

Darba uzdevumi:

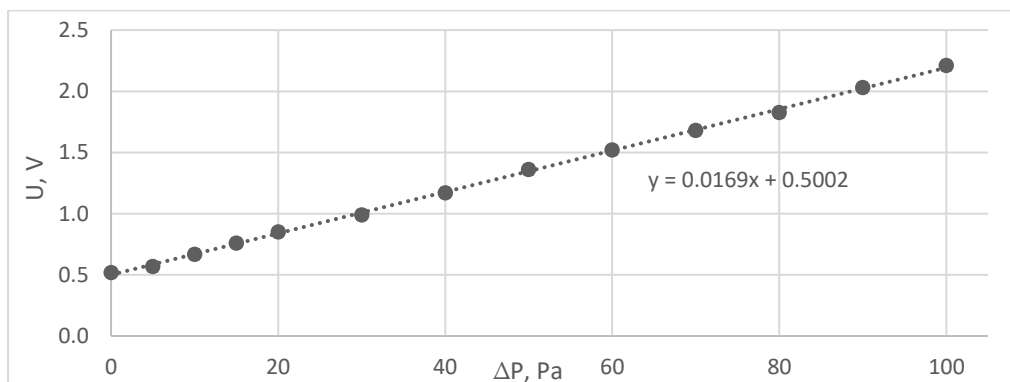
1. Nodēfinēt konstantas temperatūras anemometra mērīšanas parametrus;
2. Izmērīt vidējoto ātrumu un ātruma pulsāciju sadalījumu caurules šķērsgrīzumā;
3. Iegūt turbulences spektru caurulei uz ass un salīdzināt ar Kolmogorova

Mērījumu rezultāti un datu apstrāde:

Tabula 1. Elektroniskā diferenciālā manometra kalibrēšana.

$\Delta P \pm 0.5, Pa$	U, V	$\Delta U, V$
0	0.519	0.005
5	0.567	0.006
10	0.668	0.006
15	0.760	0.007
20	0.850	0.008
30	0.990	0.009
40	1.170	0.010

$\Delta P \pm 0.5, Pa$	U, V	$\Delta U, V$
50	1.360	0.012
60	1.520	0.013
70	1.680	0.014
80	1.825	0.016
90	2.030	0.017
100	2.210	0.019



Attēls 1. Elektroniskā diferenciālā manometra kalibrēšanas taisne.

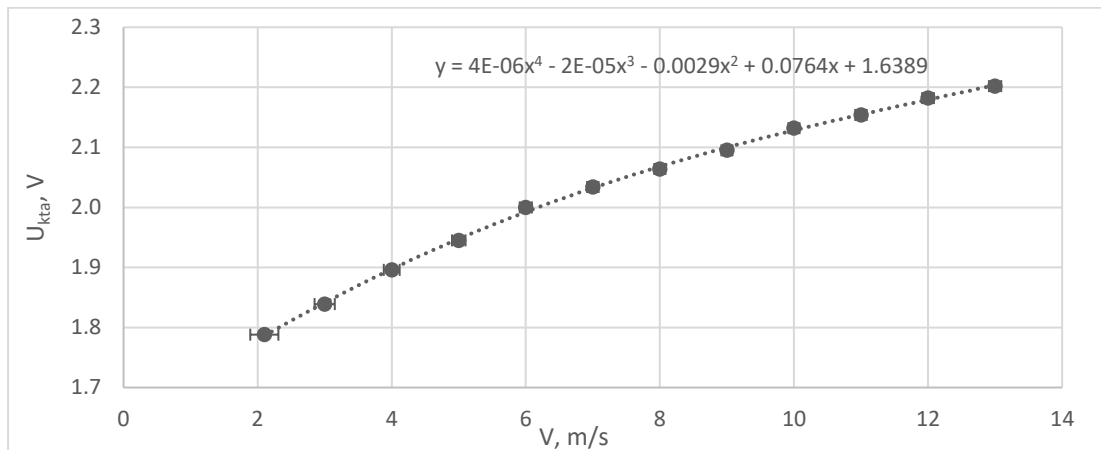
Tabula 2. Elektroniskā diferenciālā manometra kalibrēšanas taisnes koeficienti, to kļūdas.

