



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ
ОДСЈЕК ЗА ХИДРОТЕХНИКУ И ВОДНО ЕКОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО



ДОКТОРСКЕ СТУДИЈЕ
МЕХАНИКА ФЛУИДА – НАПРЕДНИ КУРС

МОДЕЛИРАЊЕ ТУРБУЛЕНЦИЈЕ ПРИМЈЕНОМ СОФТВЕРА Iric NaysCUBE

ГРУПА Б

Професор:
Проф. др Душан Продановић
Доцент др Дамјан Иветић

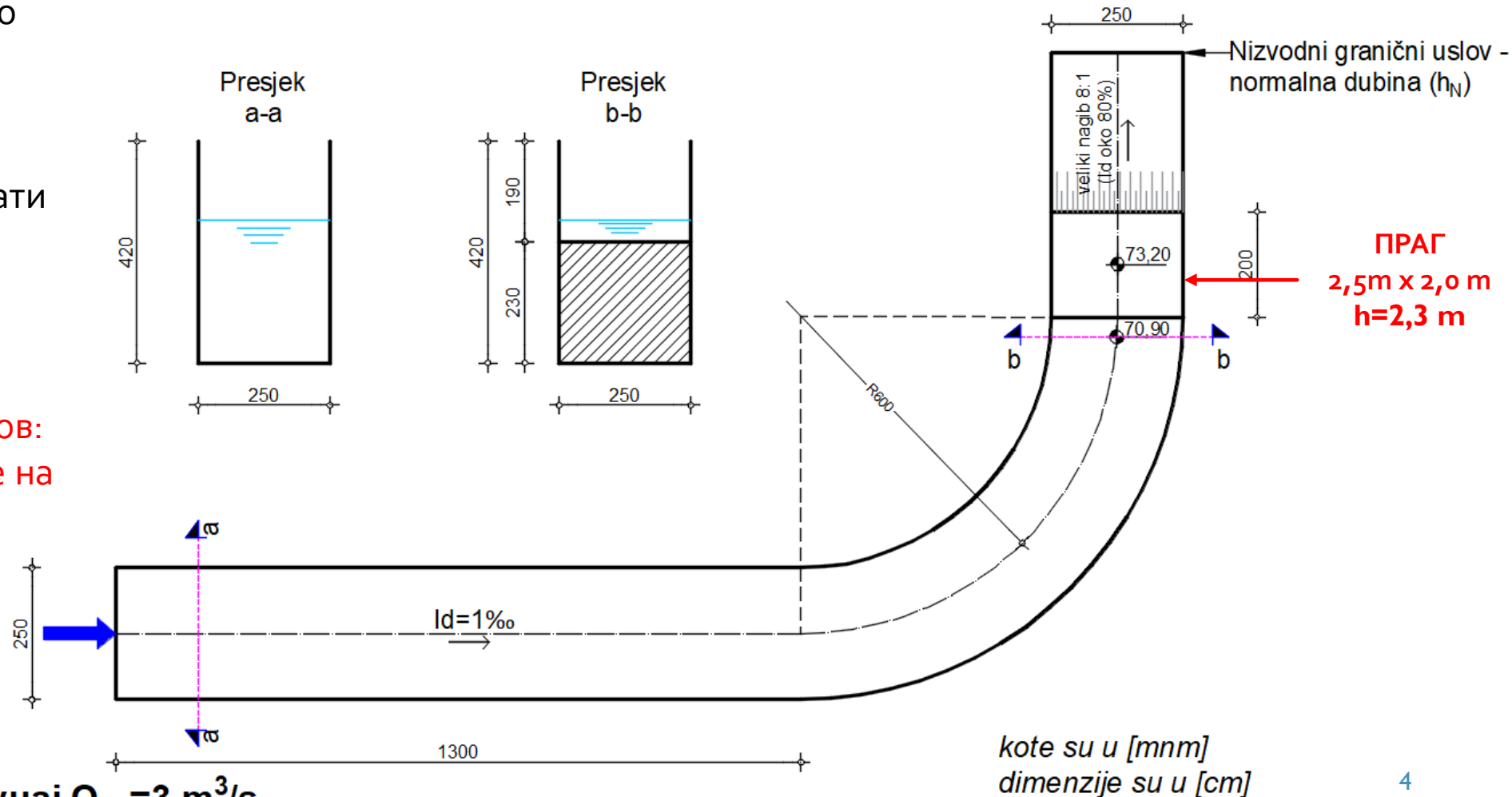
Студенти:
Обрад Шарчевић 914/23
Јелица Протић 908/23

Београд, 29.2.2024. године

1. ПОСТАВКА ЗАДАТКА
2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ
3. ЗАДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА
4. АНАЛИТИЧКО РЈЕШЕЊЕ
5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ
6. ЗАКЉУЧЦИ

1. ПОСТАВКА ЗАДАТКА-упроштена

- Канал правоуганог попречног пресека као на скици ($B=2,5\text{ m}$)
- 3 пумпе појединачног капацитета по $1,5\text{ m}^3/\text{s}$
- Потребно је анализирати у случају рада:
 - 2 пумпе ($Q=3\text{ m}^3/\text{s}$)
 - 3 пумпе ($Q=4,5\text{ m}^3/\text{s}$)
- Узводни гранични услов: протицај који се задаје на почетку канала

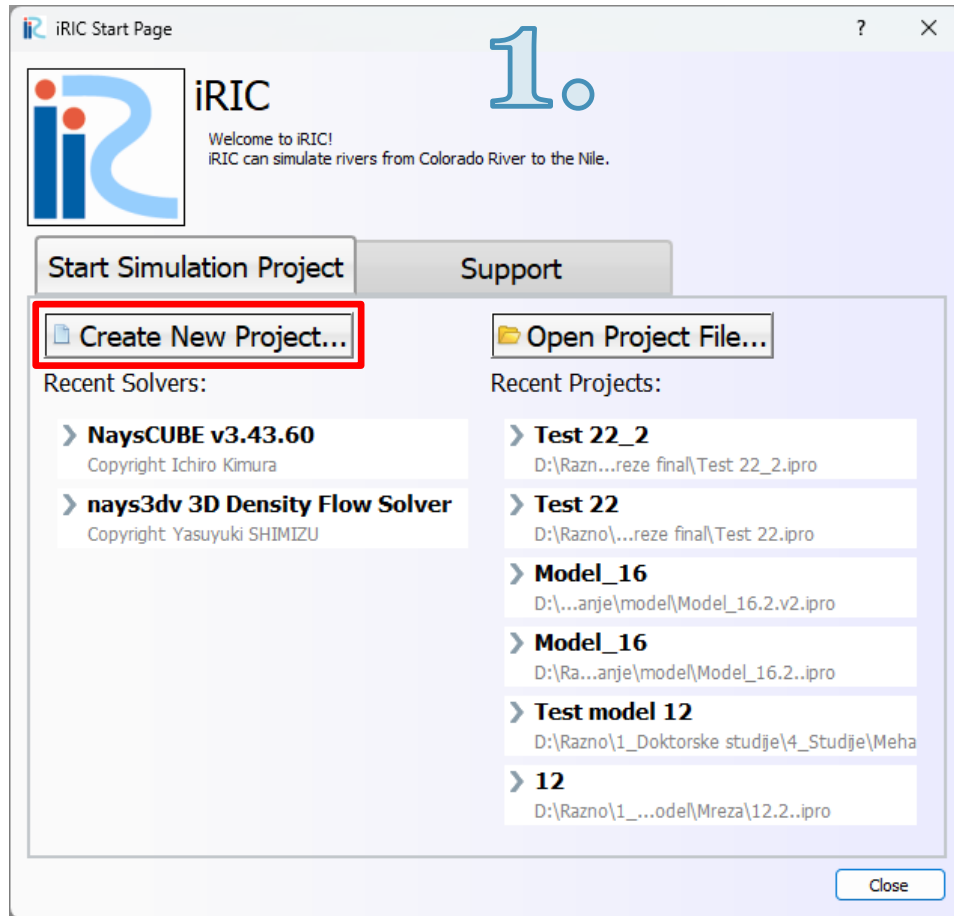


1. случај $Q_{2p}=3\text{ m}^3/\text{s}$
2. случај $Q_{3p}=4,5\text{ m}^3/\text{s}$

2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ

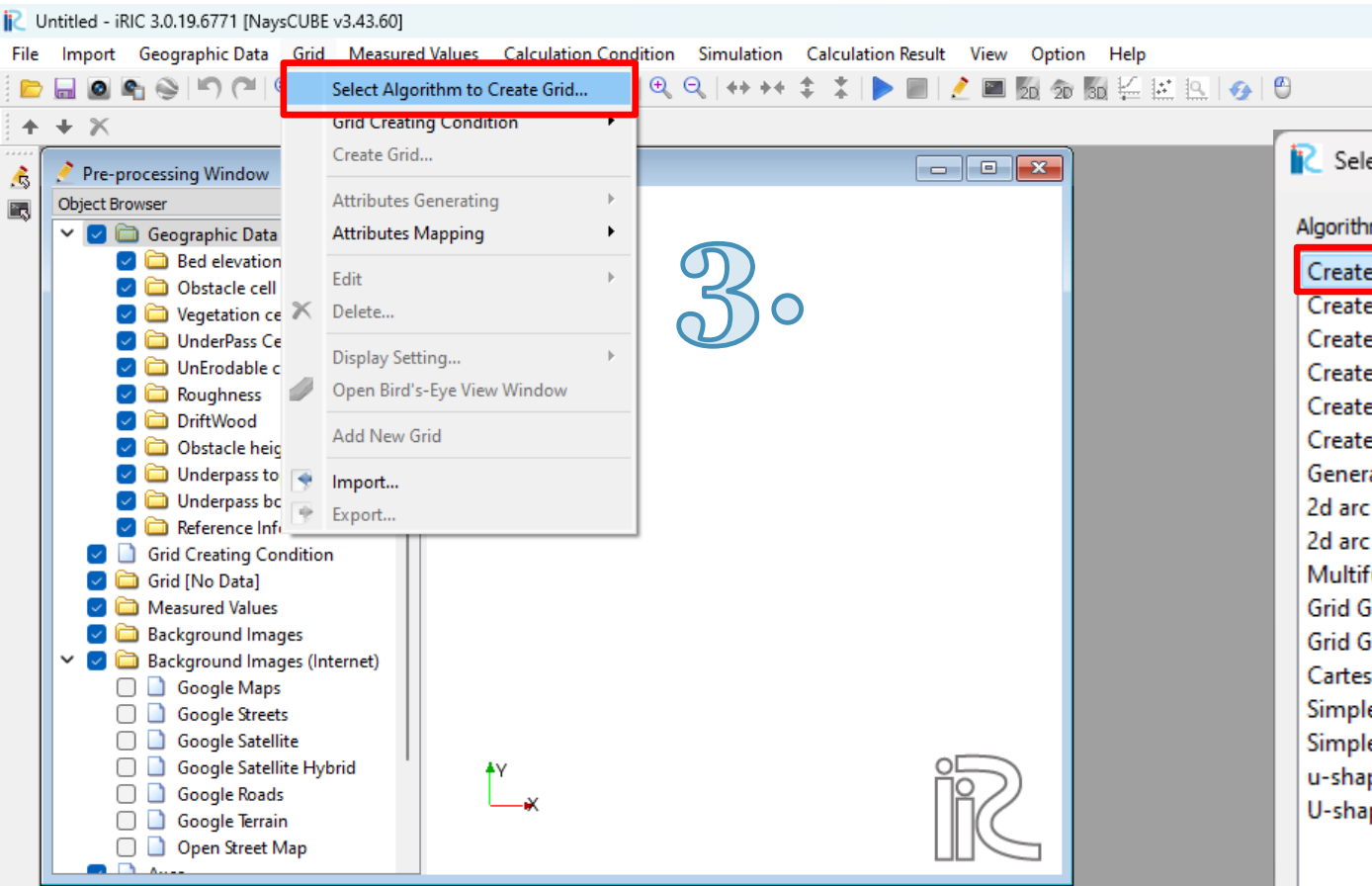
Након покретања програма iRIC појављује се искачући прозор. Изаберемо „Create New Project“

Из падајућег менија изаберемо софтвер „NaysCUBE v3.43.60“ и кликнемо дугме „ОК“.

