

UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

SENZOR PRO MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNU

Filip Svoboda

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Filip Svoboda**
Osobní číslo: **I18313**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Řízení procesů**
Téma práce: **Senzor pro měření rychlosti proudění plynů**
Zadávající katedra: **Katedra řízení procesů**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace elektronického senzoru pro měření rychlosti proudění plynů. Konstrukce senzoru bude umožňovat příslušná měření v rozsahu vhodném pro měření parametrů např. ventilátorů. Výstupní data ze senzoru budou k dispozici například ve formě textového souboru, uloženého na paměťovou SD kartu, výstupního údaje displeje řídicího mikropočítače, nebo komunikačního protokolu, vysílaného pomocí univerzální sériové linky mikropočítače. K realizaci hardware elektronické jednotky lze použít standardní vývojové moduly s mikropočítačem (např. modul „Arduino“, vývojový kit „EVb 5.1“ atp.). Součástí práce bude řešení na zadané téma. Nedílnou součástí práce bude podrobná výrobní dokumentace a uživatelský manuál realizované konstrukce.

Rozsah pracovní zprávy: **50**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

ZÁHLAVA, V., Návrh a konstrukce DPS, BEN-technická literatura, 2010, ISBN 978-80-7300-266-4

MAIXNER, L. a kol., Mechatronika, Brno, Computer Press, 2006, ISBN 80-251-1299-3

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **27. listopadu 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

Ing. Daniel Honc, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Filip Svoboda

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat své rodině za finanční i psychickou podporu a taky za to, že mě podporovali a dali mi šanci vystudovat vysokou školu v těchto těžkých dobách. Dále bych chtěl poděkovat mému dobrému kamarádovi Josefu Venclovi za dobré rady ohledně konstrukce. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mojí práce panu Ing. Havlíčkovi, Ph.D. za cenné rady a za dobré připomínky k mojí práci.

V Pardubicích dne

Filip Svoboda

ANOTACE

Cílem této práce je vytvořit průtokový anemometr pro měření proudění vzduchu, následného měření a zobrazení na displeji či použití jiné datové metody. V této práci je vypracován funkční model se zobrazením dané hodnoty.

KLÍČOVÁ SLOVA

anemometr, proudění vzduchu, ATmega, LCD displej, ventilátor

TITLE

SENSOR FOR MEASURING GAS FLOW VELOCITY

ANNOTATION

The aim of this thesis is to create a flow anemometer for measuring air flow, subsequent measurement and display on the screen or using another data method. In this thesis a functional model with display of the given value is developed.

KEYWORDS

anemometer, air flow, ATmega, LCD display, fan

OBSAH

Seznam použitých zkratk a značek	9
Seznam symbolů veličin a funkcí	10
Seznam ilustrací	11
Seznam tabulek	13
Úvod	14
1 Literární rešerše	15
2 Principy a metody měření	16
3 Druhy senzorů pro měření průtoku	17
3.1 Objemová měřidla	17
3.1.1 Pístová měřidla	18
3.1.2 Oválné měřidlo	18
3.1.3 Membránový plynoměr	19
3.1.4 Bubnový plynoměr	19
3.2 Rychlostní sondy	20
3.2.1 Pitotova trubice	20
3.2.2 Prandtlova trubice	20
3.3 Turbínové, lopatkové a šroubové průtokoměry	21
3.3.1 Turbínové průtokoměry	21
3.3.2 Lopatkové průtokoměry	22
3.3.3 Šroubové průtokoměry	22
3.4 Škrticí orgány (průřezové průtokoměry)	23
3.4.1 Clony	24
3.4.2 Dýzy	24
3.4.3 Venturiho trubice	24
3.4.4 Čtvrtkruhová dýza	25
3.4.5 Segmentová clona	25
3.5 Plováčkové průtokoměry (rotametry)	26
3.6 Vířivé, vírové a fluidikové průtokoměry	27
3.7 Tepelné průtokoměry	27
3.7.1 Termoanemometry (Drátový anemometr)	28
3.7.2 Kalorimetrické průtokoměry	28
3.8 Coriolisův průtokoměr	29

3.9	Magneticko-indukční průtokoměr	30
3.10	Ultrazvukové průtokoměry	30
3.10.1	Přímé ultrazvukové průtokoměry.....	30
3.10.2	Dopplerovy průtokoměry	31
3.11	Výběr senzoru pro měření průtoku	32
4	Využití 3d tisku k prototypové výrobě senzoru průtoku.....	33
4.1	3D tisk	33
4.1.1	SLA	33
4.1.2	FDM	33
4.2	Model	34
5	Vývojový kit	36
6	Praktická část práce.....	38
6.1	Propojovací tabulka pinů	39
6.2	Výsledné konstrukční řešení	39
6.3	Napájení a výběr napájecího zdroje	40
6.4	Schéma senzoru.....	42
6.5	Ventilátor a jeho ovládání	43
6.6	Zobrazení na displeji	45
6.7	Zapojení na DPS	47
6.8	Program mikropočítače	48
6.9	Vývojový diagram procesoru.....	49
6.10	Praktické měření rychlosti	50
6.10.1	Zhodnocení měření	51
7	Závěr	53
	Použitá literatura	54
	Přílohy	55

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A ZNAČEK

3D	Three Dimensional – Třetí dimenze
DPS	Deska Plošného Spoje
GCODE	Geometric Code – formát souboru v PC
HW	Hardware
Kit	Souprava
LCD	Liquid Crystal Display – Displej z tekutých krystalů
LED	Light-Emitting Diode – Elektroluminiscenční dioda
PETG	Polyethylene Terephthalate Glycol – Polyethylentereftalát
PLA	Polylactic Acid – Kyselina polymléčná
SLA	Stereolitografie
SW	Software
UPS	Univerzální Plošný Spoj
USB	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice
UV	Ultraviolet – Ultrafialové záření

SEZNAM SYMBOLŮ VELIČIN A FUNKCÍ

\vec{F}_c	Coriolisova síla, N
f	frekvence, Hz
I	elektrický proud, A
m	hmotnost, kg
ρ	hustota, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
Q_V	hmotnostní průtok, $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$
Q_V	objemový průtok, $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
R	elektrický odpor, Ω
T	perioda, s
t	čas, s
U	elektrické napětí, V
V	objem, m^3
\vec{v}	rychlost, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
$\vec{\omega}$	úhlová rychlost, $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 3.1 – Pístové měřidlo (Kadlec; Kmínek, 2005)	18
Obr. 3.2 – Oválné měřidlo (Kadlec; Kmínek, 2005)	18
Obr. 3.3 – Membránový plynoměr (Kadlec; Kmínek, 2005)	19
Obr. 3.4 – Bubnový plynoměr (Kadlec; Kmínek, 2005)	19
Obr. 3.5 – Pitotova trubice (2016)	20
Obr. 3.6 – Prandltova trubice (Kadlec, 2006).....	21
Obr. 3.7 – Turbínový průtokoměr (Kadlec, 2006).....	22
Obr. 3.8 – Lopatkové průtokoměry (Kadlec, 2006)	22
Obr. 3.9 – Šroubový průtokoměr (JOHN, 2019)	23
Obr. 3.10 – Clona (Kadlec, 2006).....	24
Obr. 3.11 – Dýza (Kadlec, 2006).....	24
Obr. 3.12 – Venturiho trubice (Kadlec, 2006).....	25
Obr. 3.13 – Rotametr (Kadlec; Kmínek, 2005)	26
Obr. 3.14 – Vírový průtokoměr (Komp, 2009).....	27
Obr. 3.15 – Schéma uspořádání tepelného hmotnostního senzoru (Kadlec, 2003).....	28
Obr. 3.16 – Schéma hmotnostního termoanemometru (Kadlec, 2003)	28
Obr. 3.17 – Coriolisův průtokoměr (Kadlec, 2006).....	29
Obr. 3.18 – Magneticko-indukční průtokoměr (Kadlec, 2006)	30
Obr. 3.19 – Ultrazvukový průtokoměr (Kadlec, 2006).....	31
Obr. 3.20 – Dopplerův průtokoměr (Kadlec, 2006)	31
Obr. 3.21 – Tranzistory T1 a T2 senzoru anemometru.....	32
Obr. 4.1 – Tisková technika SLA (Sergio, 2019)	33
Obr. 4.2 – Tisková technika FDM (Sergio, 2019).....	33
Obr. 4.3 – Celkový model všech mechanických částí	35
Obr. 5.1 – Vývojový kit EvB 5.1 v5	36
Obr. 5.2 – Schéma mikroprocesoru na EvB 5.1	37
Obr. 6.1 – Blokové schéma senzoru pro měření proudění plynu	38
Obr. 6.2 – Finální mechanická konstrukce	40
Obr. 6.3 – Napájení (zadní část s konektory a vypínačem)	41
Obr. 6.4 – Anemometr (Zapojení senzoru).....	42
Obr. 6.5 – Ventilátor (Zapojení pinů ventilátoru).....	43
Obr. 6.6 – PWM signál z PORT B4	44

Obr. 6.7 – Potenciometr (Pro ovládání PWM)	44
Obr. 6.8 – LCD Displej (Zapojení).....	45
Obr. 6.9 – Spodní část DPS (Pohled ze spoda).....	47
Obr. 6.10 – Vrchní část DPS (Pohled ze shora).....	47
Obr. 6.11 – Vývojový diagram procesoru	49
Obr. 6.12 – Závislost naměřené rychlosti proudění senzoru na procentuálním natočení potenciometru	51
Obr. 6.13 – Závislost výstupního napětí anemometru na rychlosti proudění vzduchu	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 6.1 – Zapojení všech vývodů pomocí propojovacích kabelů	39
Tab. 6.2 – Významu pinů ventilátoru	43
Tab. 6.3 – Významu pinů LCD	46
Tab. 6.4 – Naměřených hodnot kontrolního anemometru	50
Tab. 6.5 – Naměřených hodnot polovodičovým anemometrem	50
Tab. 7.1 – Parametry senzoru pro měření proudění vzduchu	53

ÚVOD

V této práci jde o vytvoření elektronického senzoru pro měření proudění vzduchu určitým místem. Pro senzor je použit tepelný polovodičový senzor. Jeho funkce je založena na bázi dvou tranzistorů, jejich výstupní napětí vyhodnocuje operační zesilovač. Díky tomu dokáže senzor měřit rychlost proudění vzduchu.

Součástí této práce je řešení na senzory měření proudění. Celkový cíl byl vytvořit návrh a poté realizace elektronického polovodičového senzoru, který by umožnil měřit například ventilátor. Přičemž výstupní data budou buď uložena nebo zobrazena.

Lze tuto práci využít pro pochopení proudění vzduchu a jeho měření. Další možnosti využití jsou senzory v přesouvání vzduchu nebo pochopení základního 3D tisku.

1 LITERÁRNÍ REŠERŠE

Publikací, které se zabývají tématem měření průtoku ať už stlačitelných nebo nestlačitelných látek, je poměrně mnoho. Ve většině případů se jedná o měření průtokoměrem za účelem zjištění rychlosti proudění hmoty.

Tato měření řešil i autor Tomáš Dvořáček (2011). Zabýval se měřením průtoku s clonou za pomoci tlaku. Z tohoto měření došel k závěru, že *„model průtokoměru s clonou je plně funkční a jeví se jako vhodný nástroj pro přiblížení problematiky měření průtoku vzduchu studentům v laboratorním prostředí“* (Dvořáček, 2011).

Na podobných měřeních pracoval autor Bc. Jakub Smělý (2013), který řešil tuto problematiku měření proudění plynů za pomoci dvou senzorů. U těchto dvou škrtkících orgánů Venturiho trubice a clony prokazoval a potvrdil jejich výhody a nevýhody. Shodují se v tom, že podstata průtokoměrů je měřit průtok hmoty s nejvyšší přesností (Smělý, 2013).

Časopis Automa obsahuje informace, jak se rozhodnout při volbě průtokoměru. Tomáš Zetek (2021) ve článku uvádí důvody pro měření průtoku. *„Je-li účelem měřidla dávkování, jsou velmi důležitými parametry přesnost a opakovatelnost. Má-li být průtokoměr v regulační smyčce, má při hodnocení opakovatelnost převahu nad přesností. Je-li třeba jen místní zobrazení, pozornost je třeba směřovat k jednoduchým zařízením s minimální údržbou. Je-li nahrazován starý průtokoměr, vyplatí se zpětně zhodnotit jeho účelnost v dané úloze, náklady na údržbu, verifikaci atd..“* (Zetek, 2021)

Z opačného pohledu Bc. Štěpán Jůza řešil problematiku proudění vzduchu v uzavřeném prostoru budovy. Zpracoval práci o proudění a výměnu vzduchu v celé místnosti. Ať už je clona u stropu nebo u země (Jůza, 2017).

Tyto všechny měření a autoři samotní ukazují, jak jednoduché principy se využívají pro měření proudění vzduchu.

2 PRINCIPY A METODY MĚŘENÍ

Vzduch je součástí našeho každodenního života a obklopuje celou naši planetu. Tento vzdušný obal nazýváme atmosféra a ta se skládá z několika částí. Pro všechny formy života na této planetě je nejdůležitější troposféra, protože v ní žijeme. Nachází se v ní přibližně 66 % hmoty atmosféry a je od hladiny moře přibližně do výšky 10 km. V některých oblastech je nižší a v některých vyšší. Další části atmosféry jsou stratosféra 10 – 50 km, mezosféra 50 – 80 km, termosféra 80 – 500 km, exosféra 500 – 20000 km. Nad 20000 km se nachází kosmický prostor, ve kterém se vzduch nenachází a je tam takzvané vakuum (Liška; Novák, 1999). Ve vakuu není možné měřit rychlost vzduchu, protože nelze měřit proudění ničeho. Proto se proudění, ať už stlačitelných nebo nestlačitelných látek, dá rozdělit na objemový a hmotnostní průtok.

Objemový průtok je množství objemu látky procházející určitým bodem nebo plochou za jednotku času. Rovnice je vyjádřena vztahem

$$Q_V = \frac{V}{t} ; \frac{m^3}{s}, \quad (1.1)$$

kde Q_V – objemový průtok,

V – objem látky,

t – čas.

Hmotnostní průtok je množství hmotnosti látky procházející určitým bodem nebo plochou za jednotku času. Rovnice je vyjádřena vztahem

$$Q_V = \frac{m}{t} ; \frac{kg}{s}, \quad (1.2)$$

kde Q_V – hmotnostní průtok,

m – hmotnost látky,

t – čas.

A pro nestlačitelné látky platí následující rovnice

$$m = p \times V ; kg, \quad (1.3)$$

kde m – hmotnost nestlačitelné látky,

p – hustota nestlačitelné látky,

V – objem nestlačitelné látky.

3 DRUHY SENZORŮ PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU

Průtokoměry si lze představit jako trubku, kterou protéká hmota a obsahuje měřicí zařízení.. Nejjednodušší průtokoměr na pochopení je asi lopatkový, oddíl 3.3.2. Lze si ho představit jako fidget spinner (větrník, hračka s ložiskem). Zafoukáním na lopatky se rozběhnou a díky změření otáček se dá měřit rychlost vzduchu. Ovšem průtok můžeme měřit průtokoměry nebo je ho možné vypočítat z jiných měřitelných veličin.

Existuje spousta druhů senzorů pro měření průtoku, a proto jsou v této části sepsány všechny, které byly nalezeny. Do této kategorie spadají:

- Objemová měřidla,
- rychlostní sondy,
- turbínové,
- lopatkové,
- šroubové průtokoměry,
- škrticí orgány (průřezové průtokoměry),
- plováčkové průtokoměry (rotametry),
- vířivé, vírové a fluidikové průtokoměry,
- tepelné průtokoměry,
- Coriolisův průtokoměr,
- magneticko-indukční průtokoměr,
- ultrazvukové průtokoměry.

Z těchto všech senzorů jsem si poté vybral tepelný senzor, který jsem použil pro měření rychlosti proudění plynů.

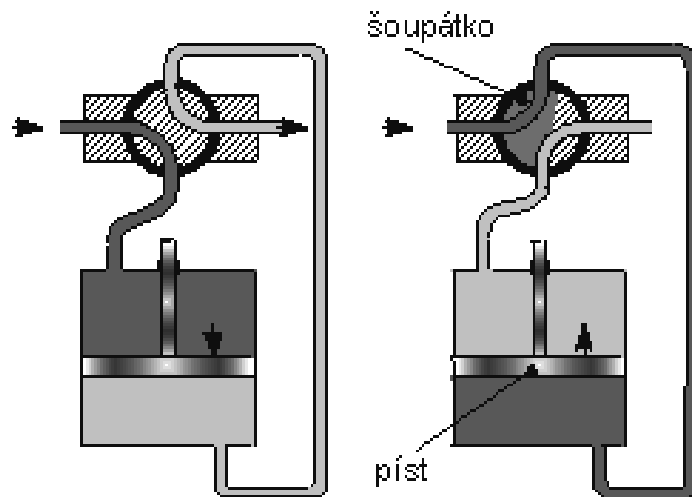
3.1 OBJEMOVÁ MĚŘIDLA

Fungují, jak už název napovídá, odměřením objemu plynu nebo kapaliny v odměrných prostorách k zjištění protékaného množství. Prostory pro odměřenou hmotu jsou přesně určeny a jejich obsah je znám. Díky tomu aspektu jsou velmi přesné a jejich princip je naplnit a vyprázdnit.