	Vērtība	Δ	$r, \%$
B	0.50015	0.00710	1.44
A	0.01693	0.00013	0.78

Tabula 3. Konstantas temperatūras anemometra kalibrēšana.

$V, m/s$	U, V	$\Delta V, m/s$	U_{kta}, V
2.1	0.545	0.21	1.788
3.0	0.592	0.15	1.839
4.0	0.663	0.12	1.896
5.0	0.755	0.10	1.945
6.0	0.867	0.09	2.000
7.0	1.000	0.09	2.034

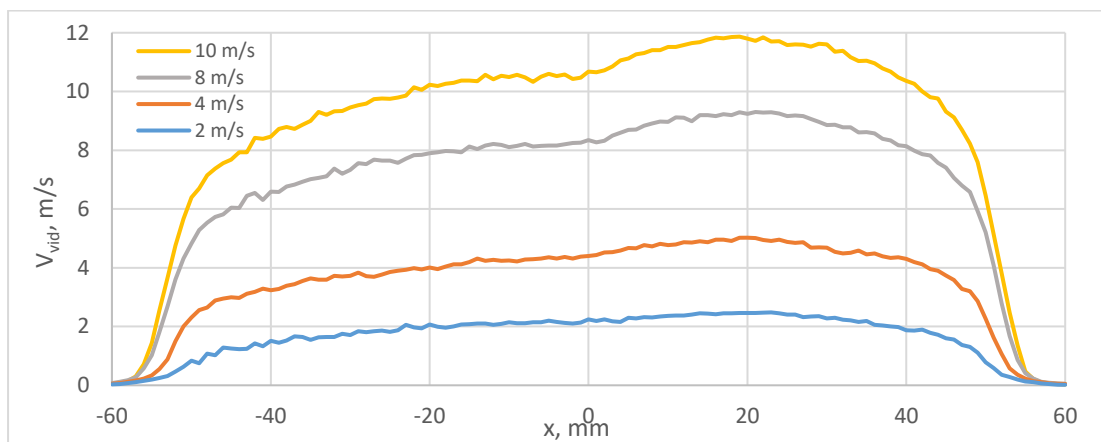
$V, m/s$	U, V	$\Delta V, m/s$	U_{kta}, V
8.0	1.153	0.08	2.064
9.0	1.326	0.08	2.095
10.0	1.520	0.08	2.132
11.0	1.734	0.09	2.154
12.0	1.969	0.09	2.182
13.0	2.223	0.09	2.202



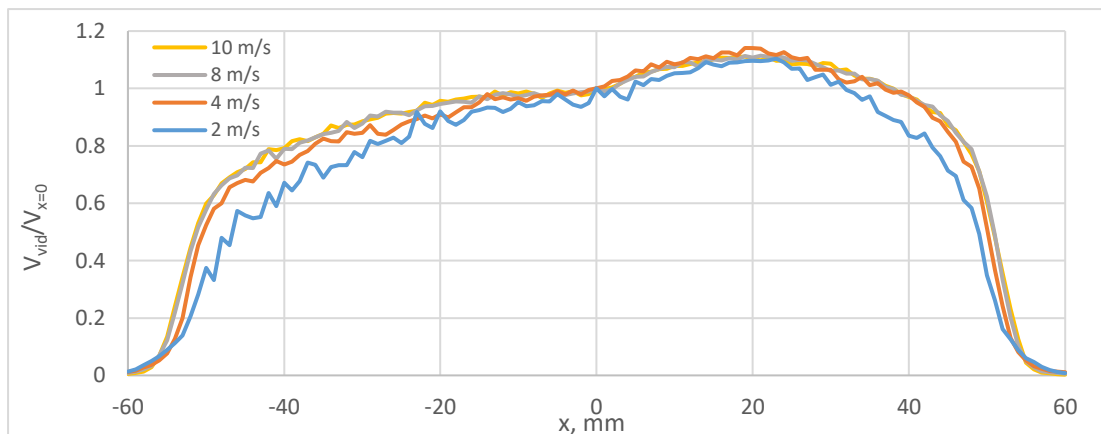
Attēls 2. Konstantas temperatūras anemometra kalibrēšanas līkne.

