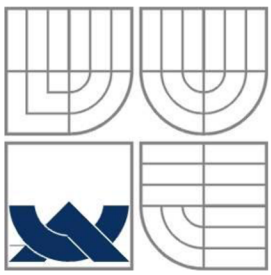
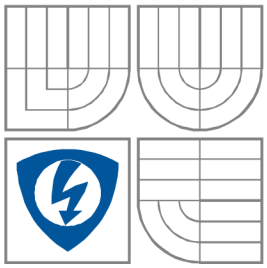


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

METODY VYHODNOCENÍ KVALITY AUTOMOBILOVÝCH FILTRŮ

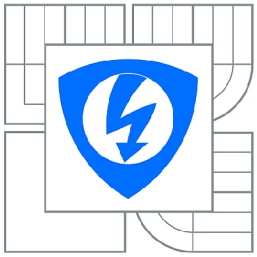
METHODS FOR EVALUATION OF QUALITY OF AUTOMOTIVE FILTERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE Jiří Sedlák
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Jan Mikulka, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO, 2015



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Jiří Sedlák ***ID:*** 153128
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Metody vyhodnocení kvality automobilových filtrů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s možnostmi vyhodnocení výrobních vad automobilových filtrů. Proveďte literární rešerši v podobných oblastech. Navrhněte přípravky pro laboratorní ověření kvality výroby např. metodou prostupu světla, tlakové ztráty a prostupu plynu, případně další. Popište možnosti zařazení zvolených technik ve výrobním procesu.

Realizujte hardwarové řešení navržených laboratorních přípravků. Ověřte na dostupných vzorcích filtrů míru odhalení výrobních vad.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. Digital Image Processing, 3/E. New Jersey: Pearson Education, Inc., 2008.

[2] HOLST, G. C., Lomhein, T. S. CMOS/CCD Sensors and Camera Systems, 2/E. SPIE, 2011.

Termín zadání: 9.2.2015 ***Termín odevzdání:*** 28.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Jan Mikulka, Ph.D.
Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, 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

Obsahem bakalářské práce je teoretický průzkum, popis a návrh tří metod na rozlišování vadných vzduchových filtrů. Jednotlivé metody jsou zde popsány a vzájemně porovnány s ohledem na technickou náročnost a předpokládanou účinnost. Jedná se o metodu optické zkoušky, akustické zkoušky, tlakové zkoušky a metodu detekce plynu CO_2. Prakticky se povedlo zrealizovat optickou zkoušku, akustickou zkoušku a metodu detekce plynu CO_2. U těchto metod proběhlo i měření detekce vady filtračního tělesa. Metodou optické zkoušky se podařilo odhalit vadu filtru.

KLÍČOVÁ SLOVA

Prosvětlovací stůl, automobilový vzduchový filtr, detekce vady filtru, výstupní kontrola, optická zkouška, akustická zkouška, tlaková zkouška, detekce plynu CO_2, intenzita světla, křížový stůl

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with theoretical research, description and design of three individual methods of defective air filters detection. Individual methods are described and compared in terms of their technical difficulty and expected efficiency. These methods are optical test, acoustic test, pressure test and the method of detection of gas CO_2. All researched methods were proved practically and the measurements of detection of defective air filters were taken. The defect of air filter was detected by use of optical test.

KEYWORDS

Ligt table, automotive air filter, detection of filter defects, output control, optical test, acoustic test, pressure test, method of detection of gas CO_2, light intensity, cross table

SEDLÁK, J. *Metody vyhodnocení kvality automobilových filtrů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2015. 44 s., 2 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Jan Mikulka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Metody vyhodnocení kvality automobilových filtrů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne ....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Mikulkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce a rovněž za čas, který mi věnoval při konzultačních schůzkách.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

U	Elektrické napětí
U_F	Napětí na diodě v propustném směru
U_R	Napětí na diodě v závěrném směru
I	Elektrický proud
I_F	Proud diodou v propustném směru
I_R	Proud diodou v závěrném směru
R	Elektrický odpor
f	Frekvence signálu
E	Intenzita světla
T	Perioda signálu
C	Elektrická kapacita
P	Elektrický výkon
A_U	Napěťové zesílení

OBSAH

Seznam symbolů, veličin a zkratek v

Seznam obrázků vii

Seznam tabulek ix

Úvod 1

1 Teoretický návrh 5

1.1 Filtrační těleso 5

1.2 Optická zkouška 5

1.3 Akustická zkouška 8

1.4 Detekce plynu CO_2 11

1.5 Tlaková zkouška 12

2 Praktická realizace 14

2.1 Optická zkouška 14

2.2 Akustická zkouška 19

2.3 Detekce plynu CO_2 21

2.4 Tlaková zkouška 23

3 Výsledky experimentů 24

3.1 Optická zkouška 24

3.2 Akustická zkouška 27

3.3 Detekce plynu CO_2 29

Závěr 41

Literatura 44

A Seznam použitých součástek 45

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Vzduchový filtr 1
Obr. 2: Detail dutinek s vadou - díra 2
Obr. 3: Detail filtru s vadou - díra (foto) 2
Obr. 4: Detail dutinek filtru s vadou - přebytek lepidla 2
Obr. 5: Detail filtru s vadou - zalepené dutinky (foto) 2
Obr. 6: Různé typy vzduchových filtrů 3
Obr. 7: VA charakteristika fotodiody [1] 6
Obr. 8: Křížový stůl s ramenem na snímač 6
Obr. 9: Závislost citlivosti na vlnové délce fotodiody SFH 2030 [2] 7
Obr. 10: Závislost citlivosti na vlnové délce fotodiody SFH 213 [3] 7
Obr. 11: Směrová charakteristika fotodiody SFH 2030 [2] 7
Obr. 12: Směrová charakteristika fotodiody SFH 213 [3] 8
Obr. 13: Vysílač a přijímač 40 kHz 9
Obr. 14: Rozptylová charakteristika při frekvenci 40 kHz [4] 9
Obr. 15: Závislost frekvence na kapacitě a odporech operačního zesilovače 555 [5] 9
Obr. 16: Křížový stůl s ramenem na měření pomocí ultrazvuku 10
Obr. 17: Přijímaný a zesílený signál zobrazený na osciloskopu 11
Obr. 18: Senzor CO_2 COZIR 12
Obr. 19: Blokové schéma zapojení metody detekce plynu CO_2 12
Obr. 20: Tlakový snímač SIEMENS a ventil GSR 13
Obr. 21: Tlakový snímač MLH006BGD14B 13
Obr. 22: Prosvětlovací stolek 14
Obr. 23: Zdroj MEAN WELL LPV-100-12 15
Obr. 24: Zdroj MEAN WELL LPV-100-12 15
Obr. 25: Zhotovené části optické metody - prosvětlovací stůl a zdroj 16
Obr. 26: Schéma zapojení fotodiody SFH 2030 17
Obr. 27: Schéma zapojení fotodiody SFH 213 17
Obr. 28: Zapojení fotodiody SFH 2030 18
Obr. 29: Zapojení fotodiody SFH 213 18
Obr. 30: Operační zesilovač jako zdroj symetrického napětí ± 6 V 18

Obr. 31: Schéma zapojení generátoru ultrazvukového signálu 19
Obr. 32: Schéma zapojení přijímače ultrazvukového signálu 19
Obr. 33: Generovaný signál zobrazený na osciloskopu 20
Obr. 34: Složení gumové koncovky 21
Obr. 35: Gumová koncovka 21
Obr. 36: Měřicí komora se snímačem 22
Obr. 37: Schéma konektoru se stabilizátorem 7805 a filtračními kondenzátory 22
Obr. 38: Konektor zdroje se stabilizátorem 7805 a filtračními kondenzátory 22
Obr. 39: Plynová lahev CO2 s ventilem a barometrem 23
Obr. 40: Sestava pro měření vady optickou metodou 24
Obr. 41: 3D graf měření vady optickou metodou - snímač s fotodiodou SFH 2030 25
Obr. 42: 3D graf měření vady optickou metodou - snímač s fotodiodou SFH 213 26
Obr. 43: Sestava pro měření metodou zvukové zkoušky 27
Obr. 44: Přijímaný zesílený signál bez filtru 28
Obr. 45: 3D graf měření metodou akustické zkoušky 28
Obr. 46: Charakteristika snímače CO_2 30
Obr. 47: Vyhrazené pole 3 × 3 cm na měření 30
Obr. 48: Sestava pro měření metodou detekce plynu CO_2 31
Obr. 49: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 15cm) - bez díry 31
Obr. 50: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 20cm) - díra 32
Obr. 51: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 20cm) - bez díry 33
Obr. 52: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 15cm) - díra 34
Obr. 53: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 15cm) - bez díry 35
Obr. 54: Graf závislosti napětí na čase pro modrý filtr (v = 25cm) - díra 36
Obr. 55: Graf závislosti napětí na čase pro modrý filtr (v = 25cm) - bez díry 37
Obr. 56: Časové porovnání měření filtru s vadou a bez vady - filtr G 38
Obr. 57: Časové porovnání měření filtru s vadou a bez vady - filtr F 39
Obr. 58: Časové porovnání měření filtru s vadou a bez vady - filtr C 39

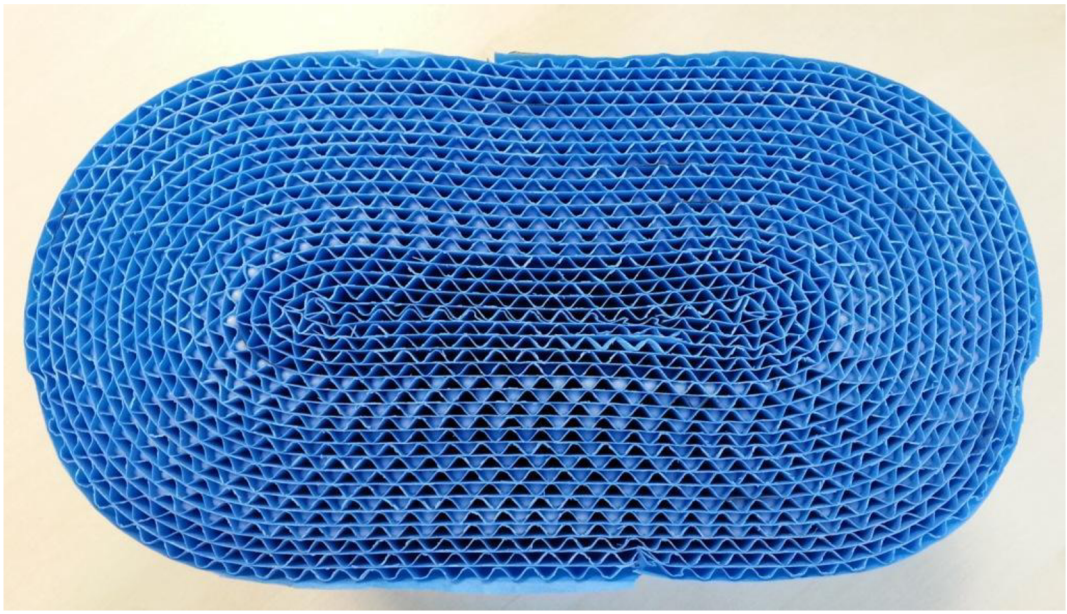
SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Přehled dostupných vzduchových filtrů 4
Tab. 2: Specifikace integrovaného obvodu NE5532....10
Tab. 4: Specifikace tlakového snímače Siemens 7MF1564-3CA00-1AA1 13
Tab. 5: Specifikace tlakového snímače MLH006BGD14B 13
Tab. 6: Specifikace LED pásku....14
Tab. 7: Rozdíl hodnot napětí od hodnoty 5,46 V v nejbližším okolí vady (díry) - snímač s fotodiodou SFH 2030....25
Tab. 8: Rozdíl hodnot napětí od hodnoty 7,59 V v nejbližším okolí vady (díry) - snímač s fotodiodou SFH 213....26
Tab. 9: Hodnoty napětí nejbližších míst okolo referenčního bodu [0,0]....29
Tab. 10: Porovnání směrnic tečen grafů z jednotlivých měření 37
Tab. 11: Shrnutí metod....42
Tab. A.1: Seznam použitých součástek - zapojení fotodiody SFH 2030 45
Tab. A.2: Seznam použitých součástek - zapojení fotodiody SFH 213 45
Tab. A.3: Seznam použitých součástek - generátor UZ signálu 45
Tab. A.4: Seznam použitých součástek - přijímač UZ signálu....46
Tab. A.5: Seznam použitých součástek - konektor zdroje se stabilizátorem....46

ÚVOD

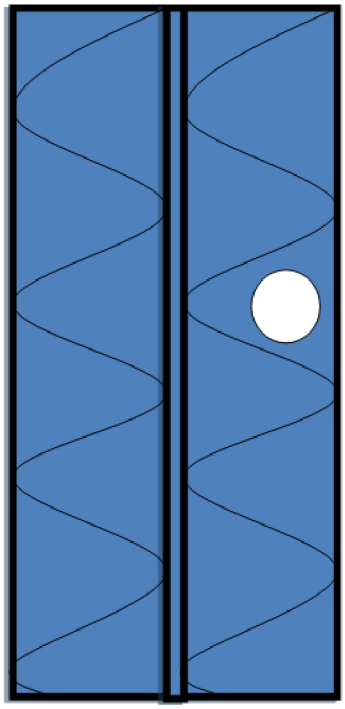
Cílem této práce je nelezení takové metody, pomocí které lze odhalit vadu vzduchového filtru, resp. určit, zda je daný filtr vhodný pro další použití. Vadou může být buď trhlina v materiálu, tudíž by filtrem prošly větší částečky nečistot, než je přijatelné, nebo naopak přílišná nepropustnost filtru z důvodu velkého množství lepidla.

Práce je zadána firmou DONALDSON CZECH REPUBLIC s.r.o., která se zabývá výrobou filtračních systémů. Filtry jsou vyrobeny z filtračního papíru, který je zvlněný a smotán do tvaru oválu, popřípadě kruhu. Jednotlivé filtry mohou mít různé rozměry.



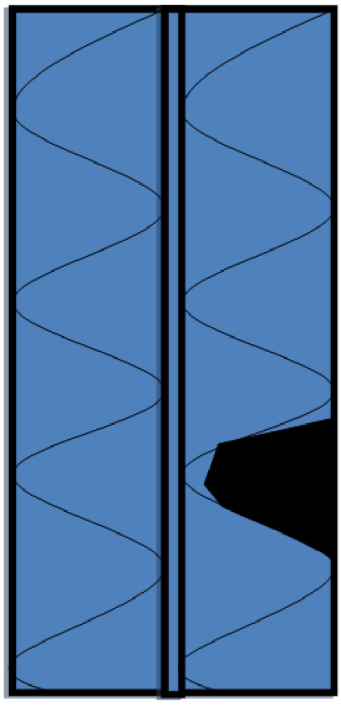
Obr. 1: Vzduchový filtr

Dutinka může mít rozměr 2 - 3 mm, záleží na typu filtru. Vada tedy může být velice malá - v řádech desetin milimetru. Demonstrativní obrázky obr. 1 a obr. 4 a reálné fotky obr. 3 a obr. 5 znázorňují možné vady. Vzhledem k výškám filtračních těles (a tím hloubce dutinek), lze odhalení vady provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem - pro shlédnutí všech dutinek najednou, je kontrola z dostatečné vzdálenosti od filtru. Druhou možností je kontrola každé dutinky zvlášť (případně malé skupinky dutinek najednou) z větší blízkosti.



Obr. 2: Detail dutinek s vadou - díra

Obr. 3: Detail filtru s vadou - díra (foto)



Obr. 4: Detail dutinek filtru s vadou - přebytek lepidla

Obr. 5: Detail filtru s vadou - zalepené dutinky (foto)

Vada filtračního tělesa se z principu výroby může nacházet na jakémkoliv místě filtru. Nutností při ověřování kvality filtru je tedy kontrola každé dutinky materiálu.

Prozatím kontrola kvality filtru probíhá tak, že filtr, který skončí ve výrobním procesu, je zaměstnancem postaven na prosvětlovací stůl v zatemněné místnosti a ten pomocí zraku kontroluje průchod světla filtrem. Pokud vidí ve filtru trhlinu, popřípadě naprostou nepropustnost světla, vyhodnotí filtr jako vadný. Problém ovšem je v náročnosti této práce. Pracovník není schopný tuto práci vykonávat delší časový úsek, navíc kontrola lidským zrakem není 100% - může dojít k chybě operátora. Tento proces stávající kontroly trvá 20 - 40 sekund.

Požadavky firmy jsou tedy takové, aby byla nalezena metodika měření detekce vad automobilových filtrů, která bezchybně odhalí vadu materiálu - díra nebo přebytek lepidla a pokud možno urychlí proces kontroly filtru. Návrhem nových metod by tedy mělo být dosaženo rychlejšího vyhodnocení kvality filtračního tělesa se 100% účinností.

Pro dosažení našeho cíle jsou zvoleny čtyři metody. Optická zkouška, tlaková zkouška, detekce průchodu plynu CO_2 a zvuková zkouška.

K dispozici máme devět filtrů různých barev a rozměrů, některé s vadami a jiné bez závady (viz tab. 1). Vzhledem k tomu, že metody neověřují kvalitu filtru celoplošně, ale vždy pouze po částech, bylo bezpředmětné proměřovat filtrační tělesa bez vady. K měření a ověřování metod byly vybrány tři filtrační tělesa - filtr C, F a G. Tyto filtry se od sebe liší rozměry i velikostmi vad, takže pro ověřování metod byly vybrány jako nejvhodnější.

Obr. 6: Různé typy vzduchových filtrů

Barva	Tvar	Rozměry (v×š×d/v×ø) [cm]	Vada	Prac. název
modrá	ovál	20 × 12,5 × 25	zalepená dutinka	filtr A
modrá	ovál	25 × 13 × 25	bez vady	filtr B
modrá	ovál	25 × 12,5 × 25	díra	filtr C
modrá	kruh	15 × 25	bez vady	filtr D
bílý	ovál	15 × 12 × 30,5	bez vady	filtr E
bílý	ovál	15 × 12 × 30,5	díra + zalepená dutinka	filtr F
bílý	ovál	20 × 12,5 × 25	díra	filtr G
bílý	ovál	20 × 25 × 44,5	zalepená dutinka	filtr H
bílý	kruh	20 × 51	díra	filtr I

Tab. 1: Přehled dostupných vzduchových filtrů

1 TEORETICKÝ NÁVRH

V následujícím textu je představena teoretická část bakalářské práce. Ta obsahuje seznámení s daným problémem a popisy jednotlivých návrhů metod na vyřešení zadané problematiky.

