

Građevinski fakultet
Univerzitet u Beogradu



Katedra za hidrotehniku i vodno ekološko inženjerstvo

MASTER RAD

Tema rada: Modeliranje tečenja vode u prizmatičnom kanalu
primenom NaysCUBE solvera

Student:
Marko Cvetković

Mentor:
prof. dr Dušan Prodanović

Beograd, decembar 2016



Sadržaj

1. Uvod
2. Metodologija
3. Primeri
4. Rezultati
5. Diskusija rezultata
6. Zaključak

1. Uvod

1. 1. O CFD-u (Računska dinamika fluida)

CFD (Computational Fluid Dynamics) ili Računska dinamika fluida predstavlja nauku o proračunu toka fluida i ostalim hidrauličkim veličinama koristeći kompjuter, odnosno softverske pakete.

1. 1. O CFD-u (Računska dinamika fluida)

Na fluidne tokove nailazimo u svakodnevnom životu:

- meteorološke pojave,
- zagađenje vazduha,
- u medicini – krvotok,
- grejanje, ventilacija i klimatizacija objekata, itd.

Sve navedene pojave se mogu simulirati i izračunavati koristeći već pomenute CFD modele.

Ono što nas najviše interesuje su *hidraulički problemi*.

1. 1. O CFD-u (Računska dinamika fluida)

CFD modeli će nam definisati karakteristike strujanja fluida i simulirati strujanje bez korišćenja fizičkih modela.

- Tehnike koje CFD model koristi su sledeće:
 1. Definisanje fizičkog modela (Geometrijska, Matematička i Dinamička sličnost),
 2. Matematički model (Adekvatne diferencijalne jednačine – Tačka 2. 1.)
 3. Numeričko modeliranje (Razni programski paketi koji će zahtevati diskretizaciju prostora, definisanje vremenskog koraka i numeričke metode – Tačka 2. 2.)

1. 1. O CFD-u (Računska dinamika fluida)

Prednosti korišćenja CFD modela:

- jeftinije i brže od fizičkog modela,
- pokazuje stvarno strujanje fluida,
- mogućnost modeliranja različitih režima,
- grafička prezentacija,
- rad na kompleksnim modelskih ispitivanjima.

Mane korišćenja CFD modela:

- definisanje kompleksnih mreža,
- konvergacija modela,
- izbor adekvatnog turbulentnog modela,
- neophodna provera na stvarnim fizičkim podacima.

Neki od mnogobrojnih softverskih paketa koje je moguće koristiti su sledeći: OpenFOAM, SU, Gerris Flow Solver, PyFR, IRIC, itd.

1. 2. Cilj Master rada

Cilj Master rada je da pokušamo da odgovorimo na temu modeliranja tečenja vode u prizmatičnom kanalu primenom NaysCUBE solver. To znači ovladavanje tehnike pomenutog solvera, probanje standardnih režima koje možemo proveravati fizičkim modelom laboratorijskog kanala.

Na pomenutu temu smo pokušali da odgovorimo dodavanjem određenih prepreka koje se koriste u kanalima: široki prag, preliv praktičnog profila, merno suženje i trougaoni preliv.



2. Metodologija

2. 1. Osnovne jednačine

2. 2. IRIC NaysCUBE solver

2. 2. 1. Unošenje geometrije

2. 2. 2. Zadavanje parametara

2. 2. 3. Način postavljanja prepreka

2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

2. 1. Osnovne jednačine

Postoje tri osnovne jednačine koje mogu opisati tečenje vode:

- a) Jednačina održanja mase (Jednačina kontinuiteta),
- b) Jednačina održanja količine kretanja (Dinamička jednačina),
- c) Jednačina održanja energije (Mehanička jednačina).

2. 1. Osnovne jednačine

- **Modeliranje turbulencije: $\kappa - \varepsilon$ model**

- Reynoldsove jednačine:

Jednačina kontinuiteta: $\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$

Dinamička jednačina: $\rho \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \rho \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\rho g \frac{\partial h}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u'_i u'_j})$

- Energetska jednačina - $\kappa - \varepsilon$ model:

κ jednačina:

$$\rho \frac{\partial \kappa}{\partial t} + \rho \frac{\partial (\kappa \bar{u}_j)}{\partial x_j} = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} - \mu \frac{\partial \overline{u'_i u'_i}}{\partial x_k \partial x_k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} - \frac{1}{2} \overline{\rho u'_i u'_j u'_j} - \overline{p' u'_j} \right)$$

gde je:

κ – turbulentna kinetička energija [m^2/s^2]

Prvi član u jednačini predstavlja *lokalnu promenu* κ ,

Drugi član *konvektivnu promenu* κ ,

Treći *produkciju* κ ,

Četvrti *disipaciju* κ ,

Peti *difuziju* κ ,

Šesti i sedmi *transport* κ *usled fluktuacija brzine i pritiska.*

$$k = \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i}$$

2. 1. Osnovne jednačine

- Modeliranje turbulencije: $\kappa - \varepsilon$ model

ε jednačina:

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

$$L_T = \frac{k^{\frac{1}{2}}}{\omega}$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial (\varepsilon \bar{u}_j)}{\partial x_j} =$$

$$= -2\mu \left(\overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k}} + \overline{\frac{\partial u'_k}{\partial x_i} \frac{\partial u'_k}{\partial x_i}} \right) \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - 2\mu \overline{u'_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \mu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_k \partial x_j} - 2\mu \overline{\frac{\partial u'_i}{\partial x_j} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_j}{\partial x_k}}$$

$$- 2\mu \nu \overline{\frac{\partial^2 u'_i}{\partial x_j \partial x_k} \frac{\partial^2 u'_i}{\partial x_j \partial x_k}} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} - \overline{\mu u'_j \frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k}} - 2\nu \overline{\frac{\partial p'}{\partial x_k} \frac{\partial u'_i}{\partial x_k}} \right)$$

gde su:

ε – turbulentna disipaciona stopa [m^2/s^3],

L_t - turbulentna dužina [m].

Prvi član u jednačini predstavlja *lokalnu promenu* ε ,

Drugi član *konvektivnu promenu* ε ,

Treći, četvrti i peti *produkciju* ε ,

Šesti i sedmi *disipaciju* ε ,

Osmi *difuziju* ε ,

Deveti i deseti *transport* ε *usled fluktuacija brzine i pritiska*.

2. 1. Osnovne jednačine

- Modeliranje turbulencije: $\kappa - \varepsilon$ model

Rezime ($\kappa - \varepsilon$ model)

- *k jednačina:*

$$\rho \frac{\partial \kappa}{\partial t} + \rho \frac{\partial(\kappa \bar{u}_j)}{\partial x_j} = P_\varepsilon - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right)$$

- *ε jednačina:*

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho \frac{\partial(\varepsilon \bar{u}_j)}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right)$$

gde su:

$$\mu_T = \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad \text{turbulentna viskoznost vrtloga [kg/ms]}$$

$$C_{\varepsilon 1} = 1.44 ; C_{\varepsilon 2} = 1.92 ; C_\mu = 0.09 ; \sigma_k = 1.0 ; \sigma_\varepsilon = 1.3$$

2. 1. Osnovne jednačine

- **Modeliranje turbulencije: $\kappa - \varepsilon$ model**

Da bi se ovako modelirana turbulencija rešila, potrebno je numeričko rešavanje osnovnih jednačina. Jedna od metoda je HSMAC (High Simplified MAC Method) shema za proračun nepoznatih brzina i pritisaka u strujnom polju. Ova je shema je bazirana na iterativnom proračunu, u tri koraka: 1. korak – Diskretizacija dinamičke jednačine, 2. korak – Jednačina kontinuiteta, 3. korak – Energetska jednačina. Potrebno je takođe postaviti granični uslov uz čvrstu granicu.

Kao drugo rešenje, mogu se upotrebiti razni softveri, a za potrebe ovog Master rada korišćen je „IRIC – NaysCube solver”, čija je turbulencija takođe modelirana $k-\varepsilon$ modelom.



2. Metodologija

2. 2. IRIC NaysCUBE solver

2. 2. 1. Unošenje geometrije

2. 2. 2. Zadavanje parametara

2. 2. 3. Način postavljanja prepreka

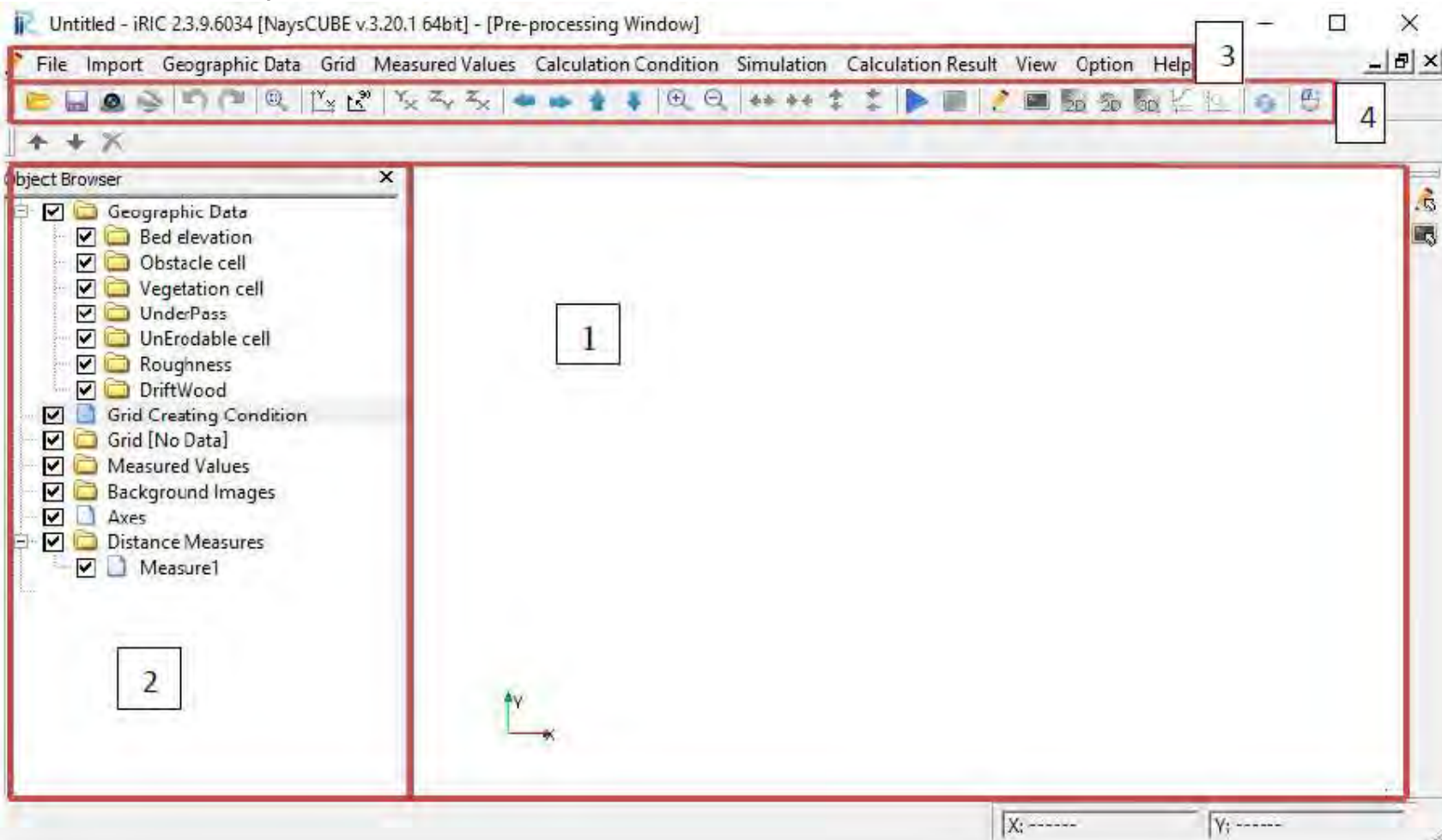
2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

2. 2. IRIC NaysCUBE solver

- Iric NaysCUBE solver predstavlja trodimenzionalan solver koji može simulirati tečenje vode u kanalima, rečnim deonicama, bez i sa raznim preprekama. Program je baziran na opisanom k- ϵ modelu. Solver nam može simulirati različite hidrauličke veličine u 3D prikazu: brzinu vode, dubinu, nivo, strujnice, vektore brzina, itd. Kao ulazne parametre, kao što će to biti prikazano kasnije, nam zahteva protok vode, nizvodni granični uslov (nivo vode na kraju deonice), Manningov koeficijent hrapavosti, itd.
- Autori IRIC softvera su prof. Yasuyuki Shimizu (Hokkaido University) i dr Jon Nelson (USGS). Autori su omogućili da ovaj solver bude potpuno besplatan i moguće ga je preuzeti na internetu.
- Solver, pored jednostavnih kanala, može simulirati tečenje vode u realnim rekama, sa jasno definisanim kotama korita reke i kotama obale.
- U nastavku ćemo prikazati način funkcionisanja NaysCUBE solvera.

2. 2. 1. Unošenje geometrije

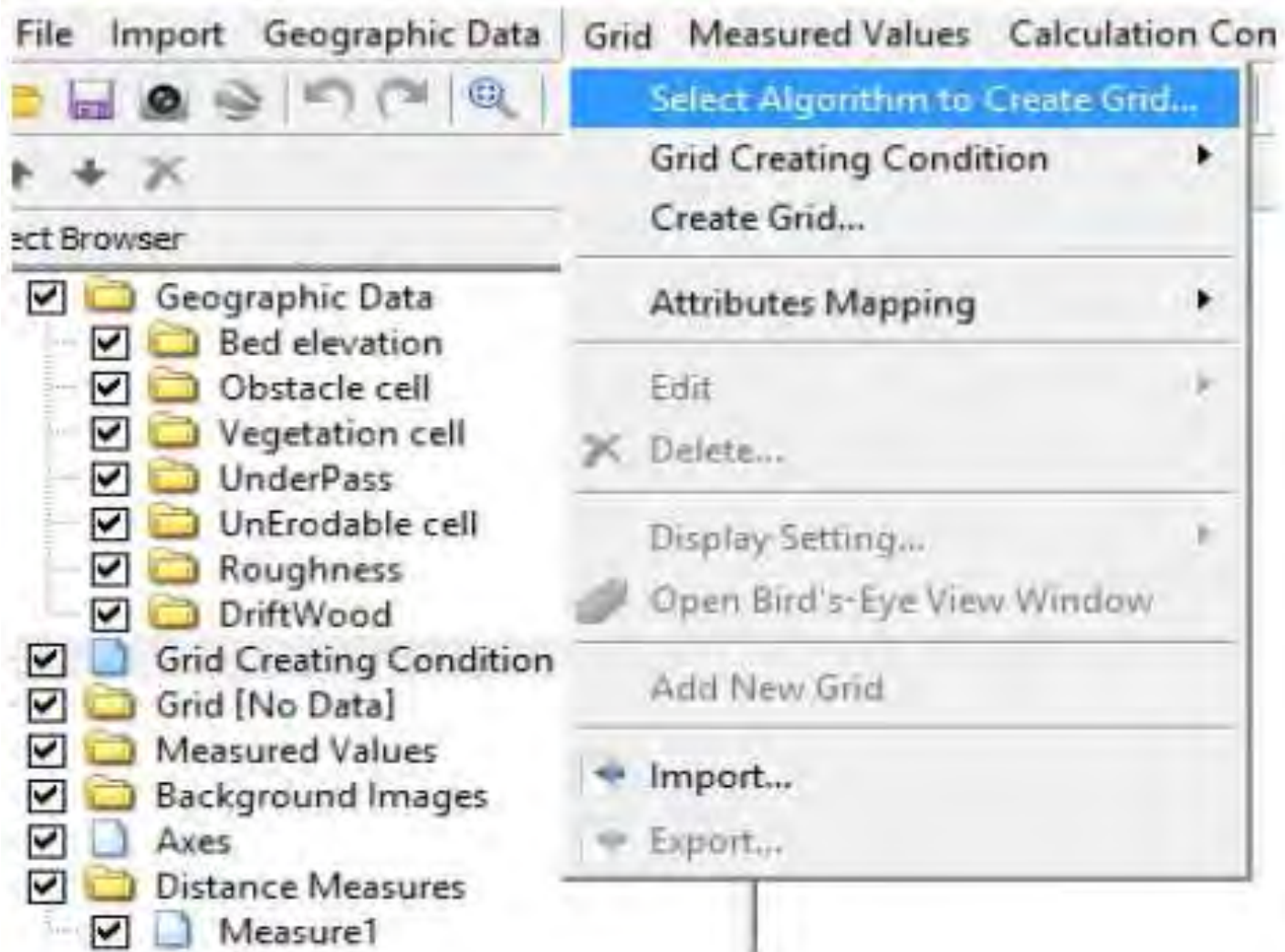
- Kada otvorimo softver, kao radno okruženje primećujemo četiri prostora:



2. 2. 1. Unošenje geometrije

- Zadavanje geometrije jednostavnom prizmatičnom kanalu, može se zadati na nekoliko načina, od kojih će se ovde detaljno objasniti samo onaj koji je najpogodniji za temu ovog Master rada.
- Prvo je potrebno odabrati način za postavljanje geometrije kanala, preko kartice „Grid“.

2. 2. 1. Unošenje geometrije



2. 2. 1. Unošenje geometrije

- Zadavanje geometrije jednostavnom prizmatičnom kanalu, može se zadati na nekoliko načina, od kojih će se ovde detaljno objasniti samo onaj koji je najpogodniji za temu ovog Master rada.
- Prvo je potrebno odabrati način za postavljanje geometrije kanala, preko kartice „Grid“.
- Zatim se prikazuje nekoliko vrsta unosa geometrije i grid-a (mreže koja određuje gustinu proračuna).

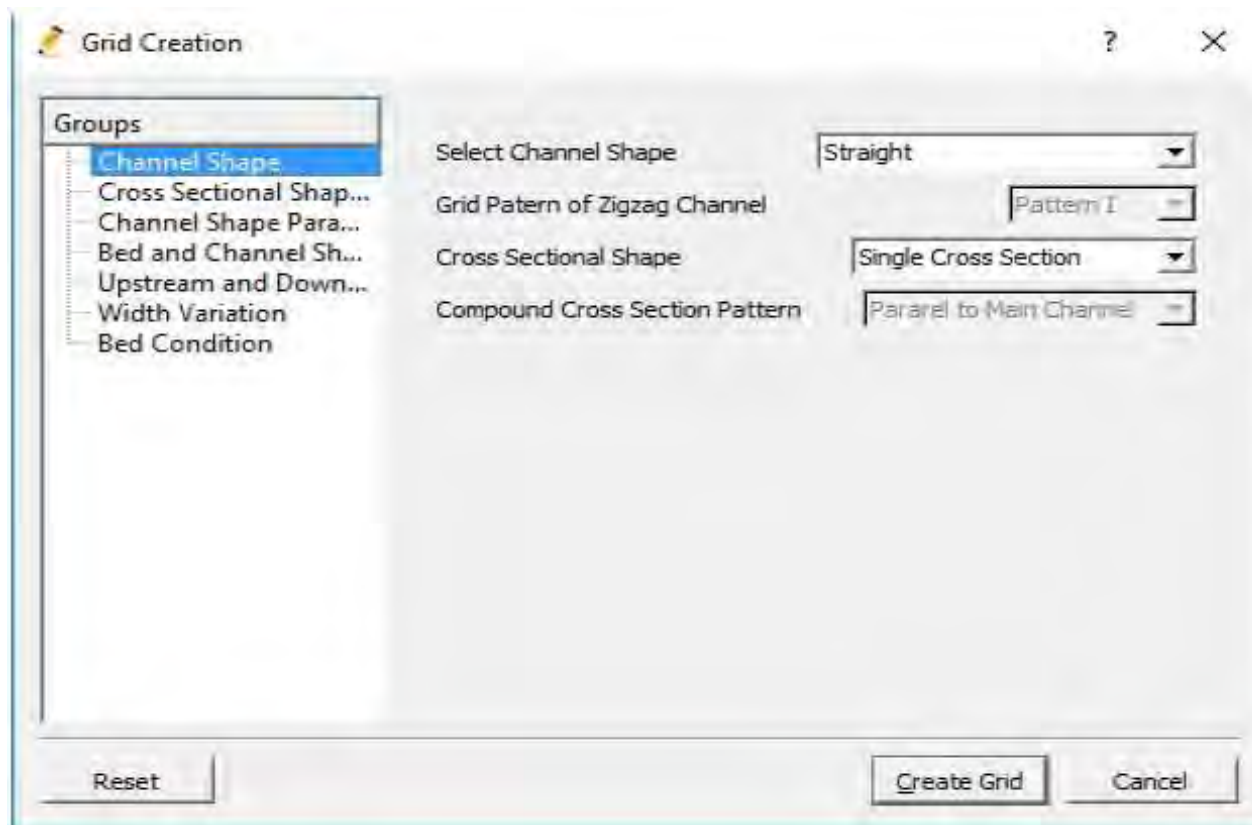
2. 2. 1. Unošenje geometrije



2. 2. 1. Unošenje geometrije

- Koristiće se reprezentativan primer jednostavnog kanala: Dužine i širine ($L = 300\text{cm}$, $b = 30\text{cm}$), Nagiba $Ik = 1\text{‰}$, 15 slojeva po dubini, Maningovog koeficijenta hrapavosti $n = 0.012 \text{ m}^{-\frac{1}{3}} \text{ s}$.
- Ovde će se objasniti sedmi način unošenja geometrije, jer je on odabran za izradu rada.