Tabula 4. Darbā apskatītie plūsmas ātrumi, to kļūdas.

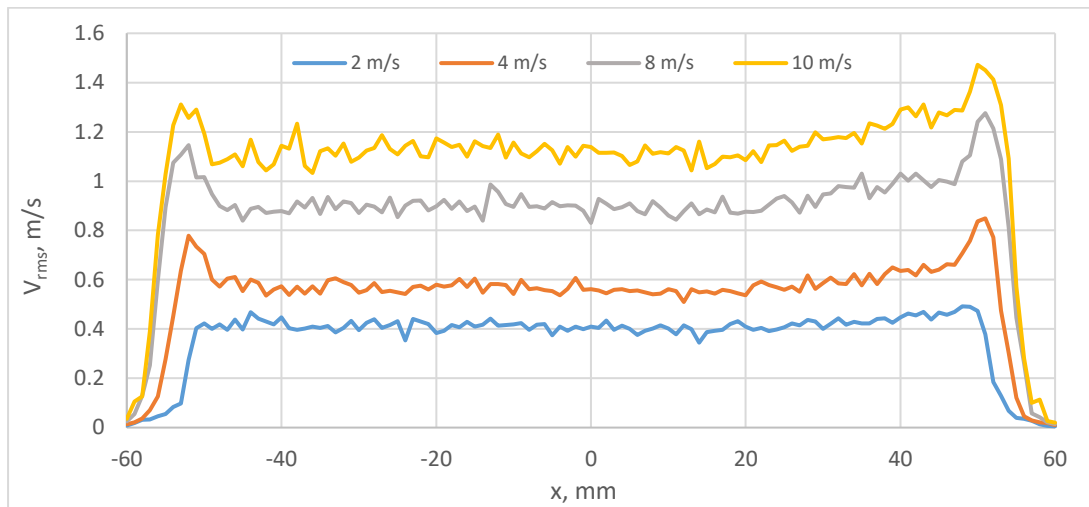
$V, \text{m/s}$	U, V	$\frac{\partial V}{\partial U} \Delta U, \text{m/s}$	$\frac{\partial V}{\partial A} \Delta A, \text{m/s}$	$\frac{\partial V}{\partial B} \Delta B, \text{m/s}$	$\Delta V, \text{m/s}$	$r_V, \%$
2	0.541	0.131	0.008	0.177	0.220	10.99
4	0.663	0.077	0.016	0.088	0.118	2.96
8	1.153	0.063	0.031	0.044	0.083	1.03
10	1.520	0.065	0.039	0.035	0.083	0.832



