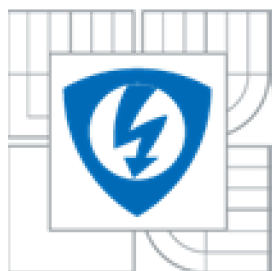




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

KONTROLA KONCENTRACE VÝBUŠNÝCH SLOŽEK PŘI ANESTEZI

TEST OF EXPLOSIV PARTITIONS AN ANESTETIC PRAXIS.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARIE KLIMEŠOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL JEHLIČKA, CSc.

BRNO 2010

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Marie Klimešová
Ročník: 3

ID: 106144
Akademický rok: 2009/10

NÁZEV TÉMATU:

Kontrola koncentrace výbušných složek při anestezii

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte postup pro identifikace úniku nebezpečných plyných a odpařujících se látek používaných na specializovaných pracovištích. Vyberte příkladné a možnost jejich zjištění v kontrolované zóně. Navrhněte hlášení koncentrace takových látek. Zaměřte se na použití studovaných detektorů a především možnosti včasného zjištění nebezpečných koncentrací. Navrhněte strukturu možné instalace na pracovištích. Navržené řešení porovnejte s ekonomickým nákladem samotného pracoviště. Vyberte nejvhodnější uspořádání odběru vzorků. Navrhněte jednoduchý, ale spolehlivý způsob oznamování alarmujícího stavu navazující na výstupní možnosti analyzátoru (B and K). Postup oznamování popište a případně programově realizujte modifikaci zadání limitních koncentrací (max., sumace, atd.). Ověřte, zda jsou hygienické meze dostatečně zahrnuté v rozsazích analyzátoru. Zhodnoťte známé experimenty a perspektivy zlepšení poměrů na kritických pozicích pracoviště.

DOPORUČENÁ LITERATURA:


- [1] Rajchl, J., Všeticka, M., Encyklopedie fyziky. Akademia Praha 2006.
- [2] Popis, vlastnosti a parametry detektorů plynů a srovnání s analyzátoru B&K a jinými dostupnými na trhu.

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

Na anesteziologických pracovištích se pracovníci denně setkávají s různými látkami a materiály. Jsou vystaveni riziku vypuknutí požáru nebo výbuchu? Touto otázkou se zabývám ve své práci, která je zaměřena na kontrole koncentrací výbušných látek používaných při anestezii. S tím souvisí prostudování u plynů a par těkavých kapalin jejich koncentrace, výbušnost, hořlavost a další vlastnosti. U plynů a par těkavých látek mě zajímá bezpečnost a jejich včasná identifikace při úniku na anesteziologických pracovištích, dále pak prostudování systému detekce a detektorů samotných. Seznámím se s plynovými analyzátory firmy Brüel & Kjaer.

ABSTRACT

On anesthesiologic workplace are workers meet with various substances and materials every day. Are they put at risk of outbreak of fire or explosion? I'm going to put mind to this issue in my work, which is aimed at monitoring concentrations of explosive substances used in anesthesia. A related study of gases and vapors of volatile liquids concentration, explosiveness, flammability and other properties. I'm interesting in security and the timely identification of gases and vapors of volatile substances of the leak of anesthetic workplace, then studying the detection system and the detectors themselves. I meet with gas analyzers of company Brüel & Kjaer.

KLÍČOVÁ SLOVA

anestézie, výbušnost směsí, detekce plynu, analyzátor B&K

KEYWORDS

anesthesia, explosibility of mixtures, gas detection, analyzer B&K

KLIMEŠOVÁ, M. *Kontrola koncentrace výbušných složek při anestezii*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 46 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Jehlička, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Kontrola koncentrace výbušných složek při anestezii* jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil 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.

V Brně dne 31. května 2010

.....
podpis autora

OBSAH

ÚVOD	7
1. POČÁTKY ANESTESIE.....	8
1.1. NEHODY NA OPERAČNÍCH SÁLECH.....	8
2. CELKOVÁ A LOKÁLNÍ ANESTÉZIE	10
2.1. CELKOVÁ ANESTÉZIE INHALAČNÍ	10
2.1.1 Anestetické plyny.....	10
2.1.2 Prchavá anestetika.....	11
2.2. CELKOVÁ ANESTÉZIE INTRAVENÓZNÍ.....	12
2.3. LOKÁLNÍ ANESTÉZIE.....	12
2.4. ANESTEZIOLOGICKÝ SYSTÉM.....	13
3. VLASTNOSTI PLYNŮ A TĚKAVÝCH KAPALIN.....	14
3.1. TEPLOTA VARU	14
3.2. SKUPENSKÉ TEPLA VARU	14
3.3. EXOTERMICKÁ (EXOTERMNÍ) REAKCE	14
3.4. ENDOTERMICKÉ (ENDOTERMNÍ) REAKCE.....	14
3.6. TEPLOTA VZNÍCENÍ.....	15
3.7. TEPLOTA SAMOVZNÍCENÍ	15
3.8. HOŘENÍ.....	15
3.9. VÝBUCH	16
3.10. MEZE VÝBUŠNOSTI.....	16
4. DETEKCE HOŘLAVÝCH PLYNŮ	18
4. 1. ELEKTROCHEMICKÉ SENZORY.....	19
4.1.1. Galvanometrické senzory kyslíku.....	19
4.1.2. Ampérometrický senzor kyslíku.....	20
4.1.3. Explozimetry - Plamenná ionizační detekce - FID	20
4.2. KATALYTICKÉ SENZORY.....	21
4.3. POLOVODIČOVÉ SENZORY.....	22
4.4. INFRAČERVENÉ SENZORY	23
4.5. FOTOIONIZAČNÍ SENZORY	25
5. ANALYZÁTORY	26
5.1. ANALYZÁTORY SPALIN TESTO 330.....	26
5.2. ANALYZÁTOR TESTO 350 M/XL.....	26
5.3. KATAROMETRICKÝ DETEKTOR.....	26
5.4. ANALYZÁTORY BRIEL AND KJAER	27
6. BRÜEL A KJAER.....	28
6.1. NÁVRH OZNAMOVÁNÍ ALARMUJÍCÍHO STAVU	33
7. SYSTÉM DETEKCE PLYNU	35
7.1. ODBĚR VZORKŮ PLYNU.....	35
7.2. ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA	35
8. NÁVRHY ŘEŠENÍ.....	38
8.1. IDENTIFIKACE ÚNIKU NEBEZPEČNÝCH LÁTEK	38
8.2. NÁVRH HLÁŠENÍ NEBEZPEČNÝCH KONCENTRACÍ.....	38

8.3. STRUKTURA MOŽNÉ INSTALACE	39
8.4. EKONOMICKÝ NÁKLAD INSTALACE	40
9. ZÁVĚR	41
10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	42
11. SEZNAMY ZKRATEK, SYMBOLŮ A PŘÍLOHY	45

ÚVOD

V dnešní době je anestézie samostatnou medicínskou disciplínou a patří neodmyslitelně ke každodennímu užívání. Anestézie představuje celkové uspání člověka nebo znecitlivění jen určité oblasti těla a tím umožnění pacientům, aby méně, popřípadě vůbec vnímali bolesti během lékařského zákroku. U lokální anestézie musíme k znecitlivění vyřadit ta nervová zakončení, pomocí nichž vnímáme, cítíme bolesti, vjemy. U celkové anestézie se potlačí nejen veškeré periferní vjemy, ale i vědomí.

K celkovému znecitlivění používáme plyny nebo i páry těkavých kapalin, které po určité době vdechování přestoupí z plic do krve, krví se dostanou do mozku a účinkují tak na centrální nervový systém. K takovým plynům patří oxid dusný ve směsi s kyslíkem, helium, dříve používaný cyklopropan, od kterého se upustilo pro svou vysokou výbušnost.

Těkavé kapaliny jsou takové kapaliny, které mají nízký bod varu, takže se snadno odpařují i za pokojové teploty nebo mírným zahřáním a vytváří páry, které při nadýchání vyvolávají požadované anestetické účinky. Mezi těkavé kapaliny, používané při anestezii, patří Halotan, Isofluran, Enfluran, Sevofluran, Desfluran a další, které jsou uvedeny v Tabulce 11.2.

Již u cyklopropanu se dříve zjistilo, že je výbušný a muselo od něj upustit. Proto se ve své práci zamýšlím nad tím, zda jsou anesteziologická prostředí zajištěna z hlediska bezpečnosti. Nebezpečí hoření nebo výbuchu může hrozit nejen při aplikaci plynu, ale také při aplikaci par těkavých kapalin. Dalším nebezpečím, nad kterým se příliš neuvažuje, může být dezinfekce obsahující hořlavinu a infúzní podání anestetik. Může tu být riziko, že trocha podaného kapalného anestetika utrousí na kůži pacienta a odpařováním z těla pacienta (bereme v úvahu tělesnou teplotu a okolní vzduch) se mohou páry vznítit.

Pokud tyto situace nastávají, jsou spíše výjimečné, jelikož anesteziologická pracoviště využívající plyny i páry těkavých kapalin musí mít ošetřenu bezpečnost pracoviště detektory, které při zvýšené koncentraci plynu, hlásí zvukovou nebo světelnou signalizací nebezpečí. A na jakém principu analyzátoři pracují a detekují koncentrace plynů více rozeberu ve své práci a seznámím se s plynovými analyzátoři B&K.

1. POČÁTKY ANESTESIE

V dnešní době už si třeba ani neuvědomujeme, jak podstatné, potřebné a především pohodlné pro náš život anestetické látky jsou. Můžeme být rádi, že žijeme ve vyspělé společnosti, která poskytuje lepší péči. Počátky anestézie spadají do starověku, kdy k potlačení bolesti lékaři vařili odvary z opia a mandragory, zkoušely se hypnózy, pouštění žilou do bezvědomí, pacienti ústech svírali dřevěné tyčky nebo jim bylo podáváno velké množství alkoholu. Všechny metody byly většinou neúspěšné, pacienti trpěli a jejich vysvobozením bylo až omdlení. Také lékaři se museli podle toho zařídit, kdy jejich cílem byla rychlost a ne úspěšnost [1].

K zásadnímu obratu došlo v 19. století. V roce 1799 se sir Humphry Davy, anglický chemik a vynálezce nadýchal oxidu dusného tolik, že to u něj vyvolalo nejen lehkou závrať, ale i záchvaty smíchu. Davy pak začal pořádat „rajské večírky“. Večírky, při nichž se společnost bavila čicháním rajského plynu nebo i éteru, inspirovaly zubního lékaře Horace Wellse k myšlence, zda by se éter nedal použít při trhání zubů. Pokus vyzkoušel sám na sobě a bezbolestně si nechal vytrhnout zub [1].

Průkopníkem užití éteru byl ale William Morton, kterého napadlo užít éter jako celkové anestetikum při větších operacích. Experimenty prováděl na svém psu, později i sám na sobě. V říjnu roku 1846 předvedl odbornému publiku demonstraci éterové narkózy. A když vzal chirurg do ruky skalpel a provedl řez na pacientově krku, k úžasu publika pacient nezařval bolestí. To byl první případ bezbolestně odoperovaného nádoru z krku pacienta. Používání éteru jako anestetika se pak rychle rozšířilo [1].

O schopnosti éteru se brzy dozvěděl gynekolog James Y. Simpson, který ho, i přes velký odpor církve, zavedl v porodnictví. Nebyl však s éterem úplně spokojen, a proto hledal jiný, vhodnější prostředek k utlumení porodních bolestí. Experimentoval s různými uspávacími látkami, až jednoho dne se se svými asistenty nadýchal trochu chloroformu. Toho dne stáli a bavili se. Simpson se nechápavě rozhlédl kolem sebe a zjistil, že leží na zemi stejně jako asistenti, kolem nich stála zděšená rodina a personál, který se snažil postavit muže na nohy. Nevěděli, co se stalo, ale Simpson si spojil souvislosti a bylo mu jasné, že má konečně v rukou ten správný narkotizační prostředek. První celkovou anestézií v Čechách podal Celestin Opitz [1].

První narkotizační metody byly velmi jednoduché a pro pacienta dost zatěžující. Pochopitelně umělá plicní ventilace neexistovala a celá operace musela probíhat za spontánního dýchání, což možnosti chirurgie značně omezovalo. Na druhou stranu byli k operacím připouštěni jen pacienti v dobrém celkovém stavu, kteří se ve většině případů dokázali s útrapami narkózy i operačního zákroku vyrovnat [1].

Anestézií také nevedli od počátku lékaři – podáváním byli pověřováni zřízenci na sálech či nejmladší chirurgové. Teprve po druhé světové válce zvítězil i u nás požadavek, aby podáváním narkózy byl pověřen lékař. I nadále ale zůstávala anestézie v rukou chirurgů, opět převážně těch nejmladších. Teprve od druhé poloviny padesátých let se postupně začala odštěpovat anesteziologie jako samostatný. Bouřlivý rozvoj rozsáhlých a náročných operačních zákroků, a tudíž i vysoké nároky na bezpečnost anestézie, si vyžádal i bouřlivý rozvoj anesteziologie a pooperační péče o pacienta vůbec. Starostí anesteziologa tak přestává být pouze operační výkon, ale i následná péče o rizikového či komplikovaného pacienta [1].

1.1. NEHODY NA OPERAČNÍCH SÁLECH

Počátek rozvoje použití anestetických plynů byl velmi důležitý. Používání anestetik se velmi rozmohlo, ale až s odstupem času se zjistilo, že některé používané plyny se vyznačují

hořlavostí a výbušností a ohrožují tak život pacienta. Proto zde uvádím pro zajímavost několik novinových článků, které pojednávají o nehodách na operačních sálech.

Na operačním sále hořel pacient. 25. února 2003.

Ve Vítkovické nemocnici začal hořet sedmadvacetiletý pacient. Ležel přímo na operačním sále v narkóze, lékaři mu operovali nezhoubný nádor. Muž utrpěl i přes rychlý zásah lékařského personálu popáleniny druhého a třetího stupně.

Mluvčí nemocnice Eva Kijonková řekla, že popálení zřejmě způsobila dezinfekce na bázi alkoholu, která se vzňala při použití elektrického přístroje na zacelování operačních ran. Pacient skončil po nehodě na popáleninovém centru Fakultní nemocnice v Ostravě [13].

Požár v nemocnici zavinil výbuch éteru. 16. ledna 2001.

Hasiči zápolili s požárem ve Fakultní nemocnici v Plzni. Požáru předcházela exploze v pomocné místnosti jednoho z operačních sálů. Požár způsobil výbuch éteru v této místnosti. *"Zřejmě zkratovala lednice a začala hořet. V ní měli zdravotníci uskladněn éter, který v žáru explodoval,"* řekl velitel zásahu plzeňských hasičů Miroslav Moule.

"Personál připravil operační sál, kde za několik minut měla začít plastická operace. Zdravotníci na chvíli odešli a přípravná místnost vybuchla. Ještěže tam nikdo nebyl," sdělila ředitelka nemocnice Jaroslava Kunová. Hasiči ocenili pohotovost zdravotníků, kteří odtáhli od ohně všechny kyslíkové lahve. *"Pokud by zůstaly v žáru, hrozilo, že se dočkáme mnohem silnějšího výbuchu,"* uznal Moule [14].

Lékařům hořela pod rukama pacientka. 30. září 2002.

Při nedávné operaci kýly v kladenské nemocnici byla popálena pacientka. Poté, co lékařský tým začal s plánovaným zákrokem, vzňaly se na ní výpary z dezinfekce. Lékaři oheň uhasili. Kýlu jí už neodoperovali. Dvaatřicetiletá žena utrpěla popáleniny na pěti procentech těla a je hospitalizována na oddělení popálenin pražské vinohradské nemocnice. Příčiny vyšetřuje nemocnice i policie.

"Destilát dezinfekce, která se při operacích používá, je na bázi vysoko-koncentrovaného alkoholu. Při operaci se používají elektrické přístroje, od nich mohla jiskra přeskočit a páry zapálit," sdělil mluvčí kladenské nemocnice Petr Širotek.

Fakt, že ženu čeká ještě dlouhá léčba potvrdila i mluvčí vinohradské nemocnice Zuzana Sadílková. *"Bezprostředně v ohrožení života nebyla. Rozhodně ji ale čekají další operace."* O trestním oznámení na nemocnici poškozená pacientka zatím neuvažuje. Na náhradě škody se chce raději s vedením nemocnice dohodnout. Nad vznícením par dezinfekce na operačním sále mnozí lékaři jen nevěřicně kroutí hlavou. *"Teoreticky to možné je, musela by to být ale velká náhoda,"* poznamenal rakovnický chirurg Ivo Michalička [15].

Pokud bych pátrala dále, jistě bych našla zprávy o tom, kdy dříve došlo k výbuchu anestetických plynů, např. cyklopropanu, který se užíval na počátku rozvoje anestezie, a u kterého se časem zjistila jeho vysoká výbušnost a muselo být od něj upuštěno. Z toho důvodu se začaly zkoumat vlastnosti plynů a užívat jen ty, které nejsou tolik nebezpečné jako již zmíněný cyklopropan. Abychom lépe rozuměli plynům, musíme se s nimi seznámit, musíme se seznámit s jejich chemickými a fyzikálními vlastnostmi, o kterých pojednává následující kapitola.