2. 2. 1. Unošenje geometrije



2. 2. 1. Unošenje geometrije

Grid Creation

Groups

- Channel Shape
- Cross Sectional Shap...
- Channel Shape Para...
- Bed and Channel Sh...
- Upstream and Down...
- Width Variation
- Bed Condition

Single Cross Section

Width(m)

Number of Grid in Lateral Direction

Compound Channel

Numbers of Grids

Left Floodplain

Low Water Channel

Right Floodplain

Low Water Channel Depth(m)

Bank Slope Ratio of Low Water Channel

Numbers of Grids in Low Water Channel Bank

Simple Compound Channel

Channel Width

Left Flood Channel Width(m)

Low Water Channel Width(m)

Right Flood Channel Width(m)

With Straight or Meandering Levees

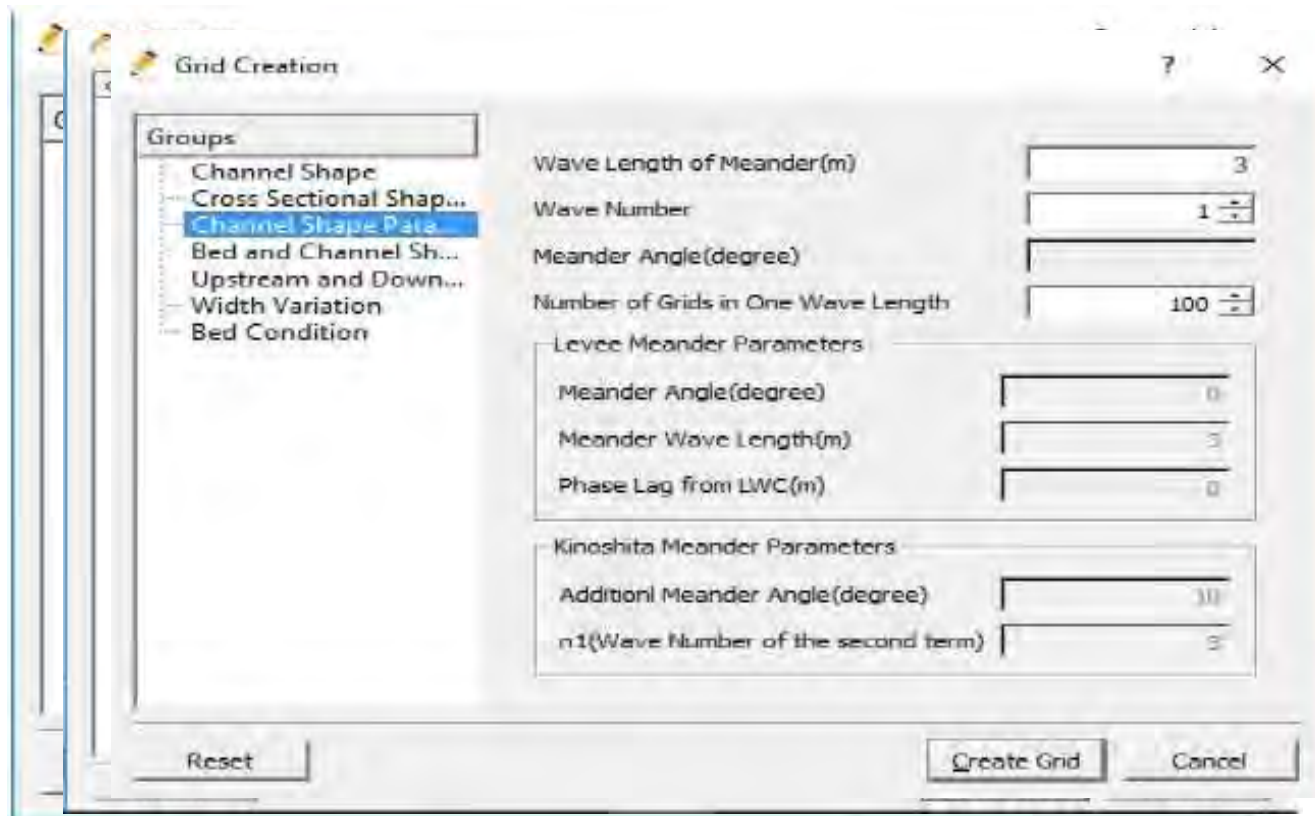
Total Width(m)

Low Water Channel Width(m)

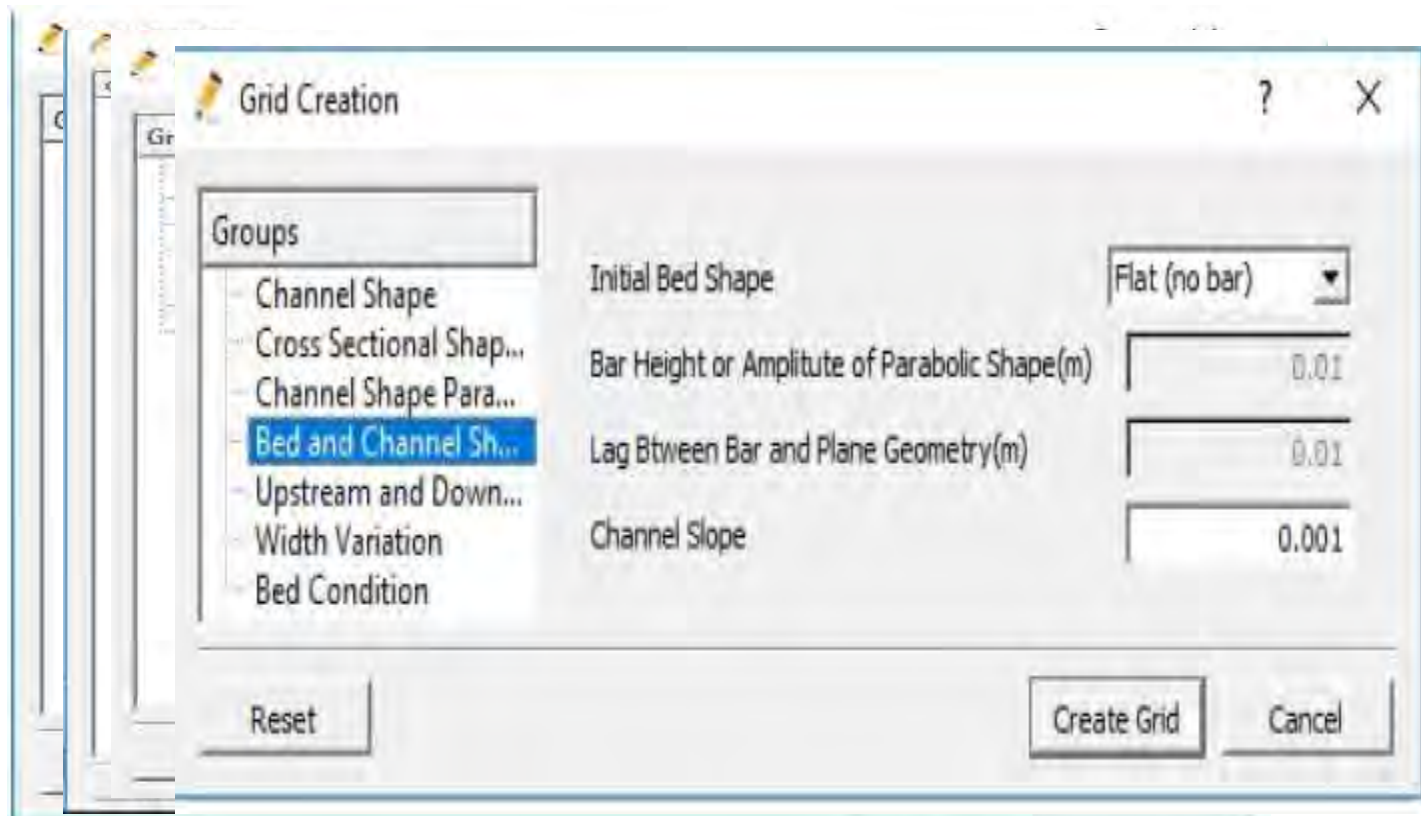
Left Levee Distance from Channel Center(m)

Right Levee Distance from Channel Center(m)