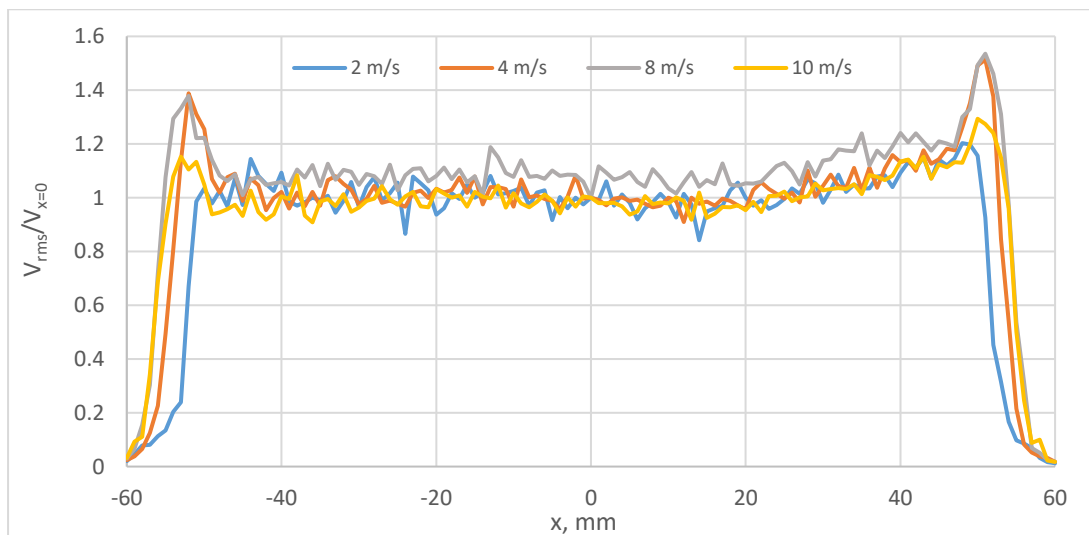
Attēls 3. Vidējotie ātrumu sadalījumi caurules šķērsgriezumā.



Attēls 4. Normētie vidējotie ātrumu sadalījumi caurules šķērsgriezumā.



Attēls 5. Ātruma pulsāciju sadalījumi caurules šķērs griezumā.



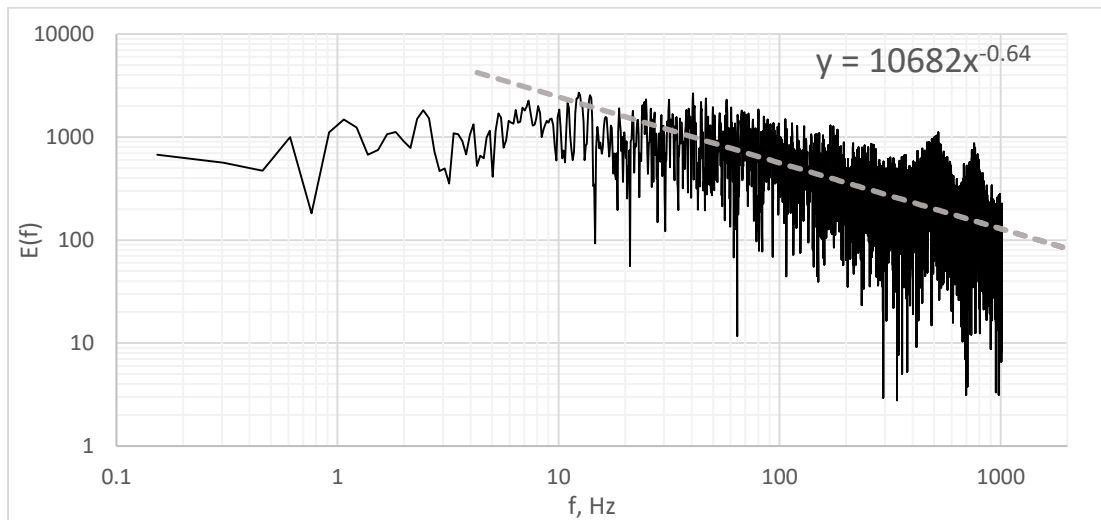
Attēls 6. Normēto ātruma pulsāciju sadalījumi caurules šķērs griezumā.

Tabula 5. Turbulenci raksturojošie parametri.