2. CELKOVÁ A LOKÁLNÍ ANESTÉZIE

Celková anestézie (řecky an – bez, aisthesis – pocit, vjem) neboli narkóza (z řeckého narkosis – omámení) je vhodná k provádění rozsáhlých operačních výkonů, např. laparoskopických zákroků, operačních výkonů v nadbřišku, operací prsů, štítné žlázy, plastických operací. Celková anestézie je uměle vyvolané potlačení vědomí a veškerých periferním vjemů (chlad, teplo, bolest, dotyk). Hlavním místem účinku léků je centrální nervový systém. K celkové anestezii se užívá inhalačních, intravenózních, nitrosvalových, rektálních, perorálních anestetik, z nichž poslední tři druhy jsou používány zřídka [16].

Lokální anestetika jsou látky, které přerušují vodivost nervového vlákna pro nervový rozruch. Brání depolarizaci vlákna blokadou sodíkových kanálů. Molekula místního anestetika je tvořena třemi částmi: aromatickou částí (odpovídá za rozpuštění v tucích a vazbu na plazmatické bílkoviny, a tím za stupeň účinnosti a délku trvání), amidovou nebo esterovou vazbou a aminem (ten odpovídá za rozpustnost ve vodě) [16, 17].

2.1. CELKOVÁ ANESTÉZIE INHALAČNÍ

Je navozena zavedením anestetických plynů nebo par prchavých anestetik do dýchacích cest a plic nemocného. Odtud inhalační anestetika přestupují přes alveolokapilární membránu do krve, která je distribuována k mozku a dalším orgánům. Rychlost nástupu anestezie závisí kromě fyzikálních a chemických vlastností inhalačního anestetika i na ventilačních, difuzních a perfúzních podmínkách plic (na větrání a rozvodu směsi, stavu alveolokapilární membrány a prokrvení plic). Po ukončení přívodu anestetik jsou tato částečně v nezměněné formě vylučována plicemi (vydýchána), částečně procházejí biotransformací v játrech a jejich metabolity jsou vylučovány ledvinami, částečně i žlučí [16, 17].

2.1.1 Anestetické plyny

OXID DUSNÝ

známý jako rajský plyn je nejpoužívanějším plynným anestetikem. Jedná se o bezbarvý plyn bez chuti a zápachu. Láhve, v nichž je částečně v kapalném skupenství skladován, mají modrý pruh. Plyn má slabé anestetické a výraznější analgetické vlastnosti, nedráždí dýchací cesty. Je součástí nosné směsi pro prchavá anestetika (podáván ve směsi s kyslíkem v podílu 50-70%). Dlouhodobé působení může vyvolat dřeňový útlum a poruchy imunity [16].

Možná nebezpečí: Podporuje spalování a dušení.

Toxicita: Koncentrace 50 ppm¹ je toxická.

Fyzikální a chemické vlastnosti: Je silné oxidační činidlo. Sladký, nehořlavý plyn. [36]

KYSLÍK

je nezbytnou součástí dýchací směsi. Je přechováván v tlakových lahvích s bílým pruhem při tlaku 15–20 MPa [16].

Fyzikální a chemické vlastnosti: Bezbarvý plyn. Bez zápachu. Nehořlavý, avšak podporuje hoření. Silný oxidant.

Možná nebezpečí: Dlouhodobé vdechování vzduchu s obsahem kyslíku nad 75% může způsobit zdravotní potíže.

Opatření pro hasební zásah: Působením ohně může dojít k explozi tlakové nádoby. Lze použít všechna známá hasiva. Pokud je možné, zastavit únik plynu.

¹ Ppm (parts per milion) je výrazem pro jednu miliontinu celku [32].

Opatření při úniku plynu: Nekouřit při manipulaci.

Pokyny pro zacházení s látkou: Nepoužívat žádné tuky a oleje. Používat jen se zařízením určeným pro kyslík. Nádoby zajistit proti pádu. Skladovat na dobře větraném místě při teplotě nižší než 50°C. Skladovat odděleně od hořlavých plynů a ostatních hořlavých látek [36].

HELIUM

je vzácný inertní plyn. Někdy bývá přidáván do dýchacích směsí ke zlepšení průtokových poměrů při obstrukční či spastické bronchopulmonální chorobě („ředí“ dýchací směs) [16].

Možná nebezpečí: Stlačený plyn. Při vyšších koncentracích působí dusivě.

Opatření při požáru: Působení ohně může způsobit roztržení/ explozi nádoby. Není hořlavý. Nebezpečné zplodiny spalování nejsou. Mohou být použity všechny typy hasiv. Pokud je možno, uzavřít výstup plynu. Nádoby odstranit z místa požáru a z chráněného místa intenzivně chladit vodou.

Opatření při úniku plynu: Vyklidit prostor. Zajistit postačující větrání. Odstranit zápalné zdroje. Pokud není prokázána neškodnost atmosféry použít nezávislý dýchací přístroj.

Manipulace a skladování: Dbát nařízení ČSN 07 8304. Nádoby skladovat při teplotě nižší než 50°C na dobře větraném místě. Dbát na skladovací podmínky podle pokynů dodavatele. Zamezit zpětnému proudění plynu do nádoby. Zamezit vniknutí vody do nádoby [36].

CYKLOPROPAN

je výborným inhalačním anestetikem, ale pro svoji vysokou výbušnost byl prakticky opuštěn [16].

XENON

je pro lékařství zatím neznámý a nevyužitý vzácný plyn. Náklady na jeho výrobu jsou drahé, ale i přesto se začíná objevovat na evropském trhu, protože pokrok v oblasti využití a recyklaci xenonu je ekonomicky zásadní a výhodný. Xenon jako anestetikum je o 50% více účinnější než oxid dusný. Narozdíl od oxid dusného není xenon skleníkovým plynem, a je proto šetrnější k životnímu prostředí. [18]

2.1.2 Prchavá anestetika

Prchavá anestetika jsou těkavé kapaliny, jejichž páry jsou zaváděny do dýchací směsi [16].

TRICHLORMETHAN

známý jako chloroform je bezbarvá, nehořlavá kapalina. Páry chloroformu jsou těžší než vzduch, proto se v uzavřených prostorách hromadí u podlahy a obtížně se vyvětrává. Upustilo se od něj po zjištění nežádoucích účinků na zdraví člověka [16].

DIETHYLETHER

je bezbarvá, sladce páchnoucí, hořlavá a výbušná kapalina, špatně rozpustná ve vodě. Diethylether je mocné anestetikum, analgetikum, bronchodilatans. Použití etheru vymizelo s možností použití nehořlavých anestetik jako je např. Halotan. Díky nízké ceně je preferovaným anestetikem v některých rozvojových zemích. [35].

HALOTAN

byl dlouhodobě nejrozšířenějším prchavým anestetikem, které se v současné době pro své nežádoucí účinky již dále nevyrábí. Byl syntetizován v roce 1951. Nedráždí dýchací cesty a snižuje jejich sekreci, poměrně příjemně voní a má bronchodilatační účinky. Snižuje srdeční frekvenci a sílu stahu. Způsobuje žilní a mírné tepenné rozšíření průsvitu. Výsledkem je pokles krevního tlaku. Po opakovaném podání byla poznána poškození jater [16, 35].

ENFLURAN

je v koncentraci vyšší než 4, 45% ve 20% kyslíku v oxidu dusném hořlavý. Zvyšuje průtok krve mozky. Vyvolává slabou svalovou relaxaci. Na dýchací cesty působí dráždivě. Je ze 3% metabolizován v játrech [16].

ISOFLURAN

je izomerem enfluranu. Je stabilní a nevyžaduje konzervační přísady. Má menší kardiodepresivní účinek než halotan a enfluran. Na dýchací cesty působí dráždivě. Nefrotoxicita a hepatotoxicita nebyla zaznamenána. V současné době je izofluran považován za „zlatý standard“ inhalačních anestetik [16].

SEVOFLURAN

je v současné době čím dál více používaný jako základní anestetikum. Příjemná vůně, rychlý inhalační úvod a rychlé a příjemné probouzení z něj činí výhodnou náhradu za halotan. Limitací je vyšší cena. [16].

DESFLURAN

liší se od isofluranu jen záměnou fluoru za chlor. Vzhledem k nízkému bodu varu (23,5 °C) vyžaduje speciální přetlakový odpařovač. Vhodný pro dlouhé výkony [16].

2.2. CELKOVÁ ANESTÉZIE INTRAVENÓZNÍ

Je vyvolána nitrožilním podáním anestetika, které působí na cílový orgán – *mozek*. Rychlý nástup anestezie je dán vysokým prokrvením mozkové tkáně. Rychlé probouzení je pak důsledkem přerozdělení anestetika nejdříve do tkáně svalové a sekundárně i do tkáně tukové. Nejčastěji jsou nitrožilní anestetika užívána k vedení anestezie pro krátké operační či léčebné výkony. Mezi nitrožilní anestetika patří barbituráty (thiopental), imidazolové látky, alkylované látky, steroidy, eugenoly, fenylycyklidiny, benzodiazepiny, analgetika (opioidy)- účinek opioidů je zvrtný specifickým antidotem naloxon. [2, 17].

2.3. LOKÁLNÍ ANESTÉZIE

Rozdělení lokální anestézie podle místa aplikace:

topická (povrchová) – spočívá v aplikaci anestetika na povrch, který je třeba znecitlivět. Užívány jsou anestetika amidového typu, výjimečně kokain.

infiltrační – využívá infiltrace přímo v místě operačního zákroku, např. vynětí malých kožních afekcí (pih apod.).

okrskovou – jejímž základem je přerušování vodivosti nervových vláken v malé vzdálenosti od místa operačního zákroku.

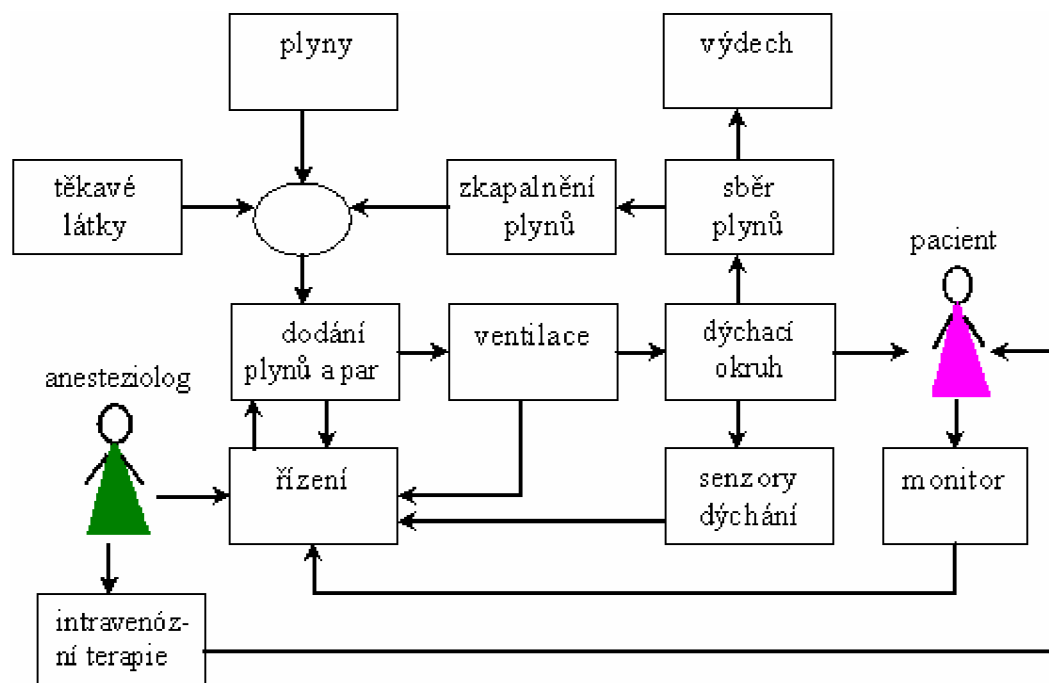
svodnou (blokády nervových pletení) – spočívá v zavedení anestetika cíleně k nervu nebo nervové pleteni, pomocí jehly nebo ponechaným katétrem

spinální – epidurální, subarachnoidální [2, 17].

2.4. ANESTEZIOLOGICKÝ SYSTÉM

Anestetický přístroj slouží k podávání celkové inhalační anestézie. Narkotizační ventilační systém tvoří ventilace pro přísun kyslíku a vzduchu, směšovač kyslíku a oxidu dusného, odpařovač pro dodání par kapalných anestetik s kontrolovatelnou koncentrací a pohlcovač oxidu uhličitého. V současné moderní době jsou anesteziologické přístroje vybaveny oddělenými hadicemi pro směs vdechovaných a vydechovaných plynů [3, 4].

Monitorováním pacienta se sleduje plicní ventilace, tlaky a objemy plynů v dýchacích cestách, dechová frekvence, minutový dechový objem, vdechový a výdechový objem. Součástí přístroje je i sledování a hodnocení životních funkcí pacienta, jako je EKG, EEG, kyslík ve tkáních, srdeční výdej, tlak krve, teplotu, saturace kyslíku a další [3].



Obr. 2.1 Blokové schéma anesteziologického systému.

3. VLASTNOSTI PLYNŮ A TĚKAVÝCH KAPALIN

Abychom se mohli zabývat nad otázkou rizika výbušnosti a hořlavosti plynů a těkavých kapalin, musíme se seznámit s vlastnostmi plynů, o kterých se bude dále hovořit. Plyny nemají svůj stálý tvar, nemají vlastní objem, nejsou dokonale stlačitelné, ale pohybují se různým směrem a různými rychlostmi a v důsledku srážek molekul plynu roste teplota a střední rychlost molekul. S použitím termínů hoření a výbuch souvisí také přítomnost kyslíku, hořlavá látka, teplota. Jelikož plyny mají svou teplotu varu, teplotu vznícení, zajímám se o tyto informace proto, zda se nepoužívají na anesteziologických pracovištích takové plyny, které by se mohly sami vznítit nebo svým bodem varu přispěly k hoření.

V Tabulce 11.1 a Tabulce 11.2 v příloze jsem pro zajímavost zapsala i zda daný plyn či kapalina ve směsi se vzduchem tvoří exotermní nebo endotermní reakci. Hoření je reakce exotermní, tudíž pro endotermní reakci nenastane hoření. Nevím, zda tyto informace ve své práci použiji.

3.1. TEPLOTA VARU

Teplota varu je teplota, při níž kapalina vře. Fyzikálně je teplota varu definována tak, že se jedná o teplotu, při které se právě vyrovná tlak par kapaliny s tlakem okolního plynu. Teplota varu závisí na atmosférickém tlaku (nebo obecněji na tlaku, který na kapalinu působí). Základní jednotkou je kelvin [33].

3.2. SKUPENSKÉ TEPLŮ VARU

Skupenské teplo varu je skupenské teplo vypařování při teplotě varu kapaliny. Skupenské teplo varu je teplo (množství energie na jednotku hmotnosti), které přijme kapalina při přechodu v plyn během vypařování při teplotě varu [5].

3.3. EXOTERMICKÁ (EXOTERMNÍ) REAKCE

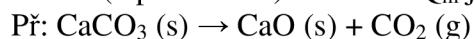
je reakce, při níž se uvolňuje energie (uvolňuje se teplo), protože reaktanty mají větší energii než produkty. Exotermické děje: kondenzace, tuhnutí, desublimace. Exotermní děj – exergonický děj. Exergonický děj je děj, který z energetického hlediska může proběhnout samovolně. Při exergonickém ději klesá Gibbsova energie soustavy (nevyžaduje volnou Gibbsovu energii). Při exotermické reakci je hodnota energie Q kladná, dochází k uvolnění kinetické energie, která se předá vzniklým částicím (roste teplota). Molární reakční teplo Q_m [kJ/mol] je množství tepla, které se uvolní nebo spotřebuje v průběhu chemické reakce. Hodnota Q_m je záporná u reakce exotermické. [5, 20]

Př: $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$

3.4. ENDOTERMICKÉ (ENDOTERMNÍ) REAKCE

jsou takové, při nichž je spotřebováváno teplo. Pro proběhnutí reakce je nutné ho dodávat. Endotermní děje: sublimace, vypařování, tání. Endotermický děj – endergonický děj. Při endergonickém ději roste Gibbsova energie. Díky endergonickému ději klesá teplota soustavy. Z energetického hlediska nemůže proběhnout samovolně. Endergonický děj je děj, při kterém klesá neuspořádanost soustavy (entropie). Děj neprobíhá s velkou rychlostí. Endotermní reakce, vyžadují volnou energii ke tvorbě energeticky bohatých látek (zbývající

část volné energie se mění na teplo). Při endotermické reakci je hodnota Q záporná, dochází k úbytku kinetické energie interagujících částic, který přispěje ke zvýšení hmotnosti produktů reakce (teplota klesá). Hodnota Q_m je kladná u endotermické reakce. [5, 20]



3.6. TEPLOTA VZNÍCENÍ

Teplota vznícení je definována jako nejnižší teplota (horkého povrchu), při které se za stanovených podmínek hořlavá látka ve směsi se vzduchem vznítí. Při stanovení teploty vznícení se vznícení vyvolá pouze působením tepla, nikoliv iniciačním zdrojem (plamenem nebo jiskrou) [19, 54].