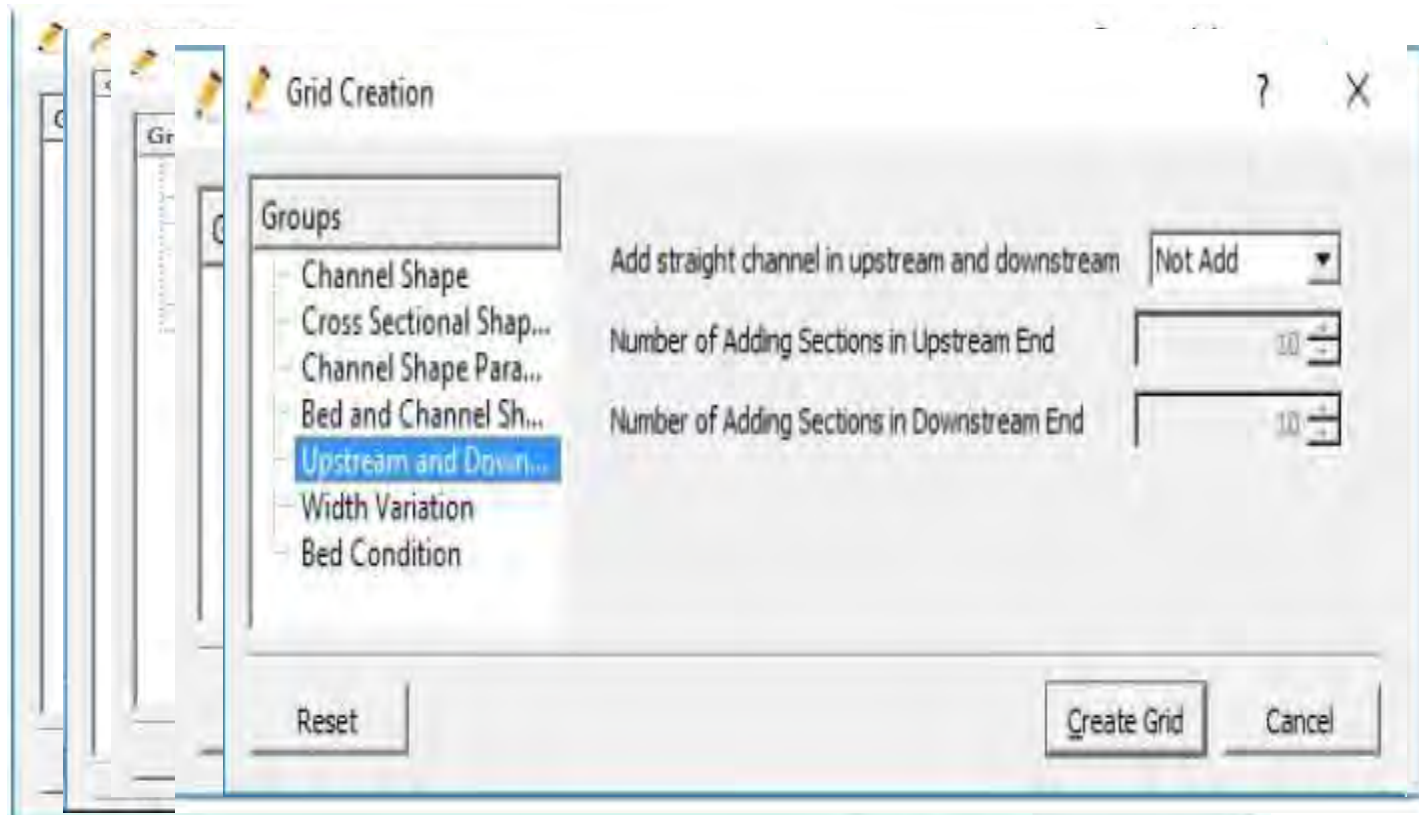
2. 2. 1. Unošenje geometrije



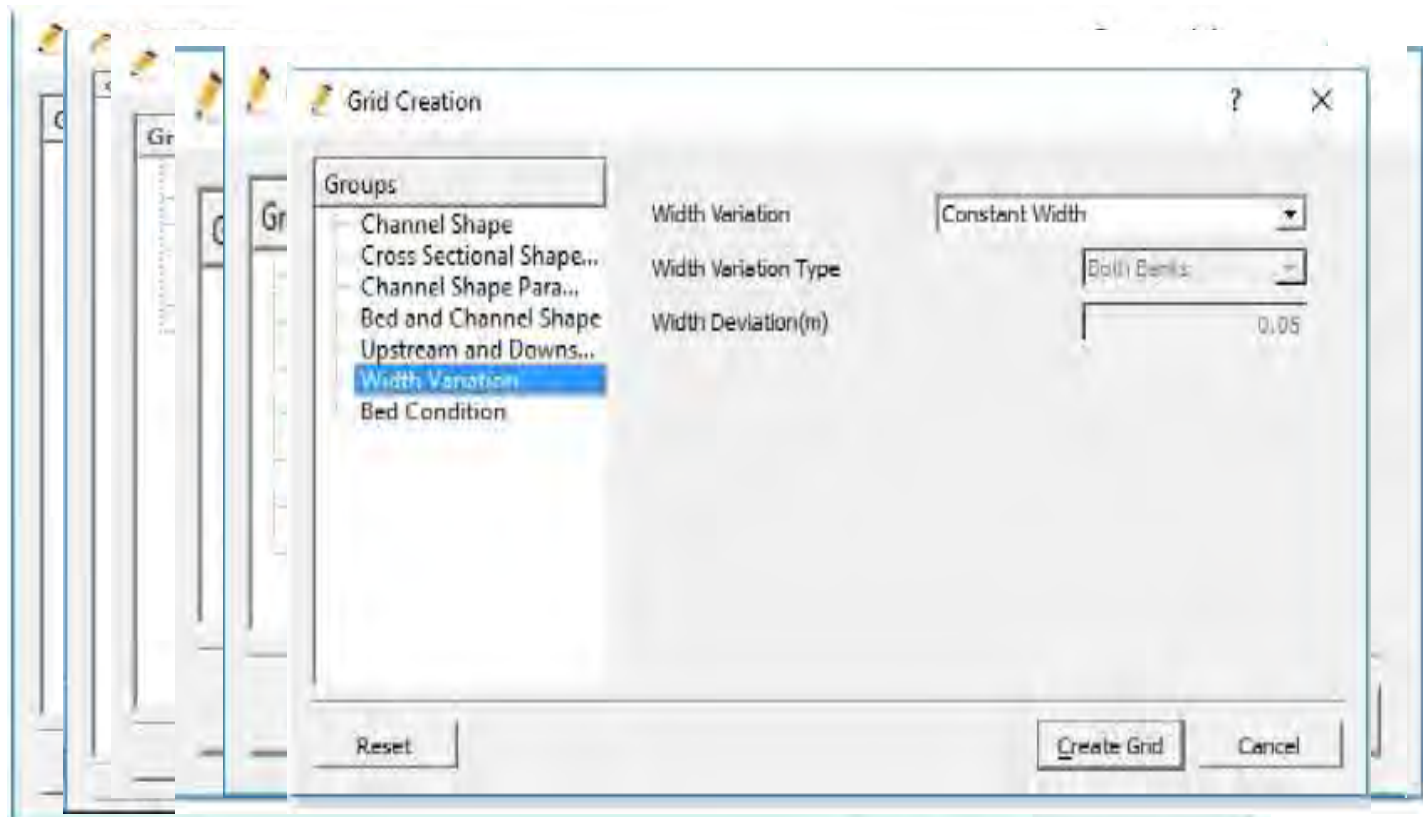
2. 2. 1. Unošenje geometrije



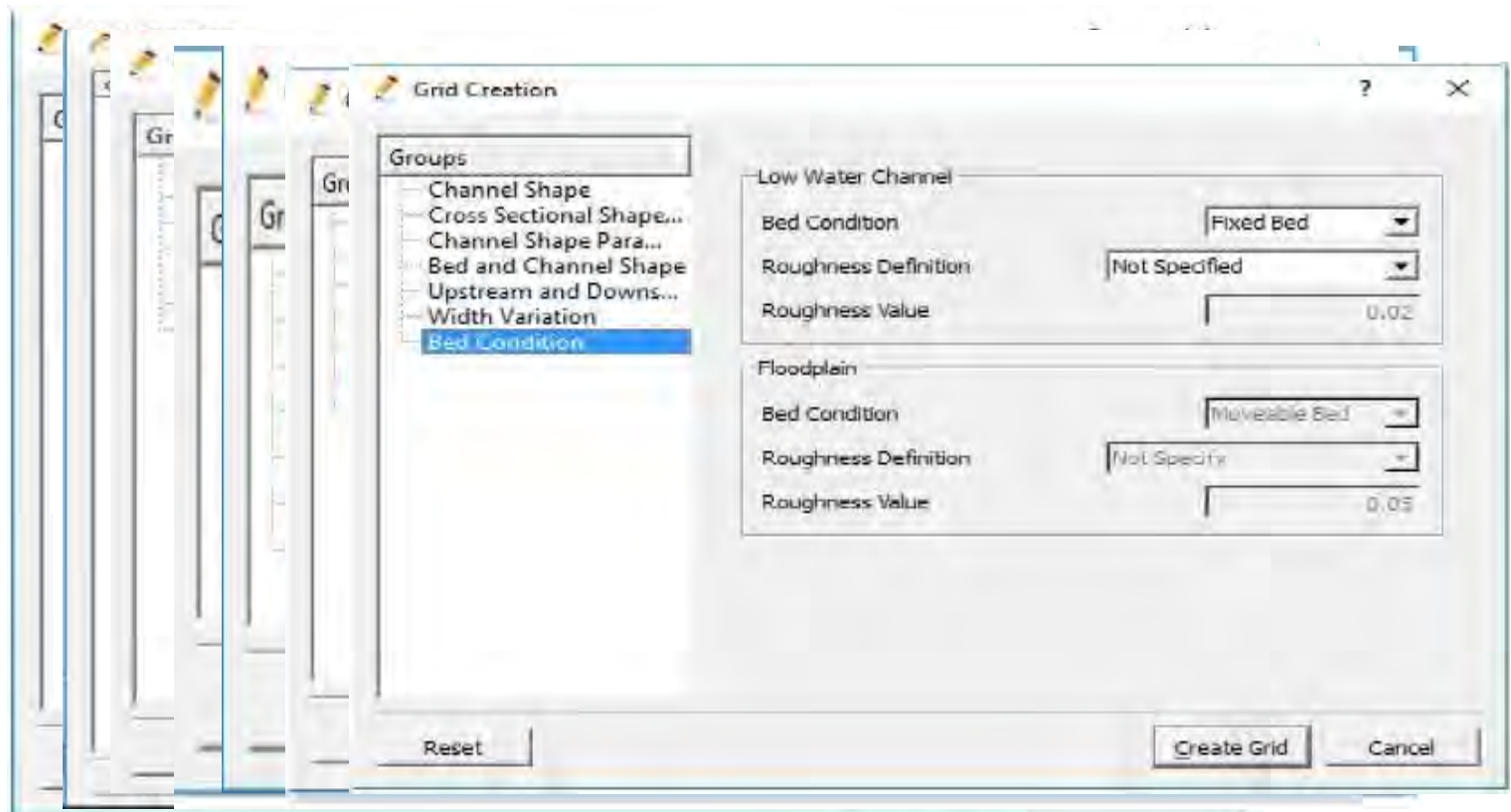
2. 2. 1. Unošenje geometrije



2. 2. 1. Unošenje geometrije

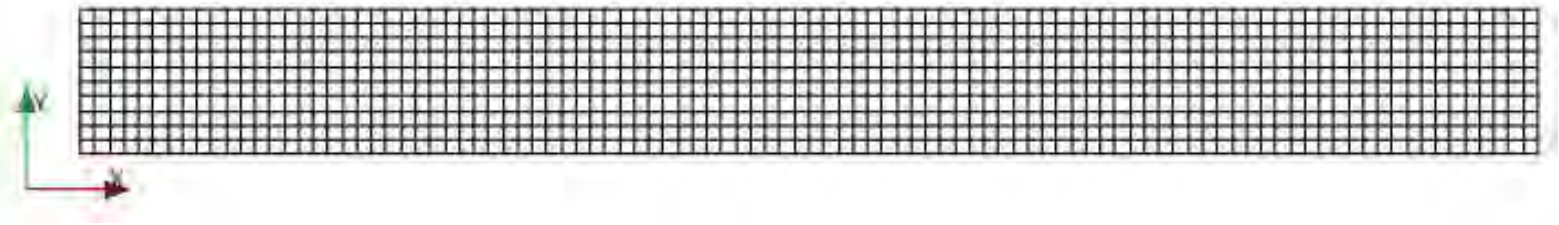


2. 2. 1. Unošenje geometrije



2. 2. 1. Unošenje geometrije

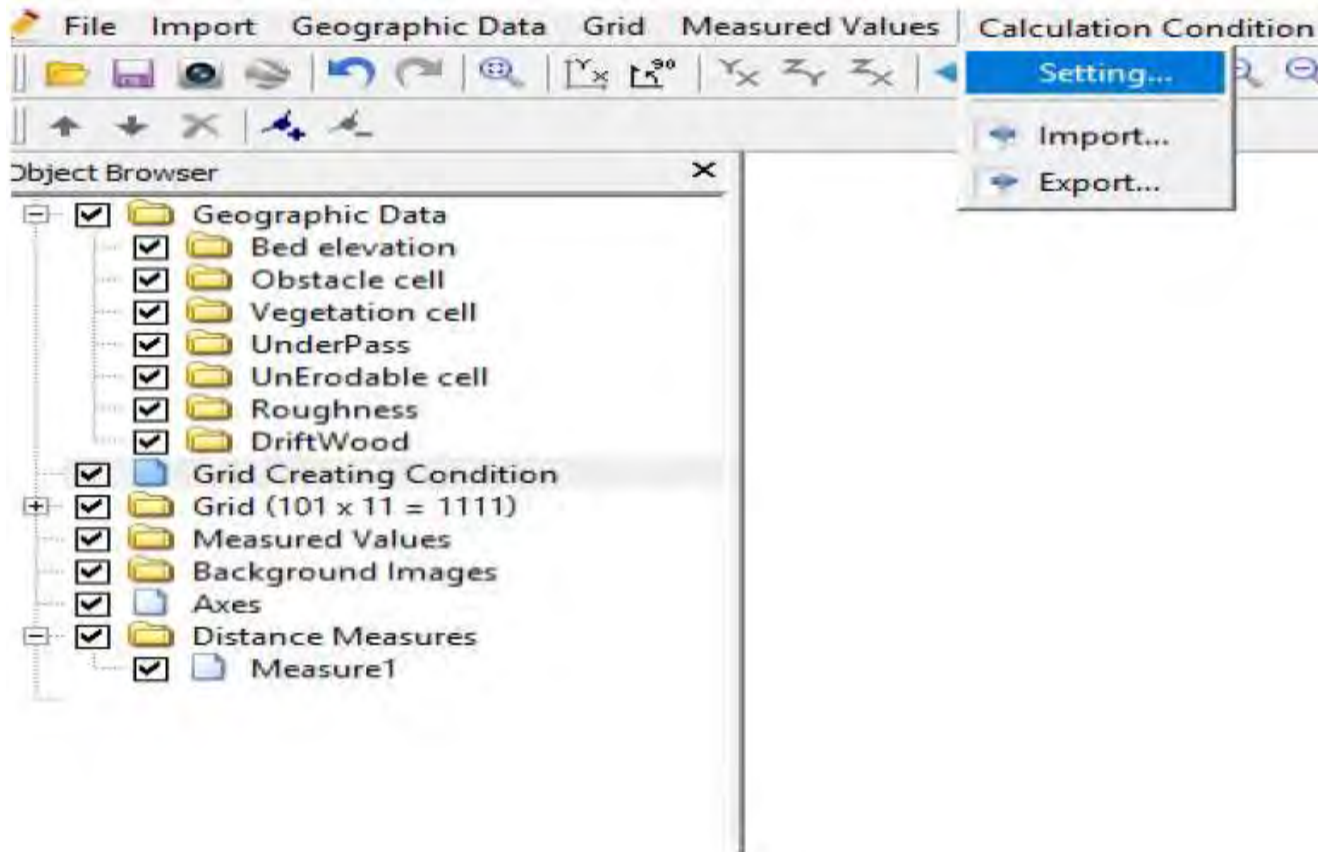
- Na kraju, izgled geometrije kanala i grid-a



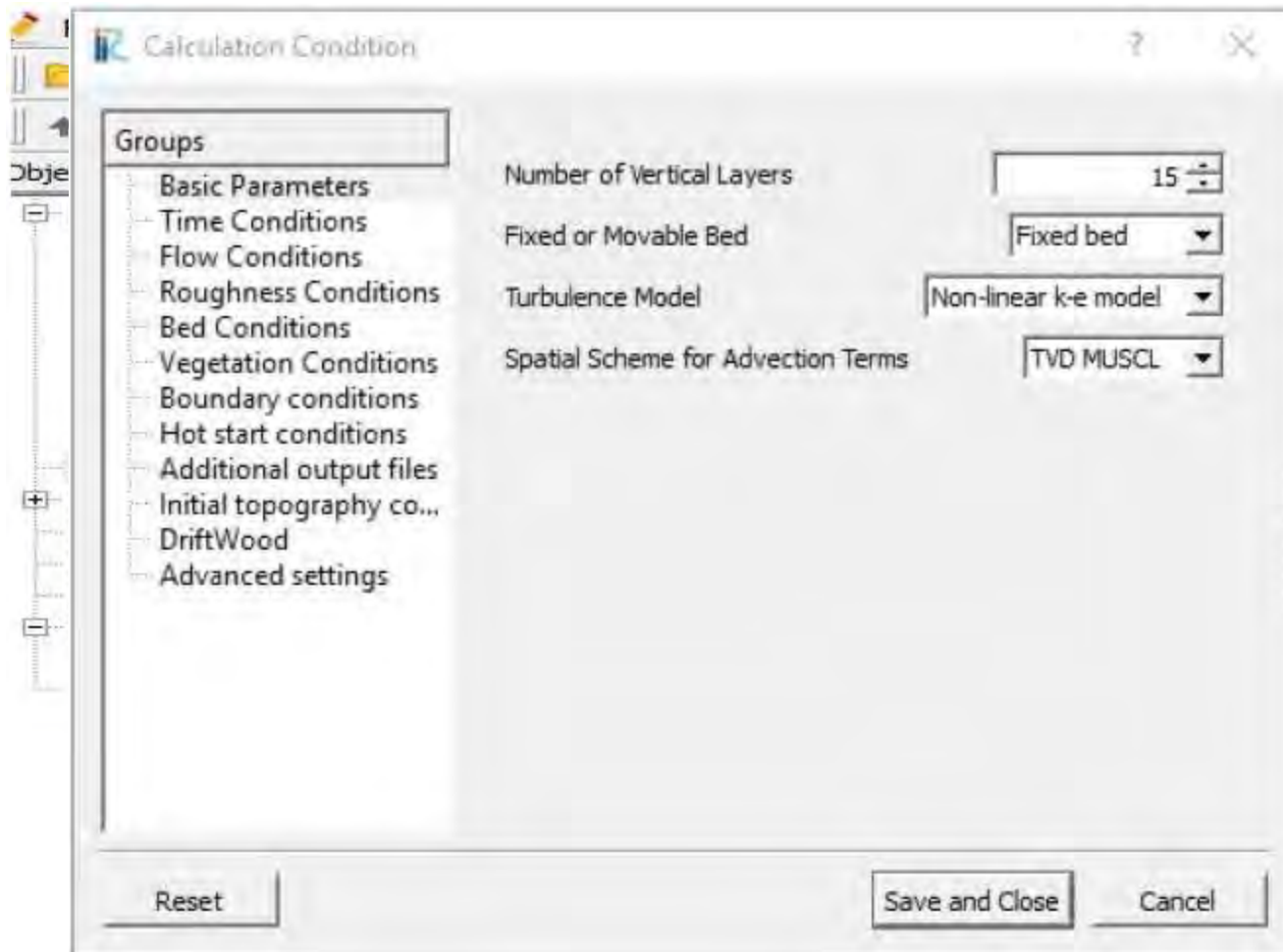
2. 2. 2. Zadavanje parametara

- Pod parametrima podrazumevamo one vrednosti koje će pri njihovom variranju uticati na rezultat.
- Pod tim parametrima se podrazumevaju hidraulički parametri (Proticaj, Nagib, Nivo turbulencije itd), kao i vreme diskretizacije, početak zadavanja neke promene u simulaciji, kraj simulacije itd.