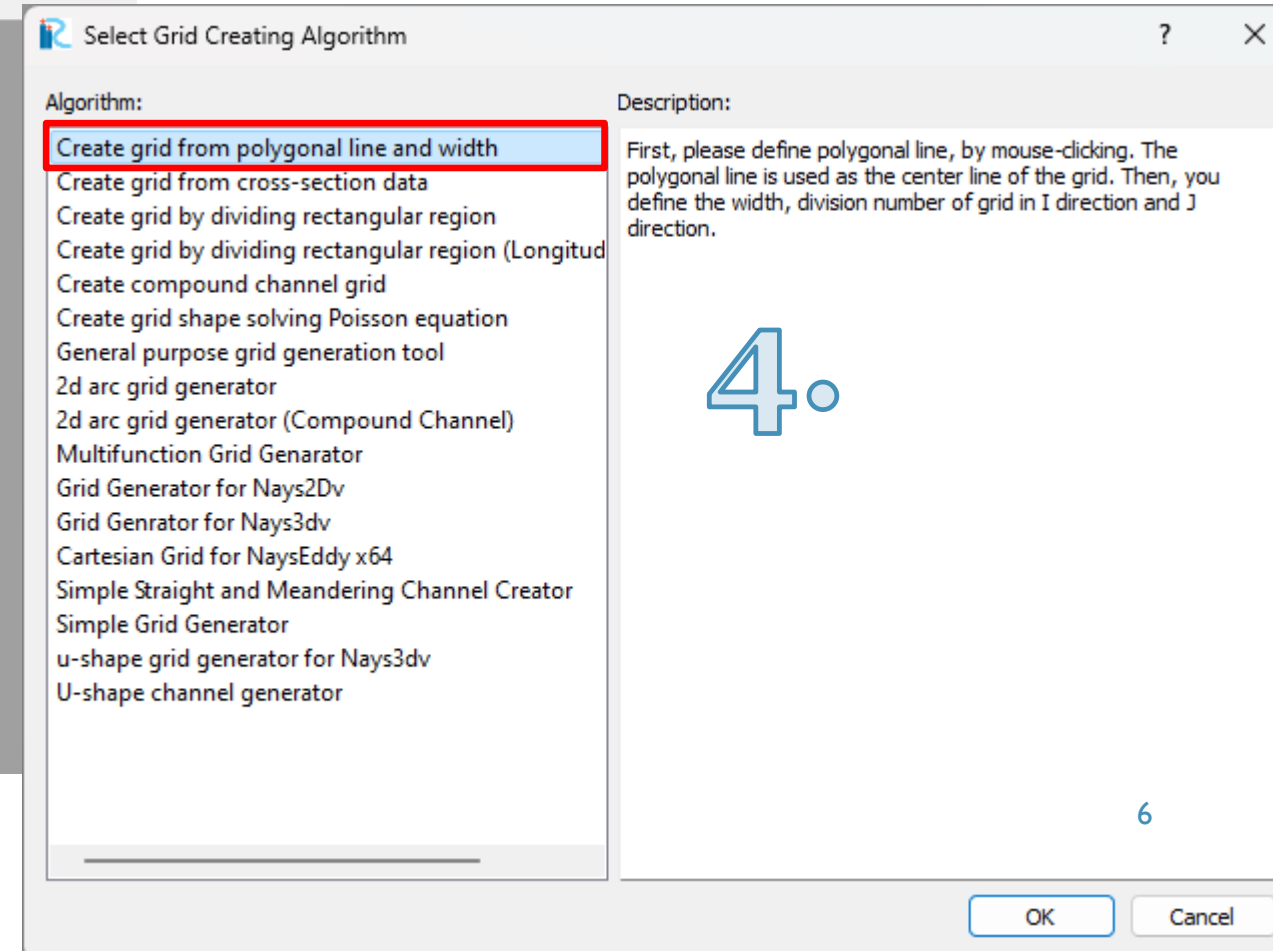


2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ

Grid → Select Algorithm to Create Grid

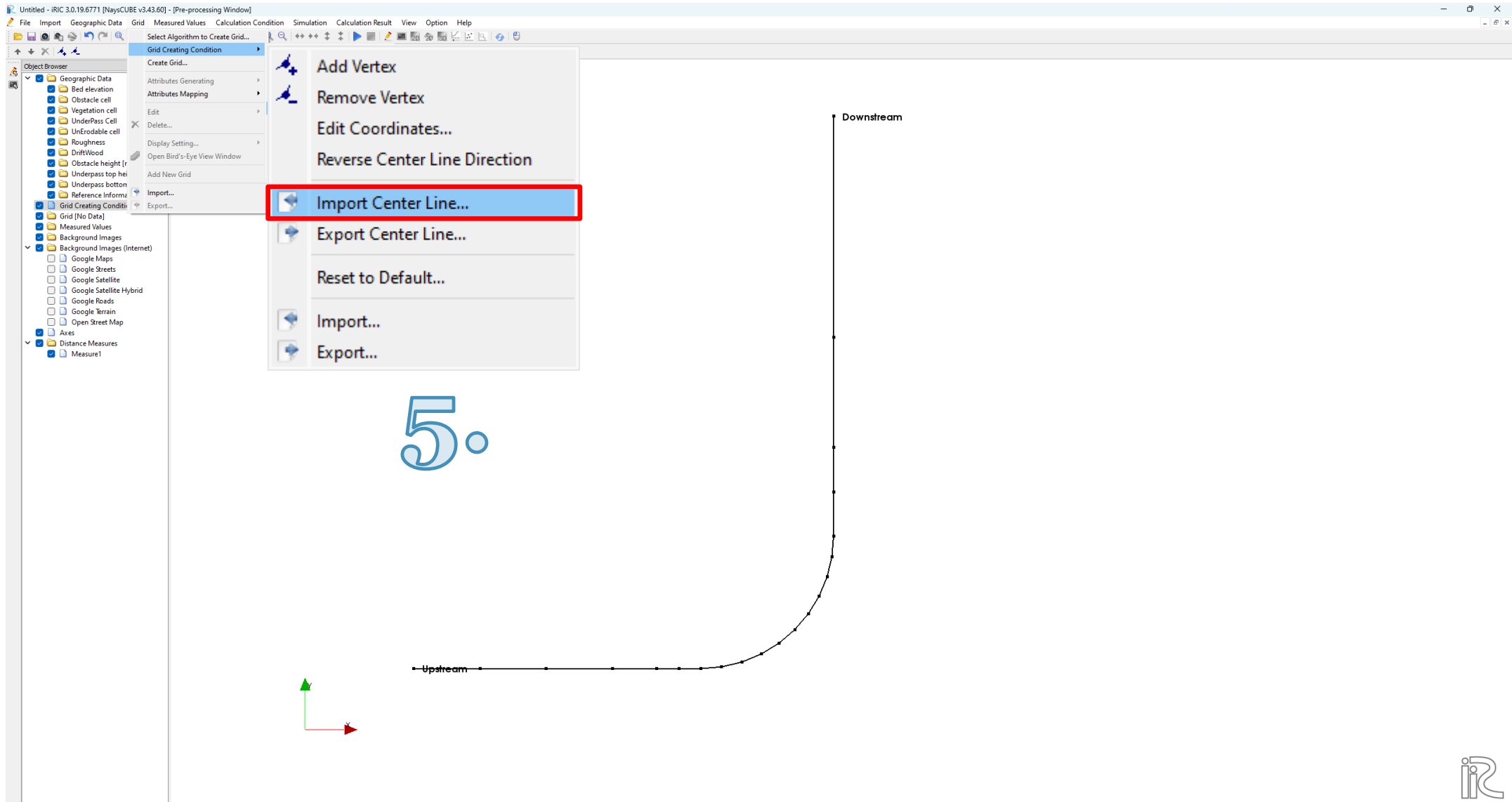


→ Create grid from polygonal line and width



2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ

Grid → Grid Creation Condition → Import Center Line (увоз осовине канала нацртане у .dwg формату и конвертоване у .shp формат)



2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ

Grid → Create Grid

6.

Create Grid...

- Add Vertex
- Remove Vertex
- Edit Coordinates...
- Reverse Center Line Direction
- Reset to Default...
- Import Center Line...
- Export Center Line...

Формирање мреже 25x25 cm

7.

Grid Creation

Broj racunskih ћелија u x pravcu → n_x : 166

Broj racunskih ћелија u y pravcu → n_y : 10

Ширина канала → W : 2.500 m

d_x : 0.249509 m

d_y : 0.25 m

OK Cancel Apply

8

2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ

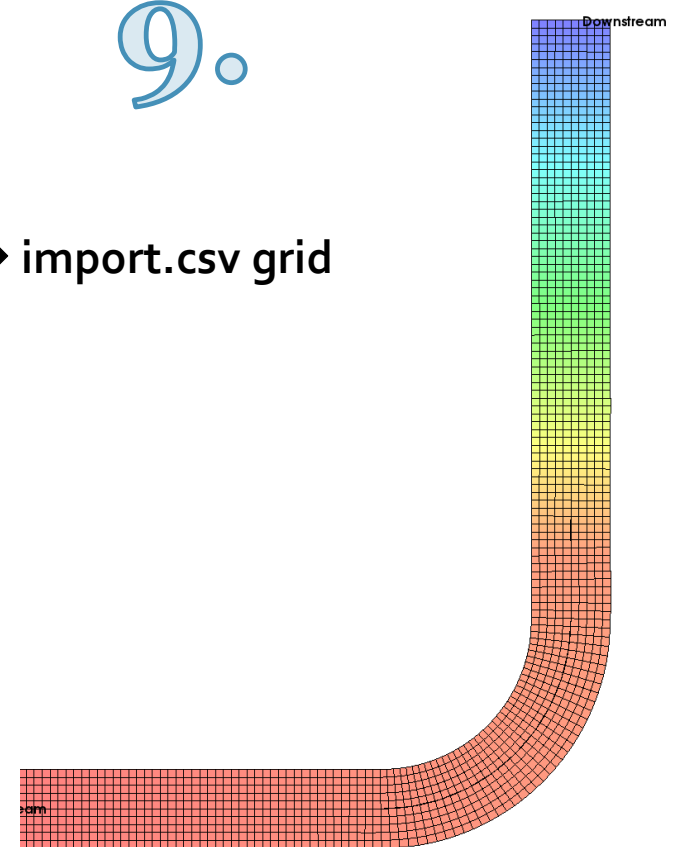
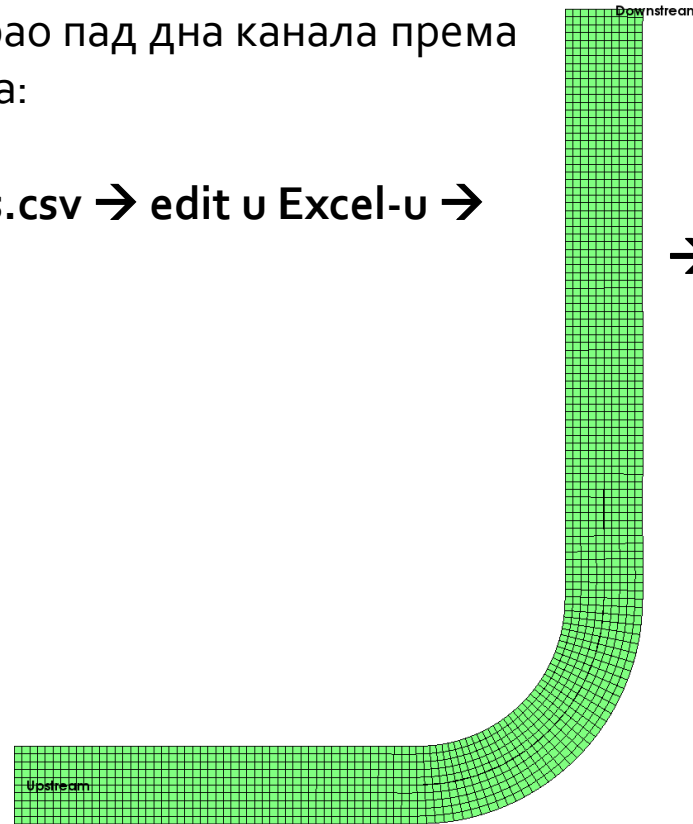
8.