1.1 Filtrační těleso

Předmětem zadané práce je vzduchový automobilový filtr (viz obr. 1). Jde o výrobek firmy DONALDSON CZECH REPUBLIC s.r.o., která se zabývá výrobou filtračních systémů, a je vyroben z filtračního papíru s těsněním různých lepidel. Filtrační těleso se vyrábí v různých typech (viz obr. 6). Barevné provedení může být modré, bílé nebo zelené, záleží na typu výrobku. Půdorys filtru je oválný - minimální šíře je 100 mm, maximální délka je 450 mm, poměr stran 1,6:3,5, nebo kruhový - průměr 200 - 500 mm. Výška výrobku je od 100 do 300 mm. Filtr se skládá z až 4000 dutinek, jejichž výška odpovídá výšce celého tělesa. Rozměry dutinky jsou přibližně 2 × 3 mm.

Vada ve filtračním tělese může být dvojího typu. Za prvé díra - došlo buď k protržení materiálu nebo k nesprávnému slepení filtračního materiálu, nebo za druhé je v dutince nadbytečné množství lepidla, které způsobí přílišnou nepropustnost filtru (viz obr. 2 až obr. 5).

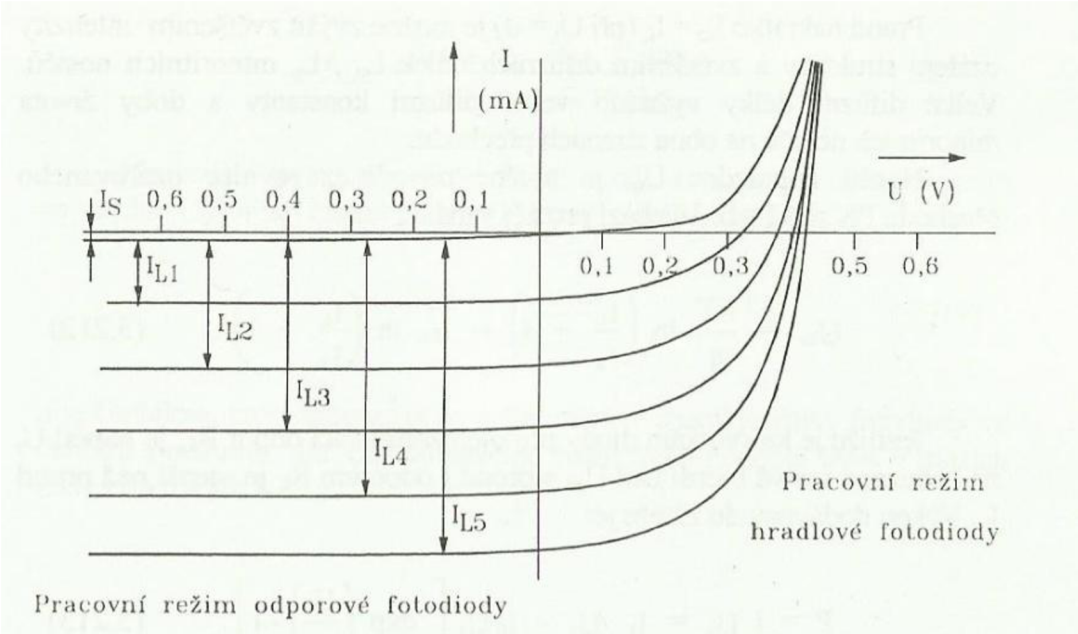
1.2 Optická zkouška

Tato metoda vychází z procesu, jakým jsou ve firmě vyhodnocovány filtry doposud.

Znamená to tedy ponechat prosvětlovací stůl, který bude prosvětlovat filtr a jako detektor světla dát optický snímač. Výstupní informací snímače bude hodnota napětí, která bude odpovídat intenzitě světla, která projde filtrem.

Snímač je realizován optočlenem, který reaguje na intenzitu světla. Jako nejvhodnější součástka byla vybrána fotodioda. Jakmile intenzita světla (tomu odpovídající napětí) přesáhne určitou hranici, znamená to, že v daném místě filtru je díra a tento filtr je poté vyhodnocen jako vadný.

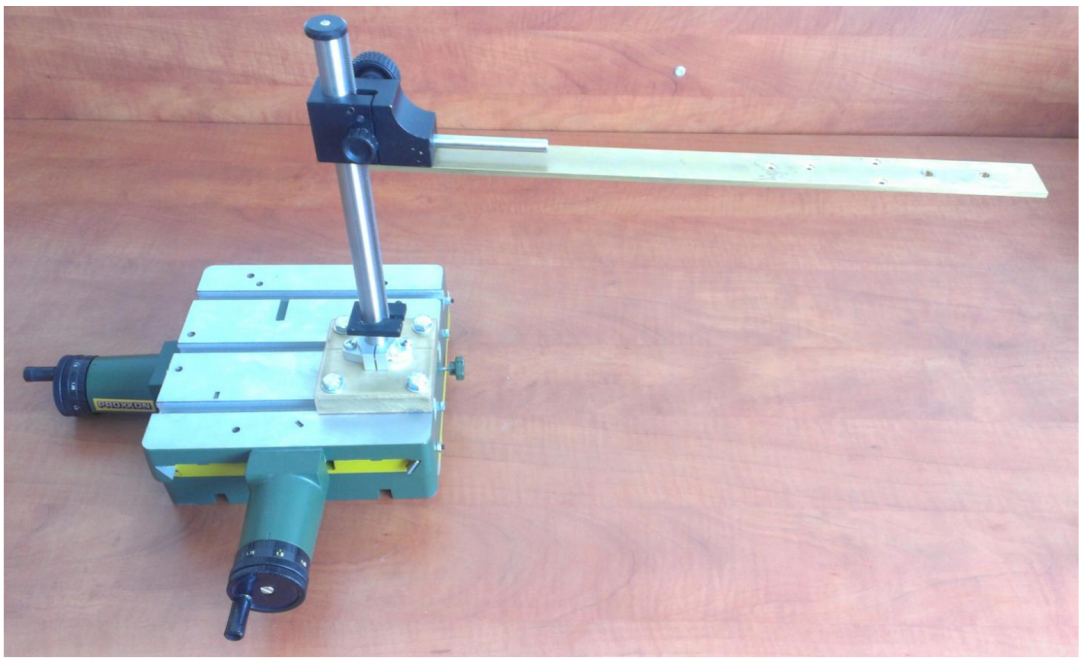
Fotodioda je polovodičová součástka založena na principu P-N přechodu. P-N přechod je u tohoto typu diod ještě možno osvětlovat, čímž se mění velikost procházejícího proudu. Na obrázku obr. 7 je zakreslena voltampérová charakteristika fotodiody.



Obr. 7: VA charakteristika fotodiody [1]

Pro účel této metody je důležitý III. kvadrant, ve kterém se fotodioda nachází v odporovém režimu a chová se tedy jako rezistor, který je citlivý na světlo.

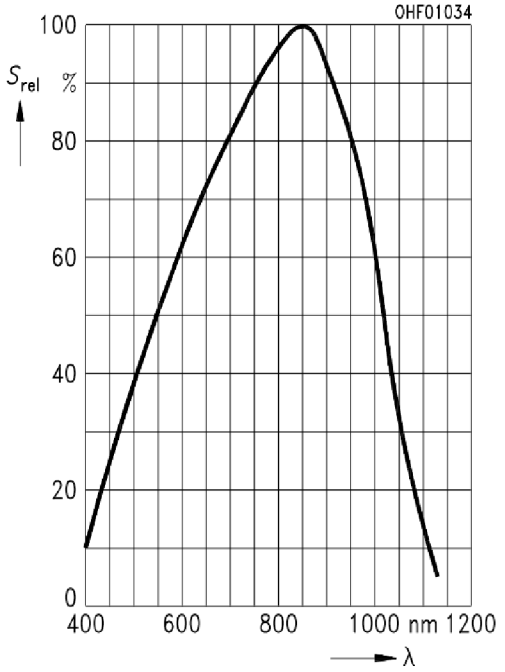
Metodika tohoto měření spočívá v pohybu snímače nad filtrem, který je osvětlován ostrým LED světlem. Postupně jsou sbírány informace o světelné propustnosti filtru. K přesnějšímu měření bude využit křížový stůl s ramenem. S tímto stolem lze pomocí dvou šroubovic pohybovat po osách x a y po desetinách milimetru. Celkově jde se stolem obsáhnout pole 20 × 20 cm. Pro naše měření je to naprosto dostačující - proměřované pole bylo 3 × 3 cm.



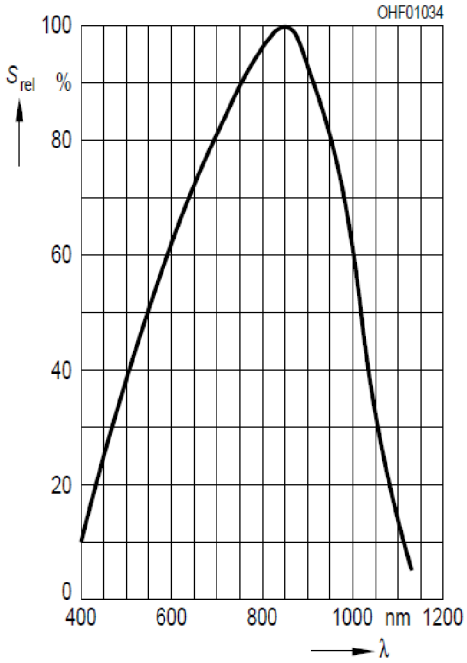
Obr. 8: Křížový stůl s ramenem na snímač

Při vybírání vhodného typu fotodiody byly zohledněny především hodnoty vlnové délky světla, který daná fotodioda detekuje a její směrová charakteristika.

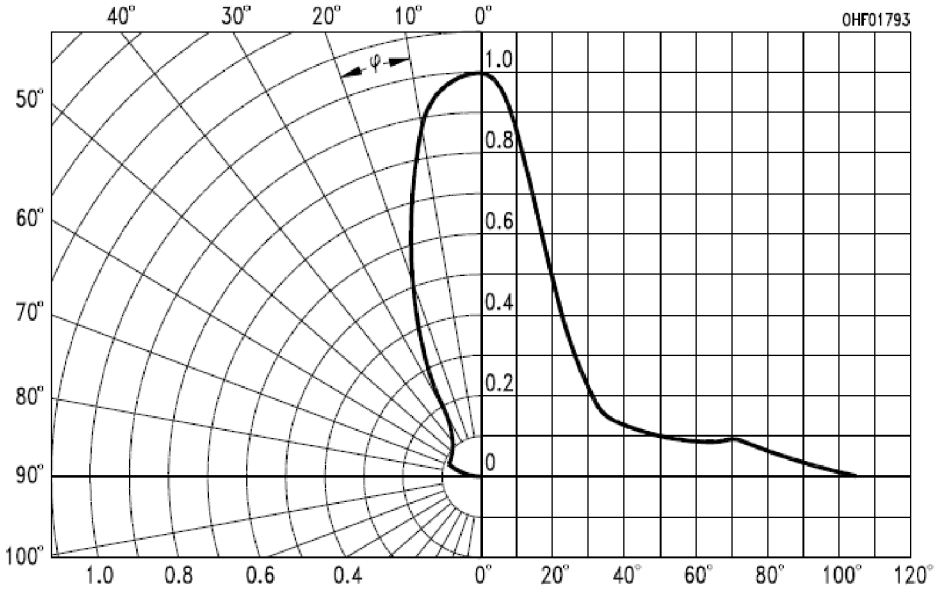
Pro porovnání byly vybrány dvě fotodiody SFH 2030 a SFH 213. Jejich citlivost na světlo o různých vlnových délkách je prakticky stejná, liší se ovšem ve směrové charakteristice. Zatímco fotodioda SFH 2030 je citlivá na světlo do úhlu zhruba 80°, fotodioda SFH 213 pouze do úhlu 30°.



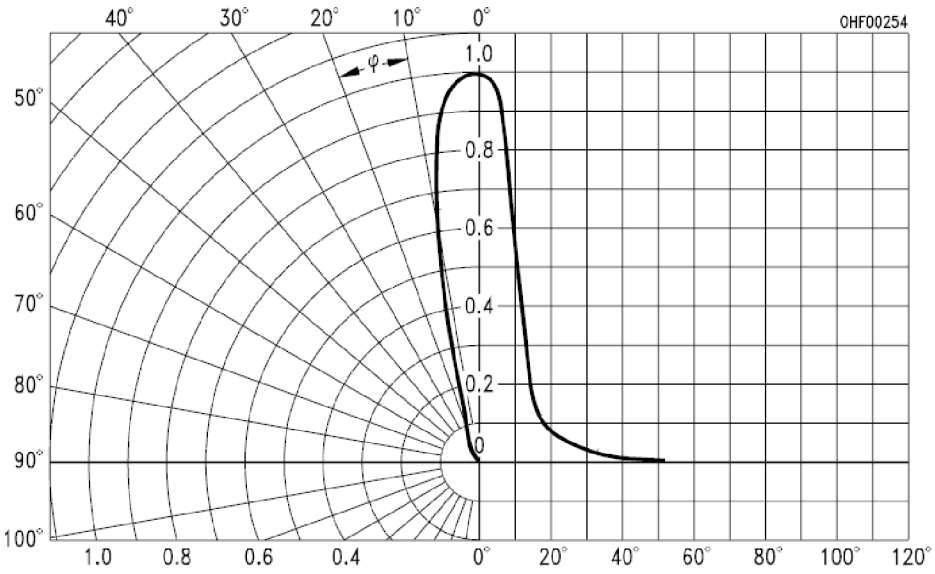
Obr. 9: Závislost citlivosti na vlnové délce fotodiody SFH 2030 [2]



Obr. 10: Závislost citlivosti na vlnové délce fotodiody SFH 213 [3]



Obr. 11: Směrová charakteristika fotodiody SFH 2030 [2]



Obr. 12: Směrová charakteristika fotodiody SFH 213 [3]

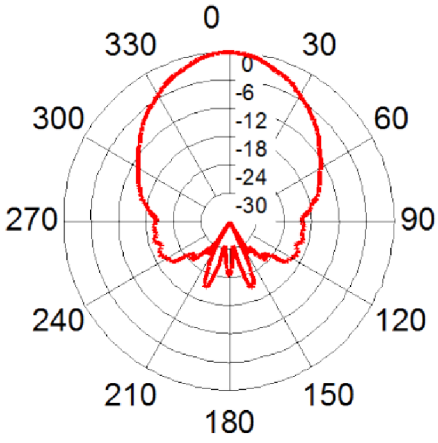
Jak je z grafu (obr. 9 a obr. 10) patrné, obě fotodiody jsou nejcitlivější na světlo o vlnové délce přibližně $\lambda = 850$ nm, nicméně jsou citlivé na poměrně široký rozsah vlnové délky, což je v tomto případě užitečné.

1.3 Akustická zkouška

Tato metoda ověřování kvality vzduchového filtru je založena na principu vysílání ultrazvuku o frekvenci 40 kHz. Ultrazvuk (vysoká frekvence akustického signálu) byl zvolen kvůli úzké směrové charakteristice, takže daný signál by měl lépe projít filtračním tělesem. Princip metody vychází z předpokladu, že při dobrém filtru (resp. vhodném pro další použití) bude průchodnost ultrazvuku horší, než při průchodu filtrem s vadou (dírou).

K vysílání a přijímání ultrazvukového signálu byly vybrány součástky 400ST100 jako vysílač a 400SR100 jako přijímač (viz obr. 13). Jejich střední frekvence je 40 kHz ± 1 kHz a vysílací hladinu akustického tlaku mají min. 112 dB. Rozptylová charakteristika je zobrazena na obr. 14.

Obr. 13: Vysílač a přijímač 40 kHz

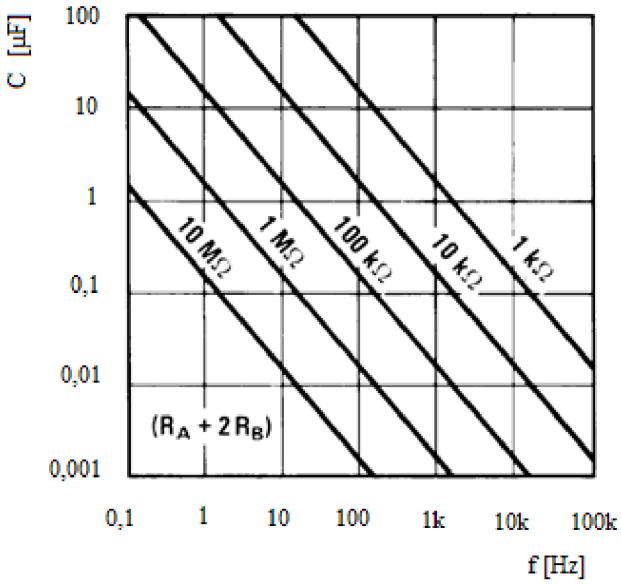


Obr. 14: Rozptylová charakteristika při frekvenci 40 kHz [4]

Pro vysílač bylo třeba sestavit generátor, na jehož výstupu je signál o frekvenci 40 kHz. K tomuto účelu byl použit integrovaný obvod LM555, který byl poskládán jako astabilní klopný obvod. Frekvence výstupního signálu je definován takto:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1{,}44}{(R_A + 2 \cdot R_B) \cdot C} \tag{2.1}$$

kde f značí frekvenci, T periodu, R_A a R_B označují hodnoty rezistorů a C hodnotu kondenzátoru. Závislost frekvence na hodnotách těchto součástek je zobrazen v grafu obr. 15.



