



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ústav automatizace

a měřicí techniky

LABORATORNÍ ÚLOHA

Měření průtoku vzduchu

AUTOR 1: Václav Horáček (256296)

AUTOR 2: Jan Holík (256295)

ROČNÍK: 3

PŘEDMĚT: Snímače

DATUM: 4. 11. 2025

MĚŘICÍ PODMÍNKY: $T = 23.6 \text{ } ^\circ\text{C}$, $p = 994.8 \text{ hPa}$, $\phi = 35.1 \text{ \%}$

OBSAH

Zadání	4
Úkol 1 - Převodní charakteristiky průtokoměrů	5
Teoretický rozbor	5
Postup měření	6
Naměřené hodnoty	6
Zpracované výsledky měření	6
Závěr	9
Úkol 2 - Tlaková ztráta průtokoměrů	10
Teoretický rozbor	10
Postup měření	10
Naměřené hodnoty	10
Zpracované výsledky měření	11
Závěr	11
Úkol 3 - Tlaková diference clony	12
Teoretický rozbor	12
Postup měření	12
Naměřené hodnoty	12
Zpracované výsledky měření	13
Závěr	13
Úkol 4 - Porovnání hodnot s výrobcem	14
Teoretický rozbor	14
Postup měření	14
Zpracované výsledky měření	14
Závěr	15
Úkol 5 - Nejistota citlivosti	16
Teoretický rozbor	16
Postup měření	16
Naměřené hodnoty	16
Zpracované výsledky měření	17
Závěr	19
Závěr	20

Seznam použitých přístrojů

21

Zadání

1. Pro různé snímače průtoku:
 - (a) škrtící člen (clona) o průměru 12 mm,
 - (b) vírový průtokoměr (vortex) **EGGS DELTA PULSE FLP15-G2PA**,
 - (c) termoanemometr **IST FS5.A**
 - (d) a kalorimetrický průtokoměr **HONEYWELL AWM 720P1**.
 - Změřte převodní charakteristiku $vystup_snimace = f(prutok)$, vyneste ji do grafu a vyberte vhodný trend podle očekávané závislosti.
 - Paralelně s měřením převodní charakteristiky proměřte i tlakovou ztrátu snímačů, viz bod zadání 2.
 - Stanovte citlivost a porovnejte ji s katalogovým údajem.
 - Porovnejte měřený rozsah s pracovní oblastí snímače dle specifikace výrobce. Jako referenční měřidlo použijte plováčkový průtokoměr **KROHNE VA-40**. Proměření tlakového rozdílu u clony použijte tlakoměr **GREISINGER GDH 200-07**.
2. Změřte tlakovou ztrátu na všech snímačích (včetně referenčního) v závislosti na průtoku měřičem diferenčního tlaku **ROSEMOUNT 3051C** a vyneste ji do společného grafu.
3. U snímače se škrtícím členem (clony) změřte průběh tlakového rozdílu v závislosti na vzdálenosti od clony.
4. Porovnejte hodnoty naměřené jednotlivými snímači s katalogovými údaji.
5. U snímače **EGGS DELTA PULSE** stanovte citlivost ze dvou měrených bodů a to včetně nejistoty.

Úkol 1 - Převodní charakteristiky průtokoměrů

Kapitola vychází ze zdroje [1].

Teoretický rozbor

V tomto úkolu je měřená převodní charakteristika několika typů průtokoměrů. Měření průtoků kapalin je zcela zásadní pro dávkování, pneumatické/hydraulické obvody a další úlohy v průmyslu.

Objemový průtok Q se definuje jako časová změna objemu V na času t a jeho jednotka je $[m^3 \cdot s^{-1}]$. Při rychlém pohledu na jednotky si lze objemový průtok představit i jako rychlosť média protékající skrz element plochy A $[m^2]$.

$$Q = \frac{dV}{dt} \quad [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (1)$$

Tato rychlosť se nazývá rychlosť proudění a ve vektorové formě bývá literatuře uváděna jako \vec{u} , nicméně ve zjednodušených případech se může uvádět jako rychlosť v jednom směru v $[m \cdot s^{-1}]$.

$$Q = A \cdot v \quad [m^3 \cdot s^{-1}; m^2, m \cdot s^{-1}] \quad (2)$$

Je možné definovat i hmotnostní průtok Q_m , který vyjadřuje časovou změnu hmotnosti média.[1]

$$Q_m = \rho \cdot Q = \rho \cdot A \cdot v \quad [kg \cdot s^{-1}; m^{-3} \cdot kg, m^2, m \cdot s^{-1}] \quad (3)$$

Díky charakteru úlohy je nutné vzít v potaz stavovou rovnici ideálního plynu:

$$pV = nRT \Rightarrow \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (4)$$

Při pohledu na rovnici lze určit, že pro znalost objemu plynu je potřeba znát jeho tlak P a teplotu T .

Principy průtokoměrů jsou různé např. škrtící člen(clona) vytváří tlakový pokles úměrný druhé mocnině rychlosti proudění:

$$v = k \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad [m \cdot s^{-1}; Pa, m^{-3} \cdot kg] \quad (5)$$

Kde k je konstanta závislá na geometrii clony.