Да би се формирао пад дна канала према поставци задатка:

Grid → Export as.csv → edit u Excel-u →
Save as .csv →

9.

→ import.csv grid

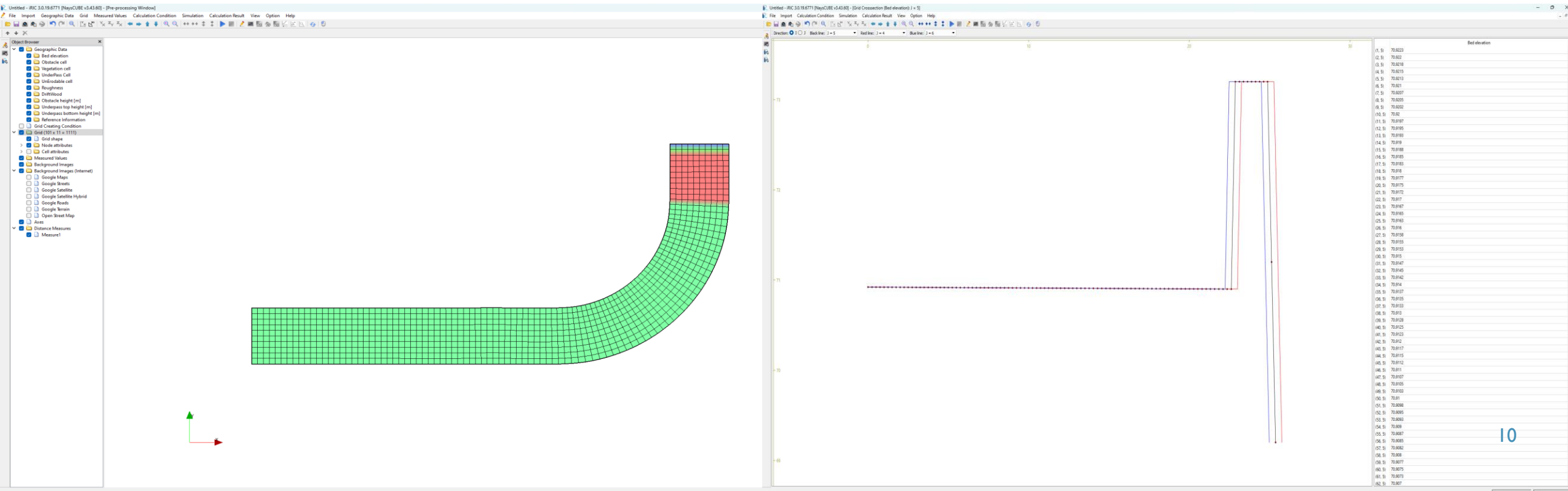


2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ-праг у каналу

Разматрана су три начина за представљање прага у каналу:

1. **Bed elevation** – према поставци задатка, на низводној косини са великим нагибом (8:1, приближно 80°) се формира нормална дубина h_p која је низводни гранични услов.

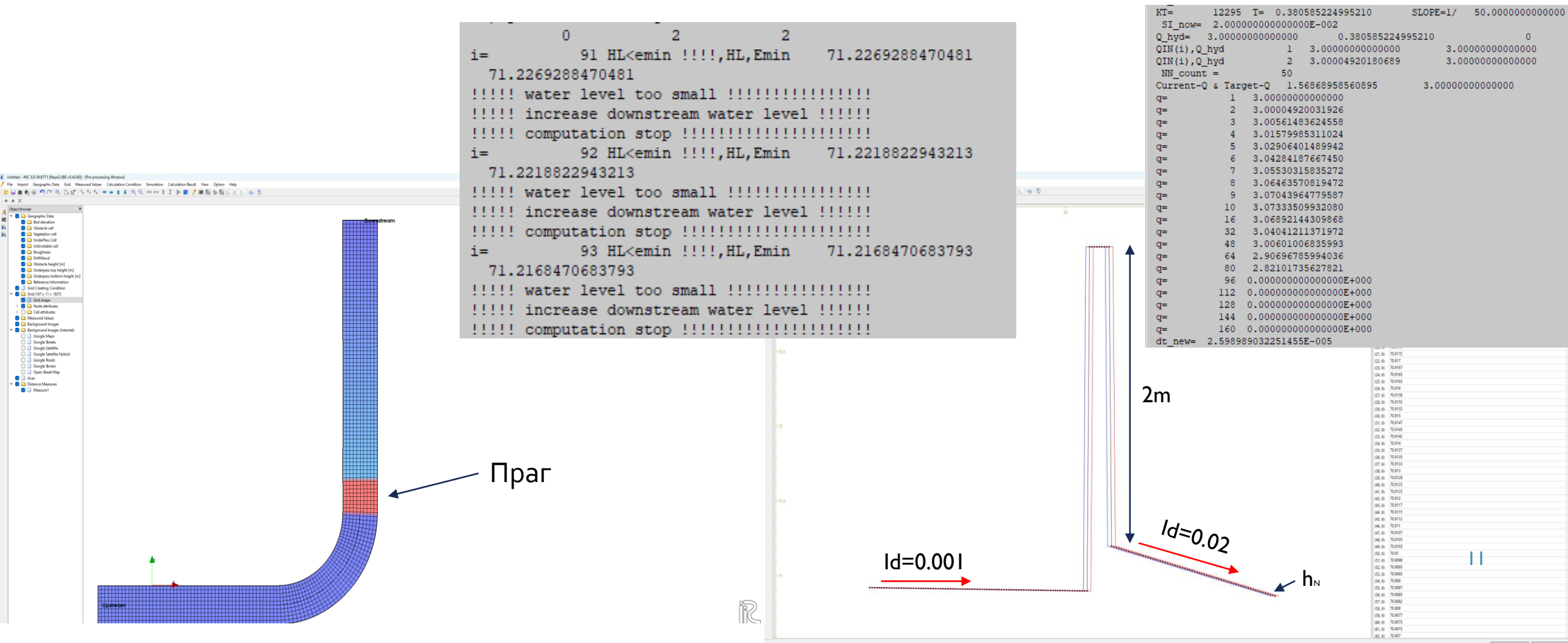
Питање је како задати дубину на низводној косини прага, с обзиром на мали број рачунских тачака и да су ту велике брзине и мале дубине што може бити узрок нестабилности???...Због тога је извршена измјена подужног пада корита послје прага.



2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ - праг у каналу

Праг се спушта за 2 метра у нагибу 8:1, а онда се нивелета ломи и наставља у нагибу од 2% како би нормална дубина била у бурном режиму, чиме се у суштини не одступа од поставке задатке.

Проблем – низводни гранични услов је низак (кота нивоа), јављају се нуле у прорачуну протока...



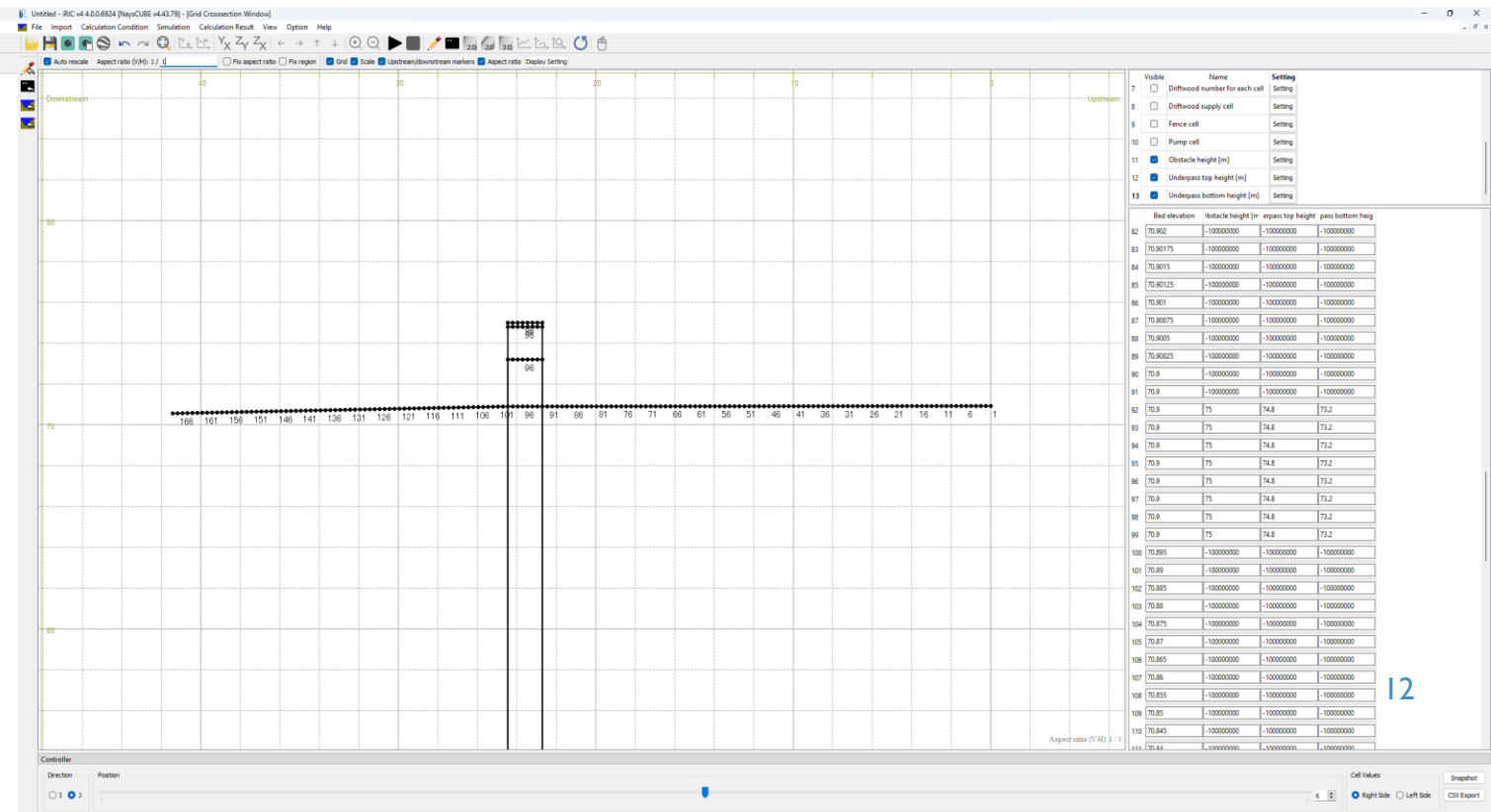
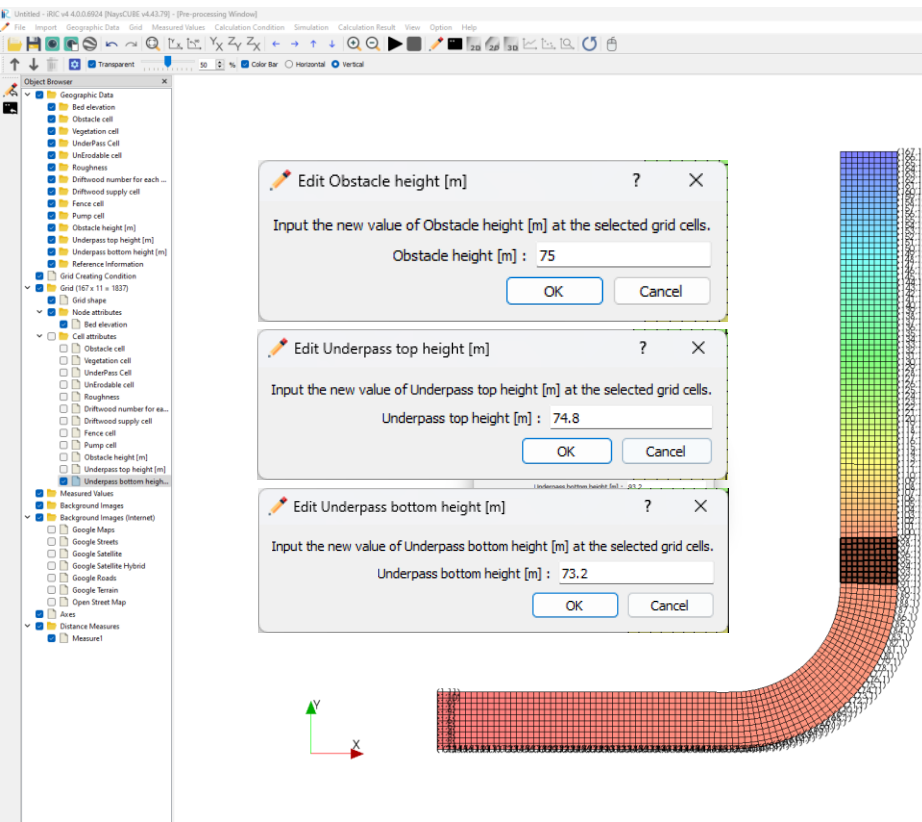
2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ-праг у каналу

