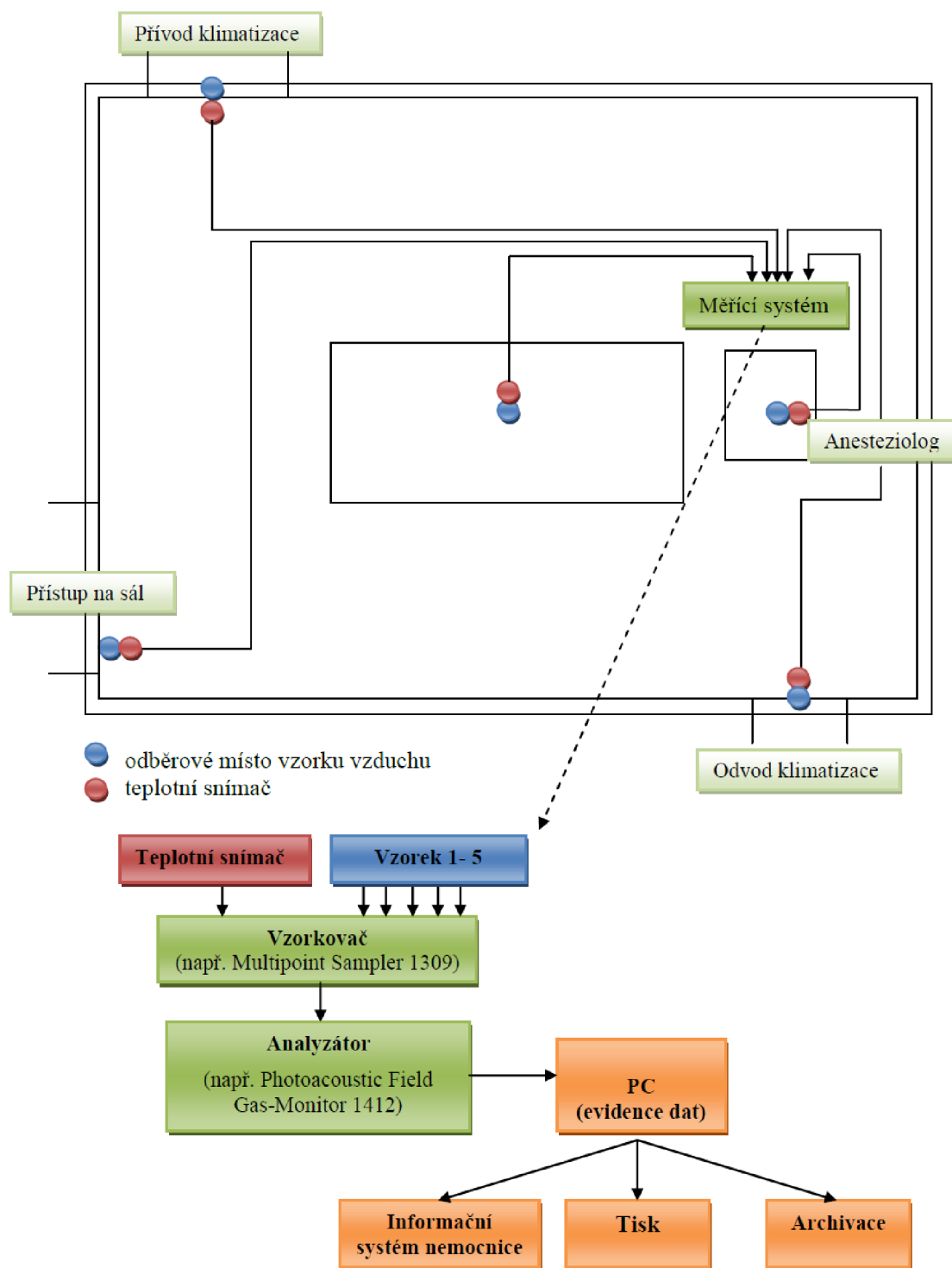


Obr. 14: Příklad využití systému INNOVA.