Dělí se na dva druhy. Jsou to měřidla s nespojitou funkcí a měřidla se spojitou činností. U nespojitých objemových měřidel je určen nárůstem objemu za určitý časový interval. Zatímco u spojitých objemových měřidel je to o trochu složitější. Spojitá měřidla mají více cyklů a víc odměrných prostor, aby měření bylo spojitě a plynulě.

3.1.1 Pístová měřidla

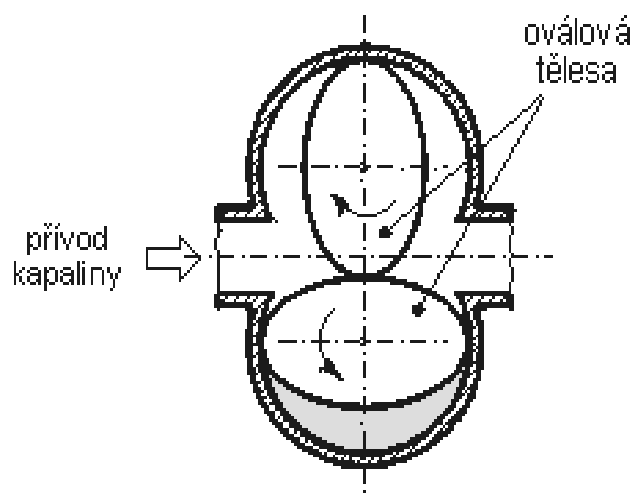
Jedná se o nejjednodušší nespojitě objemové měřidlo. Funguje díky jednomu pístu, přičemž jich může být i více. Jsou velmi přesná a na Obr. 3.1 je vidět jejich funkčnost ve dvou krocích. Při napouštění odměrných prostor a jejich vypouštění.



Obr. 3.1 – Pístové měřidlo (Kadlec; Kmínek, 2005)

3.1.2 Oválné měřidlo

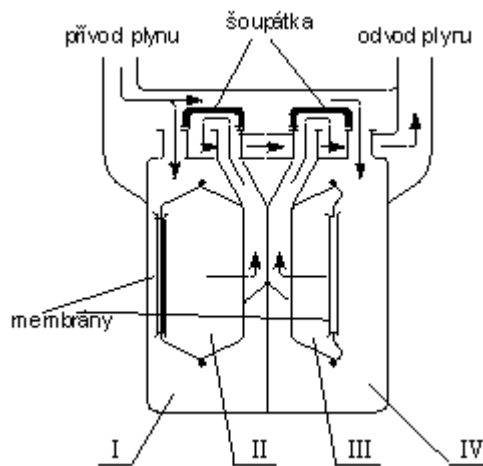
Jedná se o dalšího zástupce nespojitých objemových měřidel. Také se mu říká tělesové měřidlo. Jak je vidět na Obr. 3.2, tak se v komoře nachází dvě oválná tělesa, která jsou spolu spojena ozubenými koly. Díky tomu se pohybují současně. Pohyb ovšem nastává rozdílem tlaků na přední i zadní straně těles a následnému odměřování.



Obr. 3.2 – Oválné měřidlo (Kadlec; Kmínek, 2005)

3.1.3 Membránový plynoměr

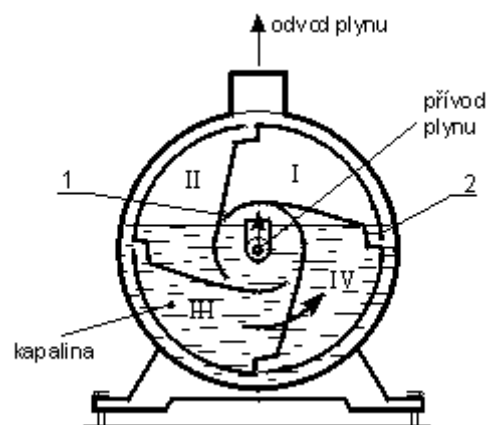
Jedná se o zástupce spojitých objemových měřidel a jeho znázornění je vidět na Obr. 3.3. Jak je vidět, obsahuje šoupátka, membrány a čtyři odměrné prostory I, II, III a IV. Každý odměrný prostor je spojen s hrdlem rozvodného ústrojí, tvořeného šoupátkem, jejichž pohyb je odvozen od pohybu membrán.



Obr. 3.3 – Membránový plynoměr (Kadlec; Kmínek, 2005)

3.1.4 Bubnový plynoměr

Jedná se o válcovou nádobu na Obr. 3.4 z části vyplněnou kapalinou (olej či voda) a v této nádobě je umístěn otočný buben se šterbinami. Každý odměrný prostor má dva typy šterbin. U prostoru I je to označené 1 a 2. Přičemž 1 je vstupní a 2 je výstupní.



Obr. 3.4 – Bubnový plynoměr (Kadlec; Kmínek, 2005)

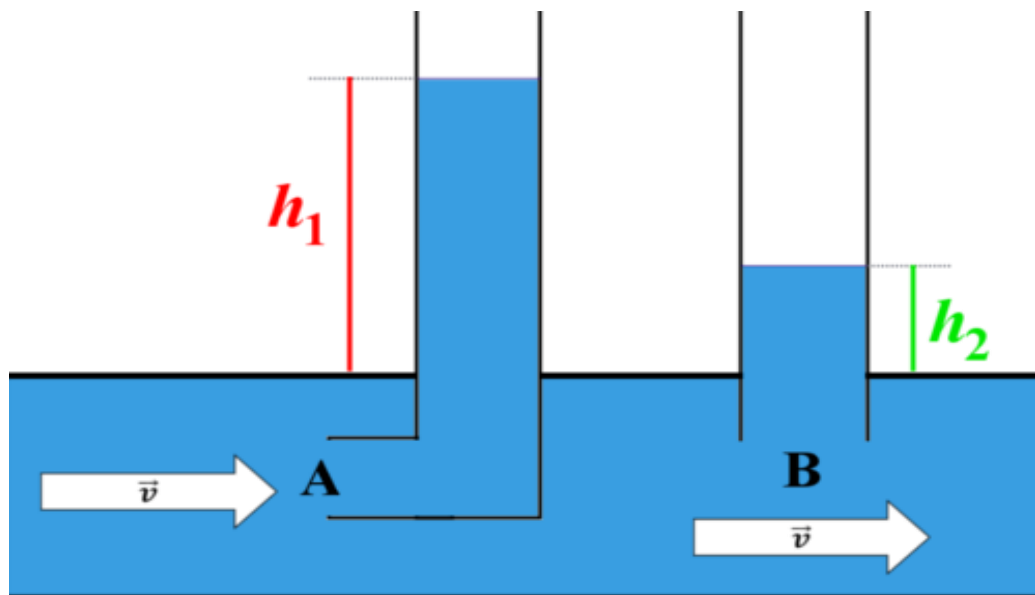
Prostor I je zcela vyplněn plynem. Prostor II se vyprazdňuje. Prostor III je zcela vyplněn kapalinou a prostor IV se začíná plnit plynem.

3.2 RYCHLOSTNÍ SONDY

U rychlostních sond jsou dva možné druhy Pitotovu trubici a Prandtlovu trubici. Využívají závislosti dynamického tlaku proudící kapaliny na rychlosti jejího proudění. Dále je s nimi možné měřit okamžitou rychlost proudění a vypočítat z toho střední rychlost. Jejich využití můžeme najít například v letadlech.

3.2.1 Pitotova trubice

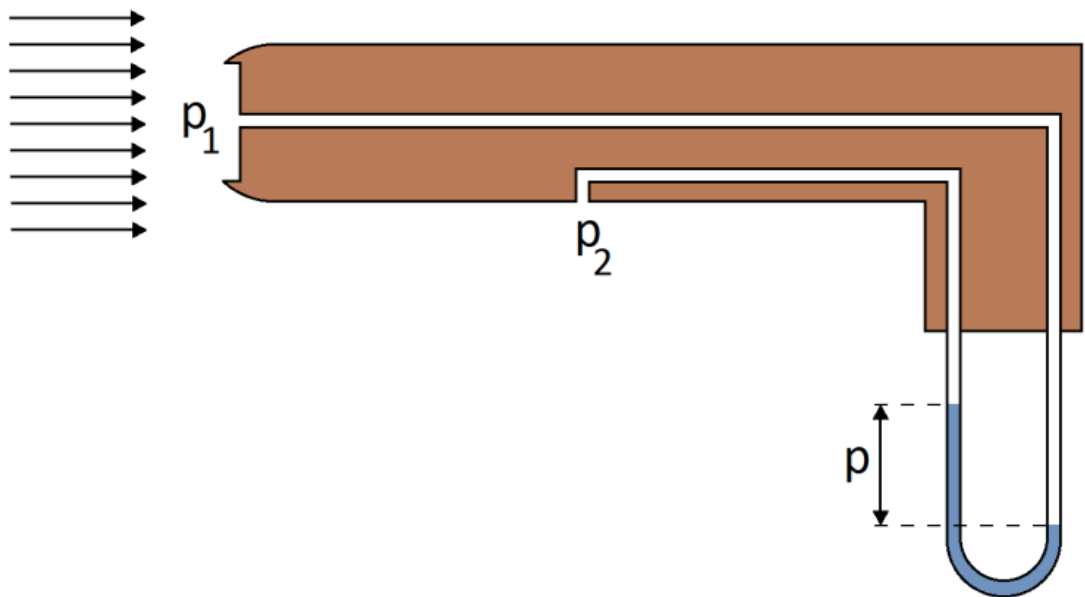
Tato trubice je jednoduché měřicí zařízení vypadající jako zahnutá trubice s ústím umístěným kolmo na směr proudění média. Toto můžeme vidět na Obr. 3.5 pod písmenem A. Pitotova trubice snímá celkový a statický tlak.



Obr. 3.5 – Pitotova trubice (2016)

3.2.2 Prandtlova trubice

Prandtlůva trubice je vlastně Pitotova trubice ovšem jinak uspořádaná. Umožňuje měřit celkový i statický tlak v jednom místě.



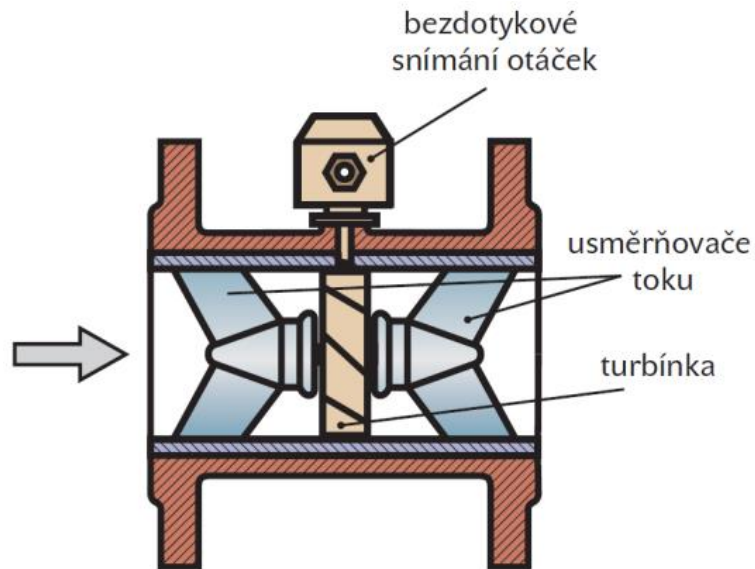
Obr. 3.6 – Prandltova trubice (Kadlec, 2006)

3.3 TURBÍNOVÉ, LOPATKOVÉ A ŠROUBOVÉ PRŮTOKOMĚRY

Průtokoměry tohoto typu jsou založeny na volně otočném rotoru. Pokud na tyto průtokoměry přivedeme proudící kapalinu, tak se rotor začne otáčet. Jeho otáčky jsou snímány mechanickými převody, ale spíše jsou snímány bezdotykově pomocí indukčních, elektromagnetických nebo fotoelektrických snímačů.

3.3.1 Turbínové průtokoměry

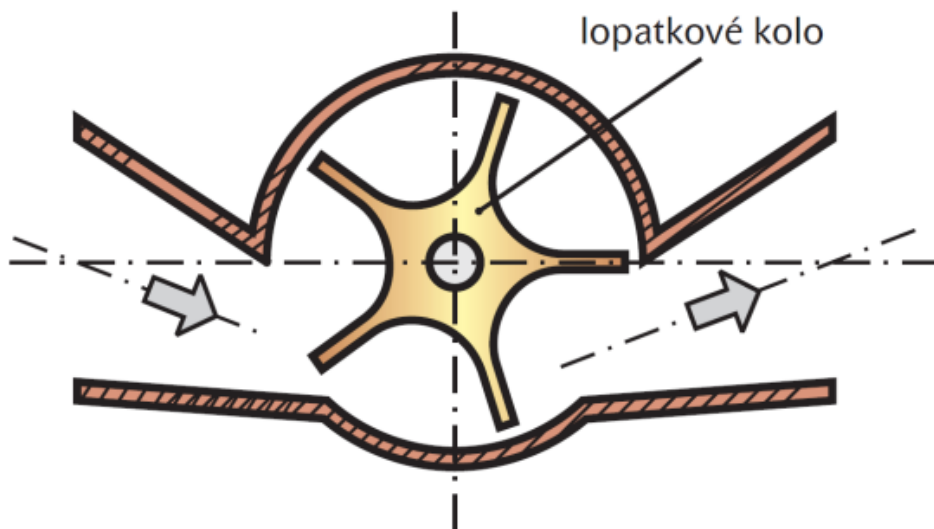
Lopatky u turbínového průtokoměru jsou umístěny v ose proudění. Protékající vzduch nebo kapalina roztáčí turbínu a rychlost proudění se určuje bezdotykovým snímáním otáček na Obr. 3.7.



Obr. 3.7 – Turbínový průtokoměr (Kadlec, 2006)

3.3.2 Lopatkové průtokoměry

Lopatky u lopatkového průtokoměru jsou umístěny kolmo na směr proudění.



Obr. 3.8 – Lopatkové průtokoměry (Kadlec, 2006)

3.3.3 Šroubové průtokoměry

Dva šrouby zasazené do sebe na Obr. 3.9 jsou šroubovým průtokoměrem. Protékající vzduch nebo kapalina roztáčí tyto šrouby a rychlost otáčení je úměrná rychlosti proudění. Otáčení je snímáno bezdotykovými senzory.



Obr. 3.9 – Šroubový průtokoměr (JOHN, 2019)

3.4 ŠKRTICÍ ORGÁNY (PRŮŘEZOVÉ PRŮTOKOMĚRY)

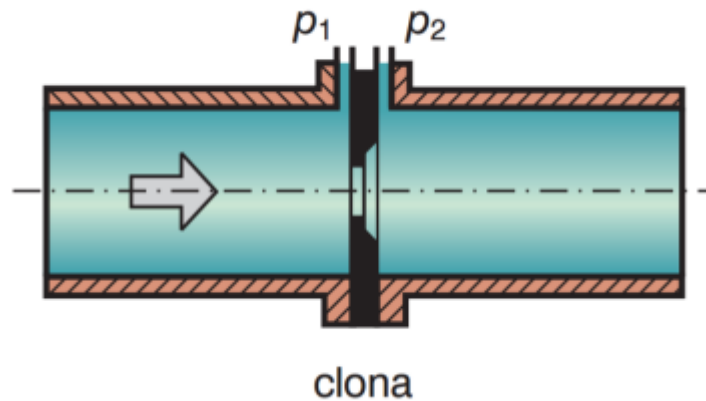
Průřezové průtokoměry neboli škrťící orgány využívají princip proudění určitým průřezem. Existuje spousta druhů jako:

- Clona,
- dýza,
- Venturiho dýza,
- Venturiho trubice,
- čtvrtkruhová dýza,
- dvojitá clona,
- segmentová clona.

Do potrubí se umístí škrťící orgán, pomocí něhož je upraven průřez potrubí. Následně se měří tlak před škrťícím orgánem a tlak za škrťícím orgánem. Tento rozdíl tlaků je přímo úměrný rychlosti protékající kapaliny.

3.4.1 Clony

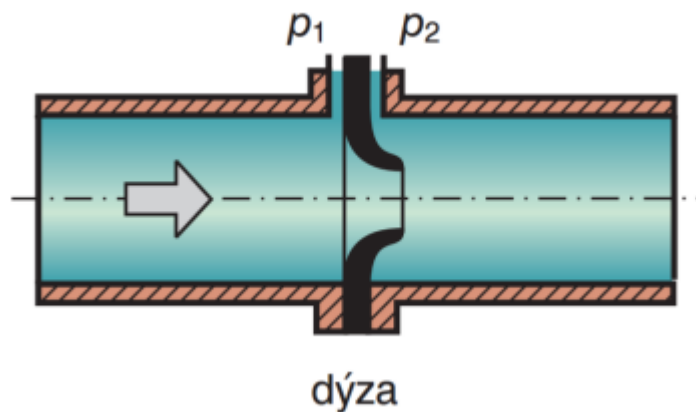
Clona je nejjednodušším a nejčastěji používaným škrťicím prvkem. Je to vlastně disk nebo deska s otvorem, jehož průměr a umístění závisí na vlastnostech měřené kapaliny.