Други начин на који је задат праг у каналу је преко опције **Obstacle height**, **Underpass top height** и **Underpass bottom height** гдје се препрека задаје преко преко нумеричке вриједности. Праг је у суштини задат као пропуст.

Iric NaysCUBE v3.43.60

Iric NaysCUBE v4.0.0 –

нова верзија омогућава бољи преглед препрека и осталих ћелијских атрибута у картици **Open Longitudinal Cross Section Window**



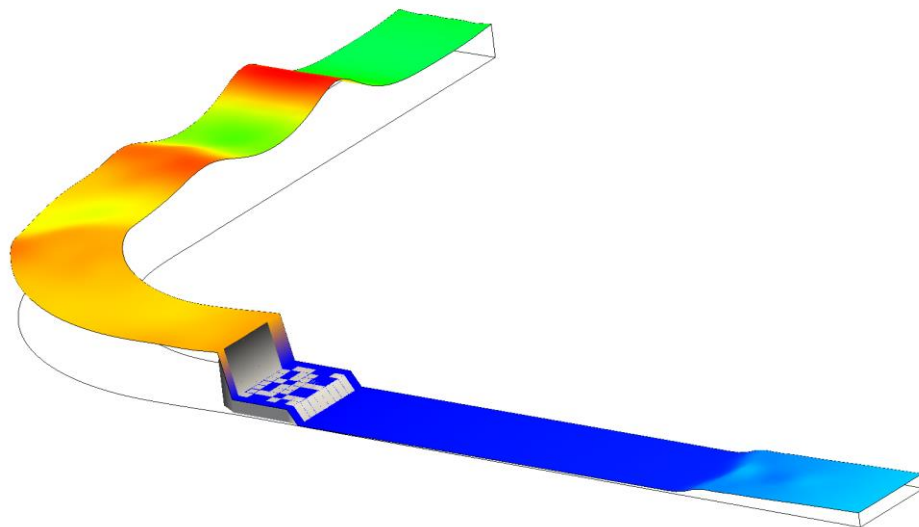
2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ-праг у каналу

Резултат:

Iric NaysCUBE v3.43.60

Прорачун прекинут у 11 секунди

Depth
1.88
1.61
1.34
1.08
0.806
0.538
0.269
0.000



Time: 10 sec

Iric Nays cube version 4.0.0

Прорачун се стопира у новијој верзији програма у старту због нестабилности !?

```
dftotal 0.0000000000000000E+000 1.0000000000000000  
dftotal 1.0000000000000000 1.0000000000000000  
dftotal 2.0000000000000000 1.0000000000000000  
dftotal 3.0000000000000000 1.0000000000000000  
dftotal 4.0000000000000000 1.0000000000000000  
dftotal 5.0000000000000000 1.0000000000000000  
dftotal 6.0000000000000000 1.0000000000000000  
L_ob=1 91 1 1 70.9081732211762  
75.0000000000000000  
Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.
```

2. ФОРМИРАЊЕ МРЕЖЕ-праг у каналу

Трећи начин на који је задат праг у каналу је преко опције Obstacle cell

The image displays two screenshots from the HEC-RAS software interface. The left screenshot shows the 'Edit Obstacle cell' dialog box, which prompts the user to 'Input the new value of Obstacle cell at the selected grid cells.' The 'Obstacle cell' dropdown menu is set to 'Submerged 7 cells'. The background shows a grid of a channel with a U-shaped bend, where a small section is highlighted in red to indicate the obstacle cell. The right screenshot shows a cross-section of the channel. A blue rectangular obstacle is placed in the channel bed. A red arrow labeled $I_d=0.001$ points to the top of the obstacle. Another red arrow labeled $I_d=0.02$ points to the channel bed downstream of the obstacle. The channel bed elevation is labeled h_N . A table on the right side of the window shows the 'Bed elevation' data for various grid cells.

Grid Cell	Bed Elevation
(1, 0)	70.8233
(2, 0)	70.8202
(3, 0)	70.8219
(4, 0)	70.8215
(5, 0)	70.8213
(6, 0)	70.821
(7, 0)	70.8207
(8, 0)	70.8205
(9, 0)	70.8202
(10, 0)	70.82
(11, 0)	70.8197
(12, 0)	70.8195
(13, 0)	70.8193
(14, 0)	70.819
(15, 0)	70.8188
(16, 0)	70.8185
(17, 0)	70.8183
(18, 0)	70.818
(19, 0)	70.8177
(20, 0)	70.8175
(21, 0)	70.8172
(22, 0)	70.817
(23, 0)	70.8167
(24, 0)	70.8165
(25, 0)	70.8163
(26, 0)	70.816
(27, 0)	70.8158
(28, 0)	70.8155
(29, 0)	70.8153
(30, 0)	70.815
(31, 0)	70.8147
(32, 0)	70.8145
(33, 0)	70.8142
(34, 0)	70.814
(35, 0)	70.8137
(36, 0)	70.8135
(37, 0)	70.8133
(38, 0)	70.813
(39, 0)	70.8128
(40, 0)	70.8125
(41, 0)	70.8123
(42, 0)	70.812
(43, 0)	70.8117
(44, 0)	70.8115
(45, 0)	70.8112
(46, 0)	70.811
(47, 0)	70.8107
(48, 0)	70.8105
(49, 0)	70.8103
(50, 0)	70.81
(51, 0)	70.8098
(52, 0)	70.8095
(53, 0)	70.8093
(54, 0)	70.809
(55, 0)	70.8087
(56, 0)	70.8085
(57, 0)	70.8082
(58, 0)	70.808
(59, 0)	70.8077
(60, 0)	70.8075
(61, 0)	70.8073
(62, 0)	70.807

3. ЗАДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА

Calculation Condition

Groups

- Basic Parameters
- Time Conditions
- Inlet Discharge and Outlet Wate...
- Depth and Wet-Dry Conditions
- Roughness Conditions
- Bed Conditions
- Vegetation Conditions
- Boundary conditions
- Hot start conditions
- Additional output files
- Initial topography correction
- DriftWood basic
- DriftWood advanced
- DriftWood additional
- Wind Conditions
- DAM settings
- Advanced settings

Number of Vertical Layers: 14

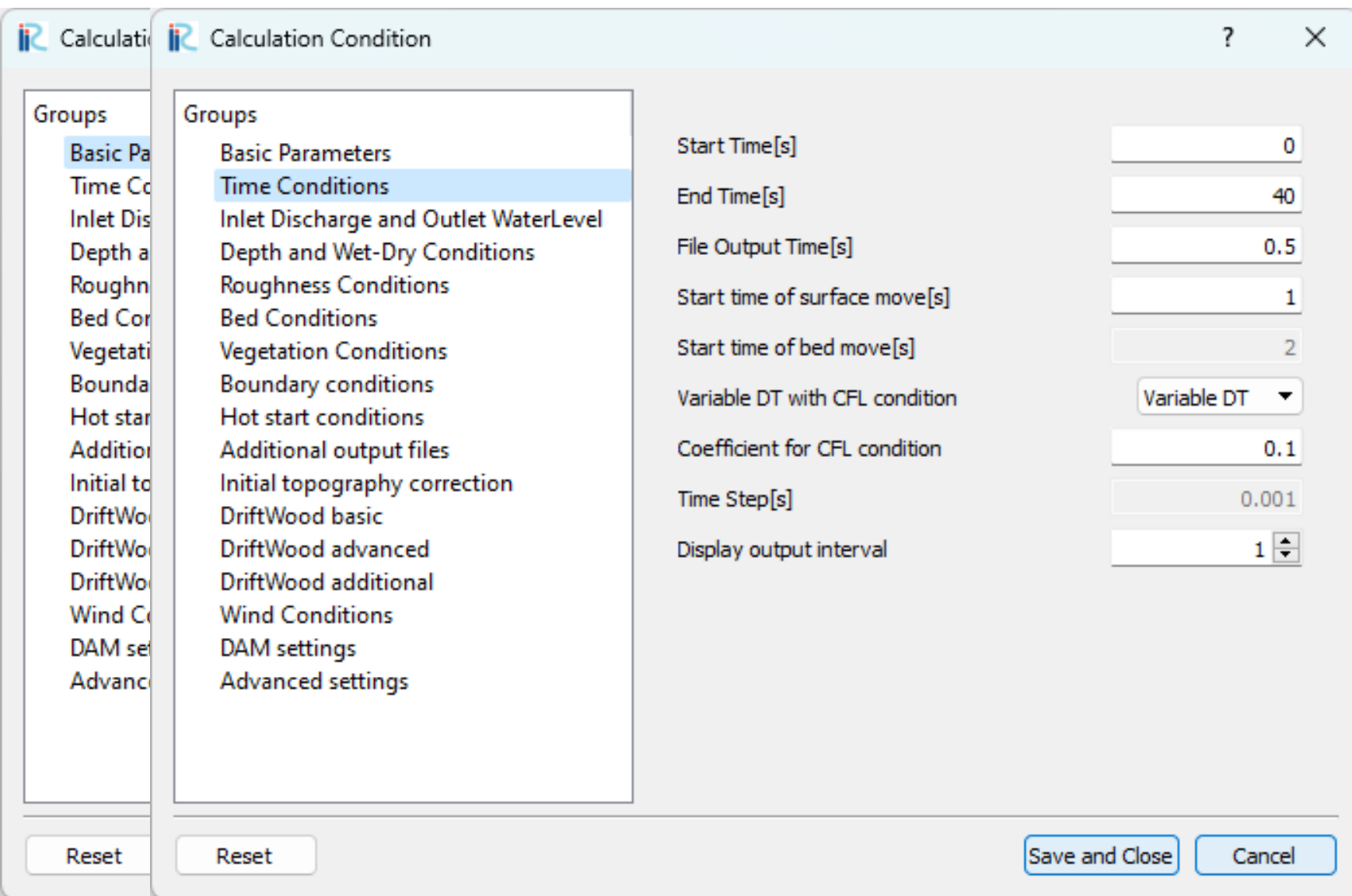
Fixed or Movable Bed: Fixed bed

Turbulence Model: 2nd order Non-linear k-e model

Spatial Scheme for Advection Terms: TVD MUSCL

Reset Save and Close Cancel

3. ЗАДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА



Курантов број $\longrightarrow Cr = c\Delta t / \Delta x$

$$\Delta t \leq \min \left[\frac{\Delta x}{U + \sqrt{gh}}, \frac{\Delta y}{V + \sqrt{gh}}, \frac{\Delta z}{W} \right]_{\text{all cells}}$$

3. ЗАДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА

Calculation Condition

Groups

- Basic Parameters
- Time Conditions
- Inlet Discharge and Outlet WaterLe...
- Depth and Wet-Dry Conditions
- Roughness Conditions
- Bed Conditions
- Vegetation Conditions
- Boundary conditions
- Hot start conditions
- Additional output files
- Initial topography correction
- DriftWood basic
- DriftWood advanced
- DriftWood additional
- Wind Conditions
- DAM settings
- Advanced settings

Hydrograph Data Type: Constant discharge

Constant Discharge[m3/s]: 3

Outlet water level for fixed Q: given as a constant

Outlet water level for variable Q: given as a constant

Constant outlet water level[m]: 70.85

Unit of time for Q: second

Time series of Q at inlet: Edit

Time series of Q at inlet and WL at outlet: Edit

Q gradual increase: Q given directly

Initial Q rate: 0.1

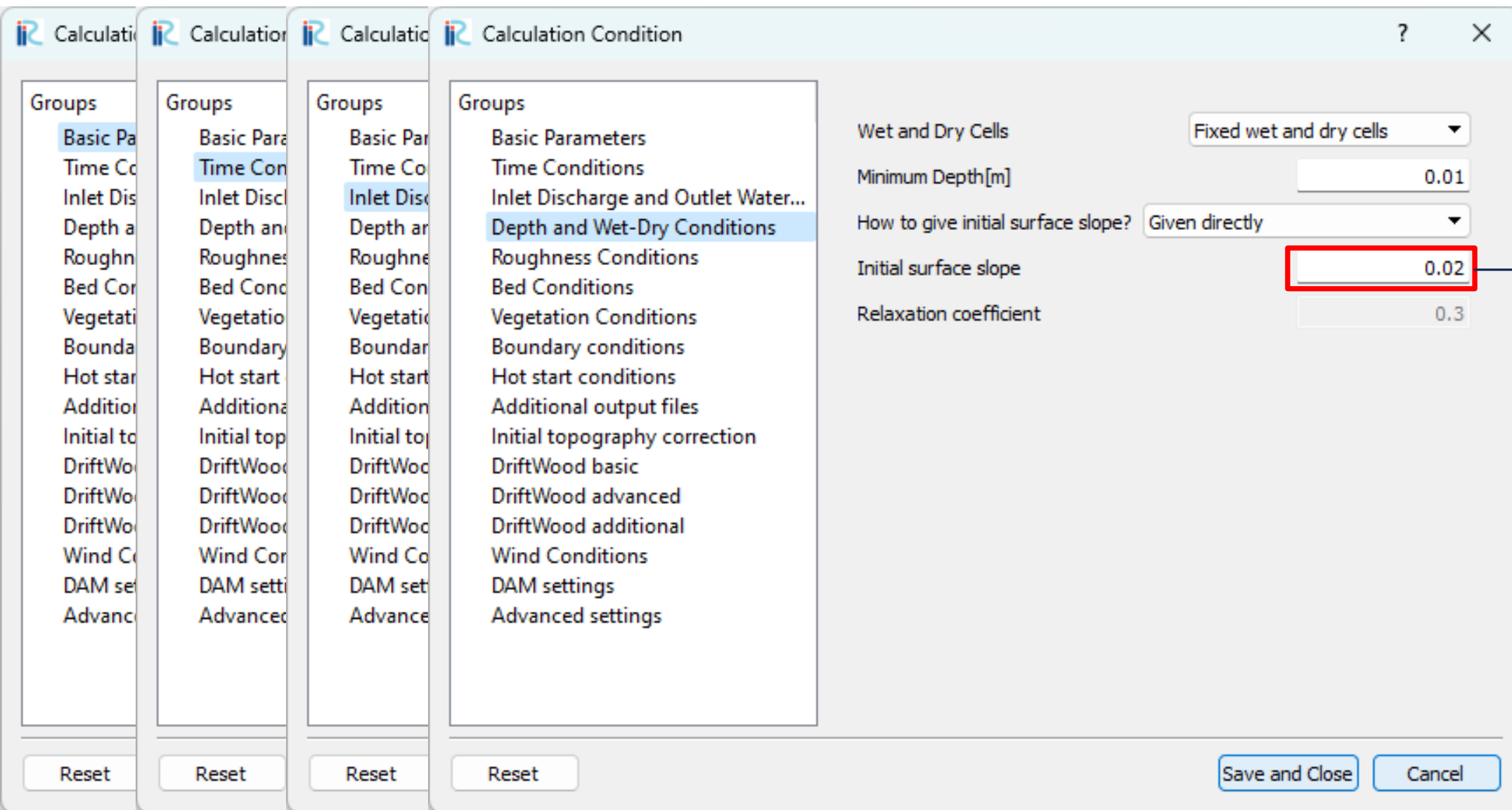
Time for Q slope[s]: 10

Reset Save and Close Cancel

Константан проток
за случај рада 2 пумпе

Ниво воде= $Z_d+h_N=$
 $70.56+0.29=70.85$ mm

3. ЗАДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА



Почетни
нагиб линије
нивоа, једнак
нагибу
низводне
дионице
Id=2%

3. ЗАДАВАЊЕ ПАРАМЕТАРА

The screenshot displays the 'Calculation Condition' dialog box, which is used for configuring various parameters. The dialog is organized into two main sections: a tree view on the left and a configuration area on the right.

Tree View (Left): Lists various parameter groups. The 'Roughness Conditions' group is currently selected and highlighted in blue.

Configuration Area (Right): Contains several settings:

- How to evaluate u^* at BED?**: Set to 'Manning Law' (dropdown menu).
- Manning n for zone A**: 0.013
- Manning n for zone B**: 0.013
- Manning n for zone C**: 0.013
- Manning n for zone D**: 0.013
- Manning n for zone E**: 0.013
- How to calculate u^* at WALL?**: Set to 'Manning Law' (dropdown menu).
- Manning n for WALL**: 0.01
- Manning n for obstacle**: 0.01

At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'Reset', 'Save and Close', and 'Cancel'.

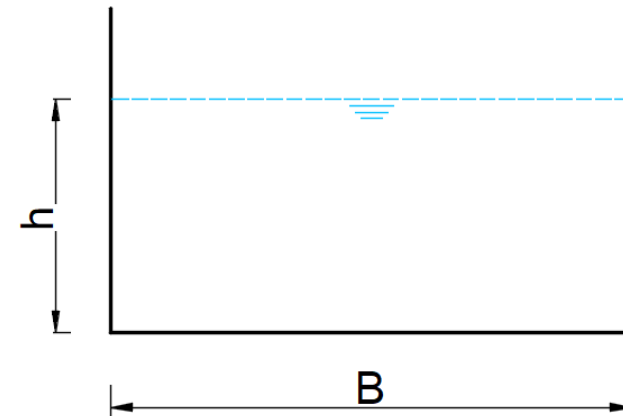
4. АНАЛИТИЧКО РЈЕШЕЊЕ – нормална дубина h_n (низводни гранични услов)

□ Нормална дубина може се одредити из Шези-Манингове једначине:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} I_d^{1/2}$$

при чему је $A = Bh$, $R = A/O$ и $O = B + 2h$, односно:

$$Q = \frac{1}{n} Bh \left(\frac{Bh}{B + 2h} \right)^{2/3} I_d^{1/2}$$



Пошто је претходни израз имплицитан по дубини h , одређивање нормалне дубине биће спроведено итеративно путем модификованог облика претходног израза:

$$h^{(i+1)} = \left(\frac{Qn}{B^{5/3} (B + 2h^{(i)})^{-2/3} I_d^{1/2}} \right)^{3/5}$$

при чему су $h^{(i)}$ и $h^{(i+1)}$ вредности нормалне дубине у претходној и наредној итерацији. Усвојени критеријум конвергенције претходног израза је:

$$\varepsilon = \frac{|h^{(i+1)} - h^{(i)}|}{h^{(i)}} \times 100 < 0.1\%$$

□ Прорачун у Excel-у (уз примјену функције Goal Seek):

B (m)	Maning. koef. hrap. n (m ^{-1/3} s)	Pad dna kanala I _d (-)	h (m)	A (m ²)	O (m)	R	R ^(2/3)	I _d /n	J ^(I_d/2)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Frudov broj	Režim tečenja
2.5	0.013	0.02	0.29	0.723937	3.079	0.235	0.38093	76.92	0.141421356	4.14	3.00	54.41	Burno
			0.38	0.944109	3.255	0.290	0.43815	76.92	0.141421356	4.77	4.50	124.18	Burno

$$Q=3 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h_N = 29 \text{ cm} \quad | \quad Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow h_N = 38 \text{ cm}$$

4. АНАЛИТИЧКО РЈЕШЕЊЕ-критична дубина и попречни нагиб линије нивоа Δh

□ Критична дубина може се одредити из услова да је Фрудов број $Fr=1$:

$$\frac{Q^2 B}{g A^3} = 1 \longrightarrow h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g B^2}}$$

1. случај $h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{3^2}{9,81 \times 2,5^2}} = 0,53 \text{ m}$

2. случај $h_{kr} = \sqrt[3]{\frac{4,5^2}{9,81 \times 2,5^2}} = 0,69 \text{ m}$

□ За кривину у основи тока, попречни нагиб линије нивоа се може оцјенити на основу израза:

$$\Delta h = \frac{v^2 B}{g R}$$

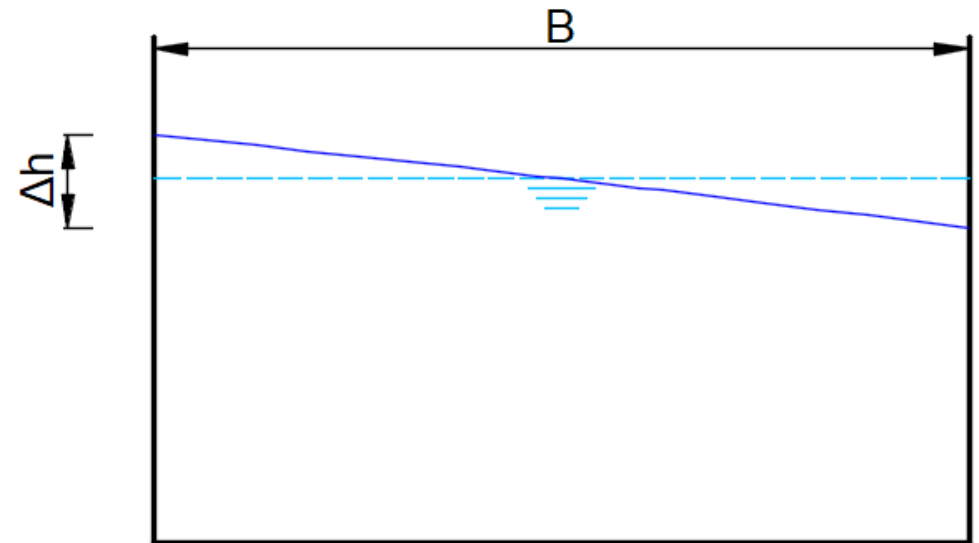
гдје су:

v – просјечна брзина у попречном пресеку

$B=2,5 \text{ m}$ – ширина воденог огледала

$R=6,0 \text{ m}$ – полупречник кривине у основи

а Δh представља разлику нивоа конкавне и конвексне обале.

