



Projekts: **Augstākā līmeņa fizikas studiju attīstība Latvijas Universitātē**  
Projekta līguma Nr.: 2005/0114/VPD1/ESF/PIAA/04/APK/3.2.3.2/0009/0063  
LU reģistrācijas Nr.: ESS 2005/7

---

Latvijas Universitāte  
Fizikas un matemātikas fakultāte

Mācību kursa  
Fizi5010 : Nepārtrauktas vides fizikas laboratorija  
Laboratorijas darbs – pagaidu versija

## **Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās.**

Leonīds Buligins

### **1. Darba mērķi**

1. Iepazīties ar plūsmas vidējoto ātrumu un ātruma pulsāciju sadalījumu iegūšanu izmantojot konstantas temperatūras anemometru.
2. Izmērīt vidējoto ātrumu un ātruma pulsāciju sadalījumu caurules šķērsgriezumā.
3. Aprēķināt ātrumu sadalījumus ar turbulences modeļa k-e palīdzību un salīdzināt ar izmērītajiem.

Pirms darba students teorētiski iepazīstas ar lamināru un turbulentu plūsmu īpašībām. Ar termoanemometriskās ātruma zondes un koordinātu iekārtas palīdzību tiek izmērīti ātruma un pulsāciju sadalījumi turbulentai plūsmai caurulēs ar apaļu šķērs griezumu. Iegūtie ātrumu sadalījumi tiek salīdzināti ar datormodelēšanas rezultātiem.

### **2. Teorētiskais apskats**

#### **2.1. Konstantas temperatūras anemometra (KTA) turbulences**

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls “NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA”

“Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās” Leonīds Buligins

## parametru mērījumu interpretācija

KTA sensora lokālā koordinātu sistēma attēlota 1.att. Ar  $U$  apzīmēts vidējās plūsmas virziens, ar  $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$  – attiecīgās ātruma komponentes lokālajā koordinātu sistēmā. Šajā eksperimentā izmantotā sensora un vidējās plūsmas orientācija atbilst leņķiem

$$\alpha = 0 \text{ un } \Theta = \frac{\pi}{2}. \quad (1)$$

KTA izmērītā ātruma atkarību no leņķiem  $\alpha$  un  $\Theta$  var izteikt kā:

$$U(\alpha)^2 = U(0)^2 (\cos^2 \alpha + k^2 \sin^2 \alpha) \quad \Theta = 0 \quad (2)$$

$$U(\Theta)^2 = U(0)^2 (\cos^2 \Theta + h^2 \sin^2 \Theta) \quad \alpha = 0 \quad (3)$$

vai, izmantojot ātruma komponentes KTA sensora lokālajā koordinātu sistēmā:

$$U_{eff}^2 = U_x^2 + k^2 U_y^2 + h^2 U_z^2, \quad (4)$$

kur

$U(0)$  - patiesais plūsmas ātrums,

$U_{eff}$  - efektīvais sensoru dzesējošais plūsmas ātrums (aprēķinātais no KTA

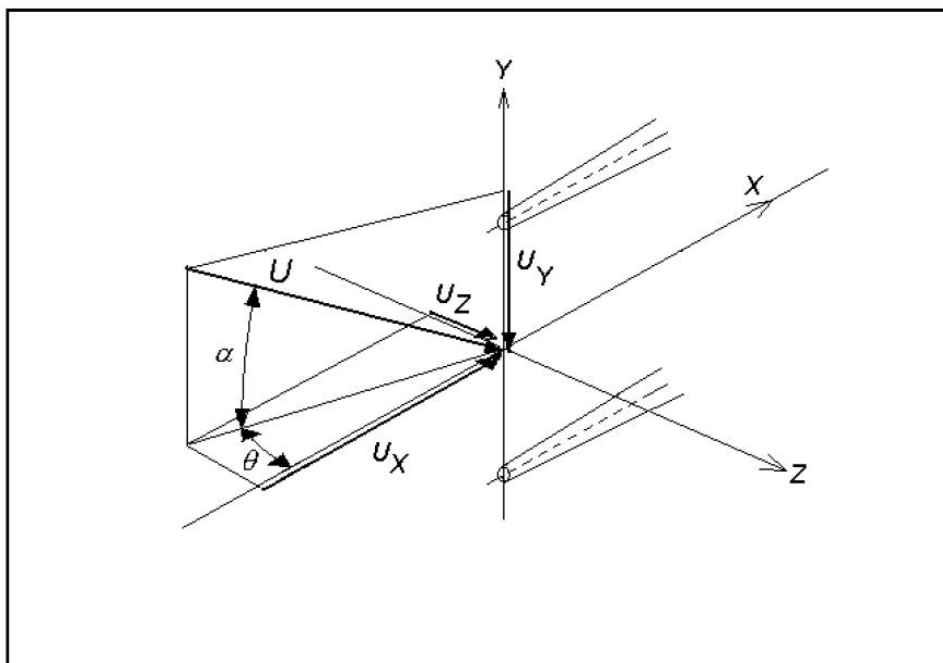
kalibrācijas līknes),

$\alpha$  - leņķis starp ātruma un sensora normāles virzieniem,

$\Theta$  - leņķis starp ātruma virzienu un sensora-turētāju plakni,

$k$ ,  $h$  - koeficienti, kas raksturo sensora orientācijas jutību ( $k^2=0.0225-0.04$ ) un turētāju siltumpārnese ietekmi ( $h^2=1.04-1.20$ )

$(x, y, z)$  - sensora koordinātu sistēma.



**1.att.** KTA sensora lokālā koordinātu sistēma.

Šī laboratorijas darba ietvaros izmantosim tuvinājumu  $k^2=0$  un  $h^2=1$ , t.i. ātruma komponente  $U_y$  neietekmē KTA mērījumu, bet ātrumu  $U_x$  un  $U_z$  ietekme uz KTA mērījumu ir vienāda:

$$U_{eff}^2 = U_x^2 + U_z^2 \quad (5)$$

Izsakot katru ātruma komponenti:

$$U_x = u'_x \quad (6)$$

$$U_z = \bar{u}_z + u'_z \quad (7)$$

$$U_{eff} = \bar{u}_{eff} + u'_{eff} \quad (8)$$

$$(\bar{u}_{eff} + u'_{eff})^2 = (u'_x)^2 + (\bar{u}_z + u'_z)^2 \quad (9)$$

$$\bar{u}_{eff}^2 + 2\bar{u}_{eff}u'_{eff} + u_{eff}'^2 = u_x'^2 + \bar{u}_z^2 + 2\bar{u}_zu'_z + u_z'^2 \quad (10)$$

Vidējojot laikā iegūstam:

$$\overline{u_{eff}^2} + \overline{u_{eff}'^2} = \overline{u_x'^2} + \overline{u_z^2} + \overline{u_z'^2} \quad (11)$$

jeb

$$\overline{u_{eff}^2} + \overline{u_{eff}'^2} = \overline{u_x'^2} + \overline{u_z^2} + \overline{u_z'^2} \quad (12)$$

Nemot vērā, ka

$$\bar{u}_{eff} = \bar{u}_z \quad (13)$$

iegūstam

$$\overline{u_{eff}'^2} = \overline{u_x'^2} + \overline{u_z'^2} \quad (14)$$

Izmērītais lielums ir

$$U_{rms} = \left( \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (U_i - U_{mean})^2 \right)^{0.5} = \sqrt{\overline{u_{eff}'^2}}, \quad (15)$$

kur

$$U_{mean} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_i \quad (16)$$

Pieņemot, ka turbulence ir izotropa, t.i.

$$\overline{u_x'^2} = \overline{u_z'^2} = \overline{u'^2} \quad (17)$$

$$\overline{u_{eff}'^2} = 2\overline{u'^2} \quad (18)$$

vai

$$U_{rms} = \sqrt{2\overline{u'^2}} \quad (19)$$

vai

$$\overline{u'^2} = \frac{1}{2} U_{rms}^2 \quad (20)$$

Turbulences kinētiskā enerģija tiek definēta kā [ ]:

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i u_i} = \frac{1}{2} (\overline{u_1'^2} + \overline{u_2'^2} + \overline{u_3'^2}) \quad (21)$$

Izotropas turbulence gadījumā:

$$\overline{u_1'^2} = \overline{u_2'^2} = \overline{u_3'^2} = \overline{u'^2} \quad (22)$$

un

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins

$$k = \frac{1}{2} \overline{u_i' u_i'} = \frac{3}{2} \overline{u'^2}$$

vai, ņemot vērā (20):

$$\boxed{k = \frac{3}{4} U_{rms}^2} \quad (23)$$

Tādējādi izotropas turbulences gadījumā,  $U_{rms}$  jāsalīdzina ar  $\sqrt{\frac{4}{3} k}$ .