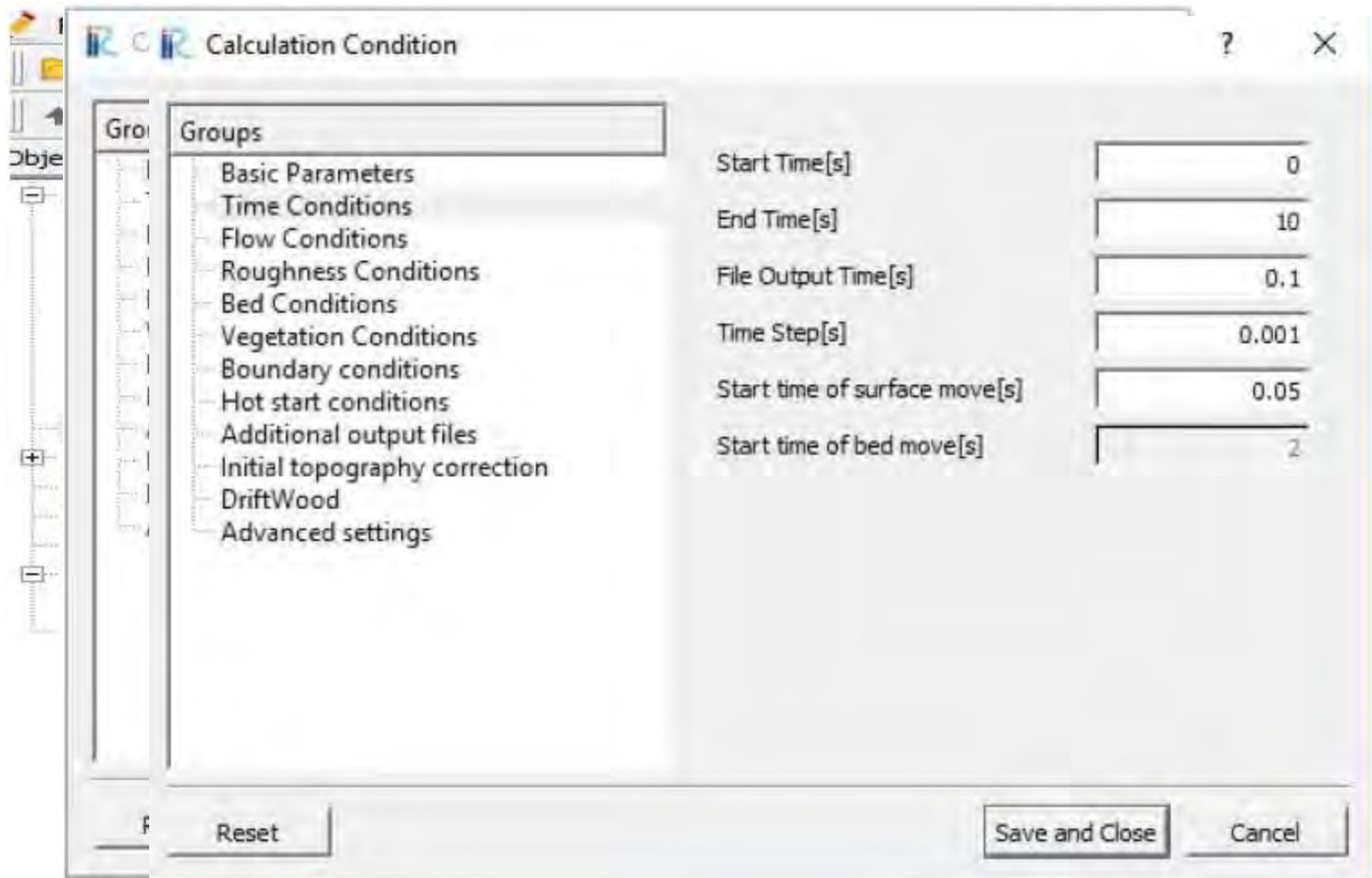
2. 2. 2. Zadavanje parametara



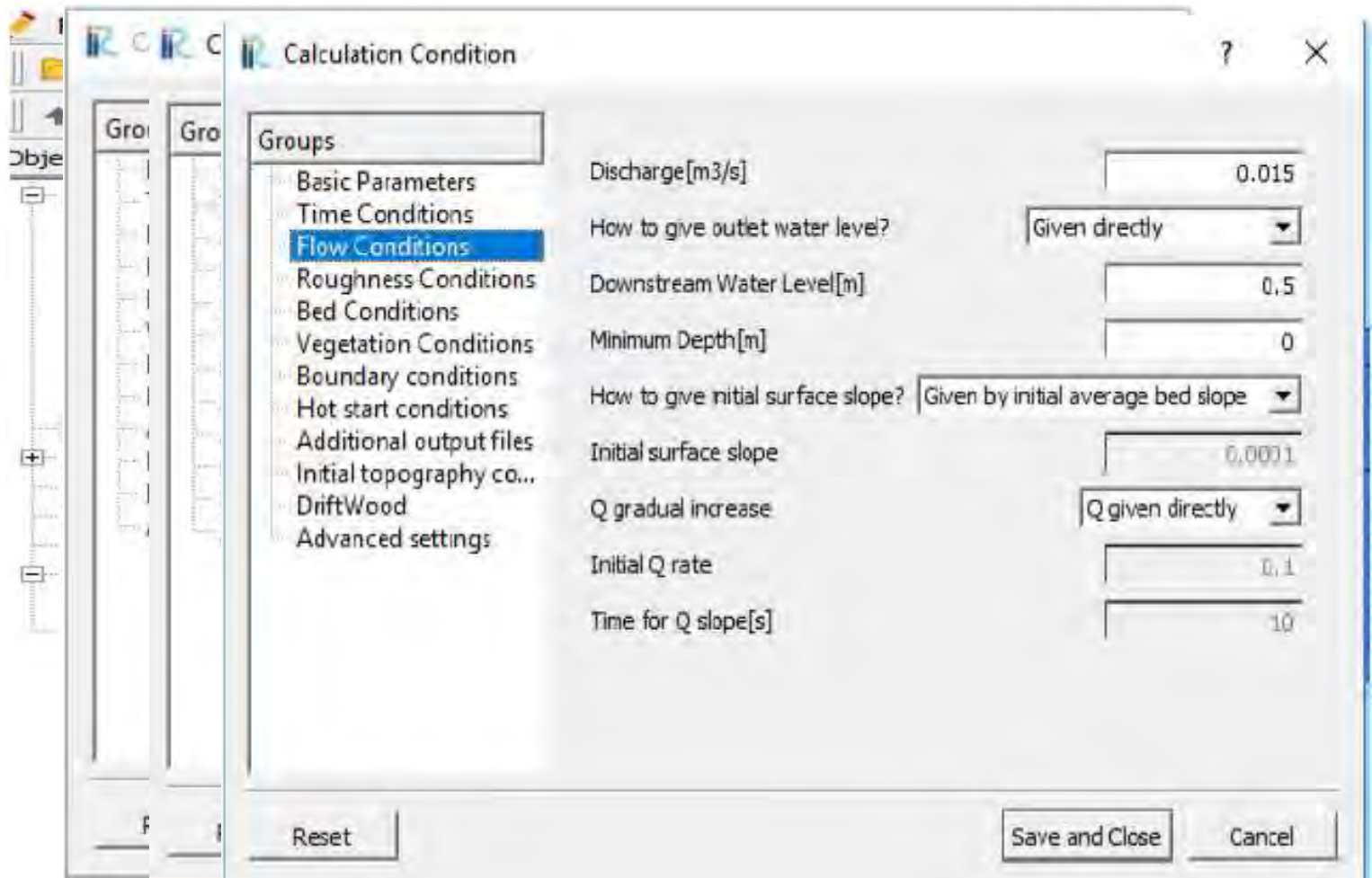
2. 2. 2. Zadavanje parametara



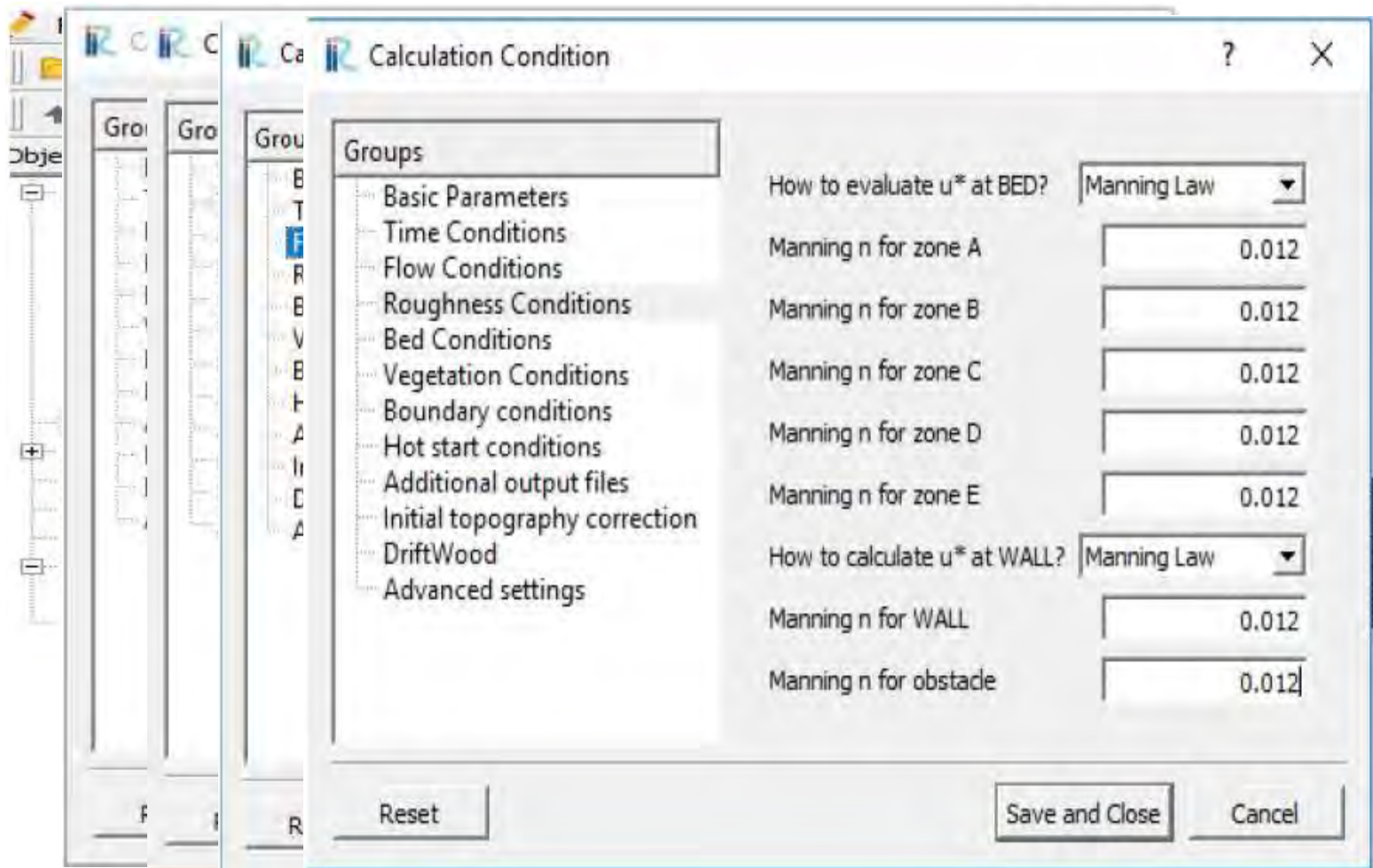
2. 2. 2. Zadavanje parametara



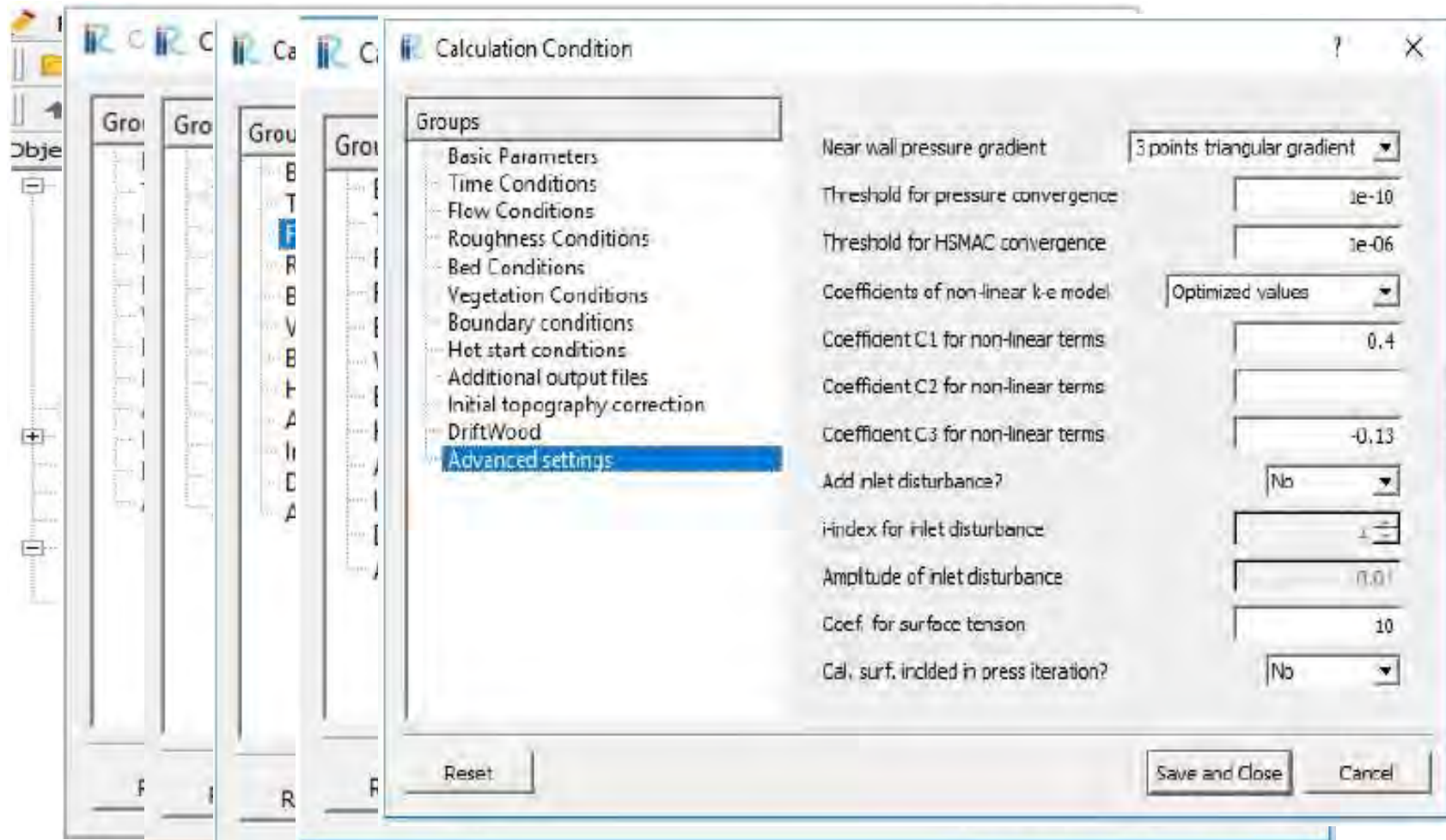
2. 2. 2. Zadavanje parametara



2. 2. 2. Zadavanje parametara

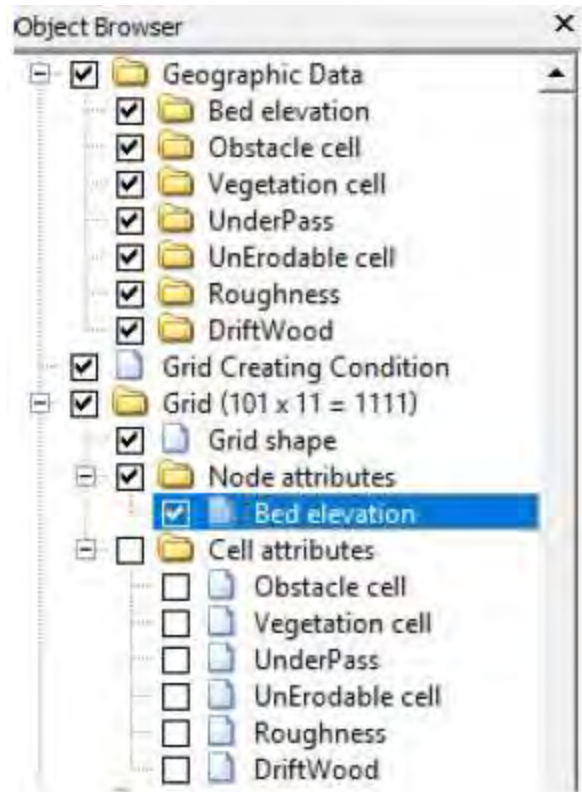


2. 2. 2. Zadavanje parametara



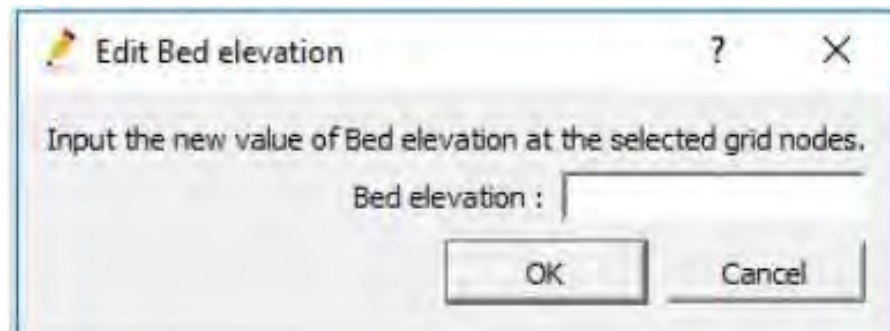
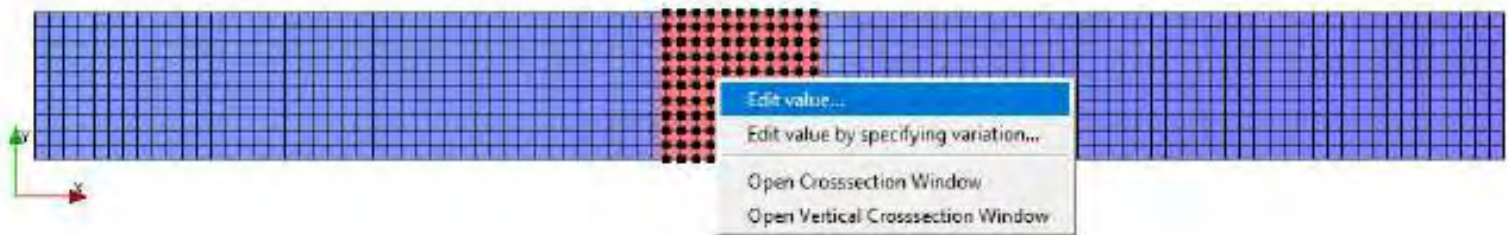
2. 2. 3. Način postavljanja prepreke

- *Postavljanje prepreke pomoću „Bed elevation” opcije*



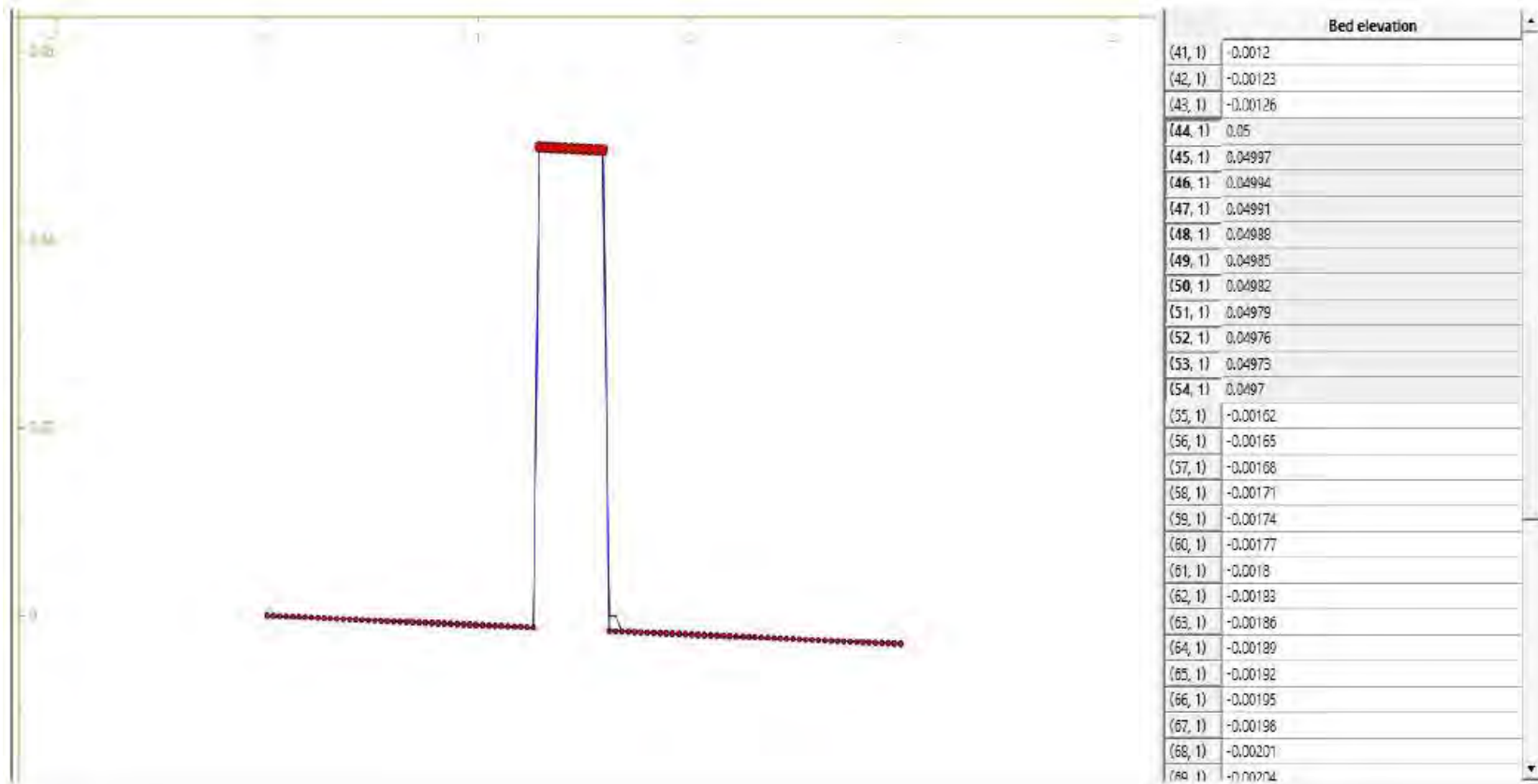
2. 2. 3. Način postavljanja prepreke

- *Postavljanje prepreke pomoću „Bed elevation” opcije*



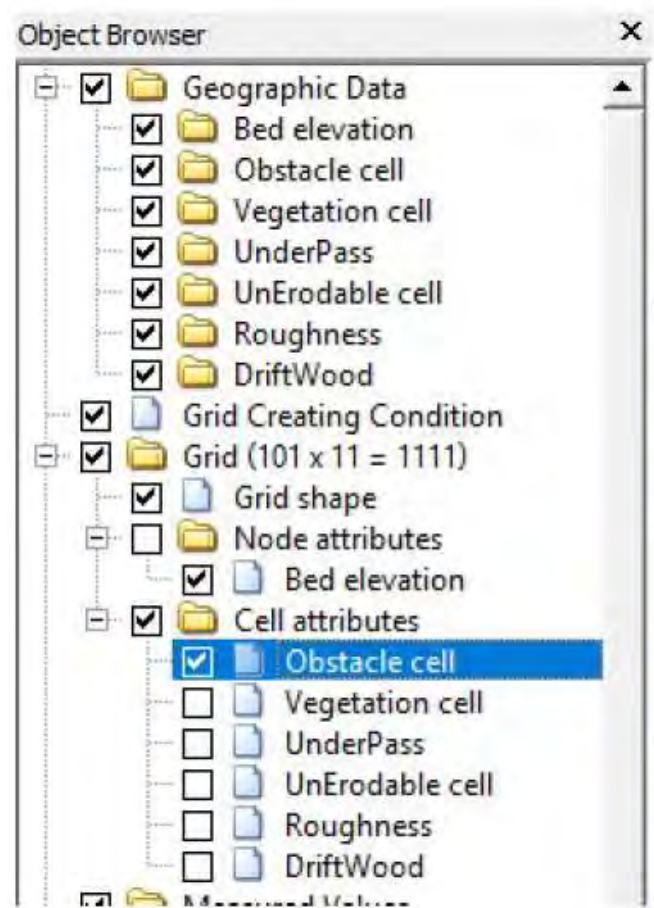
2. 2. 3. Način postavljanja prepreke

- *Postavljanje prepreke pomoću „Bed elevation” opcije*



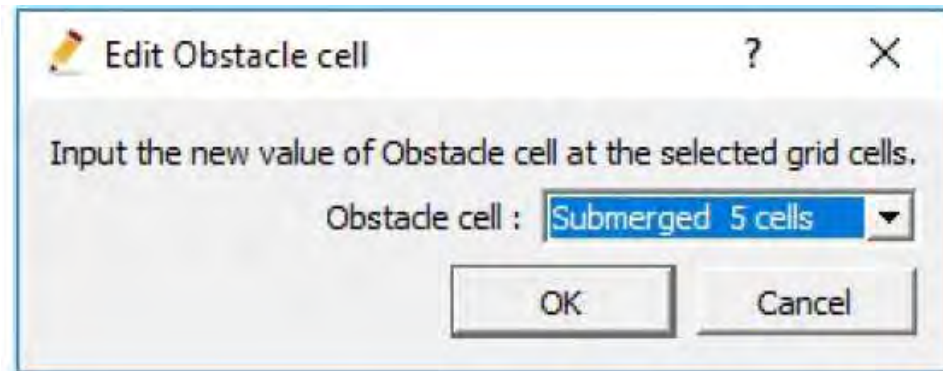
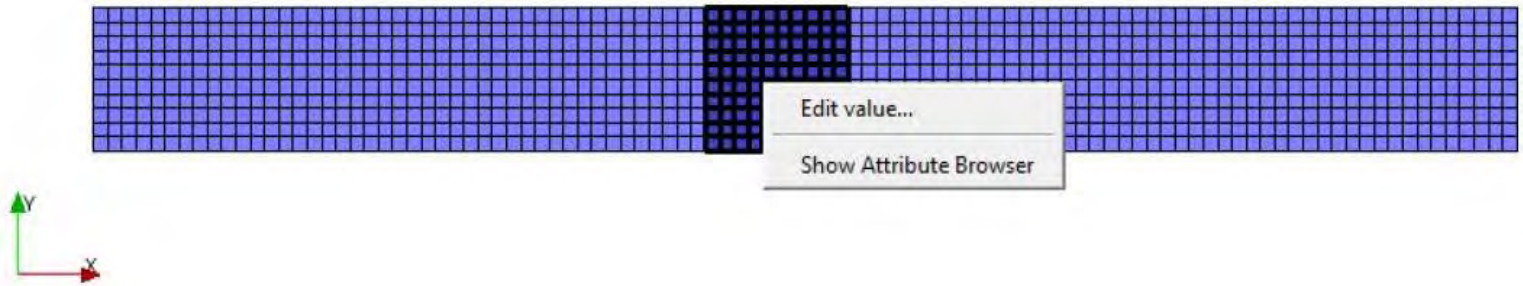
2. 2. 3. Način postavljanja prepreke

- *Postavljanje prepreke pomoću „Obstacle” opcije*



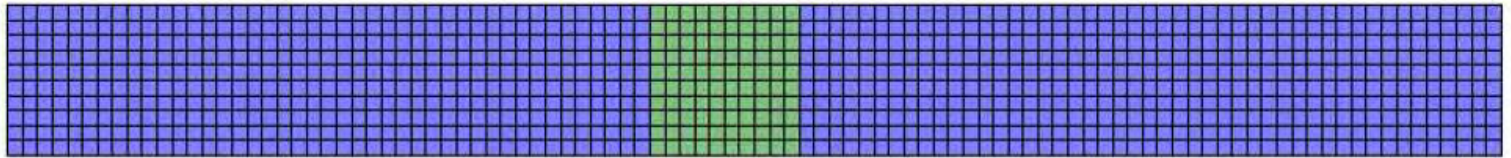
2. 2. 3. Način postavljanja prepreke

- *Postavljanje prepreke pomoću „Obstacle” opcije*



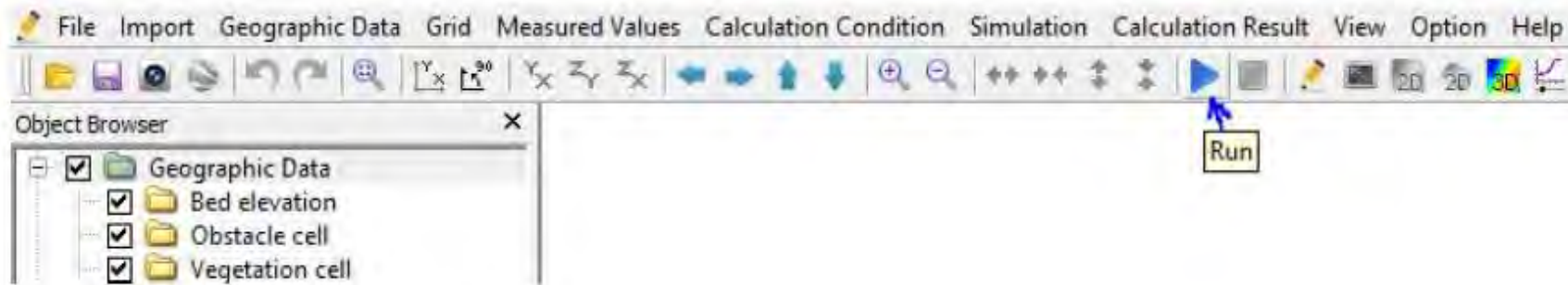
2. 2. 3. Način postavljanja prepreke

- *Postavljanje prepreke pomoću „Obstacle” opcije*

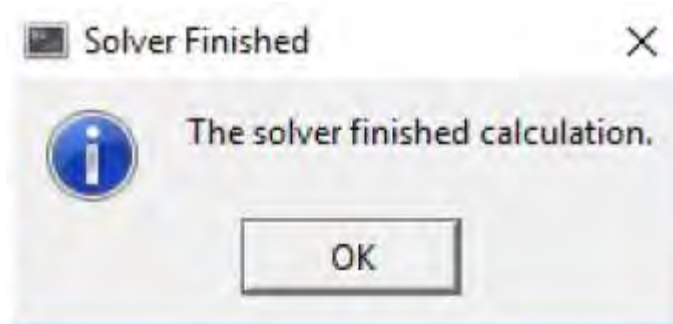


2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Da bismo pokrenuli proračun, potrebno je kliknuti na „play” ikonicu.