Obr. 3.10 – Clona (Kadlec, 2006)

3.4.2 Dýzy

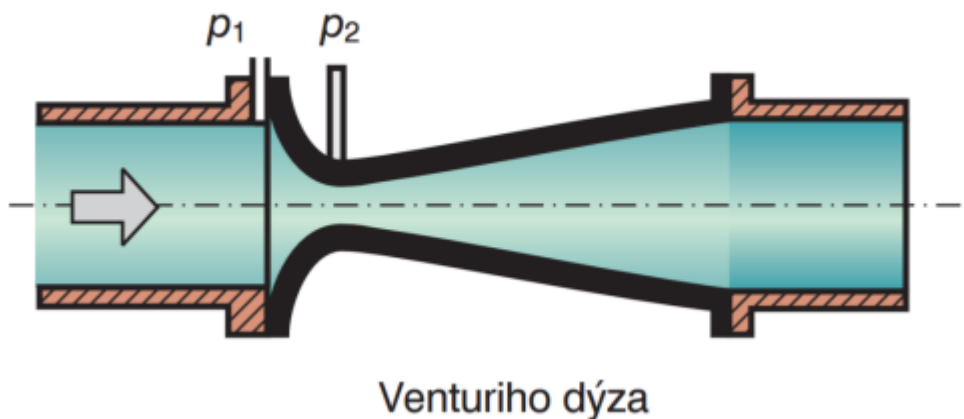
Dýza je velmi podobná cloně, ale má zaoblenou vtokovou stranu. Má nižší tlakovou ztrátu, než u clony a tím pádem jsou vhodnější pro vysoké rychlosti proudění.



Obr. 3.11 – Dýza (Kadlec, 2006)

3.4.3 Venturiho trubice

Venturiho trubice je vlastně vylepšená dýza. Jsou velmi přesné a mají menší tlakové ztráty než clony a dýzy, ale jsou dražší.



Obr. 3.12 – Venturiho trubice (Kadlec, 2006)

3.4.4 Čtvrtkruhová dýza

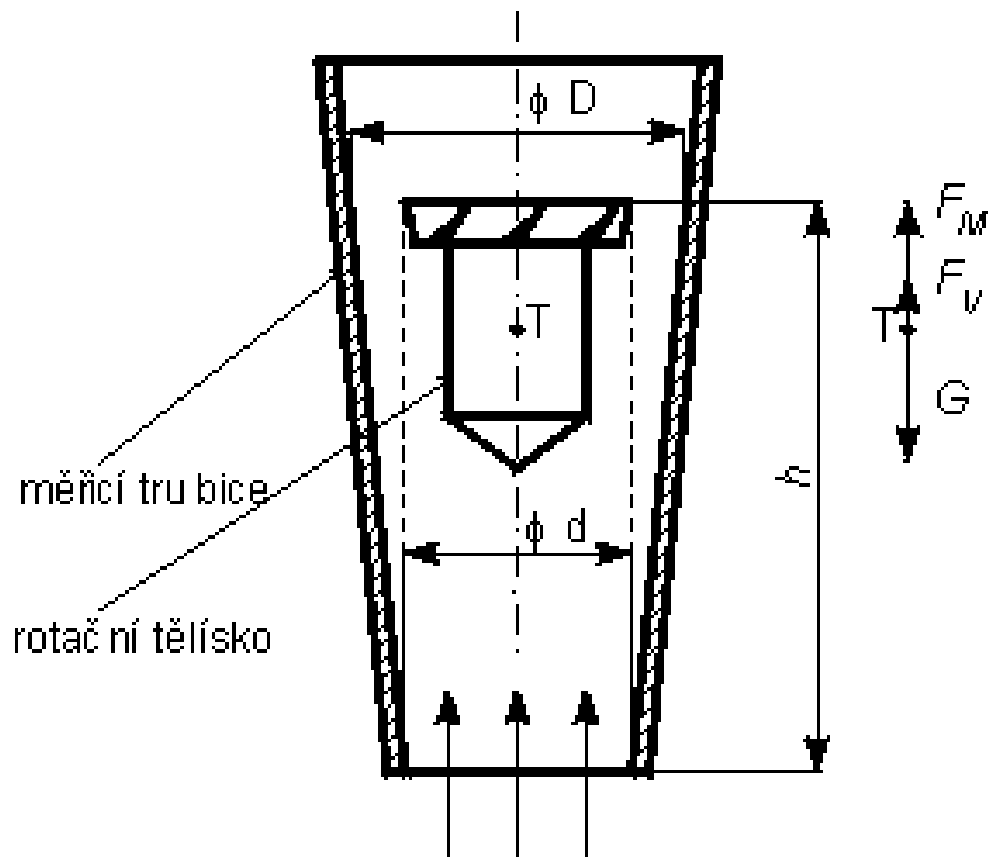
Dostala název po vstupním otvoru, který je čtvrtkruhový. Je určena k měření kapalin s velmi velkou viskozitou při malých rychlostech proudění.

3.4.5 Segmentová clona

Segmentová clona se používá pro znečištěné tekutiny, kaly, mokré páry, vlhké plyny a podobně.

3.5 PLOVÁČKOVÉ PRŮTOKOMĚRY (ROTAMETRY)

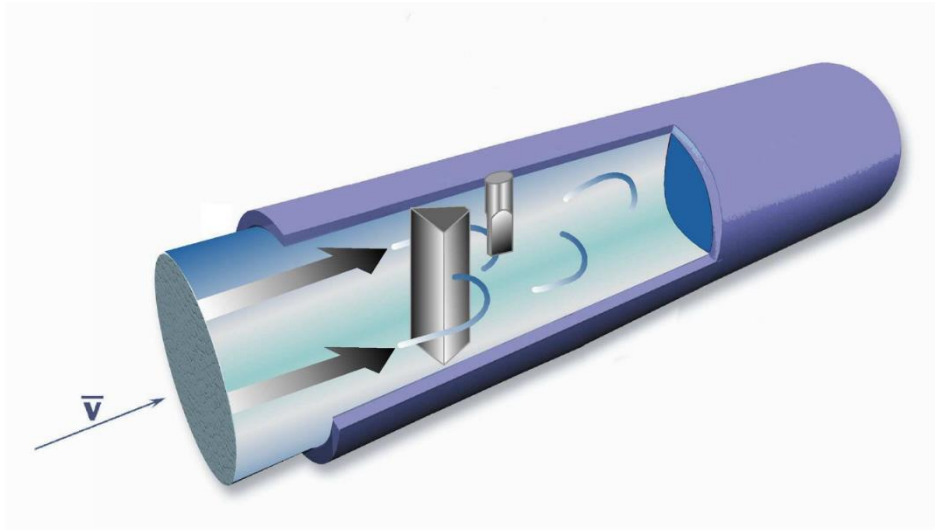
Tyto rotametry musí být orientovány pouze vertikálně neboli rovnoběžně se směrem gravitační síly. Jedná se vlastně o kuželovitou trubici s rotujícím plovákem nebo s válcovitou trubicí a kuželovitým trnem a dutým plovákem. Na plováček tak působí dvě síly vztlak a gravitace.



Obr. 3.13 – Rotametr (Kadlec; Kmínek, 2005)

3.6 VÍŘIVÉ, VÍROVÉ A FLUIDIKOVÉ PRŮTOKOMĚRY

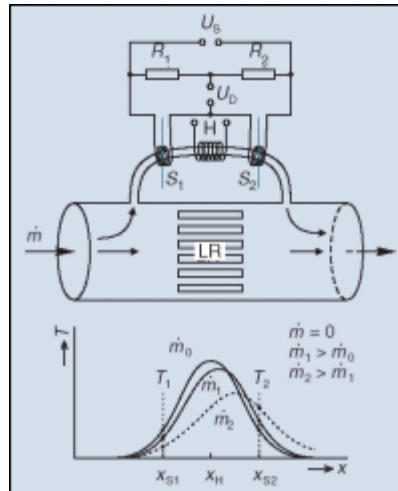
Tyto průtokoměry jsou jednoduché a jejich princip je ten, že do místa kudy proudí hmota, je umístěna překážka neaerodynamického tvaru. Díky proudění hmoty za touto překážkou vznikají víry, které vyvolávají změnu tlaku nebo rychlost hmoty. Víry detekuje senzor za překážkou. Vírové průtokoměry jsou především pro měření proudění plynů a pár.



Obr. 3.14 – Vírový průtokoměr (Komp, 2009)

3.7 TEPELNÉ PRŮTOKOMĚRY

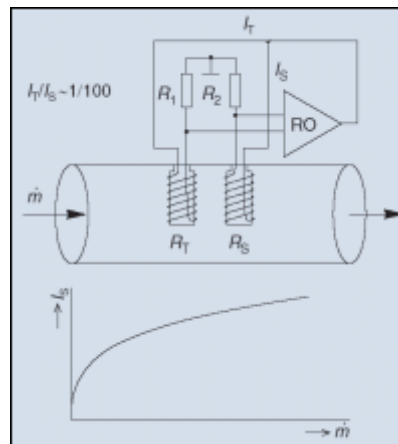
Máme dva hlavní zástupce této skupiny a těmi jsou termoanemometry, neboli drátové anemometry, a kalorimetrické průtokoměry. Oba fungují na principu hmotnostního průtoku a výměně tepla. Používaný princip těchto průtokoměrů je natolik jednoduchý, že není tolik závislý na stavových podmínkách (teplotě a tlaku) u měřeného média, jako je tomu u jiných metod.



Obr. 3.15 – Schéma uspořádání tepelného hmotnostního senzoru (Kadlec, 2003)

3.7.1 Termoanemometry (Drátový anemometr)

Jedná se o jednoduchý přístroj pro měření proudění vzduchu. Na konci sondy drátového anemometru je drát, který se zahřívá a proudící vzduch ho ochlazuje a tímto dá měřit proudění vzduchu. Také se používají termistory pro měření. Jeho čidla teploty zasahují přímo do proudící tekutiny a s jeho pomocí se vyhodnocuje chladič účinek nucené konvekce na vyhřívané čidlo.



Obr. 3.16 – Schéma hmotnostního termoanemometru (Kadlec, 2003)

3.7.2 Kalorimetrické průtokoměry

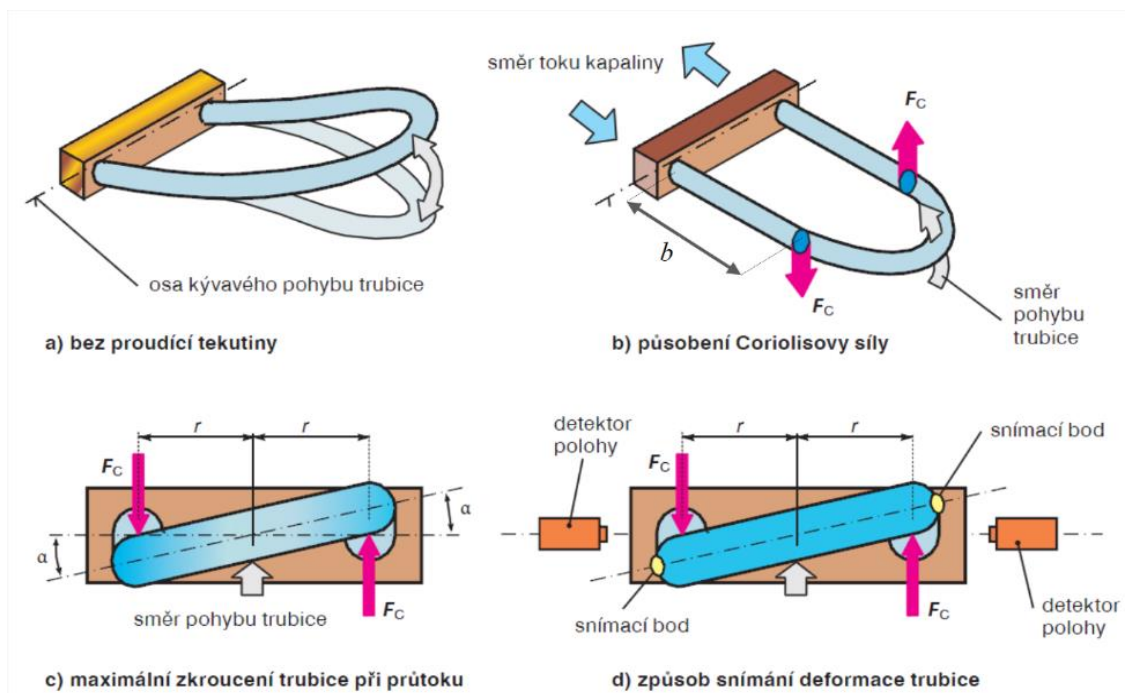
Tyto průtokoměry fungují na stejném principu, ale zdrojem tepla nejsou samotné sondy. Mají totiž v místě proudění umístěný zdroj tepla, a to za ním i před ním. Následný průtok se tak určí rozdílem změřených hodnot.

3.8 CORIOLISŮV PRŮTOKOMĚŘ

Používá se pro kapaliny, páry i plyny. Je s ním možné měřit hmotnostní průtok s vysokou přesností. Jejich princip vychází z působení Coriolisovy síly z rovnice

$$f_c = 2 \times m \times (v \times w), \quad (2.1)$$

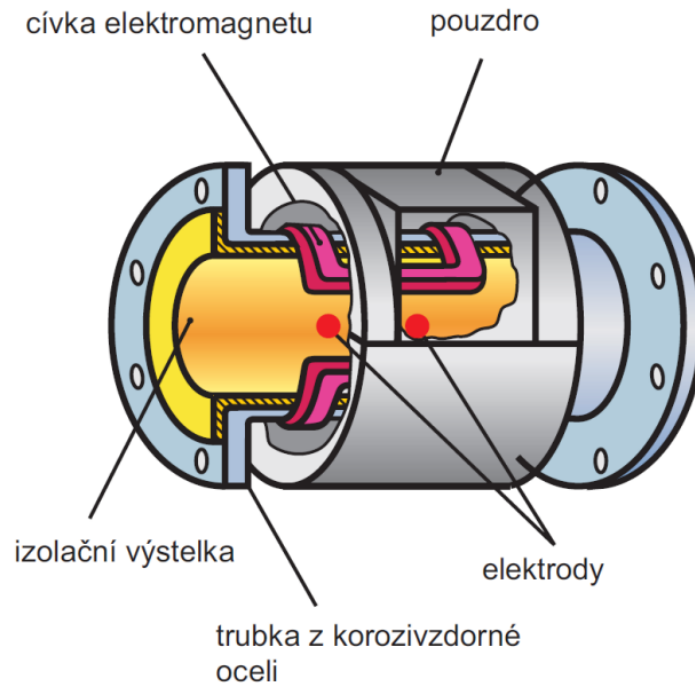
- kde f_c – Coriolisova síla,
 m – hmotnost protékající hmoty,
 v – rychlost proudící hmoty,
 w – úhlová rychlost oscilací trubice.



Obr. 3.17 – Coriolisův průtokoměr (Kadlec, 2006)

3.9 MAGNETICKO-INDUKČNÍ PRŮTOKOMĚR

Dají se použít pouze pro elektricky vodivé kapaliny včetně tekutých kovů. Neobsahují pohyblivé části, mohou pracovat v libovolné poloze a měří při obou směrech proudění.



Obr. 3.18 – Magneticko-indukční průtokoměr (Kadlec, 2006)

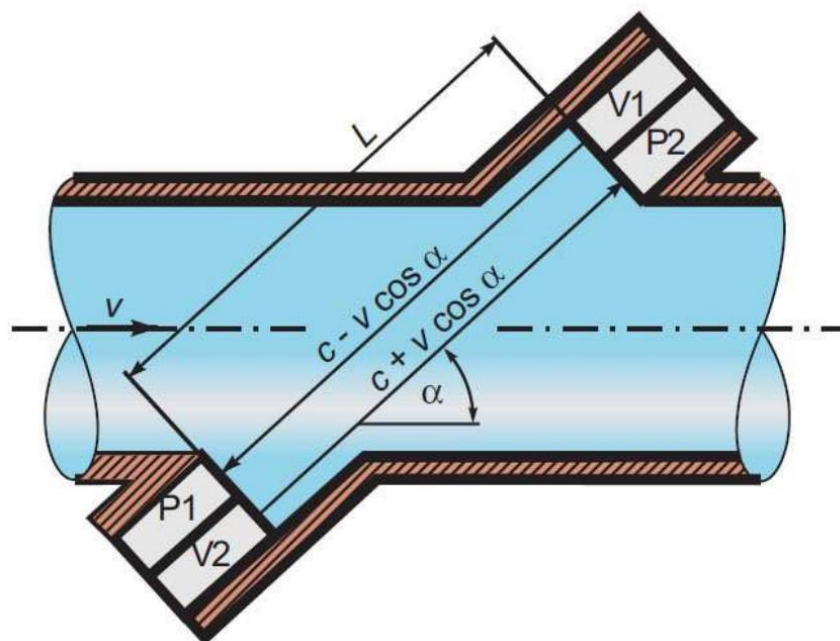
3.10 ULTRAZVUKOVÉ PRŮTOKOMĚRY

Jak už z názvu vypovídá, tyto průtokoměry používají ultrazvuk pro měření. Ultrazvuk jsou ultrazvukové vlny neboli mechanické vlny nad 20 000 Hz. V přírodě nalezneme ultrazvuk u netopýrů. Ti ho používají k navigačním účelům.