## 2.2. Viskoza nespīējama šķidruma kustības vienādojumi.

Nepārtrauktības vienādojums

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho v_x) + \frac{\partial}{\partial r}(\rho v_r) + \frac{\rho v_r}{r} = 0 \quad (24)$$

Impulsa saglabāšanās:

- aksiālās komponentes:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} (r \rho v_x v_x) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v_r v_x) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left( 2r \mu_e \frac{\partial v_x}{\partial x} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \mu_e \left( \frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right] \quad (25)$$

- radiālās komponentes:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} (r \rho v_x v_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v_r v_r) = -\frac{\partial p}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( 2r \mu_e \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) - 2\mu_e \frac{v_r}{r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial x} \left[ r \mu_e \left( \frac{\partial v_r}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial r} \right) \right] \quad (26)$$

kur

$x$  – aksiālā koordināte,

$r$  – radiālā koordināte,

$v_x$  – aksiālais ātrums

$v_r$  – radiālais ātrums

$\rho$  – blīvums

$\mu_e$  – efektīvais dinamiskās viskozitātes koeficients, laminārā plūsmā  $\mu_e = \mu$ ,  
turbulentā  $\mu_e = \mu + \mu_t$

## 2.2. k-ε turbulences modelis.

Standarta k-ε modelis ir pusempīriska modelis, kas ir pielietojams pilnībā turbulentām plūsmām un balstās uz pārneses vienādojumiem turbulences kinētiskajai enerģijai un tās disipācijas ātrumam  $\varepsilon$  [1]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (27)$$

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (28)$$

kur

$k$  - turbulences kinētiskā enerģija,

$\varepsilon$  - turbulences kinētiskās enerģijas disipācijas ātrums,

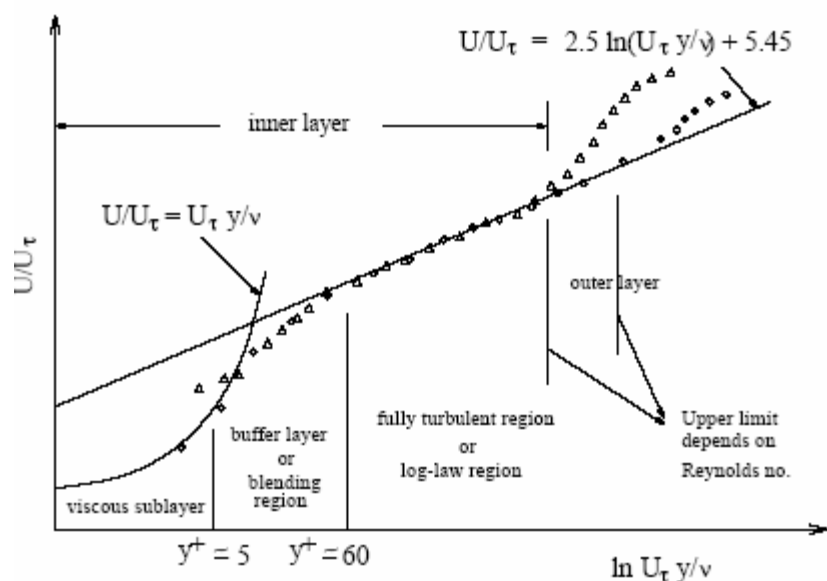
$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

- turbulentās viskozitātes koeficients,

$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$  - modeļa konstantes,

$$G_k = -\rho \overline{u_i u_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \text{turbulences ģenerācija.}$$

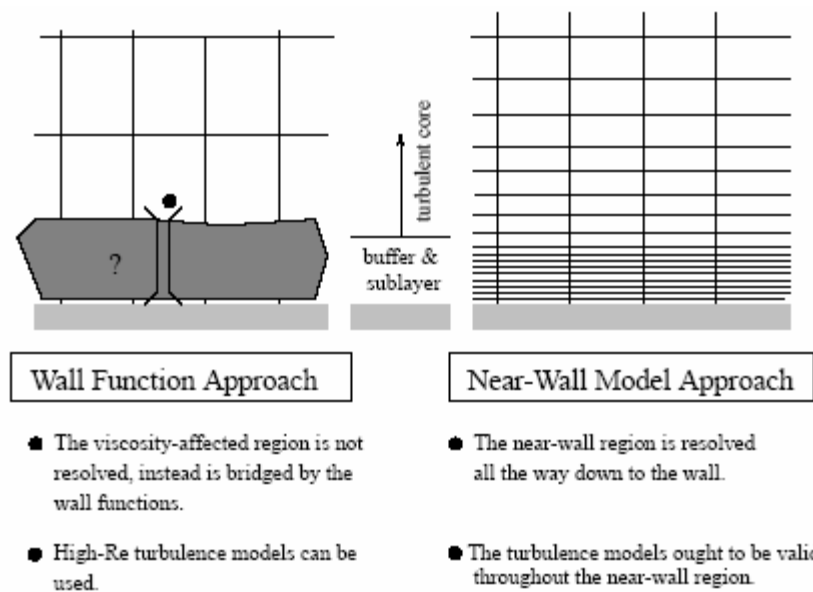
Turbulentās viskozitātes koeficients raksturo turbulences efektu papildus radīto impulsa, turbulentās kinētiskās enerģijas un tās disipācijas ātruma difūziju.



**2.att.** Raksturīgie plūsmas apgabali sienas tuvumā.

Eksperimentāli noskaidrots, ka turbulentu plūsmu sienas tuvumā var sadalīt 3 apgabalos:

- 1) Vistuvākais sienai, t.s. „viskozais apakšslānis”. Plūsmas šajās apgabalā ir lamināra, dominē viskozitātes spēki ( $y^+ < 5$ ).
- 2) Ārējais apgabals, t.s. „pilnībā turbulentais slānis” ( $60 < y^+ < c$ , kur  $c$  ir atkarīgs no Reinoldsa skaitļa). Šajā apgabalā turbulence ir noteicošā parādība, viskozitātes ietekme ir neliela.
- 3) Pārejas apgabals starp abiem slāņiem” ( $5 < y^+ < 60$ ), kurā viskozitātes un turbulences efektu ietekme ir samērojama.



**3.att.** Divas pieejas turbulentu plūsmu aprēķinam sienas tuvumā.

$$y^+ = \frac{U_\tau y}{\nu}, \quad (29)$$

kur

$$U_\tau = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (30)$$

$y$  - attālums līdz sienai,

$\nu$  - kinemātiskās viskozitātes koeficients

Veicot turbulentu plūsmu aprēķinus, izmanto vienu no pieejām, kas attēlotas 3.att. – *sienas funkciju pieeju* (Wall Function Approach), kurā tuvākās sienai šūnas izmērus izvēlas tā, lai tās centrs atrastos attālumā  $30 < y^+ < 300$  no sienas vai *viskozā apakšslāņa pieeju* (Near-Wall Model Approach), kurā hidrodinamikas vienādojumi tiek risināti līdz viskozajam apakšslānim, izmantojot smalku režģi sienas tuvumā.

Šajā darbā izmantosim *sienas funkciju pieeju*. Sienas šūnu centriem optimāli jāatrodas apakšējās robežas tuvumā ( $y^+ \approx 30$ ).

Caurules ieejā uzdod turbulences intensitāti

$$Tu = \frac{U_{rms}}{U_{mean}} \quad (31)$$

un turbulences mērogu

$$l = 0.07L, \quad (32)$$

kur  $L$  – ir caurules diametrs.

### 3. Darba uzdevumi

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls “NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA”

“Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās” Leonīds Buligins

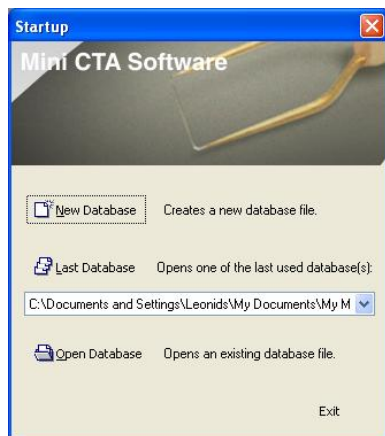
1. Nodefinīt konstantas temperatūras anemometra mērīšanas parametrus.
2. Izmērīt vidējoto ātrumu un ātruma pulsāciju sadalījumu caurules šķēsgriezumā.
3. Aprēķināt ātrumu sadalījumus ar turbulences modeļa k-e palīdzību un salīdzināt ar izmērītajiem.