Další možnost měření průtoku, resp. rychlosti proudění je vírový průtokoměr, který využívá tvoření tzv. **Karmánových výrů**.

Tyto víry v médiu vznikají při srážce s tenkou překážkou a jejich frekvence odtrhávání je možná vyjádřit jako:

$$f = Sr \frac{v}{a} \quad (6)$$

Kde Sr je Strouhalovo číslo, v je rychlosť proudění [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] a a [m] je tloušťka překážky.

Lze měřit i hmotnostní průtok a pro tento úkol lze využít termoanemometr, který pracuje na změně odporu ohříváním čidla. Výstup snímače je proud, kterým se regulátor vyrovnat rozdíl mezi dvěma měřícími odpory. Ohřev je způsoben viskózním třením a výstupní proud je závislý na rychlosť proudění média, které se tře o trubici. Snímač má nízké tlakové ztráty.

Poslední zkoumaný princip v úloze je kalorimetrický průkokoměr, kdy se využívá přímé úměry rozdílu teplot mezi dvěma tepelnými čidly a rychlosti proudění. Tento princip lze použít pro malé průtoky a lze velice jednoduše zjistit směr proudění.

Postup měření

1. Pomocí snímače KHRONE VA-40 byla nastavena požadovaná hodnota průtoku.
2. Změřili se hodnoty výstupního signálu prvního snímače pro jedenáct průtoků.
3. To se provedlo pro všechny snímače.

Naměřené hodnoty

Tabulka 1: Naměřené úbytky tlaku clony v závislosti na ref. průtoku

$Q[\text{NL}/\text{min}]$	22.5	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
$P[\text{Pa}]$	11	41	86	164	261	380	515	677	861	1069	1300
$T[^\circ\text{C}]$	24.2	24.6	24.9	25.3	25.7	26.0	26.5	26.9	27.2	27.6	28.4

Zpracované výsledky měření

Převodní charakteristika v souhlasu s teorií kvadratická. Interpolaci měřených bodů lze vyjádřit rovnicí:

$$\Delta p = f(Q) = 0.02772 \cdot Q^2 - 0.2096 \cdot Q + 2.65$$

Tabulka 2: Naměřené frekvence vírového průtokoměru EGGS v závislosti na ref. průtoku

$Q[NL/min]$	22.5	40	60	80	100	120
$f[\text{Hz}]$	0	22.82	49.92	60.24	73.70	87.79
$T[^\circ\text{C}]$	26.8	27.1	27.3	27.6	27.8	28.4
$Q[NL/min]$	140	160	180	200	220	X
$f[\text{Hz}]$	102.4	116.6	131.3	147.0	156.2	X
$T[^\circ\text{C}]$	28.8	29.1	29.5	30.0	30.4	X

Tabulka 3: Naměřené napětí termoanemometru IST v závislosti na ref. průtoku

$Q[NL/min]$	22.5	40	60	80	100	120
$U[\text{V}]$	4.335	4.555	4.732	4.929	4.995	5.084
$T[^\circ\text{C}]$	26.2	26.5	26.9	27.2	27.6	27.0
$Q[NL/min]$	140	160	180	200	220	X
$U[\text{V}]$	5.156	5.217	5.274	5.433	5.372	X
$T[^\circ\text{C}]$	27.5	27.9	28.6	29.2	29.7	X

Tabulka 4: Naměřené napětí kalorimetrického průtokoměru Honeywell v závislosti na ref. průtoku

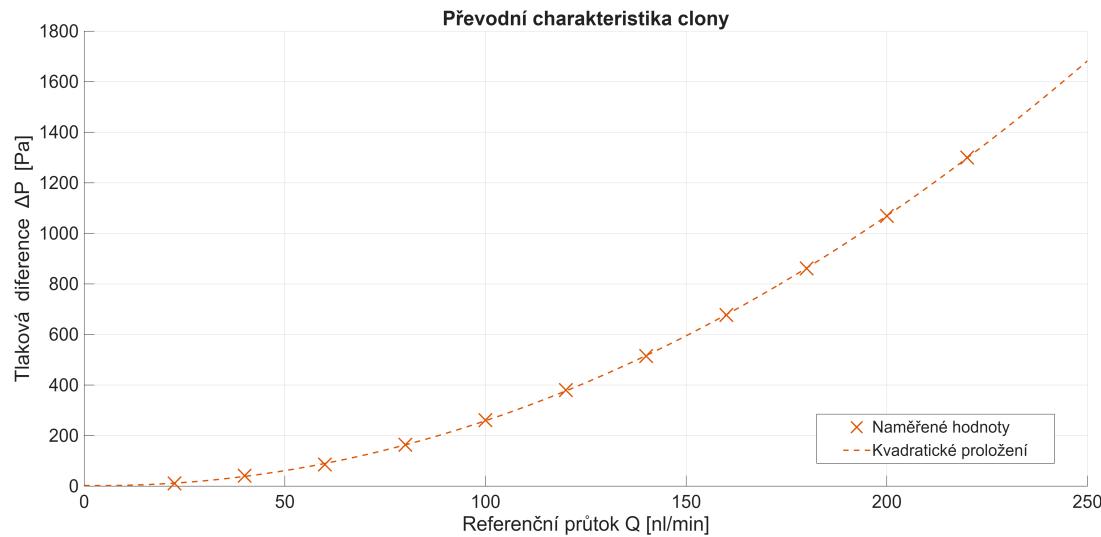
$Q[NL/min]$	22.5	40	60	80	100	120
$U[\text{V}]$	2.456	3.124	3.632	3.996	4.167	4.323
$T[^\circ\text{C}]$	25.4	25.7	26.1	26.4	26.8	27.1
$Q[NL/min]$	140	160	180	200	220	X
$U[\text{V}]$	4.412	4.490	4.550	4.600	4.633	X
$T[^\circ\text{C}]$	27.5	27.8	28.1	28.6	29.1	X