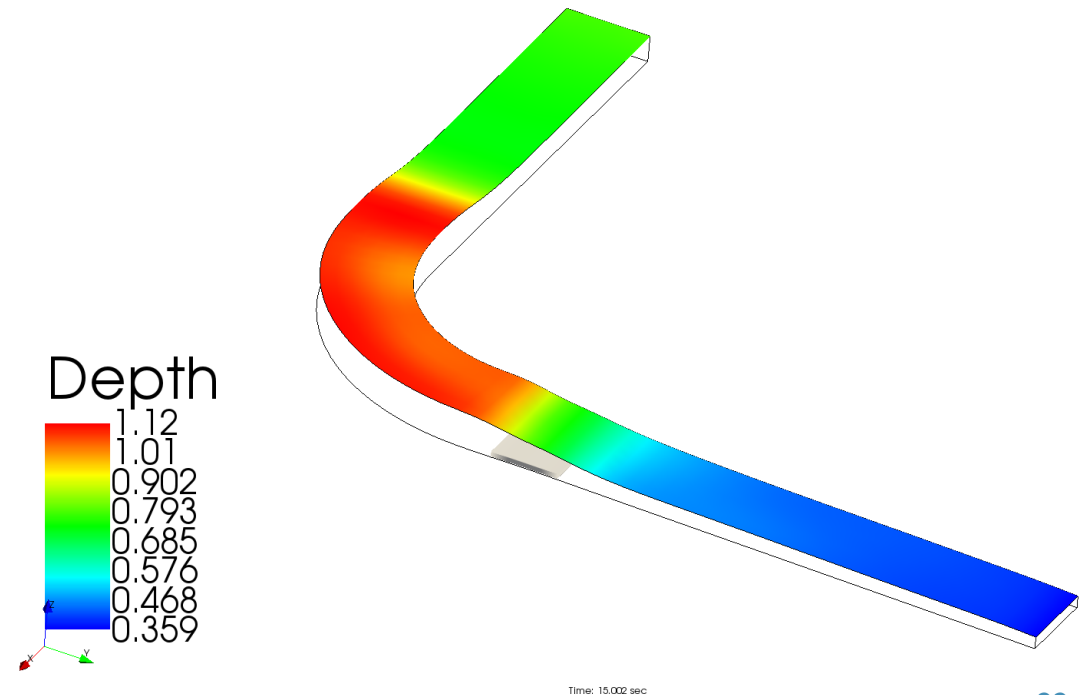
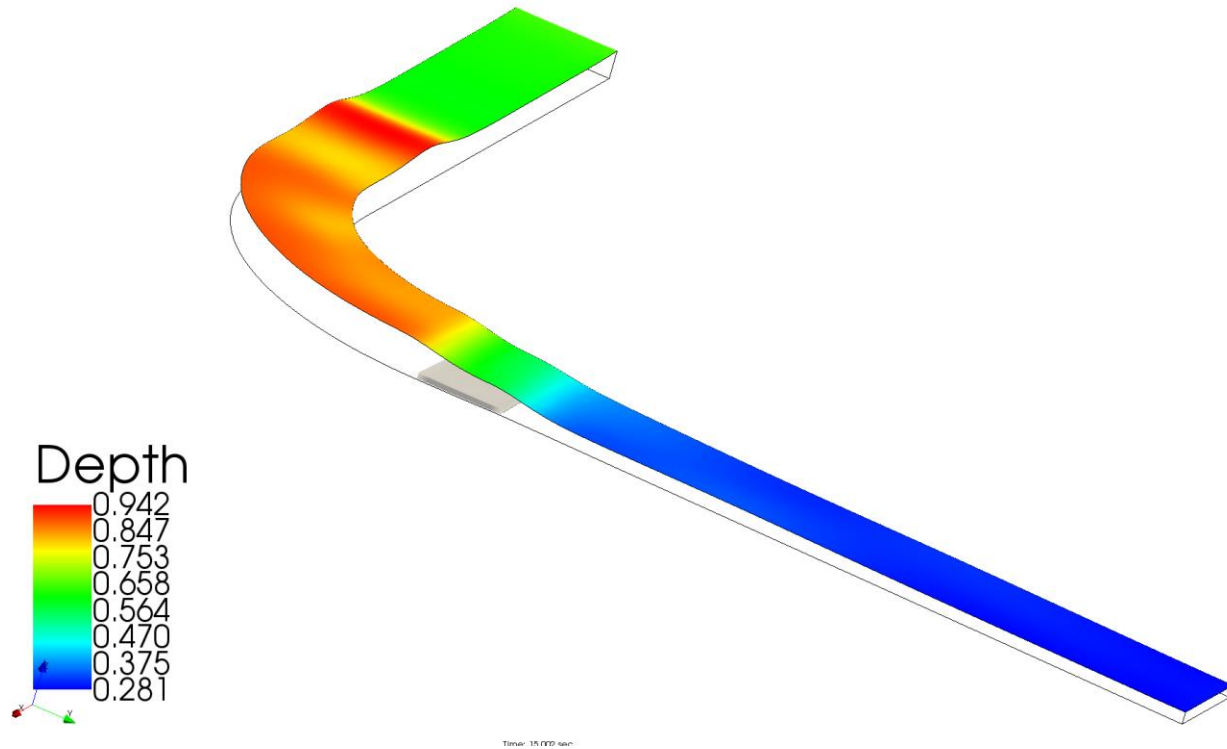


5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

I. Случај $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$

II. Случај $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Дубине, $T=15\text{s}$



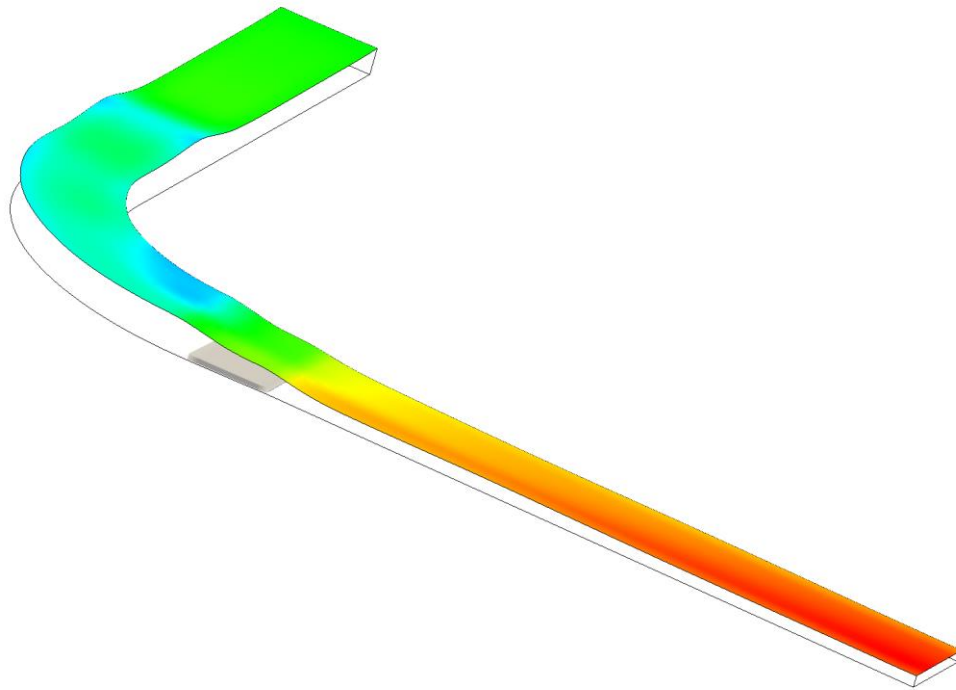
Напомена: Прорачун за I случај је рађен са мрежом 25x25 cm, а за II случај са мрежом 50x50 cm

5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

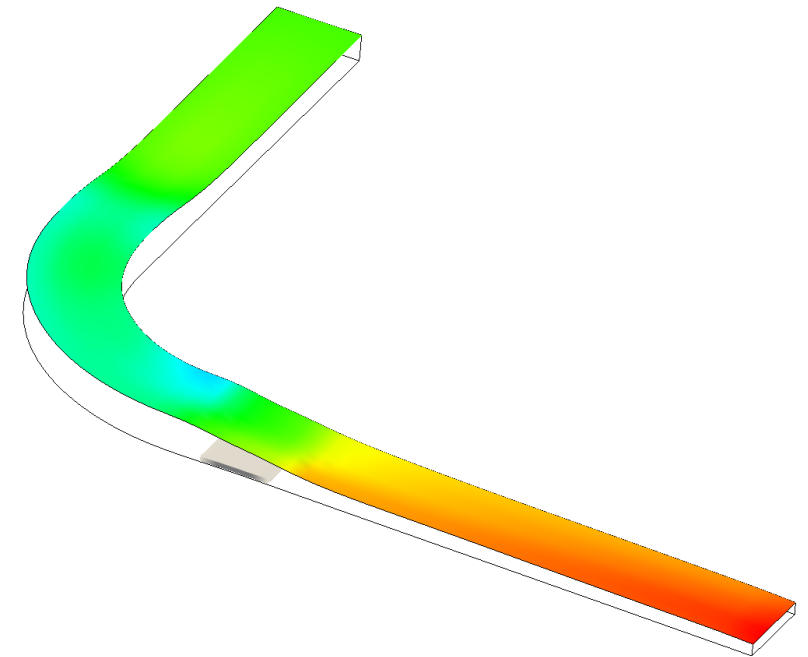
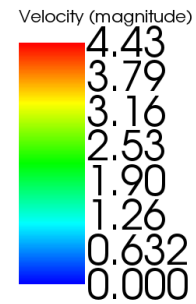
I. Случај $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$