Obr. 15: Závislost frekvence na kapacitě a odporech operačního zesilovače 555 [5]

S ohledem na potřebnou frekvenci výstupního signálu f = 40 kHz byla zvolena

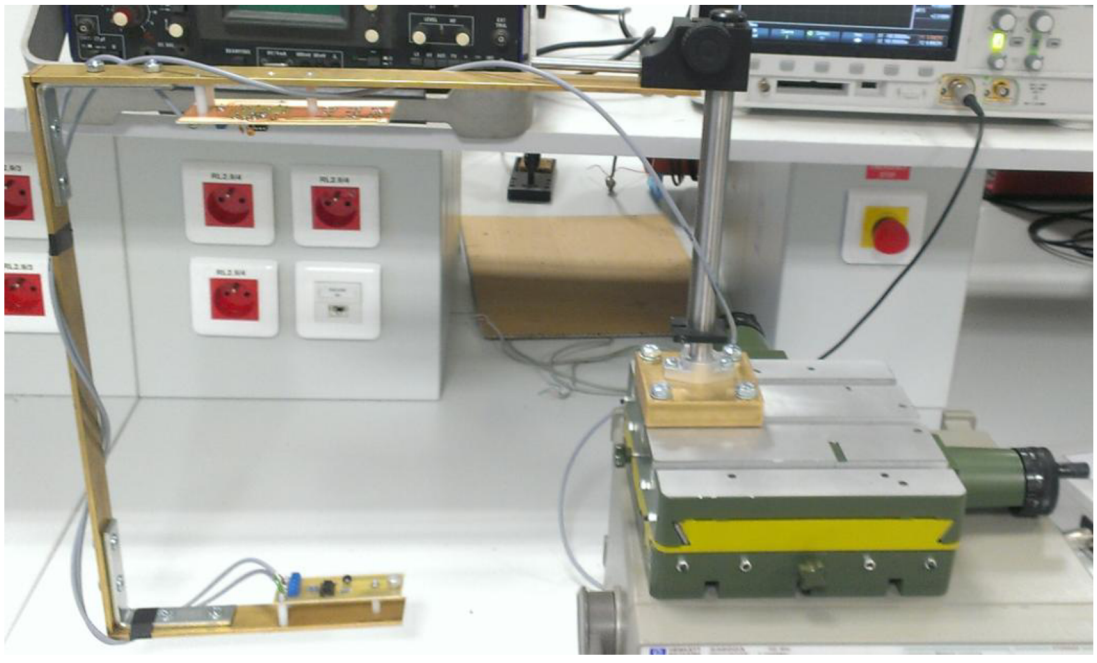
následující kombinace externích součástek: kapacita kondenzátoru C = 3,3 nF, odpor rezistoru R_B = 5 kΩ a rezistoru R_A = 909,09 Ω. Vzhledem k tomu, že rezistor o hodnotě odporu 909,09 Ω se běžně nevyskytuje, k dosažení co nejpřesněji požadované hodnoty frekvence 40 kHz budou místo rezistorů R_A a R_B dány odporové trimry a sériově k nim rezistory s pevně danou hodnotou. Pro jemnější nastavení odporu a tím i celkové frekvence bude rezistor R_A nahrazen sériovým zapojením trimru R_{TA} = 1 kΩ společně s rezistorem R_{2A} = 470 Ω a rezistor R_B nahradí sériová kombinace trimru R_{TB} = 2,5 kΩ a rezistoru R_{2B} = 3,9 kΩ.

Přijímaný signál je potřeba zesílit. K tomuto účelu byl využit integrovaný obvod NE5532 v jehož pouzdře jsou zabudovány dva operační zesilovače. Jeden je využit jako zdroj symetrického napájení a druhý jako zesilovač přijímaného signálu. Schémata a zapojení jsou popsána v kapitole Praktická realizace.

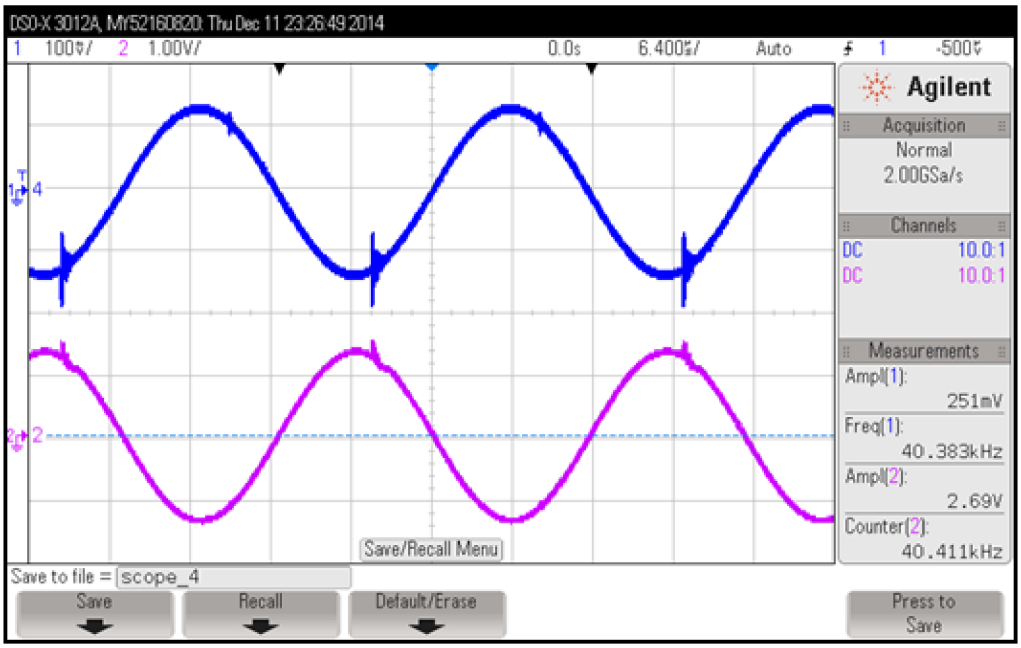
Vstupní napětí V_{CC+}	5 - 15 V
Vstupní napětí V_{CC-}	5 - 15 V
Strmost	9V/us

Tab. 2: Specifikace integrovaného obvodu NE5532

Měření touto metodou je realizováno současným pohybem přijímače a vysílače umístěnými proti sobě přes celý povrch filtru. Toho je docíleno pomocí křížového stolu, na kterém je umístěno rameno ve tvaru U (viz obr. 16). Předpokládá se větší přenos ultrazvukového signálu (resp. větší amplituda přijímaného signálu) v místech vady filtru. Na obrázku obr. 16 je vyfoceno zapojení pracoviště pro metodu akustickou zkouškou. Přijímaný a zesílený signál snímačem je zobrazen na obrázku obr. 17. Modrou křivkou je zobrazen přijímaný signál a fialová křivka znázorňuje signál zesílený (zesílení $A_U = \pm 10$).



Obr. 16: Křížový stůl s ramenem na měření pomocí ultrazvuku



Obr. 17: Přijímaný a zesílený signál zobrazený na osciloskopu

1.4 Detekce plynu CO_2

Při ověřování kvality filtru pomocí detekce plynu oxidu uhličitého se předpokládá, že za určitý časový úsek projde dobrým filtrem (filtrem bez vady) méně plynu, než při průchodu poškozeným.

Jako nejvhodnější plyn byl vybrán oxid uhličitý. Musel být vybrán takový plyn, který by svými vlastnostmi přímo neohrožoval zdraví člověka, tj. nebyl výbušný nebo hořlavý a zároveň byl i cenově dostupný. Plyn CO_2 samozřejmě člověku může uškodit. Při koncentraci 8% a více v ovzduší může způsobit i smrt. Nicméně při této metodě se bude pracovat s hodnotami okolo 1% koncentrace plynu a v dobře větraných prostorech.

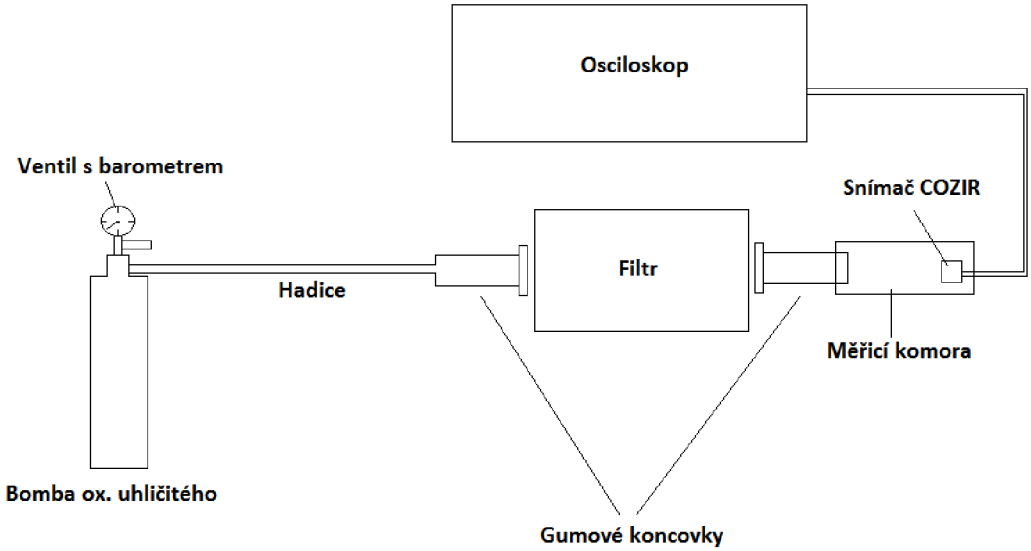
Jako senzor byl vybrán CO_2 COZIR, který má měřicí rozsah do 1% koncentrace plynu a měří s frekvencí 2 Hz. Jeho výstup je analogový i digitální. Aby se dalo využít digitálního výstupu, pro přímou komunikaci snímače s počítačem je nutné převést komunikaci RS232 na USB. Po převodu by ještě bylo třeba invertovat výstupní signál. Z časových důvodů byl nakonec vybrán analogový výstup a pomocí osciloskopu bude pozorován časový průběh výstupního signálu.

Obr. 18: Senzor CO_2 COZIR

Rozsah měření	0 - 10 000 ppm CO_2
Napájecí napětí	3,25 - 5,5 V
Přesnost	± 50 ppm CO_2

Tab. 3: Specifikace senzoru CO2 COZIR

K řádnému měření koncentrace plynu je třeba odizolovat filtr od okolí. Z jedné strany filtru je hnán plyn CO_2 z bomby opatřené ventilem přes hadici, která je na konci opatřena gumovou koncovku tak, aby plyn mohl unikat pouze do filtru. Z druhé strany filtru je stejným mechanismem vyřešeno zachytávání plynu do igelitové měřicí komory se snímačem.



Obr. 19: Blokové schéma zapojení metody detekce plynu CO_2

1.5 Tlaková zkouška

Tlaková zkouška je založena na předpokladu, že u dobrého filtru bude rozdíl hodnoty tlaku testovacího plynu měřeného na jeho vstupu a výstupu větší, než u vadného filtru.

U této zkoušky je důležité navrhnout způsob upnutí filtru tak, aby nedocházelo k úniku testovacího plynu. K tomuto účelu se využije gumová látka, která bude z jedné strany upnuta kovovou stahovací páskou k filtru a z druhé strany ke kompresoru s tlakovým snímačem a ventilem, kterým se bude regulovat tlak vpouštěný do filtru. U kompresoru bude využit tlakový snímač SIEMENS 7MF1564-3CA00-AA1 a ventil GSR K0511810. Ventil je uzpůsoben na tlak o hodnotě mezi hodnotami 0,3 - 20 bar.

Obr. 20: Tlakový snímač SIEMENS a ventil GSR

Obr. 21: Tlakový snímač MLH006BGD14B

Na druhé straně filtru je stejným způsobem ošetřeno měření výstupního tlaku, který je snímán tlakovým senzorem HONEYWELL MLH006BGD14B.

Napájení	10 - 36 V
Výstup	4 - 20 mA
Rozsah	0 - 10 bar

Tab. 4: Specifikace tlakového snímače Siemens 7MF1564-3CA00-1AA1

Rozsah sledovaného tlaku	6 bar
Proudový rozsah	4 - 20 mA
Napájení	9,5 - 30 Vdc
Přesnost	0,25%

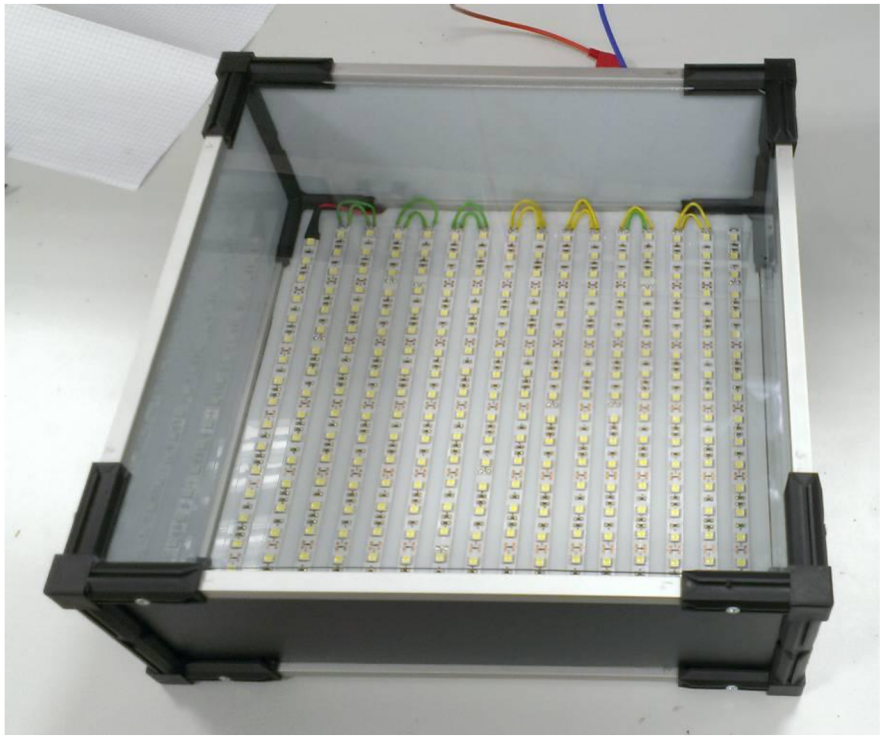
Tab. 5: Specifikace tlakového snímače MLH006BGD14B

Aby bylo možné měřit tlak, je potřeba vyřešit problém s odizolováním filtru od okolí stejně jako u metody detekce plynu CO_2. V tomto případě se ovšem dosahuje podstatně vyšších hodnot tlaku.

2 PRAKTICKÁ REALIZACE

2.1 Optická zkouška

Pro realizaci této metody bylo nutné sestavit prosvětlovací stůl. Konstrukce stolu je realizovaná pomocí hliníkových profilů sešroubovaných do kvádru o rozměrech 35 × 35 × 13 cm, jehož bočnice jsou vyplněny deskami z plexiskla polepenými neprůsvitnou černou fólií. Dolní podstava je vyplněna též plexisklem, na kterém jsou nalepeny LED pásky, které vyzařují ostré světlo. Vrchní podstava je vyplněna čirým sklem. Plocha prosvětlovacího stolu byla předem vhodně určena tak, aby vyhovovala velikostem zkoumaných filtrů.



Obr. 22: Prosvětlovací stolek

Zdrojem světla jsou pásky LED o svítivosti 1200 lm/m a výkonu 14,4 W/m. Pásky byly nastříhány a nalepeny na spodní podstavu stolku tak, aby svítily po celém stolku rovnoměrně.

Délka pásku	5 m
Výkon na metr	14,4 W
Napájecí napětí	12 V

Tab. 6: Specifikace LED pásku

Podle následujícího vztahu (3.1) bude potřeba k napájení všech led pásek proud 6 A. K napájení LED pásek tedy byl využit zdroj MEAN WELL LPV-100-12 na jehož výstupu je napětí 12 V a je schopen dodávat proud až 8,5 A.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{5 \times 14,4}{12} = 6A \tag{3.1}$$

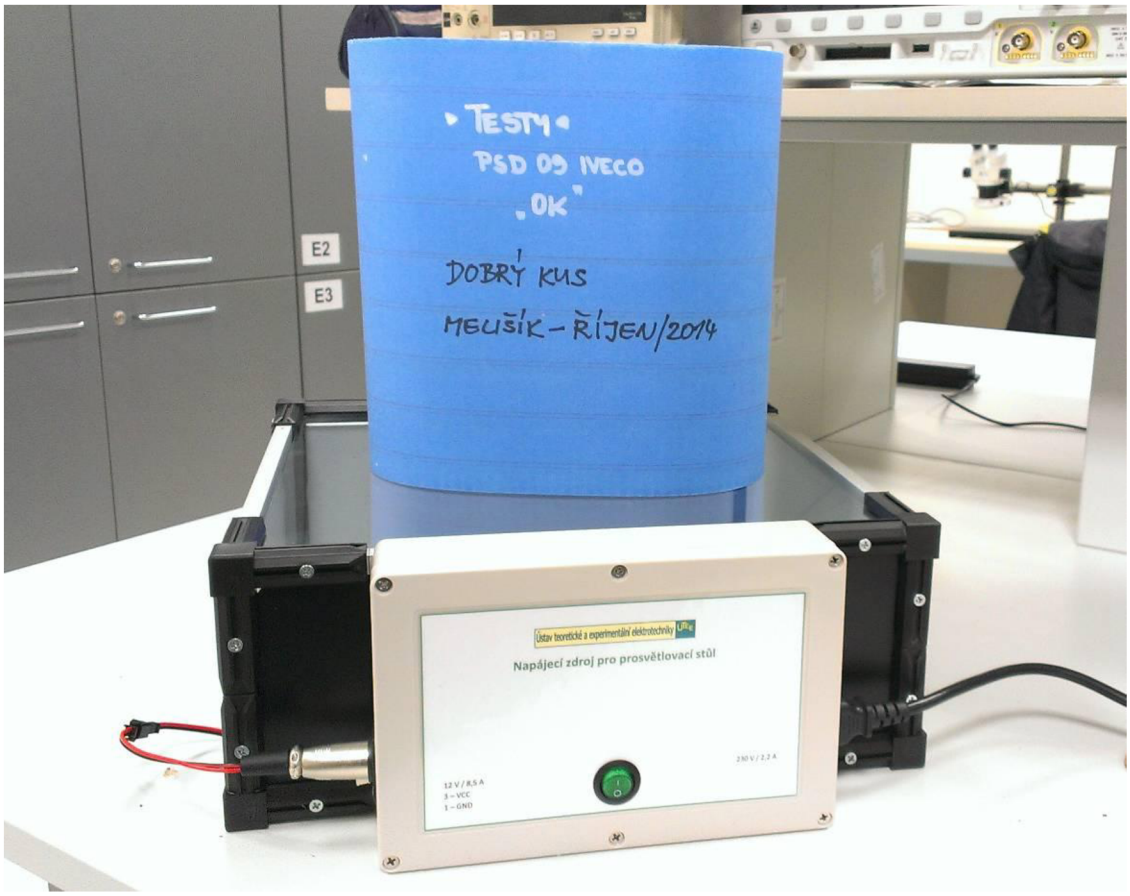
Obr. 23: Zdroj MEAN WELL LPV-100-12

Zdroj je ještě usazen do plastového pouzdra a opatřen spínačem pro snazší ovládání.