## 4. Darba veikšanas apraksts

### 4.1. Nodefinīt konstantas temperatūras anemometra mērīšanas parametrus.

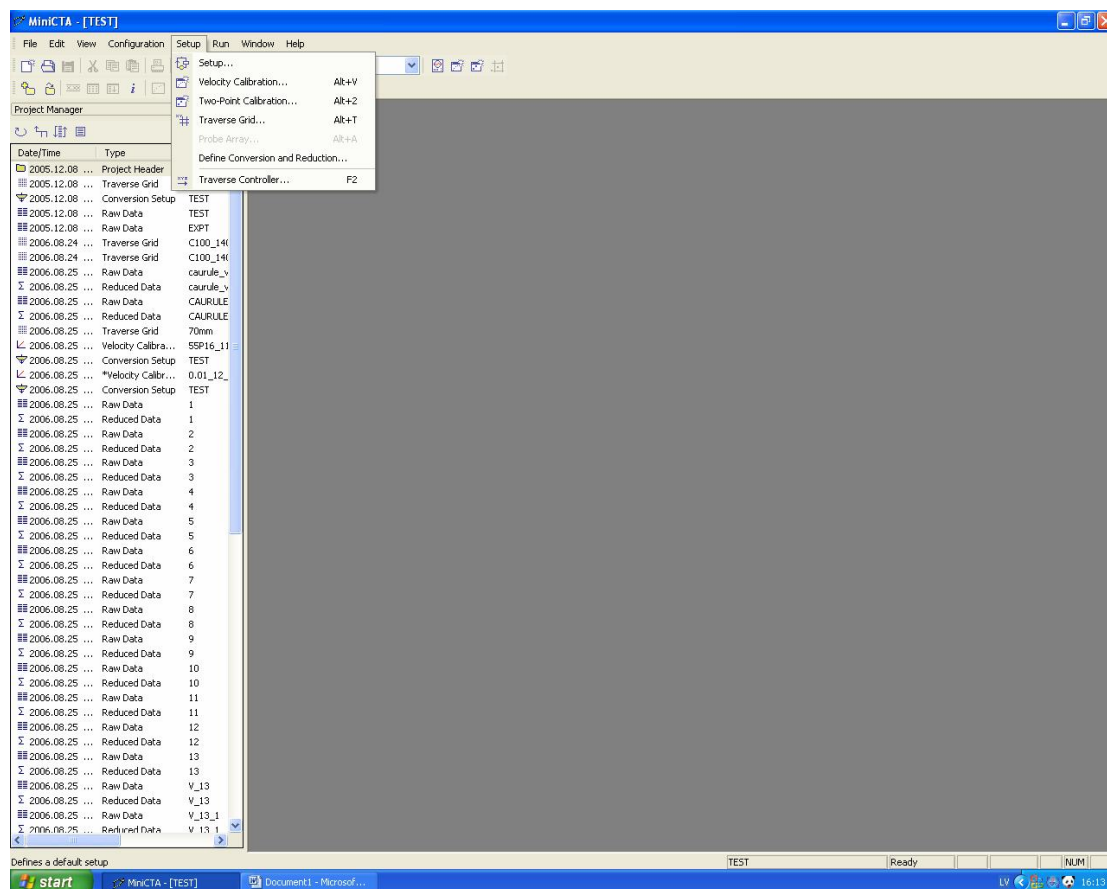
Startē programmu **MiniCTA** no Desktop.

Izvēlas **Last Database**:



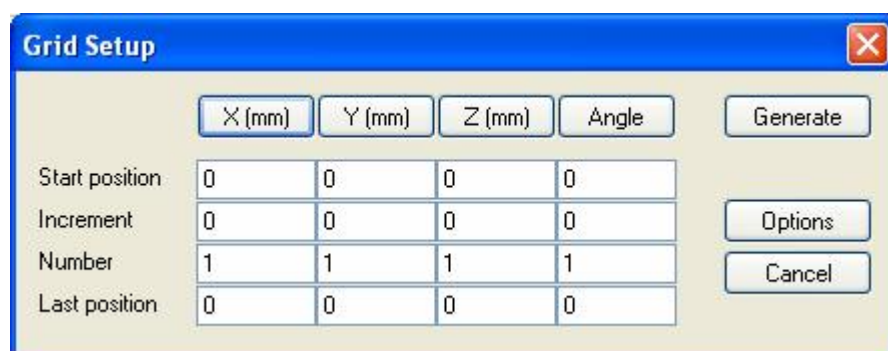
4.att. Ekrāna kopija

**Setup-Traversal controller ...**



## 5.att. Ekrāna kopija

Atveras logs,



## 6.att. Ekrāna kopija

kurā uzdod sekojošus parametrus:

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls “NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA”

“Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās” Leonīds Buligins



**Grid Setup**

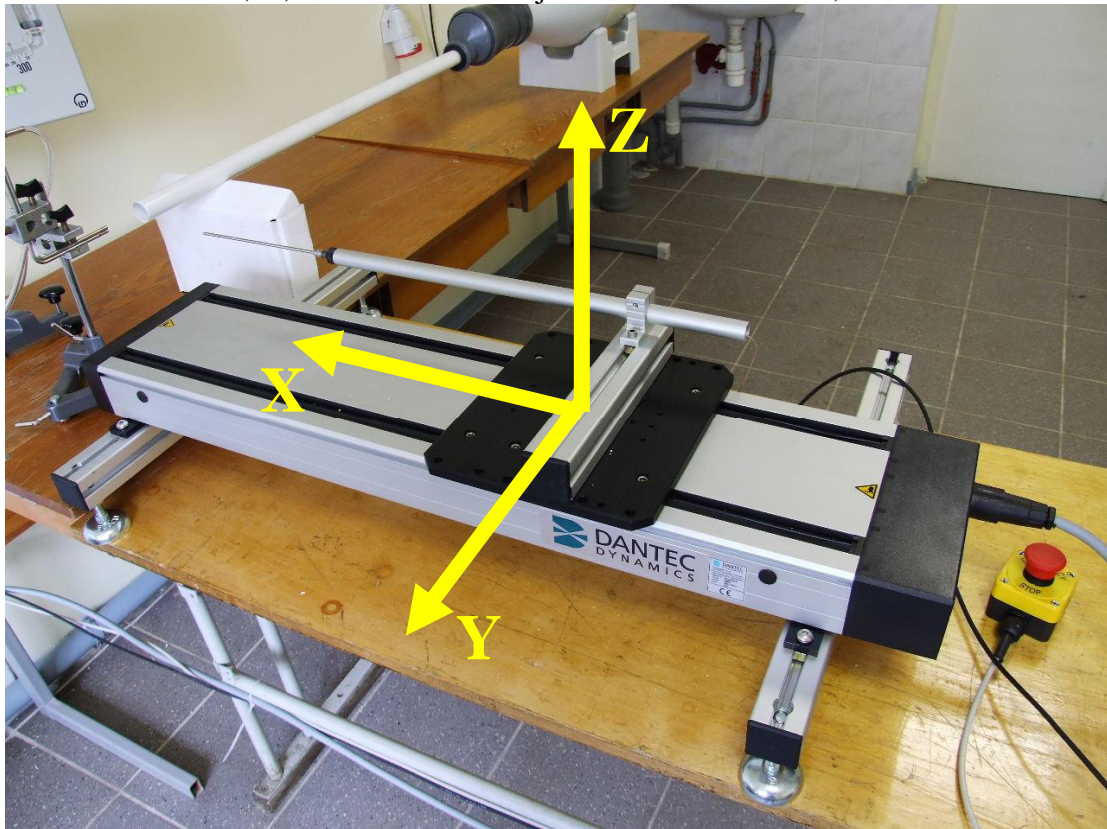
	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Angle
Start position	0	0	0	0
Increment	1	0	0	0
Number	141	1	1	1
Last position	0	0	0	0

Buttons: Generate, Options, Cancel

**7.att.** Ekrāna kopija

## Generate

Rezultātā tiek izveidota koordinātu tabula X no 0 līdz 140 mm ar soli 1 mm:  
Šeit koordinātes X, Y, Z atbilst laboratorijas koordinātu sistēmai, ka attēlota 8.att.



**8.att.** Laboratorijas koordinātu sistēma

The screenshot shows the MiniCTA software interface. On the left is a Project Manager tree with various data files. The main window displays a table titled 'Traverse - [UNTITLED]' with columns X, Y, Z, and A. The table contains 27 rows of data, with X values increasing from 0.000 to 26.000 and Y, Z, and A values remaining at 0.000.

	X	Y	Z	A
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1.000	0.000	0.000	0.000
3	2.000	0.000	0.000	0.000
4	3.000	0.000	0.000	0.000
5	4.000	0.000	0.000	0.000
6	5.000	0.000	0.000	0.000
7	6.000	0.000	0.000	0.000
8	7.000	0.000	0.000	0.000
9	8.000	0.000	0.000	0.000
10	9.000	0.000	0.000	0.000
11	10.000	0.000	0.000	0.000
12	11.000	0.000	0.000	0.000
13	12.000	0.000	0.000	0.000
14	13.000	0.000	0.000	0.000
15	14.000	0.000	0.000	0.000
16	15.000	0.000	0.000	0.000
17	16.000	0.000	0.000	0.000
18	17.000	0.000	0.000	0.000
19	18.000	0.000	0.000	0.000
20	19.000	0.000	0.000	0.000
21	20.000	0.000	0.000	0.000
22	21.000	0.000	0.000	0.000
23	22.000	0.000	0.000	0.000
24	23.000	0.000	0.000	0.000
25	24.000	0.000	0.000	0.000
26	25.000	0.000	0.000	0.000
27	26.000	0.000	0.000	0.000

## 9.att. Ekrāna kopija

Noglabā šo tabulu kā notikumu **trav\_0\_140\_1**

The 'Save Event' dialog box shows the following information:

- Event specifications**
- Date:** 11/10/06 **Time:** 16:17:44
- Event class:** Traverse
- Subclass:** N/A
- Associated ID:** trav\_0\_140\_1

Buttons: Yes, No, Cancel

## 10.att. Ekrāna kopija

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls “NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA”

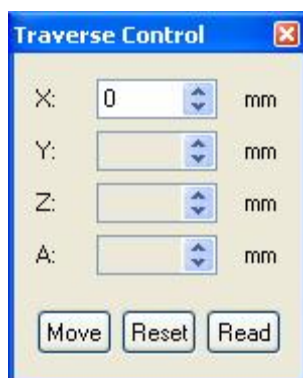
“Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās” Leonīds Buligins



11.att. KTA sensora novietojums caurules centrā.

11.att. redzamajā KTA sensora stāvoklī X koordinātei jābūt 0.

### Setup-Traversal Controller ...



12.att. Ekrāna kopija

Ja X ir atšķirīga vērtība, nospieš **Reset**. Pēc tam uzdod



**13.att.** Ekrāna kopija

**Move.** Sensors tiek pārbīdīts 70 mm negatīvajā x ass virzienā. Izvēlas notikumu `trav_0_140_1` kā izmantojamu pēc noklusēšanas. Iekārta ir gatava mērījumu veikšanai.