Měření bodu vznícení kapalin se provádí např. tak, že se zkoušená kapalina kape na zahřívající desku. Při takovém provedení zkoušky lze pozorovat dva body vznícení. Nejprve se začnou kapky při styku s deskou za určité teploty zapalovat (bod vznícení látky v kapalném stavu). Při dalším zvyšování teploty se kapky rychle odpařují a ke vznícení nedochází. Až při dosažení určité teploty dochází opět ke vznícení (bod vznícení látky ve formě par). Tyto dva body vznícení mohou u některých látek buď spolu splývat, nebo se od sebe lišit. Bod vznícení hořlavé kapaliny je tedy také definován jako nejnižší teplota, při které se páry kapaliny zahřívající na vzduchu samy od sebe vznítí (stejně nastane vznícení par hořlavých kapalin od předmětu, zahřátého na teplotu bodu vznícení). Na vyšší bodu vznícení mohou mít vliv různé příměsi, styk s látkami působícími katalyticky apod. Tyto vlivy mohou bod vznícení v některých případech značně zvyšovat nebo snižovat. Bod vznícení je důležitá hodnota, které se přímo využívá v zábraně požárů nebo výbuchů stykem látek s různě teplými zdroji. Například povrchová teplota topných těles nebo jejich součástí použitých při vytápění, ke kterým mají přístup páry hořlavých kapalin, musí být alespoň o 50 °C nižší, než je bod vznícení hořlavé kapaliny, s níž se pracuje [19].

3.7. TEPLOTA SAMOVZNÍCENÍ

Teplota samovznícení je definována jako nejnižší teplota, při které v látce začínají bez vnějšího přívodu tepla exotermické procesy, které vedou k samovznícení. Teplo potřebné k zapálení látky vzniká z látky samotné jako důsledek chemických, fyzikálních nebo biologických pochodů. Pod pojmem samovznícení je třeba rozumět nejen vlastní zapálení látky, ale souhrnný samovolně probíhající proces od prvního vzrůstu teploty (= teplota samovznícení) až k dosažení teploty vznícení. [21]

3.8. HOŘENÍ

je fyzikálně chemická oxidační reakce, při které hořlavá látka reaguje vysokou rychlostí s oxidačním prostředkem za vzniku tepla a světla. Je to reakce exotermická [19].

Riziko vzniku hoření je v podstatě dáno 3 činiteli: **okysličovadlo, hořlavý materiál, teplota** rovnající se nebo vyšší než minimální teplota vznícení materiálu (zápalný zdroj/teplota vznícení). Někdy může vzniknout hoření, do kterého je zapojeno více elementů. Existují látky, které začnou hořet, až když se dobře smísí s kyslíkem přítomným ve vzduchu. V tom případě je 4. faktorem poměr směsí a pro většinu látek je to dostatečný důvod k vznícení. Jsou i látky, které za těchto podmínek neshoří lehce, proto 5. faktorem jsou pozitivní katalyzátory, které podporují proces hoření, ale samy neshoří. Příkladem může být cukr, který zhnědne, ale neshoří. Při použití negativního katalyzátoru nemůže hořlavá látka více hořet. Tohoto principu se využívá při hašení [4, 19].

Pro snížená rizika požáru pro pacienty, ostatní osoby a okolí nesmí být hořlavé materiály za normálních podmínek a za stavu jedné závady v prostředí obohaceném kyslíkem současně vystaveny podmínkám, za kterých se teplota tohoto materiálu zvyšuje na jeho minimální teplotu zapálení a je přítomno oksylichovadlo. [4]

Anestetika nespádají jednoznačně do kategorií hořlavých a nehořlavých látek. Možnost vznícení nezáleží pouze na použité látce, její koncentraci a ostatních současně použitých plynech, ale rovněž na elektrické energii, výkonu a povrchové teplotě, které jsou pro vznícení dostupné. Ačkoli je halotan všeobecně považován za bezpečný, tvoří s kyslíkem a oxidem dusným při zkouškách s velmi vysokou zápalnou energií hořlavé směsi. Proto je nezbytné specifikovat nižší zápalnou úroveň anestetik, pod kterou platí požadavky na anesteziologický přístroj. Se zřetelem na hořlavé materiály má být zvláštní pozornost věnována materiálům, které se mohou nahromadit během dlouhé doby používání přístroje, např. částecům papíru nebo bavlny (vaty) přeneseným vzduchem. [4]

Zprávy o požárech způsobených zdravotnickými přístroji nejsou běžné. Vyskytnou-li se ovšem takové požáry v nemocničním prostředí, mohou mít tragické následky [4].

3.9. VÝBUCH

je prudká oxidační nebo rozkladná reakce způsobující zvýšení teploty, tlaku nebo obou současně. Z hlediska rychlosti oxidace probíhá chemický výbuch buď formou - explozivního hoření (deflagrací, která se týká 90% případů hoření prachů) nebo detonací. Obě formy se od sebe liší především rychlostí šíření. Detonace se šíří rychlostí větší než je rychlost zvuku ($>1000 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Tlak v detonační vlně dosahuje až dvojnásobek hodnot tlaku při explozivním hoření [19].

Výbušná směs je směs hořlavých látek ve formě plynů, par, mlhy nebo prachů se vzduchem za atm. podmínek, ve které se po vznícení rozšíří hoření do celé nezapálené směsi. Prostor s nebezpečím výbuchu je prostor, ve kterém se může vyskytovat výbušná směs [19].

3.10. MEZE VÝBUŠNOSTI

Některé plyny a páry hořlavých kapalin nebo některé látky ve formě prachu mohou za určitých podmínek tvořit se vzduchem směsi nebezpečné výbuchem. Je-li v ovzduší přítomno malé množství plynů nebo par, nehrozí ani požár, ani výbuch. Je-li koncentrace plynů nebo par ve směsi se vzduchem naopak vysoká, může se tato směs vznítit, popřípadě za přístupu vzduchu hořet. Mezi těmito dvěma krajními možnostmi leží oblast koncentrací, při kterých vytvářejí plyn nebo páry se vzduchem výbušné směsi, a mohou tedy při vhodném podnětu vybuchovat. Meze výbušnosti udávají tedy dvě krajní koncentrace látky ve směsi se vzduchem, mezi kterými může tato směs vybuchnout. Meze výbušnosti mají pro každou látku určité hodnoty. [19]

Dolní mez výbušnosti (LEL) je objemová koncentrace hořlavého plynu nebo par ve vzduchu, pod kterou se vytváří výbušná plynná atmosféra. **Horní mez výbušnosti** (UEL) je objemová koncentrace hořlavého plynu nebo par ve vzduchu, nad kterou se vytváří výbušná plynná atmosféra. Je-li koncentrace plynu mezi LEL a UEL a existuje zdroj iniciace, plynná směs začne hořet nebo vybuchne. [6]

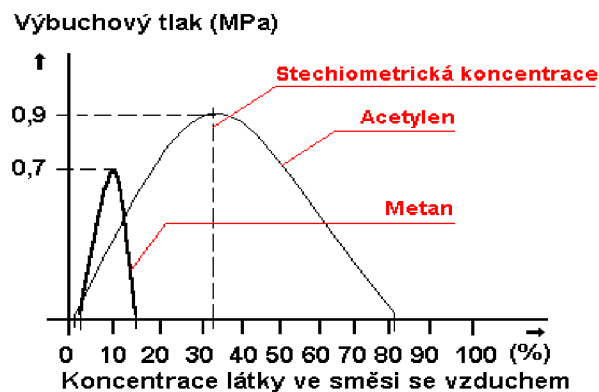
Spodní i horní meze výbušnosti mohou ležet blízko sebe, plyny nebo páry jsou výbušné ve směsi jen v poměrně úzkém rozmezí koncentrací. Nebo mohou být meze výbušnosti od sebe velmi vzdáleny, plyny nebo páry jsou výbušné ve směsi v širokém rozmezí koncentrací. Příkladem může být acetylén na Obr. 3.1 (spodní mez výbušnosti 1,5 % obj., horní mez výbušnosti 80% obj.). Je zřejmé, že látky s možností výbuchu v širokém rozmezí koncentrací

jsou nebezpečnější, vytvoření bezpečných pracovních podmínek je obtížnější. Aby nemohlo dojít k výbuchu, nesmí koncentrace látky překročit spodní mez výbušnosti. [19]

V literatuře uváděné meze výbušnosti jsou většinou stanoveny pokusně za normálních podmínek (tlaku a teploty). Mění-li se tyto podmínky, pracuje-li se např. při vyšších teplotách, vyšším nebo nižším tlaku, mění se také meze výbušnosti. To znamená, že látka je schopna tvořit výbušné směsi v širším nebo užším rozmezí koncentrací. Meze výbušnosti se také mění, je-li látka např. ve směsi s čistým kyslíkem, nebo jsou-li přítomna někdy i malá množství jiného plynu nebo páry. Také jemně rozptýlený nebo usazený prach některých látek může být v určitých koncentracích ve směsi se vzduchem příčinou výbuchu (např. uhelný prach v dolech, prach škrobu, dextrinu, apod) [19, 22].

Konkrétní příklad výbuchu methanu a acetylénu (objem 1 dm³)

Methan se spodní mezí výbušnosti 5% obj. a horní mezí výbušnosti 15% obj., dále víme, že při optimálním poměru 9,5% tohoto plynu dojde k nejsilnějšímu výbuchu (nazývá se stechiometrický poměr výbušné směsi) [19].



Obr. 3.1 Meze výbušnosti methanu a acetylénu.

4. DETEKCE HOŘLAVÝCH PLYNŮ

Zjistilo se, že některé plyny opravdu nejsou vhodné pro použití narkózy, ať už z důvodu toxického a zdraví škodlivého, nebo mezí hořlavosti a výbušnosti. Avšak věda a technika pomohla ke kontrole koncentrací těchto plynů, a proto tato kapitola pojednává o analyzátořech, které jsou vhodné k měření plynů.

Při detekci plynů a par jde o to, změřit nebo hlídat úroveň koncentrace plynu nebo páry, pro kterou je určen a cejchován detektor plynu. K výraznému vývoji detekční techniky došlo v poslední době především v souvislosti s rozvojem energetického a chemického průmyslu. Právě zde jsou často produkovány nebezpečné plyny, které mohou ohrozit člověka nebo způsobit velké materiální škody. Tomu mají zabránit právě detekční systémy. Podle účinku plynů na pracovní a životní prostředí člověka lze rozlišovat mezi detekcí plynů hořlavých (zemní plyn, propan-butan, benzinové páry apod.), toxických (oxid uhelnatý, amoniak, sirovodík, chlor atd.) a ostatních (kyslík, oxid uhličitý, dusík atd.). Některé plyny jsou zároveň toxické i hořlavé a mohou vytvářet výbušnou směs se vzduchem. Při výběru vhodného detektoru se lze obecně řídit tím, že při detekci toxických plynů musí být senzor schopen měřit nízké koncentrace (v řádu jednotek ppm), kdežto při detekci hořlavých látek koncentrace vysoké [34].

V současné době neexistuje žádný senzor, který by byl stoprocentně selektivní na jeden plyn. Dosažení takovéto selektivity vyžaduje použití analytických metod identifikace plynů. Příklady takových metod jsou infračervená spektroskopie, plynová chromatografie nebo hmotnostní spektrometrie [23].

Tyto metody jsou velmi přesné a selektivní. Některé jejich typické aplikace zahrnují detekci výbušnin na letištích a analýzu kvality ovzduší. Tyto analytické nástroje však vyžadují vysoce kvalifikovaný personál, jsou velmi drahé a z těchto důvodů jsou určeny pro laboratorní praxi. Mnoho z nich navíc trpí dalšími nedostatky: nutností časté údržby, pomalou odezvou či velkými rozměry, což je činí nepraktickými pro některé oblasti, jako je například provozní monitorování kvality vzduchu a bezpečnost [23].

Jsme schopni navrhnout, měřit, kontrolovat v lékařském pracovišti takové látky, které mohou rizikovat nebezpečí.

Senzory plynu

Senzor plynu je čidlo, který v přítomnosti molekul daného plynu produkuje elektrický signál, jehož intenzita je úměrná koncentraci plynu. Protože existuje velké množství různých plynů a celá řada odlišných aplikací, v nichž jsou tyto plyny využívány, liší se i požadavky na jejich detekci [23].



Obr. 4.1 Princip funkce senzoru.

K monitorování kvality vzduchu a bezpečnosti jsou nejrozšířenější a nejvhodnější následující typy senzorů:

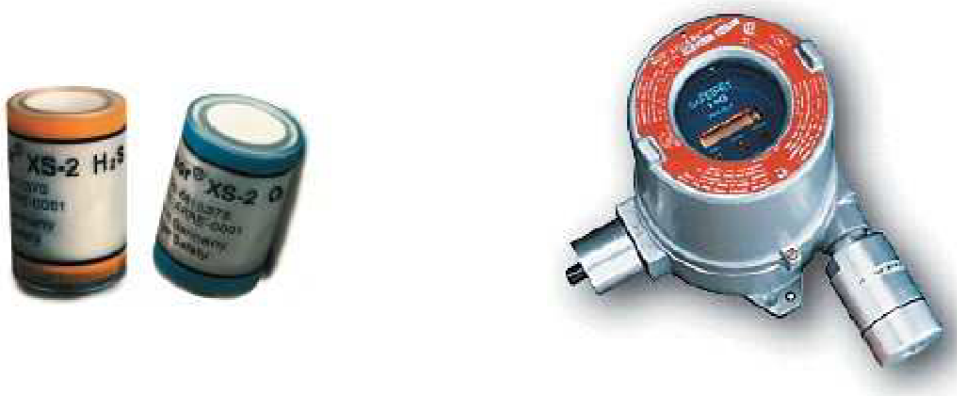
- elektrochemické

- infračervené
- katalytické
- fotoionizační
- polovodičové (též senzory pevné fáze) [23].

4. 1. ELEKTROCHEMICKÉ SENZORY

Vzhled elektrochemických senzorů určených k detekci různých plynů může být podobný, ale jejich funkce může být výrazně odlišná [23].

Elektrochemické senzory jsou obvykle velmi selektivní k detekovanému plynu. Selektivita závisí na typu senzoru, detekovaném plynu a jeho koncentraci. Nejselektivnější je elektrochemický senzor pro detekci kyslíku, který je navíc velmi spolehlivý a má dlouhou životnost. Obvyklá životnost elektrochemických senzorů je 1 až 3 roky (závisí značně na celkovém objemu plynu, který jím prošel, a na teplotě, tlaku a vlhkosti okolního prostředí). Elektrochemické senzory vyžadují ke svému provozu velmi málo energie. Jejich spotřeba energie je nejnižší ze všech typů senzorů používaných pro detekci plynu. Z tohoto důvodu jsou elektrochemické senzory široce používány u multifunkčních přenosných detektorů, používaných k detekci více druhů plynu [23].

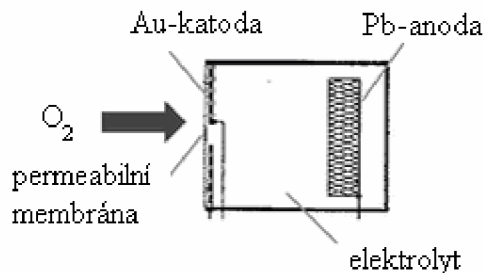


Obr. 4.2 Elektrochemické senzory a detektor k detekci kyslíku.

4.1.1. Galvanometrické senzory kyslíku

Využívají principu galvanického článku. Tento princip se využívá pro detekci plynů, které lze elektrolyticky přeměnitelné nebo oxidují na kovovém katalyzátoru, jako jsou platina nebo zlato. Typické plyny, které lze tímto způsobem měřit jsou oxidy - O₂, NO, NO₂, CO, CO₂ a H₂S nebo organické páry alkoholů, aldehydů nebo ketonů. Citlivost senzorů se pohybuje zhruba v rozsahu 3-30 ppm [24].