# 5 Vlastní návrh systému měření

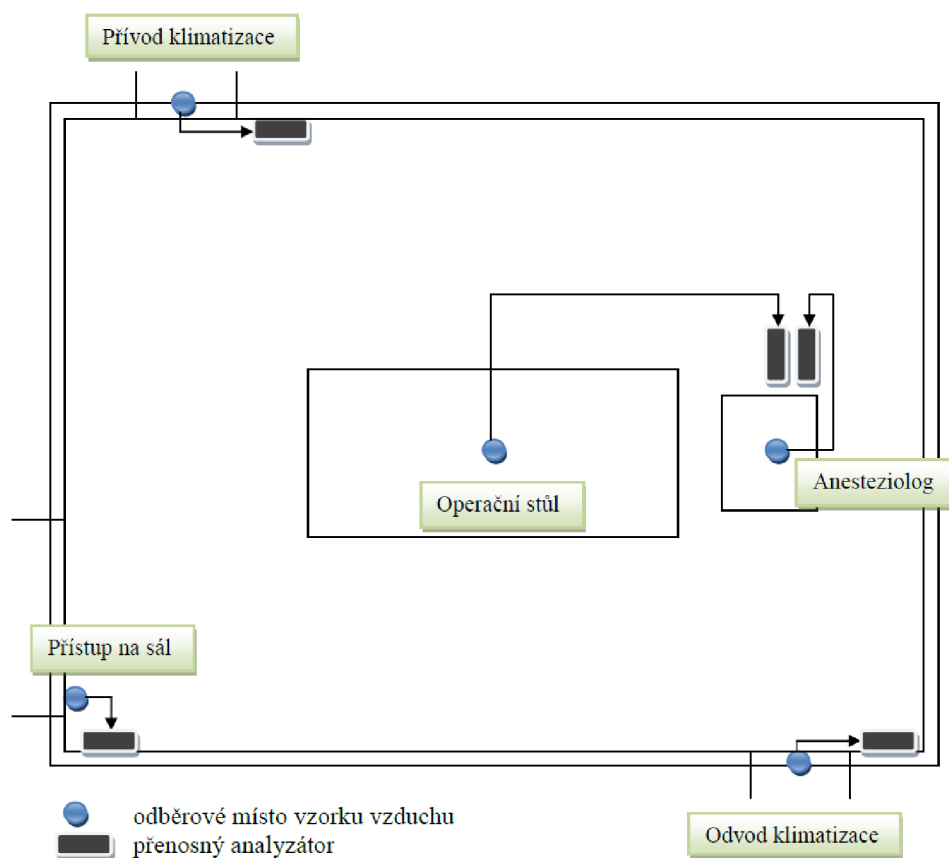
## 5.1 Schéma systému měření

Schéma I



Obr. 15: Schéma systému měření plynných imisí pomocí jednoho analyzátoru.

## Schéma II



Obr. 16: Schéma systému měření plynných imisí pomocí více analyzátorů.

### Místa pro měření

Pro kontrolu plynných imisí na lékařském pracovišti, konkrétně na operačním sále, byl zvolen měřicí systém s 5 odběrovými místy. Návrh systému měření je zpracován dvěma různými způsoby. První systém je určen spíše k trvalému umístění odběrových míst i analyzátoru, druhý systém pak umožňuje upravovat umístění odběrových míst dle konkrétních požadavků na měření.

Pro oba systémy jsou zvoleny výchozí měřicí body stejně. Sensory jsou umístěny v přívodu klimatizační jednotky, v odvodu klimatizační jednotky, dále u přístupových dveří na operační sál, nad operačním stolem a u anesteziologa – anesteziologického přístroje. Tímto rozmístěním detekčních míst můžeme sledovat ventilační efektivitu (složení vzduchu na vstupu i výstupu klimatizačních jednotek), kvalitu ovzduší nad operačním stolem, a hodnotit kontaminaci ovzduší způsobenou netěsnostmi v rozvedech u anesteziologického přístroje.

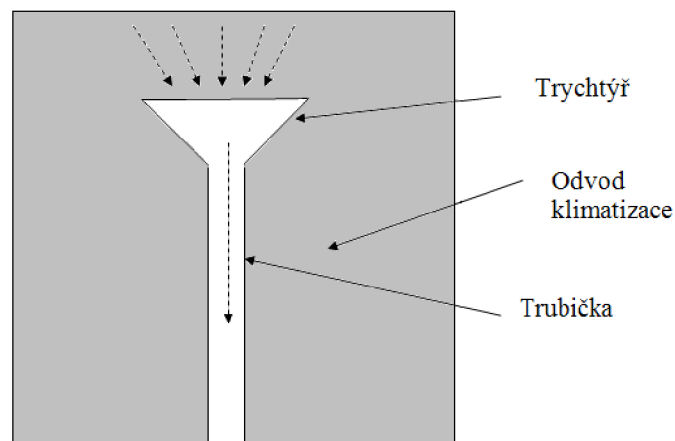
V případě měření koncentrací plynů u přístupových dveří na operační sál musíme vzít v úvahu druh měřeného plynu (molární hmotnost) a tomu přizpůsobit i umístění odběrového místa.

Pro odběr vzorků a následný přívod vzorků vzduchu k analyzátoru je vhodné použít trubičky vyrobené z teflonu. Tento typ rozvodných trubiček je nereaktivní a neovlivňuje svými vlastnostmi vzorek vzduchu. U trubiček gumových by mohlo docházet ke kontaminaci vzorku vzduchu způsobené chemickou reakcí s materiálem trubičky. Jakékoliv kontaminaci

vzorku je třeba zabránit z důvodu nutnosti přesného a spolehlivého měření koncentrací jednotlivých složek plynů ve vzorku vzduchu.