Tyto senzory se používají hlavně pro kapaliny ve velkých potrubích. Jsou založené na změně frekvence ultrazvukového vlnění mezi vysílačem a přijímačem.

3.10.1 Přímé ultrazvukové průtokoměry

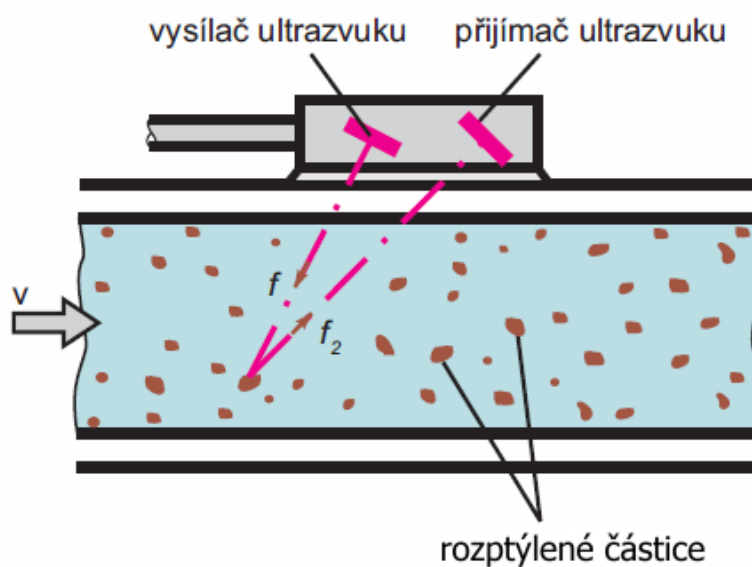
Mají dva vysílače a přijímače. Oba vysílají ultrazvukový signál, ale jeden po směru a jeden v protisměru, jak je vidět na Obr. 3.19. Rychlost je určena rozdílem obou signálů.



Obr. 3.19 – Ultrazvukový průtokoměr (Kadlec, 2006)

3.10.2 Dopplerovy průtokoměry

Dopplerovy průtokoměry využívají ultrazvuku tak, že se vlnění odráží od vzduchových bublin nebo nečistot či pevných částic v proudící kapalině a samozřejmě je přijímáno přijímačem. Tyto průtokoměry fungují tedy pouze pokud kapalina proudící senzorem obsahuje vzduchové bubliny nebo nečistoty, jak je vidět na Obr. 3.20.

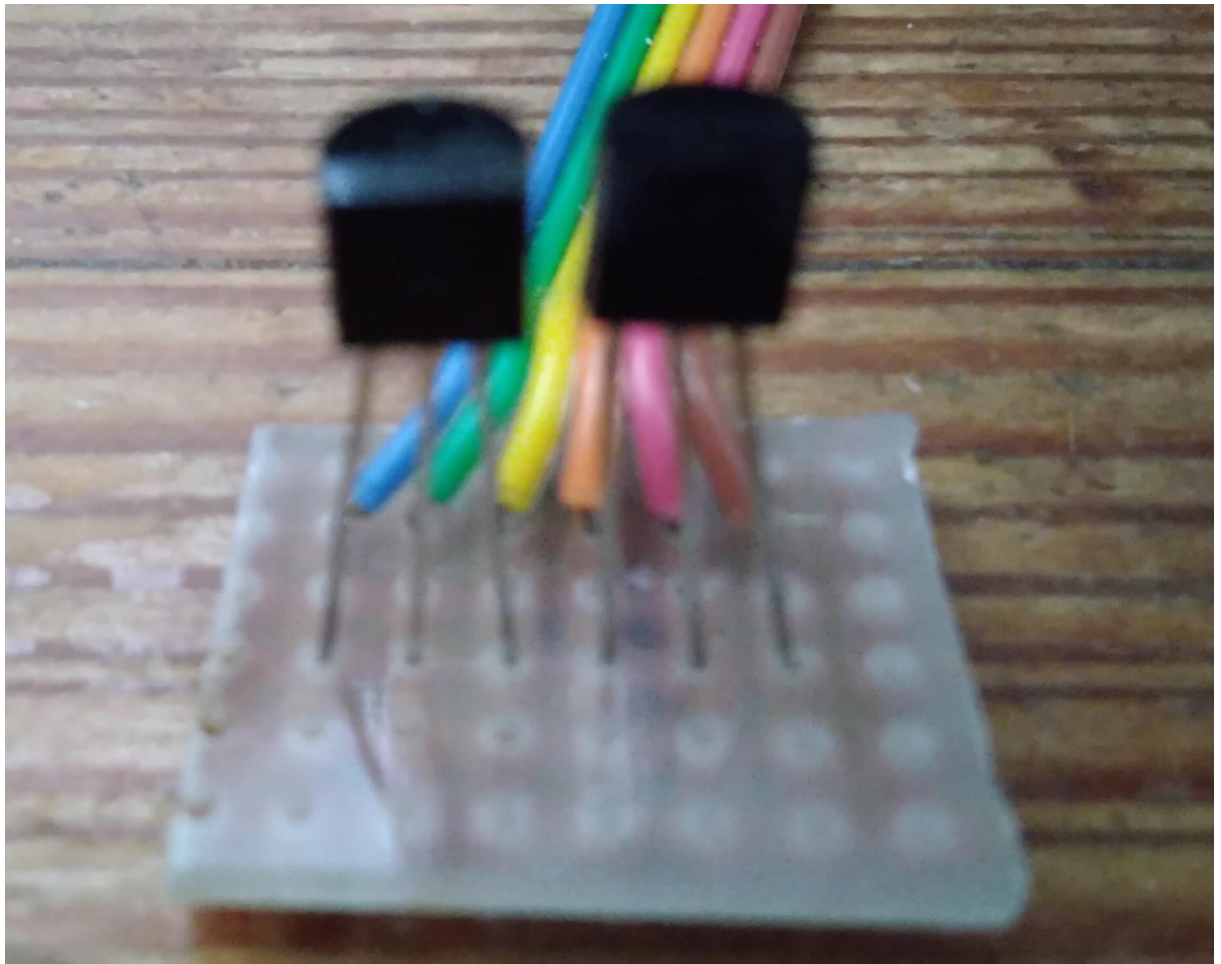


Obr. 3.20 – Dopplerův průtokoměr (Kadlec, 2006)

3.11 VÝBĚR SENZORU PRO MĚŘENÍ PRŮTOKU

Pro svůj senzor pro měření rychlosti proudění plynů jsem si vybral tepelný senzor fungující na bázi tranzistoru. Na Obr. 3.21 jsou vidět tranzistory BC550. Jsou snímací částí celého senzoru. Oba jsou umístěny na univerzálním plošném spoji a pro každou nožičku tranzistoru je přiveden vodič. Tranzistory jsou ovšem jen pro snímání, a aby senzor fungoval. Je potřeba mít další součástky.

Oba tranzistory (v pouzdru TO-92) jsou umístěné v místě proudění vzduchu. Jejich tepelný odpor mezi přechodem a pouzdrum je konstantní, ale odvod tepla z povrchu pouzdra je vyšší. Pokud se tedy jenom lehce zafouká na tranzistor, jeho teplota bude větší. A tím bude větší výstupní napětí senzoru.



Obr. 3.21 – Tranzistory T1 a T2 senzoru anemometru

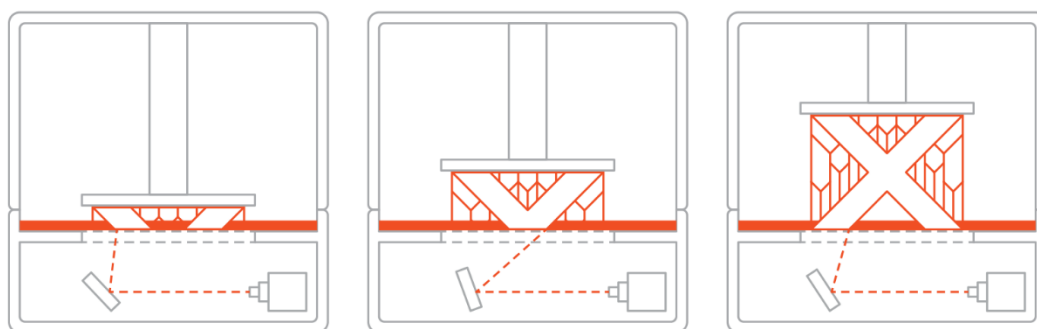
4 VYUŽITÍ 3D TISKU K PROTOTYPOVÉ VÝROBĚ SENZORU PRŮTOKU

4.1 3D TISK

Jedná se o postupné nanášení vrstev materiálu, aby bylo dosaženo celku neboli celého výrobku. Nanášení vrstev se ovšem dá dělat dvěma způsoby, a to FDM a SLA.

4.1.1 SLA

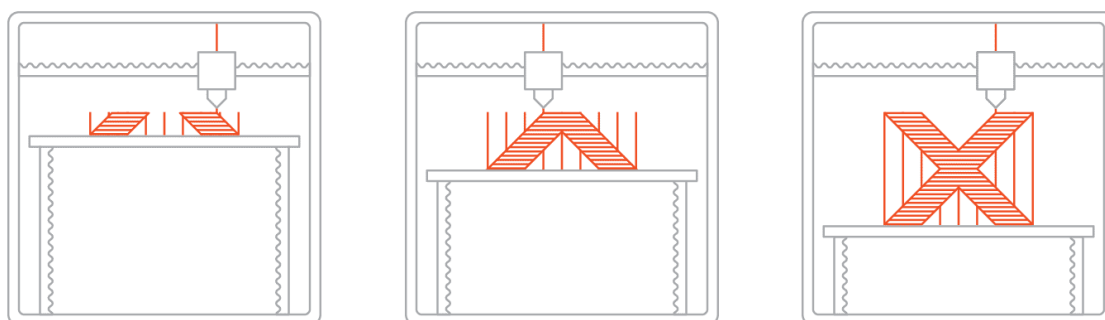
Neboli stereolithography se využívá k tisknutí pryskyřicí. Tisk se provádí tak, že se tisková podložka ponoří do roztavené pryskyřice a postupným osvětčováním UV panelem vzniká postupný celek, jak je vidět na Obr. 4.1. Tento typ tisku je velmi přesný a velmi detailní. Proto se používá většinou pro modely.



Obr. 4.1 – Tisková technika SLA (Sergio, 2019)

4.1.2 FDM

FDM neboli Fused Deposition Modeling je typ tisku, kde se používá tryska s roztaveným materiálem k postupnému nanášení vrstev. Tento typ tisku má hodně možností materiálů (Např. PLA, PETG, ABS a ASA). Všechny fungují stejně, ale za určitých teplot tisku.



Obr. 4.2 – Tisková technika FDM (Sergio, 2019)

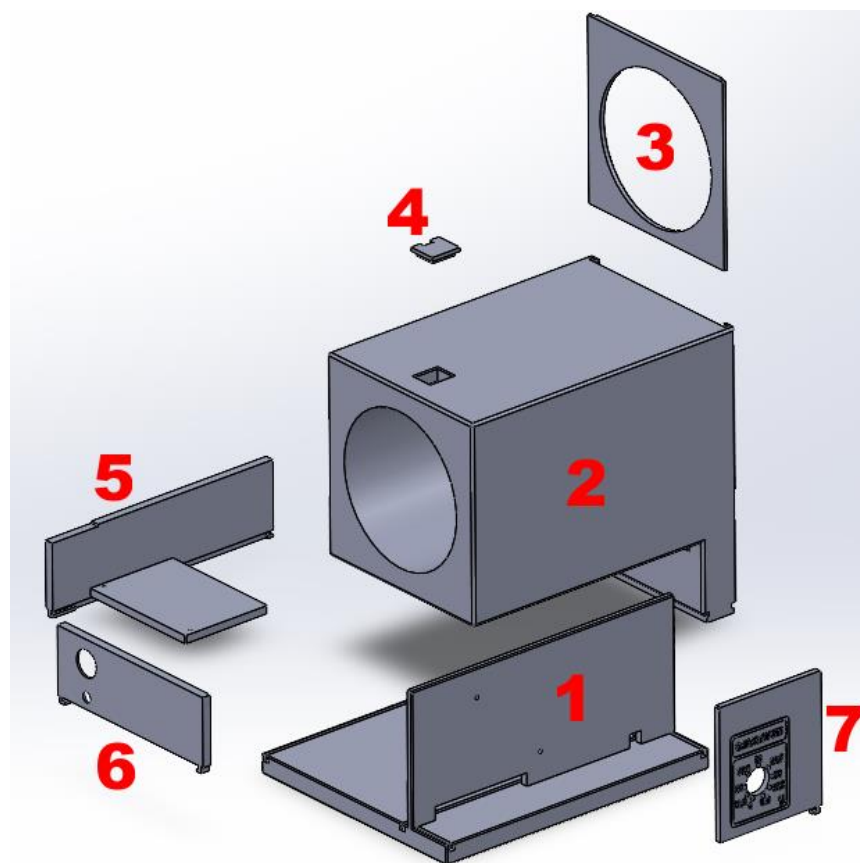
Typ tisku, který byl použit je FDM. A pro tisk byl vybrán bílý recyklovaný PLA. Poté stačilo už jen navrhnout 3D modely a následně model převést do vrstev pro tisk. Přičemž muselo být počítáno s tím, že použitá tryska má průměr 0,2 mm. V této části je také potřebné navrhnout podpěry pro tisk částí, které by se mohly špatně vytisknout, pokud by nebyly použity.

4.2 MODEL

Skládá se z těchto dílů:

1. Základna,
2. tunel,
3. filtr,
4. záslepka,
5. zadní stěna s držákem,
6. stěna s porty,
7. přední deska se stupnicí.

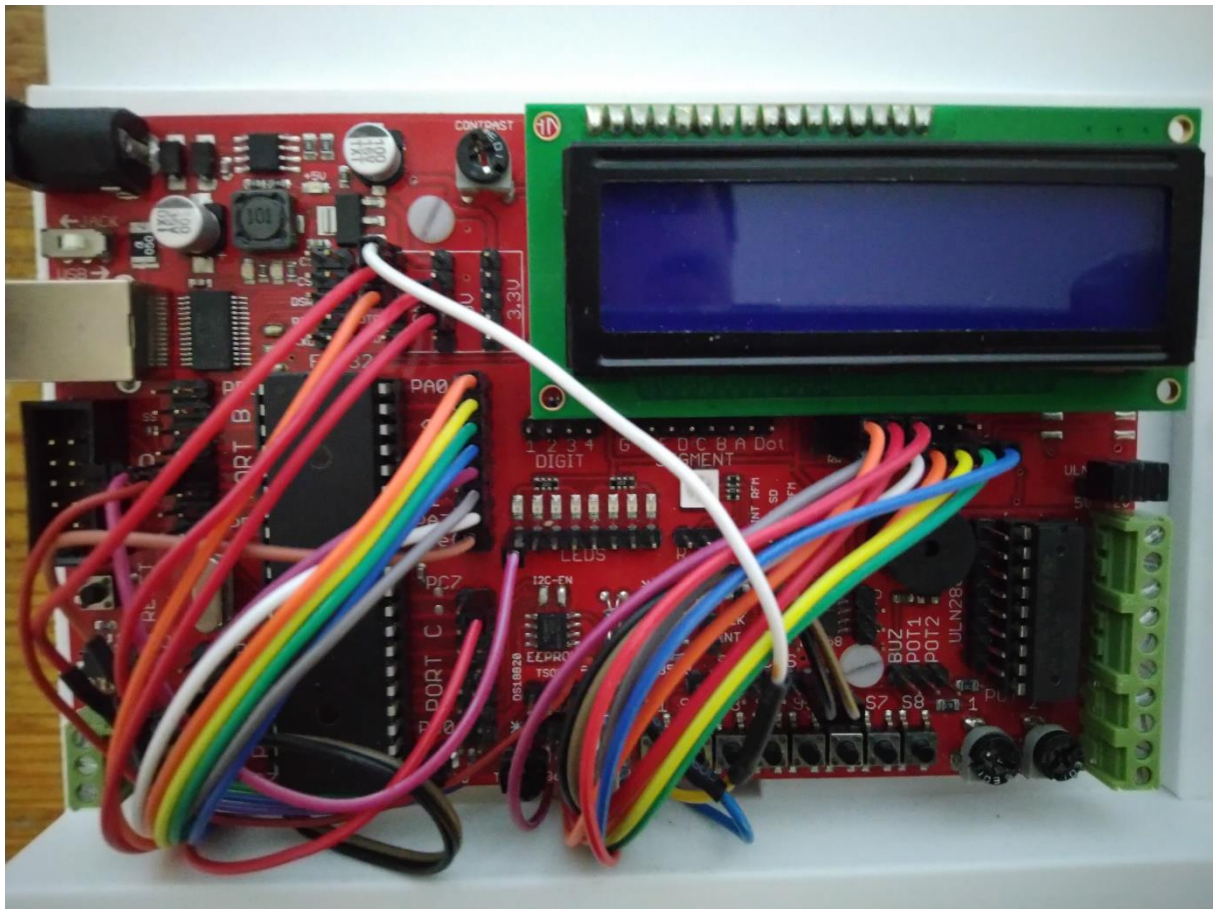
Celkový model se skládá z těchto všech částí a je vyrobený z recyklovaného PLA. Všechny části jsou vytvořené v programu Solidworks a jsou uloženy ve formátu 3MF. Následně bylo nutno tyto modely předělat tak, aby se daly vytisknout. Pro tento účel byl vybrán program PrusaSlicer. Tento program dokáže vytvořit z modelu hotovou strukturu pro tisknutí a následně ji uložit do formátu GCODE.