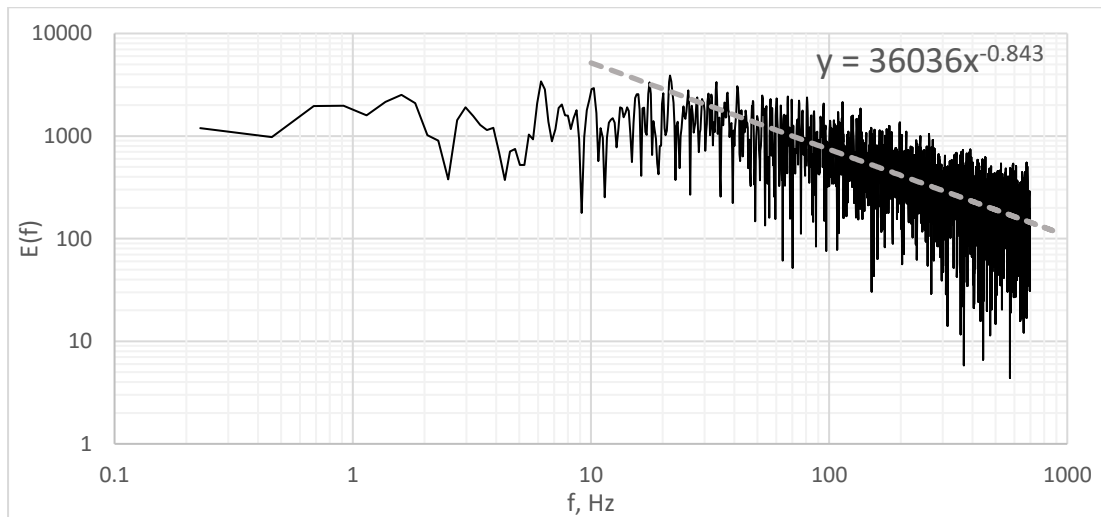
Nr.p.k.	$V, m/s$	Re	$\bar{U}_{rms}, m/s$	$k, m^2/s^2$	$\epsilon, m^2/s^3$	$\eta, \mu m$
1	2	13236	0.411	0.127	0.451	295.75
2	4	26473	0.570	0.244	1.202	231.44
3	8	52945	0.908	0.618	4.862	163.21
4	10	66181	1.134	0.964	9.463	138.18

Tabula 6. Turbulenci raksturojošo parametru kļūdas.

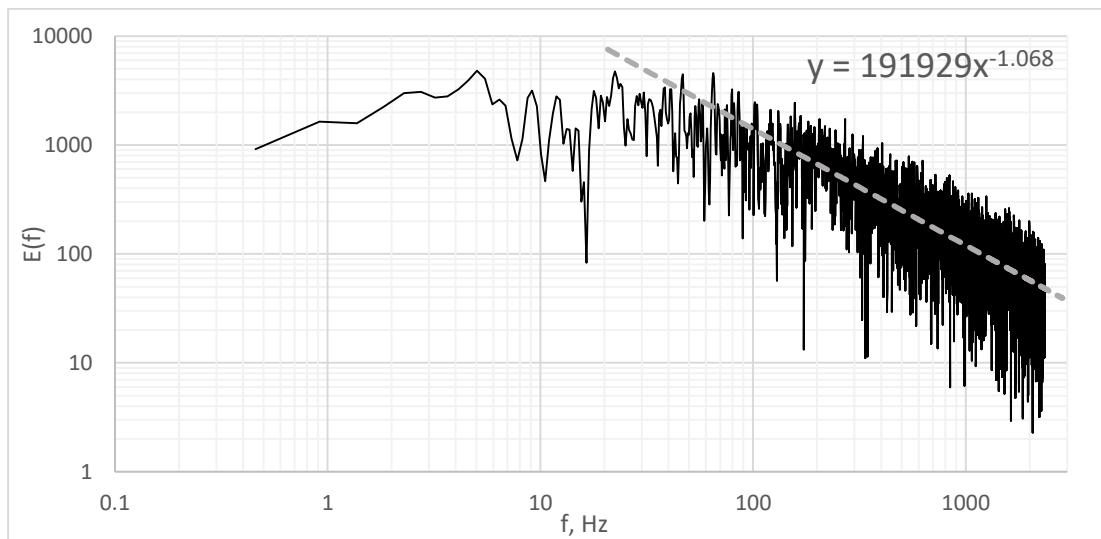
Nr.p.k.	$\Delta V, m/s$	ΔRe	$\Delta \bar{U}_{rms}, m/s$	$\Delta k, m^2/s^2$	$\Delta \epsilon, m^2/s^3$	$\Delta \eta, \mu m$
1	0.22	1454	0.004	0.003	0.014	2.36
2	0.12	783	0.006	0.005	0.036	1.72
3	0.08	548	0.009	0.012	0.140	1.18
4	0.08	551	0.010	0.017	0.255	0.93



Attēls 7. Turbulences spektrs pie mērījumu frekvences 20 kHz un plūsmas ātruma 10 m/s.