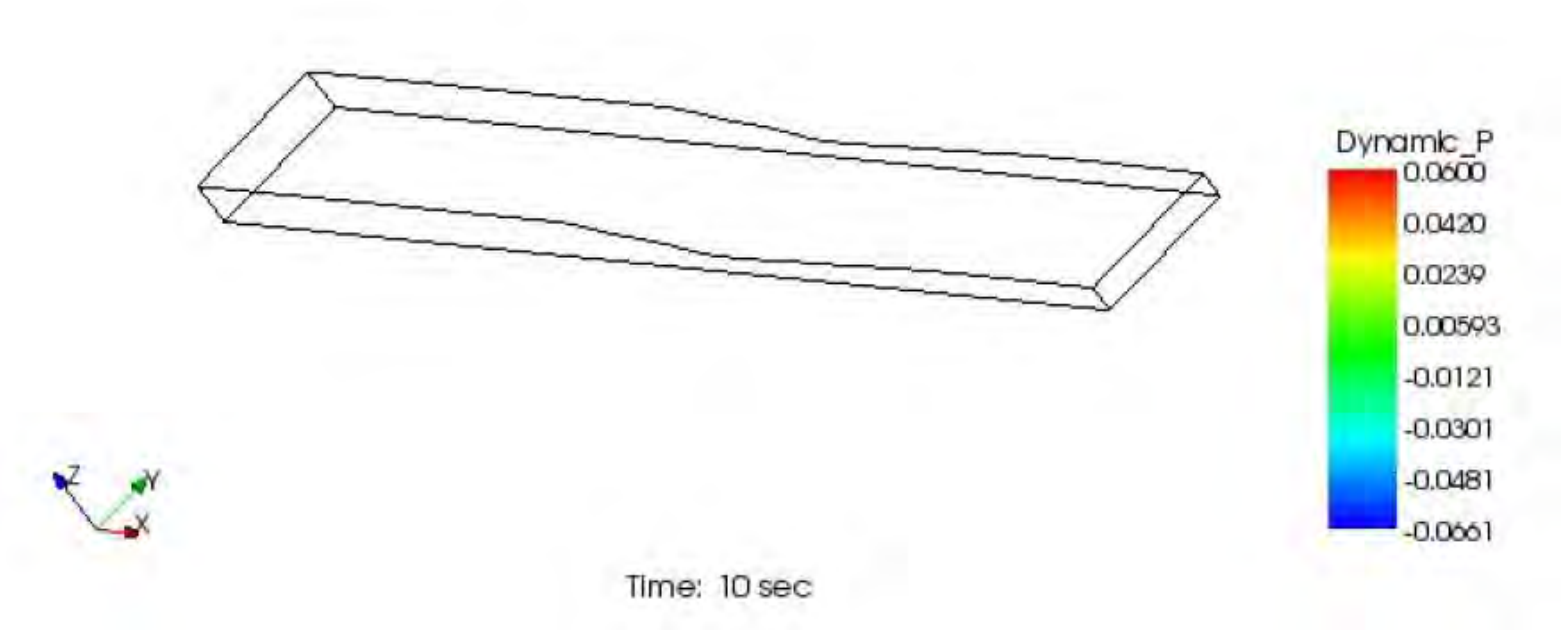


- Nakon toga nas solver obavještava kada je proračun završen.



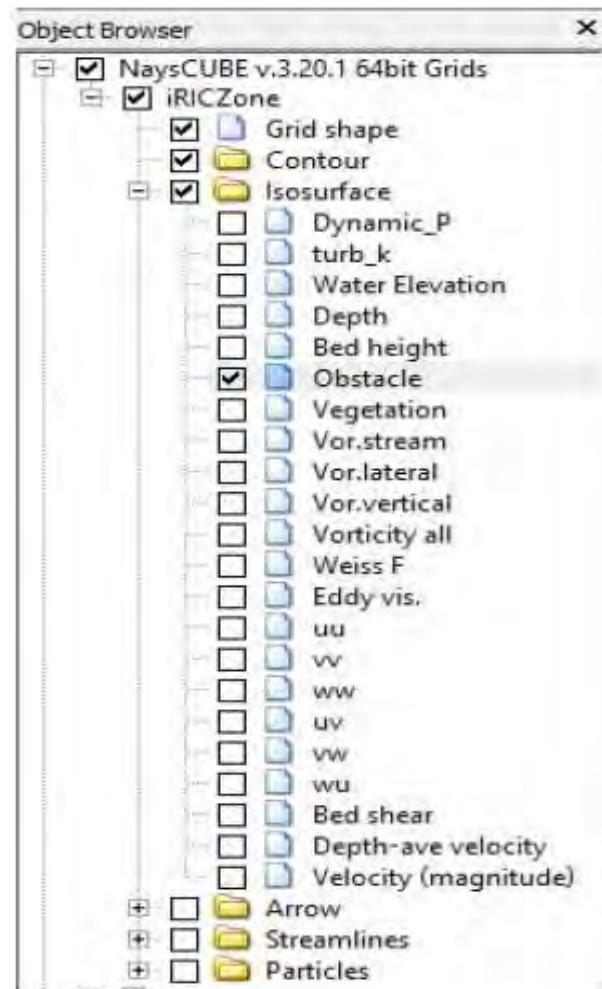
2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Potom nam se otvara novi prozor koji nam omogućuje uvid u 3D prikaz kanala



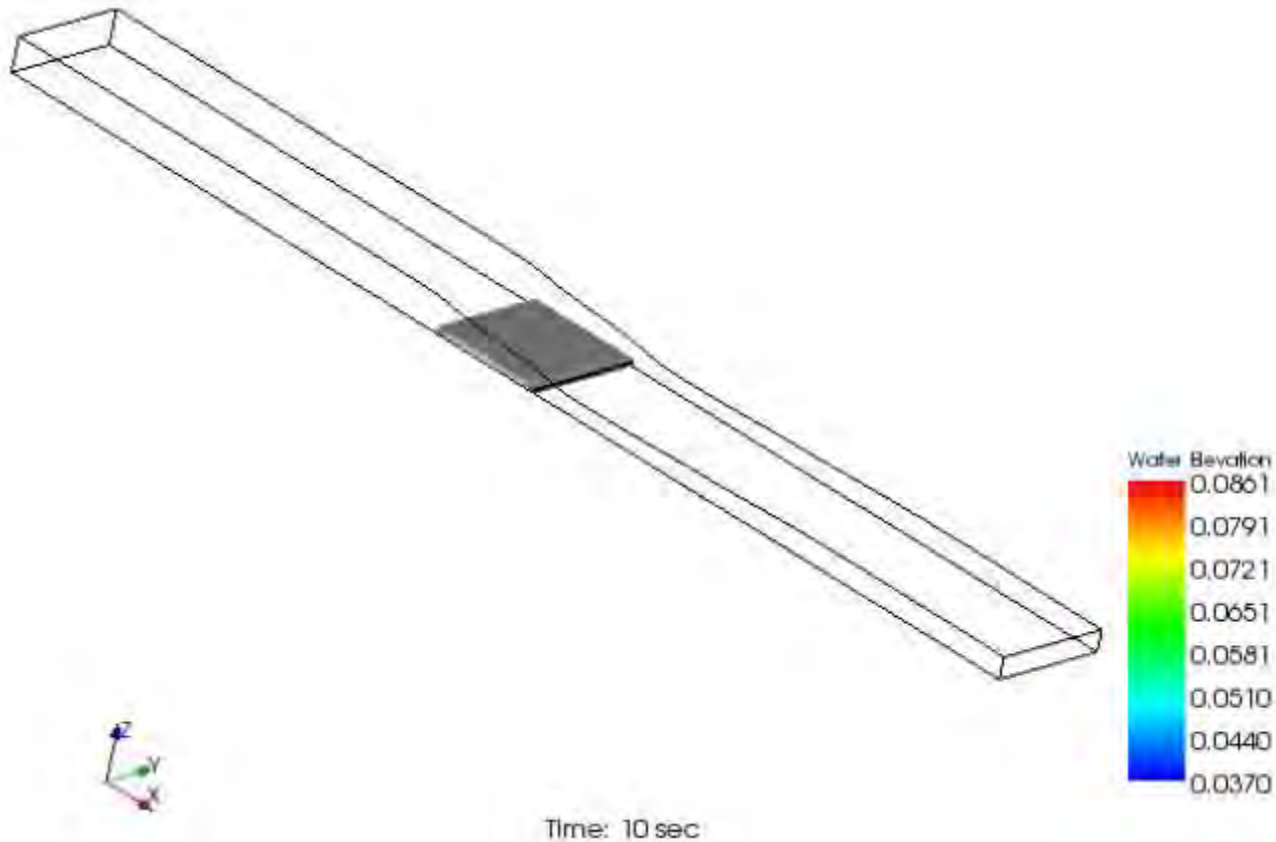
2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Na početku možemo prikazati prepreku



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

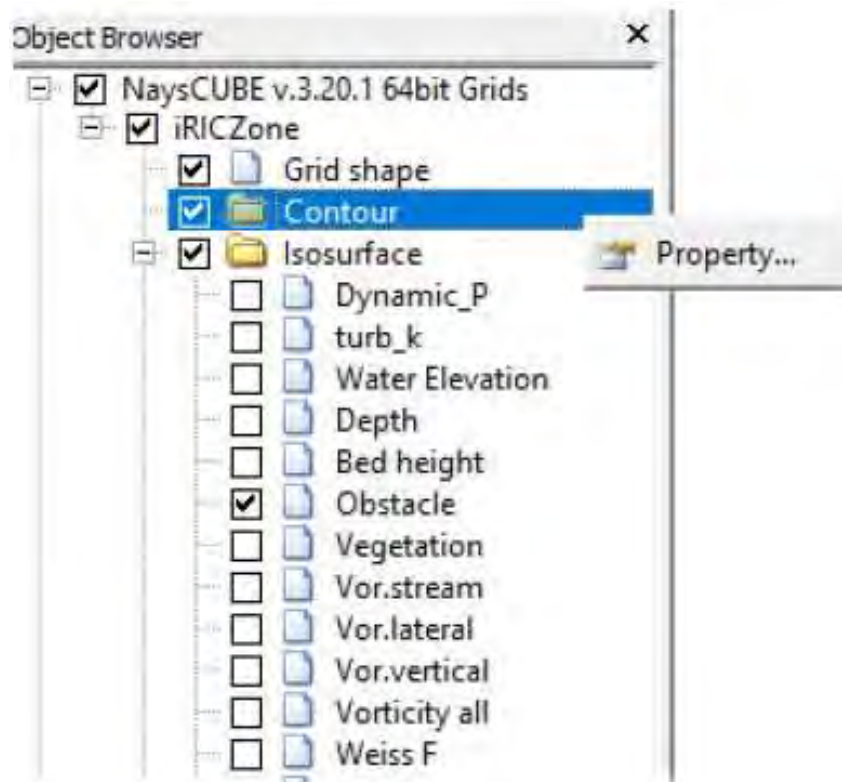
- Zatim će se nam solver prikazati prepreku



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- *Nivo vode (Water elevation):*

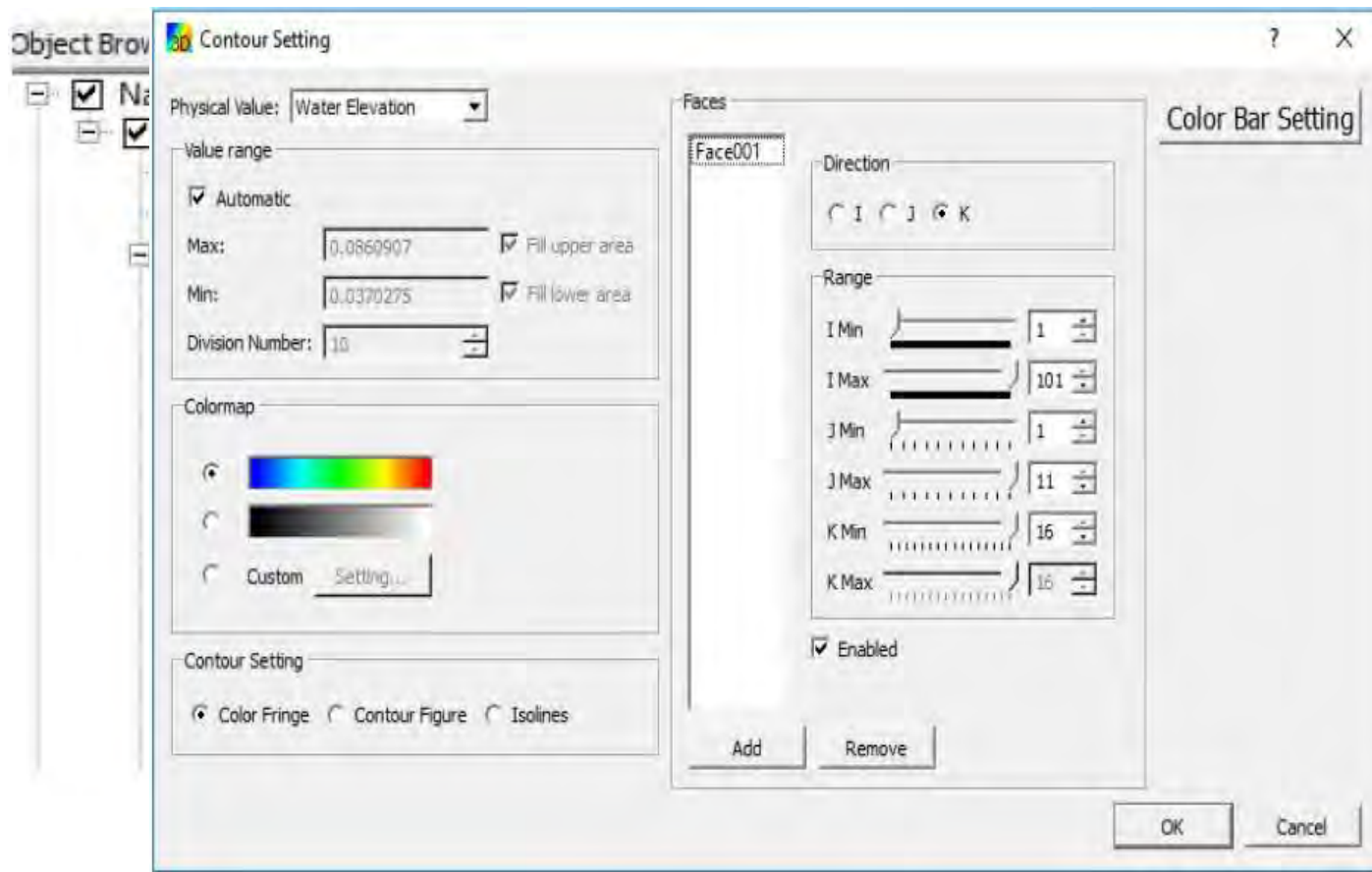
Nivo vode u kanalu možemo videti u bilo kom preseku želimo (x, y ili z pravcu).



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- *Nivo vode (Water elevation):*

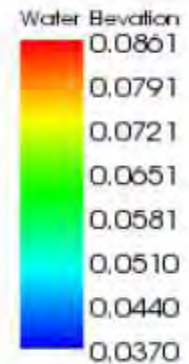
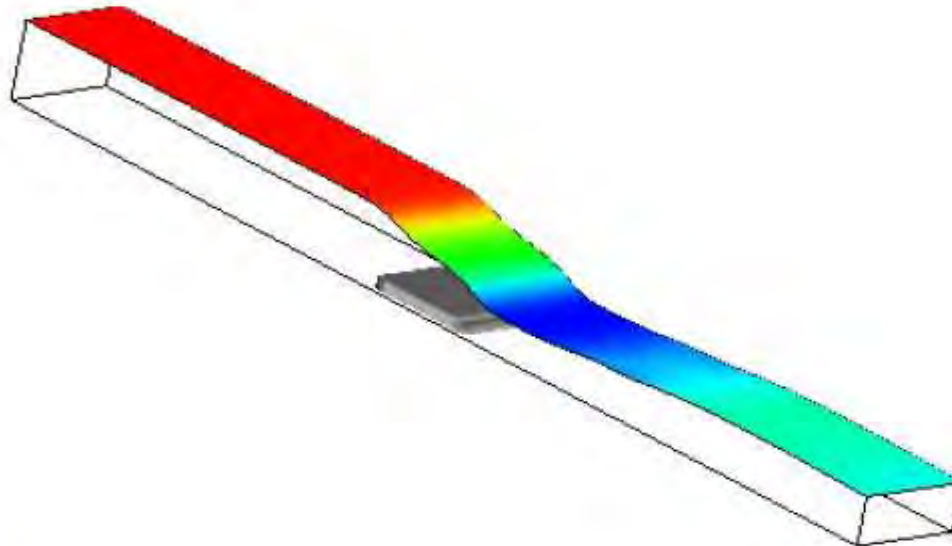
Nivo vode u kanalu možemo videti u bilo kom preseku želimo (x, y ili z pravcu).



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- *Nivo vode (Water elevation):*

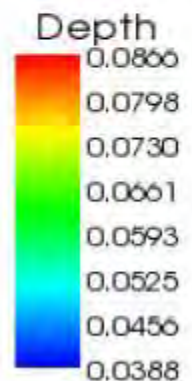
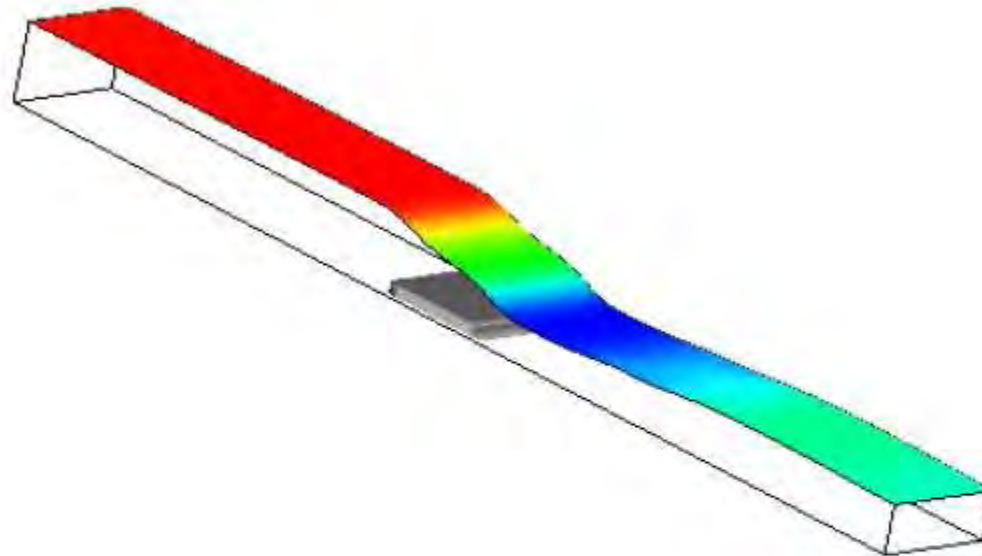
Nivo vode u kanalu možemo videti u bilo kom preseku želimo (x, y ili z pravcu).



Time: 10 sec

2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

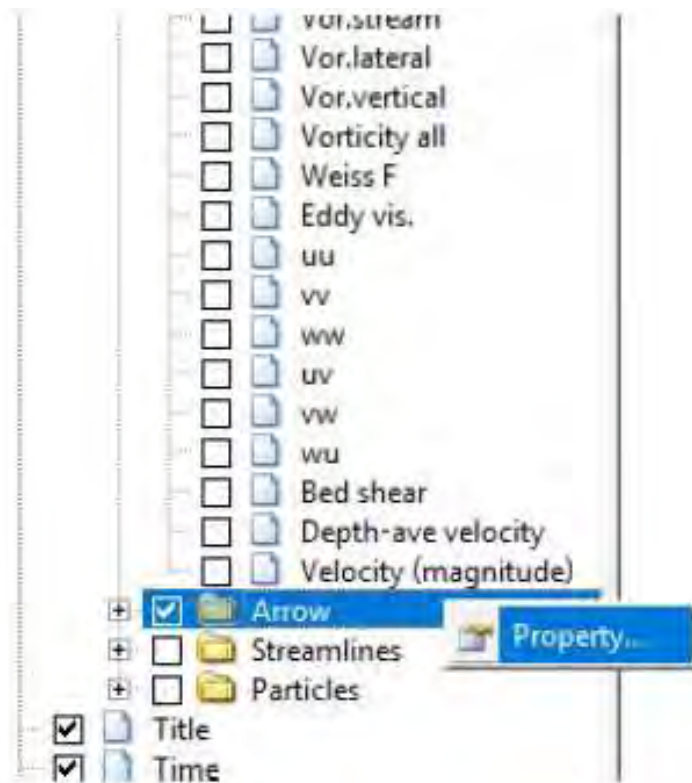
- *Dubina vode (Depth):*
- Isto kao što je i u prethodnom primeru objašnjeno, možemo ponoviti i za Dubinu vode.