#### 4.2. Izmērīt vidējoto ātrumu un ātruma pulsāciju sadalījumu caurules šķērsgriezumā.

##### Mērījumu veikšana ar rezultātu saglabāšanu (Run Default).

Mērījumus veic sekojošā veidā:

1. Iestāda nepieciešamo ātruma (Reinoldsa skaitļa) vērtību ar ventilatora potenciometra palīdzību.

**Piezīme.** Izmainot griešanās ātrumu ventilatoram nepieciešamas apmēram 30 sekundes, līdz tas sasniedz izmainīto ātruma vērtību.

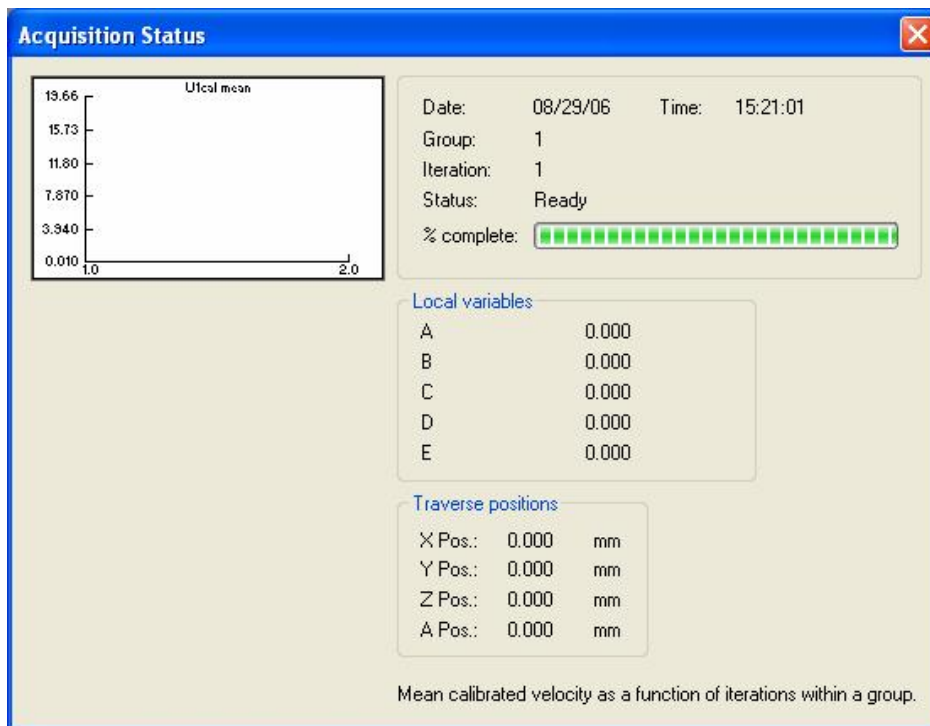
##### 2. Izvēlas **Run – Run Default Setup**



**14.att.** Ekrāna kopija

3. Uzdod mērīšanas notikuma nosaukumu, piem. `8_MS_SS`. Nospiež **Run**.





15.att. Ekrāna kopija

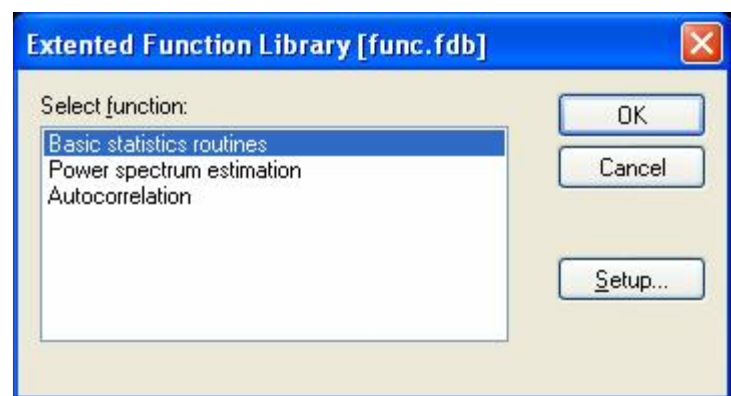
4. Kad mērījums ir veikts (15.att.), projekta menedžerī parādās mērīšanas notikums ar attiecīgo nosaukumu. Aizver logu ar **X**.
5. Nospiež labo taustiņu laukā ... **Raw Data** un izvēlas **Reduce Data**.
6. Uzdod 8\_MS\_SS **OK**. Projekta notikumu sarakstā parādās ... Reduced Data 8\_MS\_SS.

The screenshot shows the MiniCTA software interface. On the left is a 'Project Manager' tree view listing various data files and grids. The main window displays a table titled 'Reduced Data - [8\_MS\_SS]'. The table has columns for position (X, Y, Z), velocity (U Mean, U RMS, U Turb), and other parameters. The data is organized into rows corresponding to different measurement points or time steps.

	X pos.	Y pos.	Z pos.	U Mean	U RMS	U Turb.
1	0.000	0.000	0.000	0.014	0.027	184.930
2	1.000	0.000	0.000	0.065	0.035	54.451
3	2.000	0.000	0.000	0.103	0.047	45.892
4	3.000	0.000	0.000	0.028	0.030	107.947
5	4.000	0.000	0.000	0.032	0.037	116.786
6	5.000	0.000	0.000	0.058	0.040	69.612
7	6.000	0.000	0.000	0.049	0.044	88.834
8	7.000	0.000	0.000	0.100	0.061	60.922
9	8.000	0.000	0.000	0.071	0.057	79.299
10	9.000	0.000	0.000	0.084	0.062	73.699
11	10.000	0.000	0.000	0.088	0.073	82.869
12	11.000	0.000	0.000	0.107	0.082	76.403
13	12.000	0.000	0.000	0.166	0.130	78.717
14	13.000	0.000	0.000	0.233	0.205	90.273
15	14.000	0.000	0.000	0.362	0.371	102.273
16	15.000	0.000	0.000	0.787	0.659	83.656
17	16.000	0.000	0.000	1.329	0.914	68.784
18	17.000	0.000	0.000	2.183	1.170	53.587
19	18.000	0.000	0.000	3.319	1.392	41.934
20	19.000	0.000	0.000	4.406	1.396	31.677
21	20.000	0.000	0.000	5.699	1.409	24.718
22	21.000	0.000	0.000	6.608	1.288	19.491
23	22.000	0.000	0.000	7.394	1.197	16.192
24	23.000	0.000	0.000	8.320	1.131	13.593
25	24.000	0.000	0.000	8.424	0.953	11.307
26	25.000	0.000	0.000	8.581	0.977	11.386
27	26.000	0.000	0.000	8.699	0.962	11.058
28	27.000	0.000	0.000	8.677	0.960	10.926

16.att. Ekrāna kopija

## Run-Extended Processing ...



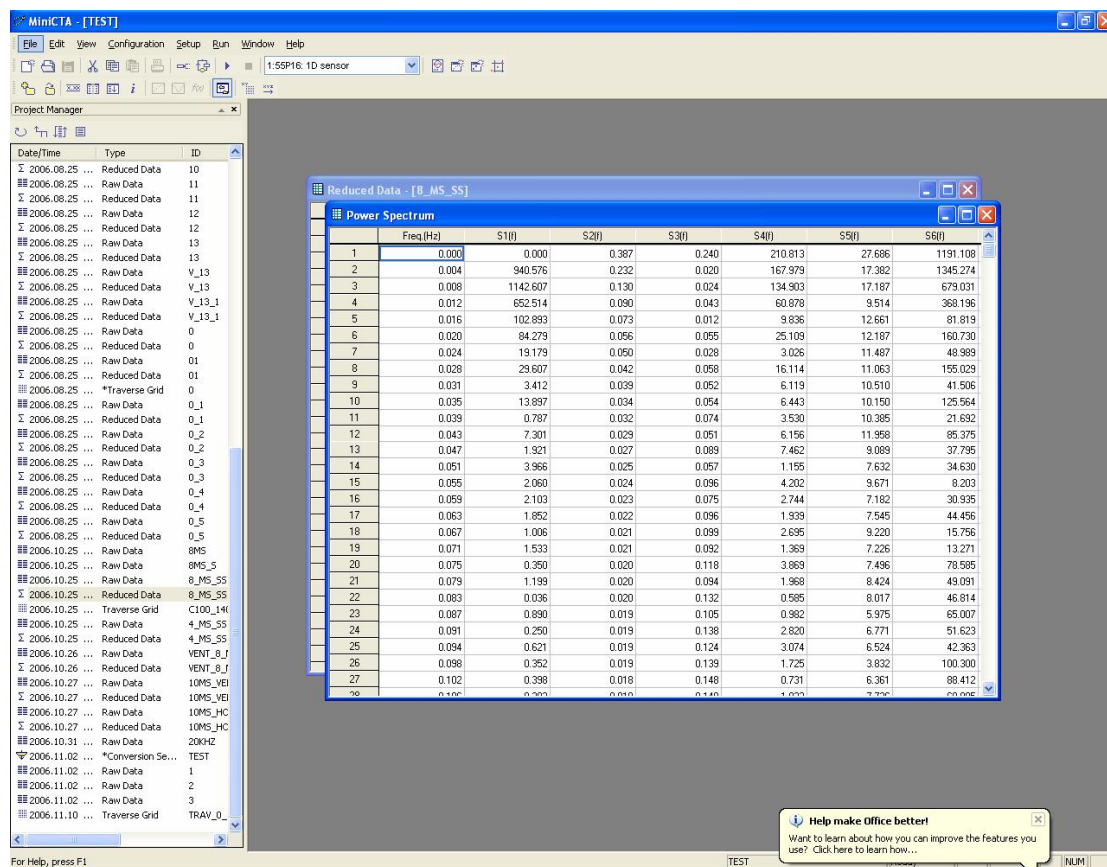
17.att. Ekrāna kopija

## 7. Izvēlas Power spectrum estimation-OK

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls “NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA”

“Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās” Leonīds Buligins



## 18.att. Ekrāna kopija

8. Iezīmē attiecīgajā tabulā mērījumu rezultātus (nospiež kreiso augšējo tabulas šūnu);
9. Nospiež labo taustiņu melni iekrāsotajā laukā – **Copy**
10. Pārkopē mērījumus Excel tabulā – **Paste**.
11. Apstrādā datus Excel tabulā..