Z toho lze určit citlivost pro pracovní průtok Q :

$$K = \frac{df(Q)}{dQ} = 0.05544 \cdot Q - 0.2096[2]$$

Pro vírový průtokoměr je dle předpokladů převodní charakteristika lineární a regresi měřených bodů lze vyjádřit jako:

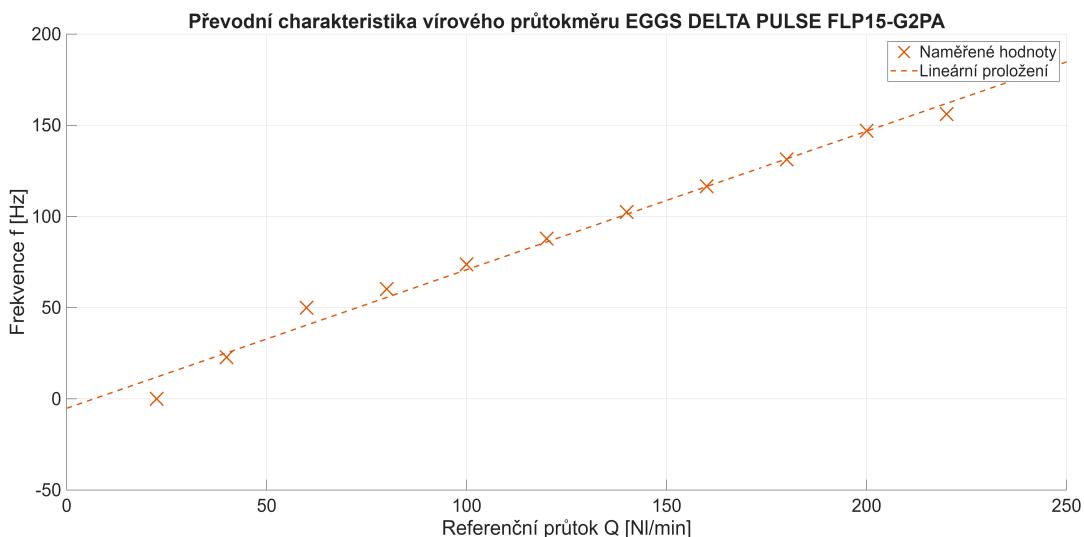
$$f = f(Q) = 0.7597 \cdot Q - 5.154$$



Obrázek 1: Převodní charakteristika clony

Z rovnice lze určit citlivost snímače K:

$$K = \frac{df(Q)}{dQ} = 0.7597 \text{ Hz} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$$



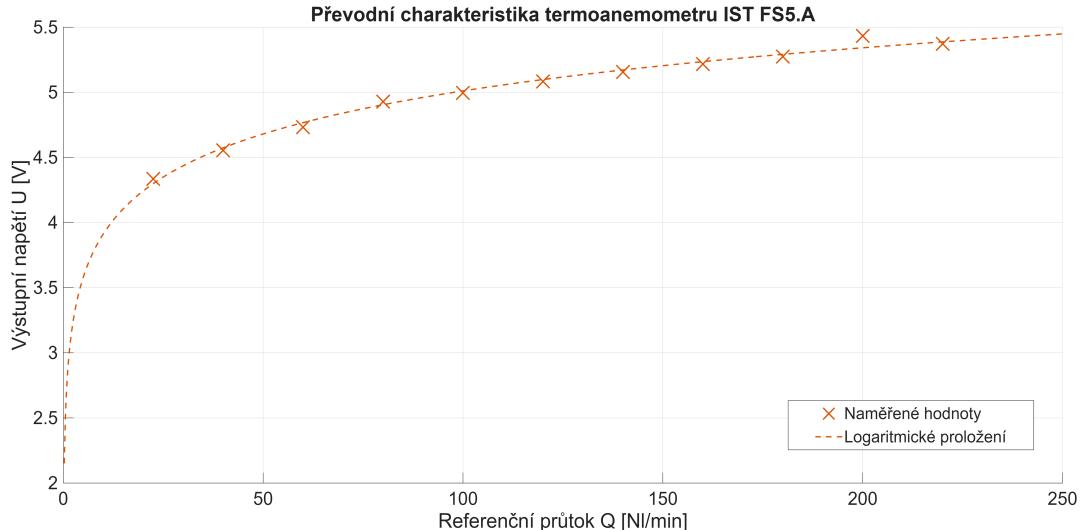
Obrázek 2: Převodní charakteristika vírového průtokoměru EGGS