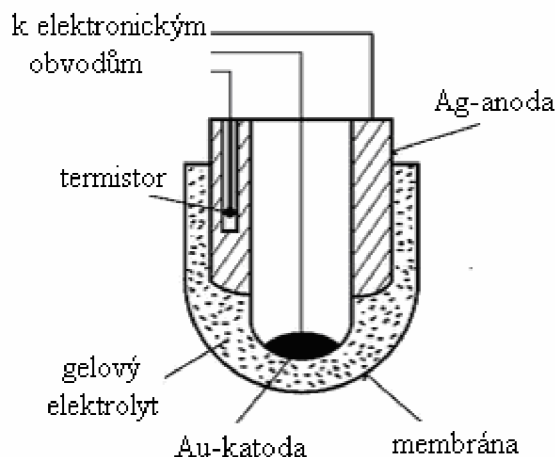
Nejvíce se ho využívá pro zjišťování obsahu kyslíku. Celý princip je obdobný funkci palivového článku, tzn. že kyslík se na rozhraní vrstvy katoda/elektrolyt elektrochemickou cestou přeměňuje na el. proud, jehož velikost je úměrná koncentraci kyslíku v měřené směsi plynů. Měřicí buňka obsahuje olovenou anodu a zlatou katodu ponořené do elektrolytu na bázi kyseliny octové. K zlaté katody elektrolytu od analyzované směsi se využívá difúzní membrána z PTFE. Proudová smyčka je uzavřena zatěžovacím odporem, který převádí úroveň proudu na úbytek napětí. Termistor zapojený v sérii s rezistorem může provádět kompenzaci vlivu teploty [24, 25].



Obr. 4.3 Galvanometrický senzor kyslíku pracující na principu palivového článku.

4.1.2. Ampérometrický senzor kyslíku

je založen na měření proudu procházejícího mezi dvěma elektrodami ponořenými do roztoku elektrolytu. Do měřicího obvodu je zapojen zdroj stejnosměrného napětí, tzv. vložené napětí, jehož hodnota musí odpovídat tzv. limitnímu proudu určované složky v měřeném médiu. Velikost limitního proudu je pak funkcí koncentrace měřené složky [24].



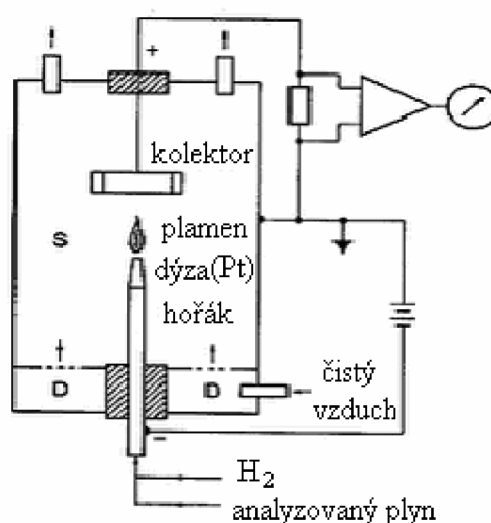
Obr. 4.4 Ampérometrický senzor plynu.

Kyslík difunduje přes polopropustnou polymerní membránu do elektrolytu (vodný roztok KCl nebo KBr) a na katodě se redukuje za přispění volných elektronů vzniklé na styku stříbrné anody a elektrolytu. Velikost elektrického proudu je tak přímo úměrná obsahu kyslíku. Pro funkci senzoru je nutné na elektrody přiložit napětí tzv. polarizační napětí elektrod, cca 0.8 V [24].

4.1.3. Explozimetrie - Plamenná ionizační detekce - FID

FID analyzátoři pracují na principu plamenné ionizační detekce, kde analyzovaný plyn se spaluje ve vodíkovém plameni. Organické sloučeniny přitom produkují kladně nabitě ionty, které jsou "sbírány" válcovou elektrodou umístěnou nad plamenem - kolektorem. Vzniká tak slabý elektrický proud mezi platinovou dýzou a kolektorem, jehož velikost je úměrná právě koncentraci organických sloučenin v plynu. Uvedený princip je velmi citlivý a odezva je lineární přes několik řádů amplitudy proudu. FID jsou sice málo selektivní mezi jednotlivými organickými plyny, ale naopak reagují pouze na ně a ne jiné složky obsažené v plynné směsi.

Analyzátory plynu FID jsou vyráběny a prodávány pouze jako kompletní uzavřená zařízení, z důvodu přesné regulace velikosti plamene a přítomnosti vodíku. Mezi známé výrobce patří firma Foxboro [24].



Obr. 4.5 Princip FID.

4.2. KATALYTICKÉ SENZORY

Katalytické senzory se využívají především pro detekci hořlavých plynů. Sensor sám o sobě je nepřilíš složitý, a proto je jednoduchá i jeho výroba. Ve své původní, nejjednodušší formě sestával pouze z platinového vlákna [23].

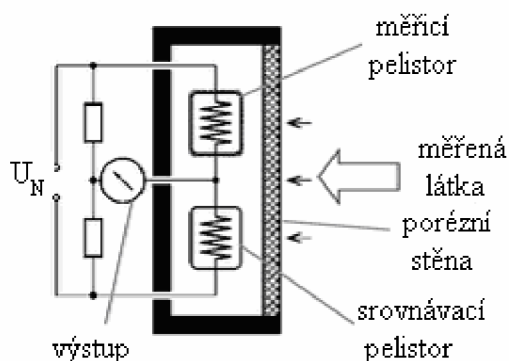
Katalytický sensor pracuje na principu katalýzy. Hořlavé směsi plynů nevzplanou, dokud nedosáhnou teploty vznícení. Avšak v přítomnosti určité chemické látky - katalyzátoru se mohou vznítit i při teplotách podstatně nižších. Tento jev je znám jako katalytické spalování. Katalytické vlastnosti má většina oxidů kovů a jejich směsí. Sloučeniny platiny jsou používány mimo jiné i v katalyzátorech instalovaných na výfukovém potrubí motorových vozidel [23].

Všechny elektrické vodiče mění při změně teploty svoji vodivost. Veličině, která popisuje tuto změnu, se říká teplotní součinitel odporu. Je vyjádřen jako procentuální změna odporu při zvýšení teploty o jeden stupeň. Platina má v porovnání s ostatními kovy vysoký teplotní součinitel odporu. Tento koeficient je u platiny navíc lineární v rozsahu teplot 500 °C až 1000 °C, což je rozmezí, v němž katalytický sensor pracuje. To znamená, že změřený elektrický signál je přímo úměrný koncentraci plynu. To značně zlepšuje přesnost a zjednodušuje elektronické obvody. Platina má rovněž vynikající mechanické vlastnosti. Je pevná a může z ní být vytvořen tenký drát, z něhož lze zhotovit hlavičky senzoru. Platina má navíc výborné chemické vlastnosti. Je odolná vůči korozi a může být dlouhou dobu vystavena zvýšené teplotě, aniž by změnila své fyzikální vlastnosti. Je tak schopna produkovat spolehlivý konstantní signál po dlouhou dobu [23].

Princip měření je založen na změně odporu senzoru teplem vzniklým při spalování plynu na povrchu senzoru [23].



Obr. 4.6 Katalytické senzory (vlevo) a katalytický detektor (vpravo).



Obr. 4.7 Blokové schéma termokatalického senzoru plynů.

Analyzovaná látka difunduje do měřicí komory. Zde dochází ke katalické spalovací reakci, při které se uvolňuje teplo, které zvyšuje teplotu měřícího elementu. Reakcí je zvýšení elektrického odporu, který je už převáděn na změnu protékajícího proudu nebo úbytku napětí [23].

4.3. POLOVODIČOVÉ SENZORY

V současnosti jsou k dispozici polovodičové senzory pro detekci více než 150 různých plynů, včetně takových, které mohou být jinak detekovány pouze pomocí nákladných analytických metod. Polovodičové senzory mají velmi dlouhou životnost. Příčina jejich dlouhé životnosti spočívá v principu funkce: u polovodičových senzorů je plyn adsorbován na povrchu senzoru, čímž se mění odpor polovodiče. Materiál senzoru není v průběhu času spotřebováván, jako je tomu u katalytických senzorů [23].

Polovodičové senzory jsou jedněmi z nejuniverzálnějších senzorů - detekují široké spektrum plynů a mohou být používány v celé řadě různých aplikací. Jednou z unikátních vlastností polovodičových senzorů je schopnost detekovat jak nízké, tak i vysoké koncentrace plynu [23].

Důležitou vlastností polovodičových senzorů je jejich dlouhá životnost, která je obvykle nejméně 10 let, je-li detektor používán v čistém prostředí. Na druhé straně jsou však náchylnější k interferenci s ostatními plyny než jiné typy senzorů. Proto mohou být při použití

v prostředí s více plyny spouštěny falešné poplachy. V určitých případech lze tuto interferenci minimalizovat použitím vhodného filtru, který nežádoucí plyny zachytí. Například polovodičový senzor pro detekci oxidu uhelnatého a vodíku může být doplněn uhlíkovým filtrem, který většinu interferujících plynů eliminuje [23].

Velkou výhodou polovodičových senzorů je jejich všestrannost. Například monitorovací zařízení v chemických továrnách detekují mnoho různých plynů, navíc v širokém rozmezí koncentrací. To umožňuje sledování plynů, které jsou v nízkých koncentracích toxické a ve vysokých výbušné. Tato jejich vlastnost značně zjednodušuje návrh a údržbu monitorovacího systému [23].



Obr. 4.8 Polovodičové senzory a polovodičový detektor.

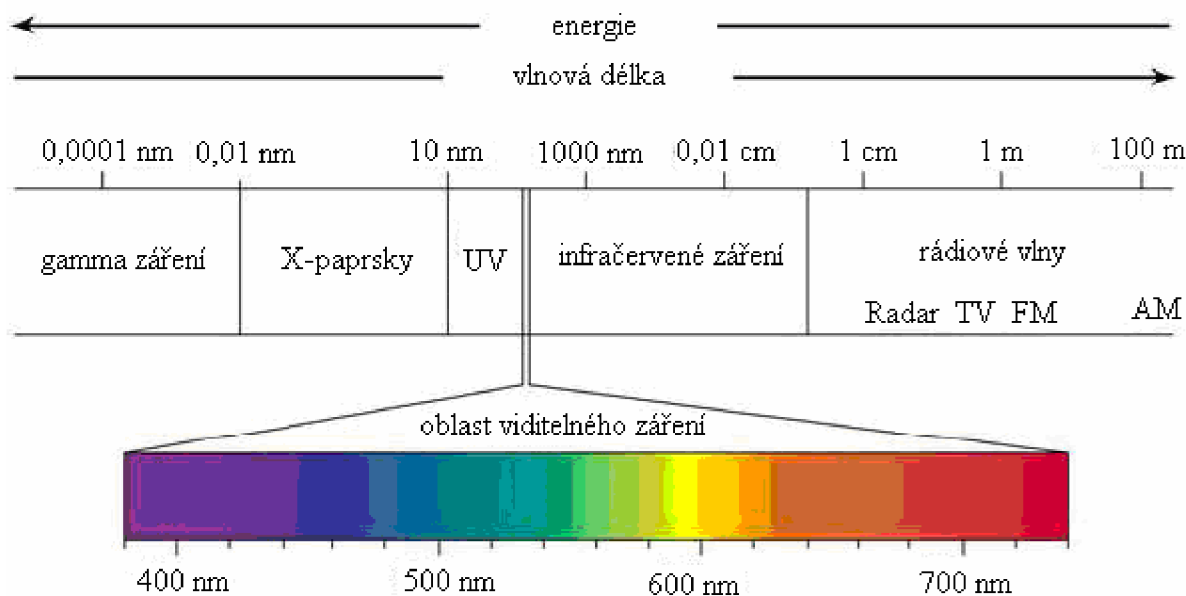
4.4. INFRAČERVENÉ SENZORY

Detekované plyny jsou často agresivní a reaktivní. Většina senzorů je v přímém kontaktu s detekovaným plynem, což po určité době ovlivňuje jeho funkci, zkracuje životnost a může vést i k jeho úplnému zničení. Hlavní výhodou infračervených detektorů je, že senzor nepřichází do kontaktu s detekovaným plynem [23].

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 [23].

Obecně řečeno, pro monitorování toxických a hořlavých látek jsou IR detektory jedny z uživatelsky nejkomfortnějších a vyžadují nejmenší údržbu. IR senzory jsou vysoce selektivní a nabízejí široké spektrum citlivostí, od koncentrací v řádu ppm (1 z milionu, neboli 0,0001 %) po 100 % dolní meze výbušnosti [23].

Detekce pomocí IR záření využívá pouze malou část elektromagnetického spektra.



Obr. 4.9 Elektromagnetické spektrum. S rostoucí vlnovou délkou, klesá kmitočet a energie spektra.

Infračervené záření leží hned za oblastí viditelného světla: pro lidský zrak je neviditelné, ale projevuje se jako teplo [23].

Pro infračervenou analýzu je nejužitečnější oblast vlnových délek mezi $3 \cdot 10^3$ až $3 \cdot 10^4$ nm, neboť absorpce infračerveného záření molekulami plynu je v této oblasti unikátní a selektivní. V IČ spektroskopii jsou molekuly organických látek vystaveny infračervenému záření a pokud energie tohoto záření odpovídá energii určitých molekulových vibrací, dojde k absorpci. Tato pohlcená energie způsobí zintenzivnění vibrací molekul. Aby byla určitá látka IČ aktivní, musí vibrace způsobovat změnu dipólového momentu. Například molekula HCl s kladným nábojem na atomu vodíku a záporným nábojem na atomu chloru má dipólový moment, a proto absorbuje IČ záření. Naproti tomu molekula N_2 dipólový moment nemá, a proto je dusík IČ neaktivní [23].

Každá molekula absorbuje jedinečné spektrum frekvencí infračerveného záření, protože skupiny atomů spojené různými chemickými vazbami se navzájem liší silou těchto vazeb a hmotnostmi jednotlivých atomů. Analýzou získaného spektra se zjistí funkční skupiny atomů, přítomné v molekule. Spektra jednotlivých plynů mohou být nasnímána a uložena v paměti detektoru. Provádí-li se poté analýza, je získané spektrum porovnáváno s křivkami uloženými v paměti přístroje a na základě toho je plyn identifikován [23].

Infračervené záření emitované v detektoru obsahuje vlny o různých vlnových délkách. Když tyto vlny interagují s molekulami plynu, určitá část vlnění má stejnou frekvenci jako vibrace atomových vazeb a je pohlcena, zatímco zbytek projde. Pohlcená energie způsobí nárůst teploty. Koncentraci plynu lze tedy zjistit dvěma způsoby: měřením teploty a měřením pohlceného záření [23].

Množství absorbované energie IČ záření je závislé molekulové struktury daného uhlovodíku a jeho koncentraci. Detektor je nejméně citlivý na metan (CH_4). U propanu (C_3H_8) a butanu (C_4H_{10}) jeho citlivost prudce stoupá - důkazem toho je fakt, že IČ detektor kalibrovaný na 100 % čistý metan se "zahltí" (saturuje) pouhými několika procenty propanu nebo butanu - v paměti přístroje musí být proto uloženy spektrální křivky detekovaných plynů [23].



Obr. 4.10 Infračervený senzor (vlevo) a infračervený detektor (vpravo).

4.5. FOTOIONIZAČNÍ SENZORY

Fotoionizační senzor pracuje na principu ionizace molekul plynu UV zářením. Je používán především k detekci těkavých organických látek [23].

Ultrafialové záření je součástí elektromagnetického spektra, ležící přímo před oblastí viditelného světla. Vlnová délka UV záření je kratší než u infračerveného nebo viditelného světla a protože kratším vlnovým délkám odpovídají vyšší frekvence, má toto záření i vyšší energii [23].

Srdcem fotoionizačního detektoru je zdroj ultrafialového záření, kterým je UV lampa. Lamy mají elektrody vně, jsou levnější a mají delší životnost. V 80. letech došlo k pokroku ve vývoji integrovaných obvodů a spolu s tím vznikala elektronika schopná lépe zaznamenávat slabý signál z fotoionizačních senzorů a převést ho na spolehlivá a užitečná data. Lampa je naplněna inertním plynem o nízkém tlaku. Pokud je tomuto plynu dodána energie odpovídající přirozené energii vibrací molekul, dojde k vybuzení UV záření, jež je schopno ionizovat celou řadu těkavých organických látek [23].

Fotoionizační senzory mají rychlou odezvu a nabízejí vysokou přesnost a citlivost při detekci nízkých koncentrací těkavých organických látek. Hlavní nevýhodou těchto přístrojů je, že fotoionizační lampa vyžaduje časté čištění. Protože okénko lampy je přímo vystaveno detekovanému plynu, má rozhodující vliv na přesnost měření jeho stav a kvalita. Detektor se znečištěným a čistým okénkem bude dávat zcela odlišné výsledky. Tyto senzory nejsou tedy příliš vhodné pro stacionární aplikace. Jsou proto používány spíše u přenosných přístrojů [23, 25].



Obr. 5.11 UV lampa (vlevo), fotoionizační detektor (vpravo).

5. ANALYZÁTORY

Kouřové plyny jsou složeny z dusíku (N_2), oxidu uhličitého (CO_2), vodních par (vlhkosti), kyslíku (O_2), oxidu uhelnatého (CO), oxidů dusíku (NO_x), oxidu siřičitého (SO_2), nespálených uhlovodíků (C_xH_y), sazí (C) a prachu [26].

Každé zařízení je zvlášť navrženo a kalibrováno pro určitý plyn, a proto je důležité, aby se zařízení kalibrované pro určitý typ nepoužívalo pro detekování jiného plynu [6].