## 4.3. Aprēķināt ātrumu sadalījumus ar turbulences modeļa k-e palīdzību un salīdzināt ar izmērītajiem.

1. Startē programmu Fluent 4.

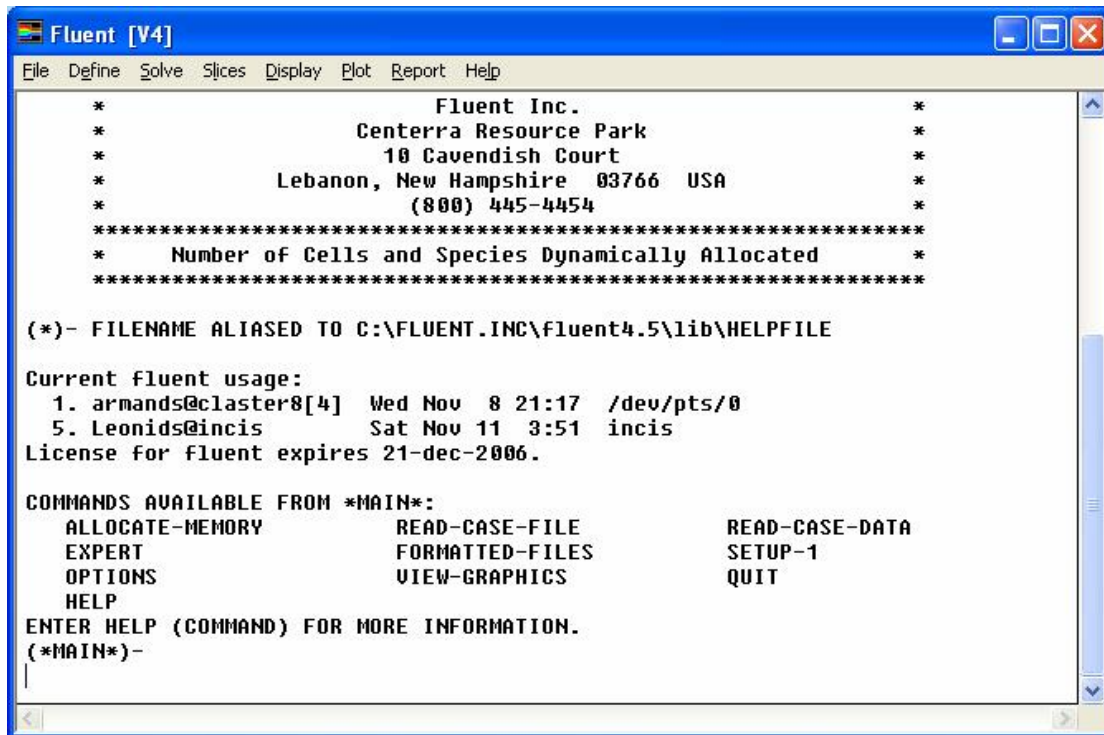


Fluent4.lnk

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls “NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA”

“Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās” Leonīds Buligins



19.att. Ekrāna kopija

## 2. File-Read-Case & Data

turb\_k\_e\_1m\_bound\_10\_10.cas

3. Uzdod robežnosacījumus ieejā I1 atbilstoši eksperimenta parametriem. Maināmie lielumi ir ātrums  $U(M/S)$  un turbulences intensitāte **Turb.Intensity (%)**.



**Velocity Inlet Boundary Conditions**

Zone: **I1**

Phase: **PHASE 2**

**Velocity**

Type: **Velocity Components**

☐ Flow Angles

U (M/S): **constant** **10**

V (M/S): **constant** **0**

W (M/S): **constant** **0**

Z Cosine: **constant** **0**

**Turbulence Parameters**

Type: **Intensity/Length Scale**

Turb. Intensity (%): **10**

Char. Length (M): **0.1**

Kinetic Energy (M2/S2): **constant** **0**

Dissipation (M2/S3): **constant** **0**

**Pressure**

☐ Supersonic Inlet

Static Pressure (PA): **constant** **0**

**Thermal Parameters**

Static Temperature (K): **constant** **273**

Eff. Emissivity: **1**

Boundary Temp. Correction: **1**

**PDF Parameters**

Fuel Fraction: **0**

Fuel Variance: **0**

Secondary Fraction: **0**

Secnd. Variance: **0**

**Multiphase**

Volume Fraction: **constant** **0**

Granular Temperature (M2/S2): **constant** **0**

**Buttons:** Apply Species... RSM... Close Help

20.att. Ekrāna kopija

4. Uzdod nesaišu zīmēšanu risināšanas gaitā.

### Solve-Monitor-Residuals

**Residuals**

**Options**

☒ Print

☒ Plot

☒ Normalize

Plot Window: **0**

**Residuals**

Pressure

U Velocity

V Velocity

Turb Energy

Dissipation

**Buttons:** Apply Plot Close Help

21.att. Ekrāna kopija

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

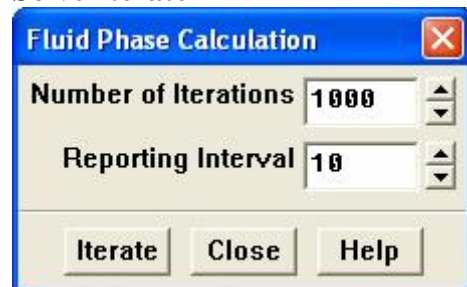
Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins

Iezīmē  $\sqrt{\quad}$  Plot  
Apply-Close

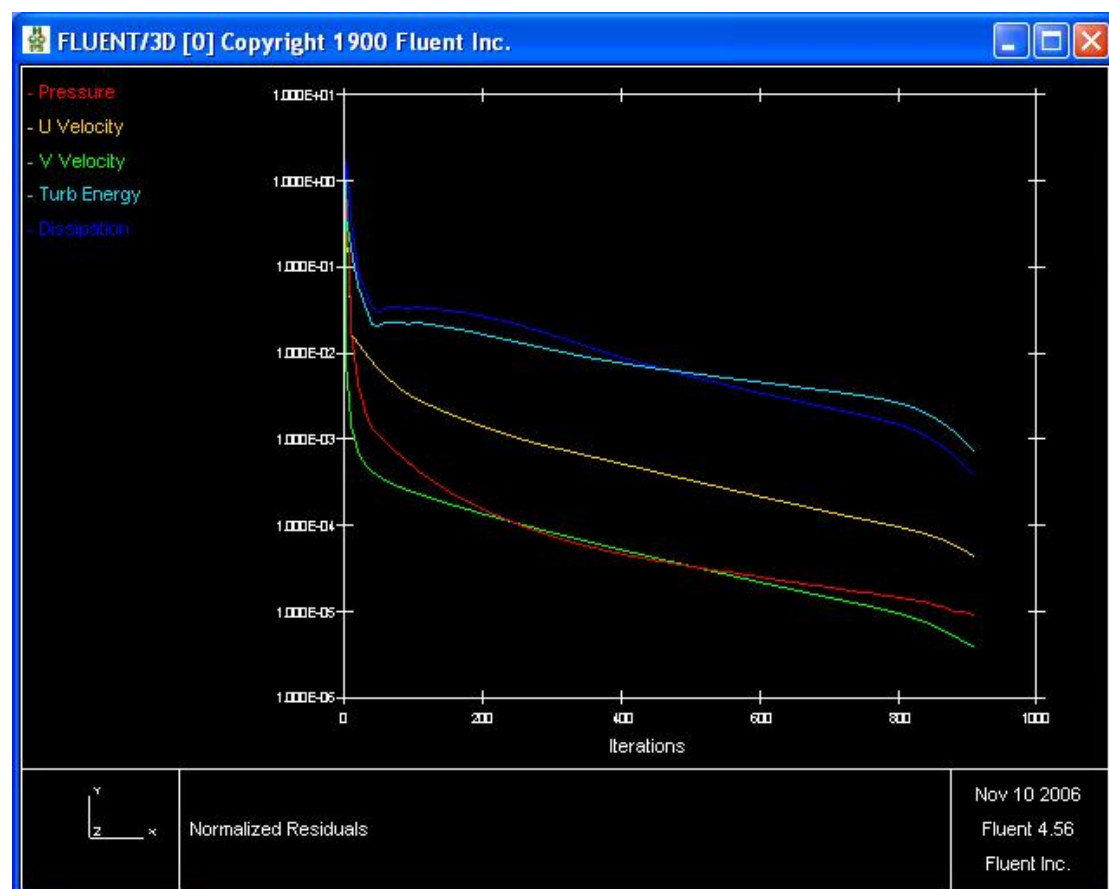
5. Atrisinā problēmu:

**Solve-Iterate**



22.att. Ekrāna kopija

**Iterate**



23.att. Ekrāna kopija

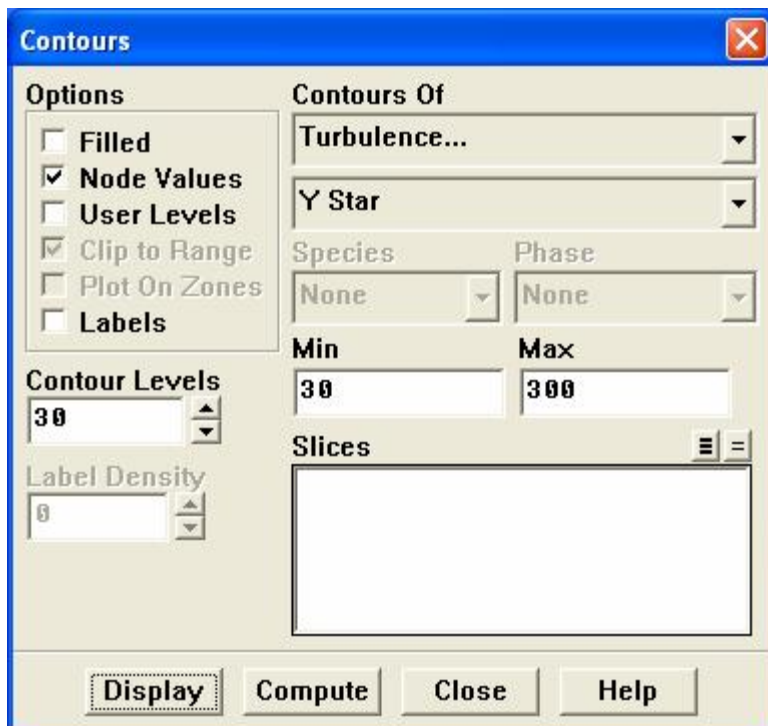
5. Pārliecinās, ka izpildās nosacījums  $30 < y^+ < 300$ .

Display-Contours ...

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins



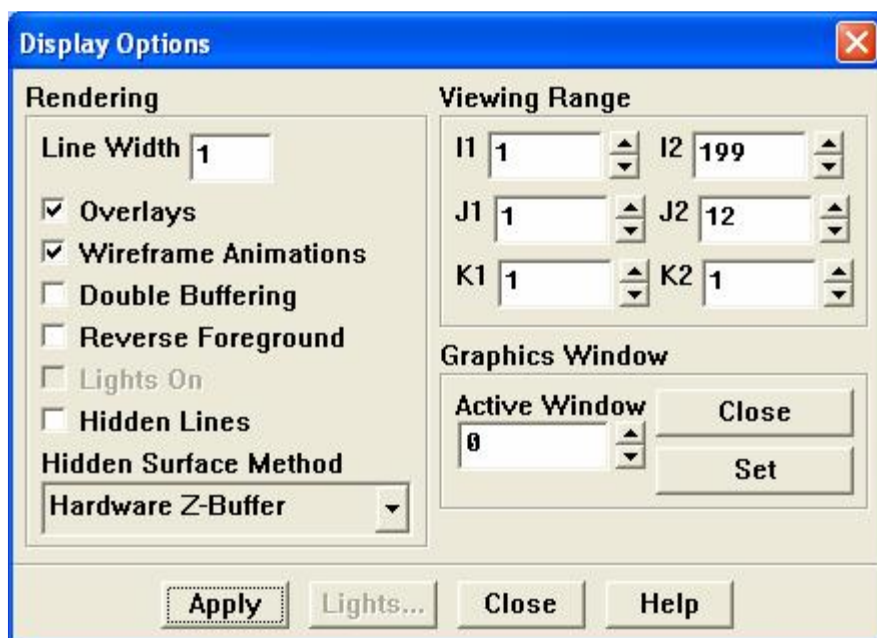
24.att. Ekrāna kopija

### Display

Ieslēdz Overlay funkciju.

### Display-Options ....

✓ Overlays



25.att. Ekrāna kopija

### Apply

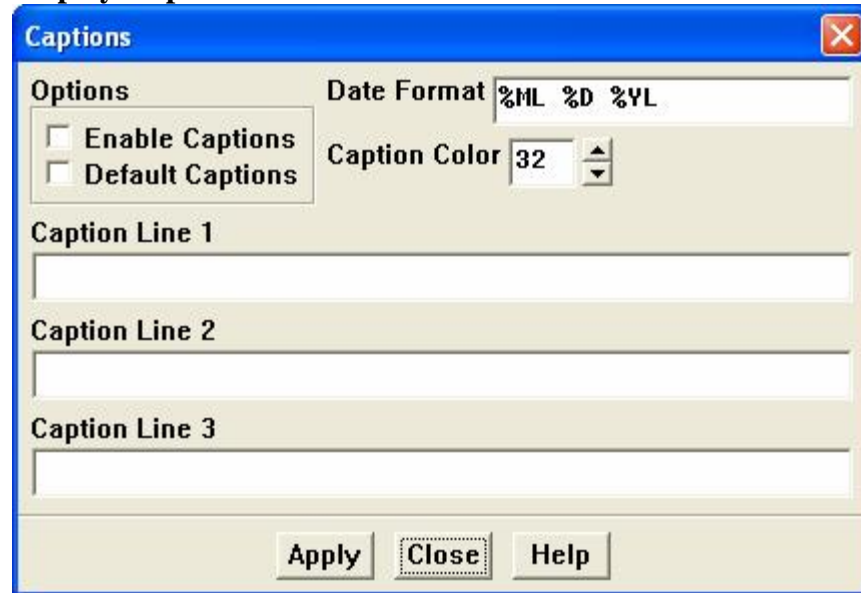
Atslēdz zīmējumu parakstus

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins

## Display-Captions ...

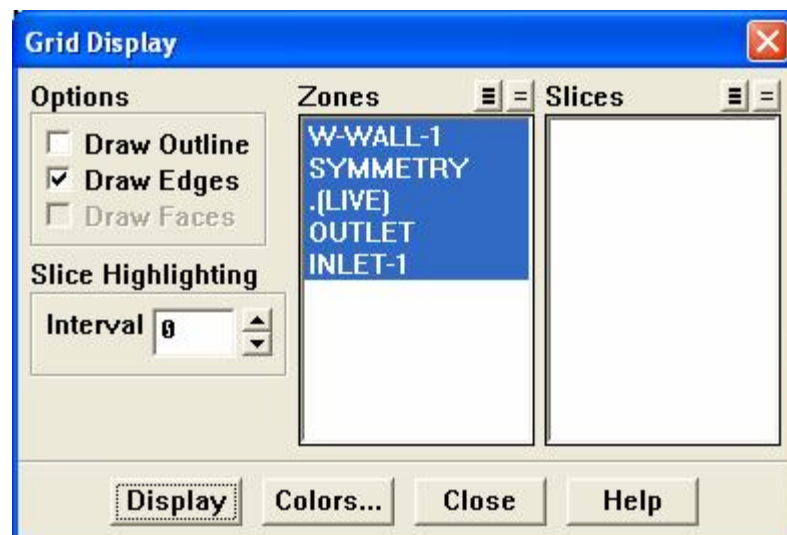


26.att. Ekrāna kopija

## Apply

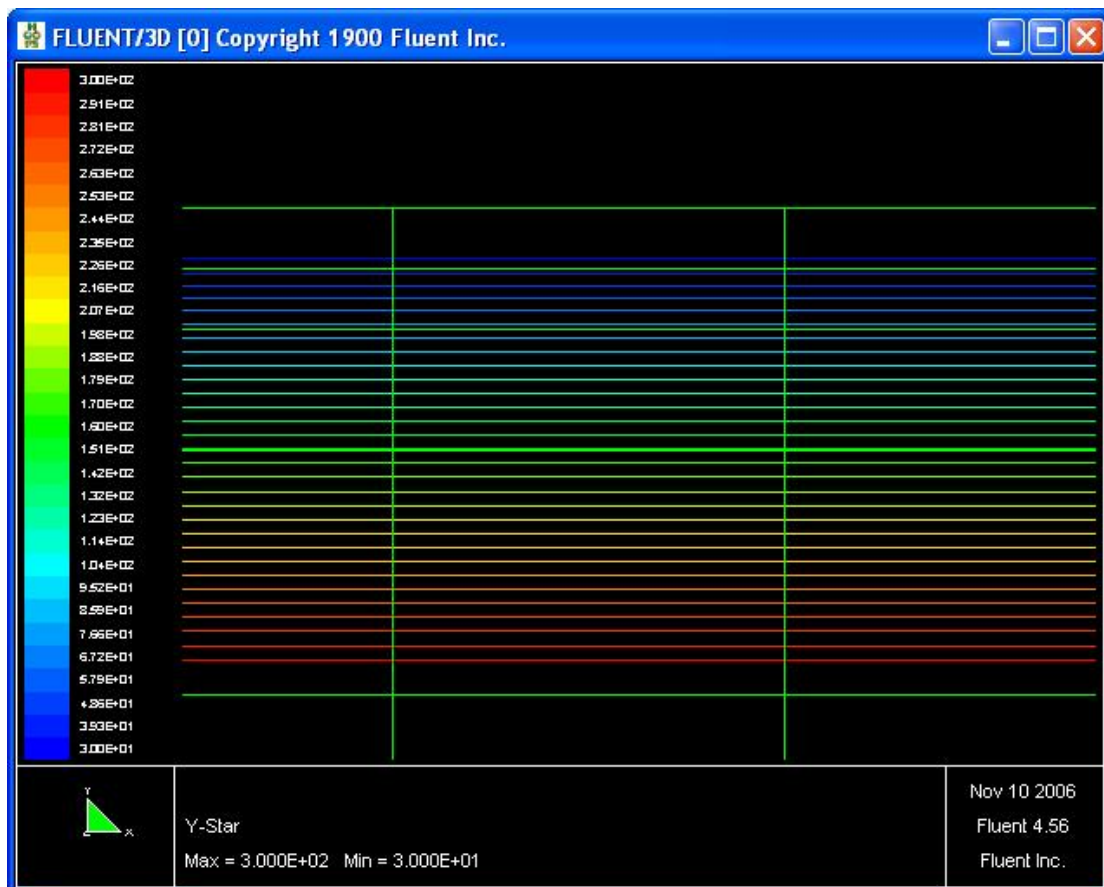
Uzzīmē iepriekšējam zīmējumam virsū režģi

