

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008

Lukáš Frus

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

Konstrukce přípravku pro testování senzorů rychlosti proudění

Lukáš Frus

Studijní program: B 2612 2Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 2 Elektronické informační systémy
Pracoviště: Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Fakulta mechatroniky a mezioborových
Inženýrských studií
Technická univerzita v Liberci
Studentská 2, 461 17 LIBEREC 1
Školitel: Ing. Jiří Jelínek , Ph.D.

Rozsah bakalářské práce:

Počet stran: 64
Počet obrázků: 34
Počet tabulek: 4

Rozsah příloh bakalářské práce:

Počet stran: 3
Počet obrázků: 2
Počet tabulek: 0

Zadání

(Vložit oboustranný list se zadáním od fakulty)

Poděkování

Tato bakalářská práce vznikla pod vedením Ing. Jiřího Jelínka, Ph.D., kterému bych chtěl rád touto cestou poděkovat za konzultace, nespočetné množství odpovědí na mé otázky a pomoc při orientaci v komunikaci s datalogery Almemo.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, zejména svým rodičům, kteří mě po celou dobu studia podporovali a dodávali energii, bez níž by tato práce nemohla vzniknout.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím , že na mnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

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

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

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením školitele.

Datum: V Liberci 22.4 2008

Podpis:

Abstrakt

Konstrukce přípravku pro testování senzorů rychlosti proudění

Lukáš Frus

Předmětem této bakalářské práce je konstrukce přípravku pro testování senzorů rychlosti proudění vzduchu. Práce se skládá z několika částí zaměřených na jednotlivou problematiku měření tohoto proudění. V úvodní části popisuje základní pojmy a vztahy z oblasti Mechaniky tekutin, pod níž je proudění vzduchu skryto. Dále jsou zde uvedeny současné možnosti a trendy Metrologie pro měření této oblasti. V prostřední části se zabývá zejména oblastí měření proudícího vzduchu v potrubí. Poukazuje na výpočty tlakových ztrát, objemového průtoku a rychlost proudícího vzduchu. Která je důležitou součástí pro volbu vhodného typu ventilátoru do měřicí soustavy. Kde je prováděno testování jednotlivých senzorů. V práci je dále popsána technologie výroby, konstrukce a parametry samotných součástí přípravku. Součástí práce je rovněž vytvoření obslužného softwaru pro sběr naměřených dat z datalogeru Almemo, který je realizován v programovém rozhraní Delphi 7. Závěrečná část je věnována vyhodnocení praktické realizace měřícího systému.

Klíčová slova: měření, proudění, Metrologie, potrubí , software, datalogeru , Almemo

Abstract

Construction Equipment for Testing Air Flow Sensors

Lukas Frus

Subject of this baccalaureate task is a structure of a preparation for the testing of the air-flow velocity sensors. The task contains several parts focused on particular questions of measuring the air-flow. In the introduction part are described fundamental terms and relations from the sphere of „mechanics of liquids“, where the air-flow is hidden. Further there are mentioned actual possibilities and Metrology tendencies for measurement in this sphere. The middle part especially deals with a measurement of agitated air in a tube. It points on calculations of the pressure losses, voluminous flow and air-flow velocity – important item for the choice of an appropriate type of the ventilator to the measuring system. In this system there are tested particular sensors. Content of the task is also the production technology, structure and parameters of a single component of preparation as well as creation of the service software for collection measured data from data-logger Almemo, which is carried out in the interface Delphi 7. The final part is devoted to the evaluation of the measuring system's practical realization.

Key words: measurement, flow, Metrology, tube, software, data-logger, Almemo

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	9
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	11
SEZNAM TABULEK	11
ÚVOD	12
1. ÚVODNÍ KAPITOLA TEORETICKÉ ČÁSTI	14
1.1 Základní pojmy a rozdělení Mechaniky tekutin	14
1.1.1 Viskozita tekutin	15
1.1.2 Objemový tok, Hmotnostní tok	17
1.2 Proudění vzduchu	17
1.2.1 Rovnice kontinuity	18
1.2.2 Bernoulliova rovnice	18
1.2.3 Laminární a turbulentní proudění	19
2. MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ	21
2.1 Principy měření průtoků a rychlostní měřidla	21
2.2 Rychlostní sondy	22
2.2.1 Pitotova a Prandtlůva trubice	22
2.2.2 Válcové a víceotvorové sondy	24
2.3 Anemometry	25
2.3.1 Elektrické anemometry	25
2.3.2 Mechanické anemometry	26
2.3.3 Laserové anemometry (LDA)	27
2.4 Testované senzory v přípravku	28
3. PROUDĚNÍ VZDUCHU V POTRUBÍ, VÝPOČTY, TLAKOVÉ ZTRÁTY	30
3.1 Výpočet rozvodu vzduchu potrubím	30
3.2 Tlakové ztráty při průtoku potrubím	31
3.3 Tlakové poměry v potrubí, Pracovní bod ventilátoru	32

4. VÝROBA A KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU	33
4.1 Ventilátor	33
4.1.1 Volba typu ventilátoru	33
4.1.2 Zvolený typ ventilátoru, parametry a specifikace	34
4.2 Technický proces výroby přechodky	35
4.2.1 Technologický postup výroby přechodky	37
4.2.2 Sestavení přechodky	38
4.3 Technický proces výroby držáků na čidla	39
4.3.1 Technologický postup výroby držáků na čidla	40
4.3.2 Systém uchycení čidel	41
4.4 Destička pro napájecí konektory	42
5. SOFTWARE PRO SBĚR DAT Z DATALOGERU ALMEMO	44
5.1 Datalogery ALMEMO	44
5.2 Aplikace Měření rychlosti proudění vzduchu	46
5.2.1 Úvod do Delphi , instalování komponent	46
5.2.2 Uživatelské rozhraní Aplikace	47
5.2.2 Programování Aplikace	51
6. PRAKTICKÉ ODZKOUŠENÍ REALIZOVANÉHO PŘÍPRAVKU, NAMĚŘENÍ ÚLOHY	54
ZÁVĚR.....	56
LITERATURA:.....	58
PŘÍLOHY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	59
SEZNAM PŘÍLOH.....	60
A Příloha	61
B Příloha.....	62
Přílohy v elektronické formě.....	CD
PŘÍLOHY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE V ELEKTRONICKÉ FORMĚ	63
SEZNAM PŘÍLOH V ELEKTRONICKÉ FORMĚ	64

Seznam použitých symbolů

v, w	[m/s]	rychlost
c	[m/s]	rychlost zvuku v daném prostředí
y	[m]	délka
r	[m]	poloměr
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota prostředí
η	[Pa.s]	dynamická viskozita
τ	[Pa]	tečné napětí
ν	[m ² .s ⁻¹]	kinematická viskozita
Q_v, \dot{V}	[m ³ .s ⁻¹]	objemový průtok
Q_m, \dot{m}	[kg.s ⁻¹]	hmotnostní tok
V	[m ³]	objem
S	[m ²]	průřez
t	[°C]	teplota
p	[Pa]	tlak
p_c	[Pa]	celkový tlak
p_d	[Pa]	dynamický tlak
p_u	[Pa]	tlak v úplavu sondy
D	[mm]	průměr
\bar{v}	[m/s]	střední hodnota rychlosti
\bar{p}	[Pa]	střední hodnota tlaku
R	[J/kg.K]	plynová konstanta
T	[K]	termodynamická teplota
\emptyset	[mm]	označení průměru kulatiny
g	[m.s ⁻²]	gravitační zrychlení
λ	[-]	součinitel tření
ξ	[-]	součinitel tlakových ztrát
R	[Ω]	elektrický odpor
I	[A]	elektrický proud
U	[V]	elektrické napětí

Seznam použitých zkratek

Atd.	a tak dále
A	ampér
CO ₂	oxid uhličitý
8C	stupeň celsia
CR	converzion rate (přepočítací kurz)
El.	elektronické
He	Helium
Konst.	Konstanta (konstantní proměnná)
Např.	například
Ne	Neon
NiCr	sloučenina (chrom a nikl)
Resp.	respective
Tj.	to jest
Tzn.	to znamená
V	volt
W	watt

Seznam obrázků

Obr. 1 : Rychlostní profil	15
Obr. 2 : Závislost tlaku vzduchu na kinetické viskozitě	16
Obr. 3 : Model proudové trubice s proměnlivým průřezem	18
Obr. 4 : Rychlostní profil proudění v závislosti na Re	20
Obr. 5 : a) Princip Pitotovi trubice, b) Prandtlůva trubice	23
Obr. 6 : a) Mechanický anemometr, b) Principiální schéma Termoanemometru.....	25
Obr. 7 : Anemometrické čidlo FVA915S220	28
Obr. 8 : Termoanemometrycké čidlo FV A645 TH3.....	29
Obr. 9 : Graf charakteristiky pracovního bodu ventilátoru.....	32
Obr. 10 : Technický výkres ventilátoru G1G 120-AB62-02	34
Obr. 11 : Technický výkres hlavní části přechodky	35
Obr. 12 : Technický výkres Nátrubku.....	36
Obr. 13 : a) Soustruh SV-18R, b) Ohýbačka XDM 200/4.....	36
Obr. 14 : Technický výkres části příruby.....	37
Obr. 15 : Schéma sestavené přechodky	38
Obr. 16 : Technický výkres držáku na čidlo č.1	39
Obr. 17 : Technický výkres držáku na čidlo č.2	40
Obr. 18 : Nákres systému uchycení čidel.....	41
Obr. 19 : Fotka držáku čidla	41
Obr. 20 : Technický návrh destičky pro konektory napájení.....	42
Obr. 21 : Laser TRUMATIC L4330 ilustrační fotka, řezání materiálu	42
Obr. 22 : Destička pro napájecí konektory + zhotovený přípravek	43
Obr. 23 : Přípravek pro testování senzorů rychlosti	43
Obr. 24 : Ukázka datalogerů ALMEMO a Patentovaný konektoru.....	44
Obr. 25 : Instalace nové komponenty	46
Obr. 26 : Aplikace Měření rychlosti proudění vzduchu	47
Obr. 27 : Menu a Nástrojová lišta programu	48
Obr. 28 : Nastavení portu.....	49
Obr. 29 : Nastavení měření	49
Obr. 30 : Nastavení grafů.....	50
Obr. 31 : Ovládání posuvu grafu.....	50
Obr. 32 : Zapojení měřené úlohy	54
Obr. 33 : Graf rychlosti proudění v závislosti na změně řídicího napětí	55
Obr. 34 : Graf rychlosti proudění v závislosti na změně napájecího napětí	55

Seznam tabulek

Tab. 1 : Parametry čidla FVA915S220.....	28
Tab. 2 : Parametry čidla FV A645 TH3.....	29
Tab. 3 : Parametry ventilátoru řady PSD spol. SUNON.....	33
Tab. 4 : Parametry ventilátoru G1G 120-AB62_02.....	34

Úvod

Testování rychlosti proudění vzduchu v dnešní době zasahuje do mnoha vědních oborů a odvětví lidské činnosti. Kde se stalo důležitou součástí, která nesmí být přehlížena a opomíjena, ale naopak se k němu přistupuje při zdokonalení technologických postupů a návrhu jak v oblasti techniky a technických zařízení tak i zkoumání proudění vzduchu v životním prostředí.

Asi nejznámějším zástupcem v oborech, ve kterém se využívá měření a testování rychlosti proudění vzduchu je Meteorologie. Obecně je Meteorologie nazývána jako „věda o atmosféře“, která se zabývá jejím složením, vlastnostmi, jevy a ději které v ní probíhají jako je například změna počasí. Důležitou součástí pro naši tematiku je však ona meteorologická měřicí technika, ta zavedla podnět pro vznik nových přístrojů a senzorů v oblasti měření rychlosti proudění vzduchu. V této práci budeme testovat a nadále podrobněji rozebírat tři typy senzorů: Anemometrická sonda vrtulková, Thermoanemometrické čidlo a Prandtlova trubice. Které jsou nejhlavnějšími zástupci v oblasti snímačů užívaných v měření rychlosti proudění vzduchu vytvořeného v potrubí. A svými jednotlivými principy snímání zastupují danou skupinu senzorů, které mají využití jak v Meteorologii tak i mnoha dalších oborech.

Měřením proudění vzduchu v oblasti technologie se uplatňuje v širokém rozsahu průmyslových odvětví, jako je např. automobilový a letecký průmysl, kde je precizně měřeno silové působení na těleso, které je obtékáno proudem vzduchu v uměle vytvořených větrných tunelech. Kdy vývojoví pracovníci v těchto odvětvích zkoumají Aerodynamické působení na dané technické součásti a tak zdokonalují vlastnosti celého celku. Aerodynamika má ale svůj podíl i v oboru, který s ní na první pohled přímo nesouvisí a tím je architektura. V minulosti bylo v tomto oboru proudění vzduchu mnohokrát opomíjeno a docházelo ke zhroucení mostů či celých budov vlivem proudícího vzduchu. V dnešní době se architekti při svých návrzích musejí mnohokrát zabývat a ubírat k měřením proudění vzduchu a jeho simulaci silového působení na daný objekt, který by mohl neblaze ovlivnit statiku vlivem nesmírné síly, kterou dokáže proudící vzduch způsobit. Ovšem ne jen aerodynamické vlastnosti jsou v technických a technologických procesech z tohoto hlediska zkoumány, ale jedná si i o sání a plnění válců spalovacích motorů, řízení kompresorů či např. klimatizace a větrání.

Příkladem samostatného technického oboru, který se zabývá prouděním vzduchu a tvorbou vnitřního mikroklimatu prostředí se nazývá Vzduchotechnika. Základním

prostředkem vzduchotechniky je úprava a výměna vzduchu zajišťující charakter proudění a jeho fyzikálních veličin tj. teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu. Obecně nazývané vzduchotechnické systémy lze z hlediska charakteru proudění rozčlenit na ohřev, chlazení, vlhčení nebo odvlhčování vzduchu či kombinaci zajišťující požadovanou funkci vzduchotechnického systému. Ve spojitosti se vzduchotechnikou je nadále kladena pozornost souvisejícím poznatkům jako je strojní chlazení, automatická regulace, zpětné využití tepla, ochrana proti šíření hluku, měření a regulace. Přímé odvětví jako je průmyslová vzduchotechnika zajišťuje předepsané klimatické poměry při téměř každém výrobním procesu.

Nedílnou a velmi významnou součástí dalších technických, ale zejména elektrických systému je chlazení vzduchu resp. chlazení vzduchem. Které je dnes prakticky nezbytnou součástí každého počítače a elektrických zařízení, kde je požadován větší výkon a tudíž i větší nároky na aktivní elektronické prvky. Zde bývá kladena pozornost na typ použitého ventilátoru, který zprostředkovává ochlazení vzduchu. A tudíž i na jeho vlastnosti jako je průtočnost vzduchu, dopravní tlak či účinnost. I zde se tudíž setkáme s prouděním vzduchu a měřením jeho rychlosti např. vzhledem k závislosti dynamických charakteristik ventilátoru.

S obecným prouděním vzduchu se každý z nás setkává den co den a níž by více či méně přihlížel k jeho fyzikálním vlastnostem či podmínkám vzniku a tím je vítr. Vítr je základní meteorologický prvek popisující pohyb vzduchu v určitém místě atmosféry v daném časovém okamžiku vzhledem k zemskému povrchu. Určuje ho směr a rychlost proudění. Vítr vzniká výměnou vzduchu, které je způsobeno nerovnoměrným ohříváním vzduchu a povrchu Země, kdy teplejší ohřátý vzduch začne stoupat vzhůru jelikož se stává lehčím než chladnější vzduch při povrchu Země. Tím je vyvolána změna tlaku, která se projeví jako pohyb vzduchu v atmosféře vzhledem k zemskému povrchu. Kdy se částice vzduchu pohybují silou tlakového spádu tedy se směrem od vyššího tlaku vzduchu k nižšímu.

Ovšem proudění vzduchu, ať už na něj pohlížíme z technické oblasti či z oblasti životního prostředí je částí fyziky, fyzikálních zákonů a rovnic. Tato část fyziky pod kterou je proudění vzduchu skryto se nazývá Mechanika tekutin. Mechanika tekutin¹ je částí fyziky, zabývající se pohybem a rovnováhou tekutiny za účinku vnějších sil. V technické praxi slouží mechanika tekutin např. k měření rychlosti a průtoku tekutin.

¹ [1] Ježek J., Váradiová B., Adamec J., *Mechanika tekutin*. 3. vydání, Praha: Vydavatelství ČVUT 2000, str. 10

1 Úvodní kapitola teoretické části

Úvodní kapitola je věnována základním poznatkům a pojmům z oblasti Mechaniky tekutin. Je zde snaha o přímé nastínění právě do konkrétní problematiky proudění vzduchu a jeho fyzikálních zákonitostí.

1.1 Základní pojmy a rozdělení Mechaniky tekutin

Proudění vzduchu lze dle prvotního a základního škatulkování Mechaniky tekutin zařadit pod pojem *tekutina* a to ve skupenstvím plynném, jenž je při zkoumání podmínek rovnováhy řazeno pod předmět studia Aerostatiky. My se však budeme zabývat zákonitostmi celého pohybu tohoto plynu a ty se uceleně nazývají Dynamika tekutin resp. Aerodynamika.

Tekutina – Je dle fyzikální definice společný název pro kapaliny a plyny jejíž mikroskopické částice(molekuly) se i za účinku malých sil vzájemně vůči sobě pohybují, jejich společnou vlastností je tedy tekutost. Uceleným pojmem *tekutina* se nazývá ve fyzikálních odvozeních a procesech veškeré prostředí splňující její podmínky, tedy i právě v této práci zkoumané prostředí a tím je vzduch. Molekulární strukturu tekutin lze považovat za spojité prostředí neboli kontinuum. Tím lze k řešení úloh mechaniky používat diferenciální a integrální počet. Tekutiny se v zásadě dělí na:

- a) nestlačitelné tj. při působení zvyšujícího se tlaku nemění či jen nepatrně svůj objem a jsou téměř prakticky nestlačitelné, zde jsou zástupcem kapaliny
- b) stlačitelné tj. rozpínavé, neboli vždy vyplňují celý prostor, nemají stálý tvar, objem a na rozdíl od kapalin nevytvářejí volný povrch neboli (hladinu).

Při složitosti termofyzikálních vlastností tekutin však vedou určité aspekty k zjednodušení fyzikálních modelů, ve kterých se některé veličiny zanedbávají z důvodů složitosti popisu a tekutiny tak nelze zcela rozdělit na nestlačitelné = kapaliny, stlačitelné = plyny. Ale mechanika tekutin se ještě dělí na specializované obory. Například při proudění plynů při rychlostech menších než třetina rychlosti zvuku² je změna hustoty tak malá, že se vliv stlačitelnosti zanedbává a matematický popis se tak zjednodušuje. Určujícím kriteriem je tzv. *Machovo číslo* (1).

$$Ma = \frac{v}{c} \quad (1)$$

² *Rychlost zvuku* je rychlost šíření zvukových vln v prostředí. Často se pod tímto pojmem myslí rychlost zvuku ve vzduchu, která závisí na atmosférických podmínkách - největší vliv na její hodnotu má teplota vzduchu. Rychlost zvuku ve vzduchu při 25 °C je $v = 346,3$ m/s viz. [3]

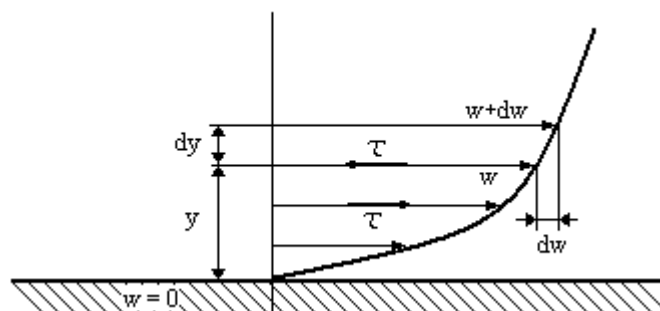
Dle tohoto kritéria je dělení mechaniky na specializované obory:

- a) Mechanika nestlačitelných tekutin (tj. $\rho = \text{konst}$) tzn. hydromechanika, a právě zde bude zastoupena i mechanika plynů omezená dle Machova čísla $Ma < 0,3$
- b) Mechanika stlačitelných tekutin tzn. dynamika plynů, která se dělí na podzvukovou resp. subsonickou pro $Ma < 1$, nadzvukovou resp. supersonickou pro $Ma > 1$, transsonickou která je na rozhraní Machových čísel $0,5 < Ma < 1,5$ a hypersonickou při $Ma > 5$
- c) Mechanika Magnetohydromechanika, zde je zastoupena nauka o proudění plazmy
- d) Mechanika vícefázových tekutin, zde je zastoupena vazkost tekutin

A právě dle tohoto kritéria budeme při popisu Měření rychlosti proudění vzduchu řadit naše proudění a nadále dle tohoto popisu vycházet do skupiny Mechaniky nestlačitelných tekutin. Neboli aerodynamiku nízkých rychlostí, zákony se zde budou řídit dle zákonů hydromechaniky. Jelikož při výpočtu dosažení předpokládaných rychlostí, který bude přípravek dosahovat vyjde $Ma < 0,3$. Dále je zde ještě na místě poznamenat, že kinematika se často v mechanice tekutin spojuje s dynamikou, jelikož v případech stlačitelných tekutin nelze oddělit kinematické řešení od dynamického a z hlediska popisu je nazýváno jako nauka o proudění.