II. Случај $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Брзине, $T=15\text{s}$



Time: 15.002 sec



Time: 15.002 sec

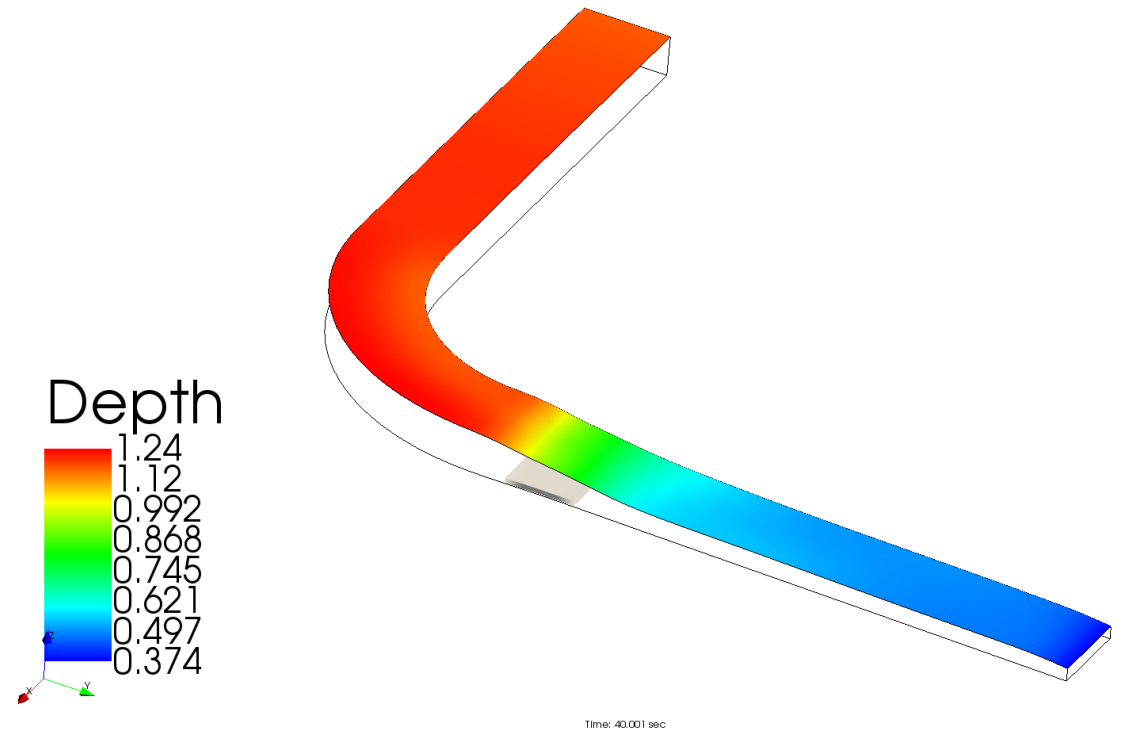
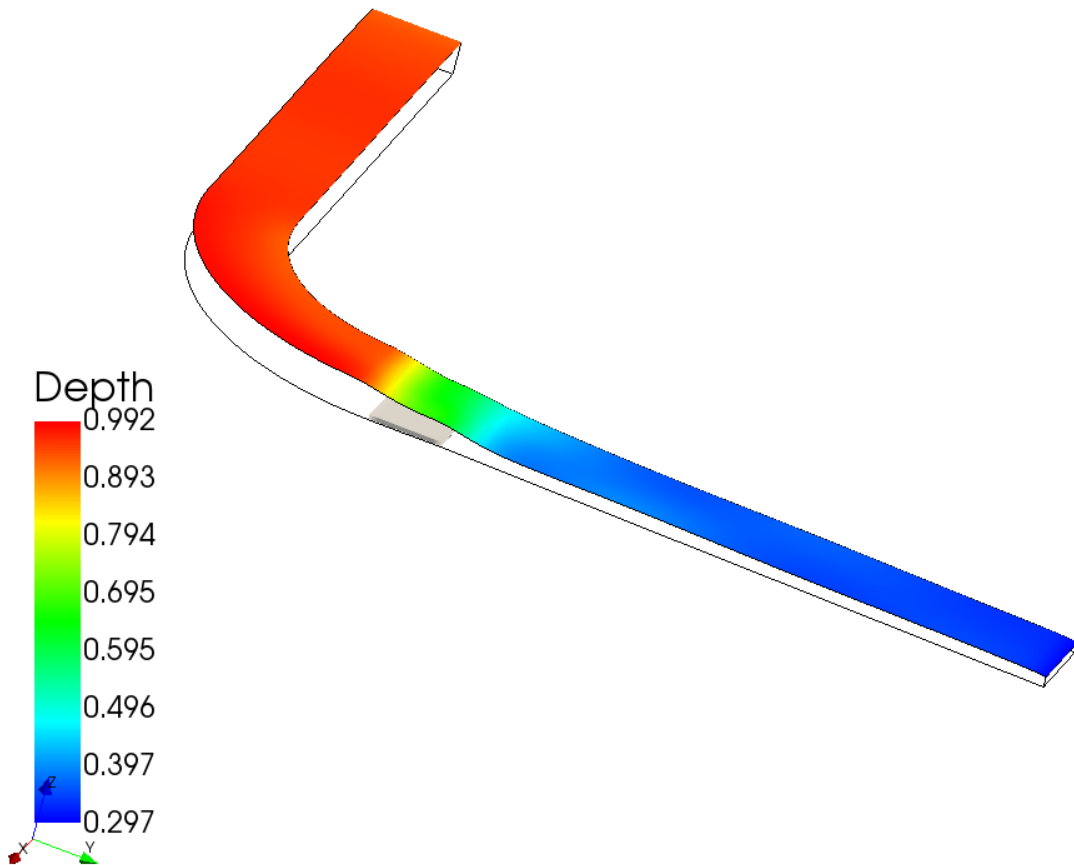
Напомена: Прорачун за I случај је рађен са мрежом $25 \times 25 \text{ cm}$, а за II случај са мрежом $50 \times 50 \text{ cm}$

5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

I. Случај $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$

II. Случај $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$

Дубине на крају симулације, $T=40\text{s}$



Напомена: Прорачун за I случај је рађен са мрежом $25 \times 25 \text{ cm}$, а за II случај са мрежом $50 \times 50 \text{ cm}$

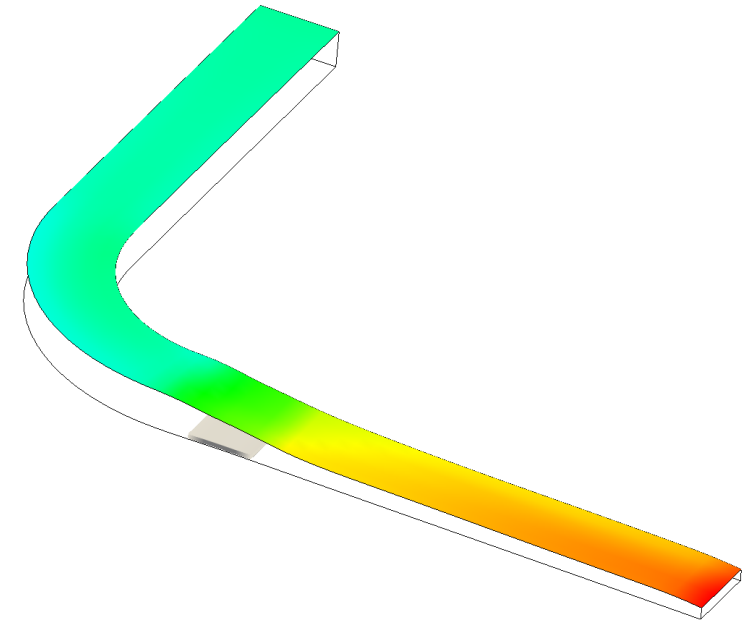
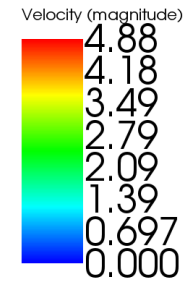
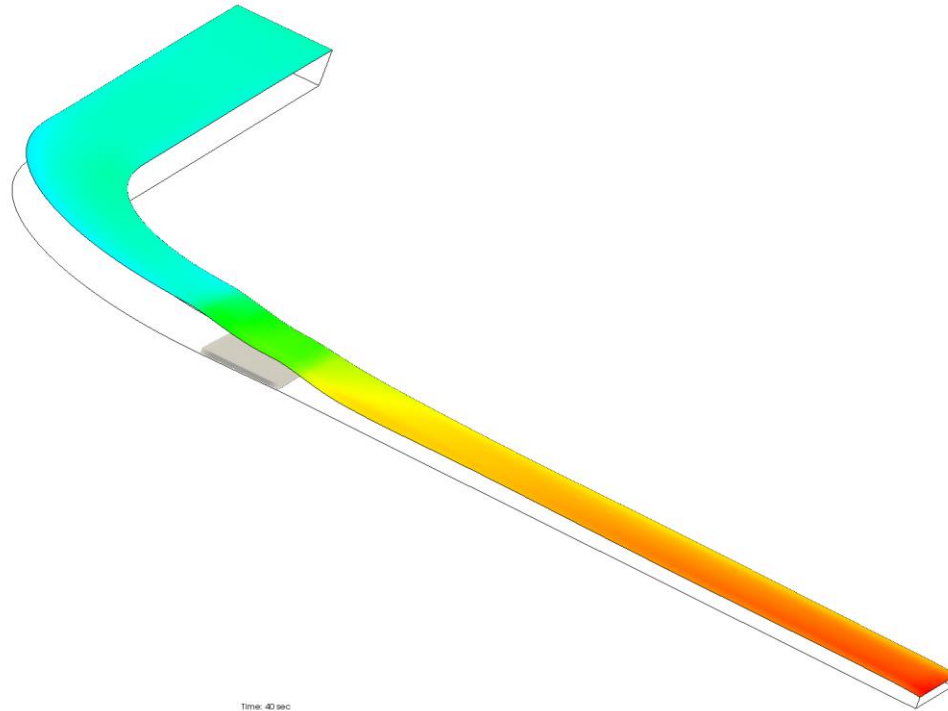
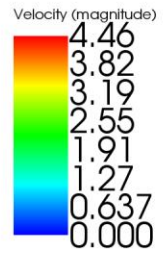


5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

I. Случај $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$

II. Случај $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$

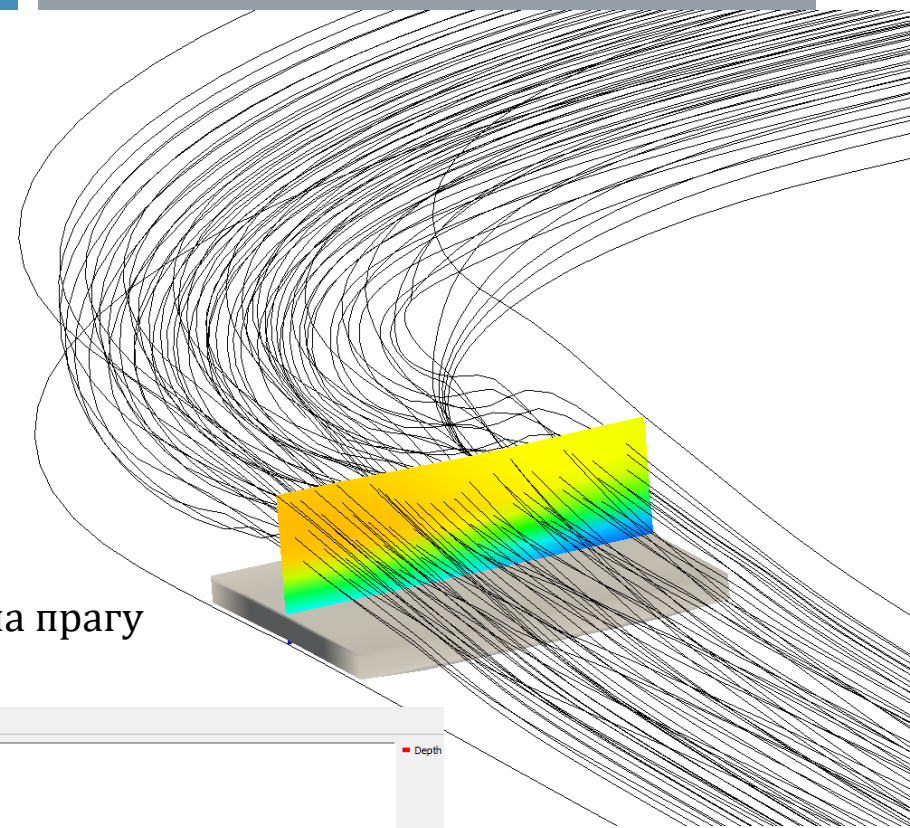
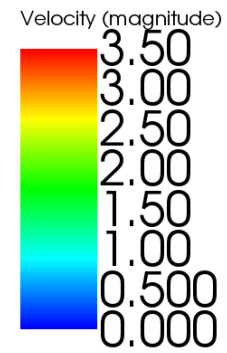
Брзине на крају
симулације, $T=40\text{s}$