Obr. 24: Zdroj MEAN WELL LPV-100-12

Na prosvětlovací stůl byl položen filtr a při jeho prosvícení bylo zřejmé, kde

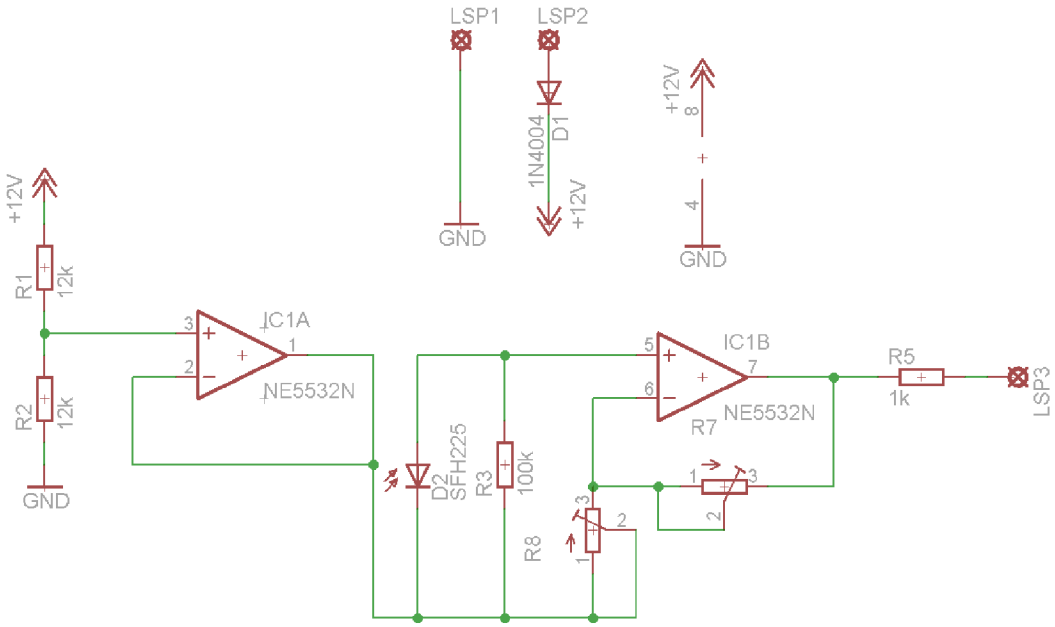
se na vadném kusu nachází závada (viz obr. 3 a obr. 5).



Obr. 25: Zhotovené části optické metody - prosvětlovací stůl a zdroj

Ke snímání intenzity světla byly vybrány dva typy fotodiod - SFH 2030 a SFH 213. Každá fotodioda je také vyrobena v jiném zapojení. Fotodioda SFH 2030 je v zapojení s operačním zesilovačem, fotodioda SFH 213 pouze v jednoduchém zapojení s jedním rezistorem. Nejprve bylo vytvořeno zapojení fotodiody SFH 2030 ve fotovoltaickém režimu - fotodioda se chová jako zdroj napětí. Postupem času bylo vytvořeno jednodušší zapojení - odporový dělič, přičemž jeden odpor je realizován fotodiodou SFH 213 zapojenou v odporovém režimu. U obou typů zapojení je pomocí multimetru zjišťováno napětí na fotodiodě (obr. 28 body A a B).

Na následujících obrazcích jsou schémata desek a vyrobené DPS.



Obr. 26: Schéma zapojení fotodiody SFH 2030

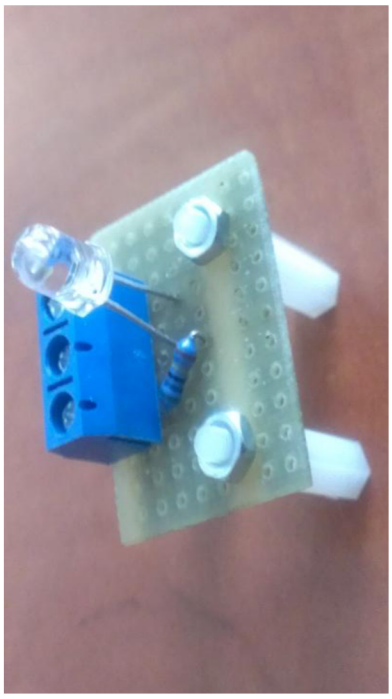
Obr. 27: Schéma zapojení fotodiody SFH 213

U zapojení s fotodiodou SFH 2030 je využito fotovoltaického režimu fotodiody - fotodioda se chová jak zdroj napětí. Toto napětí dosahuje ovšem malých hodnot (v řádu stovek mV) a je potřeba ho zesílit. Do zapojení byl vybrán integrovaný obvod NE5532, v jehož pouzdře jsou zabudovány dva operační zesilovače. Specifikace integrovaného obvodu NE5532 jsou znázorněny v tabulce tab. 2. Jeden operační zesilovač (IC1A) je využit na vytvoření symetrického napájení ± 6 V. Na jeho neinvertující vstup je přes odporový dělič přivedena polovina napětí 12 V. Odporový dělič je reprezentován dvěma rezistory o stejných hodnotách (zde 12 kΩ), aby se vstupní napětí 12 V rozdělilo v poměru 1:1 na napětí ±6 V (viz obr. 31).

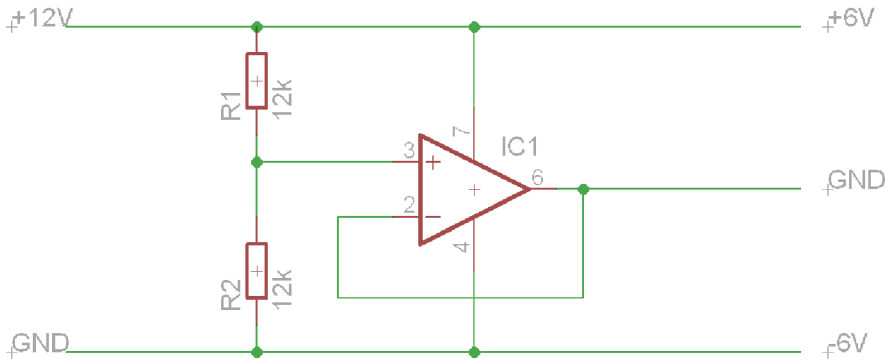
Druhý operační zesilovač (IC1B) slouží k zesílení přijímaného signálu. Signál z fotodiody je přiveden na neinvertující vstup zesilovače, jehož zesílení pomocí odporových trimrů R_7 = 200 kΩ a R_8 = 2,7 kΩ je realizováno zápornou zpětnou vazbou. Zesílení je dáno vztahem (3.2).

$$A_U = \frac{R_2}{R_1} \tag{3.2}$$

Obr. 28: Zapojení fotodiody SFH 2030



Obr. 29: Zapojení fotodiody SFH 213



Obr. 30: Operační zesilovač jako zdroj symetrického napětí ± 6 V

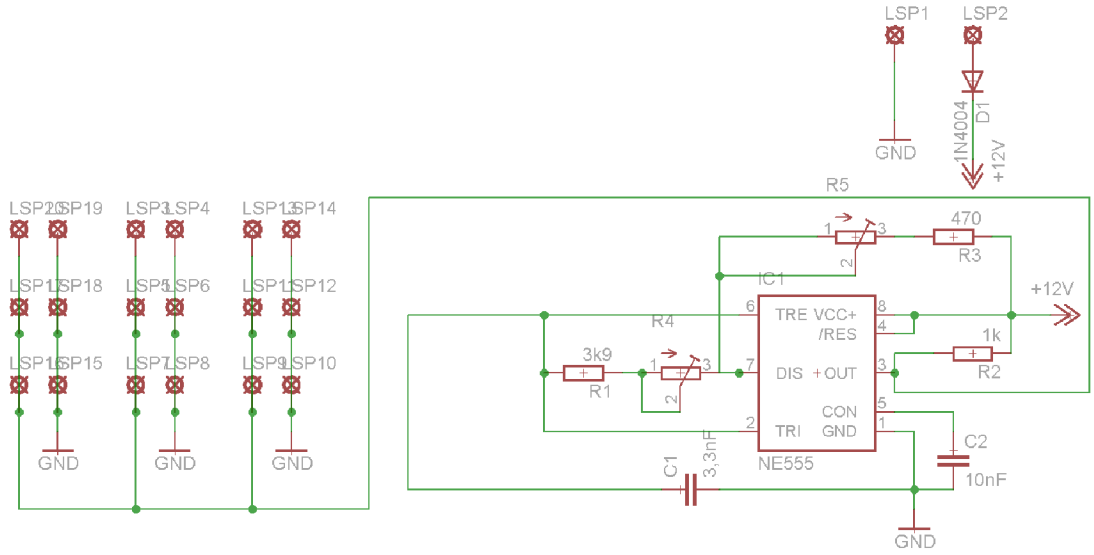
Fotodioda SFH 213 je zapojena jako odporový dělič s rezistorem o hodnotě odporu 5,6 MΩ (viz obr. 28). Hodnota odporu byla experimentálně zkoušena. Při nižších i vyšších hodnotách nedosahovala fotodioda takové citlivosti. S různým osvětlením fotodiody se mění poměr, jakým je děleno vstupní napětí 12 V. Napětí na fotodiodě roste nepřímo úměrně s intenzitou světla - tj. čím větší intenzita světla, tím nižší napětí na fotodiodě.

Obě dvě desky s fotodiodami byly připraveny na upevnění na rameno křížového stolu. Napájecí napětí je přivedeno z již zmíněného zdroje MEAN WELL LPV-100-12.

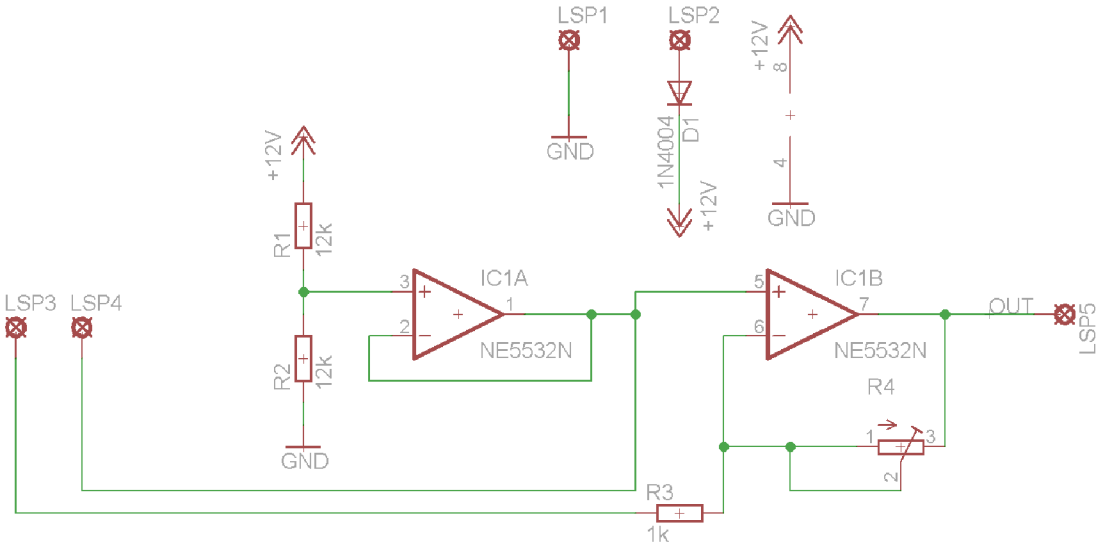
2.2 Akustická zkouška

Pro měření akustickou zkouškou bylo třeba navrhnout a vyrobit DPS generátoru pro ultrazvukový měnič i přijímače vysílaného ultrazvukového signálu.

Na obr. 32 a obr. 33 jsou navržená schémata generátoru a přijímače v programu Eagle 6.3.0.



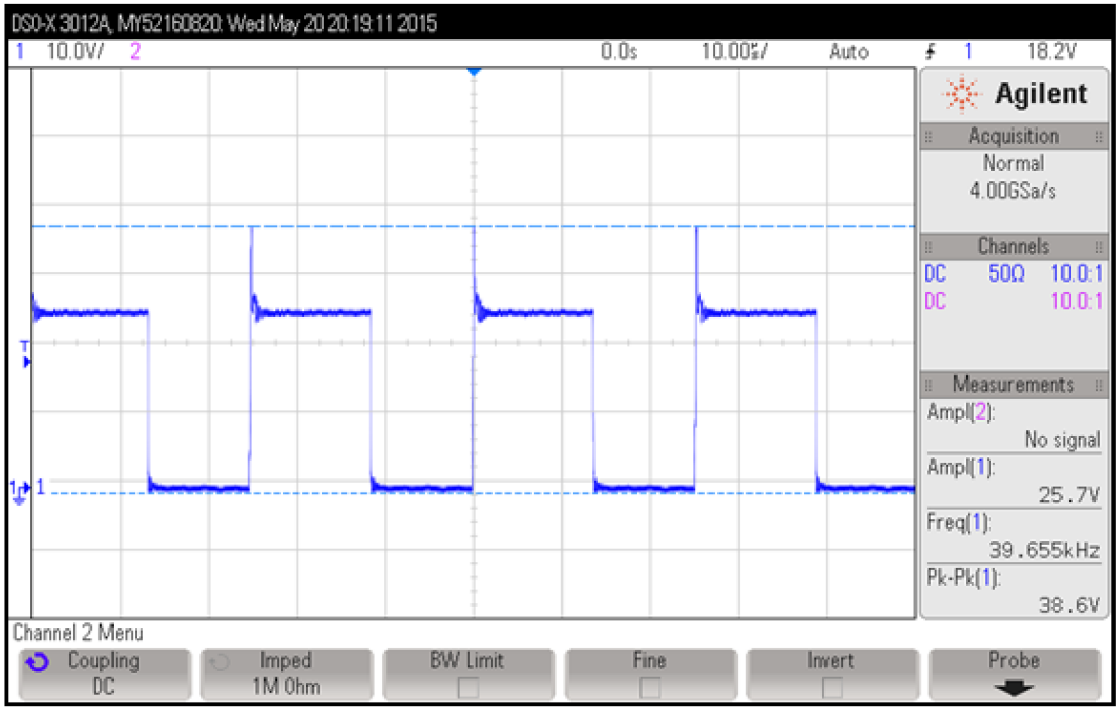
Obr. 31: Schéma zapojení generátoru ultrazvukového signálu



Obr. 32: Schéma zapojení přijímače ultrazvukového signálu

Generátor pro ultrazvukový měnič byl sestaven z časovače LM555. Jak bylo popsáno v kapitole Teoretický návrh, ke správné frekvenci 40 kHz je podle vzorečku (2.1) při zvolené hodnotě kapacitoru C_1=3,3 nF potřeba, aby rezistory měli hodnoty

R_A=909,09 Ω a R_B=5 kΩ. Toho bude dosaženo pomocí sériové kombinace rezistoru s pevně danou hodnotou (R_1 a R_3) a odporového trimru (R_4 a R_5). Zvoleny byly odporové trimry o hodnotách R_4 = 1kΩ a R_5 = 2,5 kΩ a k nim do série rezistory o hodnotě R_1= 3,9kΩ a R_3= 470Ω. Dle vzorečku (2.1), kde $R_A = R_4 + R_3$ a $R_B = R_5 + R_1$,jsou tedy mezní frekvence f_{min}= 30,579 kHz a f_{max}= 52,764 kHz. Pomocí trimrů R_4 a R_5 je tedy možné nastavit co nejpřesněji potřebnou frekvenci f = 40 kHz. Odpor rezistoru R_2 slouží jako zátěž a kondenzátor C_2 jako ochrana proti zákmitům. Pro zesílení vysílaného signálu byla navržena deska pro pole 9 vysílačů typu 400ST100. Na obrázku obr. 34 je zobrazený generovaný ultrazvukový signál o frekvenci přibližně 40 kHz.



Obr. 33: Generovaný signál zobrazený na osciloskopu

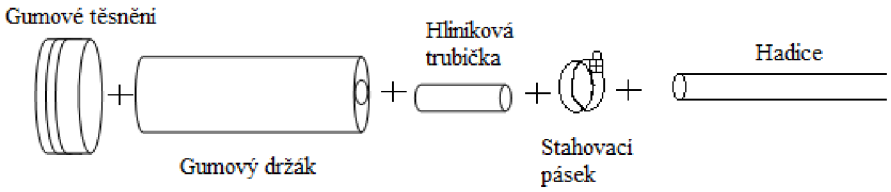
Vzhledem k tomu, že filtry jsou vysoké až 30 cm, je potřeba přijímaný signál dostatečně zesílit. K tomuto účelu byl při návrhu přijímače ultrazvukového signálu využit operační zesilovač se symetrickým napájením. Stejně jako u metody optické zkoušky byl zvolen integrovaný obvod NE5532. Opět je jeden ze zabudovaných operačních zesilovačů využit jako zdroj symetrického napájení a druhý jako zesilovač přijímaného signálu.

Na neinvertující vstup operačního zesilovače IC1A je přivedena polovina napájecího napětí 12 V. Napájecí napětí je děleno odporovým děličem v poměru 1:1 na ±6 V. Odporový dělič je reprezentován rezistory o stejné hodnotě 12 kΩ. Na neinvertující vstup druhého operačního zesilovače IC1B je přiveden přijímaný signál o frekvenci 40 kHz, který je pomocí záporné zpětné vazby následně zesilován. Zesílení je dáno vztahem (3.2) a je v tomto případě realizováno rezistorem R_3 = 1 kΩ a odporovým trimrem R_4 = 15 kΩ. Pomocí trimru je možné zesílení signálu měnit dle

potřeby. Maximální zesílení je dle vztahu (3.2) 15. Oba integrované obvody lze napájet zdrojem navrženým pro prosvětlovací stůl.

2.3 Detekce plynu CO_2

Pro realizaci metody detekce plynu oxidu uhličitého (viz obr. 20) bylo potřeba zajistit, aby neunikal plyn do okolí, nýbrž pouze procházel filtrem a byl zachytáván do měřicí komory. K tomuto účelu byly vytvořeny gumové koncovky, které se přiloží k proměřovanému filtru. Na výrobu gumové koncovky bylo využito gumové těsnění, gumový držák, hliníková trubička a stahovací pásek, kterým se upnula hadice k trubičce. Vše bylo slepeno speciálním lepidlem na různé povrchy a pro naprosté těsnění byly spoje zadělány průhledným silikonem.



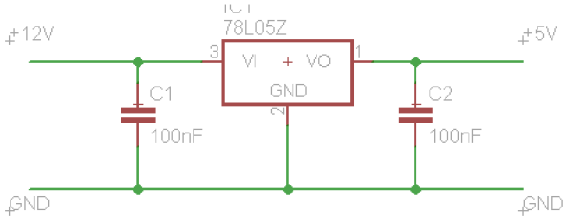
Obr. 34: Složení gumové koncovky

Obr. 35: Gumová koncovka

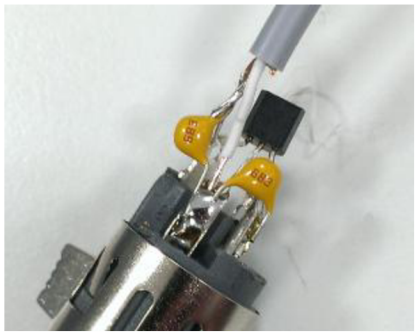
Aby bylo možné měřit koncentraci plynu, bylo potřeba vytvořit utěsněnou komoru. Vzhledem k technickým a finančním možnostem vyšla přes několik různých variant nejlépe igelitová komora (viz obr. 36).