1.1.1 Viskozita tekutin

Viskozita někdy též zvaná jako vazkost je fyzikální veličina udávající schopnost tekutiny přenášet tečná napětí τ [Pa], tj. poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti. Tečné napětí τ je na rozhraní mezi tekutinou a stěnou na které lpí. Obecně řečeno je to reálná vlastnost tekutiny, která způsobuje vznik smykového napětí mezi dvěma sousedními vrstvami tekutiny, pohybující se nestejnou rychlostí w . Jenže je znázorněno na obrázku (Obr.1).



Obr. 1 : Rychlostní profil

Tečné napětí je dáno dle Newtonova zákona: (tj. Newtonské tekutiny)

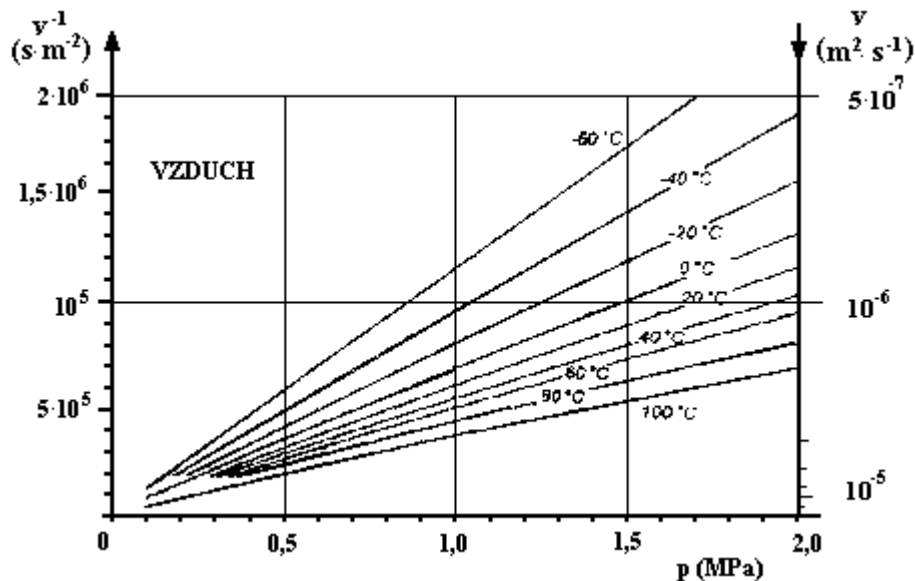
$$\tau = \eta \frac{dw}{dy} \quad (2)$$

Koeficient úměrnosti η [Pa.s] se nazývá dynamická viskozita, jedná se o materiálovou vlastnost tekutiny, která je silně závislá na teplotě. Pro kapaliny s rostoucí teplotou klesá a pro plyny naopak vzrůstá. Převrácená hodnota dynamické viskozity se nazývá tekutost. V některé literatuře jsou používány pro vyjádření dynamické viskozity jednotky P (Poise), cP (centiPoise), pro převod platí (1cp = 1mPa.s) [4]. Tyto jednotky jsou užívány v některých výpočetních systémech určující profil rychlosti proudění v potrubí. Výpočty proudění vzduchu v potrubí, které je důležitou částí při návrhu praktické realizace této práce je podrobně obsaženo v kapitole 3, se dle výpočtů však dobereme závěru že při proudění je projevující účinek viskozity stejně důležitý jako účinek tlaku a jeho tlakových ztrát právě vlivem tření.

Kinematická viskozita ν [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$] někdy též právě nazývána jako vazkost vyjadřuje poměr velikosti viskózních a setrvačných sil pro danou tekutinu, tedy v našem případě vzduch. Je silně závislá na velikosti tlaku a je definována dle vzorce:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3)$$

Funkční závislost tohoto vztahu je nastíněna na obrázku (Obr.2) pro námi použité medium a tím je vzduch



Obr. 2 : Závislost tlaku vzduchu na kinetické viskozitě [2]

1.1.2 Objemový tok, Hmotnostní tok

V jednorozměrném proudění ke kterému bude v trubici nastávat, je nutno definovat objemový průtok což je analogicky objem kapaliny, který proteče jedním místem v našem případě průřezem v jednom místě trubice za jednotu času. Veličina je definována dle (4).

$$Q_v = \frac{dV}{dt} = \dot{V} = S \cdot v \quad (4)$$

Jak je ze vztahu vidět je objemový tok derivací objemu tekutiny podle času, lze ho též vyjádřit jako průřez S (jedná se o průřez v místě trubice) násoben rychlostí v , což je okamžitá rychlost proudění. Tato analogie bude důležitá při dalším popisu dle rovnice kontinuity.

Při popisu hmotnostního průtoku lze vycházet z objemového toku, jelikož je to jeho modifikace s ohledem na hmotnost tekutiny, která proteče již zmíněným průřezem S , kolmým ke směru toku za jednotku času. Veličina je značena a definována (5).

$$Q_m = \frac{dm}{dt} = \dot{m} = S \cdot v \cdot \rho \quad (5)$$

Definice hmotnostního toku je přímým důsledkem zákona zachování hmotnosti.

1.2 Proudění vzduchu

V nauce o proudění se pojmem matematický model mechaniky tekutin rozumí uzavřený systém rovnic popisující rovnováhu či proudění tekutiny. Nauka o proudění však patří po teoretické části mezi složité části mechaniky. Samotné skupenství proudícího prostředí nemá na proudění zásadní vliv a tudíž se musí provést rozdělení proudění podle jiného hlediska. A to podle vlastností ovlivňující způsob proudění, jimiž je stlačitelnost a vazkost viz. předcházející kapitola. Jak již bylo určeno výše proudění vzduchu budeme považovat za nestlačitelnou tekutinu. Pro popis základních rovnic se budeme uvažovat proudění vzduchu jako proudění ideální tekutiny.

Ideální nestlačitelná tekutina: Jde o tekutinu, která je dokonale nestlačitelná a bez vnitřního tření tj. vazkost se při popisu neuvažuje. Proudění tekutin se bude řídit základními rovnicemi a tj. Zákon zachování hmotnosti neboli Rovnice kontinuity a zákonem zachování energie neboli Bernoulliova rovnice.

Stacionární proudění: veličiny jsou v daném místě tekutiny nezávislé na čase, rychlost proudění je popsáno $\vec{v} = \vec{v}(\vec{r})$ a je závislé pouze na poloze r [m]

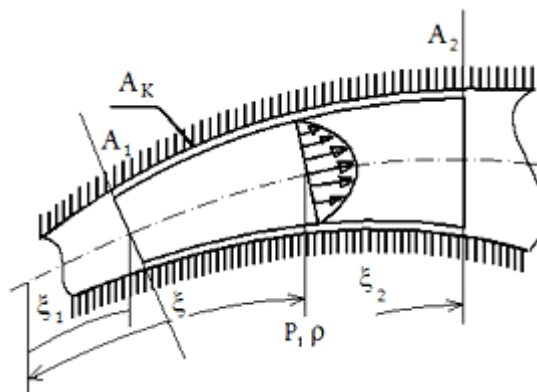
Nestacionární proudění: veličiny jsou v daném místě tekutiny na čase závislé, Rychlost proudění je popsáno $\vec{v} = \vec{v}(\vec{r}, t)$ tato vektorová funkce polohy a času plně popisuje proudění tekutiny.

1.2.1 Rovnice kontinuity

Rovnice kontinuity je důležitou rovnicí pojednávající o průtoku tekutiny v proměnlivém průřezu [2]. Budeme-li uvažovat průtok pro nestlačitelnou, stacionární tekutinu tj. ($\rho = \text{konst.}$) pak rovnice, která dle zákona zachování hmotnosti zní (6)

$$m_2 - m_1 = -m_{\text{ak}} \text{ neboli } \rho_2 v_2 A_2 - \rho_1 v_1 A_1 = - \int_{\xi_1}^{\xi_2} \frac{\partial \rho}{\partial t} A \cdot d\xi \quad (6)$$

ve které jsou použité veličiny popsány dle obrázku (obr.3)



Obr. 3 : Model proudové trubice s proměnlivým průřezem [2]

Se zjednoduší po úpravě $\partial \rho / \partial t = 0$ což vyplývá z $\rho_1 = \rho_2 = \text{konst.}$ na známý tvar (7).

$$\begin{aligned} v_1 A_1 &= v_2 A_2 = \dot{V} \\ A_1 \cdot v_1 &= A_2 \cdot v_2 = \text{konst.} \end{aligned} \quad (7)$$

Kde A_1 [m^2] je vstupní průřez, A_2 [m^2] je výstupní průřez, v_1 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je vstupní rychlost, v_2 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] je výstupní rychlost. Z rovnice a obecně pro proudění nestlačitelné tekutiny vyplývá že součin průřezu a rychlosti je konstantní tj. je pro všechny průřezy stejný a je roven objemovému průtoku. Z této skutečnosti vyplývá poznatek, že ve velkém průřezu bude malá rychlost a v malém průřezu naopak veliká.

1.2.2 Bernoulliho rovnice

Aplikace rovnice zde představuje aplikaci zákona o zachování energie pro proudící tekutinu, který je založen na popisu energetických poměrů při proudění tekutiny. Tedy pochází z úvahy že při ustálením proudění se v zužující části trubice dle již zmíněného zákona rovnice kontinuity částice tekutiny zvyšují svou rychlost.

Postupné a přesné odvození bernoulliho rovnice zde nebudu popisovat je velmi dobře uvedeno např. v literatuře [4] a [2]. Vychází z již zmíněného zákona zachování energie:

$$p_1 S_1 \Delta l_1 - p_2 S_2 \Delta l_2 + m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = \frac{1}{2} m \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad (8)$$

A popisuje zákon který je zde podrobněji uveden a tím je Bernoulliho zákon pro vzduch [6]. Jedná se o klasickou Bernoulliho rovnici která je aplikována na prostředí vzduchu a vyjadřuje stav mezi statickým a dynamickým tlakem v proudové trubici. Dynamický tlak zde popisuje energii proudícího prostředí dle rovnice (9):

$$p_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad (9)$$

Po délce proudové trubice je součet statického a dynamického tlaku konstantní dle bernoulliho zákona (10).

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 = konst. \quad (10)$$

kde p [Pa] je statický tlak v tekutině odpovídající potenciální energii tekutiny, ρ [kg.m⁻³] hustota tekutiny a v [m².s⁻¹] rychlost proudění.

1.2.3 Laminární a turbulentní proudění

Při proudění reálné tekutiny, tedy kde je již zohledněno vnitřní tření tekutiny se proudění projevuje tak, že jednotlivé částice (molekuly) se pohybují ve směru proudění v jednotlivých vrstvách. Dle způsobu pohybu mezi dvěma sousedními vrstvami se proudění rozlišuje na *laminární* a *turbulentní* proudění.

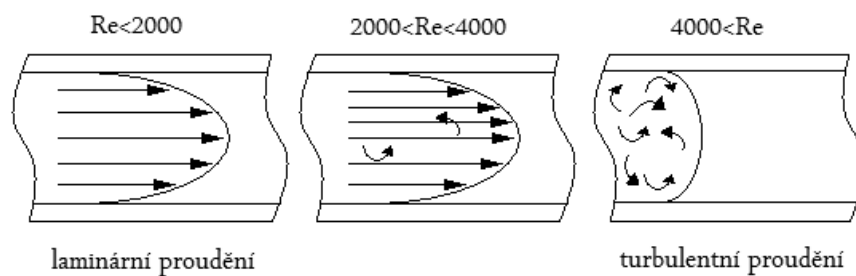
Laminární proudění je pak popisováno jako proudění, při němž se jednotlivé vrstvy tekutiny vůči sobě rovnoběžně posunují, tj. dvě sousední vrstvy po sobě vzájemně kloužou a jednotlivé vrstvy se nemísí mezi sebou. Tento druh proudění je přímo závislí na vazkosti a rychlosti proudění tekutiny. Kdy laminární proudění lze pozorovat např. při vysoké vazkosti tekutiny a malých rychlostech.

Turbulentní proudění je charakterizováno právě vzájemným proplétáváním jednotlivých vrstev kdy proudění přecházejí z jedné vrstvy do druhé a tím se zvyšuje odpor prostředí. Pohyb turbulentního proudění se pak jeví jako nespořádaný a jednotlivé částice pak vlivem úhlových rychlostí urazí za stejnou časovou jednotku, stejnou vzdálenost, ale po delší dráze a tím spotřebovávají více energie než-li je tomu u laminárního proudění. A proudění se stává důsledně stacionárním, objevuje se při vyšších rychlostech a velkých průměrech potrubí.

Rozhodujícím kritériem, které určuje hranici mezi laminárním a turbulentním prouděním je Reynoldsovo číslo, které bývá označováno zkratkou Re, jedná se o bezrozměrnou jednotku charakterizující proudění vazké tekutiny, udávající poměr mezi setrvačnými a třecími silami v tekutině.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad (11)$$

kde ν [$m^2 \cdot s^{-1}$] je kinetická viskozita, která je funkcí tlaku a teploty, v [m/s] je rychlost proudění, D [mm] je charakteristický rozměr, v našem případě se bude jednat o průměr potrubí. Reynoldsovo číslo při proudění v potrubí dosahu právě kritického mezníku, která je $Re_{krit.} \cong 2300$ a proudění splňující $Re < 2300$ je označováno za *proudění laminární*, zatím co při $Re > 2300$ jde o *proudění turbulentní*. Je zde však určitá oblast s nerovnoměrným rychlostním profilem, ve kterém nelze jednoznačně určit o jaký typ proudění se jedná, viz obrázek (Obr.4).



Obr. 4 : Rychlostní profil proudění v závislosti na Re

Vlivem vazkosti bude rychlost na stěnách potrubí nulová. S postupnou vzdáleností od stěny rychlost bude prudce vstoupat, ovšem gradient rychlosti se pak směrem ke středu potrubí začne klesat. Jak je vyjádřeno zákonem (12).

$$\frac{v}{v_m} = \left(1 - \frac{y}{r}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (12)$$

kde n je udávaný exponent čísla Re, v [m/s] je rychlost daného profilu, v_s [m/s] je rychlostní profil ve středu (tedy jeho maximální hodnota), y [m] je pak vzdálenost rychlosti v od středu a r [m] je poloměr (od středu ke stěně potrubí).

2 Měření rychlosti proudění

Tato kapitola pojednává o principech měřící techniky z oblasti měření rychlosti proudění. Jsou zde podrobně rozebrány principy a parametry veškerých senzorů, které se používají pro měření rychlosti proudění vzduchu. Dále jsou zde uvedeny parametry senzorů použitých při testování v přípravku.

2.1 Principy měření průtoků a rychlostní měřidla

Svémi vlastnostmi měření průtoků a proteklého množství tekutiny patří do oblasti složitějších měření, které jsou realizovány zejména bilančním měřením. Základním měřícím principem je zjišťování rychlosti proudění měření tekutiny v daném měřícím místě, případně měření střední rychlosti proudění v měřícím profilu. Při měření musí být zohledněna hlediska jako jsou např. druh tekutiny (kapalina, pára, plyn) a potažmo její vlastnosti (např. tlak, teplota, hustota, viskozita). Důležitým parametrem je taktéž druh proudění viz. kapitola laminární a turbulentní proudění v neposlední řadě taktéž tvar rychlostního profilu v potrubí (kanálu) a časové změny měřeného průtoku. S ohledem na tyto hlediska můžeme rychlostní měřidla rozdělit na dvě skupiny:

- a) měřidla rychlosti;
- b) měřidla průtoku (proteklého množství).

S ohledem na naši problematiku nás budou zajímat zejména *měřidla rychlosti* do které spadají: Rychlostní sondy jako jsou *Prandtlova trubice*, *Pitotova trubice* (slouží k měření okamžité rychlosti proudění a výpočtu střední rychlosti), dále válcová a kulová sonda či případně víceotvorové typy sond, které slouží k přímému měření střední rychlosti proudění a tím i průtoku, zasouvají kolmo na směr proudění v potrubí. Další významnou skupinou spadající do měřidel rychlosti jsou Anemometry (mechanické, elektrické, laserové). Měřidla rychlosti jsou v provozech významněji používanější nežli měřidla průtoku. Průtok se zpravidla dopočítává dodatečně z naměřené rychlosti dle již zmiňovaného objemového (4) a hmotnostního průtoku (5). Při výběru vhodného snímače je z hlediska přesnosti nutné respektovat mnoho vlivů, z nichž k těm nejvýznamnějším patří:

- druh měření (jednorázové, trvalé, laboratorní, provozní);
- pracovní činnost (spojitá, nespojitá);
- měřená veličina a její vlastnosti (tlaku, viskozity, hustoty);
- měřící místo a jeho parametry (potrubí, otevřený kanál, rozměry);

- rušivé vlivy snímače (tlaková ztráta, časové zpoždění);
- možné opotřebení a změny v čase (mechanických dílů, vlastnosti hodnot parametrů).

2.2 Rychlostní sondy

Rychlostní sondy se používají zejména pro měření okamžité rychlosti proudění [7]. Využívají změnu kinetické energie proudící tekutiny na energii tlakovou. Rychlost proudění tekutiny je pak dána vztahem (13).

$$v = \sqrt{2 \frac{p_d}{\rho}} \quad (13)$$

kde v [m/s] je rychlost proudící tekutiny, p_d [Pa] dynamický tlak, ρ [kg.m⁻³] hustota tekutiny. Tímto vztahem se měřená rychlosti proudící tekutiny zjednoduší na měření dynamického tlaku a hustoty tekutiny. Dynamický tlak je pak popsán vztahem (14).

$$p_d = p_c - p_s \quad (14)$$

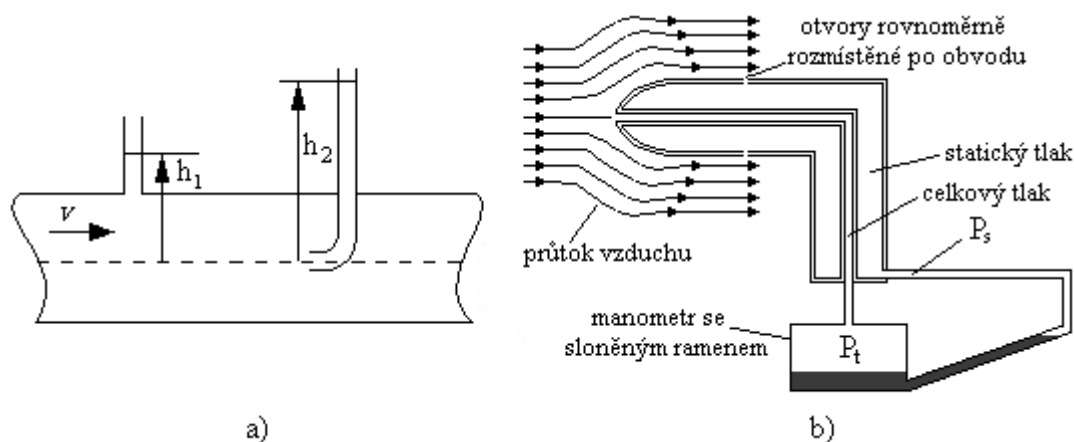
Ve kterém se p_d [Pa] dynamický tlak vyjádří jako rozdíl p_c [Pa] tlaku celkového a p_s [Pa] tlaku statického. Analogický se nám tedy měření rychlosti proudící tekutiny zredukuje na měření celkového tlaku p_c a tlaku statického p_s a jejich přepočtu na rychlost. Na tomto jednoduchém principu je založeno snímání Pitotovi a Prandtlovi trubice (sondy).