Attēls 8. Turbulences spektrs pie mērījumu frekvences 30 kHz un plūsmas ātruma 10 m/s.



Attēls 9. Turbulences spektrs pie mērījumu frekvences 60 kHz un plūsmas ātruma 10 m/s.

Aprēķinu piemēri:

- 1) Sprieguma kļūda kalibrējot elektronisko diferenciālo manometru ($\Delta P=0$ Pa) [1]:

$$\Delta U = 0.008U + 0.001 = 0.008 \cdot 0.519 + 0.001 = 0.005 \text{ V}$$

- 2) Nepieciešamais voltmetra spriegums un plūsmas ātruma kļūda kalibrējot KTA ($V=2.1$ m/s) [2,3]:

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad ; \quad \Delta P = (U - B)/A \rightarrow$$

$$U = A\rho V^2/2 - B = 0.0169 \cdot 1.205 \cdot 2.1^2/2 - 0.5 = 0.545 \text{ V} ;$$

$$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial U} \Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial A} \Delta A\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial B} \Delta B\right)^2} = 0.21 \text{ m/s}$$

- 3) Reinoldsa skaitlis ($V=2$ m/s) [3]:

$$Re = \frac{DV}{\nu} = \frac{0.1 \cdot 2}{1.51 \cdot 10^{-5}} = 13236$$

- 4) Vidējā ātruma pulsācija plūsmā ($V=2$ m/s):

$$\bar{U}_{rms} = \frac{\sum_{x=-40}^{40} U_{rmsx}}{80} = 0.411 \text{ m/s}$$

- 5) Turbulentās plūsmas kinētiskā enerģija ($V=2$ m/s):

$$k = 3/4 \bar{U}_{rms}^2 = 0.75 \cdot 0.411^2 = 0.127 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

- 6) Turbulentās plūsmas kinētiskā enerģijas kļūda ($V=2$ m/s):

$$\Delta k = 2k\Delta\bar{U}_{rms}/\bar{U}_{rms} = 2 \cdot 0.127 \cdot 0.004/0.411 = 0.003 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

- 7) Turbulences kinētiskās enerģijas disipācijas ātrums ($V=2$ m/s):

$$\epsilon = k^{3/2}/D = 0.127^{3/2}/0.1 = 0.451 \text{ m}^2/\text{s}^3$$

- 8) Kolmogorova garums ($V=2$ m/s):

$$\eta = (\nu^3/\epsilon)^{1/4} = ((1.51 \cdot 10^{-5})^3/0.451)^{1/4} = 295.75 \text{ } \mu\text{m}$$

Secinājumi:

Laboratorijas darbā tika veikta konstantas temperatūras anemometra (KTA) kalibrācija un izmērīti vidējoto no caurules izejošās plūsmas ātrumu sadalījumi pie 4 dažādiem Reinoldsa skaitļiem. Uzņemti arī turbulences spektri laikā uz caurules ass pie 10 m/s liela plūsmas ātruma 3 ar dažādām mērījumu frekvencēm.

Pirmajā darba daļā tika veikta elektroniskā diferenciālā manometra kalibrācija, izmantojot Pito caurulīti un hidraulisko diferenciālo manometru (Tabula 1,2, Attēls 1). Rezultātā iegūta elektroniskā diferenciālā manometra sprieguma atkarība no spiedienu starpības starp Pito caurulītes atverēm, no kuras, izmantojot Bernulli likumu, iespējams aprēķināt plūsmas ātrumu [2]. Šīs sakarības iegūšanas mērķis bija pēc iespējas precīzāk pēcāk veikt KTA kalibrāciju (Tabula 3, Attēls 2).