Obr. 36: Měřicí komora se snímačem

Snímač COZIR umístěný v měřicí komoře je napájen pomocí zdroje, který je využíván u optické metody a akustické zkoušky. Snímač je ovšem možno napájet pouze napětím do 5 V a zdroj dodává napětí 12 V. Do konektoru zdroje bylo tedy potřeba přidat stabilizátor 7805, na jehož výstupu bude potřebné napětí 5 V.



Obr. 37: Schéma konektoru se stabilizátorem 7805 a filtračními kondenzátory



Obr. 38: Konektor zdroje se stabilizátorem 7805 a filtračními kondenzátory

Samotný plyn je vypouštěn z bomby plynu CO_2 přes ventil s ukazatelem tlaku. Plyn projde hadicí přes filtr do měřicí komory se senzorem. Z komory je přiveden výstup snímače do osciloskopu, který měří přechodnou charakteristiku. Z přechodné charakteristiky jsou zpracována data do grafů a tabulek, pro řádnou analýzu metody.

Obr. 39: Plynová lahev CO2 s ventilem a barometrem

2.4 Tlaková zkouška

Pomocí kompresoru s ventilem by se vháněl vzduch natlakovaný na potřebnou úroveň do komory na vstupu filtračního tělesa a na druhé straně by se měřil úbytek tlaku v druhé tlakové komoře na výstupu filtru. Tlak na výstupu by se měřil pomocí snímače HONEYWELL MLH006BGD14B, který má výstup 4-20 mA. Proudovou smyčkou by se tedy měřil proud a tím poměrově tlak.

U této metody tlakovou zkouškou je ovšem největším problémem potřeba odizolovat filtrační těleso od okolí tak, aby se dal měřit pokles/nárůst tlaku. V kapitole Teoretický návrh bylo řečeno, že odizolování bude provedeno gumovou látkou, která bude upnutá k filtru kovovými stahovacími páskami. Po realizaci tohoto návrhu ovšem bylo zjištěno, že pomocí stahovacích pásků není možné filtr dostatečně utěsnit. Problém byl především v tvaru většiny filtrů - ovál. Bylo navrženo mnoho různých způsobů, nicméně žádná varianta nevyhověla požadavkům. Vzhledem k velké konstrukční náročnosti se nepovedlo sestrojit komoru, která by umožnila měřit diferenci tlaku na vstupu a výstupu filtru.

3 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

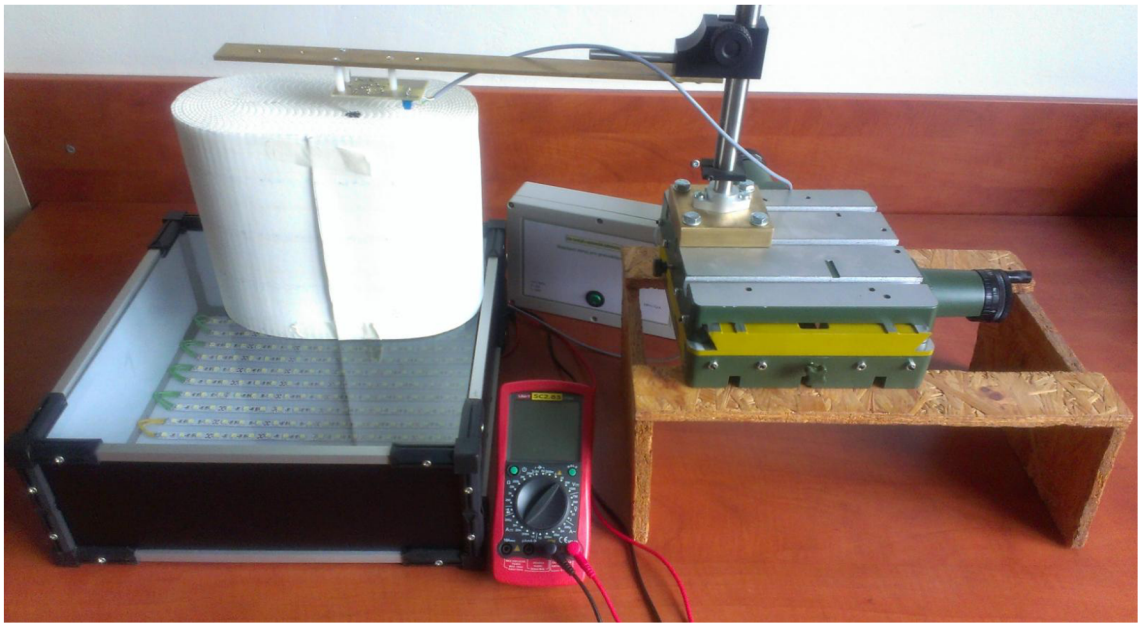
V této kapitole jsou uvedeny postupy měření jednotlivých metod a jejich výsledky.

3.1 Optická zkouška

U optické metody proběhlo měření se dvěma snímači - s fotodiodou SFH 2030 a fotodiodou SFH 213 v temné komoře.

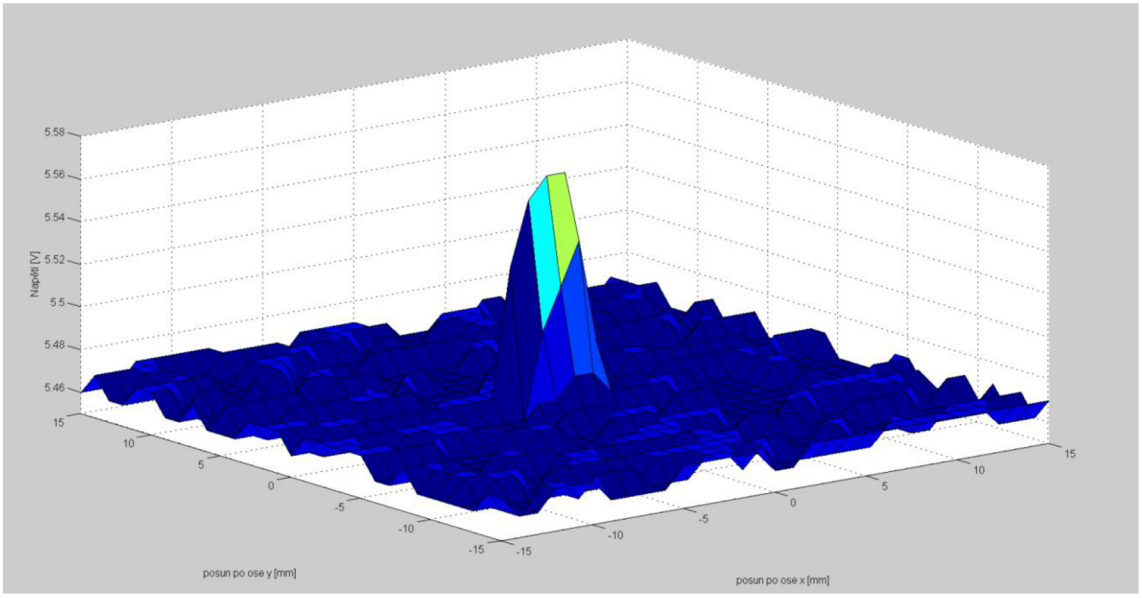
Na ověření této metody byl vybrán bílý filtr o výšce 20 cm, který má vadu v podobě díry. Filtr byl umístěn na prosvětlovací stůl a okolí filtru bylo zakryto, aby světlo vyzařované mimo filtr neovlivňovalo měření. Fotodioda snímače byla umístěna přímo nad vadu filtru - tento bod byl referenční a jeho pozice v soustavě os x a y [0,0]. Z tohoto bodu bylo postupně pomocí posuvného stolu proměřeno pole 3 × 3 cm. Výsledkem měření je tedy 961 hodnot (31 × 31 hodnot).

Předpoklad byl takový, že nad vadou (dírou) bude změřena největší intenzita světla (u fotodiody typu SFH 2030 tudíž větší napětí, u fotodiody typu SFH 213 nižší napětí). Bylo velice důležité provádět měření v temné komoře, neboť okolní světlo jinak ovlivňovalo výsledky měření.



Obr. 40: Sestava pro měření vady optickou metodou

Jednotlivé hodnoty byly zaznamenávány a nakonec zpracovány pomocí programu MATLAB k vytvoření 3D grafu.



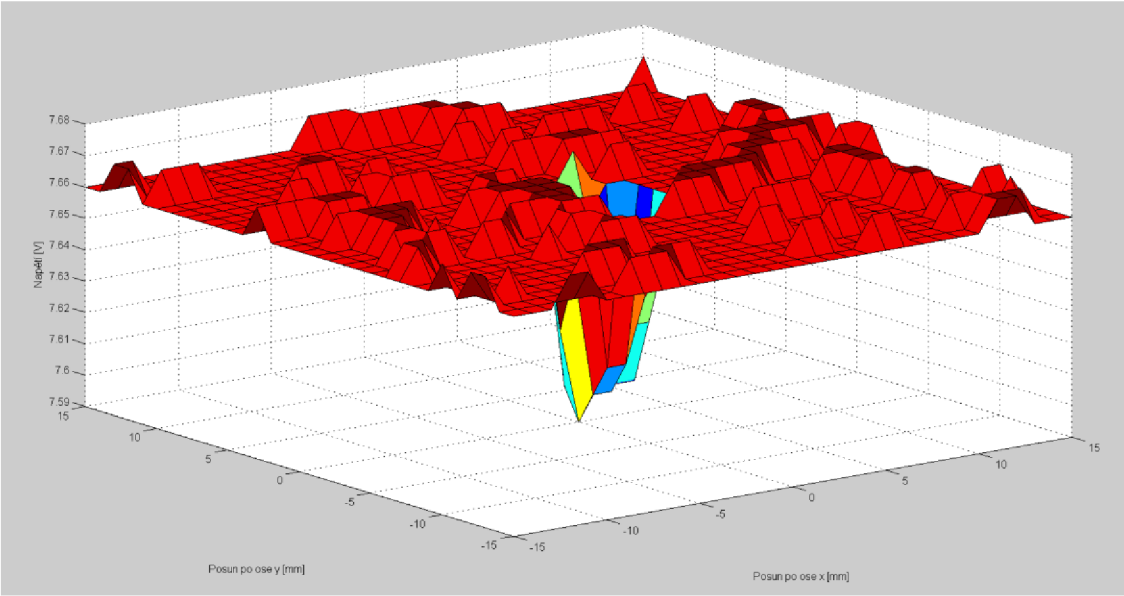
Obr. 41: 3D graf měření vady optickou metodou - snímač s fotodiodou SFH 2030

Z grafu je patrné, že fotodioda SFH 2030 zachytila rozdíl mezi intenzitou světla na vadou (dírou) a nad místy filtru bez vady. Největší hodnota intenzity (napětí) je v bodě [0,0] - tedy v místě vady. Ještě do vzdálenosti 2 milimetrů směrem od vady je napětí vyšší, poté ovšem klesne. Rozdíl napětí v místě s vadou (5,57 V) a v nezávadných částech filtru (5,46/5,47/5,48 V) je zhruba 0,1 V. Pro přehlednost jsou v tabulce tab. 7 uvedeny rozdíly hodnot napětí v nebližším okolí vady a nejnižší možné hodnoty - tj. 5,46 V. Největší intenzitu světla (a tím i vadu) reprezentuje nejvyšší hodnota rozdílu - v tomto případě 110 mV.

x | y / U [mV]	-3	-2	-1	0	1	2
-4	0	0	0	10	10	0
-3	0	10	0	70	10	10
-2	0	10	40	100	10	10
-1	0	20	60	110	60	10
0	0	20	90	110	90	10
1	0	10	50	50	10	10
2	0	10	0	0	10	10

Tab. 7: Rozdíl hodnot napětí od hodnoty 5,46 V v nejbližším okolí vady (díry) - snímač s fotodiodou SFH 2030

Na následném 3D grafu (obr. 42) jsou zpracované hodnoty napětí získané snímačem s fotodiodou SFH 213.



Obr. 42: 3D graf měření vady optickou metodou - snímač s fotodiodou SFH 213

Z grafu je opět patrné, že i jednodušší zapojení s fotodiodou SFH 213 je schopné detekovat vadu (díru) filtru. Největší intenzita světla je opět na referenčním bodu [0,0] a na blízkých místech okolo vady. Vzhledem k zapojení fotodiody v odporovém režimu je větší intenzita světla reprezentována nižším napětím než místa s nižší intenzitou.

Rozdíl hodnot napětí mezi místem s vadou (7,59 V) a nezávadnými částmi filtru (7,66/7,67 V) je zhruba 0,08 V. V tabulce tab. 8 jsou opět uvedeny rozdíly hodnot napětí v nebližším okolí vady a nejnižší možné hodnoty - tj. 7,59 V. Tentokrát ovšem nejvyšší intenzitu světla (a tím i vadu) reprezentuje nejnižší hodnota rozdílu. V tomto případě 0 mV.

x | y U [mV]	-3	-2	-1	0	1	2	3
-2	70	80	80	80	70	80	70
-1	70	70	50	30	60	70	70
0	70	20	10	00	10	50	70
1	60	20	10	10	0	40	70
2	70	40	30	10	10	60	80
3	80	50	30	10	20	70	70
4	80	80	70	70	70	70	80

Tab. 8: Rozdíl hodnot napětí od hodnoty 7,59 V v nejbližším okolí vady (díry) - snímač s fotodiodou SFH 213

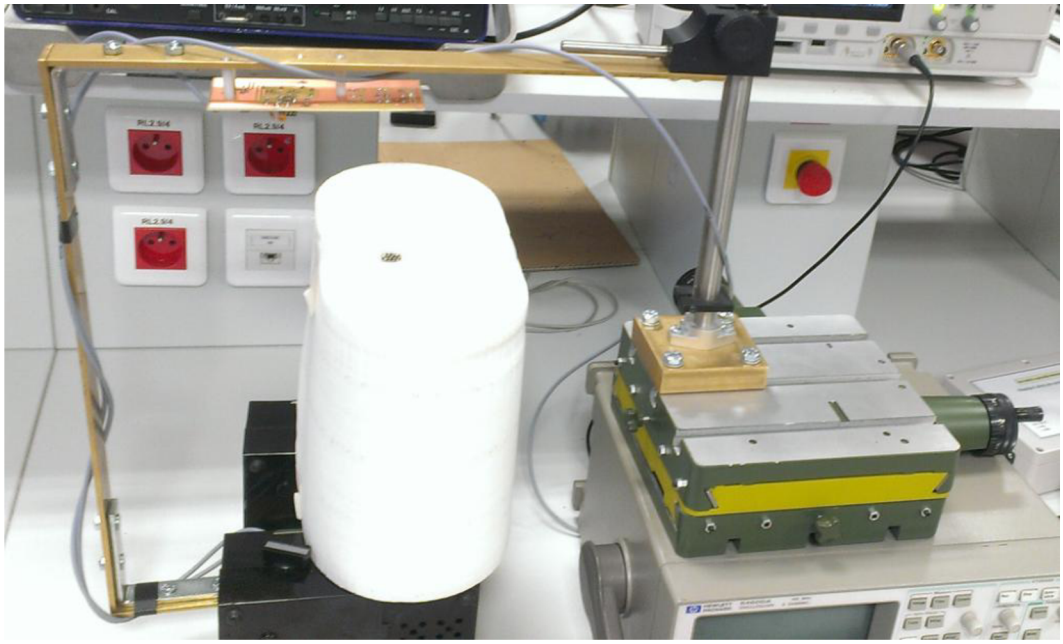
Oba navržené způsoby zapojení fotodiody byly schopny detekovat vadu filtru. O něco větší diference mezi vadným místem a místy filtru bez vady bylo dosaženo

u zapojení s operačním zesilovačem - zapojení s fotodiodou SFH 2030.

Při proměřování části filtru s vadou - zalepenou štěrbinou nebyly naměřeny rozdílné hodnoty. Takto navržené snímače jsou tedy schopny odhalit pouze vadu - díru.

3.2 Akustická zkouška

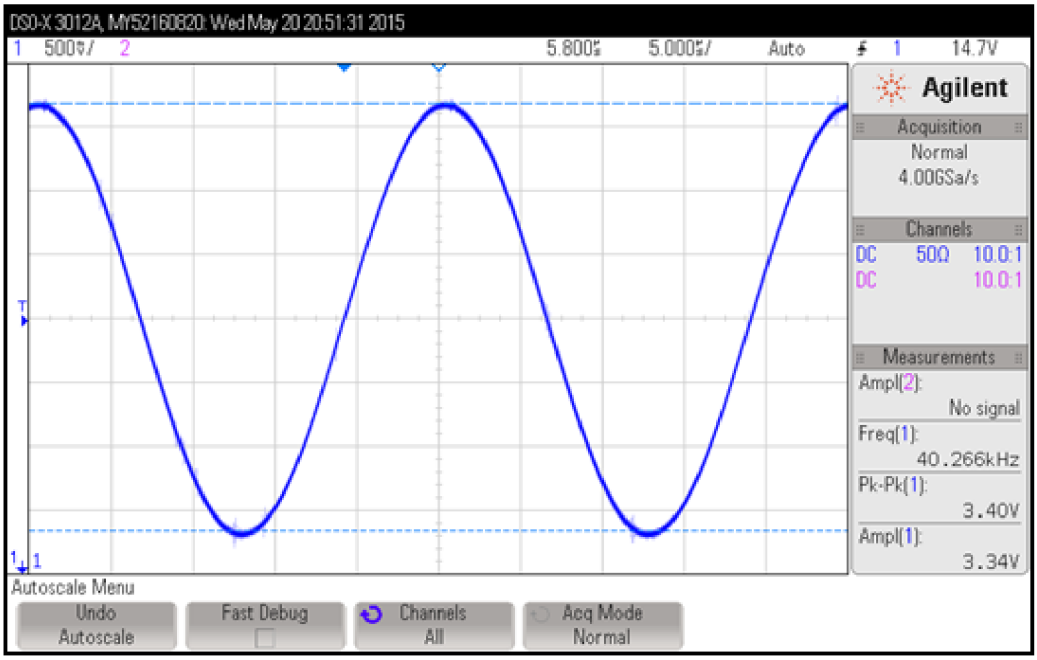
Pro měření metodou akustické zkoušky byly vyzkoušeny různé typy filtrů a místo pole 9 vysílačů byl využit pouze jeden vysílač 400ST100. Při vysílání ultrazvukového signálu přes filtr skutečně dochází ke znatelnému utlumení signálu, nicméně při průchodu touto překážkou dochází k mnoha nechtěným odrazům, které výrazně ovlivňují měření. Na obrázku obr. 43 je vyfoceno zapojení pracoviště pro měření akustickou zkouškou.