Time: 10 sec

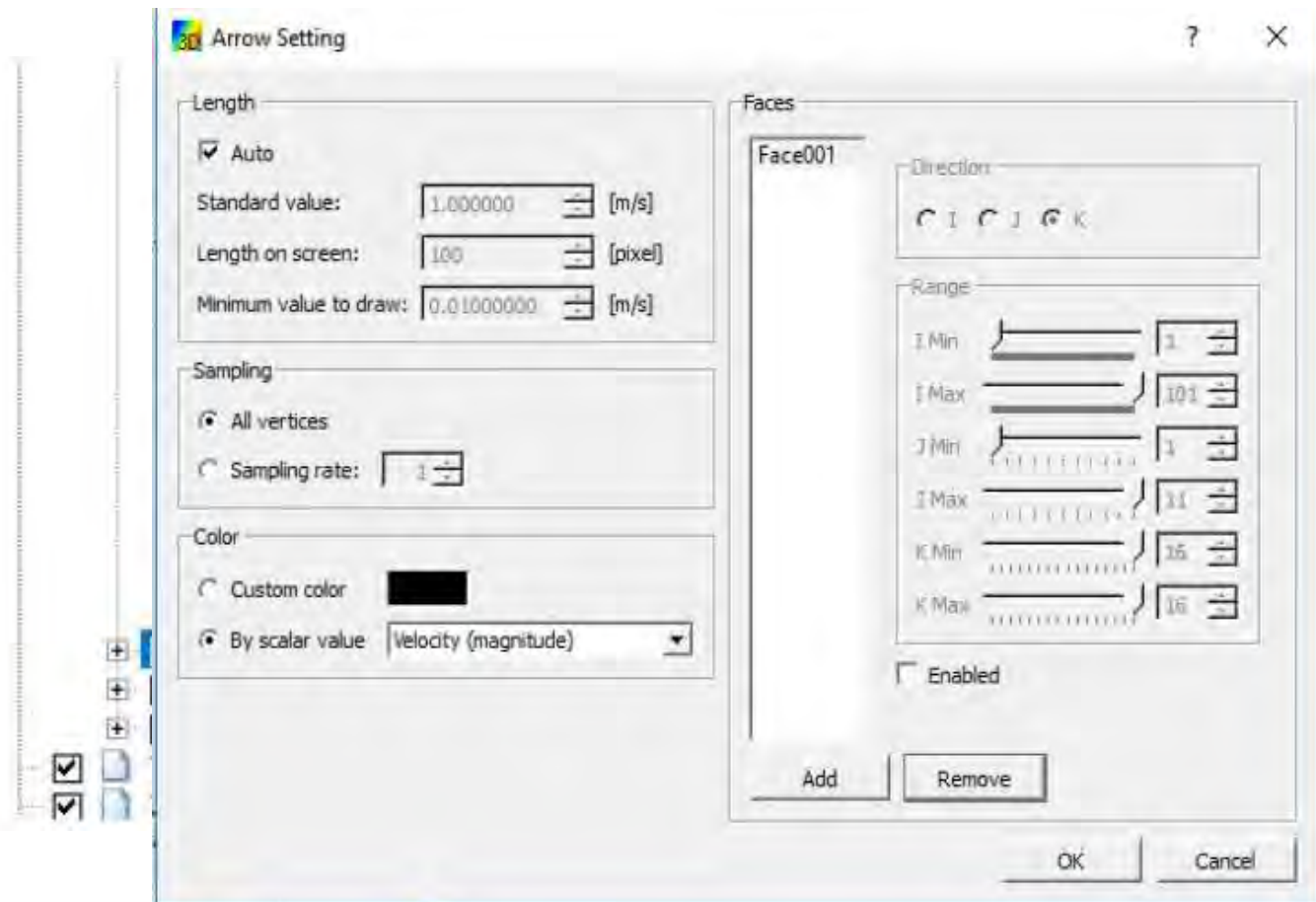
2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:
 - 1) Vektore kretanja vode (Arrow):



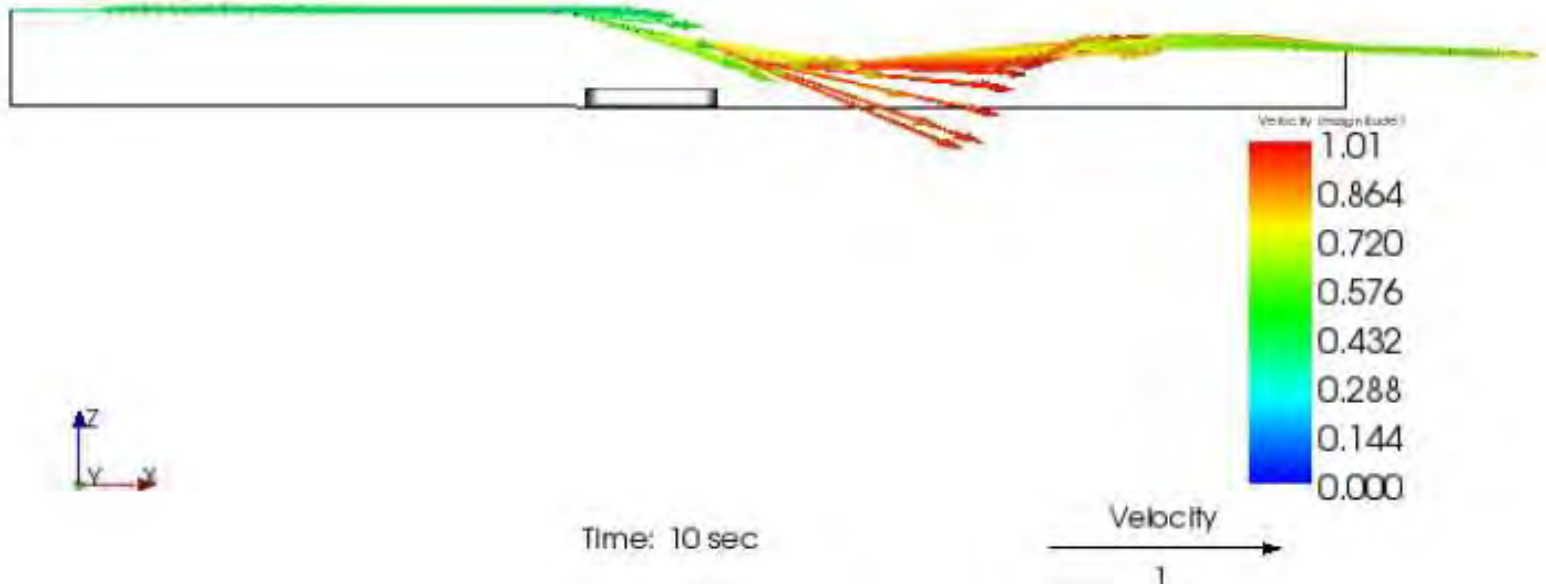
2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:
 - 1) Vektore kretanja vode (Arrow):



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

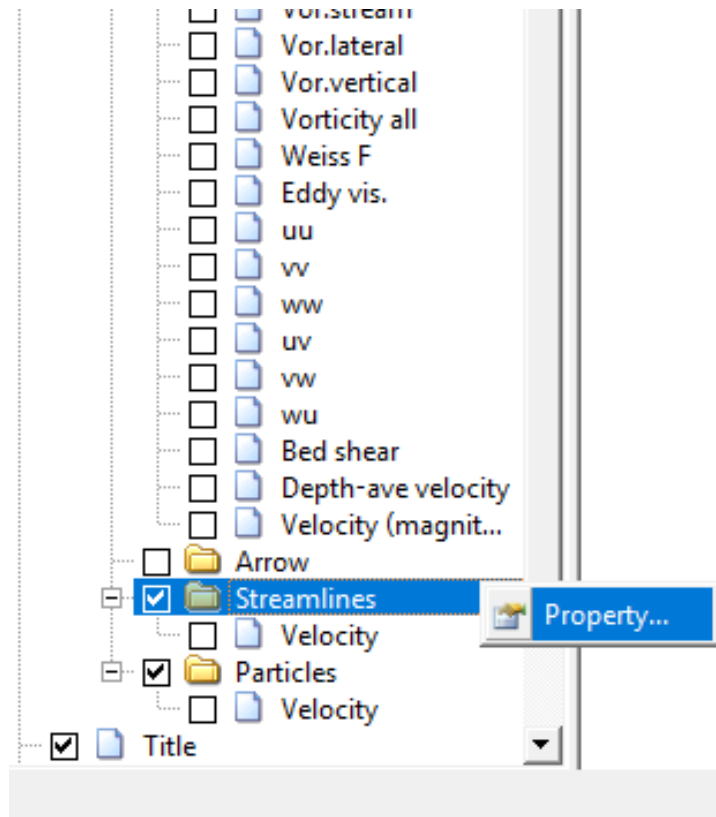
- Takođe, možemo prikazati još i:
1) Vektore kretanja vode (Arrow):



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:

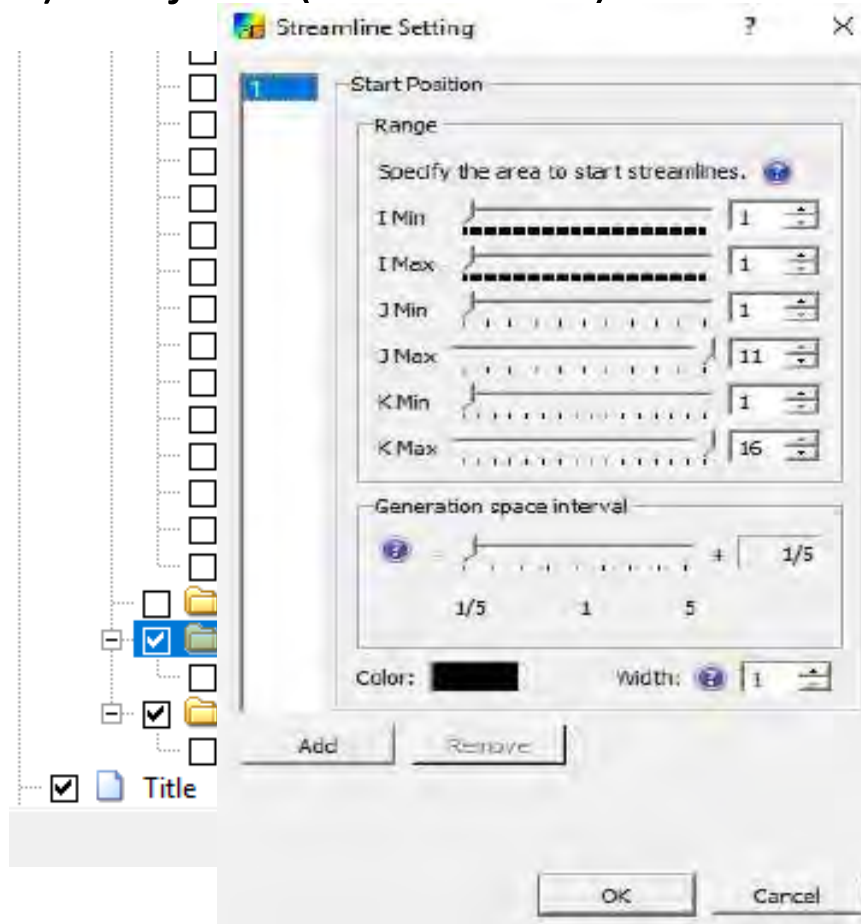
2) Strujnice (Streamlines):



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:

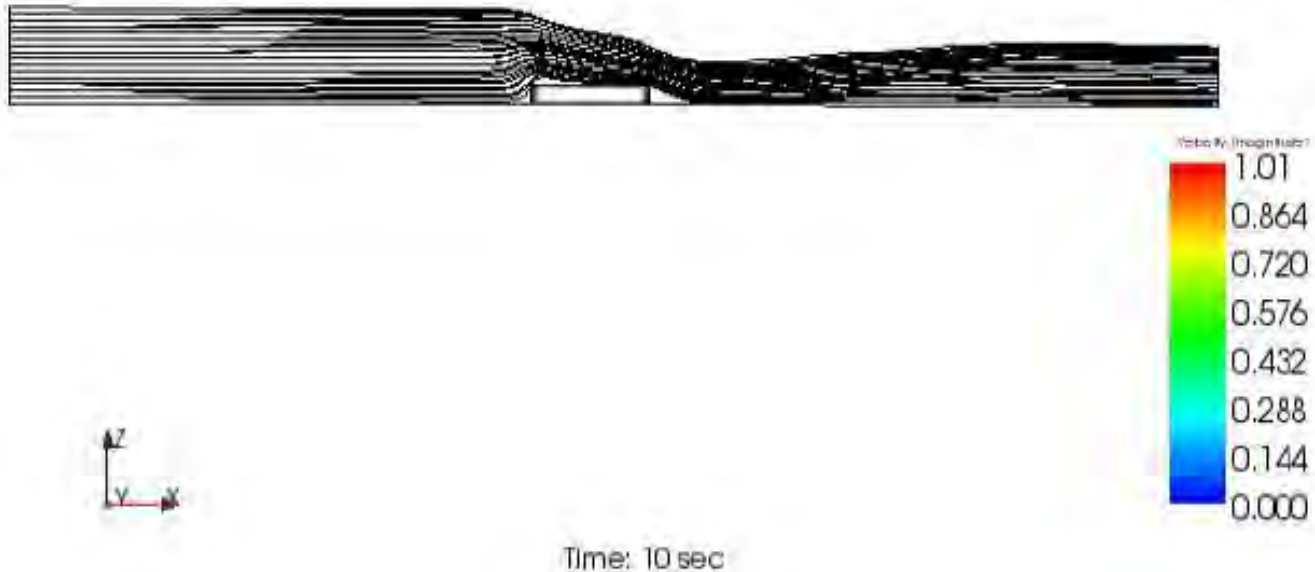
2) Strujnice (Streamlines):



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:

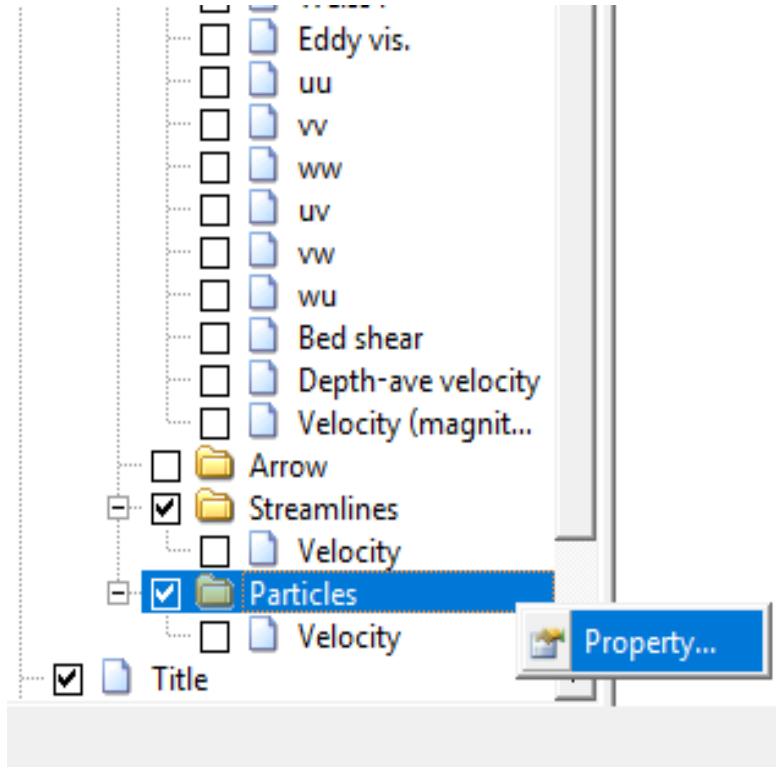
2) Strujnice (Streamlines):



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:

3) Kretanje čestica (Particles):



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, možemo prikazati još i:

3) Kretanje čestica (Particles):

The image shows a software interface with a file tree on the left and a 'Particle Setting' dialog box on the right.

File Tree (Left):

- Eddy vis.
- uu
- vv
- ww
- uv
- vw
- wu
- Bed shear
- Depth-av
- Velocity (
- Arrow
- Streamlines
- Particles
- Velocity
- Title

Particle Setting Dialog Box (Right):

Common Settings

Generation time interval: (range: 1/5 to 5)

Start Position

Range: Specify the areas to generate particles.

Parameter	Min	Max
I	1	1
J	1	1
K	1	1
L	1	11
M	1	1
N	1	15

Generation space interval: (range: 1/5 to 5)

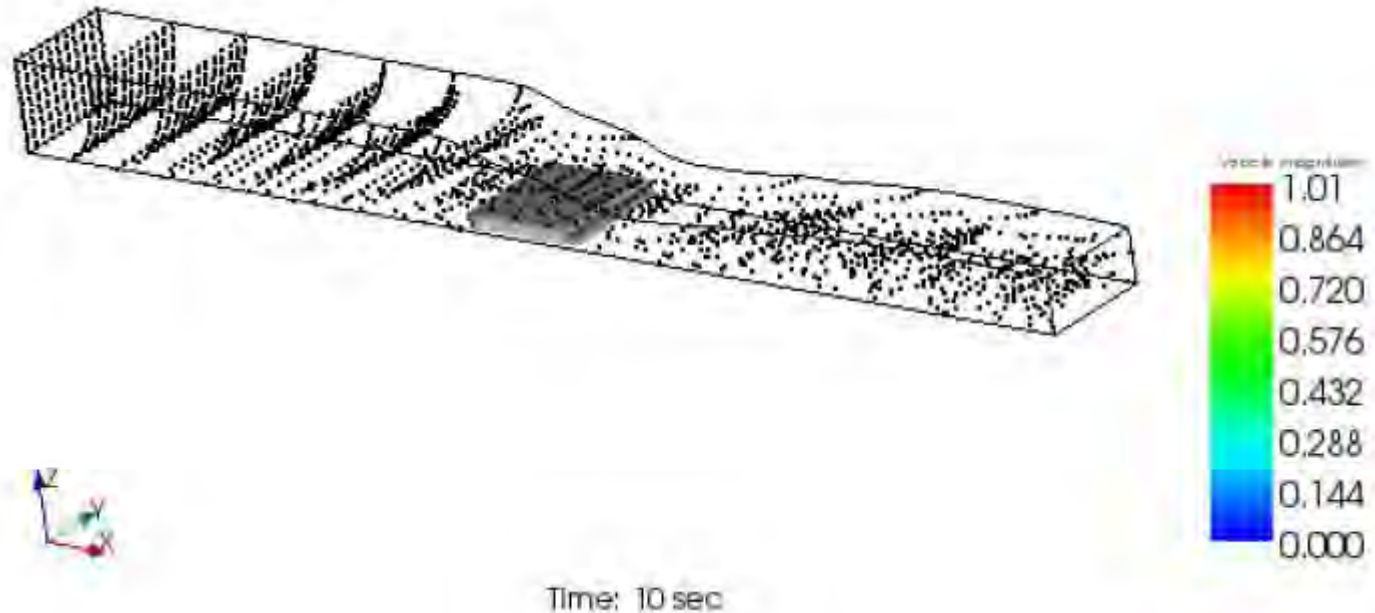
Color: Size:

Buttons: Add, Remove, OK, Cancel

2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

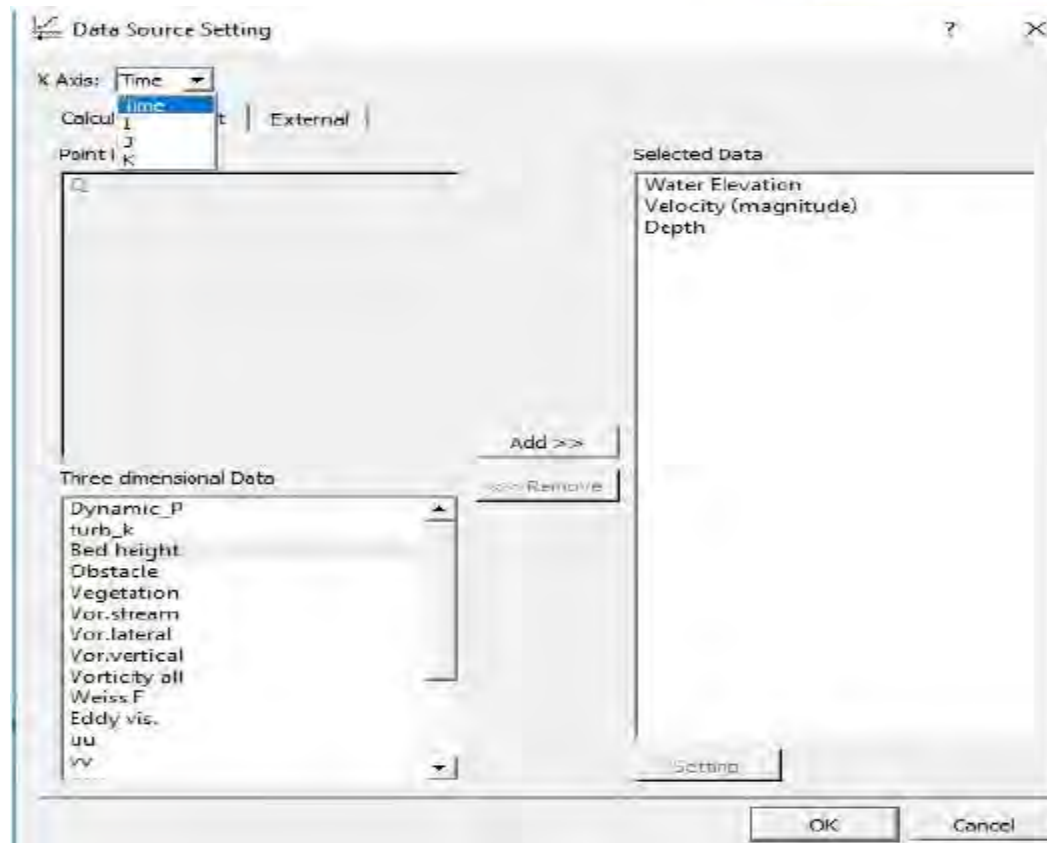
- Takođe, možemo prikazati još i:

3) Kretanje čestica (Particles):



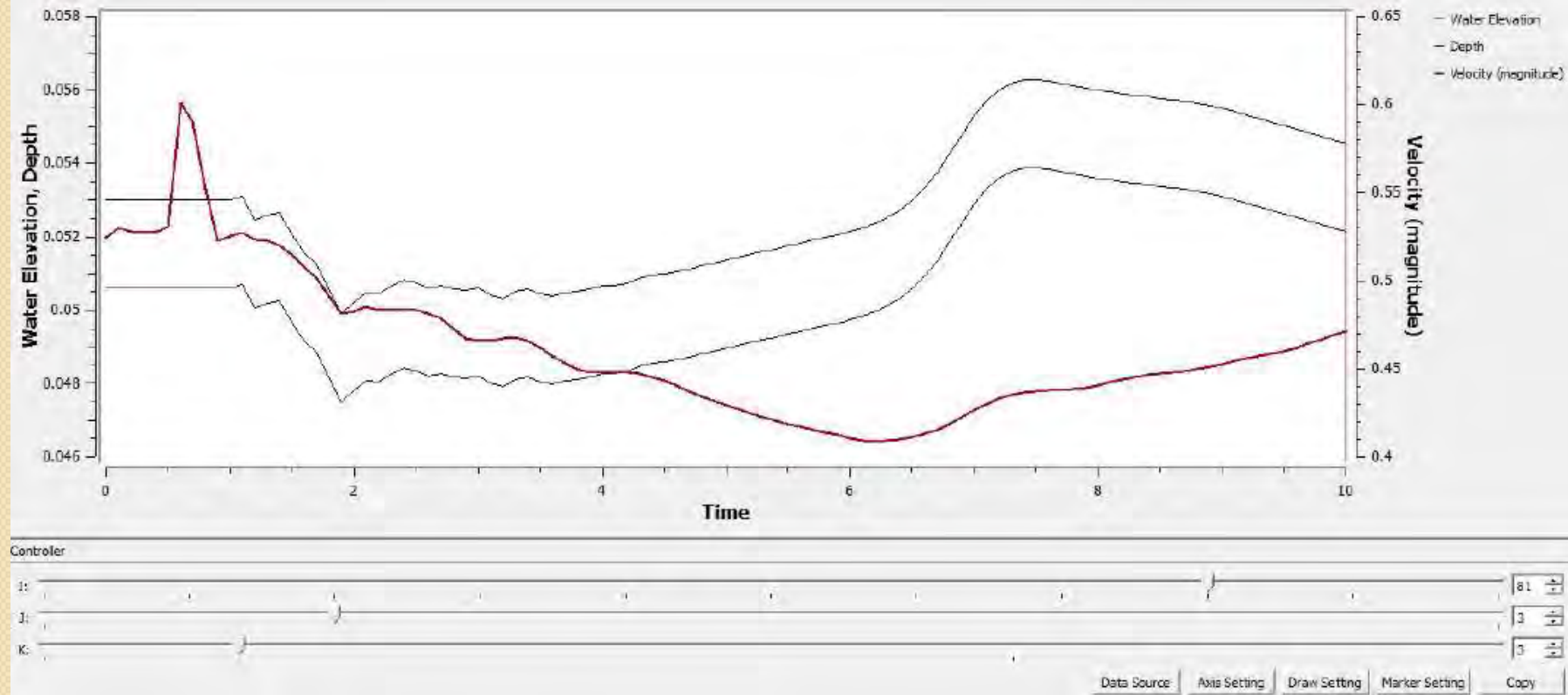
2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, moguće je prikazivati rezultate i grafički.



2. 2. 4. Način prikazivanja podataka i rezultata

- Takođe, moguće je prikazivati rezultate i grafički.





3. Primeri

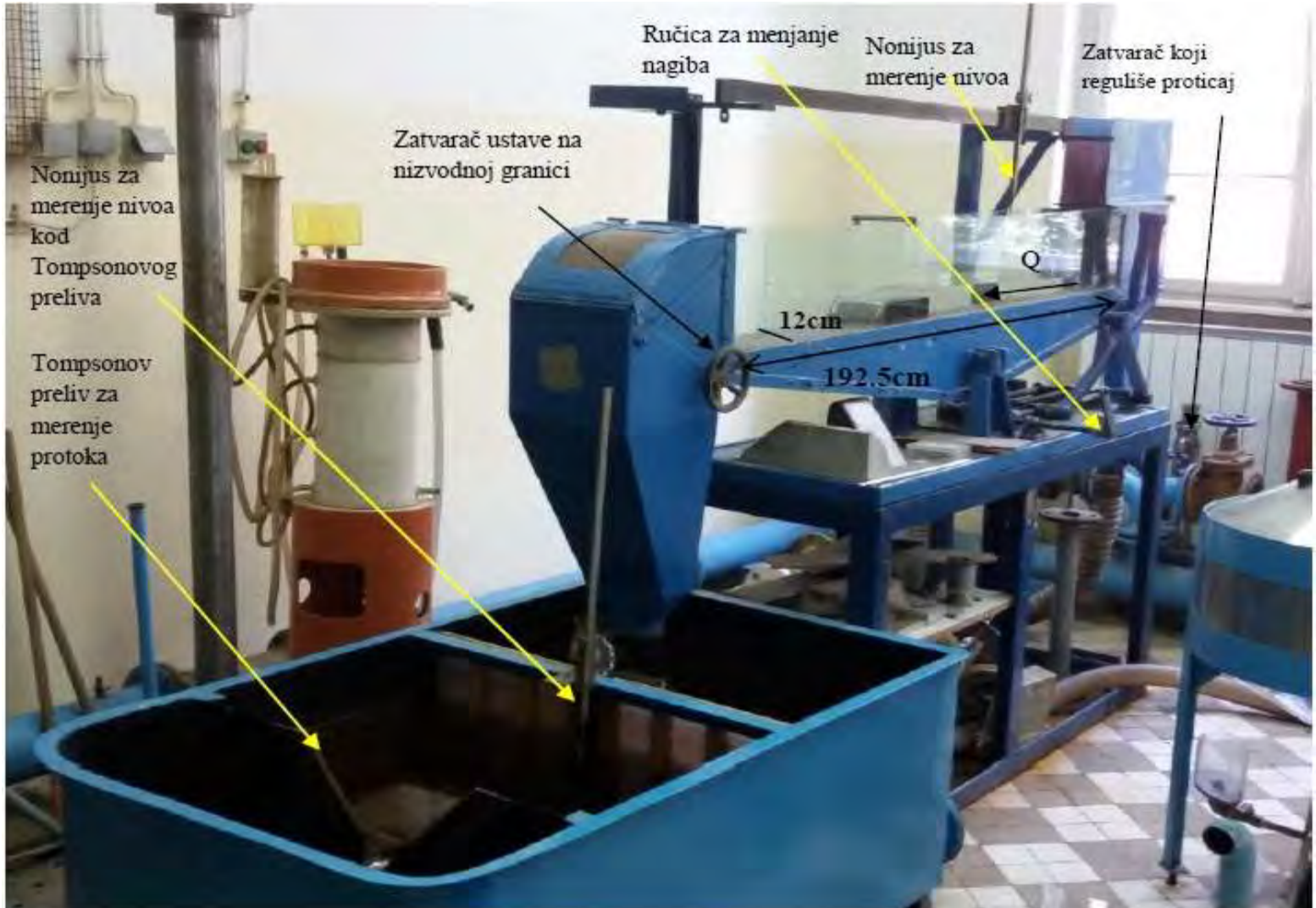
3. 1. Prelivanje preko širokog praga
3. 2. Preliv praktičnog profila
3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka
3. 4. Trogaoni preliv

3. Primeri

Tema master rada je modeliranje tečenja primenom NaysCUBE solver, odnosno rešenje CFD modela, ali moramo proveriti proračune i rešenja sa stvarnim fizičkim modelom. Zbog toga su u laboratorijskom kanalu formirani određeni uslovi koje možemo simulirati kasnije u NaysCUBE solveru.

U nastavku je objašnjen laboratorijski kanal i ispitani primeri sa različitim preprekama.

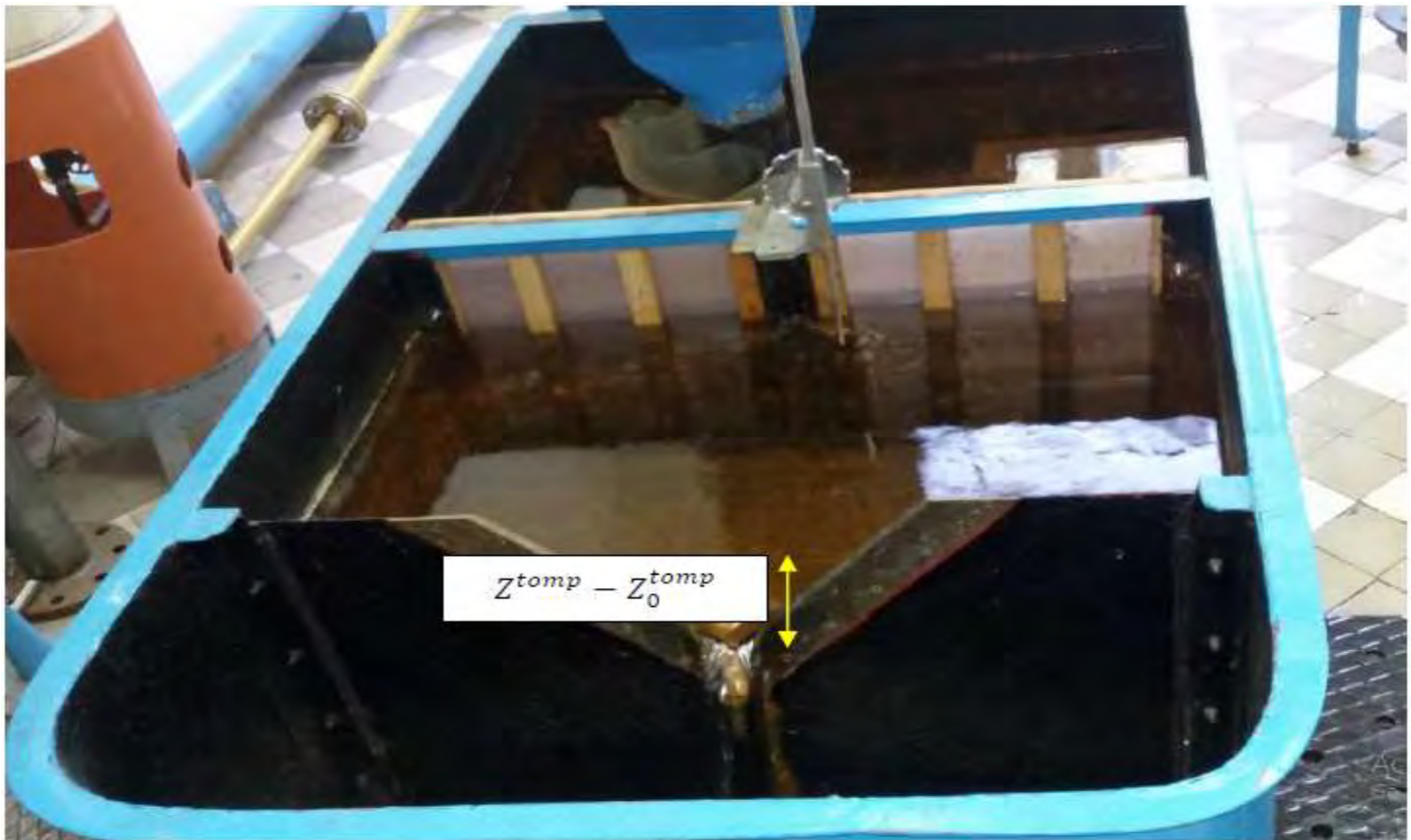
3. Primeri



3. Primeri

- Tompsonov preliv, koji služi za merenje proticaja, je definisan poznatom jednačinom:

$$Q = \frac{8}{15} m \sqrt{2g} (z^{tomp} - z_0^{tomp})^{\frac{5}{2}} \quad \left[\frac{m^3}{s} \right]$$



3. 1. Prelivanje preko širokog praga

- Široki prag je dimenzija ($L = 19.8\text{cm}$, $b = 12\text{cm}$, $P = 5\text{cm}$).
- Široki prag je pravougaona prepreka u dnu toka, čija je dužina oko 3 do 5 puta veća od dubine na pragu, a visina praga treba da je približno jednaka visini prelivnog mlaza.

3. 1. Prelivanje preko širokog praga



- Širok prag je lokalni objekat i računa se pomoću energetske jednačine:

- za preseke 1 i 2 (uzvodno od praga i na pragu):

$$E_1 + E_2 = \Delta E_{1-2} \quad \Rightarrow \quad h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = P + h_2 + (1 + \xi_1) \frac{V_2^2}{2g}$$

- za preseke 2 i 3 (na pragu i nizvodno od praga):

$$E_2 + E_3 = \Delta E_{2-3} \quad \Rightarrow \quad P + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = h_3 + (1 + \xi_2) \frac{V_3^2}{2g}$$

3. 1. Prelivanje preko širokog praga

- Lokalni gubici ξ_1 i ξ_2 nisu isti.
- Dakle, postavljanjem praga, uzvodno se formira linija uspora, a nizvodno dolazi do burnog režima. Da li će se formirati hidraulički skok (prelazak iz burnog u miran režim) ili će cela nizvodna deonica biti u burnom režimu, zavisi od odnosa dubina.
- Ukoliko su nizvodne dubine velike i potope hidraulički skok, nizvodni uticaj će se preneti preko praga u uzvodni deo kanala. Na pragu se neće više ostvarivati kritična dubina, već sada prag postaje „mala” prepreka.

3. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



3. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Sa hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.53cm$



3. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

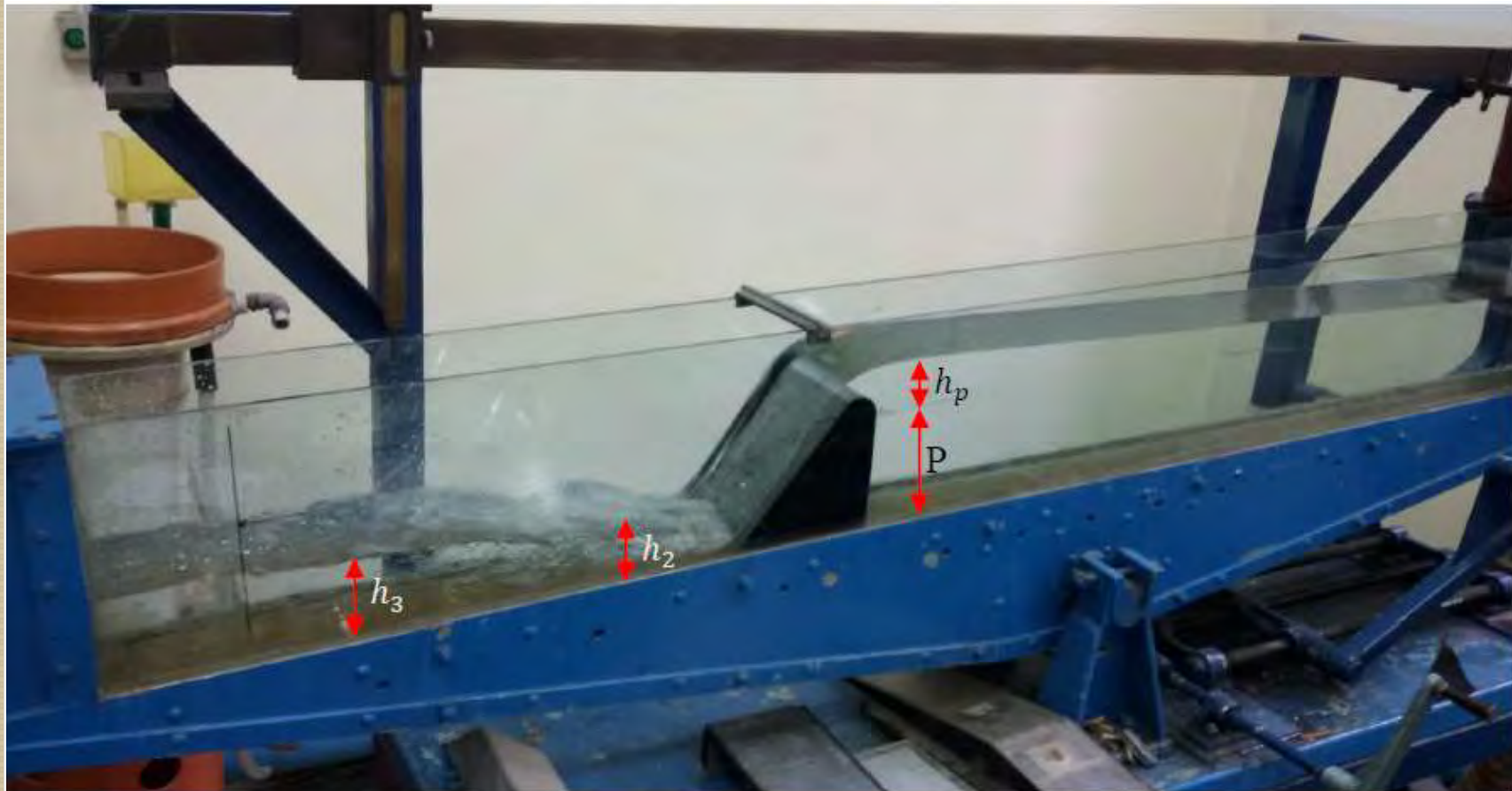
$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Za ovaj slučaj prag je potopljen pri nizvodnog graničnog uslovu
– $H_{niz} = 9.79\text{cm}$.

3. 2. Preliv praktičnog profila

- Preliv praktičnog profila je dimenzija: Visina preлива $P = 15.1\text{cm}$, dužine $L = 14.5\text{cm}$, $b = 12\text{cm}$.