Trubičky umístěné v odvodu klimatizační jednotky je nutno mírně upravit, tak aby proudící vzduch trubičku nemíjel. K této úpravě trubičky můžeme použít například trychtýř (Obr. 17).

Při přepravě vzorku vzduchu ze specifického odběrového místa musíme také zabezpečit, aby nedošlo k jeho kontaminaci vzorkem jiného místa odběru. Toho dosáhneme použitím ventilů a záklopek.



Obr. 17: Úprava trubičky pro odběr vzorku v případě měření v odvodu klimatizace.

## 5.2 Popis funkcí systému měření

### Analyzátor pro schéma I

Schéma měření zobrazené na Obr. 15 je sestaveno na základě použití jednoho analyzátoru, který bude vyhodnocovat všechny vzorky přiváděné z různých odběrových míst. Použít by se zde mohly analyzátory firmy Brüel&Kjær či LumaSense Technologies, jejichž systém měření koncentrací plynů byl rozebrán v předchozích kapitolách.

Z nabízených analyzátorů by vyhovoval například monitor 1302 společně s užitím vzorkovacího a dávkovacího systému 1303 nebo fotoakustický monitor INNOVA 1412 se vzorkovačem INNOVA 1309 v případě firmy LumaSense Technologies. Oba zmíněné monitory zaručují kvalitní a přesné měření, nejen díky technologii detekce plynů, ale také díky doplňkovým zařízením. Například monitory INNOVA 1412 jsou schopny kompenzovat teplotní i tlakové změny v místnosti i interference, které způsobuje přítomnost vodních par ve vzorku vzduchu. Tlakový senzor je použit ke kontrole správné funkčnosti pumpy nasávající vzorky vzduchu z odběrových míst. Použitím vzorkovače INNOVA 1309 s možností připojení až 6 teplotních snímačů získáme informace o teplotě ve vzorkovacích bodech. Tyto získané hodnoty můžeme použít při následném hodnocení naměřených dat.

U obou typů zvolených analyzátorů závisí úspěšnost měření také na použití vhodných optických filtrů v měřící jednotce. Optické filtry vhodné pro měření jednotlivých plynů jsou uvedeny v příloze (Tabulka 5).

Použití jednoho přístroje k analýze všech vzorků získaných z odběrových míst usnadňuje stálou kontrolu naměřených koncentrací. Monitor je možno umístit na stanoviště anesteziologa. Anesteziolog tak bude mít přehled o zjištěných koncentracích měřených plynů a v případě spuštění alarmu (akustický, vizuální) může okamžitě reagovat.

Možným řešením alarmových situací je zvýšení klimatizační efektivity. Na operačním sále by měly být také uloženy kyslíkové dýchací masky pro operační tým k zajištění péče o pacienta i v případě havarijního stavu.

## **Analyzátor pro schéma II**

Návrh systému měření uvedený ve schématu II (Obr. 16) je sestaven pro měření koncentrací plyných imisí pomocí přenosných analyzátorů. Na trhu jsou k dispozici například analyzátory nabízené firmou Geotechnical Instruments. Tato zahraniční firma se ve své nabídce plyných analyzátorů (IR princip detekce) soustředí mimo jiné také na analyzátory medicínské či laboratorní, proto byly jejich analyzátory využity i při návrhu druhého způsobu měření plyných koncentrací. Zvolené analyzátory umožňují měření tří základních plynů přítomných na operačním sále – O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O s možností měření CO. Jistou nevýhodou je, že tyto analyzátory neumožňují měřit další anestetické plyny (isofluran, sevofluran, ...).

Pro měření kyslíku a oxidu uhličitého byl vybrán analyzátor G110 (G110 CO<sub>2</sub> ANALYSER). Analyzátor je schopen měřit vzorky CO<sub>2</sub> i O<sub>2</sub> v rozmezí 0-100% obj., je vybaven dvěma teplotními snímači a vlhkostním senzorem. Analyzátor umožňuje uživateli zvolit si maximální a minimální hodnoty povolených koncentrací měřených plynů. Při překročení těchto limitních hodnot upozorní akustickým i vizuálním alarmem. Dále má uživatel možnost definovat si vlastní intervaly měření i dobu nasávání jednotlivých vzorků vzduchu přiváděných k analýze. [22]