5.1. ANALYZÁTORY SPALIN TESTO 330

Analyzátory spalin Testo 330 nové generace nabízejí vše potřebné k tomu, aby bylo možné dokonale, bezpečně a snadno měřit všechny potřebné veličiny: koncentrace O_2 , CO (do 30 000 ppm), NO (0 až 3 000 ppm, popř. 0 až 300 ppm), teplotu a tlak nasávaného vzduchu. Vypočítat lze koncentraci CO_2 . K dispozici je velkokapacitní paměť, diagnostika přístroje (zobrazení kapacity akumulátorů, stavu senzorů, výkonu pumpy atd.). Konektor sondy neumožňuje chybné zapojení cesty plynu. Ergonomická rukojeť pomáhá při přesném umístění sondy. Hadice jsou odolné proti zlomení a mechanickému poškození a jsou velmi skladné. Přístroje se obsluhují normalizovaným postupem. Důležitou předností popisovaného analyzátoru je velký displej s možností zobrazit až osm hodnot současně [26].

5.2. ANALYZÁTOR TESTO 350 M/XL

Testo 350 M/XL je přenosný analyzátor, kterým lze měřit koncentrace O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , C_xH_y a H_2S . Pro své specifické vlastnosti a příslušenství, kam patří např. chladič plynu, automatická kalibrace a automatické čištění odběrové sondy, je vhodný pro kontinuální měření, i po dobu několika týdnů. V analyzátoch Testo jsou použity především elektrochemické senzory na principu iontově selektivní potenciometrie. Je tomu tak především pro jejich malé rozměry a malou spotřebu energie, díky nimž jsou vhodné pro přenosná zařízení. [26].

Senzory jsou naplněny roztokem elektrolytu, do kterého jsou ponořeny dvě, popř. tři elektrody, na které je přivedeno elektrické napětí. S okolím jsou senzory spojeny membránou, která je pro plyny propustná. Lze jimi měřit koncentrace O_2 , CO , NO_x . Využití těchto senzorů však od výrobce vyžaduje zkušenosti a know-how, aby bylo možné splnit specifické požadavky provozních aplikací [26].

Pro přímé měření koncentrace CO_2 je zde použit bezrozkladový infračervený senzor. Tento senzor, vyvinutý firmou Testo, má měřicí rozsah 0 až 50 % obj. CO_2 [26].

Senzor pracuje jedнокanálovou dvoupráskovou metodou. V miniaturním pouzdru jsou umístěny dva infračervené přijímače a před nimi dva různé optické filtry – měřicí a referenční. Měřicí filtr propouští pouze záření o vlnové délce okolo 4,27 μm . Tato vlnová délka je molekulami CO_2 absorbována. Referenční filtr propouští záření o vlnové délce přibližně 4,0 μm , které není měřeným plynem pohlcováno. Porovnáním obou signálů vyhodnotí elektronika koncentraci CO_2 v plynu [26].

5.3. KATAROMETRICKÝ DETEKTOR

Tento detektor je založen na principu změny tepelné vodivosti proudového plynu. Detektor se nastaví na stav vzduchu v místnosti - vyváží se na 0. V případě, že se přiblížíme k netěsnému místu, detektor nasaje směs vzduchu a chladiva, a změní se tepelná vodivost

směsi. Přístroj ukáže výchylku. Citlivost tohoto detektoru je závislá na velikosti hodnoty tepelné vodivosti chladiva vůči tepelné vodivosti vzduchu [27].

Metoda je použitelná pro celou řadu plynů (čpavek, oxidy síry, oxid uhličitý, metan, halogenované uhlovodíky, vzácné plyny atd.), ale citlivost závisí na tom, jak se tepelná vodivost zkoušeného plynu liší od vodivosti vzduchu. Nejcitlivější je tento detektor pro vodík a helium. S přídatným zesilovačem dosahuje citlivosti řádově 10-5 mbar.l/s, s chladivem freonového typu citlivosti asi 10 x nižší, tedy řádově desítky g/rok [27].

5.4. ANALYZÁTORY BRIEL AND KJAER

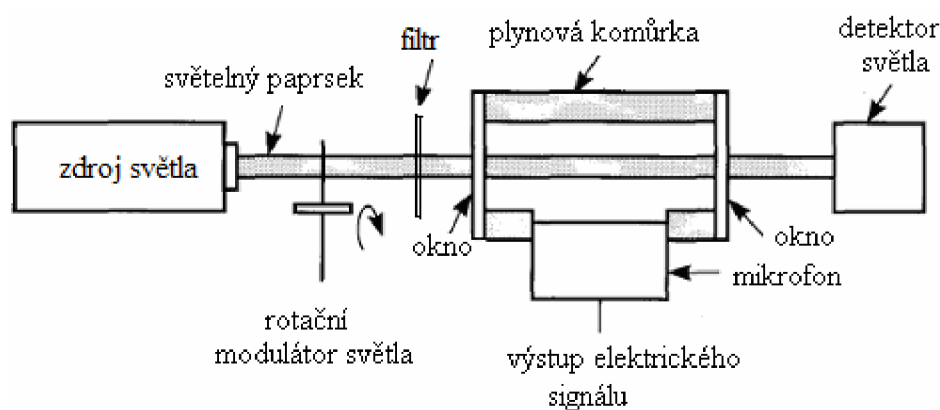
O analyzátorech B&K pojednává další kapitola. Tomuto analyzátoru jsem věnovala celou kapitulu, jelikož je pro mou práci více důležitý a navazují na něj s návrhem alarmu.

6. BRÜEL a KJAER

Monitor více plynů **Typ 1302** a monitor toxických plynů **Typ 1306** jsou používány pro monitorování plynů. Monitory jsou založeny na foto-akustické spektroskopii (photo-acoustic spectroscopy – PAS). V foto-akustické spektroskopii je měřený plyn ozářen přerušovaným světlem o vybrané vlnové délce, která odpovídá dané frekvenci. Molekuly plynu absorbují část světelné energie a přemění ji na akustický signál, který je detekován mikrofonem. PAS je velmi stabilní metoda pro detekci velmi malých koncentrací plynů [8].

PAS je stará metoda, kterou poprvé zkoumal Alexander Graham Bell v roce 1880. Bell v experimentu umístil substanci - v jeho případě doutníkový kouř - do skleněné zkumavky. Jeden konec hadičky byl připojen k ústí zkumavky a druhý konec si přiložil k uchu. Přerušovaným zaostřováním slunečního světla na zkumavku byl generován slyšitelný zvuk. Na počátku roku 1970 zájem o PAS znovu vzrostl. Tato metoda je velmi citlivá pro identifikaci a kvantifikaci stopových množství plynů. [8]

Jako zdroj světla (nebo buzení) se používá infračerveného záření (IR^2), které je schopno vybudit atomy v molekule. Toto je fyzikální mechanismus zodpovědný za tvorbu akustického signálu – energie IR vyvolá vibraci molekul. Akustický signál je detekován vysoce citlivým nízkofrekvenčním mikrofonem, který převádí akustický signál na elektrický signál pro další zpracování [8].



Obr. 6.1 Typický PAS systém.

Obrázek 6.1. ukazuje základní PAS systém, který se skládá z několika částí: laser, rotační modulátor světla, uzavřený plyn v komůrce s okénky na obou koncích. Jako zdroj světla se používá spektra infračerveného záření, které následně prochází modulátorem světla, který vysílá přerušované záření a filtrem, který vybere požadovanou vlnovou délku spektra, která odpovídá frekvenci. Okna propouští komůrkou paprsek laseru a mikrofon detekuje zvukový signál [7, 8].

Možným zdrojem světla by mohlo být ideálně černé těleso, které pohlcuje veškeré dopadající záření všech vlnových délek, ale současně je i ideálním zářičem, který pohlcenou energii vysílá ve formě tepelného záření. Záření Slunce (6000 K) se blíží záření černého tělesa. Absolutně černé těleso vždy vyzařuje na všech vlnových délkách, pouze se liší intenzita záření.

Na obrázku je zobrazen také detektor světla, který detekuje energii světla, které prošlo plynovou komůrkou. Pokud je I_A množství světelné energie absorbované plynem a I_T je množství světelné energie, které prošlo plynovou komůrkou, pak:

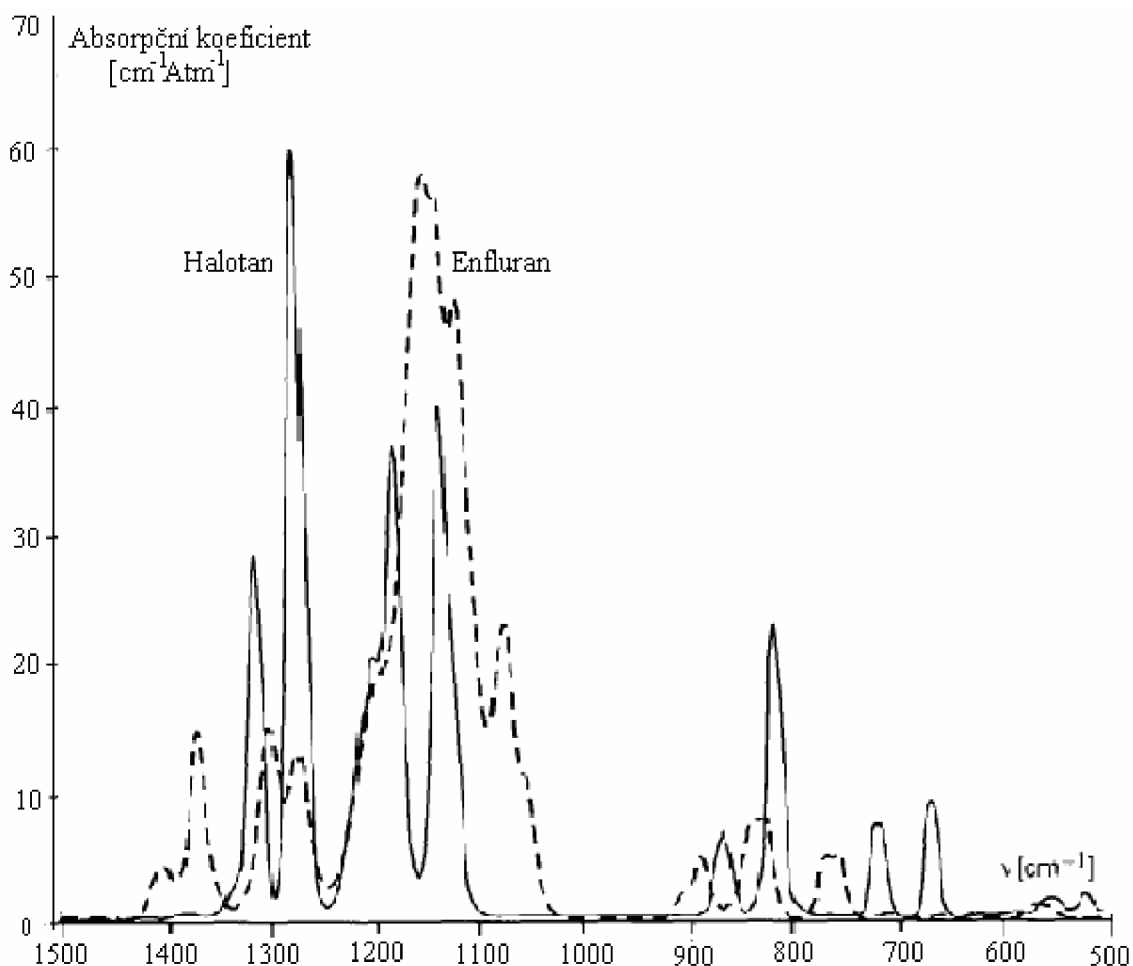
² IR je infračervené záření o vlnové délce 760 nm – 1mm a frekvenci 300 GHz – 400 THz.

$$I_A + I_T = I_0, \quad (6.1)$$

kde I_0 je množství světelné energie, které by prošlo plynovou komůrkou, pokud by plyn v komůrce neabsorboval žádnou světelnou energii. V přenosové spektroskopii se množství absorbované energie I_A zjistí měřením světelné energie, které není v plynové komůrce absorbováno (I_T) a odečtením od I_0 . Koncentrace v ppm je pro I_A typicky 1000 krát menší než pro I_0 , a proto toto měření vyžaduje extrémně stabilní měření přenášené energie [8].

Nicméně, PAS měřeného akustické signálu představuje množství absorbované energie, a to je důvod, proč měření PAS metodou nabízí daleko vyšší citlivost a dlouhodobě teplotní stabilitu. Mimo jiné, výzkumní pracovníci po celém světě stále více využívají mikrofony v oblasti fotoakustiky, a tak bylo vytvořeno zázemí pro Brüel & Kjaer. Brüel & Kjaer si uvědomovali, že prvotní technologie mikrofону je rozhodující pro vývoj PAS-systému s vysokou citlivostí (minimální hluk) a již měla mnoho let zkušenosti s vývojem a výrobou vysoce kvalitních mikrofonů [8].

Typ 1306 obsahuje pouze jeden zaměnitelný optický filtr a je určen pro venkovní snímání jednoho plynu nebo skupinu plynů, slouží například pro detekci náhodného úniku plynu. Typ 1302 však může být vybaven až pěti různými filtry a tím umožňuje monitorovat 5 různých plynů v čase [8].



Obr. 6.2 Absorpční spektra enfluranu a halotanu.

Předpokládejme například, že chceme sledovat halotan a enfluran (obojí jsou anestetické plyny) ve stejnou dobu. Ze studia jejich absorpčních spekter (viz výše Obr. 6.2) je patrné, že je obtížné vybrat vhodný absorpční pás, kde je možné měřit jeden z plynů, aniž by byl

narušen zásahem jiného, a naopak. Je však stále možné změřit každý plyn správně, protože signály měřené každým ze dvou optických filtrů obsahují informace o obou přítomných plynech. Tato funkce se nazývá křížová kompenzace a pracuje až s pěti různými plyny, i když mají překrývající se spektra. Křížová kompenzace snižuje vliv rušení natolik, že v mnoha případech může být zcela zanedbán. Křížová kompenzace je budoucnost Typu 1302 – neselektivních jednotlivých optických filtrů – která je základním východiskem pro selektivitu 1302 pro omezený počet známých plynů. [8]

Linearita řady 1302/1306 závisí do jisté míry na využívání členění absorpčních pásů a do určité míry na tom, který optický filtr je používán. Obecně lze říci, že lineární rozsah se obvykle vztahuje na faktor 10 000 nad mezí detekce. Lineární rozsah může být ještě dále rozšířen vyrovnáním nelinearity. V Typu 1302 je toto vyrovnání postaveno na vlastnosti, která využívá unikátního vyrovnávacího algoritmu. To vyžaduje provést kalibraci o rozsahu dvou-bodů, tj. měří se podle pořadí dvě různé koncentrace plynů - nízká koncentrace by se měla nacházet v lineární oblasti a vysoká koncentrace by měla ležet v blízkosti horní hranice nelineární oblasti. Tímto způsobem lze dynamický rozsah rozšířit na nějakých 5-6 dekád (faktor 100000-1000000 nad mezí detekce). [8]

Pro lepší pochopení následujícího textu se musíme seznámit s pojmy jako je zvuk, hlasitost, hladina intenzity, akustický tlak a další.