Měřená data pro termoanemometr odpovídají logaritmu a regresi měřených bodů lze vyjádřit jako:

$$U = f(Q) = 0.4774 \cdot \ln(Q) - 2.813$$

Z rovnice lze určit citlivost snímače K:

$$K = \frac{df(Q)}{dQ} = \frac{0.4774}{Q} \text{ V} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$$



Obrázek 3: Převodní charakteristika termoanemometru IST

Při měření převodní charakteristiky kalorimetrického průkokoměru se data uspořádala do logaritmické funkce a regresi těchto dat je možné vyjádřit ve tvaru:

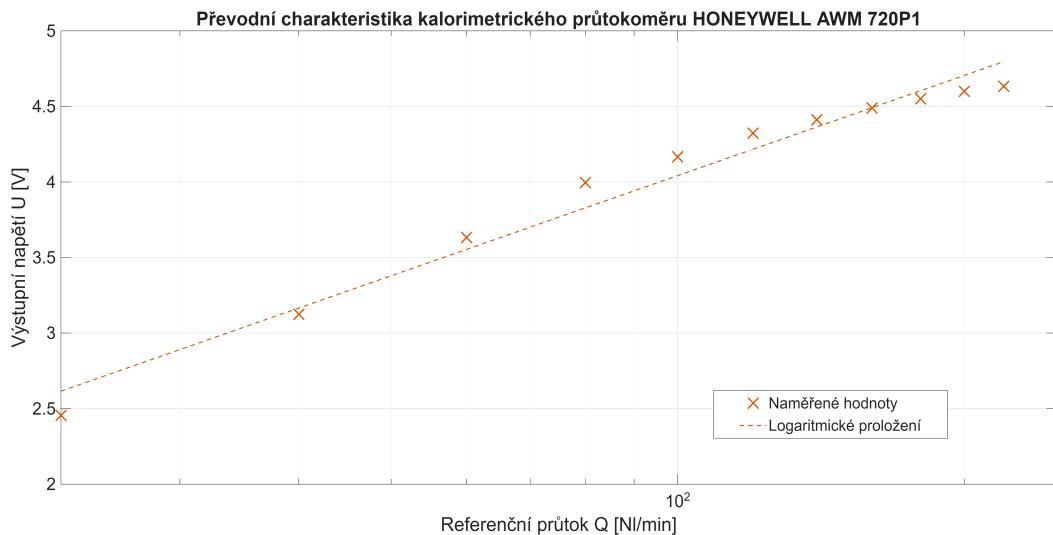
$$U = f(Q) = 0.9564 \cdot \ln(Q) - 0.3625$$

Z toho lze určit citlivost pro pracovní průtok Q :

$$K = \frac{df(Q)}{dQ} = \frac{0.9564}{Q} \text{ V} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$$

Závěr

Převodní charakteristika clony vyšla jako kvadratická a měrenými body prochází přesně. Pro vírový průkoměr vychází převodní charakteristika lineární a jeho citlivost vychází $K = 0.7597 \text{ Hz} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$. Termoanemometr má podobně jako vírový "lineární" převodní charakteristiku a jeho citlivost vychází $K = 0.005046 \text{ V} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{min}^{-1}$. Pro kalorimetrický průkoměr vychází převodní charakteristika logaritmická a jeho citlivost je určit vždy jenom pro pracovní průtok.



Obrázek 4: Převodní charakteristika kalorimetrického průtokoměru Honeywell

Úkol 2 - Tlaková ztráta průtokoměrů

Teoretický rozbor

Každý průtokoměr vykazuje jisté tlakové ztráty. Cílem této úlohy bylo určit jejich změny v závislosti na průtoku.

Postup měření

1. Pomocí snímače KHRONE VA-40 byla nastavena požadovaná hodnota průtoku.
2. Změřily se hodnoty tlakové ztráty snímačů pomocí ROSEMOUNT 3051C.