Obr. 43: Sestava pro měření metodou zvukové zkoušky

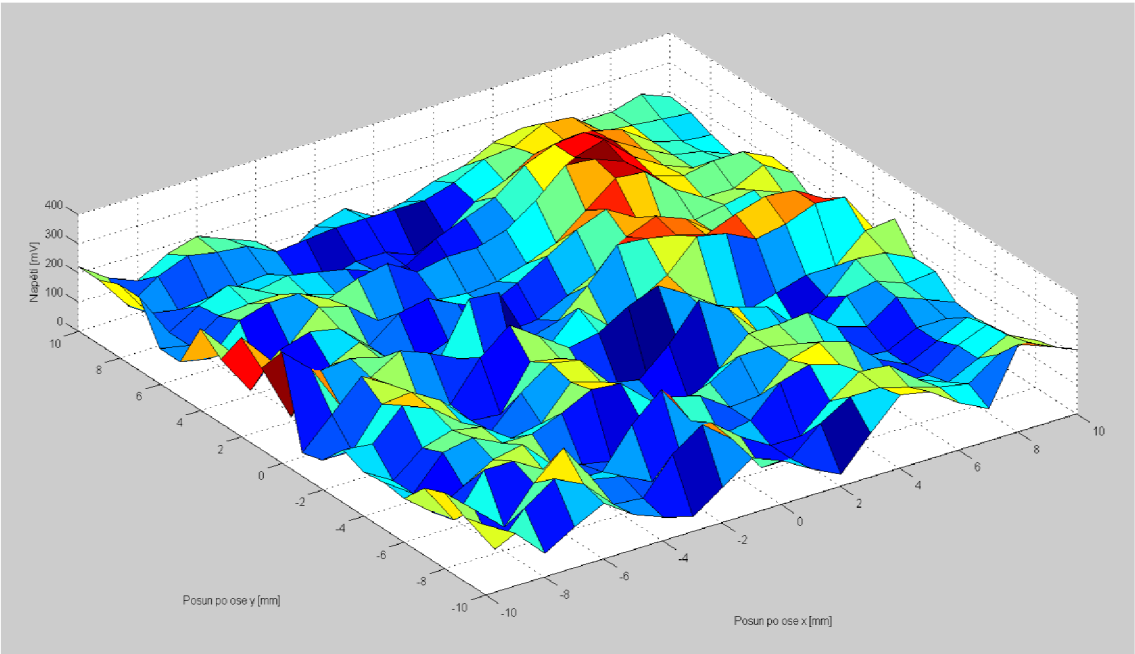
Výstup měření - tj. zesílený přijímaný signál, byl zobrazován na osciloskopu. Jak již bylo řečeno, podle očekávání došlo při průchodu ultrazvukového signálu k útlumu signálu, nicméně k detekci vady je toto měření příliš nepřesné vlivem mnoha odrazů.

Na obr. 44 je vidět signál, který přijímá a zesiluje přijímač.



Obr. 44: Přijímaný zesílený signál bez filtru

Měřením získané hodnoty amplitudy napětí jsou velice nestálé. Na obr. 45 jsou naměřené hodnoty napětí signálu zpracovány do 3D grafu. Vada - díra filtru se nacházela stejně jako u měření metodou optické zkoušky v poloze [0,0]. Jak je vidět z grafu, v místě vady byly ovšem naopak naměřeny hodnoty napětí nízké. Důkazem odrazů jsou vyšší hodnoty okolo polohy [6,6]. Při pohybu směrem po kladné poloose osy x se totiž ultrazvukový snímač a vysílač přibližoval k posuvnému stolu.



Obr. 45: 3D graf měření metodou akustické zkoušky

Stejně jako u optické metody byly pro přehlednost nejbližší hodnoty napětí referenčnímu bodu [0,0] zaznamenány do tabulky tab. 9.

X | y / U [mV]	-2	-1	0	1	2	3	4
-2	200	230	30	290	80	160	130
-1	90	160	120	100	80	120	120
0	40	180	220	130	90	170	130
1	30	240	130	220	140	230	160
2	130	280	180	330	190	290	200
3	200	220	240	320	180	330	280
4	190	150	340	300	320	270	360

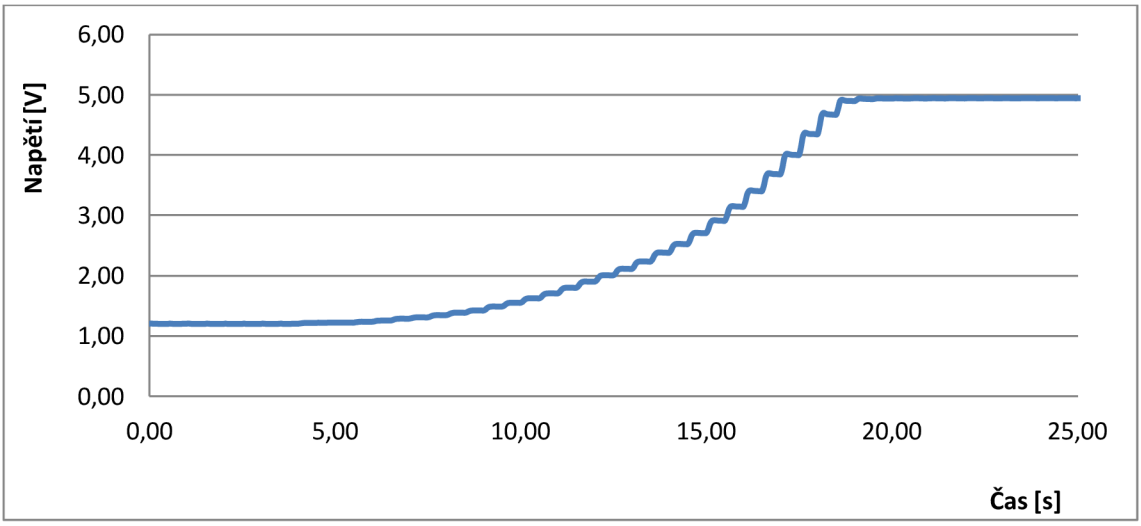
Tab. 9: Hodnoty napětí nejbližších míst okolo referenčního bodu [0,0]

Amplituda signálu, který prochází filtračním tělesem, se velice často mění v rozmezí od 50 mV do 400 mV. Vysoké hodnoty byly naměřeny v místech, kde ve filtru nebyla žádná vada. Tyto stavy jsou dány tím, že docházelo k mnoha odrazům - např. od posuvného stolu, konstrukce držáku snímače, apod. Z tohoto důvodu nelze tuto metodu využít pro detekci vady filtračního tělesa.

3.3 Detekce plynu CO_2

Vyhodnocení měření metodou detekce plynu CO2 je realizováno na základě grafu závislosti napětí na čase, který bude zaznamenán osciloskopem. Hodnota napětí odpovídá poměrově koncentraci plynu ox. uhličitého. Senzor COZIR měří koncentraci plynu do 1 procenta.

Nejprve byla proměřena charakteristika snímače COZIR bez zatížení filtračním tělesem. Ventilem byl vpuštěn plyn do měřicí komory se snímačem při průtoku 3 l/min a osciloskopem se snímala přechodná charakteristika samotného snímače. Graf z měření je na obr. 46.



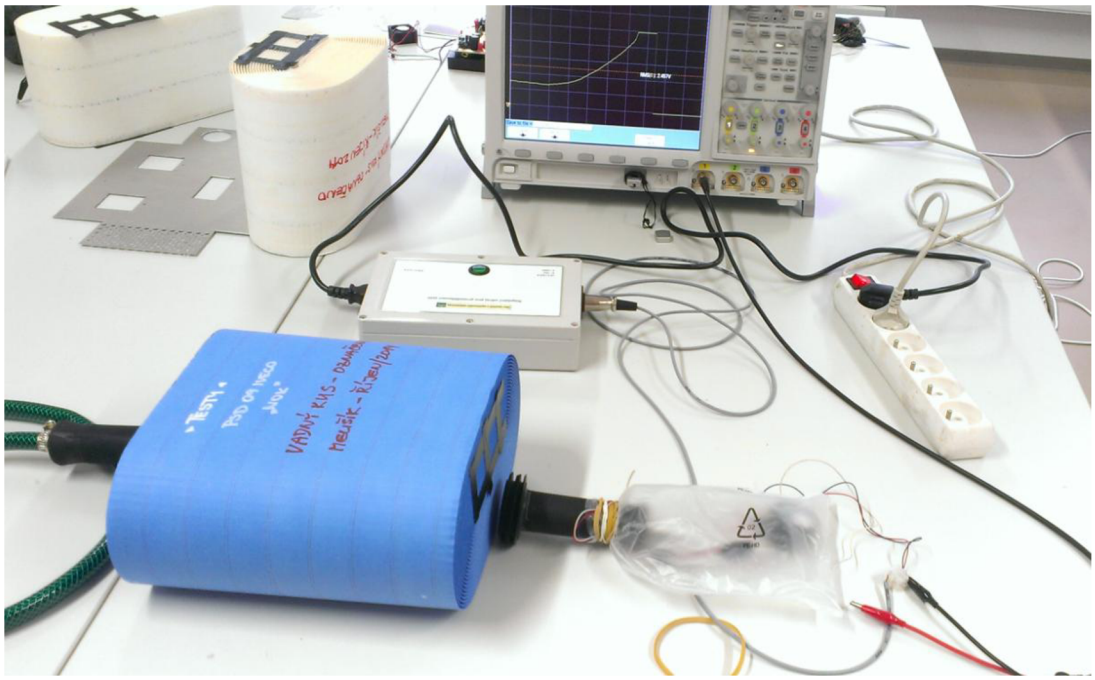
Obr. 46: Charakteristika snímače CO_2

Z grafu (obr. 46) lze vyčíst, že snímač od doby, kdy se začne měnit hodnota napětí, naměří maximální koncentraci za 16 s. Poté se již dostane snímač do saturace.

Následně byly změřeny stejné charakteristiky ovšem s tím, že plyn musel projít přes filtrační těleso. Filtr se musel nejprve uzpůsobit, aby měření probíhalo vždy na stejném místě a plyn procházel přes stejný počet dutinek. K měření bylo ohraničeno pole 3 × 3 cm pomocí izolepy na obou stranách filtru. Pole bylo vytvořeno okolo vady (díry) i mimo ní (viz obr. 47). Vzhledem k tomu, že tlak v bombě nebyl po proměření vady - díry stálý, nebylo možno proměřit filtr s vadou - zalepenou štěrbinou.

Obr. 47: Vyhrazené pole 3 × 3 cm na měření

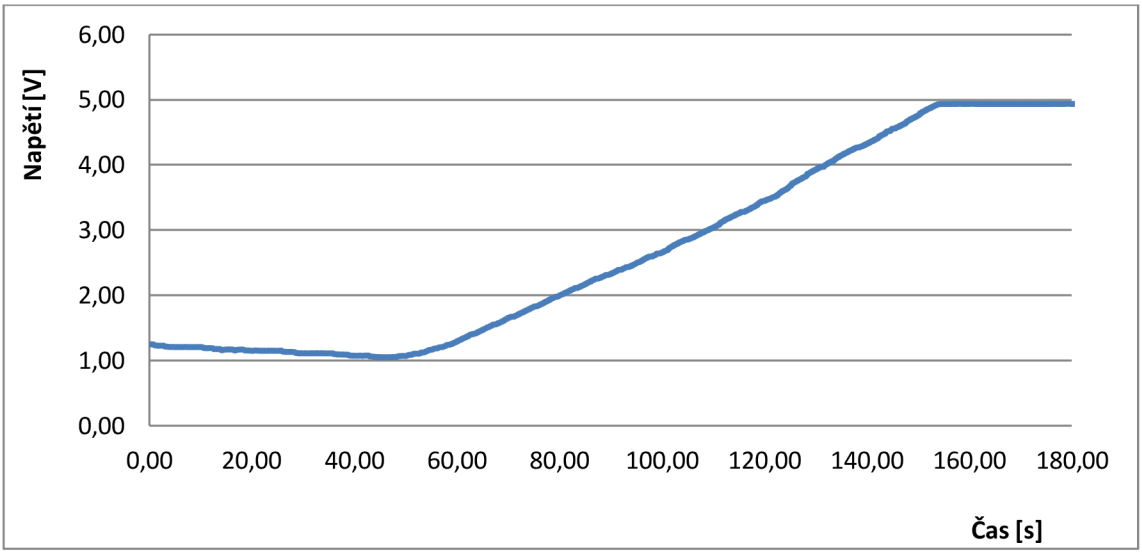
Na obrázku obr. 48 je vyfoceno pracoviště se zapojením pro metodu detekce plynu CO_2.



Obr. 48: Sestava pro měření metodou detekce plynu CO_2

Předpoklad měření je takový, že plyn projde vadnou částí filtru (částí s dírou) rychleji, tj. že snímač za kratší časový interval naměří určitou koncentraci plynu. Byly naměřeny přechodné charakteristiky části filtru vadné i bez vady u filtrů G, F H.

Průběh charakteristiky je vždy podobný a dal by se rozdělit na tři části. První část je doba od počátku měření až do momentu, kdy začne růst koncentrace plynu. Ve druhé části je zachycen nárůst koncentrace až do chvíle, kdy se snímač dostane do saturace a vyšší hodnoty již nenaměří. Poslední část charakteristiky je tedy už pouze doba, kdy je snímač v saturaci až do konce měření. Příklad průběhu je vidět na obrázku obr. 49.

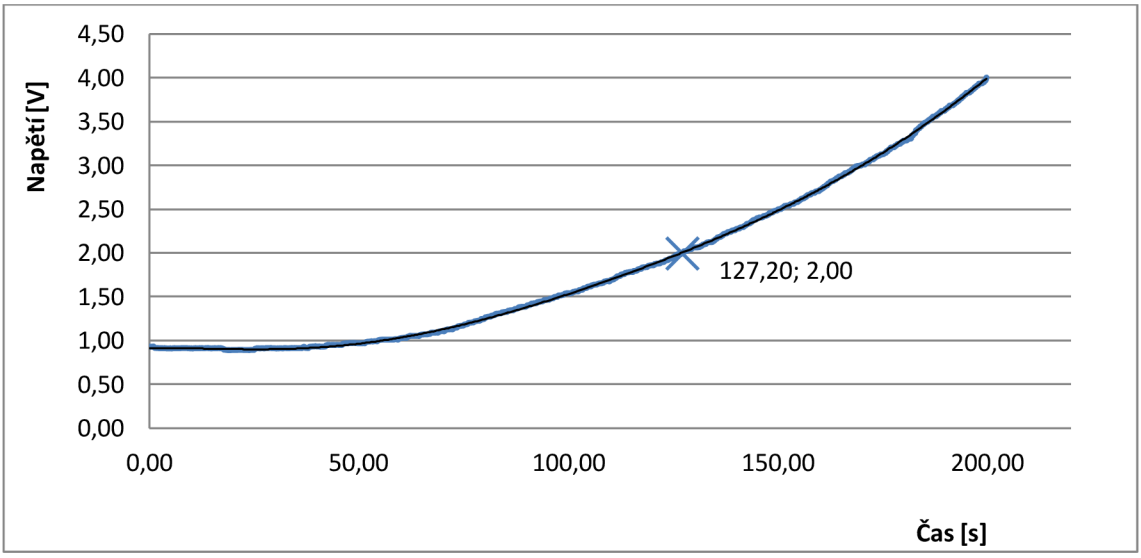


Obr. 49: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 15cm) - bez díry

K analýze grafu byla křivka proložená polynomickým trendem 6. řádu (6. řád byl

zvolen díky nejpřesnějšímu vykreslení tvaru křivky) a byla spočítána derivace tohoto polynomu v bodě [x,2]. Vypočtená hodnota udává směrnici tečny v bodě [x,2]. Čím vyšší hodnota směrnice tečny, tím větší strmost tečny. Strmost v tomto případě udává rychlost, jakou se zvyšuje koncentrace v měřicí komoře. V každém grafu jednotlivých měření je vyznačen bod, kdy byla naměřena hodnota napětí 2 V. Odpovídající čas byl poté dosazen do výpočtu derivace, tj. směrnice tečny. Vždy byly porovnávány výsledky výpočtu u grafu z měření filtru s vadou a bez vady.

Jako první byl analyzován graf filtru G (obr. 50 a obr. 51).



Obr. 50: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 20cm) - díra

Výpočet pro filtr G (vada):

Rovnice regresní funkce:

$$y = -2,67 + 10^{-13} \cdot x^6 + 1,86 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 - 4,75 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 + 5,48 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 1,86 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 1,56 \cdot 10^{-3} \cdot x + 9,08 \cdot 10^{-1}$$

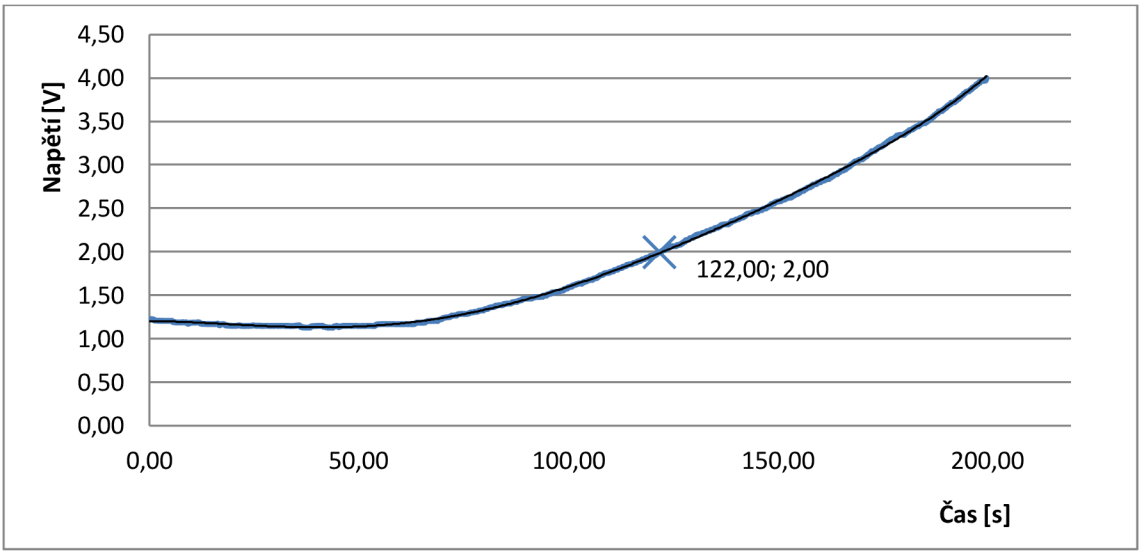
Derivace regresní funkce v bodě [x;y]:

$$y' = -1,6 \cdot 10^{-12} \cdot x^5 + 9,3 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 - 1,9 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 1,64 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 3,72 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,56 \cdot 10^{-3}$$

Derivace regresní funkce v bodě [127,2;2]:

$$y' = 18,74 \cdot 10^{-3}$$

Výpočtem derivace bylo zjištěno, že při hodnotě x=127,2 je směrnice tečny grafu měření filtru G s vadou $y' = 18,74 \cdot 10^{-3}$.