Naměřená data jsou ukládána do paměti přístroje, která umožňuje záznam až 270 výsledků měření. Jakmile je limit paměti překročen, začnou se naměřená data zpětně přepisovat novými hodnotami. Po ukončení měření stačí analyzátor přes USB kabel připojit k PC a data stáhnout. Software dodávaný k analyzátoru je kompatibilní s editorem MS Excel, což usnadňuje následné zpracovávání získaných dat. [22]

K měření oxidu dusného je možno z nabídky Geotechnical Instruments využít hned dvou analyzátorů. Prvním nabízeným analyzátozem je G200 (G200 N<sub>2</sub>O GAS ANALYSER) pro měření N<sub>2</sub>O v rozmezí 0-1000 ppm. Zároveň s N<sub>2</sub>O můžeme měřit také O<sub>2</sub> (0-1000ppm). Analyzátor umožňuje kromě standardních funkcí shodných s analyzátory předchozími také hodnocení dlouhodobé expozice oxidu dusného. K tomu využívá časové průměrování naměřených koncentrací N<sub>2</sub>O (maximálně 8 hodin nazpět). [23]

Druhou možností měření oxidu dusného je použití analyzátoru G210 (G210 N<sub>2</sub>O GAS ANALYSER). Tento analyzátor je vybaven i senzory pro měření kyslíku, oxidu uhličitého a případně i oxidu uhelnatého. Rozmezí měřitelných koncentrací je pro N<sub>2</sub>O 0-100% obj., pro O<sub>2</sub> 0-100% obj., pro CO<sub>2</sub> 0-2000ppm a pro CO 0-500ppm. [23]

Nevýhodou analyzátorů firmy Geotechnical Instruments je, že nemůžeme použít jeden analyzátor pro všechna měřená místa na pracovišti. Analyzátory jsou schopny odebírat vzorky vždy pouze z jednoho konkrétního místa. Díky tomu, že jsou analyzátory přenosné, však můžeme odběrová místa jednoduše měnit.

Další nevýhodou je nemožnost přímého propojení měřící jednotky s PC. Data jsou při měření ukládána do paměti přístroje a až po ukončení měření můžeme data stáhnout přes USB kabel do PC. Vzhledem k tomu, aby nedocházelo ke znehodnocování měřených informací, používáme nejkratší možnou délku přírodních trubiček pro měřený vzorek vzduchu. Tento fakt prakticky znemožňuje umístění všech analyzátorů na jednom místě. Pod stálou kontrolou by tak zůstával jen analyzátor umístěný u anesteziologického přístroje

a analyzátor ovzduší nad operačním stolem. Jejich kontrolou by byl pověřen přítomný anesteziologický pracovník.

## **Intervaly měření**

Analyzátory plynů použité v obou návrzích umožňují uživateli nastavit vlastní intervaly pro odběr a analýzu vzorků. Pro dlouhodobé monitorování<sup>8</sup> je z hlediska dodávek elektrické energie vhodnější použití analyzátorů firmy Brüel&Kjær či LumaSense Technologies, jejichž analyzátory jsou připojeny ke zdroji elektrické energie. Oproti tomu přenosné analyzátory firmy Geotechnical Instruments jsou vybaveny baterií (Li ion), která umožňuje měření při plném nabití cca 10 hodin.

Informace o koncentracích přítomných plynů získané při krátkodobém monitorování<sup>9</sup> by bylo vhodné použít jako jedno z kritérií ovlivňujících klimatizační efektivitu během chirurgického zákroku. Ideální by bylo zajištění kontinuálního odesílání naměřených dat do centra obsluhy klimatizačního systému, čímž by se značně usnadnila komunikace mezi operačním sálem a obsluhou klimatizace, která v současné době probíhá především po telefonních linkách. Vysoká funkčnost klimatizace je důležitá především v případě používání dýchacích masek, z nichž vzduch vydechovaný pacientem není přímo odváděn do klimatizační jednotky, ale je volně vydechován do prostředí pracoviště.

Intervaly pro měření v případě dlouhodobého monitorování jsou voleny s delším časovým odstupem. Následným zpracováním těchto dat získáme přehled o změnách koncentrací potenciálně nebezpečných látek v pracovním prostředí během celého dne. Výsledkem těchto dlouhodobých vyhodnocování kvality pracovního prostředí může být zjištění úniků dýchacích plynů z anesteziologického přístroje či nevyhovující funkce klimatizačního systému (přívod vzduchu s vysokými koncentracemi měřených plynů, nedostatečné odvádění znečištěného vzduchu z pracoviště, atp.).