2.2.1 Pitotova a Prandtlova trubice

Při nárazu proudící tekutiny na překážku se některé proudnice obtečou zleva a některé zprava kolem překážky, střední proudnice se však zastaví na vrcholu překážky na má nulovou rychlost, je tedy v tomto místě rychlost proudící tekutiny nulová, toto místo se označuje jako *bod stagnace*. Tedy pokud budeme srovnávat dva body, bod 1, který je v rychlostním poli proudnic a má tlak p_1 , rychlost proudění v_1 a bod 2, který je bodem stagnace při tlaku p_2 a rychlosti $v_2=0$. Lze pro určení rychlosti proudění aplikovat Bernoulliho zákon dle rovnice (10), ze které vyplývá, že pro bod 2 se tlak p_2 zvýšil právě o hodnotu dynamického tlaku tj. rovnice (9) a stal se tlakem celkovým.

Pitotova trubice je nezákladnější rychlostí sonda. Na obrázku (Obr.5a) je znázorněno její principiální uspořádání, kde h_1 odpovídá statickému tlaku a h_2 odpovídá celkovému tlaku. Rychlost proudění pak lze vypočítat dle rovnice (15).

$$v = \sqrt{2g(h_2 - h_1)} \quad (15)$$



Obr. 5 : a) Princip Pitotovi trubice, b) Prandtlova trubice s diferenčním manometrem[4]

Přesnost měření je ovšem ovlivněna tím, že celkový a statický tlak se neměří v jednom místě. Pitotovu trubici je tudíž doporučováno používat až při překročení $Re > 4000$, tj. při stálém turbulentním proudění.

Prandtlůva trubice je z hlediska uspořádání vlastně upravenou Pitotovu trubici, jejíž konstrukce se skládá ze dvou soustředných trubíc v klasickém tvaru písmene „L“, která je na obrázku (Obr 5b) připojena k diferenciálnímu manometru, jenž měří rozdíl celkového a statického tlaku. Stavba trubice³ je tedy rozdělena na vnitřní a vnější, kdy vnější trubice zajišťuje odběr statického tlaku pomocí štěrbin, které podléhají konstrukčním pravidlům jenž zní: štěrbiny musí být minimálně ve vzdálenosti třikrát větší než je D tj. průměr válcové sondy. Dále tyto štěrbiny nesmějí být svým průměrem větší než-li $0,1 \cdot D$. Vnitřní trubice je svým otvorem postavena proti směru proudění a snímá tak celkový tlak, viz bod stagnace. Ovšem i tato trubice podléhá konstrukčnímu pravidlu, tj. otvor vnitřní trubice musí být $0,3 \cdot D$. Vlastní měření pak vychází opět z Bernoulliho zákona (10), rychlost proudění je dána (13) a Prandtlůva trubice se stejně jako Pitotova používá zejména pro měření větších rychlostí. V některých pramenech [7], je uvedena hranice měřené rychlosti $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ovšem např. ve článku [11] č.08 časopisu AUTOMA z roku 2003 jsem se dočetl, že Prandtlůvou trubicí se měří i nízké rychlosti proudění, které jsou blízké 1 m/s a vše je podmíněno konstrukčnímu uspořádání a rozsahem snímání tlaku dané trubice. Maximální měřená rychlost je omezena pouze přesností měření a vlastnosti daného materiálu např. materiál nerez-ocel použití do prostředí až 700°C existují i trubice, které svou délkou přesahují i více než 3 m .

³ [4] Ďaďo S., Bejček L., Platil., *Měření průtoku a výšky hladiny*, Praha: Technická literatura BEN 2002, str. 83

2.2.2 Válcové a víceotvorové sondy

Víceotvorové sondy se od klasických rychlostních liší v tom že snímají střední rychlost proudění. Jsou konstruovány na základě na čtyř, šesti nebo osmi snímacích otvorů na náběhové straně sondy pro snímání střední hodnoty celkového tlaku. Válcová sonda je pak uspořádána např. čtyřmi otvory proti směru proudění a jedním otvorem pro snímání p_u neboli tlaku v úplavu. Při vlastním měření pak probíhá odběr opět na principu rozdílu tlaků kdy tlak v otvoru 1 a tlak v otvoru 2, které jsou osově souměrné by při správném nastavení snímání měl být stejný. U víceotvorových sond případně u víceotvorové válcové sondy, více otvorů na náběhové straně poskytuje přesnější informaci o střední hodnotě celkového tlaku. Tlak na úplavu p_u je obecně menší nežli statický tlak. A rozdíl středního celkového tlaku a p_u je funkcí středního dynamického tlaku násobenou se čtvercem kalibrační konstanty k dle rovnice (16).

$$\bar{p}_d = k^2 (\bar{p}_c - p_u) \quad (16)$$

Důležitým faktorem je rozdělení otvorů na náporové straně, ke snímání střední hodnoty celkového tlaku, ta by při špatné symetrii způsobila nesprávnost naměřené rychlosti. Střední rychlost proudění je pak popsána rovnicí (17).

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{p}_d}{\rho}} \quad (17)$$

Víceotvorové sondy jsou výhodné vzhledem k jejich vlastnostem zejména pro měření v netradičních podmínkách. Přesnost měření je závislá na rozložení odběrových otvorů nikoli na jejich velikosti či počtu.

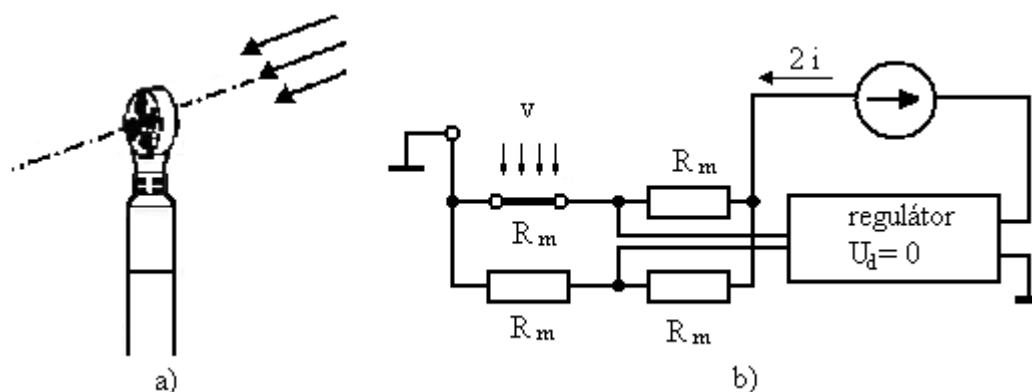
Vlastnosti víceotvorových sond [7]:

- maximální chybu lze snížit kalibrací (tj. konstantou k);
- velikost odběrového otvoru v úplavu sondy neovlivňuje konstantu k ;
- sondy s malými otvory mají nižší přesnost, nežli sondy s velkými otvory;
- sonda měří s rovnoměrnou přesností v širokém rozsahu rychlostí;
- mají nízkou tlakovou ztrátu, pro velké profily téměř zanedbatelnou;
- použití sond je možné i ve velmi rozměrných potrubích;
- deformace rychlostního profilu nemá zásadní vliv na přesnost měření.

2.3 Anemometry

Anemometry jsou asi nejznámějšími měřicími přístroji z oblasti měření proudění vzduchu, zasloužila se o to zejména oblast Meteorologie, která používá povětšinou právě anemometry k měření rychlosti větru anebo rychlosti a směru větru. V této oblasti vzniklo velké množství typů anemometrů pracujících v zásadním rozdělení na třech principech, které je dělí do skupin:

- elektrické anemometry (princip ochlazovacího účinku proudu vzduchu);
- mechanické anemometry (princip silového účinku proudu vzduchu);
- laserové anemometry.



Obr. 6 : a) Mechanický anemometr, b) Principiální schéma Termoanemometru

2.3.1 Elektrické anemometry

Jsou označovány též jako Termoanemometry a pracují na principu, který je již z jejich názvu patrný a tím je, že proudící vzduch či jiný plyn ochlazuje žhavený drátek na určitou teplotu a odvod tepla z tohoto drátu či následná kompenzace odejmuté energie je funkcí rychlosti proudění. Obecně používaným principem termoanemometru je, že drátek (případně termistor) je žhaven elektrickým proudem známé hodnoty na konstantní teplotu. Proudící vzduch drátek ochlazuje a tudíž je pro udržení konstantní teploty třeba zvýšit žhavicí proud. Prakticky je o platinový drátek, který je zapojen v jedné větvi odporového můstku viz. (Obr.6b). V úhlopříčce můstku je zapojen regulátor, který řídí napájecí proud tak aby byl můstek vyvážen. Z velikosti napájecího proudu se následně určí velikost proudění. Nejdůležitějšími konstrukčními parametry tohoto čidla je tudíž právě žhavicí drátek a použitý materiál, ze kterého je vyroben. Dalším neméně významným parametrem je daná teplota, která je v každém prostředí jiná a musí se podle tohoto prostředí přizpůsobit. Specifickou vlastností těchto anemometrů je citlivost měřícího členu, kterým je právě žhavený drátek. Z čehož vylívá

jejich nesčetná výhoda oproti např. rychlostním sondám (viz.kapitola 2.2) a tím je možnost použití termoanemometru při velmi nízkých rychlostech ($\sim 0,01$ m/s).

Termoanemometry se rozdělují dle měřené veličiny, která se v průběhu měření zachovává konstantní a jejíž funkcí následně může být[7]:

- a) ($\Delta t = \text{konst.}$) teplota drátku je konstantní a rychlost proudění je funkcí topného proudu $I = f(v)$, který je důsledkem ochlazování drátku odebírán více či méně. Tohoto uspořádání se užívá u měření v rozsahu 1-300 m/s;
- b) ($I = \text{konst.}$) topný proud je konstantní a rychlost proudění je funkcí teploty drátku vyjádřena jako změna odporu $R = f(v)$. Měření v rozsahu 1-300 m/s;
- c) ($R \cdot I^2 = \text{konst.}$) topný příkon je konstantní a rychlost proudění je funkcí teploty drátku měřenou termoelektrickým článkem $t = f(v)$. Tohoto uspořádání se užívá právě u měření nízkých rychlostí a to v rozsahu od minimálních hodnot až do 1 m/s.

Pro termoanemometry, které bývají asi nejčastěji používané tj. skupina (a) a (b) se používají platinové drátky průměru 0,01 až 0,1, které jsou délky 1-5mm a jsou žhaveny na 200 až 500 $^{\circ}\text{C}$, nebo termistory. Pro skupinu (c) se používají NiCr drátky (tedy obsahující chrom a nikl) o průměru 0,05 až 0,1mm žhavený na teplotu 350 $^{\circ}\text{C}$.

Termoanemometry se používají zejména pro přesné laboratorní účely, jelikož je nutné tyto přístroje zkalibrovat a jsou velmi citlivé na mechanické použití, teplotu okolního prostředí či znečištění.

2.3.2 Mechanické anemometry

Pracují na principu silového působení proudící tekutiny která roztáčí lopatkový rotor, rychlost otáčení rotoru je pak úměrná rychlosti proudícího media. Dle tohoto základního principu, který je znám již několik století se mechanické anemometry nazývají též lopatkové(miskové) anemometry. Podle vystavení směru proudění vzhledem k ose se mechanické anemometry dělí na radiální a axiální. Typickým příkladem radiálního anemometru je miskový anemometr, který je využíván téměř v každé meteorologické stanici, kde slouží k určování rychlosti větru. Otáčení rotoru je snímáno elektricky (případně mag. indukce) a převáděn na unifikovaný výstupní signál.

Počet otáček je snímán a za časovou dobu τ a počet otočení rotoru je dáno celkovou délkou l pak rychlost proudění je dána poměrem:

$$v = \frac{l}{\tau} \quad (18)$$

Důležité u mechanických anemometru je zachovávat kolmost vektoru rychlosti k ose rotoru. Jelikož měří rychlost v místě průřezu, je taktéž nutné vždy umístit rotační část do středu rychlostního profilu. Pro měření nižších rychlostí proudění (1 až 10 m/s) se používají axiální anemometry s lopatkovým rotorem, obrázek (Obr.6a). Tyto anemometry se v dnešní době stali velice populární zejména a využívají se jako digitální ruční anemometry, které slouží všestranně např. k měření rychlosti větru či měření rychlosti proudění ve vzduchotechnických systémech a bývají tak i součástí ucelených měřících přístrojů, které mimo rychlosti měří i teplotu a vlhkost vzduchu. Nevýhodou těchto anemometrů jsou jeho rozměry vznik turbulencí, což může mít za následek ovlivnění měřené rychlosti proudění.

2.3.3 Laserové anemometry (LDA)

Povětšinou se tyto laserové anemometry označují právě LDA (Laser Doppler Anemometr) neboť se jak už je z názvu patrné jedná se o využití tzv. Dopplerova jevu. Prakticky se s těmito anemometry v této práci nesetkáme, ale jelikož se jedná o nejmodernější přístroje z oblasti měření rychlosti proudění. Alespoň stručně zde popíšeme jejich princip. Paprsek laseru se při styku s měřenou tekutinou (kapaliny, plyny) rozptýlí o částice tekutiny a měřená rychlost částic způsobí frekvenční posun. Následně dojde dopplerovu jevu, kdy rozptýlené a nerozptýlené části paprsku interferují. Výsledná frekvence je pak přímo úměrná právě rychlosti proudící tekutiny. Zvaná též Dopplerova frekvence ν_D uváděná v jednotkách [Hz].

$$\Delta\nu_D = \frac{v_x}{d_F} = v_x \frac{2 \sin \frac{\vartheta}{2}}{\lambda_0} \quad (19)$$

kde d_F je vzdálenost interferenčních plošek ϑ je úhel protnutí paprsků a v_x je příčná složka vektoru rychlosti. Zdroj světla v tomto případě musí být monochromatické a koherentní záření aby mohlo docházet k daným interferencím. Pro LDA se používají zejména lasery plynové a to He-Ne a CO₂. Zde uvedený odstavec je opravdu jen stručný nástin do Laserových anemometru a jejich funkce a celkový princip je uveden v literatuře [12]. Laserové anemometry se používají pro měření od 0,001 do 300 m/s.

2.4 Testované senzory v přípravku

V této kapitole je uveden popis použitých a testovaných senzorů v přípravku, je zde zařazena, aby bezprostředně navazovala na teoretickou část popisované měřicí techniky z hlediska svých principů a parametrů. Prvním testovaným senzorem je Anemometrycké čidlo FVA915S220 společnosti Ahlborn. Obecně se tato společnost zaměřuje na senzory nejvyšší kvality, klade vysoký důraz zejména na preciznost a pečlivost svých výrobků. Uvedené Anemometrycké čidlo je jedním z řady snímačů průtoků vzduchu na principu mechanických anemometrů (viz. kap. 2.3.2), které firma nabízí. Jedná se o sondu vrtulkovou s označením „micro“, která je dodávána na rozsahy rychlostí 0,6 – 40 m/s řada S240 a 0,5 – 20 m/s řada S220. Vrtulka je konstruována z hliníku a do hlediska proudění usazena v měřící hlavě, vyrobené z umělé hmoty (Polysulfon). Osa vrtulky je standardně chráněna při výrobě v nasáklém oleji a špička je uložena ve speciálním ocelovém ložisku, které se zvláště vhodné pro používaná ložiska v klimatizační technice. Měřící hlava je odnímatelná a usnadňuje tak celkovou údržbu senzoru. V následující tabulce jsou uvedeny technické parametry uvedeného senzoru. Na obrázku (Obr.7) je pak dané anemometrycké čidlo vyfoceno.

Tab. 1 : Parametry čidla FVA915S220

Měřicí rozsah	Maximální rozlišení	Jmenovitá Teplota	Provozní teplota	Velikost měřící hlavice	Nabírací otvor	Délka čidla	Přesnost
0,5 – 20[m/s]	0,01 m/s	22°C ±2 K	-20až+140°C	11 mm	Od 15 mm	165 mm	±1 %v.E.±3 % v.MW.



Obr. 7 : Anemometrycké čidlo FVA915S220

Dalším testovaným senzorem je Termoanemometrycké čidlo opět od společnosti Ahlborn s technickým označením FV A645 TH3. Jedná se o zástupce staršího modelu, ale přesto opravdu velice kvalitního čidla z oblasti senzorů elektrických anemometrů (viz. princip kap. 2.3.1). Uvedené čidlo s označením TH3 je na pracovní rozsah 0,1 až 20 m/s. Toto čidlo je konstruováno se zahříváním miniaturním termistorem pro měření průtoku a vysoce precizním Ni10 snímačem teploty pro tepelnou kompenzaci. Vyhodnocovací elektroniku má tento senzor umístěnou v odděleném modulu, svou koncepcí je vhodný zejména pro měření nižších rychlostí. Hodnota maximálního rozlišení je 0,01 m/s. Svou citlivostí a zejména schopností měřit hodnoty rychlostí už od počátku, tedy hodnotám blízkým nule je při testování velice důležitým měřicím senzorem. Jelikož opravdu nízké hodnoty proudění nejsou schopny(či jen při vysoké chybovosti) ostatní druhy senzorů změřit. V následující tabulce (Tab.2) jsou uvedeny technické parametry použitého čidla. Čidlo společně konektorem, ve kterém je realizována vyhodnocovací elektronika je zobrazeno na obrázku (Obr.8).

Tab. 2 : Parametry čidla FV A645 TH3

Pracovní napětí	Vlhkost vzduchu	Pracovní rozsah	Jmenovitá teplota	Teplota měřicí rozsah	Kompenzace	Přesnost
6 ... 13V	0 ... 90% r.H.	0 ... 40°C	22 °C ± 2K	-20.0 ... 80.0°C Rozlišení: 0.1K	10 ... 36°C	0.1 ... 0.5m/s: ± 0.05m/s 0.5 ... 3.5m/s: ± 0.01m/s ± 3% of final val. 3.5 ... 15.0m/s: ±0.10m/s ± 3% of final val.



Obr. 8 : Termoanemometrycké čidlo FV A645 TH3

3 Proudění vzduchu v potrubí, Výpočty, Tlakové ztráty

Testování senzorů rychlosti bude na přípravku realizováno při proudění vzduchu v potrubí. A jakožto takové je nutné před konstrukcí přípravku provést matematické výpočty a následnou metodiku návrhu daného potrubí. Tato kapitola se zabývá výpočty tlakových ztrát, objemového průtoku a rychlosti proudícího vzduchu v potrubí.