Obr. 51: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 20cm) - bez díry

Výpočet pro filtr G (bez vady):

Rovnice regresní funkce:

$$y = 7{,}14 \cdot 10^{-14} \cdot x^6 + 3{,}53 \cdot 10^{-12} \cdot x^5 - 1{,}39 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 + 3{,}16 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 1{,}47 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 8{,}74 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1{,}2$$

Derivace regresní funkce v bodě [x;y]:

$$y' = 4{,}28 \cdot 10^{-13} \cdot x^5 + 1{,}77 \cdot 10^{-11} \cdot x^4 - 5{,}56 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 9{,}48 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 2{,}94 \cdot 10^{-4} \cdot x - 8{,}74 \cdot 10^{-5}$$

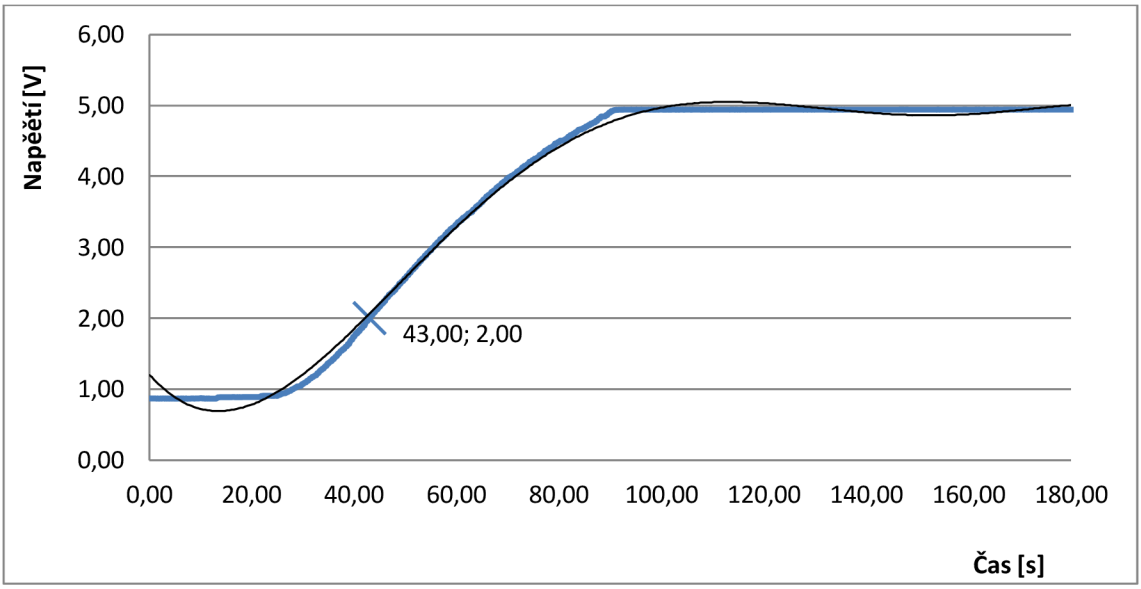
Derivace regresní funkce v bodě [122;2]:

$$y' = 19{,}67 \cdot 10^{-3}$$

Výpočtem derivace bylo zjištěno, že při hodnotě x=122 je směrnice tečny grafu měření filtru G bez vady $y' = 19{,}67 \cdot 10^{-3}$.

Když se porovnají výsledky derivací u měření filtru G s vadou a bez vady, tak je vidět, že strmost u části filtru bez vady je větší než u části filtru s vadou. Rychleji tedy bylo dosaženo koncentrace plynu CO_2 u filtru bez vady.

Dalším proměřovaným typem tělesa byl filtr F (obr. 52 a obr. 53).



Obr. 52: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 15cm) - díra

Výpočet pro filtr F (vada):

Rovnice regresní funkce:

$$y = -1,36 \cdot 10^{-12} \cdot x^6 + 3,77 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 + 7,24 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 - 3,47 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 + 3,7 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 8,15 \cdot 10^{-2} \cdot x + 1,2$$

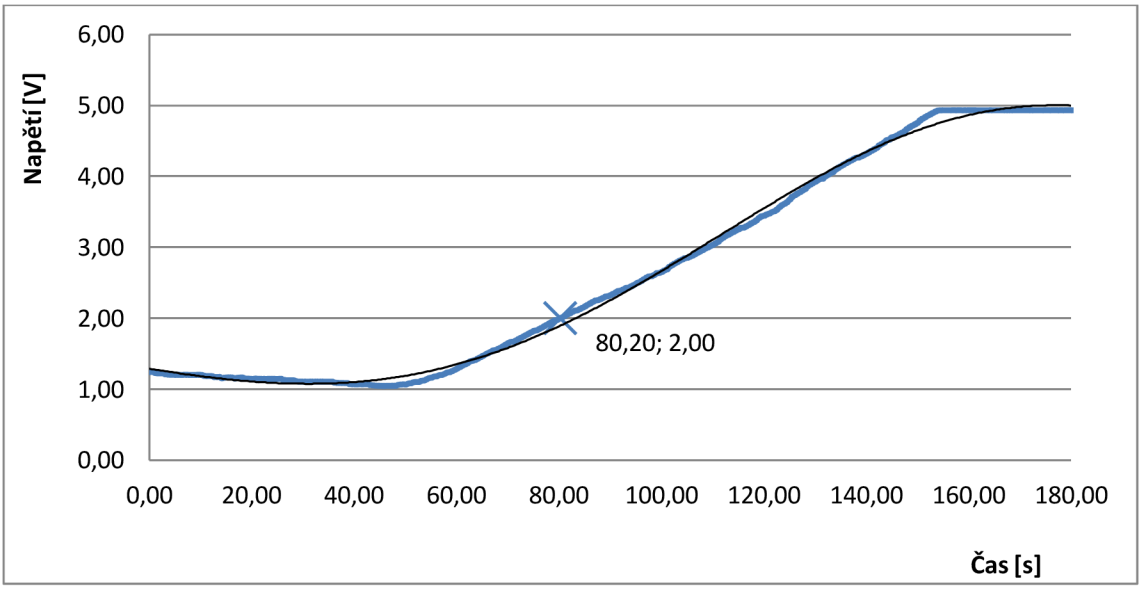
Derivace regresní funkce v bodě [x;y]:

$$y' = -8,16 \cdot 10^{-12} \cdot x^5 + 1,89 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 2,89 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 + 7,4 \cdot 10^{-3} \cdot x - 8,15 \cdot 10^{-2}$$

Derivace regresní funkce v bodě [43;2]:

$$y' = 7,26 \cdot 10^{-2}$$

Směrnice tečny křivky z měření filtru F s vadou vyšla dle výpočtu $y' = 7,26 \cdot 10^{-2}$.



Obr. 53: Graf závislosti napětí na čase pro bílý filtr (v = 15cm) - bez díry

Výpočet pro filtr F (bez vady):

Rovnice regresní funkce:

$$y = 6,63 \cdot 10^{-13} \cdot x^6 - 2,85 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 + 2,7 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 + 8,51 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 1,22 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 1,2 \cdot 10^{-2} \cdot x + 1,29$$

Derivace regresní funkce v bodě [x;y]:

$$y' = 3,98 \cdot 10^{-12} \cdot x^5 - 1,43 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 1,08 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 2,55 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 2,44 \cdot 10^{-4} \cdot x - 1,2 \cdot 10^{-2}$$

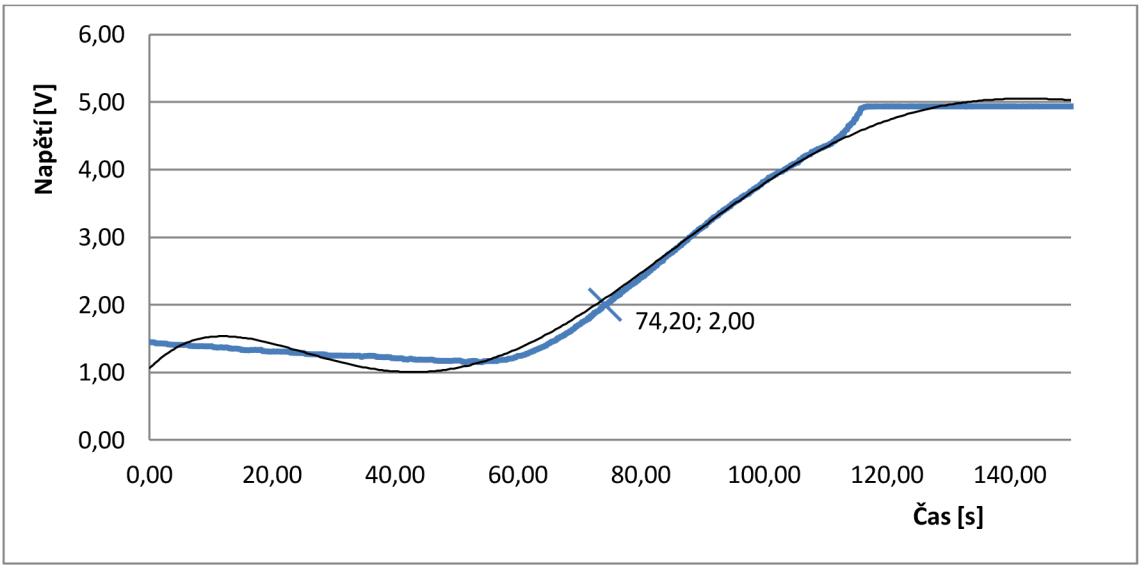
Derivace regresní funkce v bodě [80,2;2]:

$$y' = 4,25 \cdot 10^{-2}$$

Výpočtem derivace bylo zjištěno, že při hodnotě x=80,2 je směrnice tečny grafu měření filtru F bez vady $y' = 4,25 \cdot 10^{-2}$.

Při porovnání směrnic tečen z měření části filtru F s vadou a bez vady bylo zjištěno, že koncentrace plynu CO2 v měřicí komoře bylo tentokrát dosaženo rychleji u proměřování části filtru s vadou.

Na závěr byla vypočítána směrnice tečny křivky z grafu měření filtru C (obr. 54 a obr. 55).



Obr. 54: Graf závislosti napětí na čase pro modrý filtr (v = 25cm) - díra

Výpočet pro filtr C (vada):

Rovnice regresní funkce:

$$y = -5{,}87 \cdot 10^{-12} \cdot x^6 + 4{,}07 \cdot 10^{-9} \cdot x^5 - 1{,}05 \cdot 10^{-6} \cdot x^4 + 1{,}22 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 - 5{,}78 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 9{,}31 \cdot 10^{-2} \cdot x + 1{,}06$$

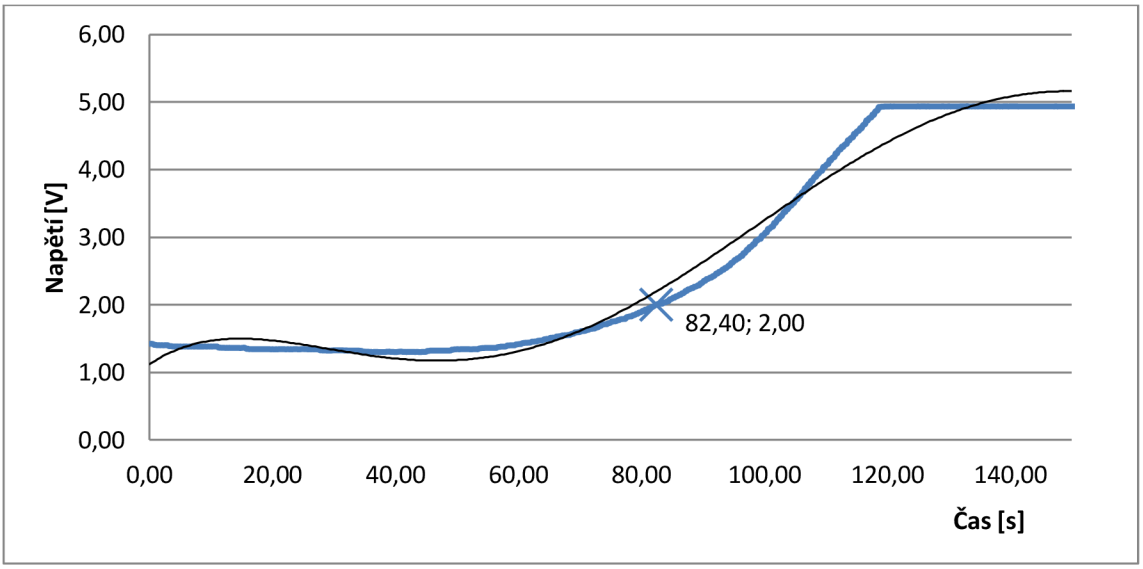
Derivace regresní funkce v bodě [x;y]:

$$y' = -3{,}52 \cdot 10^{-11} \cdot x + 2{,}04 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 - 4{,}2 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 3{,}66 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 1{,}16 \cdot 10^{-2} \cdot x + 9{,}31 \cdot 10^{-2}$$

Derivace regresní funkce v bodě [74,2;2]:

$$y' = 7{,}09 \cdot 10^{-2}$$

Derivace tečny křivky v bodě [74,2;2] u filtru C s vadou vyšla $y' = 7{,}09 \cdot 10^{-2}$.



Obr. 55: Graf závislosti napětí na čase pro modrý filtr (v = 25cm) - bez díry

Výpočet pro filtr C(bez vady):

Rovnice regresní funkce:

$$y = 1,92 \cdot 10^{-13} \cdot x^6 + 5,49 \cdot 10^{-10} \cdot x^5 - 3,02 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 + 5,12 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 - 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 6,06 \cdot 10^{-2} \cdot x + 1,12$$

Derivace regresní funkce v bodě [x;y]:

$$y' = 1,15 \cdot 10^{-12} \cdot x^5 + 2,75 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 - 1,21 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot x^2 - 6,12 \cdot 10^{-3} \cdot x + 6,06 \cdot 10^{-2}$$

Derivace regresní funkce v bodě [82,4;2]:

$$y' = 5,61 \cdot 10^{-2}$$

Směrnice tečny křivky z grafu měření filtru C bez vady je $y' = 5,61 \cdot 10^{-2}$.

Porovnáním výsledků derivací polynomů z grafu měření filtru C bylo zjištěno, že rychleji rostla koncentrace v měřicí komoře při proměřování části filtru s vadou.

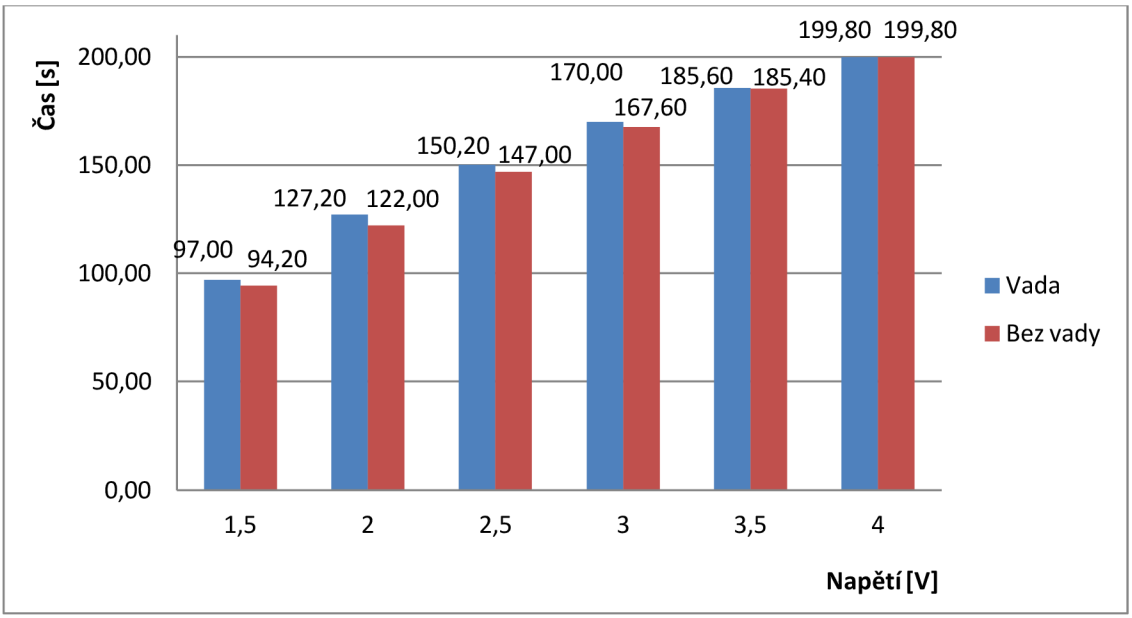
Typ filtru	Část filtru	Směrnice tečny
filtr G	s vadou	$y' = 18,74 \cdot 10^{-3}$
	bez vady	$y' = 19,67 \cdot 10^{-3}$
filtr F	s vadou	$y' = 7,26 \cdot 10^{-2}$
	bez vady	$y' = 4,25 \cdot 10^{-2}$
filtr C	s vadou	$y' = 7,09 \cdot 10^{-2}$
	bez vady	$y' = 5,61 \cdot 10^{-2}$

Tab. 10: Porovnání směrnic tečen grafů z jednotlivých měření

Z tohoto způsobu analýzy grafů byly dosaženy nejednoznačné výsledky (viz tab. 10). Zatímco u filtru F a C byl naplněn předpoklad, že rychleji bude růst koncentrace plynu CO2 u části filtru s vadou, u filtru G tomu bylo naopak. Proto bylo provedeno ještě další zpracování naměřených hodnot.

Pro další analýzu grafů bylo vybráno vždy 5 hodnot napětí z grafu měření filtru s vadou a 5 hodnot napětí z grafu měření filtru bez vady a byly zjišťovány časové okamžiky, ve kterých byly dané hodnoty napětí naměřeny. Byly vybrány hodnoty napětí 1,5 V, 2 V, 2,5 V, 3 V, 3,5 V a 4 V.