## **5.3 Zpracování naměřených výsledků**

### **Zobrazování získaných dat a jejich evidence**

Monitory Brüel&Kjær i LumaSense Technologies zajišťují zobrazení naměřených dat dvěma způsoby. První způsob spočívá v odesílání měřených dat přímo do PC, kde jsou následně zpracována a zobrazena v tabulkách či grafech. Druhou možností je přímé zobrazení na obrazovkách umístěných přímo na monitorech. Obě funkce umožňují pověřenému pracovníkovi (anesteziologovi) okamžitou kontrolu měřených koncentrací plynů. Kromě zobrazení koncentrací jsou prováděny také statistické analýzy a výpočty rozdílů naměřených hodnot pro monitorovaný plyn. Výhodou je také možnost zobrazení i dříve naměřených dat. Doplněním měřicího systému o příslušný software získáme možnost přesunu dat (uložených v paměti monitoru) do PC.

Analyzátory Geotechnical Instruments, jak již bylo zmíněno dříve, zobrazují pouze aktuální hodnoty měřených koncentrací plynů. Další zpracování získaných dat je možné až po nahrání dat do PC.

Základní evidenci měřených dat by bylo možné provést v aplikaci MS Excel. Kromě zpracování v tabulkovém editoru by byly vytvořeny i grafické výstupy. Zpracování dat by

---

<sup>8</sup> Dlouhodobé monitorování – kontinuální monitorování v průběhu min. 24 hodin

<sup>9</sup> Krátkodobé monitorování – kontinuální monitorování během probíhajícího chirurgického zákroku

bylo vhodné rozdělit do určitých časových etap. Například zhodnocení denního provozu, týdenní hodnocení, měsíční, čtvrtletní a roční. Dále by byla naměřená data rozdělena na výstupy pro jednotlivé druhy měřených plynů a na výstup souhrnný. Ve výsledcích by se měly také promítnout získané hodnoty z měření teploty, vlhkosti a tlaku. Vhodné by bylo uvést seznam osob přítomných na pracovišti během měření a zapsat základní informace o průběhu měření.

Další možností zpracování by bylo vytvoření softwaru (databáze), který by kromě funkcí obdobných jako u evidence vedené v MS Excel, umožňoval také jednoduché třídění dat. Dle uživatelem zadaných parametrů by systém vyhledával požadovaná data. Vyhledávání by mohlo být umožněno dle data a času měření, druhu měřeného plynu, rozsahu naměřených koncentrací, jména pacienta, osob přítomných na pracovišti během měření a dalších kritérií. Důležitou funkcí by pak bylo zobrazování krátkodobých i dlouhodobých překročení povolených koncentračních limitů.

## **Archivace**

Zpracované výsledky naměřených koncentrací plynů během operačního výkonu se promítnou do zprávy operačního protokolu a budou ukládána do informačního systému nemocnice. Vyhodnocováno bude jak krátkodobé překročení koncentrací měřených plynů, tak budou také prováděny výpočty sumačních dlouhodobých překročení koncentrací. Tato data bude později možné kdykoliv zpětně vyzvednout a zhodnotit možné důsledky na zdraví pacienta či lékařů, zdravotních sester a dalších pracovníků přítomných v době měření na pracovišti. Výsledky měření prováděného mimo probíhající chirurgický zákrok budou taktéž vložena do informačního systému nemocnice. Ze všech provedených měření bude následně hodnocena kvalita ovzduší na pracovišti, funkčnost klimatizačního systému a bude možné díky nim navrhnout postupy vedoucí ke zlepšení pracovních podmínek i řešení havarijních stavů.

Další možností archivace je tisk či digitální archivace (CD, DVD, atd.). Tento typ archivace záleží především na zvyklostech a obvyklých pracovních postupech konkrétní nemocnice.

# Závěr

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout vhodné postupy detekcí a měření plyných imisí přítomných na lékařských pracovištích. Pozornost je soustředěna na kontrolu imisí medicinálních plynů vyskytujících se na operačním sále, především pak těch, které mohou negativně ovlivnit výkonnost operačního týmu ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ , inhalační anestetické plyny). Přiblíženy jsou také způsoby hodnocení kvality ovzduší na lékařském pracovišti.

Práce uvádí obecně používané principy detekcí plyných imisí a dále se zaměřuje na nabídku plyných detektorů a analyzátorů nabízených dánskými firmami Brüel&Kjær a LumaSense Technologies. Analyzátory těchto dvou firem splňují požadavky na účinnou a kvalitní detekci imisí přítomných na lékařském pracovišti. Pro srovnání jsou ve vlastním návrhu měřicího systému uvedeny ještě analyzátory firmy Geotechnical Instruments (Velká Británie). Tyto analyzátory však nelze využít pro celkové monitorování plynů (pouze detekce  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$  a  $CO$ ).

Na základě získaných znalostí byla sestavena dvě schémata pro odběr a analýzu vzorků. První schéma předpokládá využití analyzátorů Brüel&Kjær či LumaSense Technologies, druhé schéma je uvedeno pro případ použití analyzátorů Geotechnical Instruments. Pro možnost stálé kontroly naměřených výsledků je analyzátor umístěn na stanoviště anesteziologa (v případě Geotechnical Instruments je u anesteziologa umístěn analyzátor ovzduší nad operačním stolem a analyzátor ovzduší u anestetického přístroje).