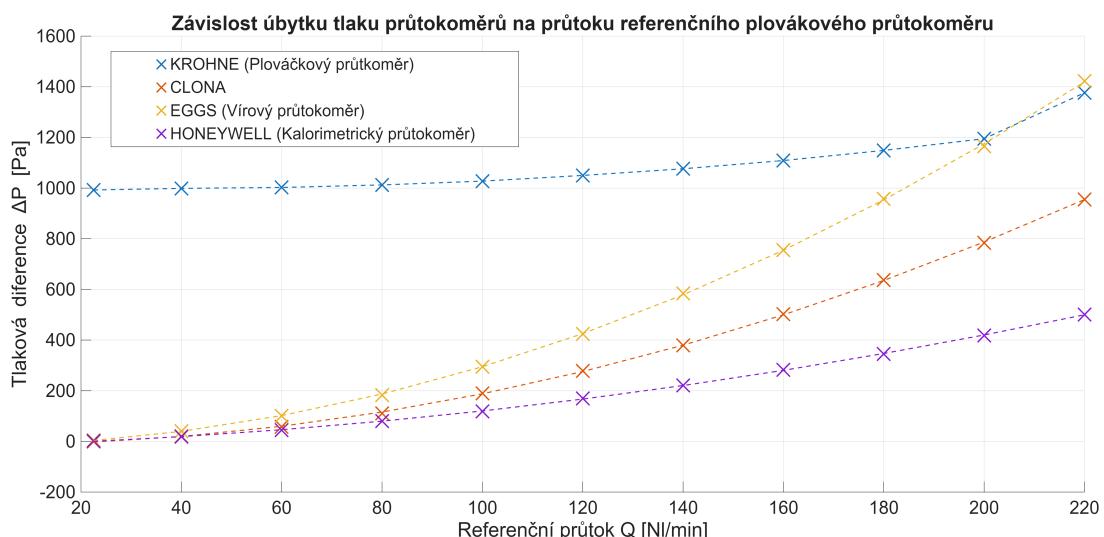
Naměřené hodnoty

- $Q = 200 \text{ NL} \cdot \text{min}^{-1}$

Tabulka 5: Naměřené úbytky tlaků průtokoměrů v závislosti na ref. průtoku

$Q[NL/min]$	22.5	40	60	80	100	120
I_{PLOV} [mA]	11.94	11.99	12.02	12.10	12.22	12.40
I_{CLON} [mA]	3.996	4.160	4.463	4.882	5.516	6.227
I_{VIR} [mA]	4.040	4.323	4.805	5.458	6.361	7.396
I_{KAL} [mA]	4.014	4.148	4.353	4.641	4.944	5.356
$Q[NL/min]$	140	160	180	200	220	X
I_{PLOV} [mA]	12.61	12.87	13.19	13.56	15.01	X
I_{CLON} [mA]	7.033	8.017	9.096	10.27	11.64	X
I_{VIR} [mA]	8.672	10.04	11.66	13.32	15.38	X
I_{KAL} [mA]	5.765	6.263	6.764	7.346	8.006	X

Zpracované výsledky měření



Obrázek 5: Pokles tlaku průtokoměrů na referenčním průtoku

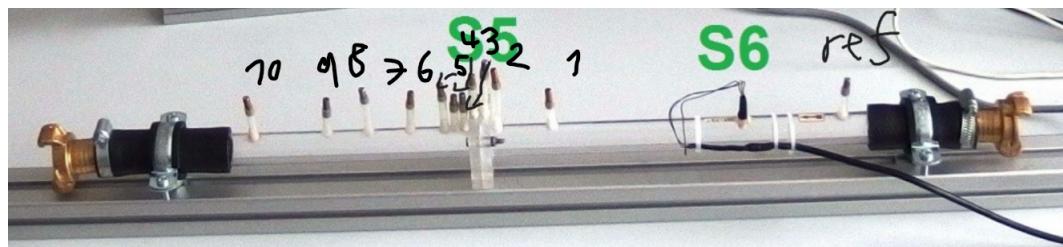
Závěr

Většina senzorů vykazuje kvadratický nárůst tlakové ztráty na referenčním průtoku. Nejvyšší tlakové ztráty konzistentně vykazuje plováčkový průtokoměr a nejmenší kalorimetrický průtokoměr.

Úkol 3 - Tlaková diference clony

Teoretický rozbor

Clona ve své podstatě vytvoří tlakovou diferenci mezi oblastí před clonou a za clonou. Tato differenční hodnota je určena geometrií clony a jejím průměrem. Očekávaný průběh je nízký konstantní tlak před clonou a po překročení clony se očekává prudký nárůst tlakové differenze a její psotupný pokles s narůstající vzdáleností od clony.



Obrázek 6: Pozice pro hadičky tlakoměru na měřící trubici se clonou

Postup měření

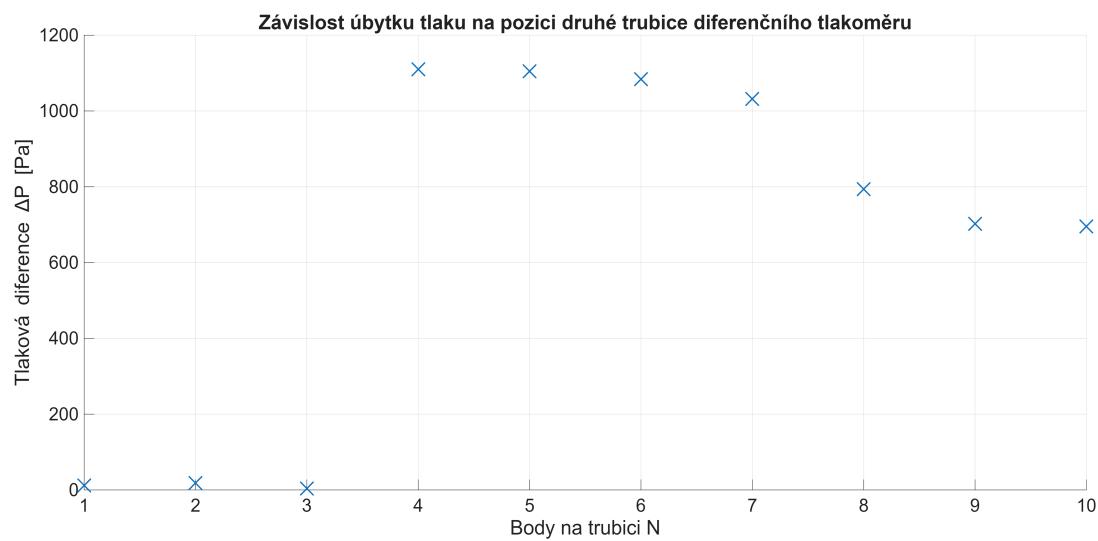
1. Nastavil se průtok na konstantní hodnotu pomocí KROHNE VA-40.
2. Byl změřen průběh tlakového rozdílu v závislosti na vzdálenosti od clony.