3.1 Výpočet rozvodu vzduchu potrubím

Aerodynamický výpočet rozvodu vzduchu je dle proudění tekutiny v potrubí závislí na veličinách tlaku, teplotě, hustotě přenášeného media a rychlosti. Předpokládaná rychlost proudění v potrubí, které chceme dosáhnout je cca $v = 20$ m/s. Při proudění vzduchu v potrubí platí následná stavová rovnice(20):

$$p = \rho \cdot R \cdot T \quad (20)$$

Kde p [Pa] je tlak, ρ [$\text{kg}\cdot\text{m}^3$] hustota, R [J/kg.K] plynová konstanta, T [K] termodynamická teplota. Uvedená plynová konstanta R je dle⁴ rovna 287,10 J/kg.K.

$$p = 1,204 \cdot 287,1 \cdot 293,15 = 0,1\text{MPa} \quad (21)$$

Což odpovídá tlaku vzduchu při 208C. Při aplikaci klasického objemového toku (4) je patrné, že čím větší budeme mít průměr potrubí tím větší bude nárok na objemový průtok, který je dán vlastním výkonem ventilátoru. A tudíž musíme průměr potrubí volit uvážlivě s ohledem na možnosti daných ventilátorů, které by mohli připadat v úvahu. Po prostudování mnohých parametru ventilátorů jsem se rozhodl zvolit vnitřní průměr potrubí na $d = 0,034\text{m}$, v následném výpočtu vyjde:

$$Q_v = S \cdot v = 65,4\text{m}^3 / \text{h} \quad (22)$$

Při tomto základním výpočtu však není uváženo tlakových ztrát ani působení viskozity vzduchu při proudění a je tudíž ho brát s velkým odstupem. Je to však první nástin pro určení průměru potrubí, který je nutné mít do následujících výpočtů již zvolen a považovat za stálý parametr.

⁴ Veškeré Fyzikální tabulkové hodnoty vzduchu byly čerpány :Fyzikální a chemické vlastnosti vzduchu [cit 1.4.2008]. dostupné z <<http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm>>

3.2 Tlakové ztráty při průtoku potrubím

Při proudění vzduchu v potrubí se projeví vazkost a část mechanické energie se přemění na teplo. Následný úbytek mechanické energie se projeví ztrátou tlaku. A tím se vyvolají tlakové ztráty v potrubí. Tyto ztráty se rozdělují na ztráty : třením (které jsou po celé délce potrubí) a ztráty zvané místní (vznikají tam kde dochází k narušení proudu vzduchu a k jeho deformaci, v našem případě se bude jednat o místo přechodky).

Tlakové ztráty třením pro překonání odporu přímého potrubí o průřezu S a délce l dojde k úbytku tlaku, která závisí na délce, průřezu a drsnosti potrubí [9].

$$\Delta p_{\lambda} = \rho \cdot v^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{l}{d} \quad (23)$$

kde λ je bezrozměrná jednotka udávající součinitel tření a je dána funkcí $\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon/d)$, tj. Reynoldsova čísla a poměrnou drsností, pro daný výpočet se trubka z plexiskla uvažuje jako aerodynamicky hladká trubka s $\text{Re} \approx 15 \cdot \varepsilon/d$

$$\text{Re} = \frac{20 \cdot 0,034}{1,33 \cdot 10^{-5}} = 51127,8 \approx 5 \cdot 10^4 \quad (24)$$

Z výpočtu Reynoldsova čísla je patrné, že v potrubí bude turbulentní proudění. Oblast λ se při rychlosti proudění vzduchu v potrubí $v = (0,1 - 30 \text{ m/s})$ bude od 0,015 do 0,03. [9] Součinitel tření pro aerodynamicky hladká trubka je $\lambda=0,02$.

$$\Delta p_{\lambda} = 1,204 \cdot 20^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,02 \cdot \frac{1}{0,034} [\text{Pa}] \quad (25)$$

V místě usazení 1 čidla bude tlaková ztráta třením: $\Delta p_{\lambda}=51,8 \text{ Pa}$

2 čidla bude tlaková ztráta třením: $\Delta p_{\lambda}=86,3 \text{ Pa}$

Tlaková ztráta místní je dána dle následujícího vztahu (26).

$$\Delta p_{\xi} = \xi \cdot P_d = \xi \frac{\rho}{2} v^2 \quad (26)$$

Součinitel místní tlakové φ ztráty je dán experimentálně a závisí na tvaru prvku odporu, tudíž zde nelze místní tlakovou ztrátu vypočítat. Musela by se určit pro až pro přesný tvar přechodky experimentální metodou.

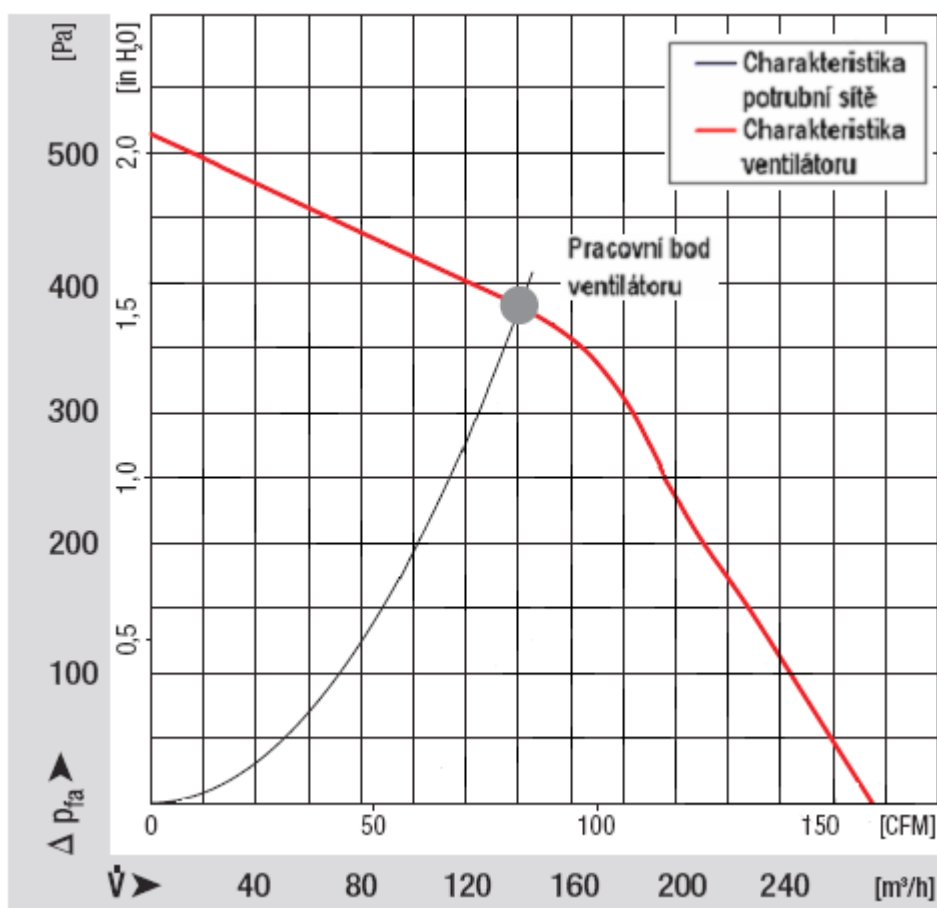
Výpočty tlakových ztrát a bližší popis jejich struktury jsou taktéž dostupné v interaktivní podobě na [9].

3.3 Tlakové poměry v potrubí, Pracovní bod ventilátoru

Ventilátor v potrubí zajišťuje dopravu vzduchu přičemž musí překonávat ztráty způsobené v potrubí třením a místními odpory a to za dostatečného tlaku pro uvedenou rychlost proudění vzduchu. Tlaková ztráta potrubí je pak dána součtem tlakových ztrát:

$$\Delta p_z = \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \xi \right) \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad (27)$$

kde v [m/s] je rychlost proudění, l [m] délka potrubního úseku, d [m] charakteristický rozměr (průměr) potrubí, λ [-] součinitel tření, ξ [-] součinitel místních ztrát. Z rovnice (27) je patrné, že charakteristika potrubí bude parabola s vrcholem v počátku souřadného systému, společně s tlakovou charakteristikou ventilátoru je pak možnost určení pracovního bodu ventilátoru viz. obrázek (Obr.9).



Obr. 9 : Graf charakteristiky pracovního bodu ventilátoru

4 Výroba a konstrukce přípravku

Hlavním cílem této bakalářské práce je samotná fyzická konstrukce přípravku pro testování senzorů rychlosti, v následujících podkapitolách jsou detailně popisovány jednotlivé součásti přípravku od jejich návrhu a způsobu provedení až po samotný technologický postup, který byl použit při jejich výrobě.

4.1 Ventilátor

Před samotným započítáním výroby přípravku bylo nutné najít vhodný typ ventilátoru, který by dokázal vyvinout dostatečnou rychlost pro proudění vzduchu v navrhovaném přípravku. A bylo tak možné proměřit celý rozsah snímání rychlosti použitých senzorů.

4.1.1 Volba typu ventilátoru

Důležitým parametrem při volbě vhodného ventilátoru bylo, aby byl použitelný na stejnosměrné napětí a bylo tudíž možné jeho připojení na laboratorní zdroj. Kterým by se snadno dali regulovat otáčky na tudíž i výkon ventilátoru v závislosti na řídicím, napájecím napětím. A odpadlo tak použití velmi drahého a složitého frekvenčního měniče, který by byl nutností při použití ventilátoru na střídavé napětí. Neboť tyto ventilátory jsou řízeny změnou frekvence a mají význam až u vyšších výkonu které jsou nutné při dopravě vzduchu a delší vzdálenosti. Dalším nepostradatelným parametrem byli taktéž rozměry daného ventilátoru neboť bude nutné proudící vzduch usměrnit do trubice která musí být pro vhodnou rychlost omezeného průměru, viz. výpočty v teoretické části práce. Prvním zkoušeným typem ventilátoru, který jsem testoval byl ventilátor s označením PSD1212PMB1 od společnosti SUNON. Jedná se axiální ventilátor, velikosti (92x92x38mm), který svou geometrií umožňuje vysoký průtok vzduchu vzhledem k malé robustnosti ventilátoru a je stavěn na principu magnetického ložiska. Které vyniká zejména svou nízkou hlučností při chodu ventilátoru. Charakteristické parametry tohoto ventilátoru jsou uvedené v tabulce (Tab.3):

Tab. 3 : Parametry ventilátoru řady PSD spol. SUNON

Ložisko:	Napětí [V]	Rozsah prac. napětí [V]	Průtok vzduchu[m ³ /h]	Statický tlak [mmH ₂ O]	Odběr [A]	Příkon [W]	Hluk [dBA]	Otáčky [ot/min]
kuličkové	12	6 4 13,8	204,21	18,02	1,0	12,5	57,6	4900±10
kuličkové	24	10 4 27,6	204,21	18,02	0,51	12,2	57,6	4900±10

Tento ventilátor však vykazoval vysokou citlivost a velmi malý výkon dopravního tlaku, který je zapotřebí v místě kdy se má hnaný vzduch dostat do úzkého profilu trubky. A většina vzduchu se i při použití jiné geometrie návrhu přechodky, která by

daný ventilátor tolik tlakově nezadusila prostě nedostala do trubky a snažila se vrátit k lopatkám ventilátoru, který se tudíž ne jen vyrovnával s tlakem který musí překonat, ale i s tlakem působícím na lopatky v opačném směru. Při měření tohoto ventilátoru se dosahovalo v potrubí vnitřního průměru $\varnothing 34$ rychlosti maximálně kolem 9,2 m/s a to by bylo málo pro proměření charakteristik čidel s rozsahem 0 až 20 m/s. Zároveň se však ale při tomto měření zjistilo že výsledný tvar přechodky není až tak důležitý, samozřejmě v rámci rozumných mezí. A důležitou podstatou je dopravní tlak ventilátoru.

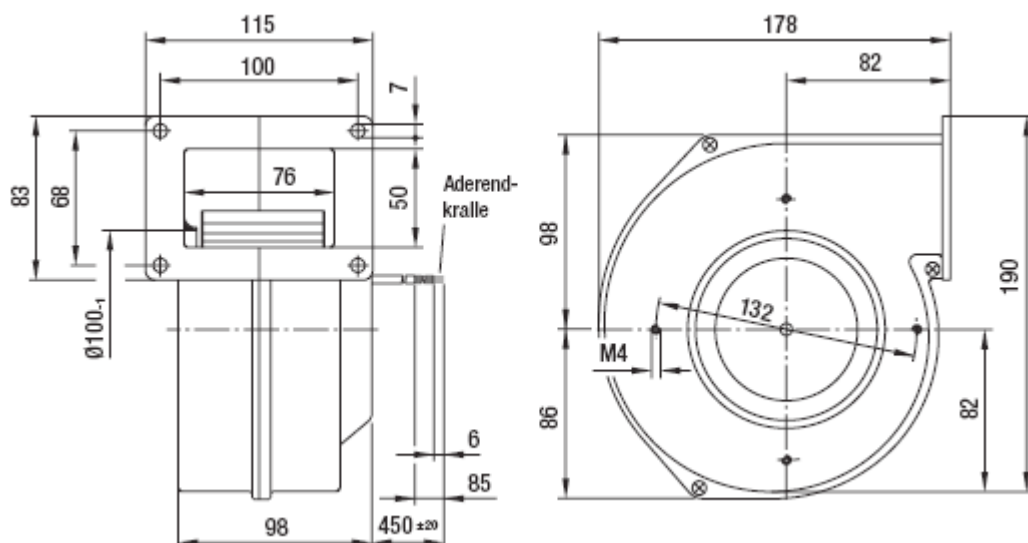
4.1.2 Zvolený typ ventilátoru, parametry a specifikace

Z testování tudíž bylo patrné, že je nutné se poohlízet po jiném druhu ventilátoru, který by byl schopen dodat dostatečný průtok vzduchu při zachování vysokého dopravního tlaku. Tímto druhem ventilátoru je radiální ventilátor G1G 120-AB62-02 od společnosti EBMPAPST, která se specializuje na výrobu ventilátorů a pohonné techniky.

Tab. 4 : Parametry ventilátoru G1G 120-AB62_02

Motor:	Napětí [V]	Rozsah prac. napětí [V]	Průtok vzduchu[m ³ /h]	Odběr [A]	Příkon [W]	Hluk [dBA]	Otáčky [ot/min]
M1G055-BD	24	16 4 28	255	1,9	40	62	2200

Jedná se o radiální ventilátor skládající se s oběžného kola, jehož součástí jsou lopatky zajišťující nasávání vzduchu v axiálním směru a výtlač ve směru kolmém na směr rotace lopatek. Uvedený ventilátor a jeho celý technologický výkres je v příloze A, zde je veden výřez technického výkresu na obrázku (obr.10), který bude následně důležitý při konstrukci dalších součástí přípravku a bude na něj často odkazováno.



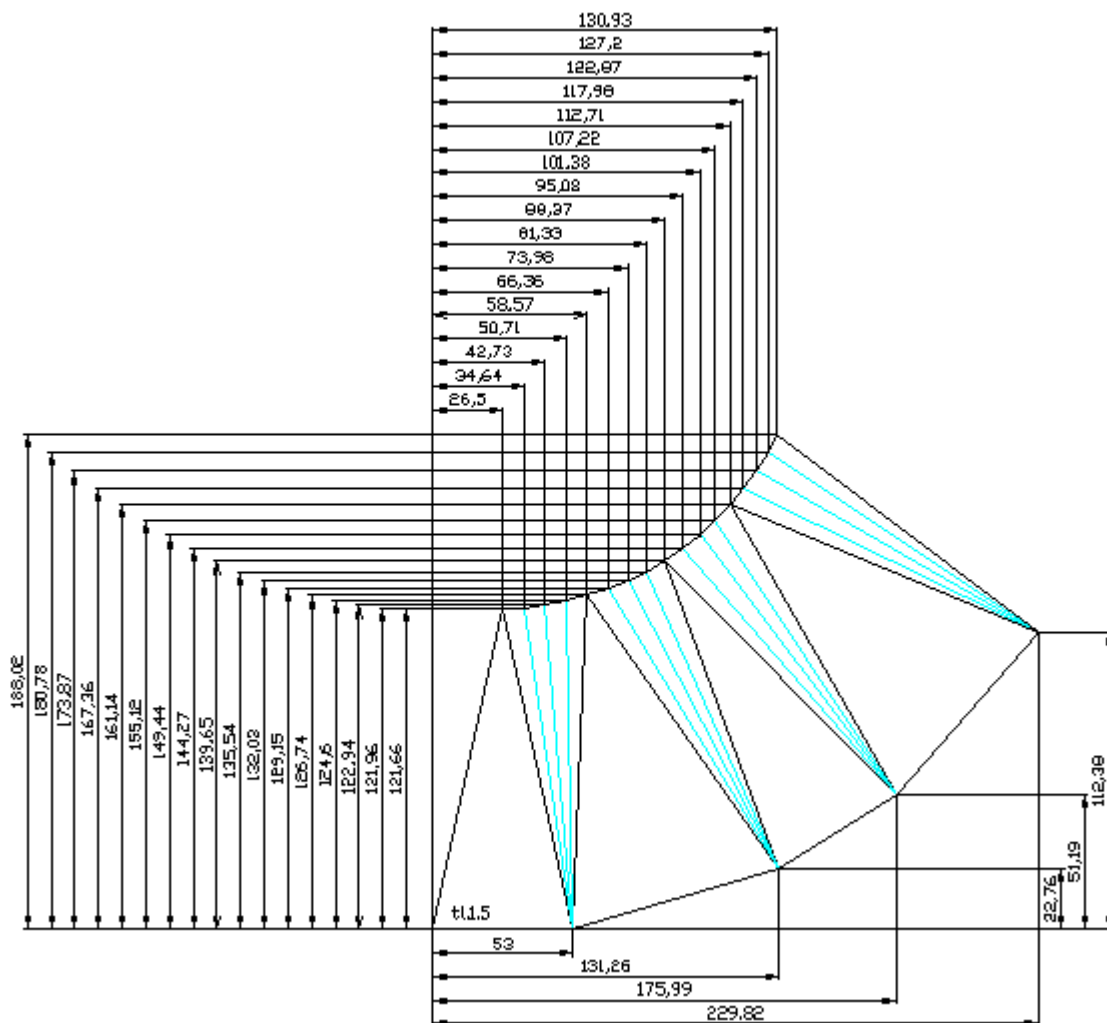
Obr. 10 : Technický výkres ventilátoru G1G 120-AB62-02

Tento typ je schopen při očekávaném průtoku vzduchu cca 180 m³/h vyrovnat tlakovou ztrátu až 300 4350 Pa. A tudíž se svými parametry stal vhodným ventilátorem do měřicí soustavy. Použitým materiálem ventilátoru je spirálové pouzdro z hliníku, které je odlito pod tlakem a oběžné kolo z pozinkovaného ocelového plechu.

Dle rozměrů příruby viz. výkres ventilátoru je patrné, že bude nutné vyrobit velmi složitou přechodku, která svede vyfukující vzduch právě z obdélníkové příruby, která je rozměrů 76x50mm do kulaté trubky Ø34mm.