V závěru bakalářské práce jsou navrženy způsoby evidence a archivace dat. Pro základní evidenci byla zvolena aplikace MS Excel. Pro důkladnější evidenci je nastíněno možné zpracování databáze pro vyhledávání a třídění naměřených dat. Programové zpracování nebylo zpracováno z důvodu absence dat z lékařských pracovišť.



# Seznam použité literatury

- [1] Sbírka zákonů č. 361/2007. *Narizení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. Praha. 2007.
- [2] Sbírka zákonů č. 6/2003. *Vyhláška, kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb*. Praha. 2002.
- [3] CHROMSERVIS. *Detekce plynů*. Katalog 2006/2007. 36 s.
- [4] KADLEC, Karel. Provozní analyzátory plynů. *AUTOMA*. [on-line]. 2001, č. 10 [cit. 2009-11-23]. Dostupný na WWW:  
[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=33683](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33683)
- [5] KADLEC, Karel. Pellistorové senzory – vlastnosti a použití. *AUTOMA*. [on-line]. 2004, č. 12 [cit. 2009-11-23]. Dostupný na WWW:  
[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=32653](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32653)
- [6] Z publikace *Prevence nehod, havárií a požárů ČSTZ. Preventivní opatření pro správnou funkci plynových zařízení II. TZB-INFO*. [on-line]. 2009-07-27 [cit. 2009-11-23]. Dostupný na WWW:  
<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5802>
- [7] Brüel&Kjær. *Gas detection Limits*. Datum vydání neuvedeno. 2 s.
- [8] Brüel&Kjær. Product data. *Multipoint Sampler and Doser – Type 1303*. Datum vydání neuvedeno. 4 s.
- [9] Brüel&Kjær. Product data. *Application Software for Toxic-gas Monitoring – Types 7619 and 7621*. Datum vydání neuvedeno. 4 s.
- [10] Brüel&Kjær. Product data. *Optical Filters – UA 0968 to UA 00988 and UA 0936*. Datum vydání neuvedeno. 4 s.
- [11] LumaSense Technologies. *Multi-gas Monitor – INNOVA 1316*. 2009. 4 s.
- [12] LumaSense Technologies. *Photoacoustic Multi-gas Monitor – INNOVA 1314*. 2007. 4 s.
- [13] LumaSense Technologies. *Photoacoustic Field Multi-gas Monitor – INNOVA 1412*. 2007. 4 s.
- [14] LumaSense Technologies. *Multipoint Sampler – INNOVA 1309*. 2007. 4 s.
- [15] *Směrnice pro kvalitu ovzduší v Evropě*. Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1996. [on-line], [cit. 2010-02-21]. Dostupný na WWW:  
[http://www.ecmost.cz/ver\\_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm](http://www.ecmost.cz/ver_cz/ovzdusi/smernice/smernice4.htm)

- [16] MUDr. KOHOUTOVÁ, Jarmila. *Klimatizace – zdravotní rizika a prevence*. Oddělení nemocniční hygieny FN Olomouc. Přehledové články. [on-line], 2008. [cit. 2010-02-19]. Dostupný na WWW: <http://www.solen.cz/pdfs/int/2008/05/07.pdf>
- [17] *Nemocniční listy FN BRNO*. 2007, ročník VII., číslo 3. [cit. 2010-03-12]. Dostupné také z WWW: [http://www.fnbrno.cz/Data/files/Nemocni%C4%8Dn%C3%AD%20listy/NL\\_3\\_2007.pdf](http://www.fnbrno.cz/Data/files/Nemocni%C4%8Dn%C3%AD%20listy/NL_3_2007.pdf)
- [18] CVACHOVEC, Karel. *Farmakologie anestetických plynů a prchavých anestetik. Monitorování inhalačních anestetik*. Univerzita Karlova v Praze – 2. lékařská fakulta. [on-line]. [cit. 2010-03-28]. Dostupný na WWW: <http://www.lf2.cuni.cz/Projekty/mua/21f.htm>
- [19] Ing. JAKLOVÁ, E., KOUBA, D.. *Medicínální plyny*. Praha. 2004. 49 s.
- [20] *Sevorane*®, roztok k inhalaci. Příbalový leták. Výrobce a držitel rozhodnutí o registraci Abbott Laboratories Ltd., Queenborough, Velká Británie. Revize textu 4. 7. 2007
- [21] *Forane*®, roztok k inhalaci. Příbalový leták. Výrobce a držitel rozhodnutí o registraci Abbott Laboratories Ltd., Queenborough, Velká Británie. Revize textu 17. 4. 2002
- [22] Geotechnical Instruments (UK) Ltd. *G100 Analyser Range Manual*. 2009. 52 s. [cit. 2010-04-19] Dostupný také z WWW: [http://www.geotech.co.uk/Downloads/G100\\_Analyser\\_Range\\_Manual.pdf](http://www.geotech.co.uk/Downloads/G100_Analyser_Range_Manual.pdf)
- [23] Geotechnical Instruments (UK) Ltd. *G200 Analyser Range Manual*. 2010. 60 s. [cit. 2010-04-19] Dostupný také z WWW: [http://www.geotech.co.uk/Downloads/G200\\_Analyser\\_Range\\_Manual.pdf](http://www.geotech.co.uk/Downloads/G200_Analyser_Range_Manual.pdf)
- [24] AIR LIQUIDE. *Physical properties of gases, safety, MSDS, enthalpy, material compatibility, gas liquid equilibrium, density, viscosity, flammability, transport properties* [on-line]. [cit. 2009-12-21]. Dostupný na WWW: <http://encyclopedia.airliquide.com/encyclopedia.asp>
- [25] RAJCHL, J., VŠETIČKA, M., *Encyklopedie fyziky*. Akademia. Praha 2006. Dostupné také z WWW: <http://fyzika.jreichl.com/>