Naměřené hodnoty

Tabulka 6: Naměřené úbytky tlaku clony v závislosti na pozici hadičky tlakoměru na trubici

$n[]$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P[\text{Pa}]$	12	18	4	1110	1105	1084	1032	794	702	695

Zpracované výsledky měření



Obrázek 7: Pokles tlaku clony v závislosti na pozici hadičky diferenčního tlakoměru[1]

Závěr

Změřená charakteritika odpovídá teoretickým předpokladům. Kmitání měřených tlaků na nízkých hodnotách je způsobeno nepřesností tlakoměru.

Úkol 4 - Porovnání hodnot s výrobcem

Teoretický rozbor

Převody mezi LPM, SLPM a NLPM:[1]

$$SLPM = LPM \cdot \frac{294.26}{T_{gas}} \cdot \frac{P_{gas}}{14.696} \quad (7)$$

$$NLPM = LPM \cdot \frac{273.15}{T_{gas}} \cdot \frac{P_{gas}}{14696} \quad (8)$$

Z toho odvodíme:

$$\frac{SLPM}{NLPM} = \frac{294.26}{273.15} \quad (9)$$

Postup měření

1. Byly naměřeny hodnoty jednotlivými snímači.
2. Tyto naměřené hodnoty byly porovnány s katalogovými údaji.

Zpracované výsledky měření

GREISINGER GDH 200-07:

Přístroj má měřicí rozsah 0 - 1999 Pa (přibližně 0 až 19,99 mbar). Námi naměřené hodnoty nabývají 11 až 1300 Pa. Z toho lze usoudit, že měřicí rozsah přístroje je dostačující pro naše měření[3].

EGGS DELTA PULSE FLP15-G2PA:

$$LPM = NLPM \cdot \frac{T_{gas}}{273,15} \cdot \frac{14,696}{P_{gas}} = 22.5 \cdot \frac{297.35}{273.15} \cdot \frac{14.696}{14.427} = 25 \text{ l/min} \quad (10)$$

Kalibrace námi používaného přístroje byla provedena pro údaje uvedené v datasheetu pro nominální velikost 15 mm. Pro tuto nominální hodnotu bylo z datasheetu zjištěno, že rozsah měření je 55 - 283 l/min. Z toho lze pochopit proč při průtoku 22,5 Nl/min (25 l/min) byla získaná nulová frekvence. Obecně pro nízké hodnoty průtoku byla zobrazovaná hodnota frekvence velmi nestabilní.

Maximální hodnota frekvence ze snímače by měla být při maximálním průtoku rovna 200 Hz. My se ale nejsme schopni dostat na tuto frekvenci, jelikož jsme limitování maximální hodnotou, kterou jsme schopni nastavit na našem referenčním měřidle[4].

IST FS5.A:

Z datasheetu lze vyčíst, že výstupní napětí přístroje nabývá 2,7 - 6 V. Námi naměřené hodnoty napětí se pohybují v rozmezí 4,335 - 5,433 V a leží tedy v měřicím rozsahu přístroje. V grafu v datasheetu je vidět, že s rostoucí rychlostí proudění má logaritmicky narůstat i výstupní napětí. Toto chování je patrné i z našich naměřených hodnot, kde hodnoty napětí zpočátku rostou rychle a poté se růst zpomaluje. Jedinou výjimkou je hodnota při průtoku 220 Nl/min, kdy hodnota napětí klesne. To bude patrně chyba měření[5].

HONEYWELL AWM 720P1:

$$SLPM = NLPN \cdot \frac{294.26}{273.15} = 220 \cdot 1.077 = 237 \text{ SLPM} \quad (11)$$

Senzor je kalibrován pro maximální průtok 200 SLPM. My měříme až na hodnotě 220 NLPN (237 SLPM). Proto hodnoty nad 200 SLPM nejsou zaručeně správné. Z charakteristiky v datasheetu lze usoudit že výstupní napětí senzoru roste s rostoucím průtokem logaritmicky. Toto chování je patrné i z našich naměřených hodnot, kde hodnoty napětí zpočátku rostou rychle a poté se růst zpomaluje[6].

KROHNE VA-40:

Námi naměřená ztráta tlaku se pohybuje od 1000 - 1400 Pa. Maximální tlaková ztráta je 800 Pa, což neodpovídá naměřeným hodnotám[7].