## Display-Grid...



27.att. Ekrāna kopija

## Display

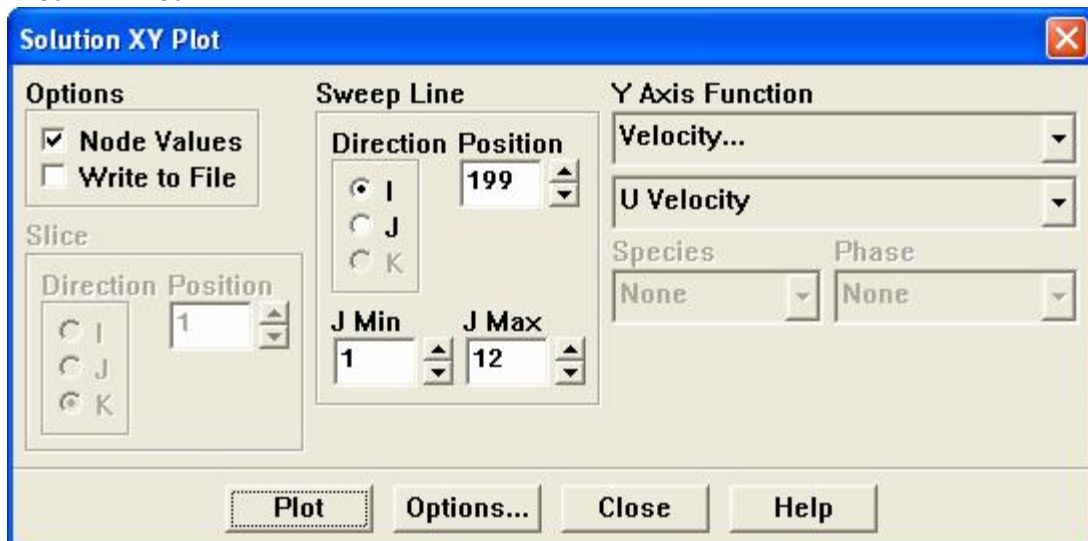


28.att. Ekrāna kopija

Atslēdz Overlay funkciju.