4.2 Technický proces výroby přechodky

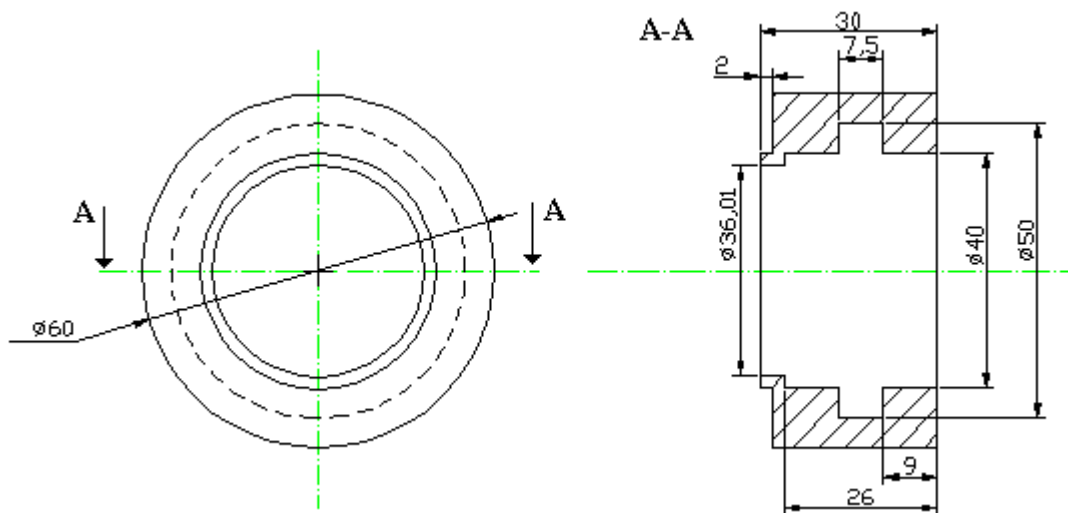
Před samotným návrhem přechodky, bylo samozřejmě nutné zvolit vhodný typ materiálu i s ohledem na další možnosti zpracování tak, aby bylo konstrukčně možné požadovaného tvaru přechodky dosáhnout a to s co největší precizností a originalitou. Zvolením typem materiálu se stal nemagnetický nerezový plech třídy.17, který utváří hlavní část přechodky. Návrh výkresu hlavní části přechodky je na obrázku (Obr.11)



Obr. 11 : Technický výkres hlavní části přechodky

Návrh hlavní části přechodky byl realizován v kreslicím programu AutoCad, kde podle parametrů obdélníkové vyústí části ventilátoru která je rozměrů 76x50mm, bylo postupně zakresleno po částech ohýbání nerezového plechu tak, aby utvořilo po celkovém ohnutí 360° na jedné straně kulatý průřez Ø40mm a na straně druhé právě obdélníkový útvar. Na tyto oba konce dále přijdou přivařit další části přechodky, které jsou nutné, na jedné straně k uchycení trubky a druhé straně kde se vytvoří příruba pro přidělení ventilátoru a zároveň možnosti přidělení celku k pracovní desce.

Návrh nátrubku a příruby je opět realizován v AutoCadu, kdy na konstrukci nátrubku byl použit *materiál* kulatina nemagnetická nerez třídy.17 a na konstrukci části příruby byl použit opět nemagnetický nerezový plech s třídy 17 tloušťky 3mm. Návrh výkresu nátrubku je uveden na obrázku (Obr.12).

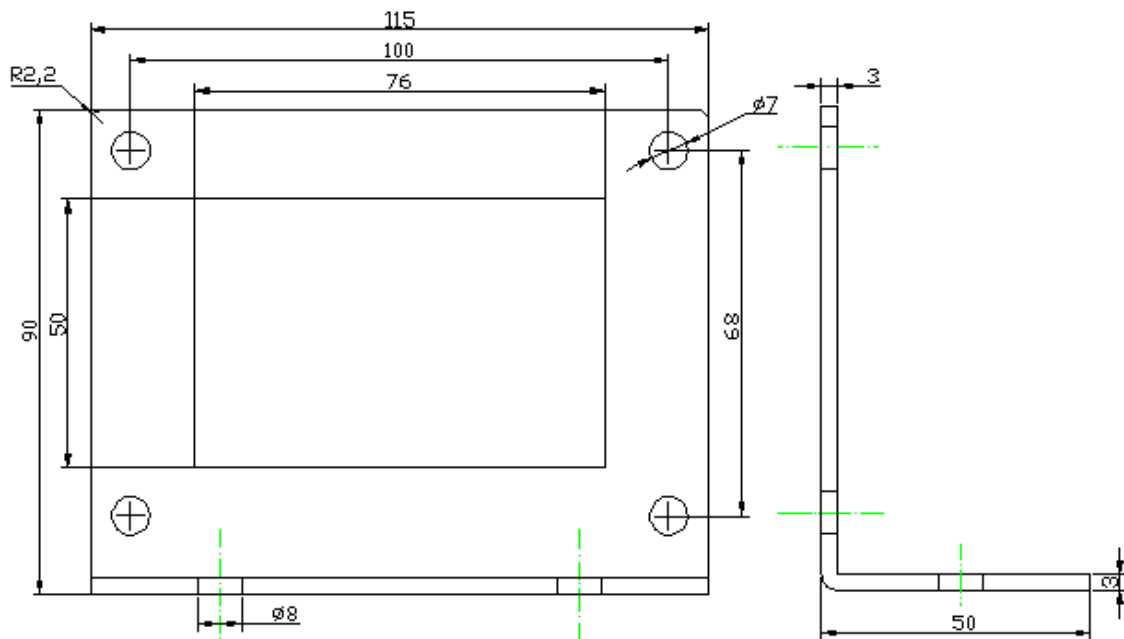


Obr. 12 : Technický výkres Nátrubku

Výroba tohoto dílce byla, provedena na stroji: *soustruh SV-18RA* , který je na obrázku (Obr.13a), jedná se o hrotový soustruh s točným průměrem 380mm a točnou délkou 1000mm .



Obr. 13 : a) Soustruh SV-18R , b) Ohýbačka XDM 200/4



Obr. 14 : Technický výkres části příruby

Návrh části příruby je na obrázku (Obr.14), na výrobu tohoto dílce byly použity stroje: tabulové nůžky pro přesné stříhání plechu větší tloušťky, dále ohýbačka, stojanová vrtačka a fréza. Na výrobu nátrubku viz *soustruh SV-18RA* náradí (Op.10): nůž vyhnutý 25x25, navrtávák Ø3,15mm, nůž vnitřní 20x20, vrták Ø33mm, nůž zapichovací; (Op.20): nůž stranový 25x25, nůž vyhnutý 25x25

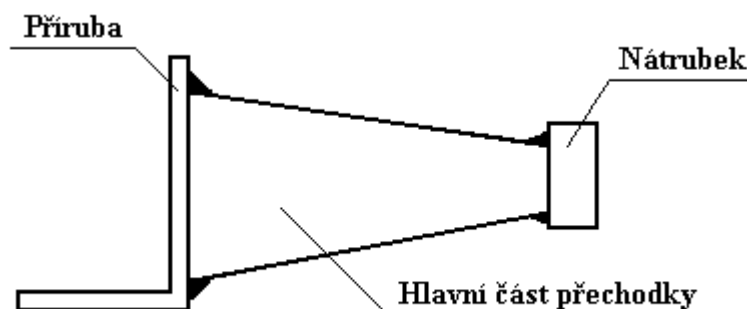
4.2.1 Technologický postup výroby přechodky

- Navržený výkres (Obr.11) hlavní části přechodky se překreslí pomocí rýsovací jehly, měřidla a důlčiku na nerezový plech tloušťky 1mm, zde je obzvlášť důležité aby se přesně obkreslili zvolené linie pro ohýbání a dodrželi tak úhly které svírají s okrajem plechu;
- Dále se vyřízne požadovaný tvar dle výkresu bruskou či frézou a provede se zbroušení a dopilování (sražení ostrých hran atd.);
- Nastaví se pevný úhel 198 na ohýbačce (Obr 13b), plech se upne mezi nože v ohýbacích liniích a plech se začne postupně ohýbat, tím vznikne základní tvar přechodky, na jedné straně průměr Ø40mm a na straně druhé 78x53mm;
- Nyní přejdeme ke konstrukci nátrubku, z kulatiny Ø65mm se na rámové pile uřízne délka 35mm, uříznutý materiál upneme do sklíčidla *soustruhu SV-18RA* (OP.10) a zarovná se čelo;
- Dále navrtáme navrtávacím vrtákem a podepřeme otočným hrotem, soustružíme Ø60mm v délce 21mm a vrtáme průměr Ø33mm;

- Soustružíme vnitřní průměr $\text{Ø}36\text{mm}$, $\text{Ø}40\text{mm}$ v délce 20mm a zápich v šířce 7,5mm o průměru $\text{Ø}50\text{mm}$ dle řezu výkresu (Obr.12);
- (OP.20) Výrobek otočíme a zarovnáme druhé čelo na délku 30mm, soustružíme vnější průměr $\text{Ø}60\text{mm}$ a $\text{Ø}40\text{mm}$ v délce 2mm, tímto nám vznikne hotová konstrukce nátrubku;
- Dále vytvoříme část příruby, dle výkresu (Obr.14), na tabulových nůžkách ustříhneme plech síly 3mm na rozměr 140x115mm, označíme díry $\text{Ø}7\text{mm}$ na přichycení ventilátoru a díry $\text{Ø}8\text{mm}$ pro přichycení na pracovní desku
- Následně vyfrézujeme obdélník 50x76mm a vyvrtáme označené díry
- Na ohýbačce provedeme závěrečný ohyb pod uhem 90°.

4.2.2 Sestavení přechodky

Vyhotovené dílce: hlavní část přechodky, nátrubek a přírubu sestavíme dohromady a zavaříme koutovým svárem jako je naznačeno na obrázku (Obr.15).



Obr. 15 : Schéma sestavené přechodky

Podle zvolené a dané síly materiálu se nastaví parametry svařování, svařování bylo provedeno pomocí svářečky FRONIUS-varioStar 457-2, použitý drát při sváření průměr $\text{Ø}1\text{mm}$ oz. OK Autrod 16,95 nerez, použité napětí 15,6V pod proudem 63A s rychlostí posuvu drátu 2,7m/min v ochranné atmosféře, použitý plyn ARGON, sváření pod tímto plynem je jedním z mála možných při svařování tohoto druhu materiálu jakým je nemagnetická nerez třídy 17.

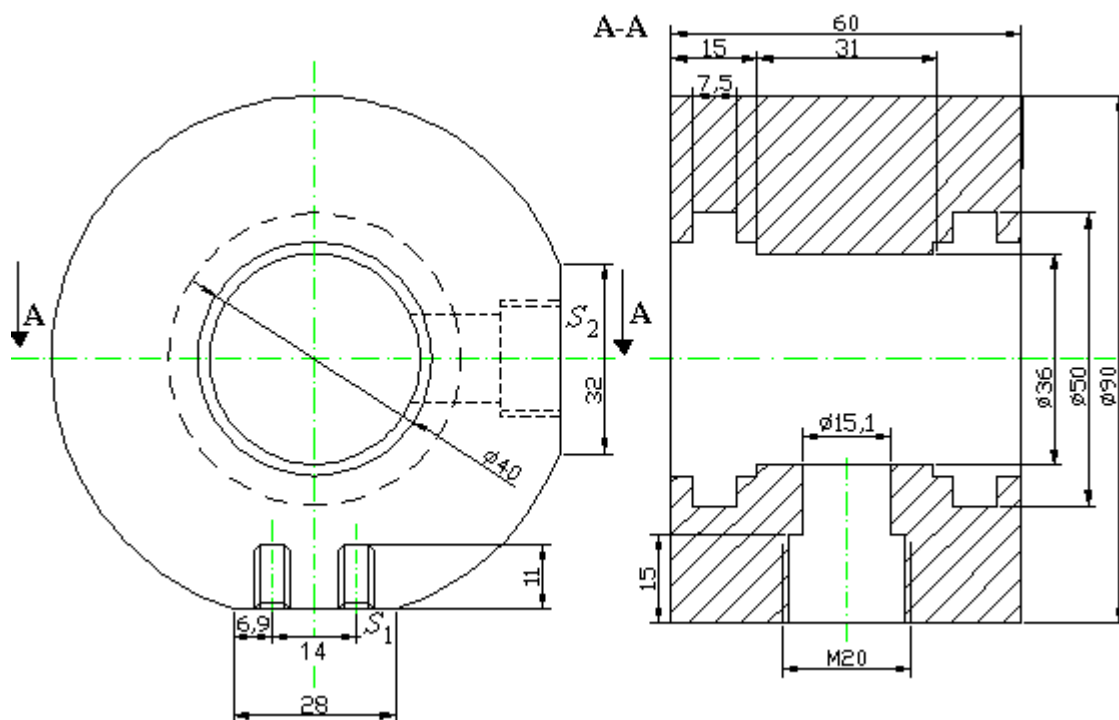
Na závěr se všechny venkovní sváry, zabrousí bruskou a zaleští leštícím kotoučem. Do části nátrubku se do již připraveného zápichu $\text{Ø}50\text{mm}$ vloží okroužek „o“ 50x40mm, který bude trubku velice pevně držet, ale stále bude možnost ji z přechodky vytáhnout a celou sestavu rozebrat.

4.3 Technický proces výroby držáků na čidla

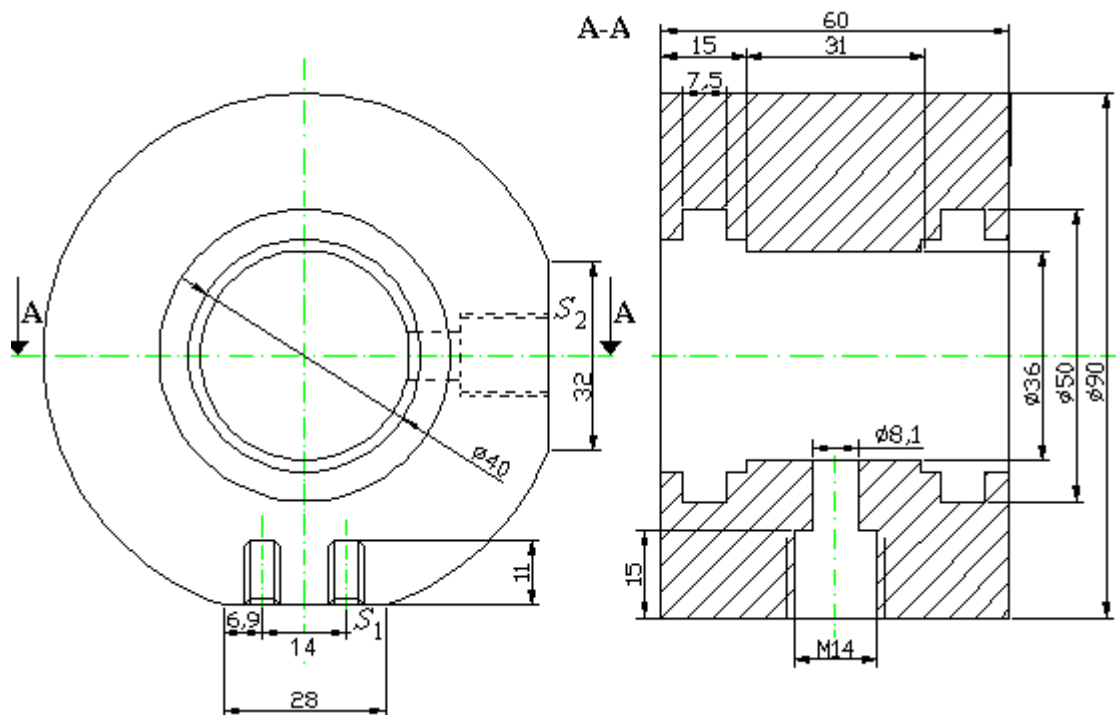
Při návrhu dílců držáků na čidla bylo nutné, aby do daných držáku bylo možné upnout senzory a následně nějakým mechanismem zajistit proti pohybu, samozřejmě bylo aby šli tyto senzory jednoduše vysouvat a měnit, případně upnutí senzoru nastavit jeho snímací část k určitému místu ve vnitřním průměru trubky. Řešením se stal návrh ve kterém by se dané části trubky rozřízly a oba konce by se do držáku uchytili opět přes „okroužek“ a tudíž by byli nadále rozebíratelné. I vzhledem k celé soustavě.

Materiál: Zvoleným materiálem se stal *Silon*, neboli jeho odbornější název Polyamid PA6, tento materiál vyniká svou tvrdostí, malým koeficient tření a vysokou únosností, dá se velmi dobře mechanicky opracovávat např. soustružením, frézováním, vrtáním a řezáním.

Návrh obou dílců pro zvolená čidla Anemometrické čidlo FVA915-S220 a Termoanemometrické čidlo FV A645-TH3 obě od firmy Ahlborn, byl opět nejprve realizován v kreslicím programu AutoCad, výchozími parametry při tomto návrhu byli vnější a vnitřní průměr trubky, který je po řadě $\varnothing 40\text{mm}$, $\varnothing 36\text{mm}$ a průměry čidel pro vsunutí, které jsou $\varnothing 15\text{mm}$ a $\varnothing 8\text{mm}$. Návrh výkresu prvního držáku na Anemometrické čidlo je zobrazeno na obrázku (Obr.16). Návrh výkresu na tvorbu druhého držáku pro Termoanemometrycké čidlo je na obrázku (Obr.17).



Obr. 16 : Technický výkres držáku na čidlo č.1



Obr. 17 : Technický výkres držáku na čidlo č.2

Výrobu těchto držáků byla realizována zejména na stroji: *soustruh SV-18RA* na kterém byli použity (OP.10): rámová pila; (OP.20): nůž vyhnutý 25x25, vrták Ø33mm, nůž vnitřní rohový 20x20, nůž zapichovací 20x20; (OP.30): stejné jako OP20 mimo vrtáku; a dalším náradím jako je fréza a závitník M6, M20.

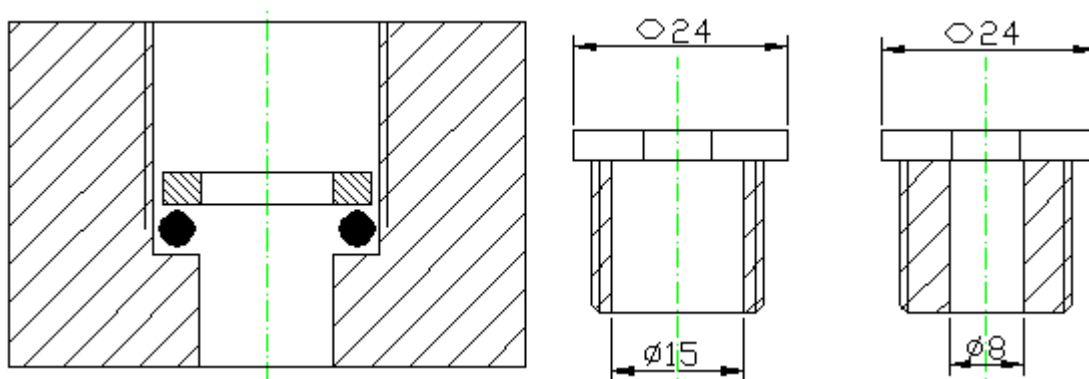
4.3.1 Technologický postup výroby držáků na čidla

- (OP10) Uřízneme na rámové pile silon Ø100mm, na délku 70mm;
- (OP20) na soustruhu SV-18RA upneme do sklíčidla a zarovnáme čelo;
- Navrtíme a podepřeme otočným hrotem, soustružíme Ø90mm v délce 60mm dále vrtáme průměr Ø33mm, soustružit vnitřní průměr Ø36mm v délce 47mm, Ø40mm v délce 15mm a zápich v šířce 7,5mm o průměru Ø50mm;
- (OP30) Výrobek otočíme zarovnáme druhé čelo na délku 60mm, soustružíme Ø40mm v délce 15mm a zápich v šířce 7,5mm o průměru Ø50mm;
- Následně odfrézujeme plochu S1 a vyvrtáme díry Ø4,8mm, do hloubky 11mm dle výkresu a vyřízneme závity M6;
- Výrobek pootočíme na fréze o 908, odfrézujeme plochu S2;
- Vrtáme Ø15,1mm v délce 27mm, dále v té samé ose vrtáme typem vrtákem „do dna“ Ø17,5mm do hloubky 15mm a vyřízneme závit M20.

- Tento postup zopakujeme i pro druhý držák se změnou: po odfrézování plochy S2 se vrtá namísto $\text{Ø}15,1\text{mm}$ průměr $\text{Ø}8,1\text{mm}$ v délce 27mm a místo $\text{Ø}17,5\text{mm}$ se vyvrtá $\text{Ø}14\text{mm}$ opět do hloubky 15mm a vyřízne závit M16;
- Na závěr na tabulových nůžkách ustříhneme 2x plech síly 3mm na rozměr plochy S1 140x115mm a navrtáme díry $\text{Ø}6$ dle výkresu, tyto plechy budou sloužit jako podložky při přidělení na pracovní desku pod držáky na ploše S1.