ROSEMOUNT 3051C:

Přístroj má pracovní pásmo 4 - 20 mA. Všechny námi naměřené hodnoty leží v tomto pásmu[8].

Závěr

Naměřené hodnoty jednotlivými snímači byly porovnány s katalogovými údaji. Všechny naměřené hodnoty leží v měřicím rozsahu jednotlivých přístrojů.

Úkol 5 - Nejistota citlivosti

Kapitola vychází ze zdrojů [9], [10] a [11].

Teoretický rozbor

Vírový průtokoměr využívá Kármánových vírů, které vznikají při obtékání tělesa neproudnicového tvaru, umístěného kolmo na směr proudění. Jejich frekvenci lze vyjádřit vztahem:

$$f = \frac{Sr}{a}v \quad (12)$$

Postup měření

1. Průtok se nastavil na 100 Nl/min.
2. Bylo změřeno deset hodnot frekvence f_1 .
3. Průtok se nastavil na 150 Nl/min.
4. Bylo změřeno deset hodnot frekvence f_2 .

Naměřené hodnoty

Tabulka 7: Deset naměřených hodnot frekvence pro $Q = 100$ Nl/min

Měření	1	2	3	4	5
f_1 [Hz]	74.91	74.84	75.05	74.99	74.88
Měření	6	7	8	9	10
f_1 [Hz]	74.92	74.76	74.82	74.88	74.87

Tabulka 8: Deset naměřených hodnot frekvence pro $Q = 150$ Nl/min

Měření	1	2	3	4	5
f_2 [Hz]	110,0	109,5	109,7	109,9	109,8
Měření	6	7	8	9	10
f_2 [Hz]	109,7	109,7	109,9	110,0	109,9

Zpracované výsledky měření

Vypočítáme průměry naměřených frekvencí:

$$\begin{aligned}\overline{f_1} &= \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} f_{1i} = \\ &= \frac{74.91 + 74.84 + 75.05 + 74.99 + 74.88 + 74.92 + 74.76 + 74.82 + 74.88 + 74.87}{10} = \\ &= 74.89 \text{ Hz}\end{aligned}\tag{13}$$

$$\overline{f_2} = 109.8 \text{ Hz}\tag{14}$$

Výpočet nejistoty typu A:

$$u_A(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}\tag{15}$$

$$u_A(f_1) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (f_{1i} - \overline{f_1})^2}{10(10-1)}} = 0.026 \text{ Hz}\tag{16}$$

$$u_A(f_2) = 0.05 \text{ Hz}\tag{17}$$

Výpočet nejistoty typu B:

$$u_B(x) = \frac{u_{B0}}{\chi}\tag{18}$$

Z katalogu snímače byla vyčtena chyba přesnosti 3 % a rozsah frekvence 200 Hz:

$$u_B(f_1) = \frac{\Delta f_{1max}}{\chi} = \frac{0.03 \cdot 200}{\sqrt{3}} = 3.464 \text{ Hz} = u_B(f_2)\tag{19}$$

Výpočet kombinované nejistoty C:

$$u_C(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (20)$$

$$u_C(f_1) = \sqrt{u_A^2(f_1) + u_B^2(f_1)} = \sqrt{0.026^2 + 3.464^2} = 3.464 \text{ Hz} \quad (21)$$

$$u_C(f_2) = 3.464 \text{ Hz} \quad (22)$$

Vypočet citlivosti (směrnice přímky) z průměru naměřených hodnot pro oba průtoky:

$$\bar{K} = \frac{\bar{f}_2 - \bar{f}_1}{Q_2 - Q_1} = \frac{109.8 - 74.89}{150 - 100} = 0.698 \frac{\text{Hz}}{\text{Nl/min}} \quad (23)$$

Výpočet nejistoty nepřímého měření:

$$u_y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \cdot u_{x1}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \cdot u_{x2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \cdot u_{xn}\right)^2} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} u_K &= \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{K}}{\partial f_1} \cdot u_C(f_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{K}}{\partial f_2} \cdot u_C(f_2)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{-1}{Q_2 - Q_1} \cdot u_C(f_1)\right)^2 + \left(\frac{1}{Q_2 - Q_1} \cdot u_C(f_2)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{-1}{150 - 100} \cdot 3.464\right)^2 + \left(\frac{1}{150 - 100} \cdot 3.464\right)^2} = 0.098 \frac{\text{Hz}}{\text{Nl/min}} \end{aligned} \quad (25)$$

Výpočet rozšířené nejistoty:

$$U_K = u_K \cdot k = 2 \cdot 0.098 = 0.196 \frac{\text{Hz}}{\text{Nl/min}} \quad (26)$$

$$K = (0.698 \pm 0.196) \frac{\text{Hz}}{\text{Nl/min}} \quad (27)$$

Závěr

V prvním úkolu byly naměřeny převodní charakteristiky čtyř různých snímačů průtoku a byly vyneseny do grafů. Následně byla stanovena citlivost a porovnána s katalogovými údaji. Převodní charakteristika clony vyšla jako kvadratická. Převodní charakteristika vírového průtokoměru vyšla lineární a citlivost vyšla $K = 0.7597 \text{ Hz} \cdot m^{-3} \cdot min^{-1}$. Převodní charakteristika termoanemometru má logaritmický charakter. Převodní charakteristika kalorimetrického průtokoměru má logaritmický charakter.