Obr. 4.3 – Celkový model všech mechanických částí

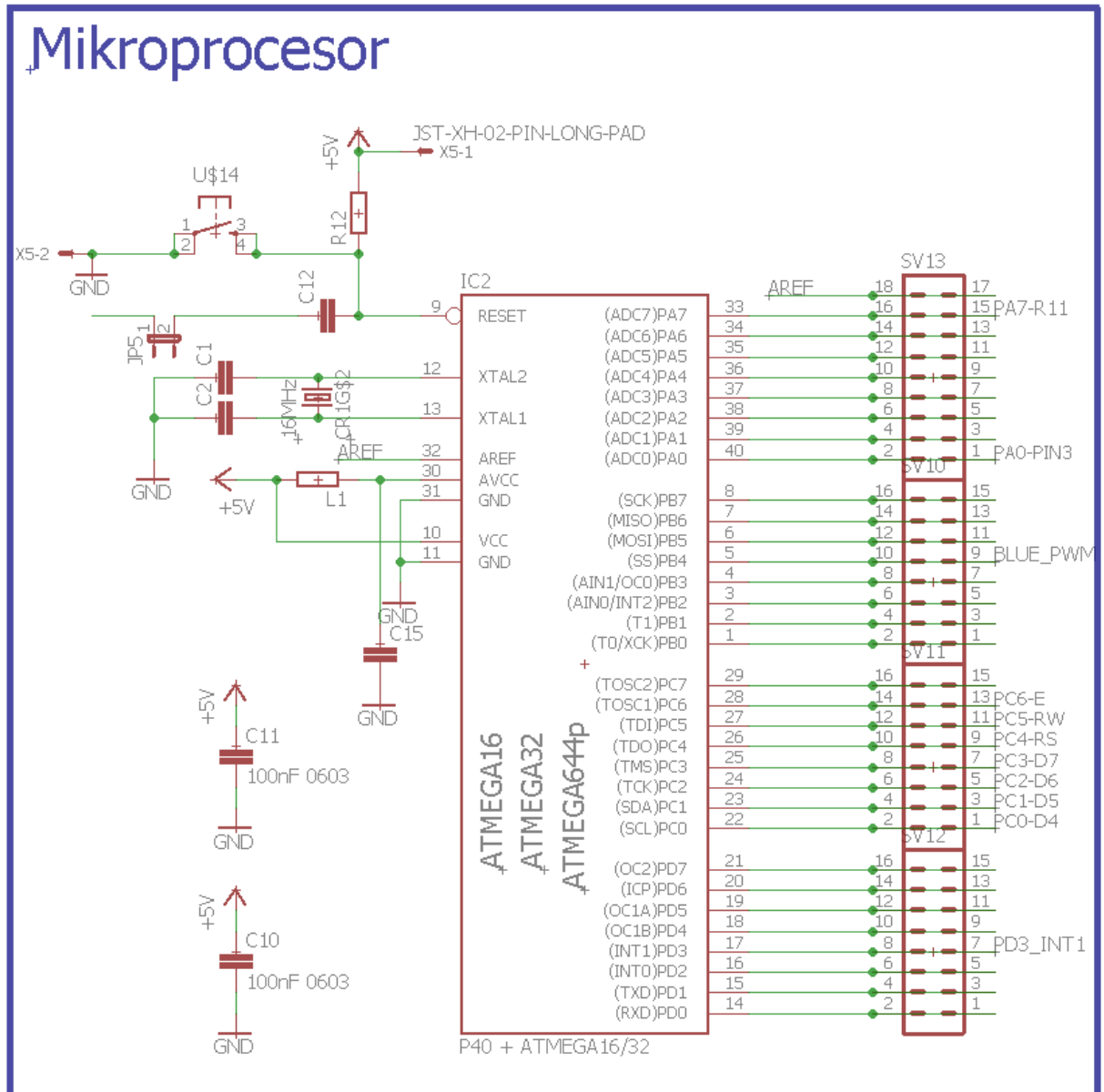
5 VÝVOJOVÝ KIT

Pro tento projekt byl použit vývojový kit EvB 5.1 v5. Tato stavebnice se dá naprogramovat skoro na cokoliv díky svojí multifunkčnosti. Obsahuje procesor ATMega32 a spoustu dalších periférií na naprogramování. Například 7 LED display, tlačítka, bzučák, IR LED, EEPROM, infračervený snímač, 8 indikačních LED, jednu RGB diodu a další. Většina z toho je vidět na Obr. 5.1.



Obr. 5.1 – Vývojový kit EvB 5.1 v5

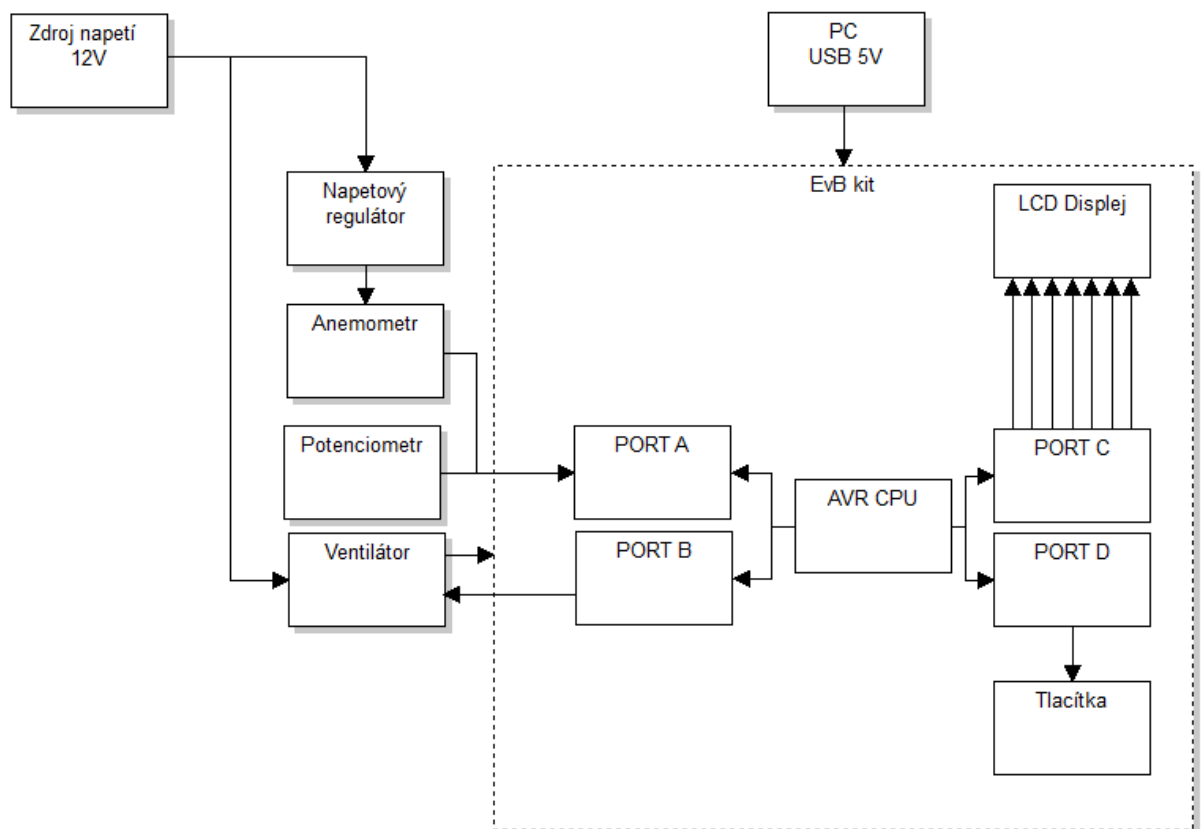
Na dalším Obr. 5.2 je vidět samotné schéma zapojení mikroprocesoru ATmega32 na stavebnici a je zde vidět jenom část s mikroprocesorem. Protože velmi důležité jsou programovatelné vývody z procesoru port A, port B, port C a port D. Dále byl zapotřebí LCD display pro zobrazování, tlačítka pro ovládání a napájení.



Obr. 5.2 – Schéma mikroprocesoru na EvB 5.1

6 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

Pro zapojení senzoru pro měření proudění plynů bylo vytvořeno blokové schéma na Obr. 6.1. Jsou na něm vidět všechny bloky. Jsou tu dva zdroje napájení. Jeden je z PC a je napojený přes USB na EvB kit neboli EvB stavebnici. Tento kabel byl zároveň používán pro naprogramování mikroprocesoru a napájí celou stavebnici. Pokud je odpojen mikroprocesor, přestává fungovat. Druhý zdroj napětí napájí ventilátor a anemometr přes napěťový regulátor. Mikroprocesor ovládá ventilátor pomocí potenciometru. Zároveň přijímá napětí z anemometru a toto napětí převádí na rychlost v jednotkách, které se nastavují na tlačítkách. A poté ho zobrazí na LCD displeji.



Obr. 6.1 – Blokové schéma senzoru pro měření proudění plynů

6.1 PROPOJOVACÍ TABULKA PINŮ

Tab. 6.1 – Zapojení všech vývodů pomocí propojovacích kabelů

Pořadí	Ze zařízení	Součástka	Do zařízení	Součástka
1	Anemometru	PIN3	EvB kit – Mikroprocesor	PORT A0
2	Ventilátor	SPB4-3	Potenciometr	R11-3
3	Ventilátor	SPB4-4	EvB kit – Mikroprocesor	PORT B4
4	Potenciometr	R11-2	EvB kit – Mikroprocesor	PORT A7
5	EvB kit – LCD Displej	DIS1-E	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C6
6	EvB kit – LCD Displej	DIS1-RW	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C5
7	EvB kit – LCD Displej	DIS1-RS	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C4
8	EvB kit – LCD Displej	DIS1-D7	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C3
9	EvB kit – LCD Displej	DIS1-D6	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C2
10	EvB kit – LCD Displej	DIS1-D5	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C1
11	EvB kit – LCD Displej	DIS1-D4	EvB kit – Mikroprocesor	PORT C0
12	EvB kit – LCD Displej	DIS1-NC	EvB kit – 5 V	5 V
13	EvB kit – Tlačítko	SW8	EvB kit – Mikroprocesor	PORT D3
14	Potenciometr	R11-3	EvB kit – GND	GND
15	Potenciometr	R11-1	EvB kit – 5 V	5 V
16	EvB kit – LCD Displej	GND	EvB kit – GND	GND
17	EvB kit – LCD Displej	VCC	EvB kit – 5 V	5V

6.2 VÝSLEDNÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Bylo navrženo takové řešení, aby bylo odolné, a aby mohly být později přidávány další části, které ještě nebyly navrženy. Celkový projekt je navrhnutý a vytisknutý ze 7 dílů lehce zasunutých do sebe. V celkové sestavě se tak nachází jenom pár věcí, co nejsou vytištěné. Jako jsou sloupky pro EvB a šrouby co upínají ventilátor, aby se nehýbal. Celkový pohled je vidět na Obr. 6.2.



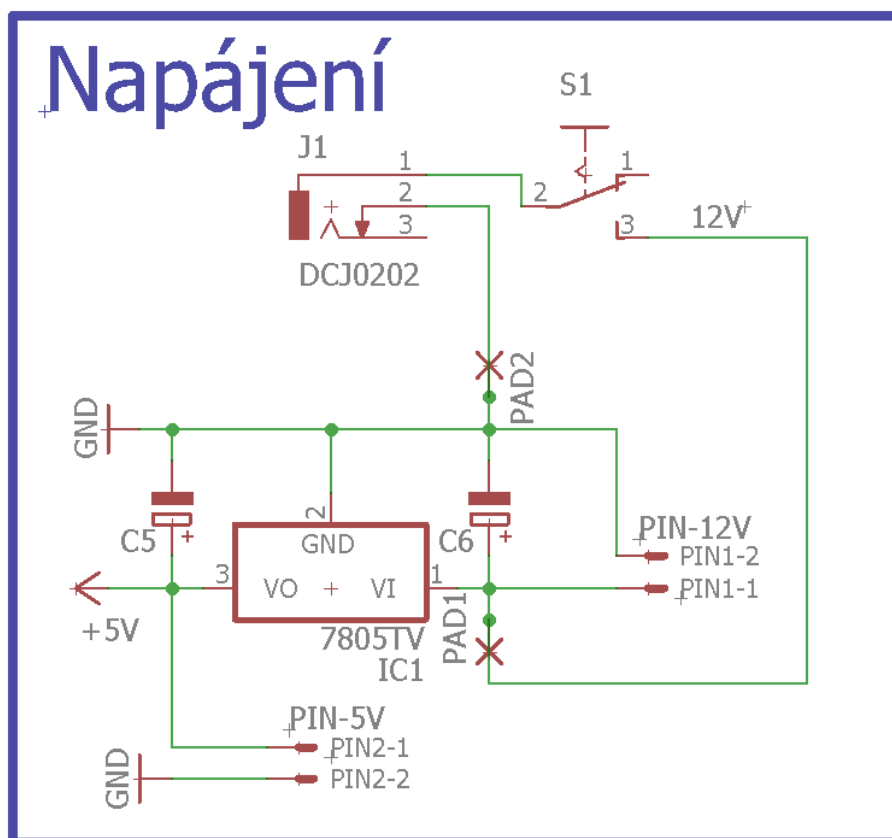
Obr. 6.2 – Finální mechanická konstrukce

6.3 NAPÁJENÍ A VÝBĚR NAPÁJECÍHO ZDROJE

Pro senzor měření proudění vzduchu bylo nutné vybrat takový napájecí zdroj, aby byl schopný napájet ventilátor a senzor současně. Ze začátku jsem pro tuto práci používal starý napájecí zdroj.

Byl vybrán napájecí zdroj takový, aby mohl napájet ventilátor a senzor anemometru. Byl vybrán model Sunny SYS1546-3612-T2. Jeho výstupní napětí je 12 V DC a jeho maximální proud je 3 A. Tento model byl vybrán z důvodu dostatečné rezervy, co se týče maximálního proudu. Toto následně nebylo využito, protože byl použit daleko méně výkonný ventilátor, než bylo očekáváno.

Zdroj je připojen ze zadní části projektu do konektoru J1 na Obr. 6.3. Konektor je následně spojen s tlačítkem S1 na zapnutí a vypnutí anemometru a ventilátoru.