Zvuk jsou mechanické kmity pružného prostředí, které jsou schopny vyvolat v lidském uchu sluchový vjem, frekvence 16 až 20 000 Hz. Kmity částic se v plynu a kapalině šíří jako podélné vlnění. **Akustická impedance** je součinem hustoty prostředí ρ a fázové rychlosti šíření zvuku c :

$$Z = \rho \cdot c \quad (6.2)$$

Poměr akustických impedancí dvou prostředí určuje velikost odrazu při dopadu zvukové vlny na jejich rozhraní. **Výška** zvuku je určena kmitočtem. **Barva** zvuku je určena zastoupením harmonických kmitočtů ve spektru. **Intenzita** zvuku je akustický měrný výkon [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}$]. Srovnání intenzit dvou zvuků umožňuje **hladina intenzity** L [dB]:

$$L = 10 \cdot \log(I/I_0) \quad (6.3)$$

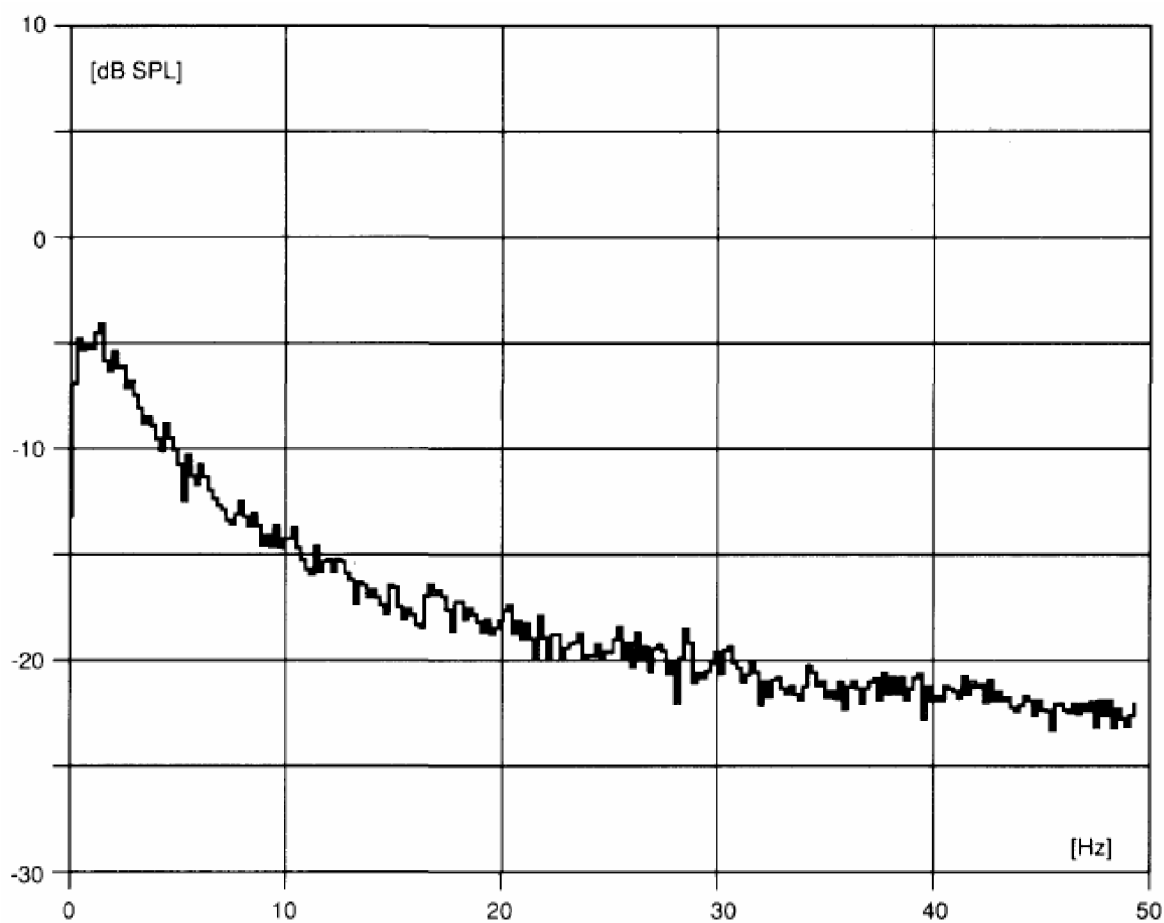
I je intenzita zvuku, I_0 je referenční intenzita zvuku ($I_0 = 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}$). **Hlasitost** je subjektivně vnímaná intenzita. Ucho je nejcitlivější pro frekvence 1-5 kHz. **Hladina hlasitosti** se udává ve fónech. 1 fón odpovídá hladině intenzity 1dB pro referenční tón. Pro jiné tóny se hladina hlasitosti liší od hladiny intenzity. **Nulová izofóna** je křivka stejné hlasitosti, kterou získáme spojením prahových intenzit slyšitelných frekvencí v grafu [9].

Mikrofon / předzesilovač zvuku

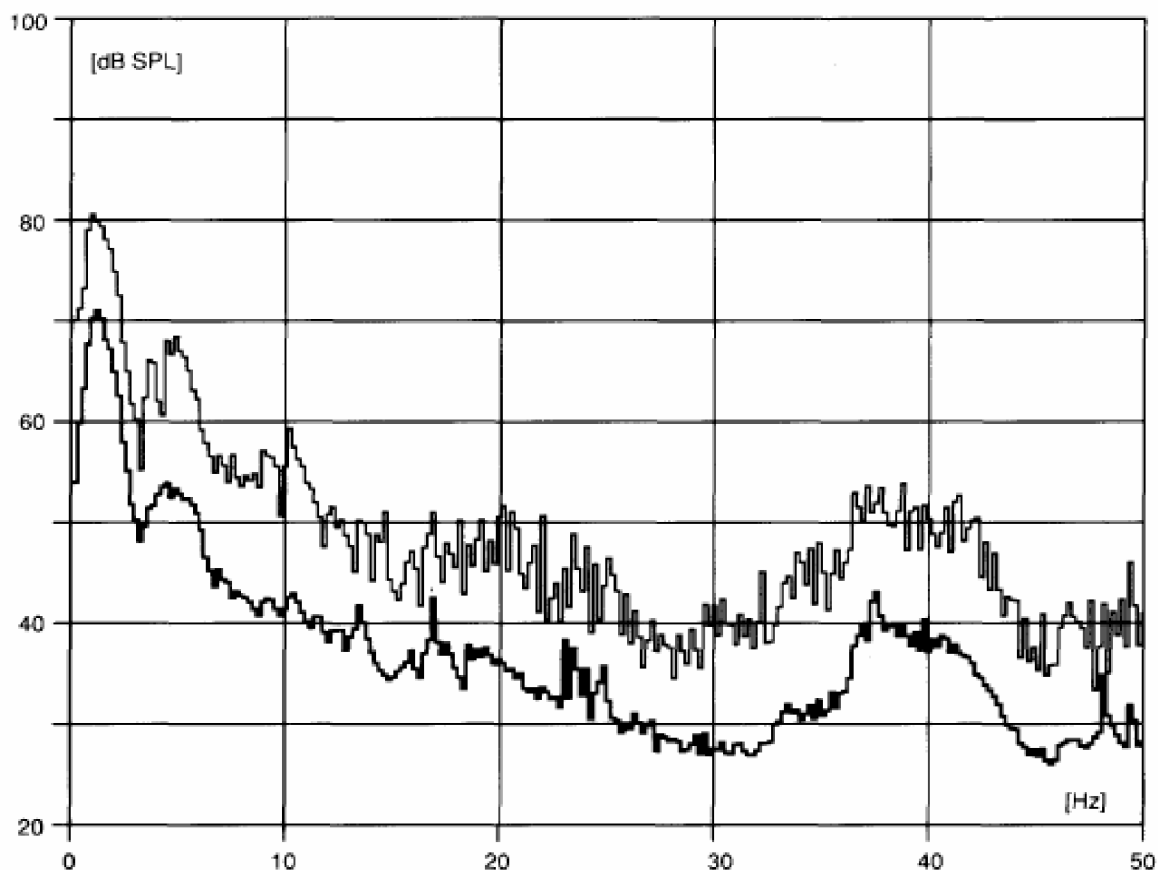
Mikrofony PAS systému zaznamenávají velmi nízký zvuk. Elektretový mikrofon má vestavěné předzesilovače, které byly přizpůsobeny pro použití systémem PAS. Signály ze dvou mikrofonů se sčítají a tím se zdvojnásobí signál plynu, zatímco náhodný šum se zvýší jen o 3 dB. To má za následek 3 dB zlepšení poměru signál/ šum. Obr. 6.3. ukazuje nízkou frekvenci odpovídající zvukovému spektru, způsobenou elektronickým šumem v předzesilovači. Všimněte si, že úroveň zvuku je více či méně konstantní na vyšších frekvencích a zvyšuje se při nižších frekvencích [8].

Při 20 Hz zvuková úroveň odpovídá skutečné šířce pásma a průměrování - použito v 1302 a 1306 (Obr. 6.4.) - je v souladu s měřením a rovná se $2,5 \cdot 10^{-6}$ Pa. Detekční limit signálu,

definovaný jako signál rovný dvojnásobku úrovně zvuku, odpovídá akustickému tlaku $5 \cdot 10^{-6}$ Pa. [8]



Obr. 6.3 Nízkofrekvenční předzesilovače analyzátorů měřící zvukové spektrum.



Obr. 6.4 Nízkofrekvenční akustické zvukové spektrum v kancelářském prostředí. Kancelářské prostředí vnímám jako místnost o ploše 10m^2 , ve které se nachází tiskárna, ventilátor, PC a další zařízení, které mohou zvyšovat hlučnost. Zvuky, které považuji v kancelářském prostředí za hluky mají malou frekvenci. Lidskému uchu jsou slyšitelné zvuky od 20 Hz. Analyzátoři B&K jsou schopny měřit v nízkofrekvenčním spektru. Horní křivka je maximum, dolní křivka je průměr slyšitelných frekvencí zvuku. Obrázek ukazuje hladinu hlasitosti vnímanou uchem v závislosti na frekvenci a intenzitě zvuku.

Detekční limit

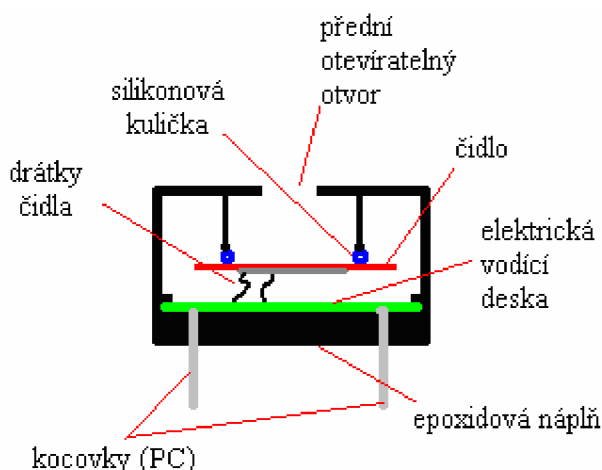
Generovaná hodnota akustického signálu (p_0) je nezávislá na tvaru komůrky ve vysoké frekvenční oblasti, protože odpovídá čistě adiabatickému stavu³. Při nižších frekvencích tvar komůrky však hraje roli. Briel & Kjaer PAS komůrka je válcovitého tvaru, zatímco pro roztok pro komůrku platí kulový tvar. Pokud však jsou si objemy válcové a kulové komůrky rovny a průměr válcové komůrky k délce v poměru blíží se 1, kulové řešení dává dostatečně celkově dobrou aproximaci. V aktuálním PAS-systému, kde je určitý "mrtvý" prostor, díky vzduchovým kanálům, mikrofonním objemům, atd., odkloní akustický signál. Tento mrtvý prostor je opraven vynásobením koeficientu 0,85. [8]

³ Adiabatický stav je děj probíhající za dokonalé tepelné izolace, tedy bez výměny tepla s okolím. [28]

6.1. NÁVRH OZNAMOVÁNÍ ALARMUJÍCÍHO STAVU

Piezelektrický akustický alarm.

Níže uvedený obrázek ukazuje základní prvky použité v piezelektrických akustickém alarmu. V přední části snímače je otvor k otevření akustické dutiny, které umožňuje vyzařovat zvuk ven s největší účinností (tj. nejhlasitější hladina zvuku). Alarm se skládá z elektricky vodivé desky, ke které je pomocí drátků připojena piezelektrická zvuková součástka. Výstup bloku je spojen s PC přes konečky. Zadní strana alarmu je utěsněna epoxidovou náplní či jiným materiálem, který chrání vnitřní strukturu alarmu před vniknutím tekutiny, která by pak způsobila snížení hladiny akustického tlaku. Zvukové tóny alarmu: 85 dB a výše [29].



Obr. 6.5 Základní konstrukce piezelektrického akustického alarmu.

Ionizační detektor s piezelektrickým akustickým alarmem.

Vnitřní část základního ionizačního detektoru kouře. Černá, kulatá konstrukce vpravo je ionizační komora. Bílá, kulatá konstrukce v levém horním rohu je piezelektrický akustický alarm. Vlevo dole je baterie [30].

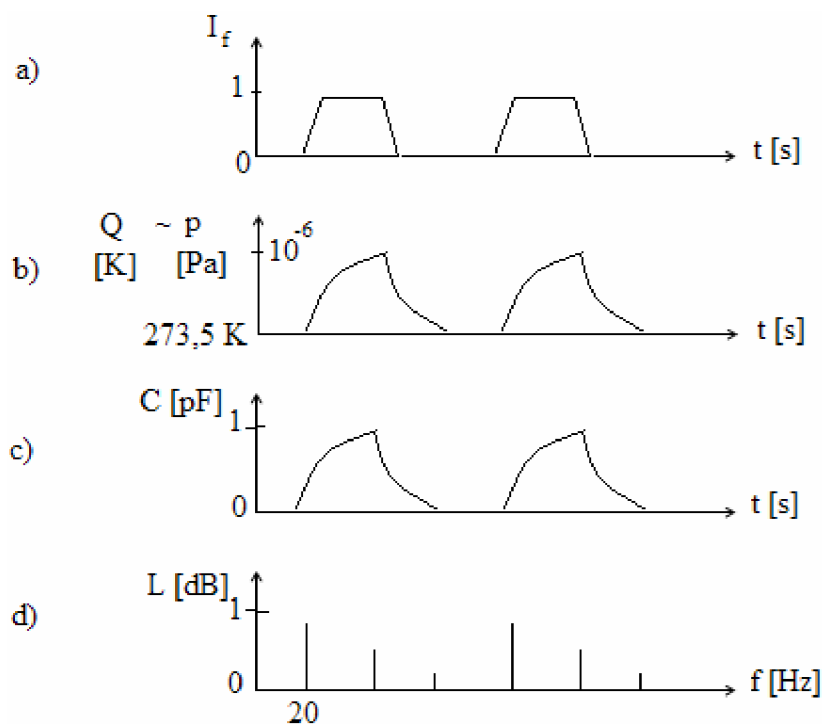


Obr. 6.6 Ionizační detektor.

Možnost návaznosti alarmu na B&K.

Předchozí ionizační detektor je sice kouřový detektor, ale předpokládám, že pokud bychom chtěli alarm navázat na analyzátor B&K, tak by konstrukce byla velmi podobná. Obsahovala by typický PAS systém využívající infračervený zdroj (viz Obr. 6.1), na něj by byl napojený piezelektrický akustický alarm (viz Obr. 6.5). Použitý alarm reaguje na změnu tlaku.

Mohli bychom předpokládat, že záření, které prochází rotačním modulátorem světla, bude vydávat přerušované signály, což znázorňuje Obr. 6.6 ukázka a), kde jsou zachyceny signály v závislosti na čase a tom, jak jsou přerušeny modulátorem. Snahou je získat, co největší objem plynu, který modulátorem projde. Procházející záření vyvolá změny teploty plynu (ukázka b)), teplota roste a klesá v závislosti na zahřátí a ochlazení plynu (přerušované záření). S rostoucí, resp. klesající teplotou plynu, roste, resp. klesá tlak plynu. Tlak odpovídá kapacitě (ukázka c)), kterou můžeme měřit kapacitním mikrofonem. Na poslední ukázce d) už neměříme signál v čase, v závislosti na frekvenci, která odpovídá zvukovému spektru. Hodnoty jsou vymyšlené. Mým cílem bylo navázat tlakový alarm na analyzátor B&K, jehož výstupem je akustický signál.



Obr. 6.6 Náčrt signálů.

V neposlední řadě by zařízení obsahovalo také baterii s dlouhou životností, např. lithiovou baterii, která může sloužit zhruba 7 až 10 let.

Alarmy mívají zpravidla zabudovanou i vizuální výstrahu, která může oznamovat následujícím způsobem:

- 1) Hodnoty měřené koncentrace jsou v normě a světlo svítí zeleně.
- 2) Hodnoty měřené koncentrace se přiblížili k dolní mezi a světlo začalo blikat nebo konstantně svítí oranžově.
- 3) Hodnoty měřené koncentrace překročily mezní hodnotu a světlo se rozsvítí nebo bliká červeně. V tuto chvíli by se k alarmujícímu stavu přidal i zvukový signál.

Pro světelnou výstrahu se používají LED diody.

Nicméně v dnešní době počítačů navrhuji návaznost analyzátoru B&K na PC pomocí výstupního portu RS 232⁴. Každý počítač má reproduktory, které by tak zajišťovaly alarmující zvukový signál. Vizuální výstrahou může být vyskakující okno, které sdělí měřenou koncentraci jednoho nebo více plynů.