4.3.2 Systém uchycení čidel

Uchycení čidel je realizováno pomocí okroužku „o“, podložky a šestihraného šroubu, pro první držák na FVA915-S220 je použitý „o“ 15x19 pro druhý na FV A645-TH3 je „o“ 8x14. Systém uchycení je naznačen na obrázku (Obr.18). Jedná se v podstatě o princip: šroub se zatáhne dle závitu a natlačí podložku na okroužek, okroužek se vlivem tlaku roztáhne dle velikosti navrtané díry která je přesně na vnější velikost okroužku a tudíž se okroužek bude moci vlivem tlaku pouze smršťovat a tím zatáhne čidlo, které je vloženo skrz matku.



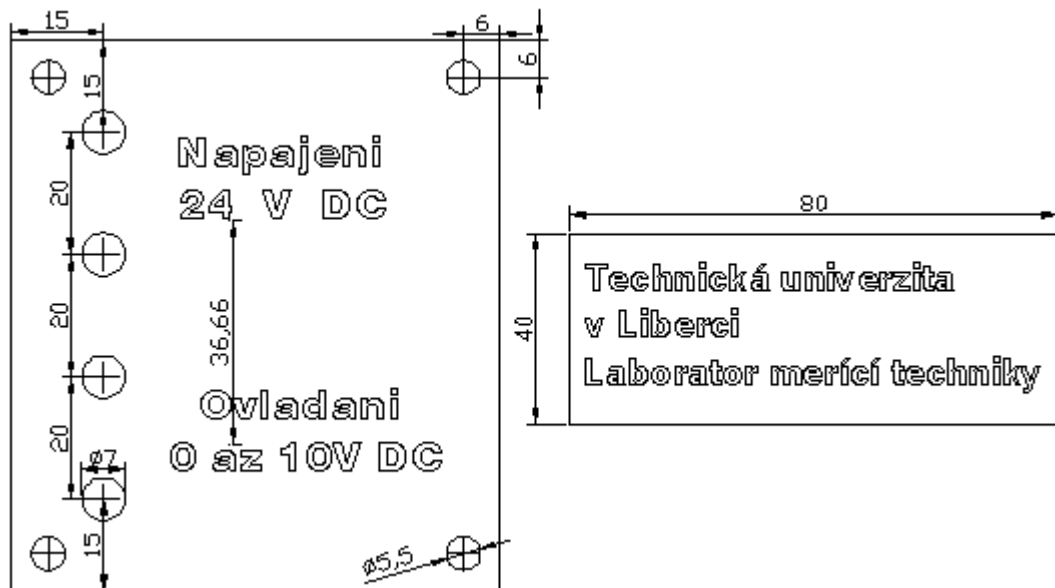
Obr. 18 : Nákres systému uchycení čidel



Obr. 19 : Fotografie držáku čidla

4.4 Destička pro napájecí konektory

Destička pro usazení napájecích konektorů „Banana“ je realizována externě pomocí obrábění laserem. Tato technologie patří v dnešní době mezi nejmodernější metody zpracování materiálu. Laserové obrábění je založeno na využití fotonové eroze, tj. rozkládání a odstraňování obráběného materiálu tepelnostním působením světelného záření. Nejdříve bylo nutné vyhotovit návrh destičky, tento návrh spolu s návrhem destičky štítku je vyobrazen na obrázku (Obr.20).



Obr. 20 : Technický návrh destičky pro konektory napájení

Na tomto obrázku je znázorněna předloha destičky pro usazení konektorů a předloha štítku. Tento návrh bylo opět nejdříve zpracován v programu AutoCad a poté převeden a vypálen pomocí laseru TRUMATIC L4330 viz ilustrativní fotky na obrázku (Obr.21), opět na nerezový plech tloušťky 1mm. Na přiložených fotografiích je zobrazen jiný právě probíhající proces řezání materiálu.



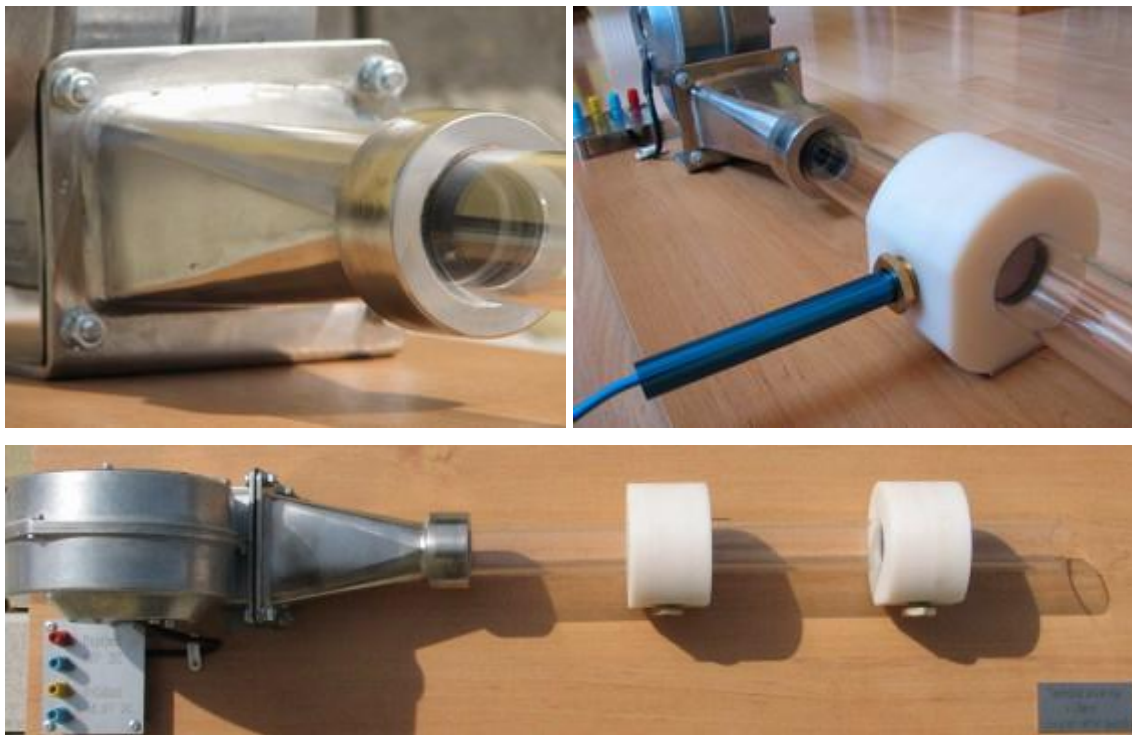
Obr. 21 : Laser TRUMATIC L4330 ilustrační fotka, řezání materiálu

Na zhotovenou destičku usadíme konektory „Banana“ a provedeme elektronické zapojení dle popisu destičky, tj. červený → +Un, modrý → -Un, žlutý → +Uřídící, modrý → -Uřídící. Na závěr osazenou a zapojenou destičku přiděláme na pracovní desku pomocí distančních sloupků, které byli opět vyhotoveny na soustruhu. Závěrečná část, hotová destička a usazení všech částí kompletního přípravku je na obrázku (Obr.22)



Obr. 22 : Destička pro napájecí konektory + zhotovený přípravek(ventilátor,přechodka)

Kompletně zhotovený přípravek usazený na pracovní desce, na které je ještě přilepen štítek a zesponu je opatřena gumovými nožičkami je zachycen na několika dalších fotografiích (Obr.23). Všechny technické výkresy v této kapitole, které byly na výrobu přípravku použity jsou obsaženy v příloze na CD, soubory *.dwg.



Obr. 23 : Přípravek pro testování senzorů rychlosti

5 Software pro sběr dat z datalogeru ALMEMO

Další součástí této práce je vytvoření obslužného softwaru pro sběr dat ze senzorů pomocí Datalogerů Almemo. Tento software byl realizován a vyvíjen v programovacím jazyku Object Pascal ve vývojovém prostředí Delphi 7. Komunikace s datalogery Almemo je realizována po sériové lince RS – 232, po které probíhá sběr dat připojených senzorů. Jedná o se univerzální datalogery společnosti Ahlborn, které využívají speciálních programovatelných ALMEMO konektorů. Dalším prvkem obslužného softwaru je ovládání počítačem řízeného laboratorního zdroje STATRON, který bude nastavovat řídicí napětí na ventilátoru. Komunikace je opět nastavována a řízena po seriové lince.

5.1 Datalogery ALMEMO

Univerzální měřicí systémy Alememo, které jsou vyvíjeny pod specializovanou firmou Ahlborn se sídlem v Německu. Jsou souborem speciálních mikroprocesorem řízených přístrojů s patentovanými programovatelnými konektory pro měření veškerých fyzikálních veličin. Všechny Almemo přístroje umožňují naměření hodnoty přenášet analogově přes rozhraní RS 232 do PC či rovnou na tiskárnu. Při měření v této práci jsem se setkal zejména s datalogery s označením A8390-2, jedná se o Univerzální převodník s LCD-displejem a vstup pro jedno ALMEMO-čidlo. Dále pak s označením A2690-8, tento dataloger je kombinovaný univerzální měřicí přístroj s 5 univerzálními vstupy pro ALMEMO-čidla a 2 výstupy (RS232), vnitřní paměť pro uložení až 100.000 naměřených hodnot v předvoleném časovém měřicím cyklu. Má k dispozici velký grafický víceřádkový displej pro zobrazení až třech kanálů.



Obr. 24 : Ukázka datalogerů ALMEMO a Patentovaného konektoru

Pro vytvořený softwaru je důležitá komunikace těchto datalogerů přes sériovou linku RS 232 a posílaný textový rámec naměřených hodnot, který bude v softwaru nadále zpracován. V následujících řádcích jsou stručně uvedeny nastavovací rámce pro datalogery, které jsou v daném softwaru využity a je s nimi nadále pracováno jak v aplikaci tak u samotných datalogerů (důležitost velkých/malých písmen).

<u>Nastavení přepočítávacího kurzu:</u>	<u>Příkaz pro nastavení datalogeru:</u>
Conversion rate 2.5 M/s	<i>f5k0</i>
Conversion rate 10 M/s	<i>f5k1</i>
Conversion rate 50 M/s	<i>f5k7</i>
<u>Nastavení formátu výstupních dat:</u>	
V uceleném formátu (včetně označení senzorů)	<i>N0</i>
V jednoduchém formátu (pouze měřené hodnoty kanálů)	<i>N1</i>
V tabulkovém formátu (formát přednastavené tabulky)	<i>N4</i>
<u>Identifikace připojeného datalogeru:</u>	
Rámec identifikace verze Datalogeru (bez paměti)	<i>t0</i>
<u>Vymazání Paměti:</u>	
Vymazání obsahu paměti Datalogeru (včetně měřených hodnot)	<i>f1C04</i>
<u>Spuštění zasílání rámce:</u>	
Dataloger zašle jeden cyklus naměřených hodnot	<i>s</i>
Příkaz spustí posílání naměřených hodnot (v cyklu dle CR)	<i>f5k5S2</i>
<u>Ukončení komunikace:</u>	
Příkaz ukončí posílaný cyklus	<i>X</i>

Nastavení datalogerů pomocí příkazu je nadále nepřehledné množství, jako je nastavení např. konkrétní měřicí hodnoty, maximální snímané hodnoty, minimální snímané hodnoty, nastavení alarmů na snímanou hodnotu atd. zde jsem vybral pouze příkazy, které jsou použity v daném softwaru. S nastavením dalších příkazů se lze setkat na pramenu [10] či v datasheetu dodávaných datalogerů.

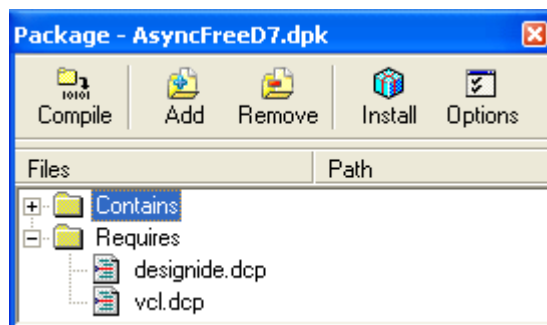
5.2 Aplikace Měření rychlosti proudění vzduchu

Vytvořená aplikace pro zpracování měřených dat je realizována ve vývojovém prostředí Delphi 7. V této kapitole je podrobně popsáno uživatelské prostředí, včetně uvedených útržků psaného kódu k realizaci dané funkce. Aplikace je součástí přílohy na CD, kde jak spouštěcí soubor aplikace s příponou *.exe tak i zdrojové soubory delphi s příponami *.dpr (Zdrojový text vlastního projektu), *.dcu (soubor překladu programových jednotek projektu), *.dfm (soubor formuláře), *.pas (Zdrojové texty jednotek obsažených v programu).

5.2.1 Úvod do Delphi , instalování komponent

Delphi je takzvaný RDA nástroj, jehož součástí pro vývoj programu jsou obsaženy v přehledném programovacím prostředí. Hlavní část programování tvoří rozhraní , které se stává s komponent s danou základní funkčností. Základem prostředí je programovací jazyk Object pascal, který má jasnou a přehledně definovanou strukturu stávající se z procedur a funkcí, podrobněji v literatuře [14] a [15]. Všechny standardní komponenty, které jsou součástí Delphi 7 a byli použity v této aplikaci, zde není potřeba rozebírat. Ale do aplikace byli doinstalovány další komponenty ze kterými je pracováno a je na ně kladen vysoký důraz při tvorbě programu. Těmito komponentami jsou : balík komponent AnsyncFree, pomocí, které je programována komunikace sériového portu přes AfComPort, AfDataDispatcher a velice důležitou komponentu AfDataTerminal. Dalšími přidanou komponentou, která je součástí balíku Almemo a zajišťuje roztřídění kanálů posílaných dle textového rámce je komponenta shDataSet.

V následující řádcích je popsán postup instalace přidané komponenty. Ve složce se soubory nové komponenty se vybere soubor s příponou *.dpc (jedná se o instalační (pouzdro komponenty), tento soubor se otevře (tím se spustí Delphi a v něm okno pro instalaci nové komponenty) jak je uvedeno na obrázku (Obr.25).



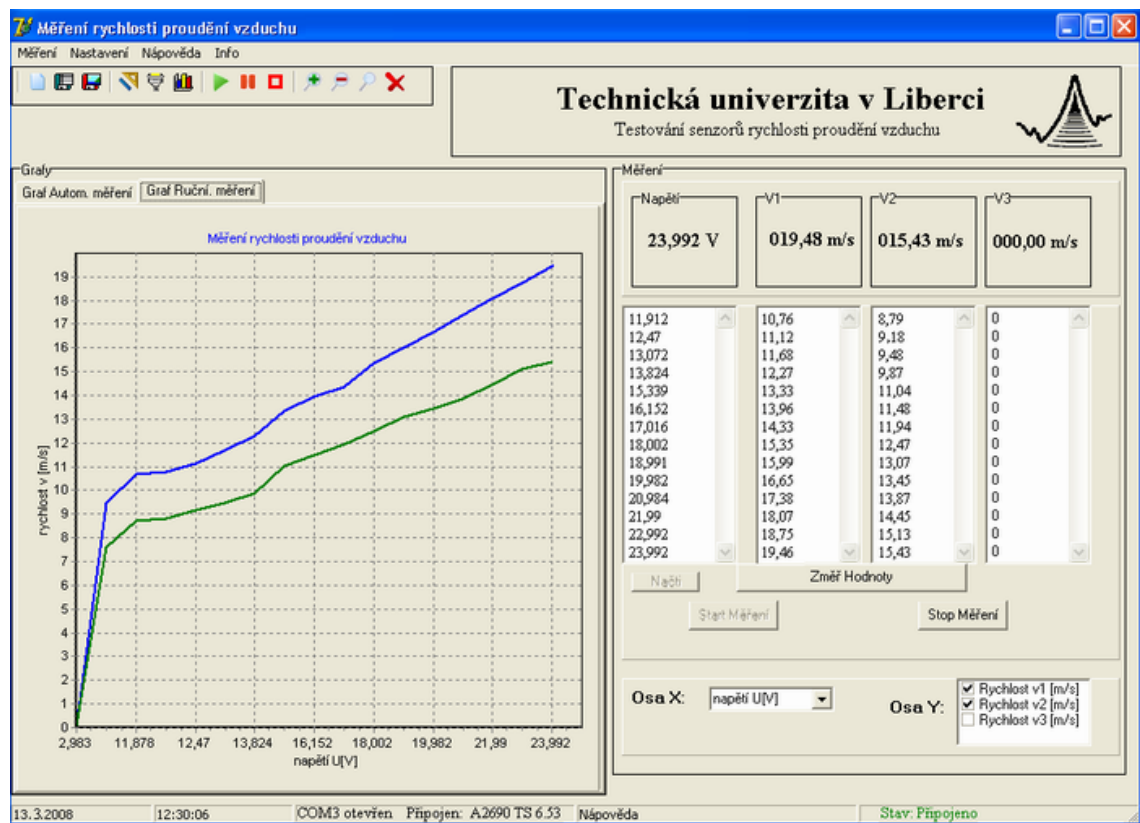
Obr. 25 : Instalace nové komponenty

V tomto okně je důležité, aby pod záložkou „Contains“ byl uveden seznam Unit daných komponent které obsahuje balík pouzdra komponenty (*.dpc), pokud by v této záložce nějaká komponenta chyběla je možné ji přidat tlačítkem „Add“, či pokud bychom nechtěli z balíku nějakou komponentu instalovat pak ji lze odebrat „Remove“. Následně komponenty nainstalujeme „Instal“ po zahlášení informačního okna, že instalace proběhla v pořádku, potvrdíme „Compile“ a pod „Options“ by se měla objevit další položka přidané komponenty a tím by měla být komponenta nainstalována.

Poznámka: Po následné instalaci a použití nové komponenty se mi několikrát stalo, že po zkompilování programu v němž je nová komponenta použita se objeví hláška o nedostupnosti knihovny nové komponenty. Zde je nutné se v hlavním okně delphi otevřít položku „Tools→Environment Options“ a pod záložkou „Library“ „Directories Library Path“ přidat cestu k nadřazené složce zdrojovým souborům přidané komponenty.

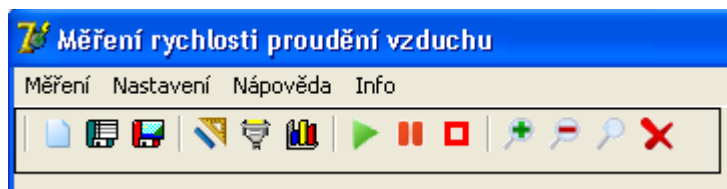
5.2.2 Uživatelské rozhraní Aplikace

Na následujícím obrázku (Obr.26) je zobrazeno základní uživatelské prostředí programu pro sběr dat z datalogeru Almemo. Program je v zásadě dělen na automatické a ruční měření snímaných hodnot, kdy k naměřeným hodnotám je vždy adekvátní graf.



Obr. 26 : Aplikace Měření rychlosti proudění vzduchu

V horní části programu se nachází „menu“, které obsahuje téměř všechny nadřazené funkce programu, jako je ukládání naměřených hodnot a grafů, či otevření nastavení programu a nápovědy. Pod přístupem k položkám menu je nástrojová lišta (ToolBar), která je na obrázku (Obr.27). Jsou zde sdružovány hlavní položky menu a ovládací prvky měření pro rychlý přístup k položkám a funkcím programu jako je spuštění, zastavení měření, dále zvětšení grafu či mazání nechtěné naměřené hodnoty.



Obr. 27 : Menu a Nástrojová lišta programu

Po najetí myši na některou z ikon v toolbaru se objeví nápověda funkce ikony.

Výpis hlavních záložek v nabídce menu:

Nabídka **Měření** obsahuje tyto položky:

- *Nový* : vytvoří nové měření (tj. vymaže grafy a tabulky, pokud jsou naměřené hodnoty a neuložené změny a pak uživatele informuje o neuložení);
- *Uložit Hodnoty* : uloží naměřené hodnoty jenž sou aktuálně zpracovávány do souboru (nabídka souboru typu *.csv či *.txt);
- *Uložit graf* : uloží aktuálně vybraný naměřený graf do souboru (*.bmp).