Obr. 6.3 – Napájení (zadní část s konektory a vypínačem)

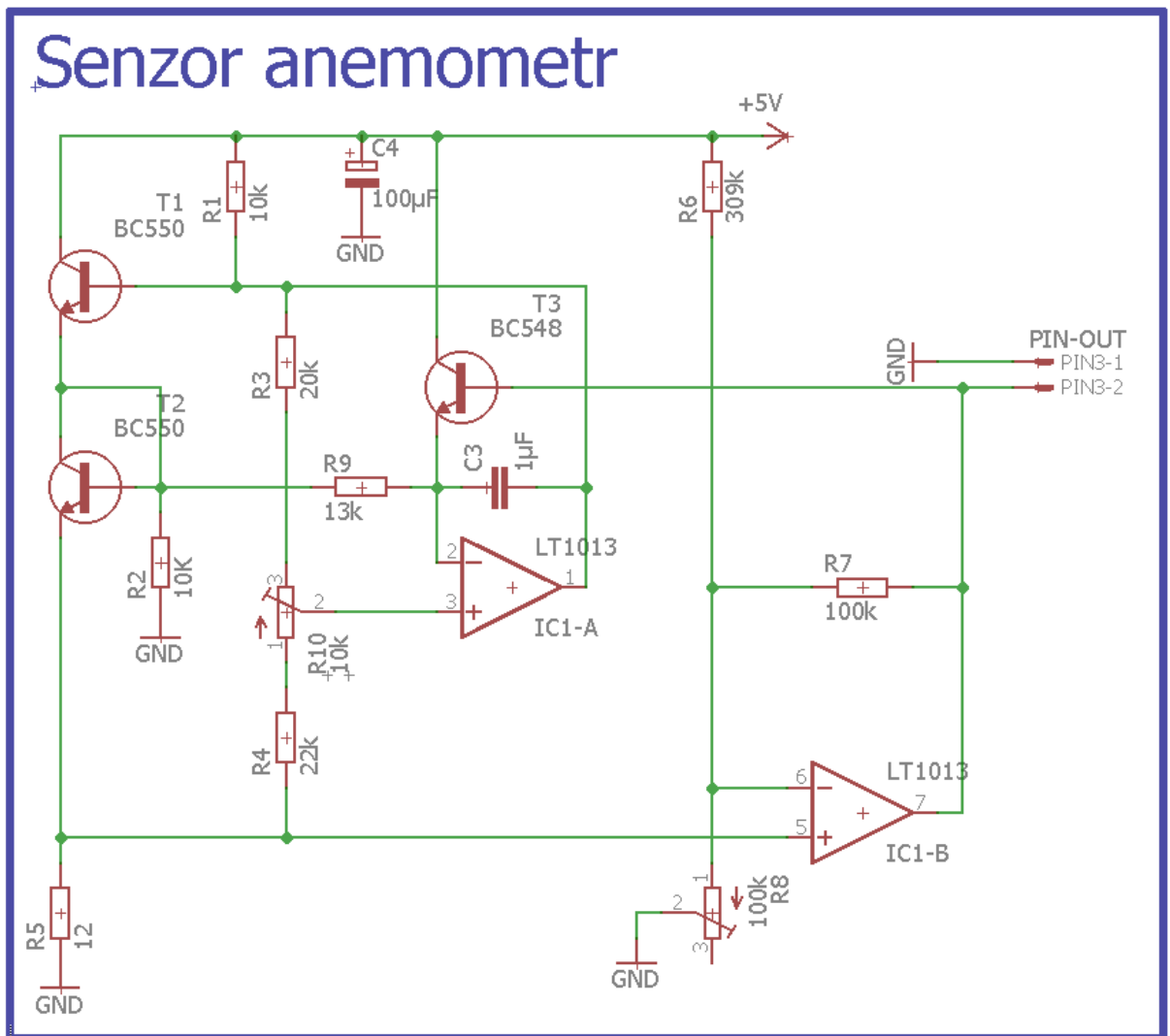
Ovšem toto napájení není jediné, které je zde uvedeno. Ještě bylo třeba napájet mikropočítač EvB. Toto napájení nakonec nebylo využito a rovnou byl připojen USB na stavebnici. Tímto USB byl nejenže napájen, ale i programován celý mikropočítač. A to je ten hlavní důvod, proč nebyla použita dvě napájení.

6.4 SCHÉMA SENZORU

Zde na Obr. 6.4 je vidět zapojení senzoru pro měření proudění vzduchu. Celkový obvod je napájen zdrojem napětí přivedeného na PAD1 a PAD2 (Obr. 6.3). To je dále regulováno lineárním napěťovým regulátorem 7805 označeného IC1. Tento napěťový regulátor reguluje dané napětí z 12 V na 5 V, aby se dalo použít k napájení stabilním napětím pro senzor.

Senzor je schopen měřit díky zapojení dvou tranzistorů T1 a T2, které jsou zapojené do série. Díky tomu jimi protéká shodný proud. Ovšem T2 má spojený kolektor s bází, a díky tomu se T1 více zahřívá, protože jeho výkonová ztráta je větší.

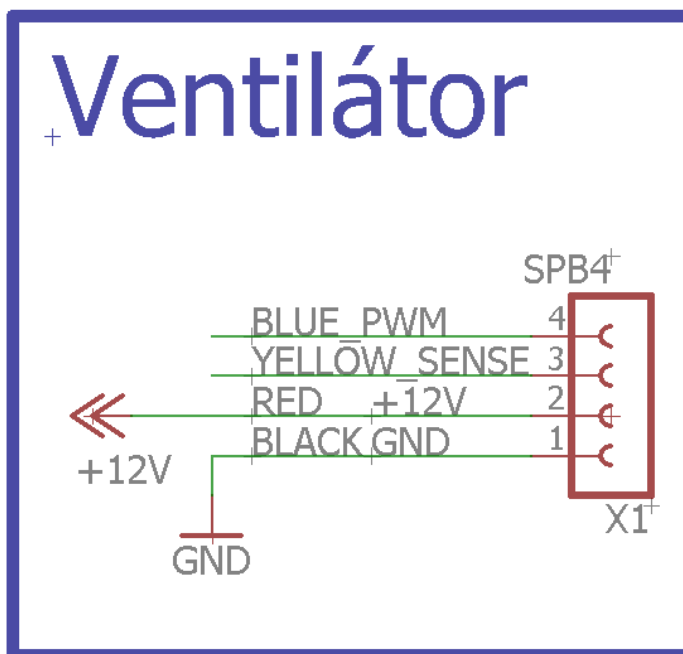
Celé zapojení bylo několikrát testováno na nepájivém poli, ale ne vždy fungovalo. Dokonce ne každý tranzistor BC550, které jsou použity pro snímání senzoru, fungoval. Je ovšem možné, že svůj vliv zde měla práce na nepájivém poli.



Obr. 6.4 – Anemometr (Zapojení senzoru)

6.5 VENTILÁTOR A JEHO OVLÁDÁNÍ

Ventilátor v této práci má čtyři vývody. Ovšem ne každý ventilátor má tolik vývodů. Některé mají tři nebo jenom dva. Účel základních dvou je pro napájení, jak je vidět na Obr. 6.5. Zbylé dva jsou pro snímání a kontrolu.

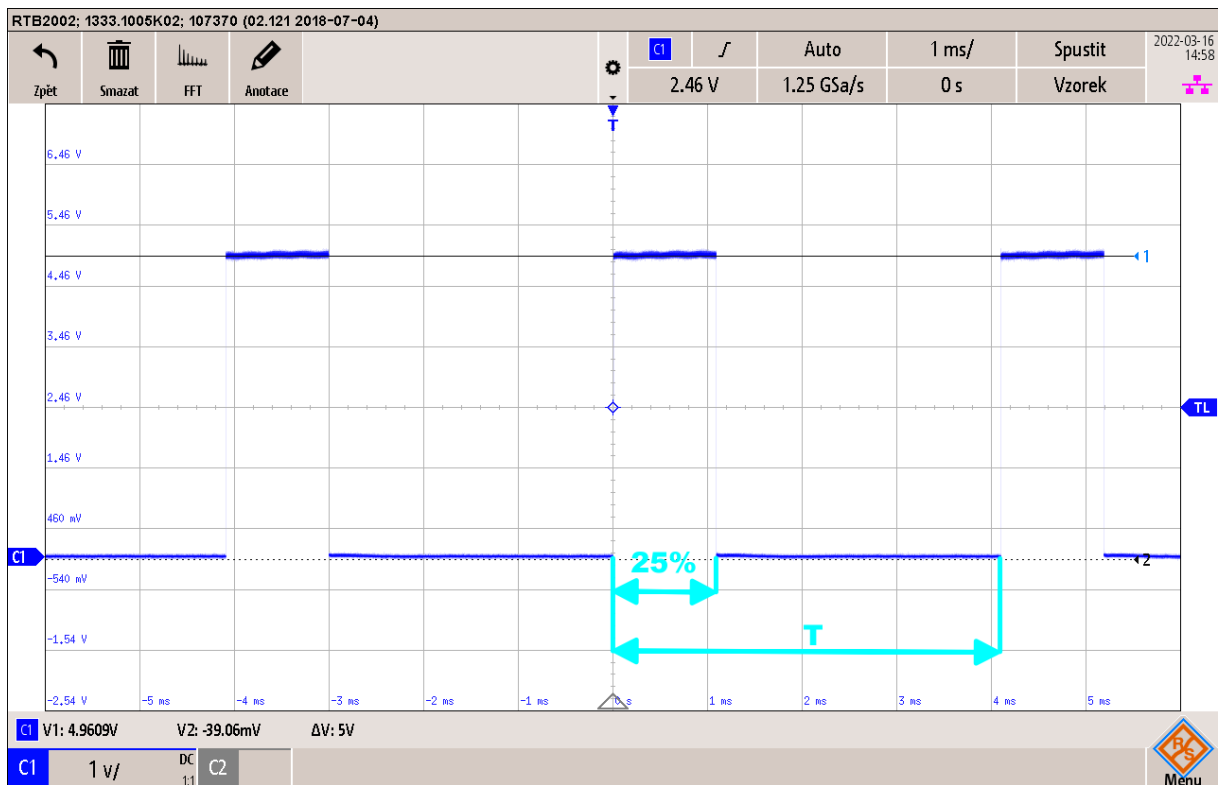


Obr. 6.5 – Ventilátor (Zapojení pinů ventilátoru)

Kontrolní kabel je označován jako PWM a většinou je v modré barvě vodiče. V této práci slouží k ovládní ventilátoru pomocí PWM. Samozřejmě se dá použít k vícero nastavování, jako je třeba nastavení jasu LED. Snímací kabel slouží, jak už z názvu vypovídá, pro snímání otáček daného ventilátoru a předává je procesoru, kde se vyhodnocují.

Tab. 6.2 – Významu pinů ventilátoru

PIN	Označení pinu	Význam pinů ventilátoru	Barva A	Barva B	Barva C
1	GND	Uzemnění ventilátoru	Černá	Černá	Černá
2	12 V	Napájení ventilátoru	Žlutá	Červená	Černá
3	SENCE	Snímání/měření otáček	Zelená	Žlutá	Černá
4	CONTROL	Řízení rychlosti/otáček ven.	Modrá	Modrá	Černá



Obr. 6.6 – PWM signál z PORT B4

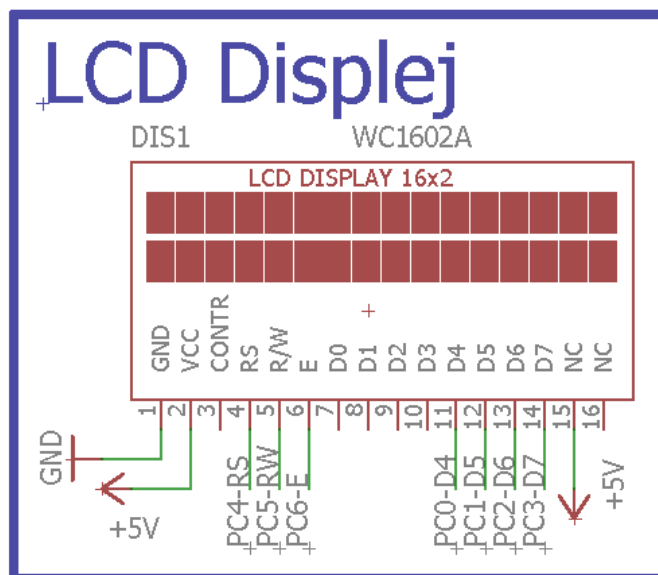
PWM je všeobecně signál, který nabývá pouze dvou stavů. Je to logická 0 neboli 0 V a logická 1 neboli 5 V. Základní PWM signál si můžeme představit jako základní obdélkový signál posunutý na 0 V, mající hodnoty 0 a 5 V za každou púlperiodu. Ovšem u PWM si můžeme nastavit, že v každé periodě bude 75 % 5 V a 25 % 0 V. Prakticky v jakémkoliv poměru, který chceme. Program je nastavený tak, aby v základním stavu dával 25 % 5 V a ve zbytku 0 V, jak je vidět na Obr. 6.6. Následně, aby ventilátor mohl být ovládán, tak byl využit potenciometr pro ovládání na Obr. 6.7. Tímto potenciometrem byl nastaven poměr mezi logickou 1 a 0. A to díky tomu že je přivedený na A / D převodník mikroprocesoru.



Obr. 6.7 – Potenciometr (Pro ovládání PWM)

6.6 ZOBRAZENÍ NA DISPLEJI

Zobrazování dané rychlosti je na LCD displeji WC1602A s řadičem HD44780 na Obr. 6.8. Displej obsahuje 16×2 polí pro znaky. Každý znak obsahuje 5×8 pixelů. Lze tak řešit rozsvícení jednotlivých pixelů, ale efektivnější bylo využít řadič. Protože s ním se dají psát rovnou znaky a symboly.



Obr. 6.8 – LCD Displej (Zapojení)

Tento displej obsahuje 16 pinů pro zapojení. Jejich označení a vysvětlení je v Tab. 6.3. Ovšem, jak je vidět na zapojení, tak nebyly zapojeny všechny datové piny.

Je to díky tomu, že displej může fungovat ve dvou režimech datové komunikace, a to 8 nebo 4bitový způsob komunikace. Základní funguje se všemi osmi datovými piny. Pro tuto práci byl ovšem využit způsob druhý. Používají se při něm pouze D4 – D7, ale každý byte je rozdělen na dvě čtveřice bitů a ty jsou po nich odeslány za sebou.

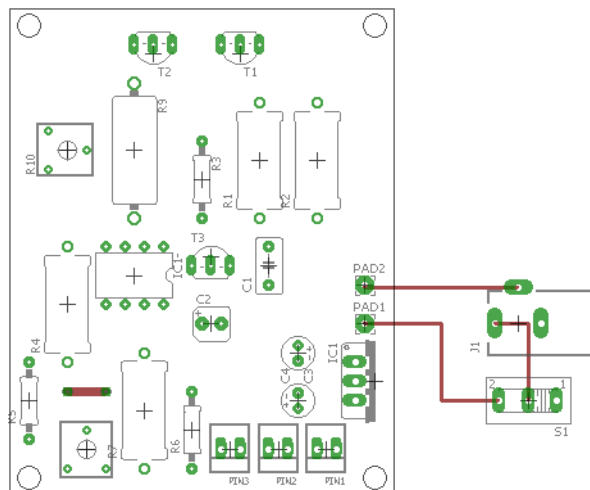
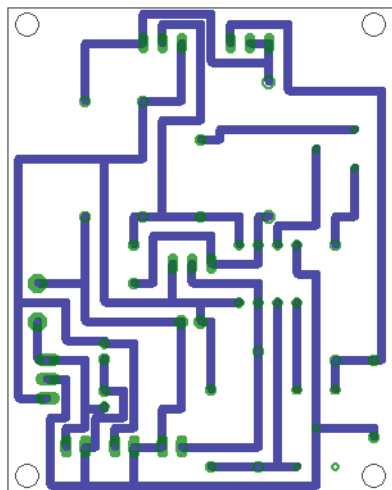
Další piny jsou tři řídicí piny RS, R/W a E. RS určuje, zda se jedná o data nebo instrukce pro řadič LCD. R/W rozlišuje mezi zápisem dat a čtením dat z LCD. A poslední pin E ovládá vzorkování řídicích i datových pinů.

Tab. 6.3 – Významu pinů LCD

PIN	Označení pinu	Význam pinů LCD
1	GND	Uzemnění LCD
2	VCC	Napájení LCD
3	CONTR	Ovládá kontrast daného textu (Contrast)
4	RS	Určuje, zda se jedná o data nebo instrukce pro řadič (Register Select)
5	R/W or RW	Rozlišuje a čte data z LCD (Read/write)
6	E	Řídí vzorkování (Enable signal)
7	D0	Datový pin (Data)
8	D1	Datový pin (Data)
9	D2	Datový pin (Data)
10	D3	Datový pin (Data)
11	D4	Datový pin (Data)
12	D5	Datový pin (Data)
13	D6	Datový pin (Data)
14	D7	Datový pin (Data)
15	NC	Ovládání podsvícení 5 V
16	NC	Ovládání podsvícení 0 V

6.7 ZAPOJENÍ NA DPS

V této části lze najít zapojení DPS po vyleptání. Ovšem pro tuto práci nebyla použita metoda leptání DPS. Rozhodnul jsem se použít UPS neboli univerzální plošný spoj. Na tento UPS bylo jednoduché připájet veškerou elektroniku a pokud by došlo omylem k chybě, tak by bylo jednoduché ji napravit než leptat nový DPS.



Obr. 6.9 – Spodní část DPS (Pohled ze spoda) Obr. 6.10 – Vrchní část DPS (Pohled ze shora)

Finální DPS byl navržen tak, aby šel vyleptat z jednostranného měděného laminátu. Musela tam být umístěna jedna propojka, neboť zhotovení nebylo možné bez propojky. Zároveň cesty musely být vyhotoveny širší, aby při leptání nedošlo k úplnému odleptání některých cest. Na Obr. 6.10 je vidět osazená vrchní část DPS z pohled shora a na Obr. 6.9 je ten samý DPS vidět zespodu.