## Seznam zkratk a symbolů

ppm	„part per million“ jednotky koncentrace (1% = 10000ppm)
ppb	„part per billion“ jednotky koncentrace (1% = 10000000ppb)
NDIR	nedisperzivní infračervený spektrometr
IR	infračervený
N	nehořlavý
OČ	oxidační činidlo
IA	inhalační anestetikum
RP	rajský plyn
D	dusivý
PA	prchavé anestetikum
K	klimatizační kontrola
PEL	přípustný expoziční (Nařízení vlády 361/2007 Sb.)
NPK-P	nejvyšší přípustná koncentrace (Nařízení vlády 361/2007 Sb.)

# Seznam příloh

Tabulka 1: Tabulka plynů pro měření klimatizační efektivity .....	45
Tabulka 2: Tabulka anestetický plynů .....	46
Tabulka 3: Tabulka těkavých kapalin používaných při anestezii .....	47
Tabulka 4: Druhy detekčních trubiček .....	48
Tabulka 5: Volba optických filtrů pro analyzátory navržené ve schématu měření II .....	49

# Přílohy

*Tabulka 1: Tabulka plynů pro měření klimatizační efektivity*

	CAS	PEL		NPK-P		toxicita	DMV	molekulární hmotnost	bod tání	bod varu	mezí hodnota hořlavosti ve vzduchu	kritická teplota	přepočet	použití
		mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	g/mol	°C	°C	%	°C	mg/m <sup>3</sup> - - ppm	
oxid uhelnatý	630-08-0	30	26	50	44	25	12,5	28,01	-	-191,6	12,4-74	-140,3	0,873	K
oxid uhličitý	124-38-9	9000	5004	45000	25020	5000	-	44,01	-	-78,5	N	31	0,556	K

**Tabulka 2: Tabulka anestetický plynů**

	CAS	PEL		NPK-P		toxicita	DMV	molekulární hmotnost	bod tání	bod varu	mezí hodnota hořlavosti ve vzduchu	kritická teplota	přepočet	použití
		mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	g/mol	°C	°C	%	°C	mg/m <sup>3</sup> - - ppm	
helium	7440-59-7	-	-	-	-	D	-	4,0026	-272,2	-269	N	-268	-	IA
kyslík	506-77-4	-	-	-	-	>21% obj. <sup>10</sup>	-	31,9988	-219	-183	OČ	-118,6	-	IA
oxid dusný	10024-97-2	180	99,9	360	199,8	50	-	44,013	-91	-88,5	OČ	36,4	0,555	IA, RP
cyklopropan	75-19-4	-	-	-	-	-	-	42,08	-	-	2,4-10,4	125,1	-	IA
chlorodifluor- metan	75-45-6	3600	118,8	-	-	1000	-	86,48	-40,8	-	N	96	0,283	-

<sup>10</sup> Doporučeno vyhýbat se hodnotám vyšším než 21% obj.