Nabídka **Nastavení** obsahuje tyto položky:

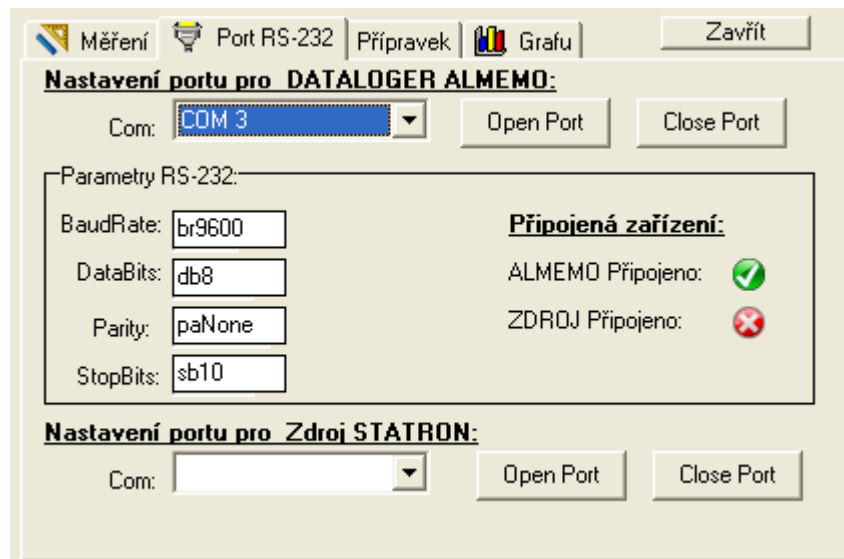
- *Měření* : Zobrazí nabídku pro nastavení měření;
- *Port RS 232* : Zobrazí nabídku pro nastavení a otevření portu;
- *Přípravek* : Zobrazení zapojení přípravku pro testování senzorů;
- *Grafu* : Zobrazení nastavení grafů (parametry např. Max, Min, Increment).

Výpis položek v **ToolBaru**, obsahuje rychlý přístup k položkám: Nový, uložit hodnoty, uložit graf, nastavení měření, nastavení portu, nastavení grafu. Dále jsou zde položky :

- *Run* : Spustí měření v aktuálně se nacházejícím režimu měření (automatické/ruční);
- *Pause* : Pozastaví měření (lze použít jen automatického měření u ručního není třeba);
- *Stop* : Zastavení měření a komunikace s Datalogery;

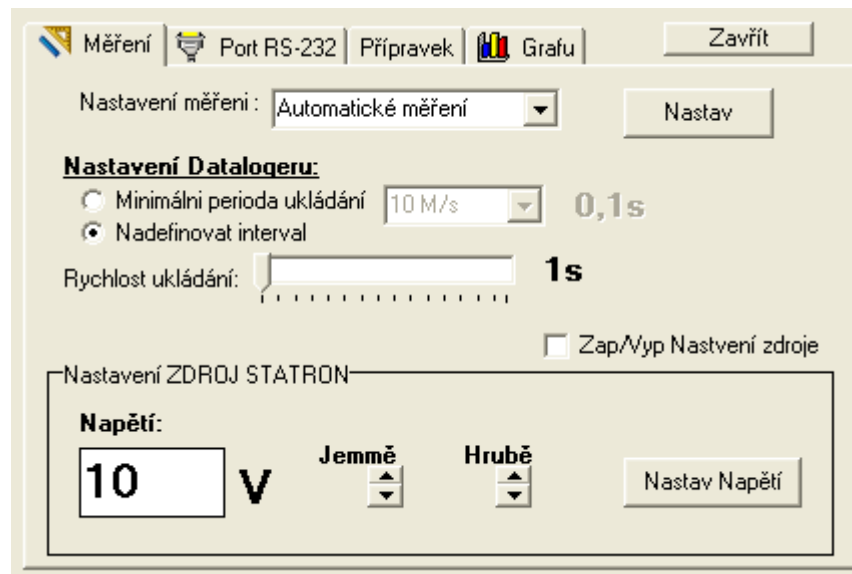
- *Zoom In, Zoom Out* : přiblížení/oddálení zobrazené části v grafu;
- *Smaž* : smaže poslední naměřenou hodnotu (např. při nechtěném odečtení).

Okna položek nastavení:



Obr. 28 : Nastavení portu

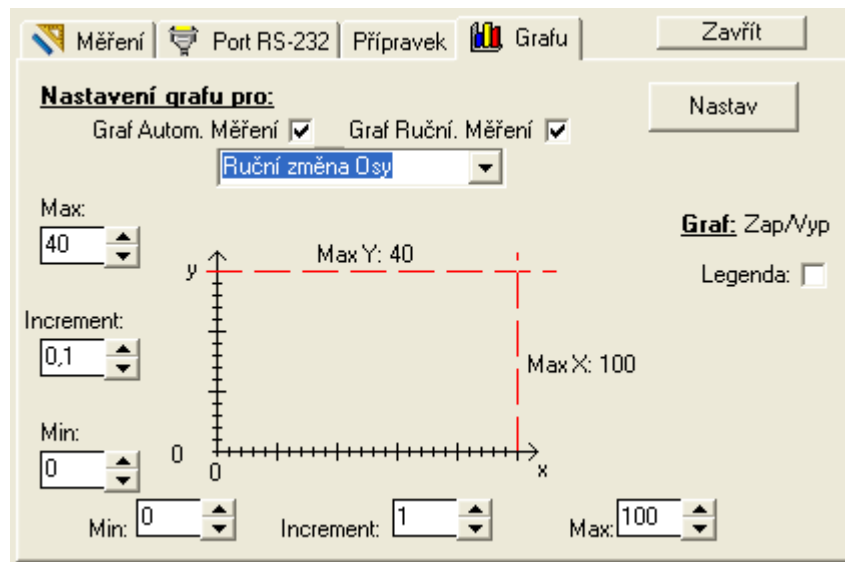
V záložce nastavení portu RS-232 obrázek (Obr.28), se provádí připojení komunikace portu přes Com DATALOGER ALMEMO a Com Zdroj STATRON, dále je zde uvedené nastavení přenosu jako je Baudrate, Databits, Parity, StopBits. Taktéž je tu indikace připojeného zařízení.



Obr. 29 : Nastavení měření

Pod záložkou nastavení měření obrázek (Obr.29) se nastavuje Dataloger a jeho interval měření dle (přepočítávacího kurzu, kapitola 5.1), dále je zde nastavení intervalu pro snímání automatického měření a ukládání do tabulky v rozsahu 1 až 60 sekund.

Hlavní částí tohoto nastavení je „Nastavení ZDROJ STATRON“ kde lze nastavit Napětí, které bude přes sériovou linku posíláno a nastaveno na počítačem řízeném laboratorním zdroji. Hodnota napětí od 0 do 10 V s jemným či hrubým seřizováním. Po nastavení napětí se spustí zpoždovací čas který po 5 s odečte hodnoty rychlosti proudění.

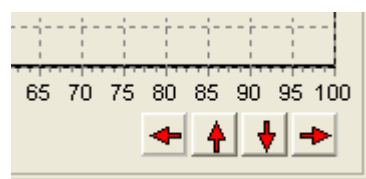


Obr. 30 : Nastavení grafů

Pod záložkou nastavení grafu (Obr.30) je možnost vybrání, aby graf byl nastavován automaticky (hodnoty maxima a minima až dle naměřených hodnot) či vybrání nastavení ruční změny osy. Toto nastavení je pak dle nastaveného ilustrativního obrázku, který se překresluje dle ručně nastavených hodnot Max a Min na vertikální a horizontální ose. Toto ruční nastavení je zejména vhodné pro měření více hodnot s vysokou rychlostí snímání, jelikož má graf pevně stanovené rozmezí a tudíž se tak rychle nemění hodnoty os, což při automatickém nastavení je dosti nečitelné z důvodu rychle změny. Dále je zde možnost zapnutí a vypnutí legendy grafu.

Ovládací prvky grafu:

Kromě již zmíněného přibližování a oddalování zobrazené části grafu, jsou k možnosti posuvu grafu dále implementovány řídicí prvky grafu, viz obrázek (Obr.31). Tyto prvky jsou vždy dokovány k pravé části grafu.



Obr. 31 : Ovládání posuvu grafu

5.2.2 Programování Aplikace

V této části jsou uvedeny vybrané části problémů v dané aplikaci a nástin jejich řešení, dále jsou zde uvedeny části realizovaného kódu. Z důvodů omezení velikosti publikovaného kódu, který pokud by zde celý zabral spoustu místa jsou uvedené kódy omezeny pouze na příkazy, které se v dané proceduře či funkci vyskytují a jsou hlavní částí řešeného problému.

Pro spuštění a navázání komunikace s datalogery, bylo nutné daný dataloger identifikovat a nastavit mu posílaný formát rámec, který bude posílat. Tento rámec bude nastaven tak, aby se v něm vykytovalo i označení daných senzorů podle kterých bude příchozí textový rámec filtrován.

```
AfComPort1.WriteString('N0'); //nastaví formát posílaného rámce;  
AfComPort1.WriteString('f5k1'); //nastaví rychlost posílaných dat ;  
AfComPort1.WriteString('t0'); //poslání identifikace připojeného datalogeru.
```

Pro filtrování příchozího textového rámce bylo využito komponenty AfDataTerminal, jehož procedura zajišťuje čtení příchozí dat, jedná se o Events komponenty NewLine, která je volána s každým dalším příchozím řetězcem, filtrování příchozích stringů, je zajišťováno příkazem Copy(radek,0,11), který od nulté pozice znaku vrací jedenáct znaků s příslušného řetězce radek. V uvedené proceduře jsou pak hlavní příkazy:

```
procedure TForm1.AfDataTerminal1NewLine(Sender: TObject; Line: Integer);
```

```
begin
```

```
  AfDataTerminal1.MaxLineLength := 80; // nastavení maximální délky řetězce
```

```
  radek := AfDataTerminal1.BufferLine[AfDataTerminal1.bufferlinenumber];
```

```
  if (radek='')then StatusBar1.Panels[4].Text:='Stav: NEAKTIVNI! ';
```

```
  Almemo.Time:=Copy(radek,0,11);
```

```
  Almemo.Senzor:=Copy(radek,28,6);
```

```
  if (Almemo.Senzor='S220') or (Almemo.Senzor='S240') then
```

```
    Almemo.Kanal:=Copy(radek,18,6) else if (Almemo.Senzor='D2.6') then
```

```
    Almemo.Kanal2:=Copy(radek,18,6)
```

```
  Atd.
```

Následné filtrování příchozích textových řetězců je pak dle Almemo.Senzor, který obsahuje právě označení senzoru pro na měřenou a poslanou hodnotu v jednom snímání. (což je v tomto nastavení 0,1 krát za 1 sekundu)

Dalším problémem, který se u komunikace datalogeru vyskytuje je že užívá místo desetinné čárky desetinou tečku a to při konverzi např. StrToFloat okamžitě vyvolá výjimku. Příkladem řešení je, že v načteném rámci najdeme pozici tečky a nahradíme ji desetinou čárkou příkazem Pos()

```
while pos('.',Almemo.Kanal) > 0 do Almemo.Kanal[Pos('.',Almemo.Kanal)]:= ',';
```

Tento příkaz zjistí zda je textovém řetězci Almemo.Kanal desetinná tečka a pokud ano a je tato pozice větší než 0 tak ji nahradí desetinou čárkou.

V proceduře AfDataTerminal1NewLine může nastat vyvolání výjimky, kdy Buffer Data Terminálu zahlásí Error (z důvodu např. nesprávného načtení celého rámce), tato výjimka by vedla ke zhroucení celé aplikace a tudíž je jí nutno ošetřit:

```
if AfDataTerminal1.BufferLine[line] = 'ERROR' then begin
```

```
    AfComPort1.WriteString('X'); // zastaví komunikaci Datalogeru
```

```
    AfComPort1.WriteString('f1C04'); // smaže paměť Datalogeru
```

```
    AfComPort1.WriteString('f5k5S2'); // opět obnoví komunikaci a zasílání cyklu
```

```
end;
```

Na závěr této procedury je nutné daný buffer vymazat pro možnost nového načtení příkazem:

```
AfDataTerminal1.ClearBuffer;
```

Další hlavní otázkou, kterou bylo nutné se zabývat, je aby šlo načtené rámce ukládat do tabulky a vykreslovat do grafu. Toto řešení bylo realizováno právě prostřednictvím komponenty shDataSet ve které se vytvořili položky Senzors a celá komponenta shDataSet se spárovala s tabulkou StringGrid a grafem Chart. Následné plnění tabulky je pak realizováno:

```
DataTabulka:=FloatToStr(Cas) + ' ; '+Almemo.Kanal+ ' ; '+Almemo.Kanal2+ ' ;  
'+Almemo.Kanal3+' ; '+Almemo.Napeti;;
```

```
shDataSet1.AddValues(DataTabulka,',',Auto_Ukladani);
```

Následné vytvořené senzory jsou pak plněny proměnou DataTabulka, kdy středníky slouží jako oddělovače jednotlivých senzorů.

Práce s osami grafu je realizována právě pomocí komponenty shDataSet pro horizontální osu je utvořena procedura pro komponentu ComboBox a je realizována kódem: **for** I := 0 **to** DataSet.Senzors.Count -1 **do**

```
CB.Items.Add(DataSet.Senzors[I].Title);
```

```
if DataSet.Senzors.GetXSenzor <> nil then CB.ItemIndex :=
```

```
DataSet.Senzors.GetXSenzor.Index else CB.ItemIndex := 0;
```

Pro vertikální osu grafu je pak obsluha pro skrze CheckListBox realizována kódem:

```
CLB.Clear;
```

```
for I := 0 to DataSet.Senzors.Count -1 do
```

```
  begin
```

```
    CLB.Items.Add(DataSet.Senzors[I].Title);
```

```
    CLB.Checked[I] := DataSet.Senzors[I].ShowInChart;
```

```
  end;
```

Závěrečným zde uvedeným výčtem kódu je ukládání naměřených hodnot zanesených do tabulky (případně do Memo, pro ruční měření). Pokud se jedná o uložení hodnot z tabulky StringGrid (tedy automatického měření) pak je řešením následující část kódu:

```
if SaveDialog1.Execute then
```

```
if SaveDialog1.FilterIndex = 1 then //pokud je vybrán formát souboru *.csv
```

```
shDataSet1.StringToFile(shDataSet1.ValuesAsString(#13+#10,',';true),
```

```
SaveDialog1.FileName) else //provede se uložení s oddělovači „;” pokud je else uloží ve formátu *.txt
```

```
shDataSet1.StringToFile(shDataSet1.ValuesAsTableString, SaveDialog1.FileName);
```

Pokud se jedná o uložení hodnot z ručního měření, tedy v komponentách Memo je realizováno uložení :

```
if SaveDialog1.Execute then begin AssignFile(F,savedialog1.FileName); Rewrite(F);
```

```
try
```

```
Writeln(F,ZnX+';V1[m/s];V2[m/s];V3[m/s]'); //provede uložení popisu sloupců
```

```
for i:=0 to MemoV1.Lines.Count do begin //uloží do souboru hodnoty měření
```

```
  MTime:=MemoTime.Lines.Strings[i];
```

```
  V1:= MemoV1.Lines.Strings[i];
```

```
  V2:= MemoV2.Lines.Strings[i];
```

```
  V3:= MemoV3.Lines.Strings[i];
```

```
Writeln(F,MTime+';'+V1+';'+V2+';'+V3+';'); //zkompletuje hodnoty měření dle *.csv
```

```
end;
```

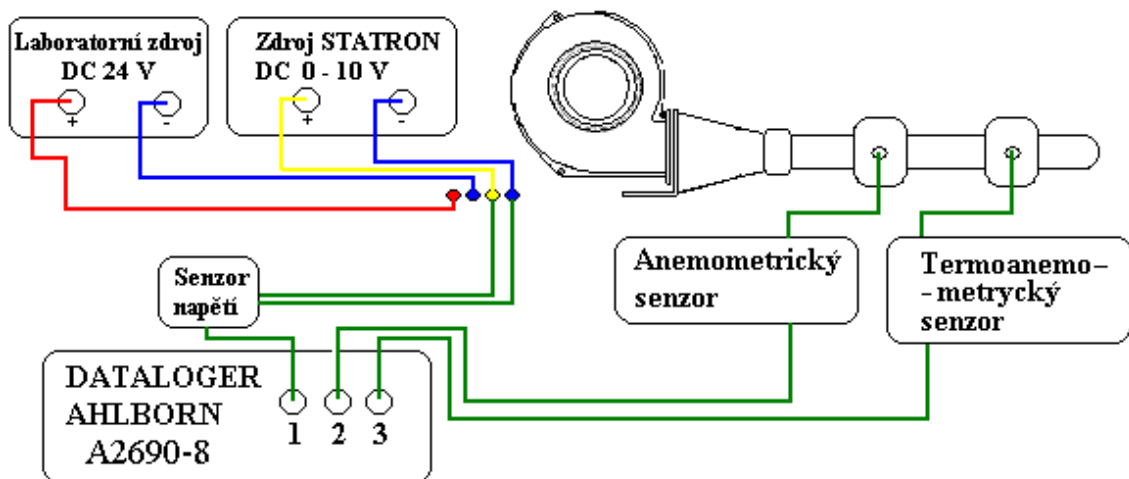
```
finally CloseFile(F);
```

Uvedené části programování v této kapitolo jsou nástinem, použitého řešení na dané problémy. Snažil jsem se zde uvést ty nejzajímavější, použité při programování aplikace Měření rychlosti proudění. Dalšími problémy,řešeními, kterými jsem se při programování setkal jsem čerpal se zdrojů [14] a [15].

6 Praktické odzkoušení realizovaného přípravku, Naměření úlohy

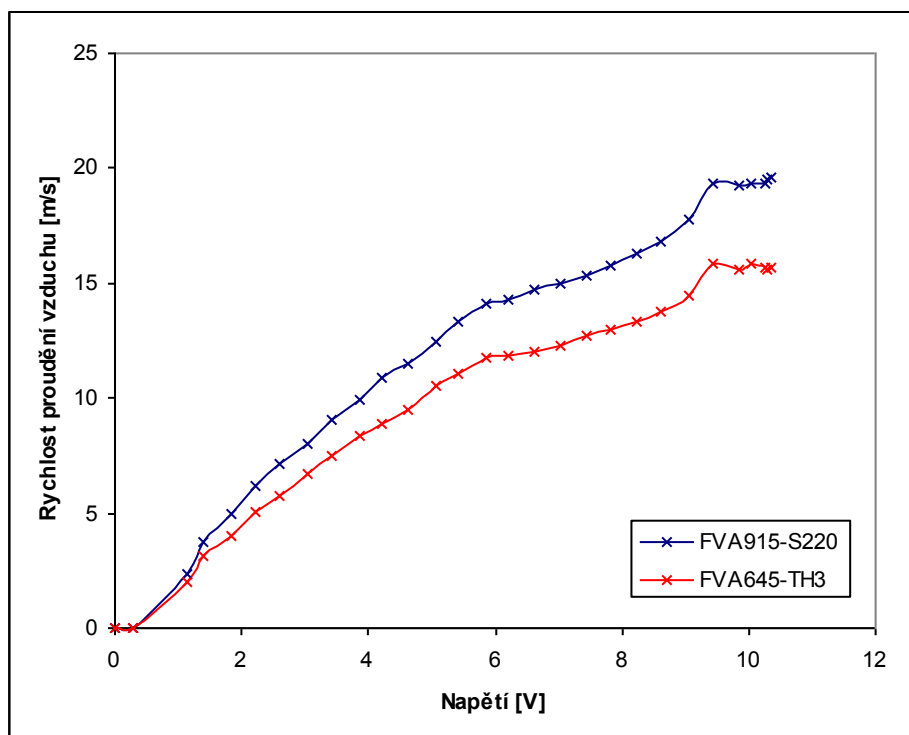
V této kapitole je uvedeno praktické odzkoušení přípravku a realizovaného softwaru. Je zde naměřena úloha pro testování měřících senzorů FVA915-S220 a FVA645-TH3. Úloha je zpracována pro naměření dynamické charakteristiky ventilátoru G1G120AB67-02, jeho závislosti na napájecím a řídicím napětí. Sběr naměřených hodnot z datalogeru Almemo je realizován pomocí vytvořeného softwaru: Měření rychlosti proudění vzduchu.