Ve druhém úkolu byla změřena talková ztráta na všech snímačích v závislosti na průtoku měřičem diferenčního tlaku ROSEMOUNT 3051C a tyto závislosti byly vyneseny do grafu. Nejvyšší tlakové ztráty má plováčkový průtokoměr a nejmnižší má kalorimetrický průtokoměr.

Ve třetím úkolu byl u snímače se škrtícím členem změřen průběh tlakového rozdílu v závislosti na vzdálenosti od clony. Změřená charakteristika odpovídá teoretickým předpokladům. Kmitání tlaku při nízkých hodnotách je zapříčiněno nepřesností tlakoměru.

Ve čtvrtém úkolu byly naměřené hodnoty jednotlivými snímači porovnány s katalogovými údaji. Všechny naměřené hodnoty leží v měřicím rozsahu jednotlivých přístrojů. Jedinou výjimkou je hodnota při průtoku 220 Nl/min, kdy hodnota napětí klesne. To byla patrně chyba měření.

V pátém úkolu bylo naměřeno dvakrát deset hodnot frekvence. Z těchto hodnot se vypočetl průměr a citlivost snímače EGGS DELTA PULSE. Nakonec byla vypočtena nejistota $K = (0.698 \pm 0.196) \frac{\text{Hz}}{\text{Nl/min}}$.

Závěr

Seznam použitých přístrojů

Tabulka 9: Seznam použitých přístrojů

Typ	Přístroj	Inventární číslo
Multimetr	UNI-T UT804	SN. 6100019215
Multimetr	UNI-T UT804	SN. 6100019198
Digitální osciloskop	Siglent SDS1102X+	SN. SDS1XECC2R0309
Meteostanice	Testo 622	SN. 39507568/505
Snímač dif. tlaku	Rosemount 3051C	SN. 7079598/1297
Snímač dif. tlaku	Greisinger GDH 200-07	SN. 1106025
Vírový průtokoměr	EGGS DELTA PULSE FLP15-G2PA	SN. P16X501F
Plováčkový průtokoměr	Krohne VA-40	SN. D120000000285677
Termoanemometr	IST FS5.A	X
Kalorimetrický průtokoměr	Honeywell AWM 720P1	SN. 1037N 564482
Přípravek	Přípravek s turbodmychadlem	SN. IEC39034-01

Odkazy

1. BENEŠ, Petr a kolektiv. *Návod k úloze 7 - Měření průtoku vzduchu*. Brno: Ústav automatizace a měřící techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, VUT, 2025. [cit. 17-11-2025].
2. BENEŠ, Petr a kolektiv. *Základní terminologie a výpočty*. Brno: Ústav automatizace a měřící techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, VUT, 2025. [cit. 17-11-2025].
3. GREISINGER ELECTRONIC GMBH. *Operating Manual Manometer GDH 200-07*. Regenstauf, Germany: GREISINGER electronic GmbH, [b.r.]. Document No. H59.0.01.6C-02 [cit. 17.11.2025].
4. OVAL CORPORATION. *Eggs DELTA Pulse: Pulse output oriented Vortex Flowmeter*. Tokyo, Japan: OVAL Corporation, 2014. General Specification GS.No.GBD623E-6 [cit. 17.11.2025].
5. INNOVATIVE SENSOR TECHNOLOGY AG. *Flow Sens FS5 / FS5A: Thermal Mass Flow Sensor for all-purpose use in Gases*. Wattwil, Switzerland: Innovative Sensor Technology AG, [b.r.]. Datasheet DFFS5 E1.0 [cit. 17.11.2025].
6. HONEYWELL SENSING AND CONTROL. *Mass Airflow Sensors: AWM720P1 Airflow*. Freeport, IL, USA: Honeywell, 2000. Product Sheet 008058-1-EN [cit. 17.11.2025].
7. KROHNE. *VA 40 Plováčkové průtokoměry*. Nová Paka, Česká republika: A.P.O. - ELMOS v.o.s., 2003. Dokument D 11 VA40 01 CZ [cit. 17.11.2025].
8. *Rosemount 3051 Pressure Transmitter: Product Data Sheet*. Emerson Process Management, 2014. 00813-0100-4001, Rev RC [cit. 17.11.2025].
9. ČEJKA, Miroslav. *Stručný úvod do problematiky nejistot měření*. Brno: Ústav automatizace a měřící techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, VUT, 2024. [cit. 17-11-2025].
10. PIKULA, Stanislav; MÁLEK, Petr. *Nejistoty měření*. Brno: Ústav automatizace a měřící techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, VUT, 2025. [cit. 17-11-2025].
11. PIKULA, Stanislav; MÁLEK, Petr. *Uvádění nejistot a zaokrouhlování*. Brno: Ústav automatizace a měřící techniky, Fakulta elektrotechniky a komunikační techniky, VUT, 2025. [cit. 17-11-2025].