6.8 PROGRAM MIKROPOČÍTAČE

Rychlost proudění vzduchu se určuje výstupním napětím polovodičového anemometru. Napětí dosahuje přibližně od 0,8 V do 2,5 V a na základě toho je postavený celý program. Samozřejmě záleží na nastavení senzoru.

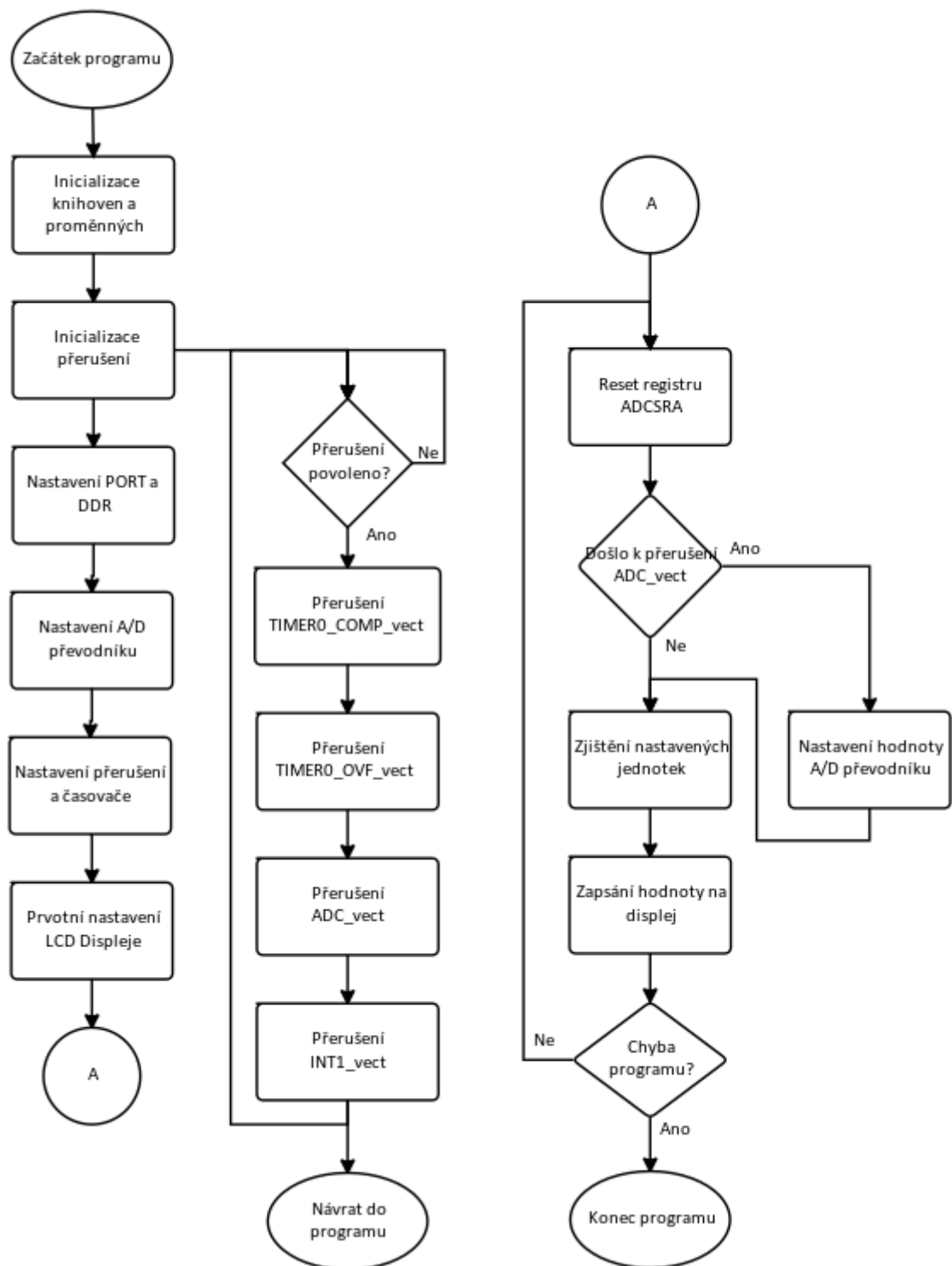
Při vytváření programu bylo ze začátku nejdůležitější ovládání ventilátoru. Aby bylo možné zprovoznit senzor. To bylo vyřešeno pomocí PWM, A / D převodníku a potenciometru. Z A / D převodníku získáme data ohledně natočení potenciometru a mikropočítač pomocí toho upraví PWM. Díky procentuálnímu natočení potenciometru bylo možné změřit rychlost ventilátoru. A to díky školnímu anemometru v různém procentuálním nastavení.

Další část programu je věnovaná LCD displejům. Program byl sestaven za pomoci knihoven, kde stačí napsat, co chcete a mikropočítač vám to zobrazí. A většinu z toho jsem už popsal v oddílu 6.6 .

Nyní bylo možné začít se zobrazováním rychlosti proudění. Napětí anemometru je připojeno na další A / D převodník. U ATmega32 je jich osm a všechny jsou na portu A. Mikropočítač neumí pracovat se všemi zároveň, a proto bylo nutné mezi nimi přepínat, aby snímal data pro PWM a data z anemometru. Tím mikroprocesor snímá obě hodnoty, ale chvíli načítá z jednoho pinu a poté z druhého.

Nyní když mikroprocesor snímá data, bylo potřeba je dekodovat a kalibrovat na reálné měření, aby měření sedělo. Tím pádem se hodnota z A / D převodníku přepočítala, aby seděla na dané měření. Výsledná hodnota se zobrazí na displeji v metrech za sekundu. Pokud ovšem přepneme tlačítko, změníme měření na kilometry za hodinu a tím se změní i konstanta, kterou se násobí. Tato konstanta je jedna a při změně je to 3,6. To zajistí, že mikroprocesor ukáže danou hodnotu v km/h.

6.9 VÝVOJOVÝ DIAGRAM PROCESORU



Obr. 6.11 – Vývojový diagram procesoru

6.10 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ RYCHLOSTI

Měřením byla ověřena funkčnost celého senzoru. Nejdříve byla změřena rychlost tohoto ventilátoru školním anemometrem. Naměřené hodnoty jsou v Tab. 6.4. První sloupec ukazuje procentuální natočení potenciometru, který ovládá PWM. Ostatní sloupce ukazují rychlost ventilátoru v metrech za sekundu a kilometrech za hodinu.

Tab. 6.4 – Naměřených hodnot kontrolního anemometru

%	v , m/s	v , km/h
100	2,52	9,20
87,5	2,35	8,42
75	2,00	7,20
62,5	1,70	6,04
50	1,55	5,50
37,5	1,41	5,11
25	1,42	5,00
12,5	1,35	4,86
0	1,32	4,75

V následující Tab. 6.5 je úplně stejné měření, jako bylo provedeno v Tab. 6.4 až na to, že bylo změřeno polovodičovým anemometrem. První sloupec ukazuje procentuální natočení potenciometru. Ovšem druhý sloupec ukazuje výstupní napětí senzoru. Z tohoto napětí mikroprocesor počítá rychlosti proudění a následně ho zobrazí na displej.

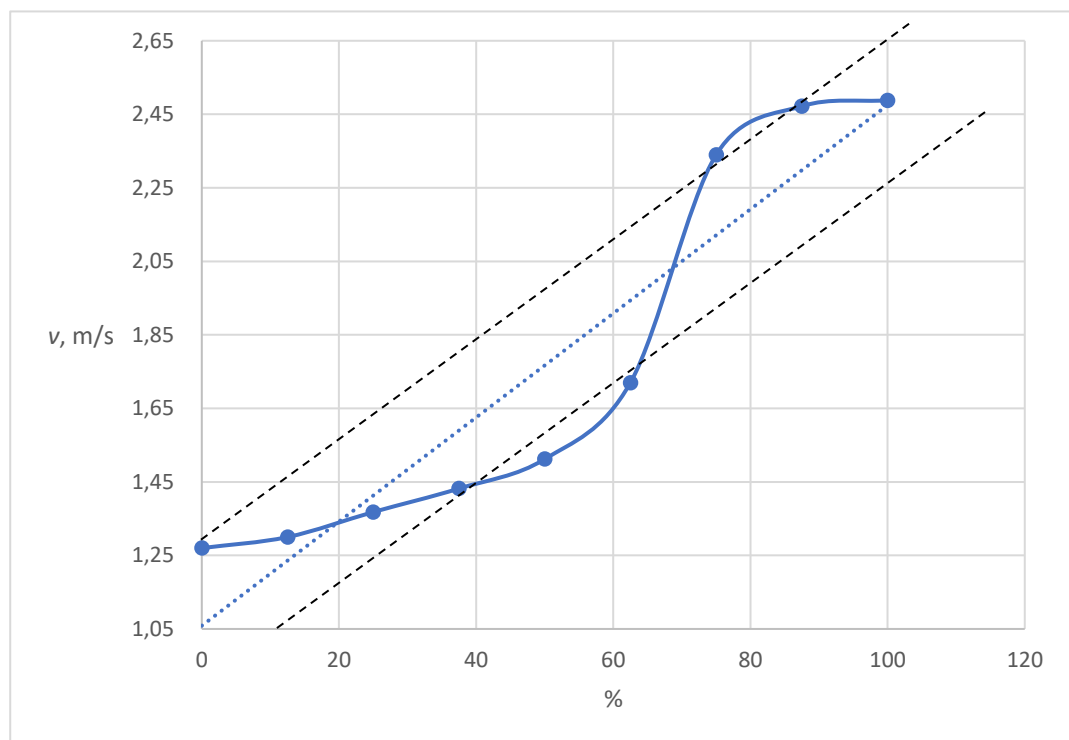
Tab. 6.5 – Naměřených hodnot polovodičovým anemometrem

%	U , V	v , m/s	v , km/h
100	2,28	2,49	9,06
87,5	2,26	2,47	8,90
75	2,01	2,34	8,42
62,5	1,25	1,72	6,19
50	1,09	1,51	5,44
37,5	0,98	1,43	5,16
25	0,82	1,37	4,92
12,5	0,80	1,30	4,68
0	0,75	1,27	4,57

Většina naměřených hodnot polovodičového anemometru v obou tabulkách se samy sobě podobají. Ovšem nejsou úplně stejné. V některých částech bylo velmi těžké naměřit dané hodnoty, neboť se napětí nechtělo ustálit.

6.10.1 Zhodnocení měření

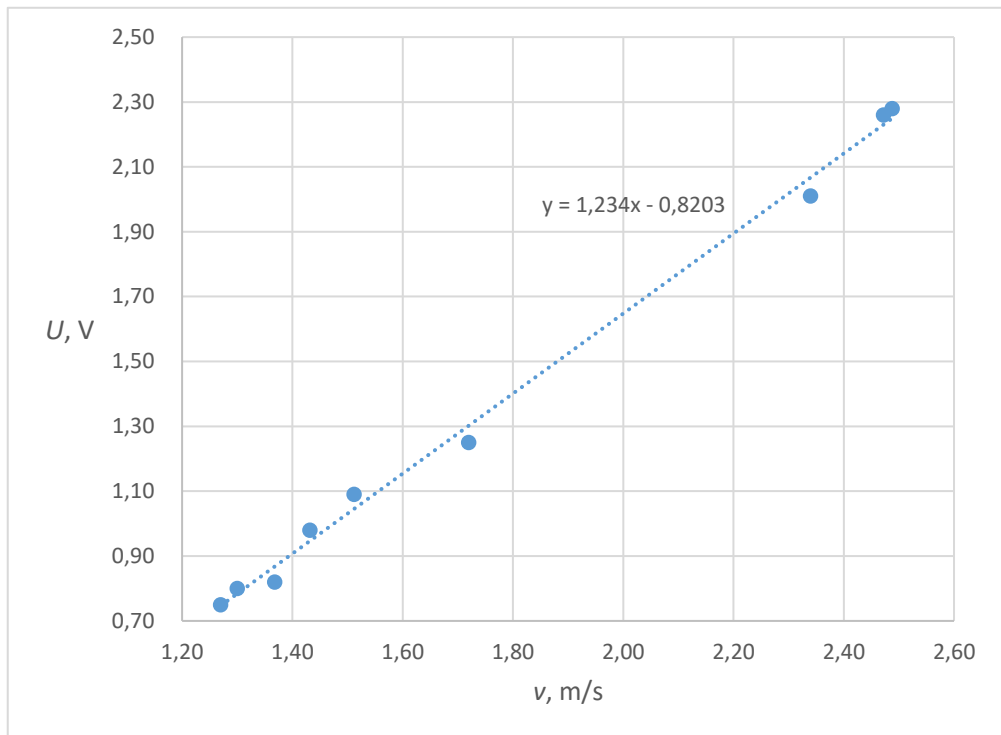
Výsledná křivka na Obr. 6.12 je závislost výstupního napětí senzoru pro měření rychlosti proudění plynů na procentuálním natočení potenciometru ovládajícím PWM. Ukazuje, že naměřené hodnoty nejsou měřeny lineárně.



Obr. 6.12 – Závislost naměřené rychlosti proudění senzoru na procentuálním natočení potenciometru

Polovodičový anemometr takto zapojený dokáže velmi dobře zjistit, že tranzistor je obtékán vzduchem. Díky výstupnímu napětí dokáže senzor měřit proudění vzduchu i přesto, že měření není úplně lineární.

Závislost výstupního napětí anemometru na rychlosti proudění vzduchu je vidět na Obr. 6.13. Je lineární i když s malými odchylkami. Pro ideální senzor by bylo nejlepší, kdyby vypadal jako lineární tečkovaná čára.



Obr. 6.13 – Závislost výstupního napětí anemometru na rychlosti proudění vzduchu

7 ZÁVĚR

Vypracování této bakalářské práce mělo za úkol návrh a následnou realizaci elektronického senzoru pro měření rychlosti proudění plynů. Tento záměr byl naplněn. Navíc se autor při této bakalářské práci naučil používat 3D tisk a je za to velmi rád.

Tab. 7.1 – Parametry senzoru pro měření proudění vzduchu

Parametry	Polovodičový anemometr
Napájení 1	Napájeno z 230 V a transformováno 12 V
Napájení 2	Napájeno z USB 5 V
Možnost jednoho napájení	Ne
Rozměry	230 – 217,4 – 191
Rozsah měření proudění vzduchu	1,2–3 m/s
Displej	LCD

Přesnost tohoto senzoru není veliká, ale určitě by se dal využít ne jako senzor, ale jako čidlo na proudění vzduchu. Stačí zafoukat na tranzistor třeba i ústy a hned se zvedá výstupní napětí senzoru. Výstup senzoru je přiveden na A / D převodník mikroprocesoru, který ovládá nebo snímá data pro všechny další komponenty. Jedním je ventilátor foukající vzduch na senzor. Druhým je potenciometr, který ovládá PWM pro ventilátor. A poslední je LCD displej, na kterém se zobrazuje daná rychlost proudění vzduchu.

Byly splněny veškeré podmínky zadání, každopádně by se celkový projekt dal ještě vylepšit mnoha způsoby. Například po SW stránce by bylo možné zobrazovat více dat. Jako třeba velikost PWM nebo implementování filtrování dat. Ovšem po HW stránce by bylo lepší navrhnout uzavřený tunel lépe utěsnitelný. Rozšířit soustavu o další senzor pro lepší měření.