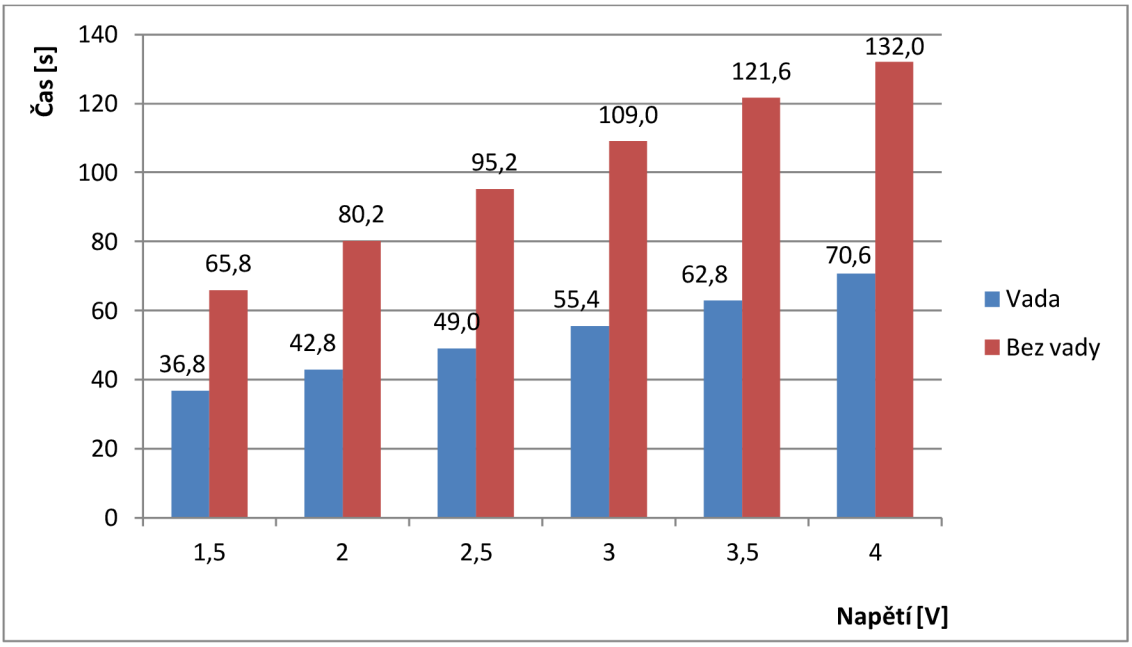
Nejprve graf z měření filtru G (obr. 56).



Obr. 56: Časové porovnání měření filtru s vadou a bez vady - filtr G

Z grafu obr. 56 je vidět, že kromě poslední hodnoty 4 V, které bylo dosaženo u obou měření ve stejný okamžik, byly dosaženy všechny hodnoty napětí později u měření části filtru s vadou než u měření části filtru bez vady.

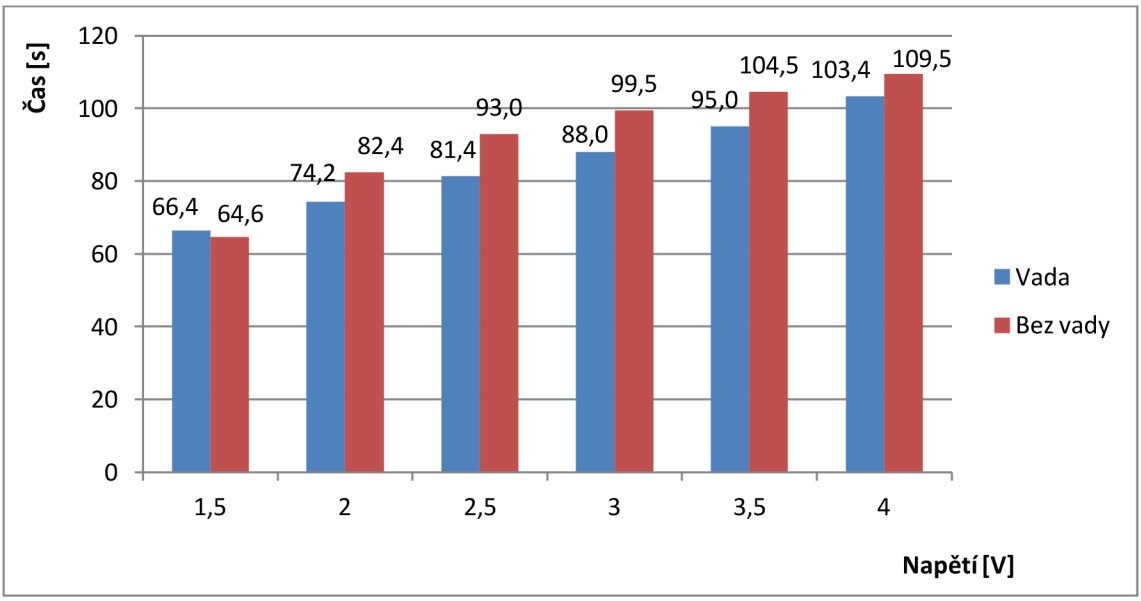
V grafu obr. 57 je vidět porovnání z měření filtru F.



Obr. 57: Časové porovnání měření filtru s vadou a bez vady - filtr F

U filtru F byly získány odlišné výsledky než tomu bylo u filtru G. Všechny zvolené hodnoty napětí byly u měření filtru s vadou naměřeny rychleji, než u filtru bez vady.

Na závěr je na obrázku obr. 58 porovnání měření filtru C.



Obr. 58: Časové porovnání měření filtru s vadou a bez vady - filtr C

U filtru C jsou naměřené hodnoty mírně v rozporu. Hodnota napětí 1,5 V byla naměřena rychleji u části filtru bez vady, ostatní hodnoty byly naopak naměřeny u stejné části filtru pomaleji než u části filtru s vadou.

Z této analýzy grafů je vidět, že tato metoda nepřinesla jednoznačné výsledky.

U filtru G byly jednotlivé hodnoty napětí naměřeny později u části filtru s vadou, u filtru F byly stejné hodnoty této části filtru naměřeny naopak rychleji a u filtru C dokonce byla hodnota 1,5 V naměřena s filtrem s vadou pomaleji a ostatní hodnoty rychleji.

Vzhledem k těmto výsledkům se tato metoda ukázala jako nevhodná pro detekci vad filtračních těles.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout metodu, pomocí které by bylo možné detekovat vadu filtračního tělesa vyrobeného firmou DONALDSON CZECH REPUBLIC s.r.o. Vadou může být buď protržený materiál filtru - díra nebo naopak zalepená dutinka filtračního tělesa. Navržené byly čtyři metody: optická zkouška, akustická zkouška, metoda detekce plynu CO_2 a tlaková zkouška.

V první části této práce byla popsána problematika výstupní kontroly automobilových filtrů, současné řešení a z toho vyplývající nutnost návrhu automatizovaného řešení. Požadavky na automatizované měření jsou takové, aby navržené metody s co největší přesností odhalovaly vady filtračního tělesa a aby měření netrvalo déle než 30 vteřin. Předmětem této bakalářské práce ovšem bylo nalézt metodiku, která by se dala využít pro další zpracování. Jednotlivé metody byly teoreticky popsány a u každé metody byly udělány návrhy desek a rozbor vhodných součástek a přístrojů.

Ve druhé části projektu je rozepsána praktická realizace metod. Pro optickou metodu byl vyroben prosvětlovací stůl, napěťový zdroj dodávající napětí 12 V, rameno na křížový stůl pro snímač a DPS snímače s fotodiodou. K realizaci přesného měření se využil křížový stůl, který bylo nutno ještě uzpůsobit k měření - bylo doděláno rameno k upevnění snímače. Aby metoda byla optimální, bylo provedeno několik zkušebních měření s různými typy fotodiod. Na měření byly zvoleny fotodiody SFH 2030 a SFH 213. Každá z fotodiod má jinou směrovou charakteristiku - typ SFH 2030 zachytí světlo po úhlem 80°, typ SFH 213 reaguje na světlo z úhlu 30°. Každá z fotodiod byla využita v jiném zapojení pro vyzkoušení různých způsobů detekce intenzity světla. Fotodioda SFH 2030 je použita v zapojení s operačním zesilovačem, optočlen SFH 213 v zapojení s jedním rezistorem jako odporový dělič.

Akustická zkouška vyžadovala výrobu desek pro vysílač a přijímač ultrazvukového 40 kHz signálu a rameno na křížový stůl pro přesné měření. Generátor ultrazvukového signálu je realizován zapojením s časovačem lm555 zapojený jako astabilní klopný obvod. Požadovanou frekvenci 40 kHz je možno přesně vyladit pomocí dvou odporových trimrů a to podle vzorečku (2.1). Generovaný signál je poté vysílán měničem 400ST100. Tento signál je poté přijímán přijímačem 400SR100. Přijímaný ultrazvukový signál je dále zesilován invertujícím zesilovačem se zápornou zpětnou vazbou. Celkové zesílení se dá měnit dle potřeby pomocí odporového trimru.

Metoda detekce plynu CO_2 byla náročná na realizaci, neboť bylo nutné odizolovat filtrační těleso od okolí, aby se dala měřit koncentrace plynu ox. uhličitého. Bylo vyzkoušeno několik variant, jak zabránit úniku plynu mimo měřicí komoru, nakonec byl tento problém vyřešen pomocí gumových koncovek. Tyto koncovky přímo doléhají na povrch filtračního tělesa. Měřicí komora je vyrobená z igelitu a je přímo spojena s gumovou koncovkou. Snímač koncetrace plynu CO_2, který je umístěn přímo v igelitové komoře, je potřeba napájet napětím hodnoty 5 V. Využilo se tedy zdroje z optické metody a pomocí stabilizátoru 7805 se přivedlo na vstup snímače potřebné napětí.

Tlaková zkouška vyžadovala ještě pevnější konstrukci k odizolování filtru

z důvodu velkých tlaků (okolo 5 bar) potřebné k měření. Ačkoliv bylo zhotoveno několik různých variant, jak odizolovat filtrační těleso od okolí, nepovedlo se navrhnout komoru, která by byla schopná udržet potřebný tlak.

Závěrečná část bakalářské práce je věnovaná samotnému měření jednotlivými metodami. V tabulce (tab. 10) je přehled jednotlivých proměřených metod. Vhodnost metody je klasifikována od 1 do 5 stejně jako ve škole.

1 - metoda umožňuje detekci vad (díra i zalepená štěrbina), konstrukční nenáročnost, časová nenáročnost
2 - metoda umožňuje detekci vady jednoho typu, konstrukční nenáročnost, možnost částečné využití metody k dalšímu zpracování
3 - metoda neumožňuje detekci vady, konstrukční nenáročnost, možnost částečné využití metody k dalšímu zpracování
4 - metoda neumožňuje detekci vady, konstrukční nenáročnost
5 - metoda neumožňuje detekci vady, konstrukční náročnost

Metoda	Princip	Výhody/nevýhody	Vhodnost metody
optická zkouška	snímání intenzity světla	+ konstrukční nenáročnost, schopnost detekce vady - měření v temné komoře, časová náročnost	2
akustická zkouška	vysílání ultrazvukového signálu $f = 40$ kHz	+ konstrukční nenáročnost - odrazy signálu, neschopnost detekce vady, časová náročnost	3
detekce plynu CO_2	měření koncentrace plynu CO_2	- konstrukční náročnost, neschopnost detekce vady, časová náročnost	5

Tab. 11: Shrnutí metod

U optické metody muselo probíhat měření v temné komoře, neboť okolní světlo výrazně ovlivňovalo výsledky. Výstup snímačů byl signál, u kterého se měřilo napětí pomocí multimetru. Oběma navrženými snímači se podařilo detekovat protrženou štěrbinu filtračního tělesa, nicméně vadu zalepené štěrbiny se touto metodou odhalit nepodařilo. U snímače s fotodiodou SFH 2030 bylo v místě vady (díry) detekováno vyšší napětí než v místech bez vady. Nejnižší naměřené napětí bylo 5,46 V, nejvyšší hodnota byla 5,57 V. Rozdíl napětí je tedy 110 mV. Pro přehlednější měření by šlo

zařadit do zapojení rozdílový zesilovač, který by odečítal nejnižší naměřenou hodnotu napětí - tj. 5,46 V. Výsledkem měření by tedy byly pouze detekovaná místa na filtru s vyšší propustností světla (s vadou). U zapojení s fotodiodou SFH 213 je místo filtru s vadou (dírou) detekované nižším napětím než místa bez vady. Nejnižší naměřené napětí (v místě vady) bylo 7,59 V, nejvyšší naměřená hodnota napětí byla 7,67 V. Rozdíl napětí je tedy 80 mV. Opět by šlo zapojit diferenční zesilovač, který by zesiloval pouze rozdílové napětí. Touto metodou bylo dokázáno, že pomocí optočlenu je možné detekovat vady filtračního tělesa. Pokud by se podařilo zlepšit citlivost fotodiody, tato metoda by mohla být účinná.

Metoda akustické zkoušky se během měření ukázala jako problematická. Vše bylo způsobené odrazy vysílaného akustického signálu o frekvenci 40 kHz. Jak dokazuje graf naměřených hodnot (obr. 45), amplituda přijímaného signálu nebyla ovlivněná vadou filtru, kterým signál procházel. Během měření se velice projevily odrazy signálu od křížového stolu a jiných okolních předmětů. Ultrazvukový signál byl zvolen z důvodu úzké vyzařovací charakteristiky, neboť dutinky filtru jsou poměrně malé. Jak ovšem ukázalo měření, vhodnější by bylo zvolit zvukový signál o podstatně nižší frekvenci (možná i slyšitelný signál). Ačkoliv by vyzařoval do většího prostoru, než signál o vyšší frekvenci, nedocházelo by u něj k takovým odrazům.

Výstup metody detekce plynu CO_2 byl zaznamenáván osciloskopem, který měřil přechodnou charakteristiku. Grafy naměřených hodnot byly proloženy polynomickými trendy šestého řádu. Z polynomu byla vypočítána derivace - strmost tečny a tím i rychlost měření koncentrace jednotlivými částmi filtru (s vadou a bez vady). Čím větší hodnota derivace, tím rychleji docházelo ke zvyšování koncentrace plynu v měřicí komoře. Z této analýzy byly získány nejednoznačné výsledky, proto byly získané hodnoty zpracovávány jiným způsobem. Byla provedena analýza, při které bylo vybráno pět hodnot napětí, u kterých se hledal čas, kdy napětí dosáhlo požadované hodnoty. Při porovnání (grafy obr. 56, obr. 57 a obr. 58) časových hodnot byly zjištěny protichůdné výsledky. Vzhledem ke konstrukční náročnosti této metody, mohlo být měření ovlivněno ne zcela dokonalým odizolováním filtru od okolí. Výsledky měření jsou ovšem nejednoznačné. Tato metoda byla zvolena z důvodu toho, že byl očekáván vliv tlaku, kterým byl plyn hnán přes filtrační těleso. Vada filtru je ovšem oproti molekulám plynu tak veliká, že vliv na průchod plynu nemá. Tato metoda není vhodná na detekci vad filtračních těles.

Z navržených metod se nejvíce osvědčila metoda optické zkoušky, která využívá optočlen - fotodiodu, měřící intenzitu procházejícího světla přes filtrační těleso. Při větší citlivosti fotodiody by mělo být možné detekovat i vadu (zalepená dutinka) filtračního tělesa. Nevýhodou této metody je ovšem časová náročnost. Pro další rozvoj této metody by se mohl využít řádkový CCD (případně CMOS) snímač a vyrobit skener, který by byl dostatečně široký, aby obsáhl šířku celého filtračního tělesa. Tímto snímačem by se získal obraz celého filtru a pomocí analýzy obrazu by se vyhodnotila vhodnost filtru. Vhodnější by nejspíš byl CCD snímač, který je oproti CMOS snímači citlivější na světlo. Použitím takového snímače by se výrazně zkrátil čas měření detekce vady filtru.

U metody zvukové zkoušky by bylo vhodné provést měření se zvukovým signálem o nižší frekvenci (slyšitelný akustický signál). U takového signálu by nedocházelo k takovým odrazům.

LITERATURA

[1] VANÍČEK, František. 2004. *Elektronické součástky: principy, vlastnosti, modely*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 357 s. ISBN 80-010-3112-8.

[2] Katalogový list Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time SFH 2030. *GM Electronic* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.gme.cz/img/cache/doc/520/024/sfh2030-datasheet-1.pdf

[3] Katalogový list Silicon PIN Photodiode with Very Short Switching Time SFH 213. *Farnell* [online]. 2007 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1672048.pdf

[4] Katalogový list Air Ultrasonic Ceramic Transducers: 400ST/R100. *Farnell* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.farnell.com/datasheets/1719911.pdf

[5] Katalogový list LM555 Timer. *Texas Instruments* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm555.pdf

[6] BEZDĚK, Miloslav. *Elektronika I*. České Budějovice: Kopp, 2010. ISBN 978-80-7232-365-4.

[7] ĎAĎO, Stanislav. *Senzory a převodníky*. Praha, 2006. Skripta. ČVUT.

[8] RIPKA, Pavel. *Senzory a převodníky*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 136 s. ISBN 80-01-03123-3

[9] ŠEBESTA, Vladimír. *Signály a soustavy: II. díl*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983, 118 s.

[10] HALLIDAY, David, Jearl WALKER a Robert RESNICK. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. 4., Elektromagnetické vlny, optika, relativita*. Vyd. 1. V Brně : Praha: VUTIUM ; Prometheus, 2000, vii, 890-[1064] s. : barev. il. ; 26 cm. ISBN 80-214-1868-0.

A SEZNAM POUŽITÝCH SOUČÁSTEK

Metoda optické zkoušky:

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	12k	0207	uhlíkový rezistor
R2	12k	0207	uhlíkový rezistor
R3	100k	0207	uhlíkový rezistor
R5	1k	0207	uhlíkový rezistor
R7	200k		odporový trimr
R8	2,7k		odporový trimr
D1	1N4004	DO-41	dioda
D2	SFH2030		fotodioda
NE5532N		DIP	Operační zesilovač

Tab. A.1: Seznam použitých součástek - zapojení fotodiody SFH 2030

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	5,6M	0207	uhlíkový rezistor
D1	SFH213	T-1 3/4	fotodioda

Tab. A.2: Seznam použitých součástek - zapojení fotodiody SFH 213

Metoda akustické zkoušky:

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	3,9k	0207	uhlíkový rezistor
R2	1k	0207	uhlíkový rezistor
R3	470	0207	uhlíkový rezistor
R4	1k		odporový trimr
R5	2,5k		odporový trimr
C1	3,3n		keramický kondenzátor
C2	10n		keramický kondenzátor
D1	1N4004	DO-41	dioda
LM555		DIP	časovač
400ST100		hliníkové	ultrazvukový keramický vysílač

Tab. A.3: Seznam použitých součástek - generátor UZ signálu

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1	12k	0207	uhlíkový rezistor
R2	12k	0207	uhlíkový rezistor
R3	1k	0207	uhlíkový rezistor
R4	15k		odporový trimr
D1	1N4004	DO-41	dioda
NE5532N		DIP	operační zesilovač
400SR100		hliníkové	ultrazvukový keramický přijímač

Tab. A.4: Seznam použitých součástek - přijímač UZ signálu

Metoda detekce plynu CO_2:

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
IC1	78L05Z	TO92	stabilizátor napětí
C1	100n		keramický kondenzátor
C2	100n		keramický kondenzátor
COZIR Ambient 10k CO2 Sensor		plastové	snímač plynu CO_2

Tab. A.5: Seznam použitých součástek - konektor zdroje se stabilizátorem