Měření rychlosti vzduchu v závislosti na řídicím napětí ventilátoru. Pro úvodní praktické odzkoušení přípravku provedeme měření rychlosti proudícího vzduchu, kdy bude na napájecím napětí ventilátoru přivedeno DC napětí 24V a na řídicí napětí bude postupně přiváděno napětí v rozsahu 0 až 10 V. Jednotlivé projevy zvýšení proudění vzduchu bude snímáno pomocí softwaru v režimu v ruční měření a bude zaznamenáno řídicí napětí (pomocí naprogramovaného ALMEMO-konektoru ± 26 V DC, který bude pracovat jako senzor řídicího napětí na ventilátoru) v závislosti na rychlosti proudění od senzorů FVA915-S220 a FVA645-TH3. Přípravek bude zapojen dle načrtnutého schématu (Obr.32)



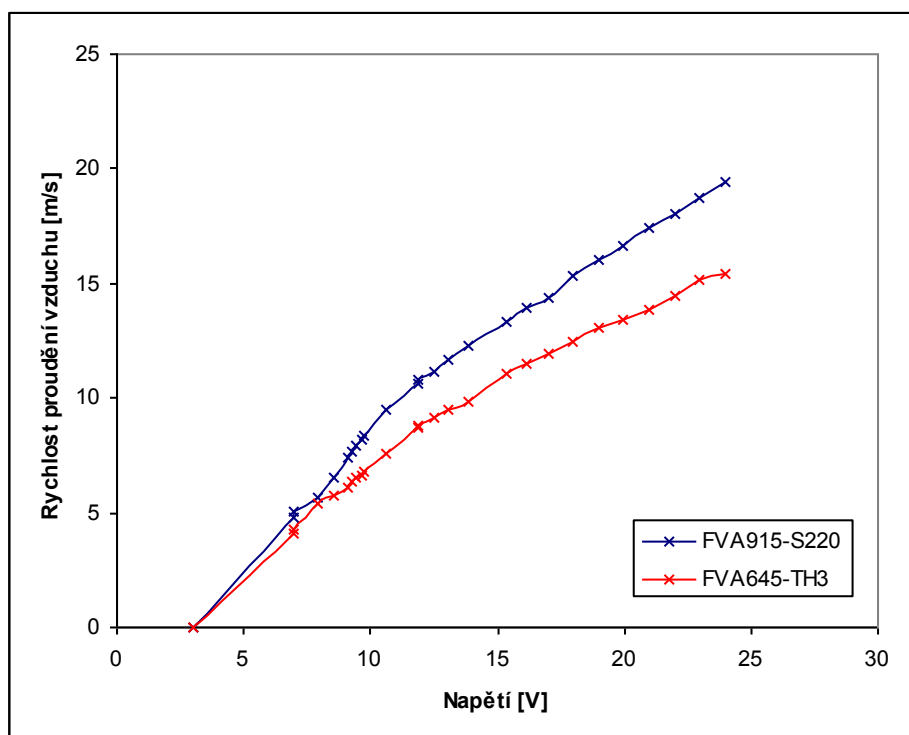
Obr. 32 : Zapojení měřené úlohy

Při měření závislosti na řídicím napětí ventilátoru, bylo postupně nastavováno řídicí napětí s krokem 0,4 V a odečteny hodnoty rychlosti proudění pomocí softwaru, následně vykreslený graf je závislosti řídicího napětí na rychlosti a je uveden na obrázku (Obr.33)



Obr. 33 : Graf rychlosti proudění v závislosti na změně řídicího napětí

Měření rychlosti vzduchu v závislosti na napájecím napětí ventilátoru. Při tomto měření bude zapojení čidel stejné, pouze senzor napětí se přehodí pro sledování změny napájecího napětí. Na řídicí napětí se přivede trvale 10V a napájecí se proměří s krokem 0,4 V od 0 do 24 V. V počátku se projeví rychlý náběh ventilátoru vlivem odběru proudu.



Obr. 34 : Graf rychlosti proudění v závislosti na změně napájecího napětí

Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce byla konstrukce přípravku pro testování senzorů rychlosti. Tento přípravek bude sloužit pro podporu výuky předmětu Měřicí technika 2. Samotná práce je koncipována jak na výrobu fyzické části tak i na části vytvoření softwaru pro sběr a ukládání naměřených dat.

V této publikaci bakalářské práce jsem se pokusil postupovat při psaní jednotlivých kapitol přesně tak, jak jsem se zabýval jednotlivými částmi během celé práce. Tj. přes počáteční studium problematiky měření rychlosti proudění a přístrojů měřicí techniky, až k samotné fyzické realizaci přípravku, kde bylo zprvu docela obtížné najít vhodný ventilátor, který by odpovídal daným předpokladům. V této části úkolu jsem fyzicky i pomocí matematických výpočtů proměřoval dva typy ventilátorů a seznámil jsem se tak podrobně s jednotlivými přednostmi a nedostatky daných provedení. Dalším navazujícím úkolem bylo na daný ventilátor vytvořit vhodnou přechodku. V této části byli vytvořeny celkem tři přechodky, první byla koncipována na prvotní testovaný ventilátor, který však po proměření uznal za nevhodný. Další přechodka byla jakýmsi předchůdcem již použité a finálové přechodky, jednalo se o prvotní prozkoušení a určení vhodného tvaru pro přechodku, která nesměla uvedený ventilátor nijak více omezovat. Taktéž bylo nutné při výrobě této zkušební přechodky zjistit praktické možnosti realizace návrhu a dostupnost technických možností pro výrobu. Při konstrukci přípravku jsem se setkal s technologickým návrhy a postupy, jako je tvorba technických výkresů, soustružení, ohýbání, svařování, frézování atd. Při tvorbě přípravku byla použita i jedna z nejmodernějších metod obrábění (řezání) materiálu a tj. pálení laserem, pomocí kterého byl realizován návrh destičky pro usazení konektorů.

Po konstrukci přípravku bylo dalším úkolem vytvoření softwaru pro sběr naměřených dat pomocí přenosu na sériové lince. V této části jsem se setkal blíže s problematikou datalogerů Almemo a jejich komunikace, při samotné tvorbě softwaru jsem se pokoušel klást vysoký důraz na to, aby tato aplikace byla psána s ohledem na volnost uživatele. Tedy tak aby měl možnost použití jakéhokoliv datalogeru a nemusel být omezen pořadím, ve kterém zapojí jednotlivá čidla. Samozřejmě pokud bude použit dataloger, který při psaní aplikace nebyl odzkoušen a tudíž není zanesena do programu jeho identifikace pak se bude tento dataloger v programu hlásit jako neznámý přístroj, ale i tak byl měl naprosto v pořádku komunikovat a naměřit uvedou úlohu.

Pokud můžu zhodnotit další využití vyrobeného přípravku, pak se nabízí zejména přípravek rozšířit o další typy testovaných senzorů. V technologické části jsem se pokusil dopodrobna nastínit výrobu držáků na dané senzory, v elektronické formě jsou taktéž dostupné technické výkresy. A tudíž výrobou dalších držáku na nové senzory, pak bude použití přidaných testovaných senzorů velice jednoduché, jelikož je celý přípravek konstruován tak, aby byl celkově rozebíratelný lze nově vyrobené držáky lehce zaměnit za stávající a tím úlohu přípravku rozšířit o další senzory. Při výrobě nových držáku je důležité, aby se nezapomnělo na podložky pod držáky, které jsou konstruovány z nerezového plechu síly 3mm, tyto podložky zajišťují, aby soustředná osa průměru trubice a držáku byla v rovině jak s konstruovanou přechodkou tak i vyústí ventilátoru. A umožnilo tak proudícímu vzduchu co nejrovnější dráhu přenosu, tedy i minimalizaci jeho ztrát.

Možnosti další využití softwaru už jsou trochu omezenější. Obecně a čistě teoreticky lze daný software použít i na jiné typy úloh, kde realizován sběr dat pomocí datalogerů řady Almemo. Ovšem pro takovou to úlohu je nutné daný program upravit, zejména dodělat identifikaci nových čidel (senzorů) a zaměnit jednotky ve kterých je následné měření a jeho vykreslování charakteristik realizováno.

Při prvotním odzkoušení vytvořeného přípravku a naměření zkušební úlohy jsem se nesetkal s žádnými problémy, senzory šli jednoduše do přípravku uchytit a zajistit. Připojení ventilátoru ke zdroji napájení bylo díky realizované destičce s vyvedenými konektory přehledné a snadné. Následné naměření charakteristik ventilátoru bylo při první úloze dle očekávání a předpokladů. Ventilátor se rozeběhnul již při hodnotě řídicího napětí 1,3V. V druhé úloze vykazoval ventilátor prudkou změnu při rozeběhnutí a nastavené hodnotě 7,9 V začalo na ventilátoru samovolně zrůstat vlivem rozběhového proudu napětí na 10,6 V. Řešením pro ošetření tohoto jevu je na zdroji napájecího napětí pro ventilátor nastavit omezovač proudu tak, aby ventilátor nemohl samovolně odebrat potřebný proud pro rozběh vyšší než je nastavená hodnota.

Literatura

- [1] Ježek J., Váradiová B., Adamec J., *Mechanika tekutin*. 3. vydání, Praha: Vydavatelství ČVUT 2000
- [2] Nožička, J. *Mechanika tekutin*, Praha: Vydavatelství ČVUT 2004
- [3] Fyzikální veličiny, materiálové konstanty(rychlost zvuku). [cit 1.4.2008]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Rychlost_zvuku>
- [4] Ďaďo S., Bejček L., Platil., *Měření průtoku a výšky hladiny*, Praha: Technická literatura BEN 2002,
- [5] Mechanika tekutin(Proudění). [cit 1.4.2008]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Stacionární_proudění >
- [6] Pícha B. Aerodynamika nízkých a vysokých rychlostí, Vysoká škola strojní a textilní v Liberci ,1987. s. 23-24
- [7] Brázda A., Jenčík J., *Technická měření*, ČVUT 1996
- [8] Jelínek J. *Přednášky z předmětu Měřicí technika*. Zimní semestr 2007 / 2008
- [9] Větrání a klimatizace, tabulkové výpočty a technické normy(průtok vzduchu). [cit 1.4.2008] . Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/>>
- [10] Ahlborn senzors, Data sheet, (EN),(DE). [cit 1.4.2008]. . Dostupné z: <<http://www.ahlborn.com>>
- [11] Odborné časopisy, AUTOMA č.08, 2003 článek *Prandtlou trubicí je možné měřit i malé rychlosti proudění*. [cit 1.4.2008]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz>>
- [12] Ambros F., *Experimentální metody I*, ČVUT 1986
- [13] Gebauer G., Rubinová O., Horká H., *Vzduchotechnika*, Brno: Vydavatelství ERA 2005
- [14] Frank Eller, *Delphi, příručka programátora*, Praha: Vydavatelství Grada, 2002
- [15] Svoboda L., Voneš P., Košťál T., Mareš M., *1001 tipů a triků pro Delphi Computer Press*, Brno 2002.
- [16] Mádl J., Kafka L., Vrabc M., Dvořák R., *Technologie obrábění 3. díl Skriptum* Praha: Vydavatelství ČVUT 2002

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

PŘÍLOHY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Konstrukce přípravku pro testování senzorů
rychlosti proudění

Lukáš Frus

Rozsah příloh bakalářské práce: 2 strany

Seznam příloh

A Příloha	61
B Příloha.....	62
Přílohy v elektronické formě.....	CD

A Příloha

EC Radialgebläse und -ventilatoren

einseitig saugend, Ø 120



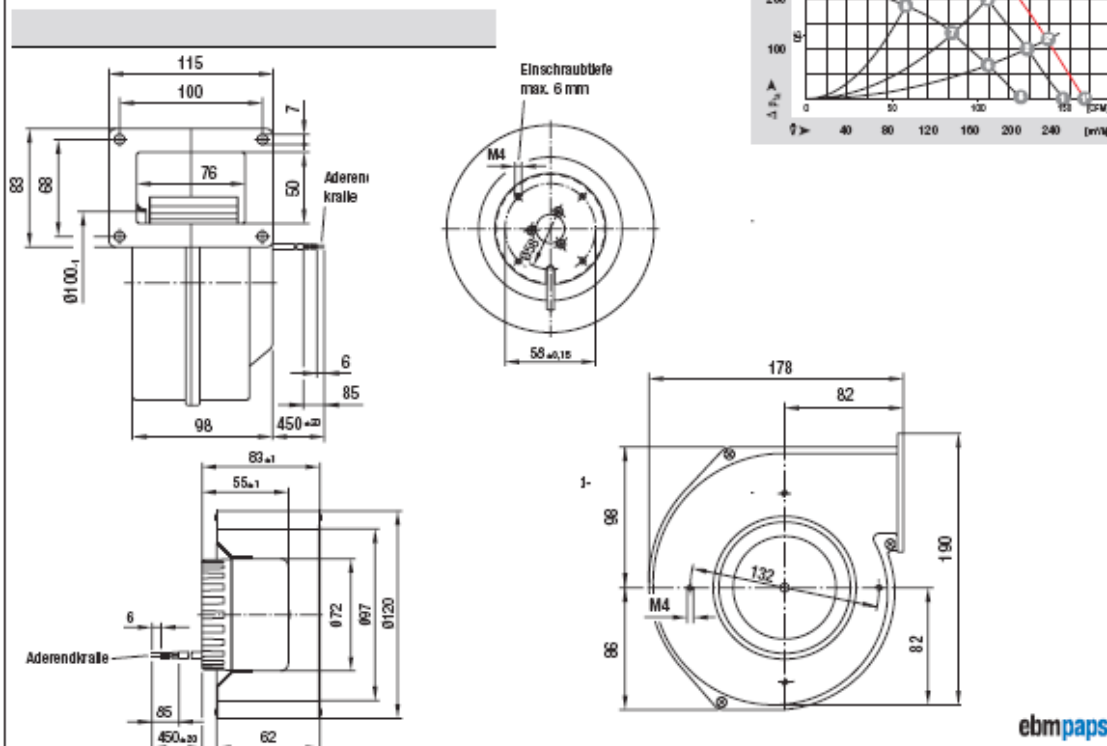
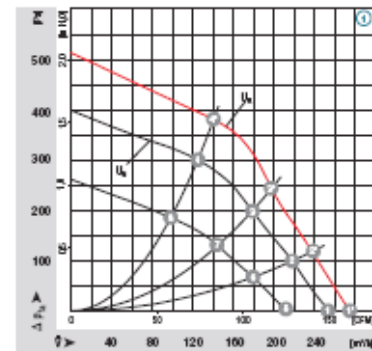
- Material: Spritzgehäuse aus Aluminium Druckguss,
Lüfterrad aus sandzimirverzinktem Stahlblech

ebm-papst - Mufflingen

Nenndaten		Kennlinie	Spannung	Spannungsbereich	Volumenstrom	Drehzahl	Leistungsaufnahme	Stromaufnahme	Geräuschpegel	Einsatzbereich min.	Zul. Umgebungstemp.	Masses
Typ	Motor	VDC	VDC	m³/h	min⁻¹	W	A	dB(A)	Pa	°C	kg	
G1G 120-AB67 -02 R1G 120-AB67 -02	M1 G055-BD	① 24	16-28	255	2200	40	1,90	62	0	60	1,6 0,8	
G1G 120-AB71 -02 R1G 120-AB71 -02	M1 G055-BD	① 48	36-57	255	2200	40	0,95	62	0	60	1,6 0,8	

Änderungen vorbehalten

Kennlinien			
n [min⁻¹]	P ₁ [W]	η _k [%]	Lp _A [dBA]
① 2410	50	--	63
① 2620	47	58	62
① 2870	44	60	61
① 3200	38	55	62
① 2200	40	--	62
① 2410	36	59	60
① 2600	32	62	58
① 2880	25	55	58
① 1870	24	--	55
① 1990	21	58	54
① 2100	18	61	53
① 2310	14	54	54



ebmpapst

B Příloha

Power motor FAN Very high Torque, Air Flow and Static Pressure

SUNON®



PMD1206PMB1A



PMD12080MB1A

Features:

New desing of motor as well as of impeller geometry enabled to creat fans, which even in the heaviest operational conditions ensure very higt torque, very higt air flow and higt static pressure wihout decreasing the reability and termal strength; operational life of the PM series fans at temperature 70°C is about 50000 hours (optional possibility to operate at temperature up to 90°C); these fans are very suitable for servers and other computer equipment, for telecommunication equipment, industrial computers, projectors and for other equipment, that generates heat high quantity.

Characteristics:

Drive	: brushless DC motor with electronic protection against mechanical locking
Material (frame, impeller)	: thermoplastic PBT (UL94V-0)
Test Voltage	: 500VAC during 1 minute
Storage temperature	: -40°C ...+70°C
Operating temperature	: -10°C ...+70°C
Insulation resistance at 500 V DC	: >10M ohm

Dimension 92x92x38

Symbol	Bearing	Voltage [V]	Range of Volt. [V]	Air flow [m ³ /h]	Static pressure [mmH ₂ O]	Rated current [A]	Power [W]
PMD1209PMB1A	ball	12	6..13,8	204	18,02	1	12,5
PMD1209PMB3A	ball	12	6..13,8	155,8	10,92	0,47	5,6
PMD2409PMB1A	ball	24	10..27	204	18,02	0,51	12,2
PMD4809PMB1A	ball	48	24..55,2	204	18,05	0,24	11,5

Tolerance of power and curent consumption ± 15 %

Transfer Multisort Elektronik

www.tme.pl export@tme.pl

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky a mezioborových
inženýrských studií

PŘÍLOHY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE V ELEKTRONICKÉ FORMĚ

Konstrukce přípravku pro testování senzorů
rychlosti proudění

Lukáš Frus

Rozsah přílohy pro elektronickou formu bakalářské práce: 1 strana

Seznam příloh v elektronické formě

Soubor:	Typ:	Popis:
Destička_Konektory	*.dwg	Technický výkres destičky v AutoCadu
Destička_Konektory	*.bak	Záloha výkresu pro obnovení
Držák_c_1	*.dwg	Technický výkres držáku č.1 v Autocadu
Držák_c_1	*.bak	Záloha výkresu pro obnovení
Držák_c_2	*.dwg	Technický výkres držáku č.2 v Autocadu
Držák_c_2	*.bak	Záloha výkresu pro obnovení
Přechodka_Hl_část	*.dwg	Technický výkres hlavní části přechodky v Autocadu
Přechodka_Hl_část	*.bak	Záloha výkresu pro obnovení
Přechodka_dílce	*.dwg	Technický výkres částí pro přechodku (nátrubek,příruba) v AutoCadu
Přechodka_dílce	*.bak	Záloha výkresu pro obnovení
Soubory_pro_software	složka	Obsahuje ikony používané v aplikaci
Zapojení	*.bmp	Obrázek zapojení přípravku
Unit1	*.pas	Zdrojový text jednotky Unit1
Unit1	*.dfm	Soubor formuláře pro Unit1
Unit1	*.dcu	Překlad programových jednotky Unit1
Měření_rychlosti_proudění _vzduchu	*.exe	Spustitelný soubor aplikace
Měření_rychlosti_proudění _vzduchu	*.dpr	Zdrojový text projektu pro Delphi
Úvodní:strana	*.doc	El. Forma úvodní strany publikace
Konstrukce_přípravku _pro_testování_senzoru _rychlosti_proudění	*.doc	El. Forma publikace