**Tabulka 3: Tabulka těkavých kapalin používaných při anestezii**

	CAS	PEL		NPK-P		toxicita	DMV	molekulární hmotnost	bod tání	bod varu	mezní hodnota hořlavosti ve vzduchu	kritická teplota	přepočten	použití
		mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	ppm	%	g/mol	°C	°C	%	°C	mg/m <sup>3</sup> - - ppm	
etylen	74-85-1	-	-	-	-	D	-	28,54	-169,2	-103,8	2,7-34	9,5	-	PA
etylchlorid	75-00-3	-	-	-	-	100	-	64,52	-	12,3	3,6-14,8	187	-	PA
trichlormetan	67-66-3	10	2,1	20	4,1	-	-	119,378	-63,6	61,1	-	-	0,205	PA
trichloretylen	79-01-6	250	46,5	750	139,5	-	-	-	-	87,2	-	-	0,186	PA
diethyleter	60-29-7	300	99	600	198	-	1,9	74,12	-116,3	34,6	-	-	0,33	PA, éter
halotan	151-67-7	15	1,9	30	3,7	-	-	-	-	50,2	-	-	0,124	PA
isofluran	26675-46-7	15	2	30	4	-	-	-	-	48,5	-	-	0,133	PA

**Tabulka 4: Druhy detekčních trubiček**

Druh trubičky	počet typů	počet plynů/látek
Standardní detekční trubičky	498	324
Pasivní dozimetrické trubičky	58	42
Trubičky pro kvalitativní analýzu (Polytec)	4	-
Detekční trubičky pro měření rozpuštěných látek ve vodě	14	10
Trubičky pro měření kvality stlačeného vzduchu (pro dýchací přístroje)	9	5
Detekční trubičky pro měření pomocí bateriového čidla	18	12



**Tabulka 5: Volba optických filtrů pro analyzátory navržené ve schématu měření II**

plyn	chemický vzorec	molární číslo	vhodný filtr			detekční limit [ppm]	barva optického filtru
			UA číslo	střed vlnových délek [ $\mu\text{m}$ ]	střed vlnového čísla [ $\text{cm}^{-1}$ ]		
oxid uhličitý	$\text{CO}_2$	44,01	0983	4,4	2270	1,7	žlutá
			0985	4,5	2215	77	žlutá
			0981	13,4	746	17	žlutá
			0982	14,1	710	1,4	žlutá
oxid dusný	$\text{N}_2\text{O}$	44,01	0985	4,5	2215	0,025	žlutá
			0984	4,7	2150	0,5	žlutá
			0969	8,0	1254	0,4	růžová
isofluran	$\text{C}_3\text{H}_2\text{ClF}_5\text{O}$	184,49	0984	4,7	2150	0,1	zelená
			0970	8,2	1217	0,01	růžová
			0971	8,5	1179	0,008	růžová
			0973	9,1	1101	0,1	zelená
sevofluran	$\text{C}_4\text{H}_3\text{F}_7\text{O}$	200,6	0970	8,2	1217	-	růžová
			0973	9,1	1101	-	zelená
			0982	14,1	710	-	žlutá
etylchlorid	$\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$	64,51	0987	3,4	2950	0,04	růžová
			0968	7,7	1291	0,17	růžová
			0975	10,2	981	0,31	zelená
trichlormetan	$\text{CHCl}_3$	119,38	0970	8,2	1217	0,07	růžová
			0974	9,4	1061	2,4	zelená
			0980	12,8	783	0,006	zelená
			0982	14,1	710	0,8	žlutá
diethyleter	$\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$	74,12	0987	3,4	2950	0,02	růžová
			0971	8,5	1179	0,07	růžová
			0973	9,1	1101	0,08	zelená

plyn	chemický vzorec	molární číslo	vhodný filtr			detekční limit [ppm]	barva optického filtru
			UA číslo	střed vlnových délek [ $\mu\text{m}$ ]	střed vlnového čísla [ $\text{cm}^{-1}$ ]		
etylen	$\text{C}_2\text{H}_4$	28,05	0987	3,4	2950	0,28	růžová
			0936	9,8	1020	0,31	zelená
			0976	10,6	941	0,25	zelená
chlordifluormetan	$\text{CHClF}_2$	86,47	0985	4,5	2215	0,7	žlutá
			0968	7,7	1291	0,07	růžová
			0973	9,1	1101	0,002	zelená
			0979	12,2	822	0,06	zelená
halotan	$\text{C}_2\text{HBrClF}_3$	197,38	0969	8,0	1254	0,02	růžová
			0972	8,8	1139	0,02	zelená
			0979	12,2	822	0,05	zelená
trichloretylen	$\text{C}_2\text{HCl}_3$	131,39	0976	10,6	941	0,2	zelená
desfluran	$\text{C}_3\text{H}_2\text{F}_6\text{O}$	168,04	0970	8,2	1217	-	růžová
			0973	9,1	1101	-	zelená
			0982	14,1	710	-	žlutá
enfluran	$\text{C}_3\text{H}_2\text{ClF}_5\text{O}$	184,49	0971	8,5	1179	0,006	růžová
			0972	8,8	1139	0,005	zelená
			0973	9,1	1101	0,006	zelená
			0979	12,2	822	0,09	zelená