⁴ Sériový port je fyzické rozhraní, ke kterému se připojuje vnější zařízení pomocí kabelu. V současné době PC se od rozhraní RS 232 ustoupilo a bylo nahrazeno Univerzálním sériovým rozhraním USB. Nicméně v průmyslu je RS 232 standard a je velice rozšířen. [31]

7. SYSTÉM DETEKCE PLYNU

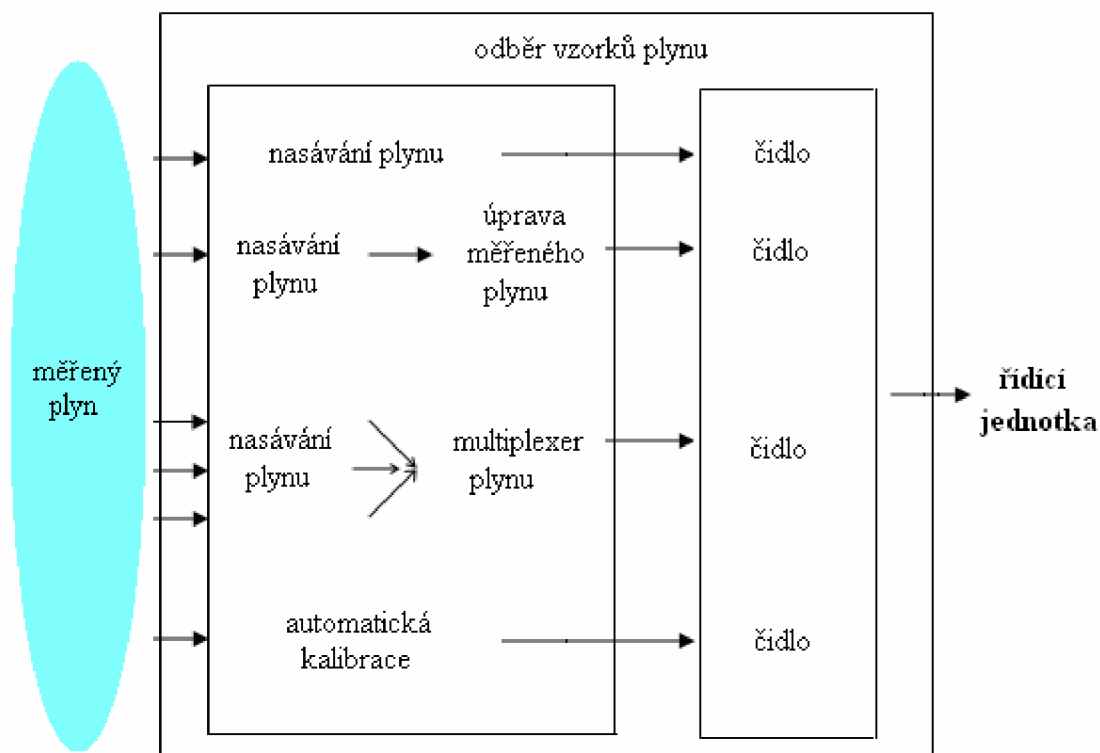
Systém detekce plynu je složitý proces, který se zjednodušeně skládá z odběru měřeného plynu, navzorkování plynu a úprava vzorků plynu a přes čidla senzoru se signály přenáší k řídicí jednotce, kde dochází k dalšímu zpracování. V následujících podkapitolách je podrobnější popis systému detekce plynu a popis vztahů mezi moduly tohoto systému.

7.1. ODBĚR VZORKŮ PLYNU

Plyn se nasává odběrovým potrubím, plynovým sacím čerpadlem. Plyn se nasává k čidlu a monitoruje jeho průtok. Měřený plyn se pak upraví filtry, chemickou úpravou, ohřevem odběrového potrubí, odlučovači vody a zvlhčovači [10].

Multiplexer plynu je jednoduchý model, který se skládá z výběru odběrového bodu. Postupně jsou volena jednotlivá místa odběru. Vzorek plynu ze zvoleného bodu měření se vede přes multiplexer plynu k měření na čidlu [10].

Přenos signálů slouží pro výměnu dat mezi všemi částmi řídicí jednotky. Patří zde i fyzické propojení, stejně jako zpracování a zobrazování výměny dat [10].



Obr. 7.1 Moduly systému detekce plynu (vzorkování plynu, čidla).

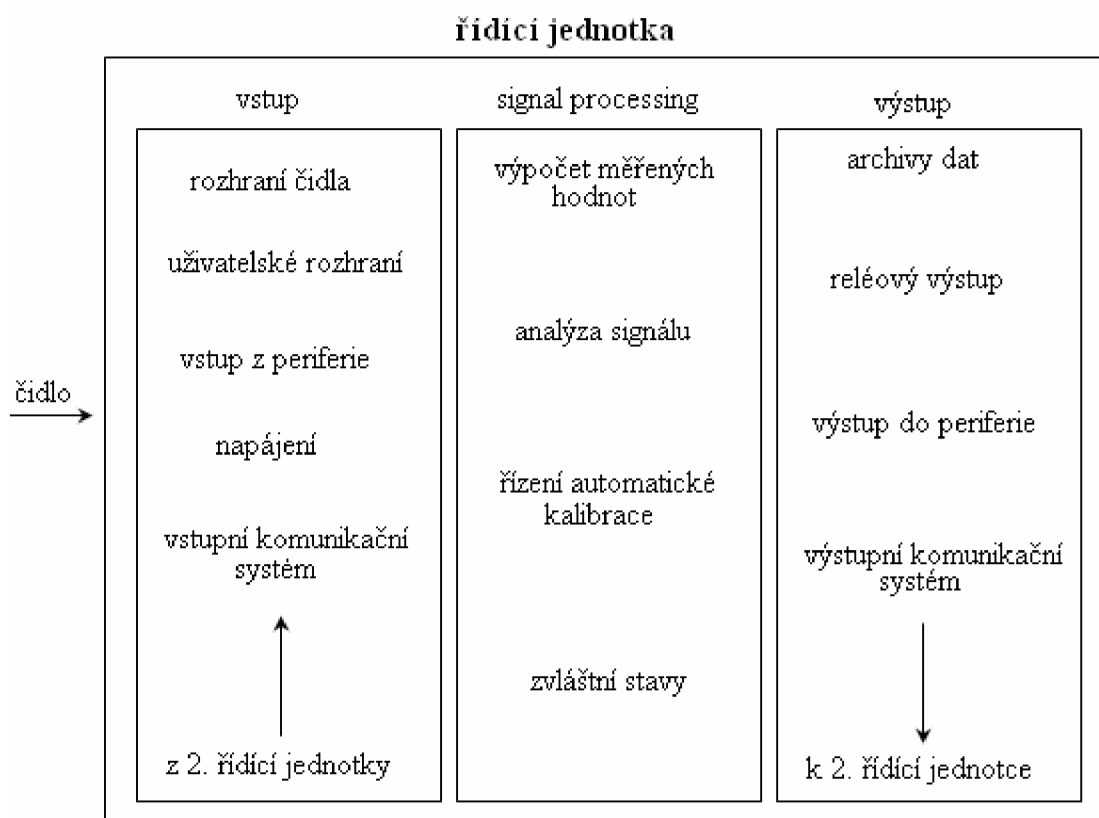
7.2. ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Vstupní komunikační systém ve „vstupu do řídicí jednotky“ obsahuje stejné prvky jako modul rozhraní čidla. Data jsou však přenášena jinou řídicí jednotkou, která plní nezávisle samostatné úkoly monitorování v systému detekce plynu. Uživatelské rozhraní převádí

vstupy od uživatele tak, aby je bylo možno přenášet do přiřazených řídicích jednotek pro vnitřní přenos signálů. Vstup z periférií obsahuje stejné prvky jako modul rozhraní čidla, avšak původcem dat je jednotka mimo systém detekce plynu, a proto je mimo rozsah platnosti této evropské normy.

Zvláštním stavem je každé přerušení režimu měření. Zvláštní stav může platit pro jeden bod měření, pro jednu řídicí jednotku nebo celý systém detekce plynů. Zvláštními stavy jsou: uvádění do provozu, údržba a kalibrace, nastavování parametrů, modifikace v systému detekce plynů (výměna, přidání nebo vyjmutí modulu), poruchové podmínky, opravy. Analýza signálu následuje po výpočtu měřených hodnot. Základem pro analýzu mohou být měřené hodnoty, ale také stavové signály, vnější signály, parametry nebo vstupy uživatele. Analýza vede k vyslání výstražné signalizace a indikace stavu (např. poruchové podmínky).

Výstup z řídicí jednotky: optická indikace se používá během režimu měření pro zobrazení měřených hodnot, indikací stavů. Může zahrnovat monitor, ovládací panel, optický indikátor (LED). Reléový výstup zajišťuje výstražnou signalizaci nebo může spouštět bezpečnostní činnost v externím zařízení mimo systém detekce systému. Výstupní komunikační systém ve „výstupní řídicí jednotce“ zahrnuje přenos dat do protokolu pro přenos signálu do dalšího „výstupního systému komunikace“ v systému detekce plynu. Daty mohou být měřené signály, měřené hodnoty, výstražná signalizace... Výstup do periférií je mimo systém detekce plynu, a proto je mimo rozsah platnosti této evropské normy. Archívy dat zahrnují permanentní paměti nebo záznam dat společně s příslušným časem (např. tiskárna, paměťová karta, hard disk, CD).



Obr. 7.2 Moduly systému detekce plynu (řídicí jednotka).

Požadavky na bezpečnostní funkci celého systému

Měřicí nebo snímací funkce, která detekuje, že došlo k poruše a že vznikne nebezpečí, pokud nebude přijata žádná činnost. Má být stanovena konkrétní hodnota pro měření proměnné hodnoty, při které bude spuštěna činnost.

Logická kombinace vstupních měření, která je nutná pro spuštění výstupní činnosti, která je použita pro zabránění vzniku nebezpečí.

Činnost, která je nezbytná pro zabránění vzniku nebezpečí (např. uzavření ventilu nebo elektrické vypnutí nebo uzavření větracího potrubí). V případě ventilů nebo větrání je nutné stanovit max. nebo min. rychlost průtoku a dobu odezvy nezbytnou pro zajištění bezpečnosti funkce [10].

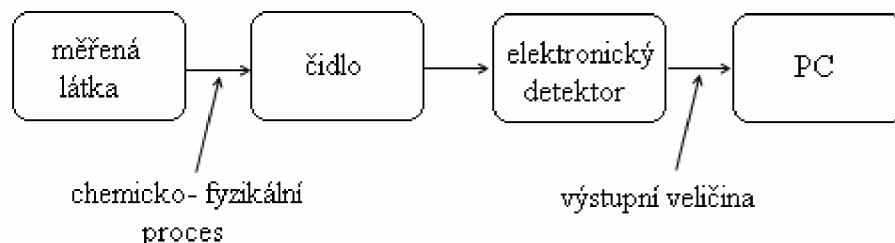
8. NÁVRHY ŘEŠENÍ

V této kapitole se zaměřím na to, jak by se identifikoval únik nebezpečných plynů, budu se věnovat návrhu hlášení koncentrace příkladných látek, návrhu instalace detektorů na specializovaných pracovištích a uspořádání odběru vzorků.

8.1. IDENTIFIKACE ÚNIKU NEBEZPEČNÝCH LÁTEK

Plynné látky mohou unikat nejen z nádob, ve kterých jsou uskladněny, ale také samotní pacienti je vydechují při anestézii. Takové koncentrace by z hlediska bezpečnosti měly být měřeny, pokud je u plynu a odpařujících se kapalin nízký bod varu, pokud jsou výbušné nebo hořlavé. Ještě před sto lety se na operačních sálech používaly plynné a odpařující se látky, které byly výbušné či hořlavé. V dnešní době jsou tyto látky vyměněny za bezpečnější, avšak nikdy nemůžeme vědět, zda je bezpečnost 100%, protože vždy je tu potenciální riziko úniku nebezpečných plynů a odpařujících se látek. Postupem pro identifikaci a zjištění úniku takových látek na specializovaných pracovištích je následující zjednodušené schéma chemického senzoru na Obr. 9.1 (podrobný popis systému detekce je v předchozí kapitole).

Nebezpečné plyny se detekují senzory, které snímají koncentraci plynu a nebezpečně vysokou koncentraci ohlásí. Čidlo může mít membránu, kterou by prošla jen taková látka, kterou chceme měřit, nebo může být afinní na daný druh látky. Čidlo snímá chemickou veličinu a pomocí chemicko-fyzikálního procesu převádí veličinu na elektrickou. Může obsahovat i zesilovač a zesílit tak elektrický signál, který detekuje a vyhodnocuje elektronický detektor. Měření snímání a detekce veličiny se provádí na několika principech a výstupní veličina se dostává a zaznamenává do počítače, kde jsou hodnoty zpracovávány. [11]



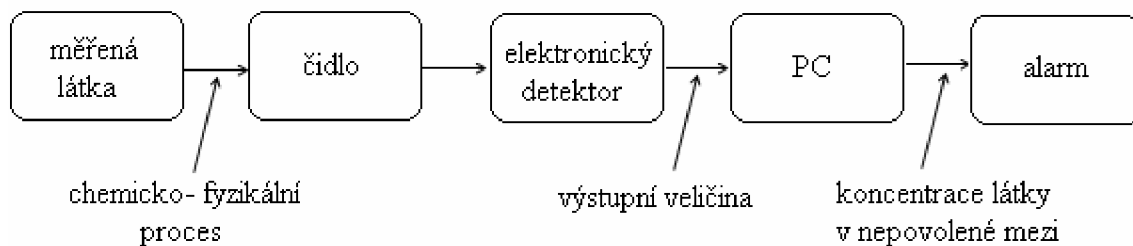
Obr. 8.1 Schéma detekce a vyhodnocení látek.

V Tabulce 11.1 můžeme vidět, že plyny používané na anesteziologickém pracovišti nejsou výbušné ani hořlavé, proto není nutno kontrolovat jejich koncentrace.

Naopak podávaná kapalná anestetika jsou těkavé hořlavé a výbušné látky. Viz Tabulka 11.2. Možnost zjištění koncentrací těchto látek se provádí pomocí detektorů a senzorů k tomu určených, viz kapitola 5.

8.2. NÁVRH HLÁŠENÍ NEBEZPEČNÝCH KONCENTRACÍ

Návrh vychází ze schématu na Obr. 8.1, ke kterému je přidán další prvek. Počítač po vyhodnocení dat, uloží data, pokud je koncentrace plynu v povolené mezi. Pokud koncentrace plynu či par kapalin přesahuje povolené meze, spustí se alarm. Viz možnost návaznosti alarmu na B&K kapitola 6.



Obr. 8.2 Schéma detekce s hlášením nebezpečných koncentrací.

Zařízení musí vytvářet výstupní signál podle specifikace výrobce a jakékoliv vlastní zpoždění nesmí překročit 2 minuty. Nižší objemová koncentrace plynu nesmí spustit výstražnou signalizaci, vyšší objemová koncentrace plynu musí spustit výstražnou signalizaci. Optická a zvuková výstražná signalizace se musí spustit do 30 s po provedení skokové změny objemové koncentrace. Úroveň zvuku musí být alespoň 85 db ve vzdálenosti 1m [12].

8.3. STRUKTURA MOŽNÉ INSTALACE

Operační sál je specifické prostředí, kde nelze použít běžné ochrany před nebezpečím výbuchu. Operační sál jako uzavřená místnost musí mít tedy dostatečný pohyb vzduchu uvnitř místnosti. Větráky jsou bezpochyby kvalitní, nemusí však zajistit dostatečný pohyb vzduchu, což může být jedním z faktorů vzniku rizika hoření nebo výbuchu. Větrání se musí volit i vůči pacientovi, kterému může být nepříjemné ležet polonahý v průvanu. Proto se musí volit takové látky, které zabrání vzniku nebezpečné výbušné atmosféry. Avšak i takové látky se musí kontrolovat. Jsme schopni navrhnout detektory, měřit a kontrolovat na lékařském pracovišti takové látky, které mohou rizikovat nebezpečí.

Na základě toho se nejdříve experimentálně zjistí, na kterém místě v místnosti je nejvyšší koncentrace takových rizikových látek a na základě tohoto průzkumu se měří pak koncentrace daného plynu nebo jeho složky.

Plynové detektory se vždy instalují do místností s potenciálním únikem plynu. Možnou instalací by byla malá síť o třech analyzátoch v různých místech a k tomu 3 PC pro zaznamenání dat, dále počítač pro sběr všech dat. Tato síť se musí řešit tak, aby přenášela data v častých intervalech. Čidla by měla zaznamenávat koncentrace více látek.

Detektor plynu má být instalován pro plyny lehčí než vzduch nad úrovní možného zdroje úniku a v blízkosti stropu (obvykle 0,3 m od stropu) v místě, kde není bráněno proudění vzduchu. Pro plyny těžší než vzduch má být detektor plynu instalován co nejnižší (obvykle 0,1 m nad podlahou). Zařízení s výstražnou signalizací má být však umístěno tak, aby mohl uživatel vynulovat výstražnou signalizaci. Detektor nemá být instalován v blízkosti dveří nebo okna ve vlhkém nebo mokřím místě, kde prach a špína mohou zanechat snímač. Zařízení nemá být instalováno nad nebo v blízkosti plynového zařízení. Výstupní signál může být použit pro spuštění signalizace. Doba zpoždění mezi výstražnou signalizací a vysláním výstupního signálu má být co nejkratší. [6]

Níže je Tabulka 8.1, kde jsem lehké a těžké plyny rozdělila podle hustoty vzatou na hustotu vzduchu. Plyny, mající menší hustotu než vzduch, jsou lehčí (stoupají ke stropu). Plyny, mající vyšší hustotu než vzduch, jsou těžší (klesají k podlaze).

Tabulka 8.1 Hustoty plynů.

plyn	hustota [kg/m ³]
helium	0,16
ethylen	1,17
vzduch	1,29
kyslík	1,31
cyklopropan	1,88
oxid dusný	1,98
methylpropan	2,49
chlordifluormetan	3,66
tetrafluorethan	4,25
xenon	5,42

8.4. EKONOMICKÝ NÁKLAD INSTALACE

Navržené řešení instalace, tedy 3 analyzátoři a 4 PC, může cenově dosáhnout k 100 000 – 200 000 Kč. Pokud by však na pracovišti došlo k hoření či výbuchu, tak cena nového sálu se může vyšplhat až k 25 milionům Kč. Stavební úpravy pohlí 10 mil. Kč, vybavení, zařízení a přístroje pak 15 mil. Kč^[32]. Ekonomický náklad instalace systému detekce není tak náročný, jako cena nového sálu, obzvláště když jsou známy případy z předešlých let, kdy situace požáru či výbuchu nastala. Proto pokládám za vhodnější nákup a instalaci detektorů, které mohou předejít neštěstí.