6. Apskata rezultātu:

### Plot-XY Plot



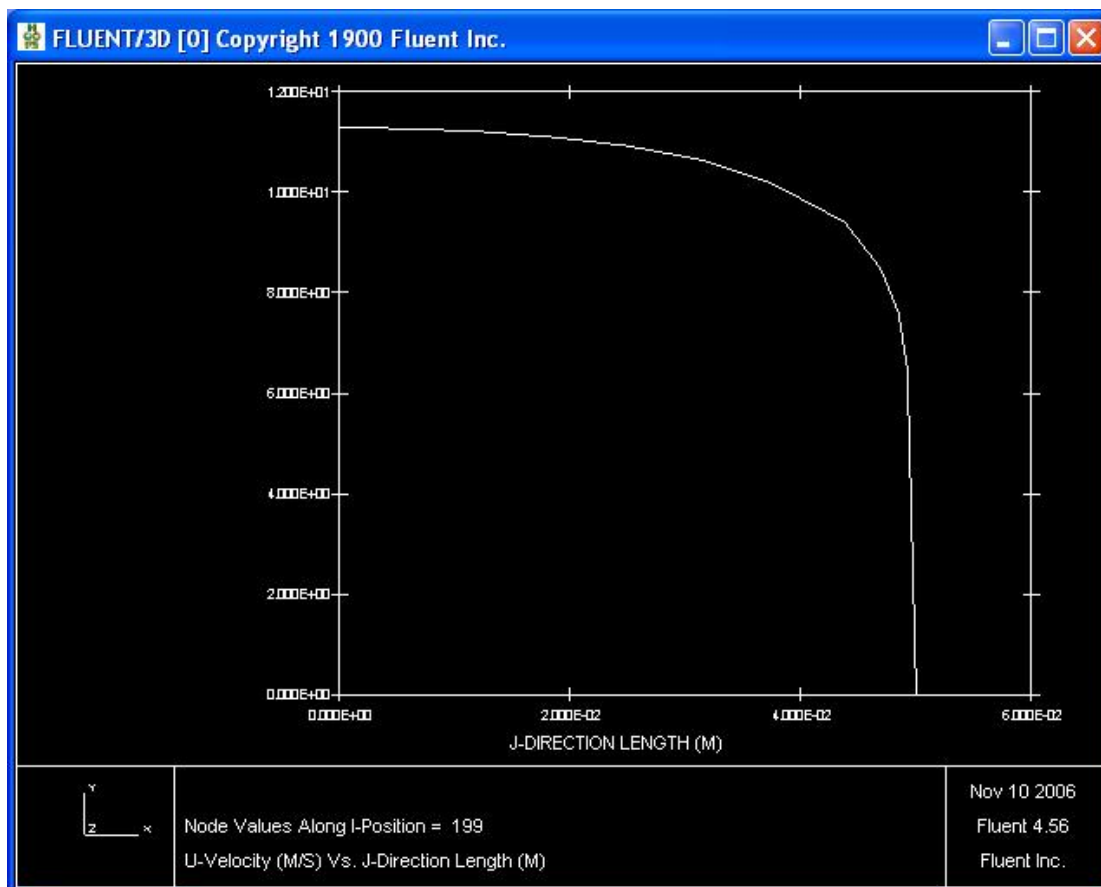
29.att. Ekrāna kopija

### Plot

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma


Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins



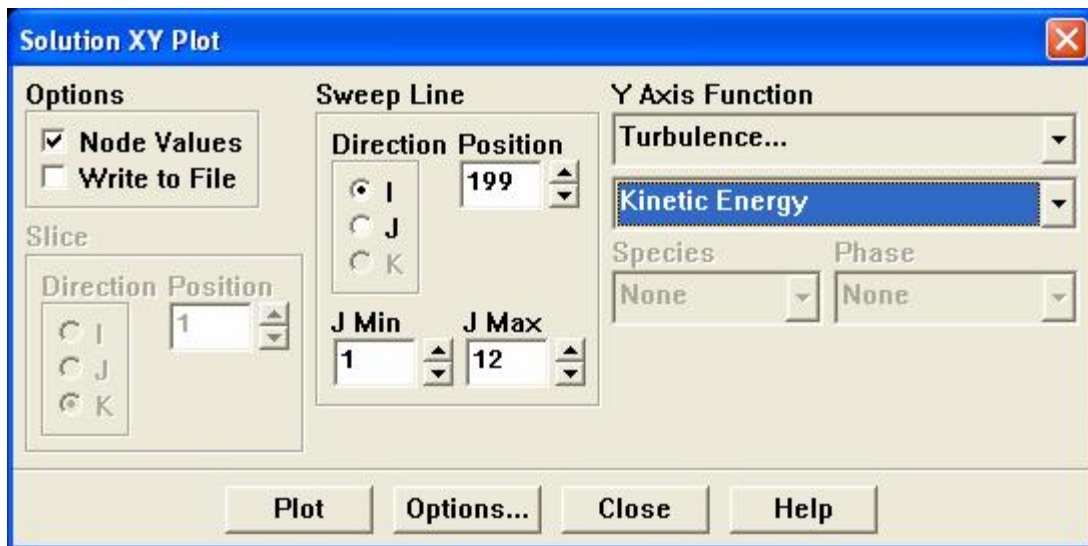
30.att. Ekrāna kopija

7. Ieraksta failā:

Iezīmē  **Write to File**  
**Write ...**

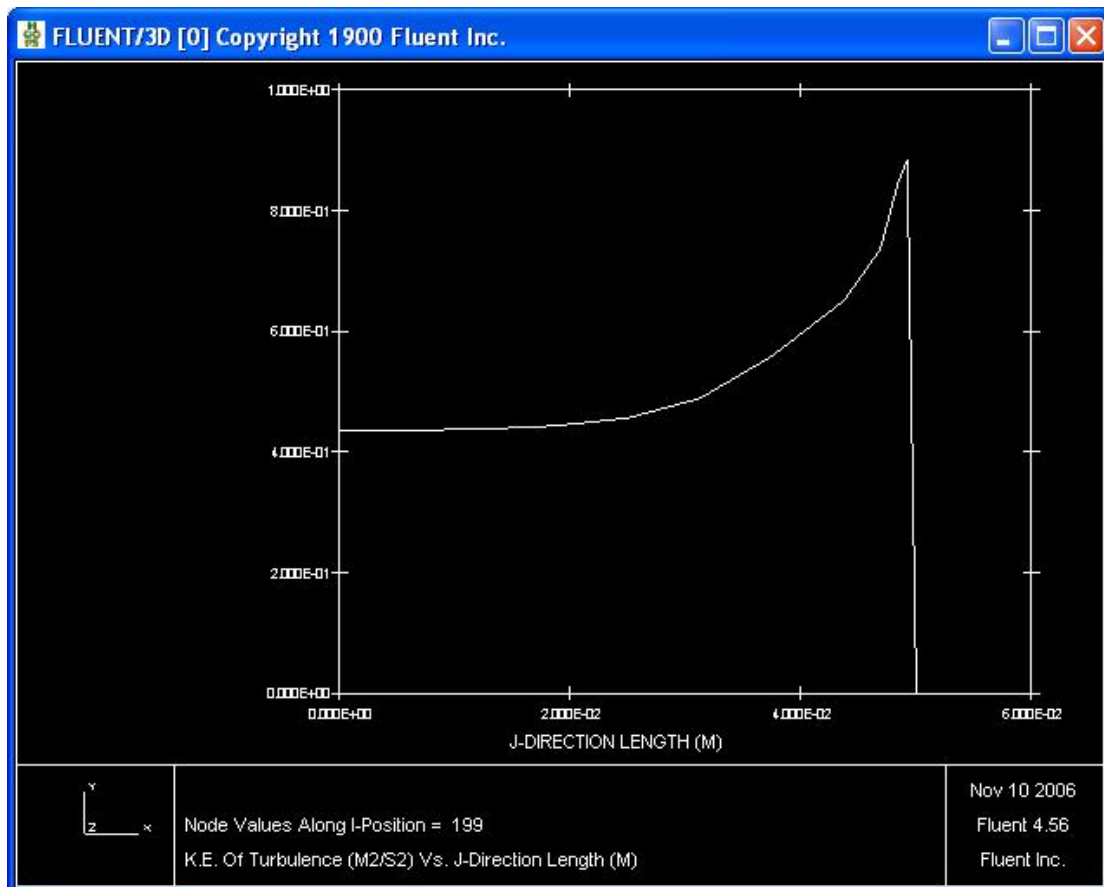
Ieraksta atbilstošo faila nosaukumu un noglabā.

8. Uzzīmē turbulences kinētisko enerģiju:



31.att. Ekrāna kopija

Plot



32.att. Ekrāna kopija

9. Ieraksta failā:

Iezīmē ☒ **Write to File**

**Write ...**

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

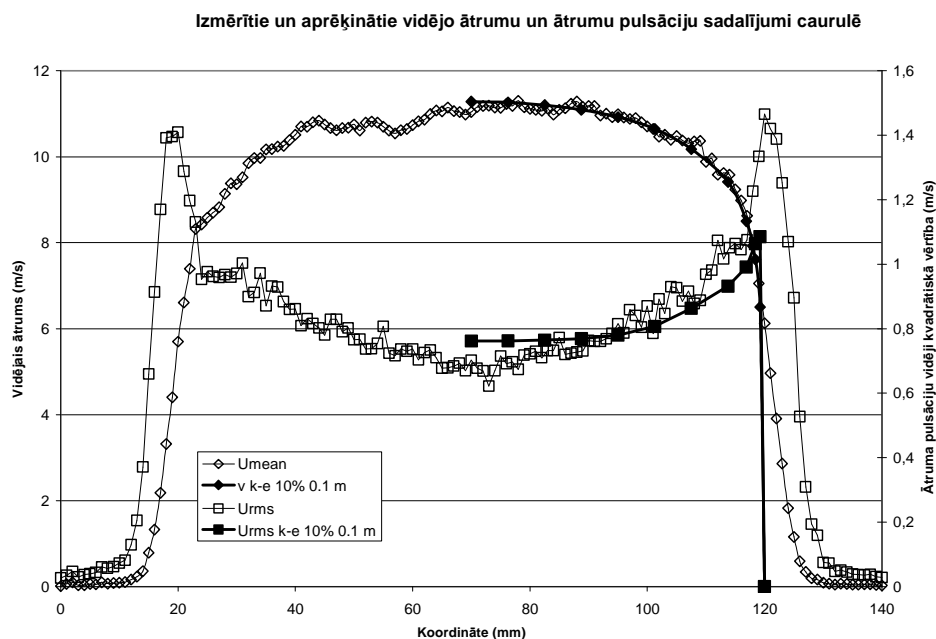
Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins



Ieraksta atbilstošo faila nosaukumu un noglabā.

10. Importē atbilstošos teksta failus Excel un uzzīmē salīdzinājumā ar mērījumiem (33.att.)



**33.att.** Eksperimentālo datu un aprēķinu salīdzinājums.

## 5. Darba uzdevumiem atbilstošie tabulu piemēri

Tabula 1. Mērījumu rezultāti

x	y	z	Umean	U rms	U turb
mm	mm	mm	m/s	m/s	
0	0	0	0,052	0,058	112,931
1	0	0	0,055	0,063	115,339
2	0	0	0,094	0,089	94,76
3	0	0	0,104	0,09	86,139
4	0	0	0,155	0,114	73,707
5	0	0	0,132	0,11	83,274
6	0	0	0,188	0,162	86,534
7	0	0	0,237	0,18	75,926
8	0	0	0,242	0,194	80,164
9	0	0	0,428	0,378	88,304
10	0	0	0,578	0,501	86,69
11	0	0	0,844	0,674	79,878

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins



12	0	0	1,361	1,076	79,084
13	0	0	1,843	1,311	71,163
14	0	0	2,51	1,536	61,182
15	0	0	3,574	1,917	53,629
16	0	0	4,181	2,135	51,064
17	0	0	4,567	2,145	46,978
18	0	0	5,238	2,147	40,995
19	0	0	5,785	2,177	37,631
20	0	0	5,981	2,012	33,64
21	0	0	6,372	2,163	33,941
22	0	0	6,471	2,191	33,851
23	0	0	6,713	2,321	34,579
24	0	0	7,139	2,391	33,484
25	0	0	7,787	2,208	28,354

## 6. Kontroljautājumi

1. Turbulences kinētiskā enerģija ir

- a)  $\frac{1}{2}mv^2$
- b)  $\frac{1}{2}\overline{u_i u_i'}$
- c)  $\frac{1}{2}U_{rms}^2$
- d)  $U_x^2 + U_z^2$
- e) Neviena no augstāk minētajiem

2. Izotropa turbulence nozīmē, ka

- a)  $U_{eff}^2 = U_x^2 + k^2 U_y^2 + h^2 U_z^2$
- b)  $y^+ = \frac{U_\tau y}{\nu}$
- c)  $U_z = \overline{u_z} + u_z'$
- d)  $u_1'^2 = u_2'^2 = u_3'^2 = u'^2$
- e) Nevienu no minētajiem

3. KTA sensors uztver

- a) 1 ātruma komponenti
- b) 2 ātruma komponentes
- c) 3 ātruma komponentes
- d) tas ir atkarīgs no plūsmas un sensora savstarpējās orientācijas
- e) spiedienu

Latvijas Universitāte, Fizikas un matemātikas fakultāte, Fizikas nodaļa, Maģistru studiju programma

Laboratorijas darbu cikls "NEPĀRTRAUKTAS VIDES FIZIKAS LABORATORIJA"

"Vidējoto ātrumu un pulsāciju sadalījumi turbulentās plūsmās" Leonīds Buligins

4. Izotropas turbulences gadījumā, izmērītais  $U_{rms}$  jāsalīdzina k-e modeļi iegūto
  - a)  $k$
  - b)  $\sqrt{\frac{1}{3}k}$
  - c)  $\sqrt{\frac{4}{3}k}$
  - d) tas ir atkarīgs no plūsmas un sensora savstarpējās orientācijas
  - e)  $\varepsilon$
  
5. Vistuvākais sienai ir
  - a) viskoza apakšslānis
  - b) pilnībā turbulentais slānis
  - c) slānis, kurā viskozitātes un turbulences efektu ietekme ir samērojama
  - d) neviens no minētajiem
  - e) visi slāņi atropas vienādā attālumā no sienas
  
6. Vistālāk no sienas ir
  - a) viskoza apakšslānis
  - b) pilnībā turbulentais slānis
  - c) slānis, kurā viskozitātes un turbulences efektu ietekme ir samērojama
  - d) neviens no minētajiem
  - e) visi slāņi atropas vienādā attālumā no sienas
  
7. Turbulentā viskozitāte ir
  - a) šķidruma konstante
  - b) turbulento plūsmu raksturojoša konstante
  - c) turbulento plūsmu raksturojoša funkcija
  - d) neviens no minētajiem
  - e) eksperimentālo iekārtu raksturojoša konstante
  
8. Turbulentā viskozitāte ir
  - a) lielāka par šķidruma viskozitāti
  - b) mazāka par šķidruma viskozitāti
  - c) vienāda ar šķidruma viskozitāti
  
9. Aprēķinos ar  $k - \varepsilon$  modeli sienai tuvākās šūnas centram jāatrodas attālumā  $y^+$  no sienas, kas vienāds ar
  - a) 5
  - b) no 5 līdz 25
  - c)  $10^6$
  - d) no 30 līdz 300
  - e) attālums nav svarīgs

## 7. Literatūra

1. B. E. Launder and D. B. Spalding.  
The Numerical Computation of Turbulent Flows.  
*Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 3:269-289, 1974.