POUŽITÁ LITERATURA

- MAIXNER, L. 2006. "Mechatronika". Computer Press, a. s.. ISBN 80-251-1299-3.
- LÍŠKA, A.; NOVÁK, P. 1999. "Technika stlačeného vzduchu". ČVUT. ISBN 80-01-01947-0.
- NOVÁK, M. 2018. "Technická měření". ČVUT. ISBN 978-80-01-06388-0.
- KADLEC, K.; KMÍNEK, M. 2005 "Měření průtoku a protékého množství". [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F4/F4k45-prut.htm#k45>
- KADLEC, K. 2006. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 1). *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku*. č. 10, říjen: s. 5–9. ISSN 1210-9592.
- KADLEC, K. 2006. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 2). *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku*. č. 11, listopad: s. 24–29. ISSN 1210-9592.
- KADLEC, K. 2006. Snímače průtoku – principy, vlastnosti a použití (část 3). *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku*. č. 12, prosinec: s. 30–34. ISSN 1210-9592.
- KADLEC, K. 2003. Tepelné hmotnostní průtokoměry a regulátory. *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku*. č. 12, prosinec. ISSN 1210-9592.
- ZETEK, T. 2021. Rozhodování při volbě průtokoměrů. *AUTOMA: časopis pro automatizační techniku*. č. 12, prosinec. ISSN 1210-9592.
- VODNÁREK, L. 2022. "3D zakázkový tisk". [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: https://www.3dmanufaktura.cz/3d-zakazkovy-tisk/?gclid=CjwKCAjwi6WSBhA-EiwA6Niok9ji3kR0aikvrJ4iTgwz5UVIX9JvcZxD_jrgr_1OiCs6GGCdemGgaxoCJO0QAvD_BwE
- VOJÁČEK, A. 2006. "Teplotní průtokoměry – termoanemometry". [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/clanek/2006082301>
2016. "Princip Pitotovy trubice". [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: <https://reseneulohy.cz/1038/princip-pitotovy-trubice>
- JOHN. 2019 "What is screw flow meter?". [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: <https://engineerscommunity.com/t/what-is-screw-flow-meter/8234>
- KOMP, P. 2009 "Vírový průtokoměr Optiswirl 4070 C Měřicí princip". [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/42157246-Virovy-prutokomer-optiswirl-4070-c-merici-princip-petr-komp.html>
- SERGIO, T. 2019 "Os tipos de Tecnologia de Impressão 3D" [online]. [cit. 22-04-13]. Dostupné z: <https://engiprinters.com.br/os-tipos-de-tecnologia-de-impressao-3d/>
- JŮZA, Š. 2017 "Proudění vzduchu v uzavřeném prostoru budovy" [online]. [cit. 22-05-06]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=142980
- KLUSOŇ, V. 2009 "Návrh vzduchotechnické komory" [online]. [cit. 22-05-06]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17495

SMĚLÝ, J. 2013 "*Automatizované pracoviště pro měření vzduchotechnických veličin*" [online]. [cit. 22-05-06]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30308385.pdf>

DVOŘÁČEK, T. 2011 "*Model průtokoměru s clonou*" [online]. [cit. 22-05-06]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/1662/final-thesis.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

PŘÍLOHY

A – CD

B – Výrobní dokumentace

C – Uživatelský manuál realizované konstrukce

Příloha k bakalářské práci
SENZOR PRO MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNU
Filip Svoboda

Obsah

- 1 Text bakalářská práce ve formátu PDF
- 2 3D modely tisknutých dílů
- 3 Schémata zapojení
- 4 Software mikroprocesoru

Příloha k bakalářské práci
SENZOR PRO MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNU
Filip Svoboda

VÝROBNÍ DOKUMENTACE

Obsah

Seznam ilustrací	B – 2
Seznam tabulek	B – 3
Úvod	B – 4
1 Seznam součástí a zařízení	B – 5
2 Celkové schéma zapojení	B – 6
3 Konstrukce plošného spoje senzoru	B – 7
4 Celková mechanická konstrukce	B – 8

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 2.1 – Celkové schéma	B – 7
Obr. 3.1 – DPS senzoru a napěťového regulátoru	B – 7
Obr. 3.2 – Univerzální plošný spoj	B – 7
Obr. 4.1 – Celkové spojené mechanické konstrukce	B – 8

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 – Seznam součástí	B – 5
Tab. 1.2 – Seznam zařízení	B – 5

ÚVOD

Celá práce je o vytvoření funkčního měřicího modelu pro měření vzduchu. Celková mechanická konstrukce zařízení byla vytvořena 3D tiskem pomocí filamentu PLA a pro lepší pevnost v určitých místech přilepena vteřinovým lepidlem. Do tunelu byl umístěn ventilátor a jeho šrouby zakryty filtrem. Pro oživení senzoru byl hodně testován s nepájivým polem, než byl senzor umístěn na univerzální plošný spoj. Po připájení všech součástí byl otestován senzor a započato s optimalizací softwaru. Celkový projekt byl poté zapojen a otestován.

1 SEZNAM SOUČÁSTEK A ZAŘÍZENÍ

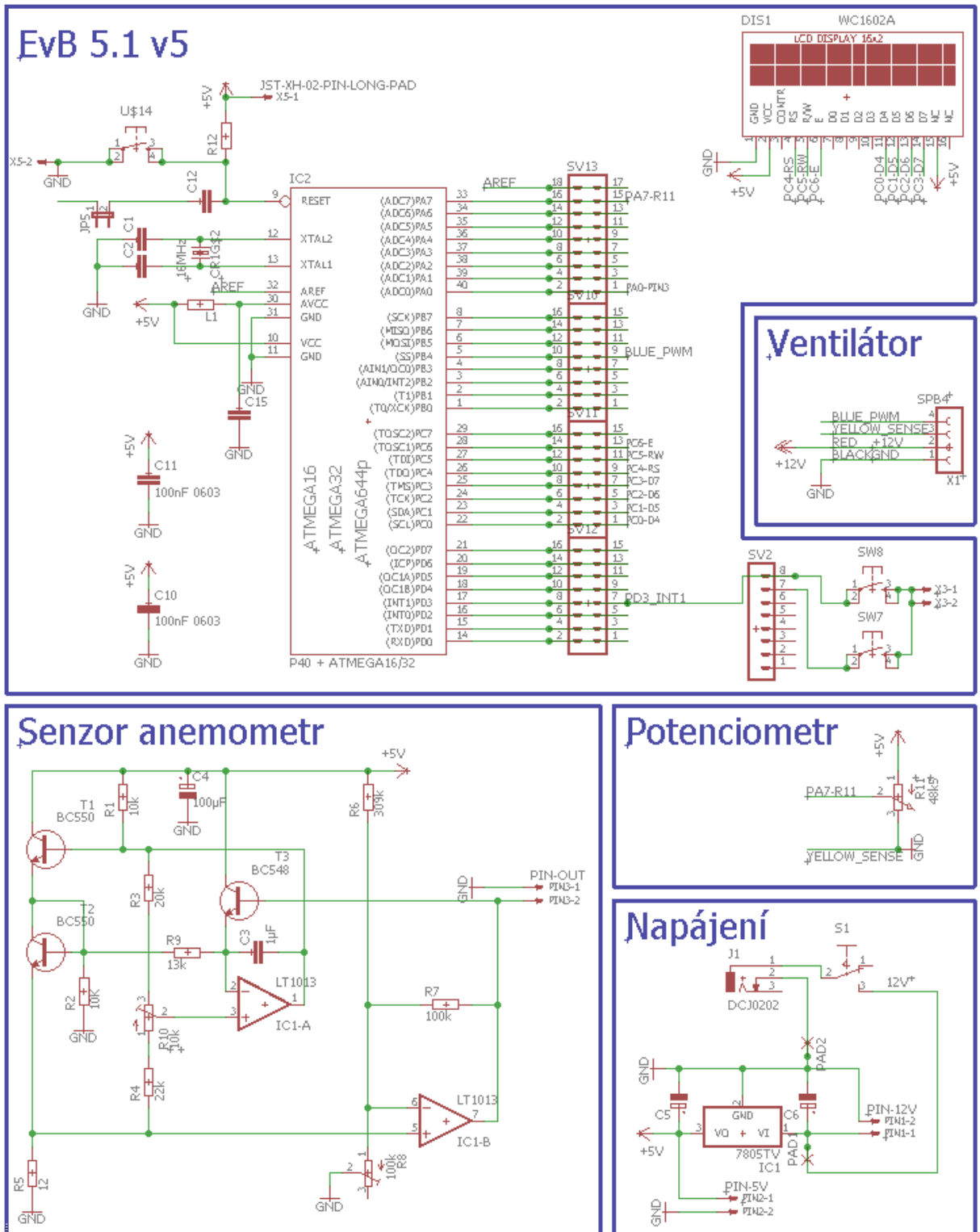
Tab. 1.1 – Seznam součástek

Počet	Označení na schématu	Název součástky	Hodnota / typ
2×	R1-R2	Rezistor	10 kΩ
1×	R3	Rezistor	20 kΩ
1×	R4	Rezistor	22 kΩ
1×	R5	Rezistor	12 Ω
1×	R6	Rezistor	309 kΩ
1×	R7	Rezistor	100 kΩ
1×	R8	Trimr	100 kΩ
1×	R9	Rezistor	13 kΩ
1×	R10	Trimr	10 kΩ
1×	R11	Potenciometr	48,5 kΩ
1×	C1	Kondenzátor	1 μF
1×	C2	Kondenzátor	100 μF
1×	IC1	Operační zesilovač	LT1013
2×	T1-T2	Tranzistor	BC550
1×	T3	Tranzistor	BC548
1×	S1	Vypínací tlačítko	MRS-101-9C3-B/B
1×	J1	Napájecí konektor	PC-G2.1/5.5

Tab. 1.2 – Seznam zařízení

Počet	Označení na schématu	Název Zařízení	Hodnota / typ
1×	×	Stavebnice (kit)	EvB 5.1 v5
1×	SPB4	Ventilátor	Be quiet! Shadow Wings 2, PWM, 120mm
1×	×	Napájecí zdroj	Sunny SYS1546-3612-T2

2 CELKOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ



Obr. 2.1 – Celkové schéma

Celkové schéma se skládá z pěti částí. První část je napájení, které napájí senzor a ventilátor. Obsahuje konektor, vypínač a napěťový regulátor.

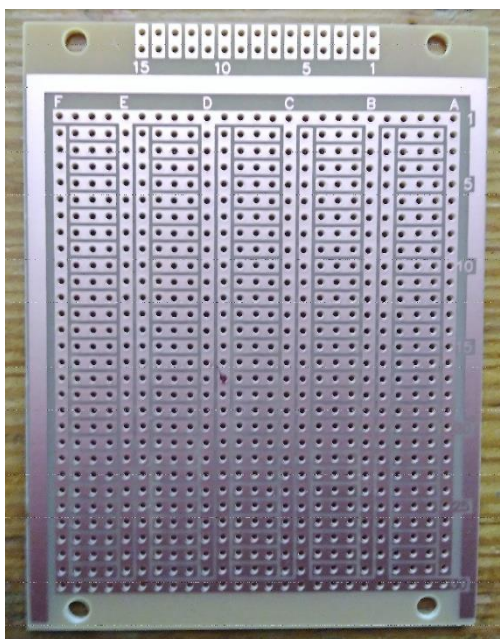
Druhá část je anemometr, který je napájený ze zdroje napěťovým regulátorem. Obsahuje dva operační zesilovače, tři tranzistory, kondenzátory a rezistory. Výstup senzoru je poté vyveden na port mikroprocesoru.

Třetí nejhlavnější část je mikroprocesor umístěný na stavebnici EvB. Je spojený se čtyřmi pinovými porty. Spojují displej, tlačítka, potenciometr, senzor a ventilátor s porty mikroprocesoru.

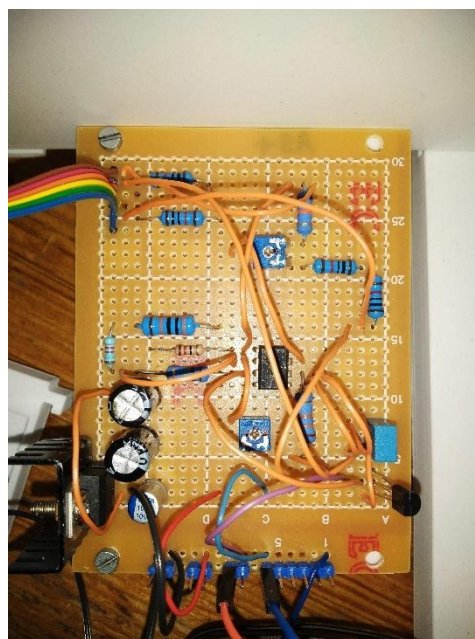
Následná čtvrtá a pátá část je potenciometr a ventilátor.

3 KONSTRUKCE PLOŠNÉHO SPOJE SENZORU

Celkový senzor (obr. 3.2) se skládá z pár dílů převážně z rezistorů. Senzor byl umístěn na univerzální plošný spoj (obr. 3.1) společně s napěťovým regulátorem. Tranzistory pro měření proudění vzduchu jsou vyvedeny do trubky s ventilátorem. Celý plošný spoj byl umístěn na zadní stěnu.



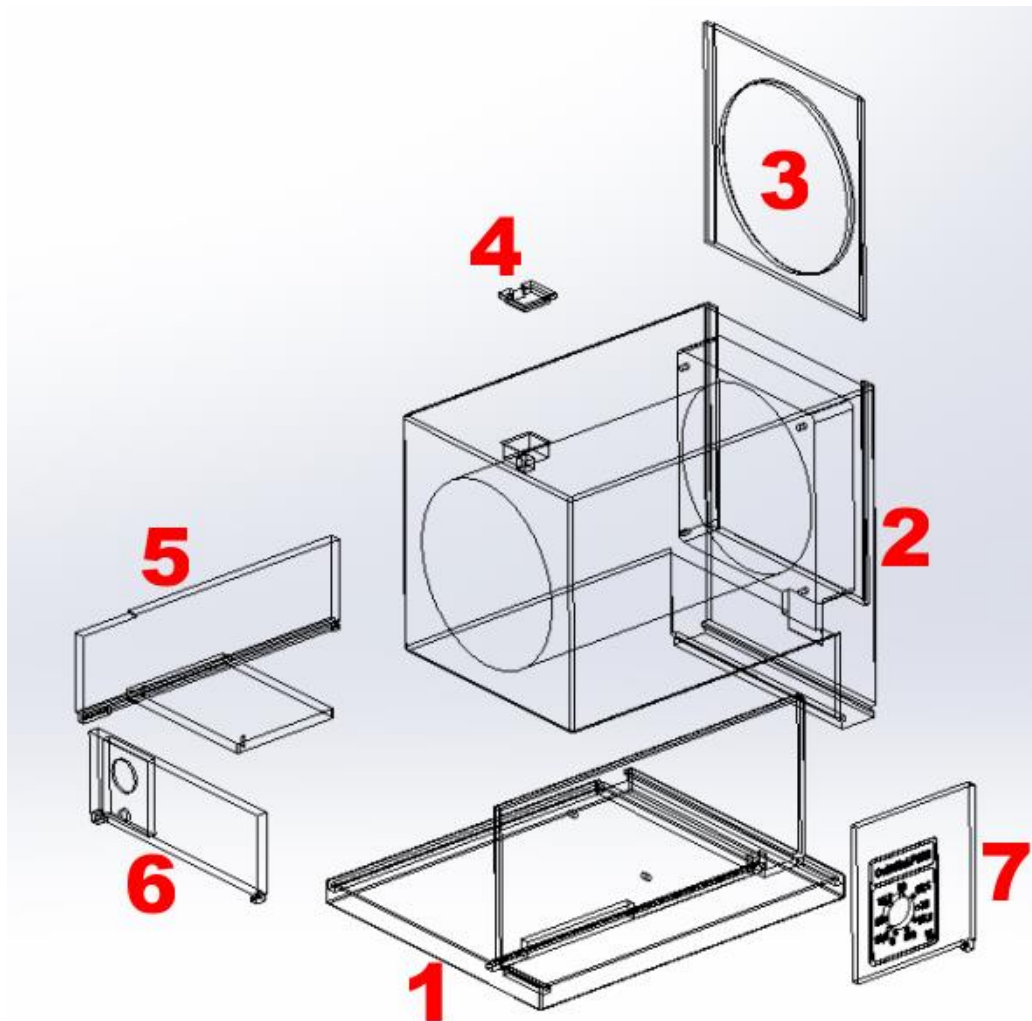
Obr. 3.2 – Univerzální plošný spoj



Obr. 3.1 – DPS senzoru a napěťového regulátoru

4 CELKOVÁ MECHANICKÁ KONSTRUKCE

Skládá se ze 7 dílů. První základna je tvořena třemi drážkami a otvory pro uchycení EvB a potenciometru. Druhá součástka obsahuje tunel, do kterého se vkládají tranzistory senzoru pro měření a je v něm umístěn i ventilátor. Třetí filtr je zastrčený zepředu na tunel, aby zakryl šrouby pro uchycení ventilátoru. Čtvrtá zásepka zakrývá tranzistory senzoru pro měření na vrcholu tunelu. Pátá zadní stěna obsahuje držák pro uchycení senzoru pro měření a zasune se do základny. Šestá stěna obsahuje porty, do kterých je vložen vypínač a napájecí konektor. Sedmá a poslední přední stěna se stupnicí je umístěna do přední části základny.



Obr. 4.1 – Celkové spojené mechanické konstrukce

Příloha k bakalářské práci
SENZOR PRO MĚŘENÍ RYCHLOSTI PROUDĚNÍ PLYNU
Filip Svoboda

Uživatelský manuál realizované konstrukce

Obsah

Seznam ilustrací	C – 2
1 Celková mechanická konstrukce	C – 3

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obr. 1.1 – Zapnutý LCD displej C – 3

1. VYSVĚTLENÍ ZOBRAZENÍ A OVLÁDÁNÍ

Celkový senzor na měření proudění vzduchu je celkem jednoduchý na ovládání. Zobrazení je v prvním řádku LCD, kde je vidět text, který se nemění. Ovšem druhý řádek je trochu složitější. Funguje tak, že se posledních šest pozic mění po stisknutí tlačítka. A to na m/s a km/h. Díky tomu, jak se mění jednotky měřené hodnoty. Následně se mění daná hodnota na prvních deseti sloupcích druhého řádku. Těchto deset polí mění svoji hodnotu na zrovna změřenou hodnotu proudění vzduchu.



Obr. 1.1 – Zapnutý LCD displej