9. ZÁVĚR

Použití plynů, u nichž je nebezpečí požáru nebo výbuchu, je dnes běžné téměř ve všech odvětvích průmyslu. Stykem plynů s různými látkami může dojít k požáru nebo výbuchu. Ve své práci jsem se zabývala tím, zda je možné, aby na anesteziologii došlo k hoření nebo výbuchu plynů.

V počátku rozvoje anesiesie se až s odstupem času zjistilo, že některé plyny, které lékaři používali k anestezii, nebyly vhodné. Příkladem může být cyklopropan, který se vzduchem tvoří velmi výbušnou směs. Proto se hledaly plyny, které nejsou životu ohrožující. Mezi dnes nejčastěji používané anestetické plyny patří směs kyslíku a oxidu dusného (rajského plynu). Zvýšená koncentrace plynu ve směsi se vzduchem není hořlavá ani výbušná, viz Tabulka 11.1. V tabulce je také uvedena sloučenina pod obchodním názvem Solkane 22, která má horní mez výbušnosti 26,9% a ukazuje tak na možnost potenciálního rizika.

K práci jsem přiřadila i těkavé kapaliny, jejichž páry mohou ve směsi se vzduchem hořet nebo vybuchovat. V tabulce 11.2 jsou uvedeny těkavé kapaliny užívané při anestezii a velká část z nich je charakteristická svou mezí hořlavosti a výbušnosti, ale velká část z nich se používala dříve. Výjimkou jsou diethylether a enfluran, které jsou velmi oblíbené, avšak z tabulky vyplývá, že mají určité meze hořlavosti.

Na základě těchto poznatků, je nutné koncentrace plynů a par kontrolovat a neustále měřit. K tomu slouží analyzátory a detektory, které plyn identifikují, odeberou vzorky, zpracují je v řídicí jednotce, zjistí koncentraci plynu a zaregistrují ji. Zařízení musí nejen detekovat danou koncentraci plynu, ale také signalizovat akustickou a/nebo světelnou výstrahu. Zařízení má tak schopnost včas odhalit nepřipustné koncentrace a nevznikne tak možnost výbuchu. V 6. kapitole jsem se obšírněji věnovala analyzátoru firmy Brüel and Kjaer a možnosti návaznosti alarmu na tento detektor.

Dále jsem se zamýšlela nad možností instalace detektorů na specializovaných pracovištích a to z pohledu, že plyny jsou těžší nebo lehčí než vzduch. Z toho jsem vycházela a podle toho by se zařízení měla instalovat ke stropu pro plyny lehčí než vzduch a nad zemí pro plyny klesající, tedy těžké plyny.

V neposlední řadě jsem se zamýšlela nad ekonomickou otázkou. Instalace systému detekce není tak nákladná, jako by byla oprava celého operačního sálu (v desítkách milionů Kč) nutná po požáru. Proto pokládám za vhodnější instalaci detekčního systému, který může předejít nehodě.

Závěrem bych chtěla říct, že je třeba si uvědomit, že zvýšená koncentrace plynu, zvýšená teplota pacienta, elektrické jiskry vznikající při operačních výkonech nesou vždy určitou míru rizika, které může za určitých podmínek představovat nebezpečí požáru nebo výbuchu, a je proto nutné tomu předcházet.

Má práce je teoretického charakteru, ale i přesto myslím, že může být zajímavá.

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Alkohol nahradilo i čichání rajského plynu. *21.století : extra*. 06.05.2008, 1, s. 8-9.
- [2] JECK-THOLE, Sabine; HALLBAUM, Ingrid; PICHLMAYR, Ina. *Anesteziologie : praktická příručka*. Martin : Osvěta, 1998. Anestézie, s. 312. ISBN 80-888-2482-6.
- [3] ROZMAN, Jiří et al. *Elektronické přístroje v lékařství*. Praha : Academia, 2006. 408 s., 24 příl. ISBN 80-200-1308-3.
- [4] ČSN EN 60601-2-13 . *Zdravotnické elektrické přístroje - Zvláštní požadavky na bezpečnost a nezbytnou funkčnost anestetických systémů* . Praha : Český normalizační institut, 2007. 12 s.
- [5] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fyzika : Mechanika-Termodynamika*. VUT v Brně : VUTIUM, 2003. Teplota a teplo, s. 576. ISBN 80-214-1868-0.
- [6] ČSN EN 50244 . *Elektrické zařízení pro detekci hořlavých plynů v obytných budovách – Návod pro výběr, instalaci, použití a údržbu* . Praha : Český normalizační institut, 2000. 12 s.
- [7] LINHART, Jiří at al. *Slovník cizích slov pro nové století*. Litvínov : Dialog, 2002. 412 s. ISBN 03-561-0090-5.
- [8] BRÜEL, Per Vilhelm; KJAER, Viggo. Gas monitoring. In *Technical review - Gas monitoring*. Edit by Jorgen CHRISTENSEN. Denmark : Naerum, 1990, p. 45. ISSN 007-2621.
- [9] HRAZDIRA, Ivo; MORNSTEIN, Vojtěch. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. Dotisk 1. vyd. Brno : NEPTUN, 2004. 381 s. ISBN 80-902-8961-4.
- [10] ČSN EN 50402. *ČTN Elektrická zařízení pro detekci a měření hořlavých nebo toxických plynů nebo par nebo kyslíku – Požadavky na funkční bezpečnost stabilních systémů detekce plynů* . Praha : Český normalizační institut , 2006. 60 s.
- [11] HUBÁLEK, Jaromír. *Chemosenzory a biosenzory Garant předmětu: Prof. Ing. Radimír Vrba, CSc. Autoři textu: Doc. Ing. Jaromír Hubálek, Ph.D. Doc. Ing. René Kizek, Ph.D. Ing. Kateřina*. [s.l.], 2009. 69 s. Učební text. VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [12] ČSN EN 50194 37 8370 . *ČTN Elektrická zařízení pro detekci hořlavých plynů v obytných budovách – Zkušební metody a funkční požadavky*. Praha : Český normalizační institut , 2000. 20 s.
- [13] MF DNES. *IDnes.cz : Zprávy* [online]. MAFRA, 25. února 2003 , 2010 [cit. 2010-03-13]. Na operačním sále hořel pacient. Dostupné z WWW: <http://zpravy.idnes.cz/na-operacnim-sale-horel-pacient-dms-/domaci.asp?c=A030224_224755_domaci_pol>.
- [14] PIRNÍK, Jiří; MF DNES. *IDnes.cz : Zprávy* [online]. MAFRA, 16. ledna 2001 [cit. 2010-03-13]. Požár v nemocnici zavinil výbuch éteru. Dostupné z WWW:

<http://zpravy.idnes.cz/pozar-v-nemocnici-zavinil-vybuch-eteru-d9z-/krimi.asp?c=A010116_100723_krimi_nad>.

[15] JURKOVÁ, Marcela; MF DNES. *IDnes.cz : Zprávy* [online]. MAFRA, 30. září 2002 [cit. 2010-03-13]. Lékařům hořela pod rukama pacientka. Dostupné z WWW: <http://zpravy.idnes.cz/lekarum-horela-pod-rukama-pacientka-d6s-/domaci.asp?c=A020930_171457_domaci_che>.

[16] PACHL, Jan . *Základy anesteziologie a resuscitační péče : Anesteziologie* [online]. Praha : UK, 200? [cit. 2009-11-12]. 45 s. (PDF). Učební text. Univerzita Karlova, 3.lékařská fakulta. Dostupné z WWW: <http://old.lf3.cuni.cz/studium/materialy/anesteziologie/Skripta_AR_cast_3.pdf>.

[17] VRBOVCOVÁ , Anna . *Asklepion* [online]. 2007 [cit. 2009-11-21]. Když se řekne anestézie... Dostupné z WWW: <<http://www.asklepion.cz/anews-asklepion-news/anews-2007-news/anews-2007-05-1/anestezie-typy.html>>.

[18] HOPLEY, Lara; SCHALKWYK, Jo van. *Anaesthetist* [online]. 2000, last updated 2007-05-01 [cit. 2010-03-05]. Xenon . Dostupné z WWW: <<http://www.anaesthetist.com/anaes/drugs/Findex.htm#xenon.htm>>.

[19] HARAŽÍM, Vladimír. *Drekoma* [online]. 2006 [cit. 2009-11-24]. Nařízení vlády o ochraně pracovního prostředí. Dostupné z WWW: <www.drekoma.cz/download/narizeni_vlady.doc >.

[20] HONZÍKOVÁ, Marta. *Tvorba databáze otázek pro testování znalostí středoškolské chemie : Příloha - Energetika chemických reakcí* [online]. Brno : MU, 2006. 56 s. (PDF). Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z WWW: <http://is.muni.cz/th/63775/prif_m/priloha10.pdf>.

[21] VĚŽNÍKOVÁ, Hana . *TLAKinfo* [online]. 2007 [cit. 2010-04-14]. Diskuze ke článku Požárně technické charakteristiky. Dostupné z WWW: <<http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=22&i=1367>>.

[22] *Kattarit* [online]. 2002 [cit. 2009-11-25]. Bezpečnost. Dostupné z WWW: <<http://kattarit.vyrobce.cz/bezpecnost.htm>>.

[23] ČSTZ. *TZBinfo : Technická zařízení budov* [online]. 2009 [cit. 2009-12-02]. Preventivní opatření pro správnou funkci plynových zařízení. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5802>>.

[24] VOJÁČEK, Antonín. *Jonatan* [online]. 200? [cit. 2009-12-09]. Principy analyzátorů plynů. Dostupné z WWW: <http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/principy_analyzatoru_plynu.htm>.

[25] Provozní analyzátory plynů . *Automa : časopis pro automatizační techniku* [online]. 2001, 10, [cit. 2010-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33683>.

[26] Analýza kouřových plynů. *Automa : časopis pro automatizační techniku* [online]. 2004, 12, [cit. 2010-12-15]. Dostupný z WWW:

<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32662>.

[27] SCHKT [online]. 2005 [cit. 2009-12-27]. Detektory. Dostupné z WWW: <<http://schkt.tradecentrum.cz/res/data/001058.pdf?seek=1133360919>>.

[28] KUČERA, Radek. ABZ [online]. 2006 [cit. 2010-04-15]. Slovník cizích slov. Dostupné z WWW: <<http://slovník-cizich-slov.abz.cz/> >.

[29] Piezoelectric Electronic Alarm Construction. *Tech Bulletin : Technical application Guide* [online]. 200?, 6-7, [cit. 2010-03-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.mallory-sonalert.com/Articles/TechAppGuides/Piezoelectric%20Alarm%20Construction.pdf>>.

[30] VARRON, Nani. *Bukisa* [online]. 2009 [cit. 2010-04-04]. Smoke Detectors. Dostupné z WWW: <http://www.bukisa.com/articles/145506_smoke-detectors>.

[31] TIŠNOVSKÝ, Pavel . *Root* [online]. 2008 [cit. 2010-04-18]. Sériový port RS-232C. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/seriovy-port-rs-232c/>>.

[32] MACOŠKOVÁ, Nina. *Karvinský deník* [online]. 2010 [cit. 2010-04-27]. Karvinská hornická nemocnice má třetí operační sál. Dostupné z WWW: <http://karvinsky.denik.cz/zpravy_region/20100121hornicka_nemocnice.html>.

[33] *Wikipedie* [online]. 2003, 25. 4. 2010 [cit. 2010-05-20]. Teplota varu. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplota_varu>.

[34] *Pravidlá základnej bezpečnosti VCA*: Koninklijke PBNA, verzia č. 3.4

[35] ZÁBRANSKÝ, David. *Intenzivní medicína : Inhalační anestetika*. Brno, 2004. 21 s. Přednáška. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta.

[36] BENDÁK, Pavel. *Technické plyny* [online]. 2007 [cit. 2009-11-02]. Bezpečnostní listy plynů. Dostupné z WWW: <<http://www.plyny-technicke.cz/ke-stazeni/bezpecnostni-listy-plynu>>.

11. SEZNAMY ZKRATEK, SYMBOLŮ A PŘÍLOHY

Tabulka 11.1 Některé charakteristiky plynů. Modře vyznačené se používají při anestezii.

plyn nebo směs plynů	koncentrace ve směsi se vzduchem	děj	teplota varu °C	STV kJ/mol	použití	vzorec	teplota vznícení °C
acetylen	H 2,5-82 %	ED	-80,8	226,9	-	C ₂ H ₂	305
amoniak	V 15 – 28 %	EX	-33,3	-45,9	T, čpavek	NH ₃	651
cyklopropan	H 2,4-10,4%	ED	-33,0	110	IA, D	C ₃ H ₆	495
dimethylether	H	ED	-23,6	23	-	CH ₃ OCH ₃	350
dusík	N	ED	-195,8	2,8	dusivý	N ₂	neuvádí se
ethan	H 3-12,4%	ED	-135,0	14,7	U, NA	CH ₃ CH ₃	515
fluorid sírový	N	EX	-63,9	-1207	-	SF ₆	neuvádí se
helium	N	ED	-268,9	0,1	IA	He	neuvádí se
chlor	N	ED	-34,4	20,4	T	Cl ₂	neuvádí se
chlordifluormetan	V ?-26,9%	EX	-40,8	-483,6	Solkane 22	CHClF ₂	632
krypton	N	ED	-152,9	9,6	VP	Kr	neuvádí se
kyslík	N	ED	-182,9	6,8	IA	O ₂	neuvádí se
methan	H 4,4-17%	ED	-161,6	8,2	U	CH ₄	580
methylpropan	H 1,8-9,6%	ED	-11,7	21,3	isobutan	C ₄ H ₁₀	462
neon	N	ED	-245,9	1,8	VP	Ne	neuvádí se
oxid dusný	N	ED	-88,5	82,1	IA,	N ₂ O	neuvádí se
oxid uhličitý	N	EX	-78,0	-393,5	-	CO ₂	neuvádí se
oxid uhelnatý	H	EX	-192,0	-110,5	T	CO	609
pentafluorethan	-	ED	-48,5	28,1	-	HF ₂ C-CF ₃	-
propan	H 2,1-10,1%	ED	-42,1	15,7	U	CH ₃ CH ₂ CH ₃	480
sulfan	V 4,3 - 46 %	EX	-60,3	-20,6	T	H ₂ S	260
tetrafluorethan	N	ED	-26,3	24,2	Solkane 134a	CH ₃ F ₄	neuvádí se
vodík	H 4-75%	ED	-252,8	0,9	dusivý	H ₂	500-571
xenon	N	ED	-107,1	13,6	VP	Xe	neuvádí se

Tabulka 11.2 Hodnoty vybraných těkavých kapalin užívaných při anestézii.

kapalina	koncentrace ve směsi se vzduchem	děj	teplota varu °C	STV kJ/mol	použití	vzorec	teplota vznícení °C
desfluran	N	ED	23,5	28,8	HE	C ₃ H ₂ F ₆ O	neuvádí se
diethyleter	H 1,7-48%	ED	34,6	27,2	D, éter	(H ₃ C-CH ₂) ₂ O	160
divinyleter	-	-	-	-	D	C ₄ H ₆ O	-
enfluran	H 4,45%	ED	56,5	28,9	HE	C ₃ H ₂ ClF ₅ O	-
etylen	H 2,7-34 %	ED	-103,7	13,5	D, U	C ₂ H ₄	425
etylchlorid	H 3,6-14,8%	EX	12,3	-111,7	D	CH ₃ CH ₂ Cl	510
halotan	N	-	50,2	-	-	C ₂ HBrClF ₃	neuvádí se
isofluran	N	ED	48,5	27,8	HE	C ₃ H ₂ ClF ₅ O	neuvádí se
methoxyfluran	-	-	-	-	D, HE	C ₃ H ₄ Cl ₂ F ₂ O	-
sevofluran	N	ED	58,6	28,1	HE	C ₄ H ₃ F ₇ O	neuvádí se
trichloretylen	V 8-44,8%	ED	87,2	31,4	D	C ₂ HCl ₃	420
trichlormetan	N	EX	61,1	-134,3	D, ŠZ	CHCl ₃	neuvádí se

ZKRATKY

D	dříve užívané
ED	endotermní děj
EX	exotermní děj
H	hořlavý, meze hořlavosti
HE	halogenovaný ether
HU	halogenovaný uhlovodík
IA	inhalační anestetikum
LA	lokální anestetikum
N	nehořlavý
NA	narkotický účinek
O	opoidy, analgetika
Solkane	obchodní název
STV	molární skupenské teplo varu
ŠZ	škodí zdraví
T	toxický
U	uhlovodík
V	výbušný, meze výbušnosti
VP	vzácný plyn