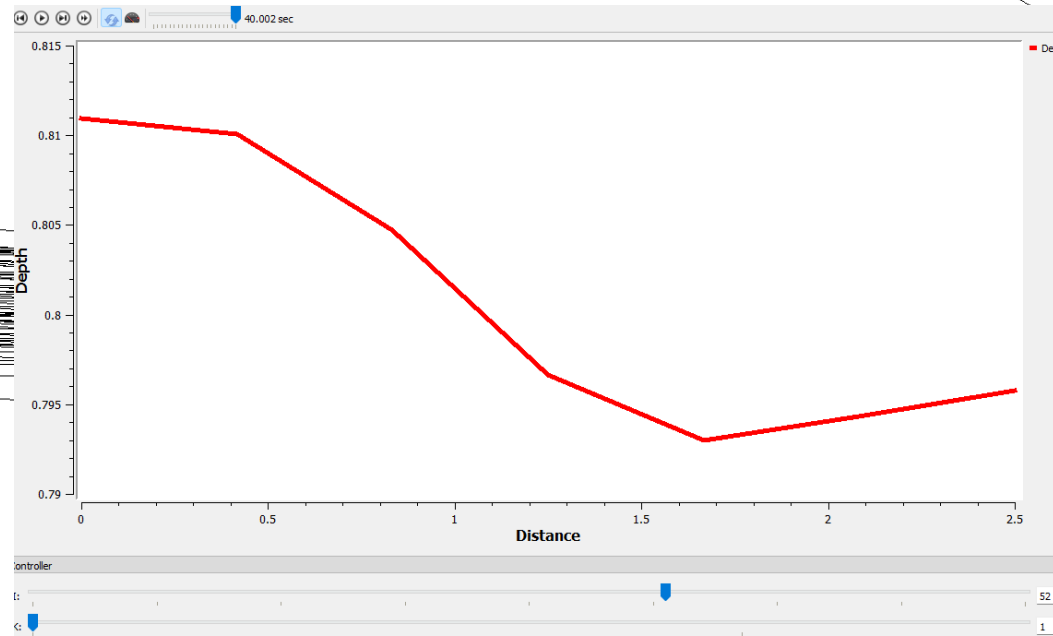
Напомена: Прорачун за I случај је рађен са мрежом $25 \times 25 \text{ cm}$, а за II случај са мрежом $50 \times 50 \text{ cm}$

5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

II. Случај $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Струјнице, $T=40\text{s}$



NaysCUBE $t=40 \text{ s}$:
Попречни нагиб линије нивоа на прагу
 $\Delta h=1,5\text{cm}$ ($l=52, K=15$)



Time: 40.001 sec

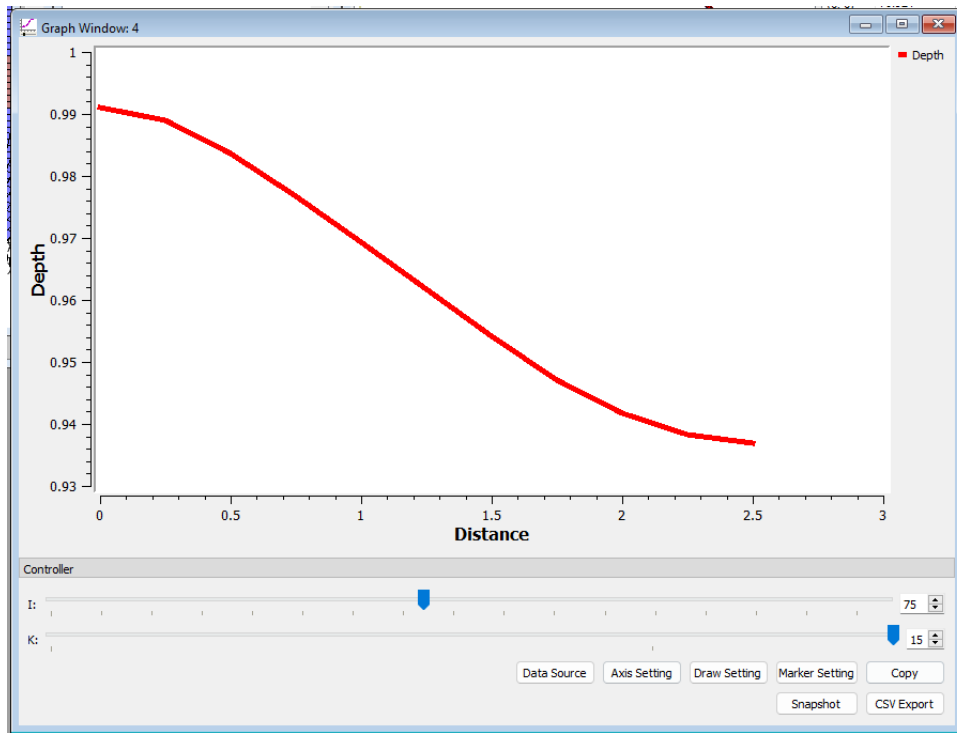
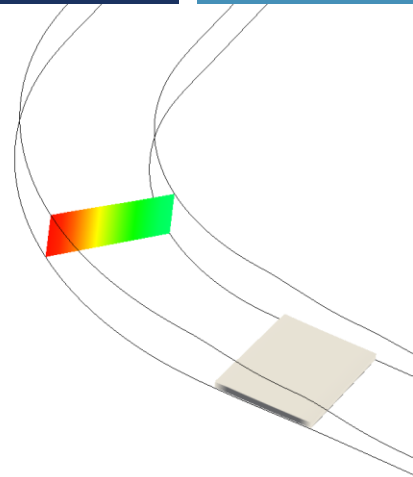
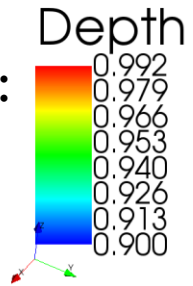
5. РЕЗУЛТАТИ СИМУЛАЦИЈЕ

I. Случај $Q=3 \text{ m}^3/\text{s}$

NaysCUBE $t=40 \text{ s}$:
 $\Delta h=5,5\text{cm}$

Analitički $t=40 \text{ s}$:
 $\Delta h=9,6\text{cm}$

$I=75, K=15$

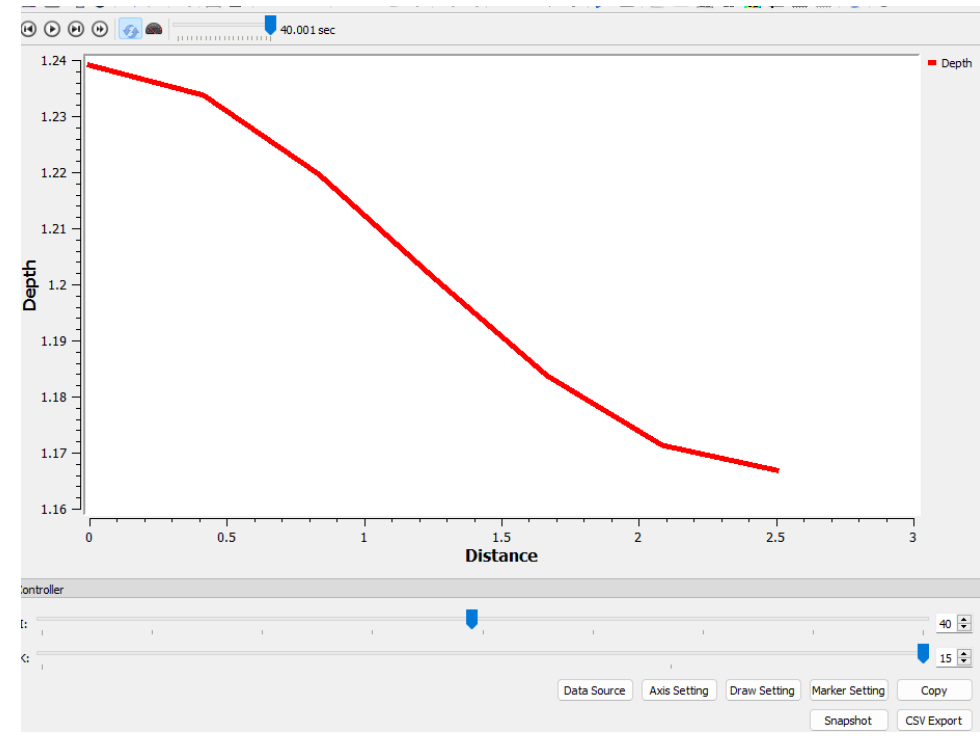
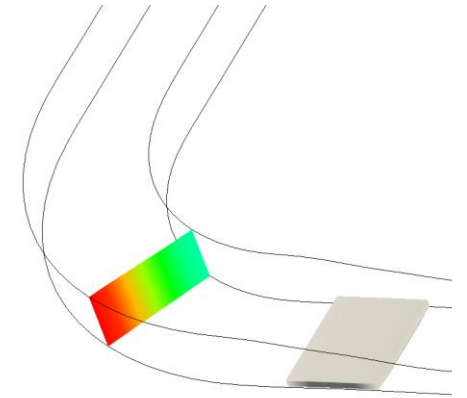
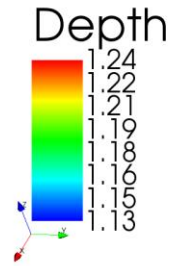


II. Случај $Q=4,5 \text{ m}^3/\text{s}$

NaysCUBE $t=40 \text{ s}$:
 $\Delta h=7,5\text{cm}$

Analitički $t=40 \text{ s}$:
 $\Delta h=11,9\text{cm}$

$I=40, K=15$



6. ЗАКЉУЧЦИ

- ❑ С обзиром да није успјела симулација са прагом висине 2,3 m према поставци задатка, урађена је једноставнија варијанта са прагом мање висине задате преко опције `Obstacle cell`.
- ❑ Због мале висине препреке нема велике турбуленције и израженог вртложења у зони прага.
- ❑ Узводно од прага је миран режим течења, док се на прагу формира критична дубина и течење прелази у буран режим.
- ❑ Солидно поклапање симулираних резултата са аналитичким прорачуном.
- ❑ Потребна је додатно истражити начин задавања прага преко нумеричке вриједности, тј. преко пропуста (`Obstacle height`, `Underpass top height` и `Underpass bottom height`) и због чега се јављају нестабилносту у прорачуну (покушати ублажити пад узводне и низводне косине прага, задати протицај преко прираштаја у одређеном временском периоду,...).
- ❑ Изашла је нова верзија Iric NaysCUBE v4.0.0, која пружа додатне опције за симулације и бољи преглед геометрије и резултата прорачуна.



УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ
ОДСЕК ЗА ХИДРОТЕХНИКУ И ВОДНО ЕКОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО



ДОКТОРСКЕ СТУДИЈЕ
МЕХАНИКА ФЛУИДА – НАПРЕДНИ КУРС

ХВАЛА НА ПАЖЊИ !

Професор:
Проф. др Душан Продановић
Доцент др Дамјан Иветић

Студенти:
Обрад Шарчевић 914/23
Јелица Протић 908/23

Београд, 29.2.2024. године