Tālāk tika izmērīti vidējoto plūsmas ātrumu sadalījumi pie 4 dažādiem Reinoldsa skaitļiem (ātrumiem) (Tabula 4, Attēls 3). Apskatot attēlu ātrumu sadalījumam, redzams, ka plūsma ir ātrāka pozitīvās x koordinātas pusē, sasniedzot maksimumu pie apmēram $x=20$ mm. Šādu asimetriju varētu skaidrot ar to, ka plūsmas virziens, ieejot caurulē, nesakrīt ar caurules asi (ventilators novietots mazliet ieslīpi pret cauruli). Lai kvalitatīvi salīdzinātu plūsmas pie dažādiem ātrumiem veikta to normēšana pēc attiecīgās plūsmas ātruma uz caurules ass ($x=0$ mm). Apskatot Attēlu 4 var novērot, ka 2 ātrāko plūsmu profili kvalitatīvi sakrīt, bet 2 lēnāko plūsmu profili ir mazāk "taisni". Šis novērojums skaidrojams ar Puazeija likumu – lamināras plūsmas profils caurulē ir parabolisks [5]. Palielinoties plūsmas ātrumam (Reinoldsa skaitlim) plūsma kļūst vairāk turbulentā un pakāpeniski izzūd paraboliskais profils [6].

Apskatot ātruma pulsāciju sadalījumus (Attēls 5), redzams, ka ātrums laikā svārstās vairāk pieaugot plūsmas ātrumam (Reinoldsa skaitlim) – plūsma kļūst turbulentāka. No Attēla 6 izspriežams, ka ātrākām plūsmām turbulences efekti izpaužas ģeometriski lielākā apgabalā kā lēnākām. Pulsāciju sadalījumos arī novērojama neliela asimetrija, ko var skaidrot ar to, ka pozitīvo x koordinātu apgabalā plūsma ir ātrāka, līdz ar to turbulentāka. Pie koordinātām, kas atbilst aptuveni caurules malām (apmēram ± 50 mm) novērojama visintensīvākā turbulence, kas varētu būt skaidrojama ar virpuļu veidošanos plūsmai pametot cauruli pie tās malas.

Izmantojot plūsmu pulsāciju sadalījumus tika aprēķināti turbulenci raksturojošie parametri un novērtētas to kļūdas (Tabula 5,6). Secināms, ka turbulentākām plūsmām ir lielāka turbulences kinētiskā enerģija un tās disipācijas ātrums, mazāks Kolmogorova garums, ko var interpretēt kā ģeometriski mazākus virpuļus plūsmā.

Darba beigās tika uzņemti turbulences spektri laikā uz caurules ass pie plūsmas ātruma 10 m/s (Attēls 7,8,9). Redzams, ka nevienā gadījumā netika iegūta sakritība ar Kolmogorova teoriju, kas arī turbulences spektram laikā paredz pakāpes rādītāju $-5/3$ [4]. Pie lielākām mērījumu frekvencēm tiek iegūts pakāpes rādītājs, kas tuvāks $-5/3$, kas, savukārt, liek domāt, ka nepieciešams veikt mērījumus vēl biežāk kā ar apskatīto 60 kHz frekvenci, lai labāk tiktu izšķirts turbulences spektrs.

Izmantotā literatūra:

1. <http://www.farnell.com/datasheets/1490819.pdf>
2. https://estudijas.lu.lv/pluginfile.php/357238/mod_resource/content/2/1.darbs_v0.pdf
3. http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html
4. <https://www.pims.math.ca/files/Hydro-Sverak-Lecture2.pdf>
5. Batchelor G. K., An Introduction to Fluid Dynamics, 2000, p.180
6. http://pillars.che.pitt.edu/student/slide.cgi?course_id=10&slide_id=13.0