3. 2. Preliv praktičnog profila



- Bernulijeva jednačina za preseke „1” i „2” je:

$$P + h_p + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta E_{1-2},$$

gde je ΔE_{1-2} - gubitak energije po jedinici težine između preseka „1” i „2”, odnosno:

$$\Delta E_{1-2} = \xi_p \frac{V_2^2}{2g}.$$

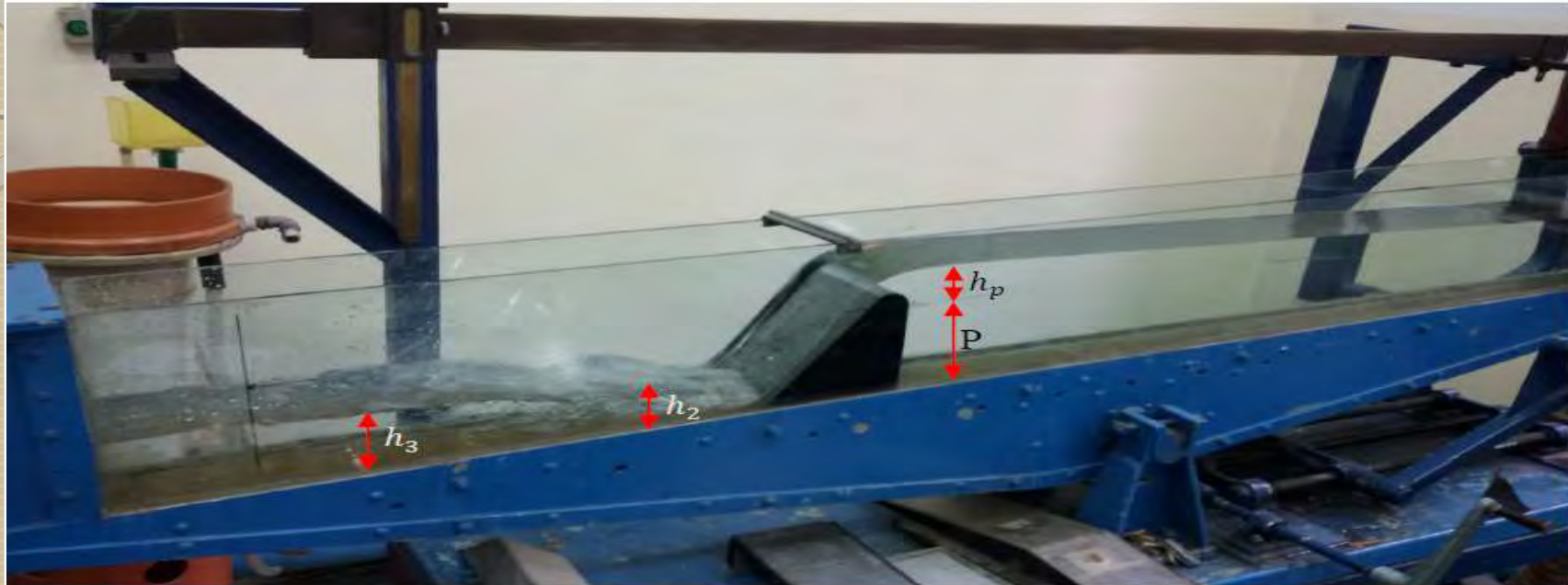
3. 2. Preliv praktičnog profila



- Zanemarenjem brzinske visine u preseku „1” ($\frac{v_1^2}{2g} = 0$, zbog veće površine u odnosu na slapište) prethodna jednačina postaje:

$$P + h_p - h_2 = (1 + \xi_p) \frac{v_2^2}{2g}$$

3. 2. Preliv praktičnog profila



- U preseku „2” tečenje je burno (silovito), a u nizvodnom preseku „3” mirno, jer se između preseka javlja hidraulički skok. Dubini h_2 odgovara konjugovana (spregnuta) dubina h'_2 koja se računa:

$$h'_2 = \frac{h_2}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_k}{h_2} \right)^3} - 1 \right]$$

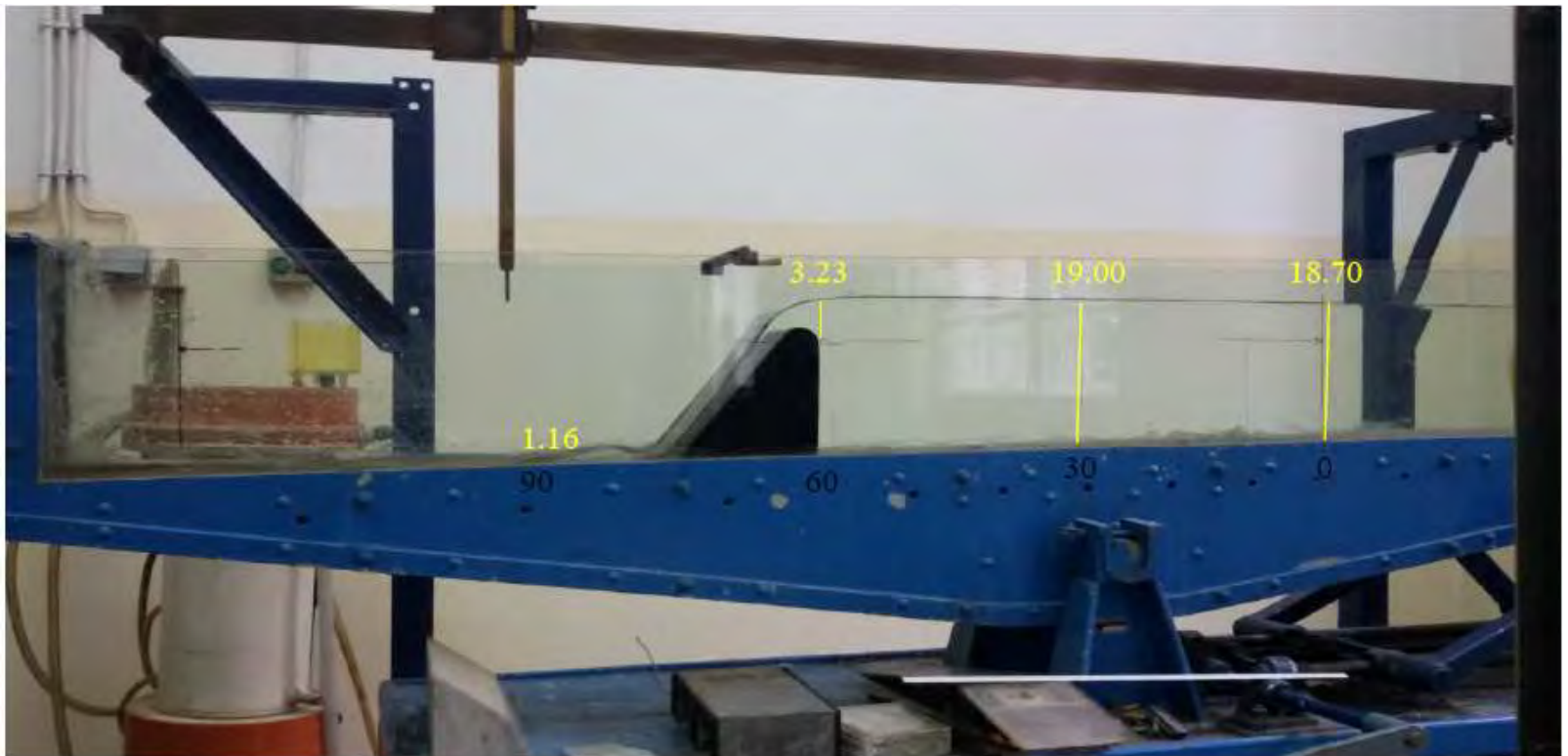
3. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



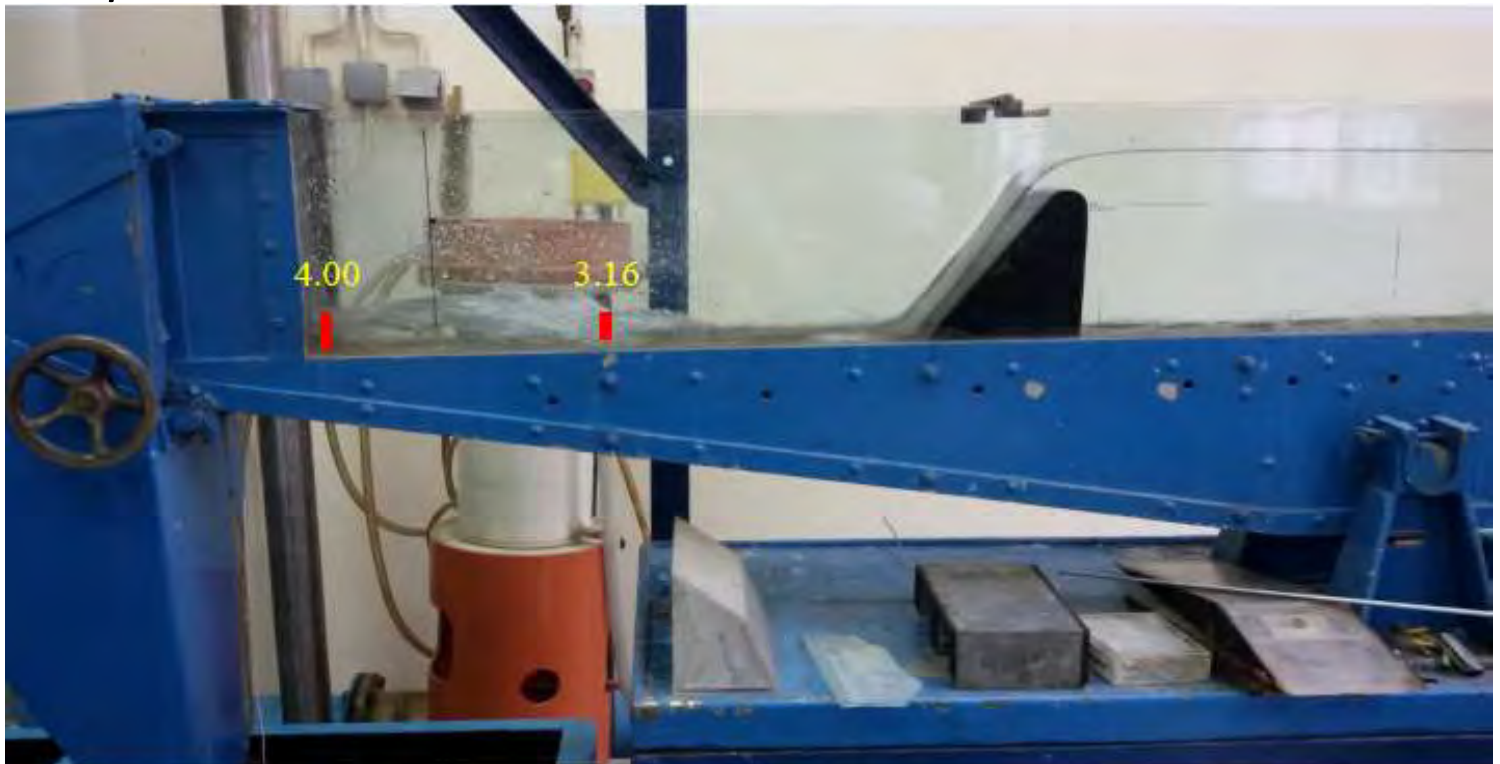
3. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 4cm$.



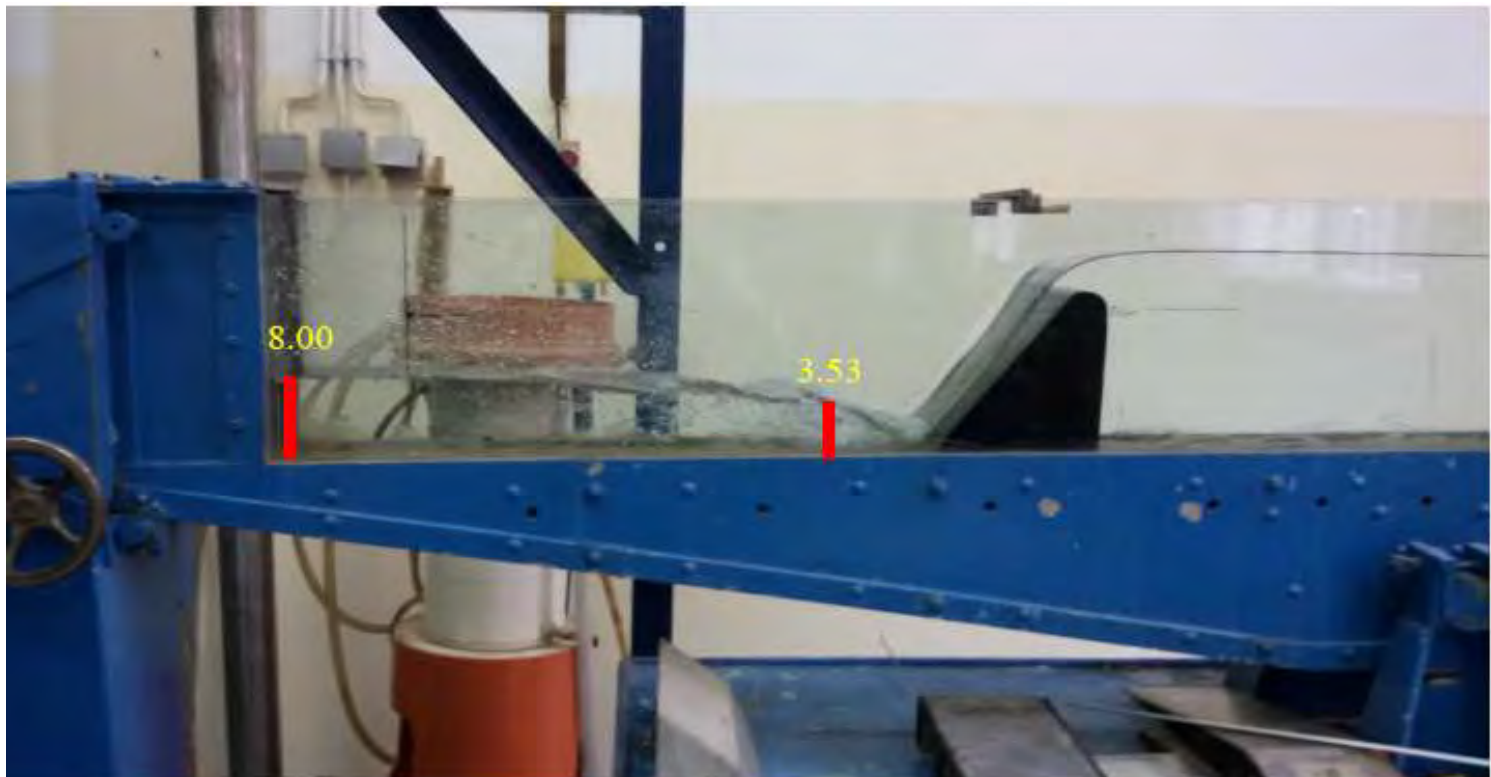
3. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

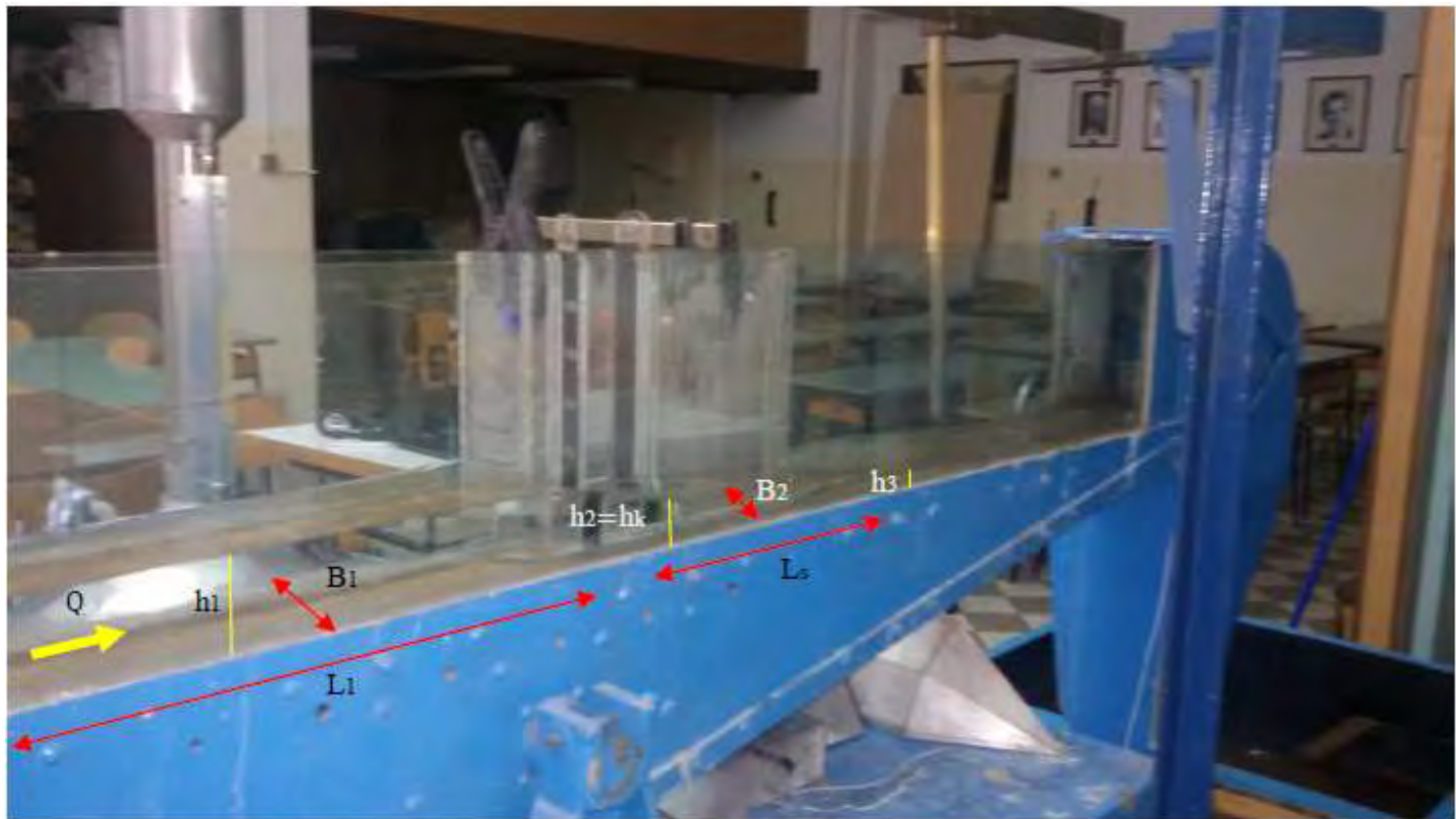
$$I_k = 1.3\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 8cm$.



3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

- Merno suženje je dimenzija: Dužina suženja – $L_s = 31.2$ cm, Širina u suženju – $B_2 = 7.5$ cm.



3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

- U suženju kanala može biti nepotopljeno i potopljeno strujanje.
- *Nepotopljeno strujanje u suženju*
- Ako se u suženju ostvaruje kritična dubina, h_k , strujanje u suženju je nepotopljeno. U tom slučaju postoji jednoznačna veza između dubina u preseku „1”, h_1 , i u preseku „2”, h_k , tj. protok se dobija merenjem samo jedne dubine h_1 , jer važi zavisnost $Q = Q(h_1)$. Potrebno je zadovoljiti sledeće uslove:
 - Dužina deonice sa kritičnom dubinom, L_s , treba da zadovolji $L_s > 3 h_k$.
 - Prilazni kanal, gde se meri dubina vode, treba da bude dovoljno dugačak $L_1 > 2 h_1$, ili $L_1 > 1.5 B_1$.
 - Ulaz i izlaz iz suženja treba da ostvare postepenu promenu poprečnog preseka.

3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

- *Nepotopljeno strujanje u suženju*
- Bernulijeva jednačina za preseke „1” i „2” biće:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_k + (1 + \xi) \frac{V_k^2}{2g}$$

3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

- *Potopljeno strujanje u suženju*
- Uslov da je strujanje u suženju potopljeno je da u preseku „2” važi:

$$h_2 > h_k.$$

- Bernulijeva jednačina za preseke „1” i „2”, biće onda:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + (1 + \xi) \frac{V_2^2}{2g}$$

- Kod potopljenog strujanja je potrebno meriti dve dubine, a protok najviše zavisi od njihove razlike, što smanjuje tačnost merenja.

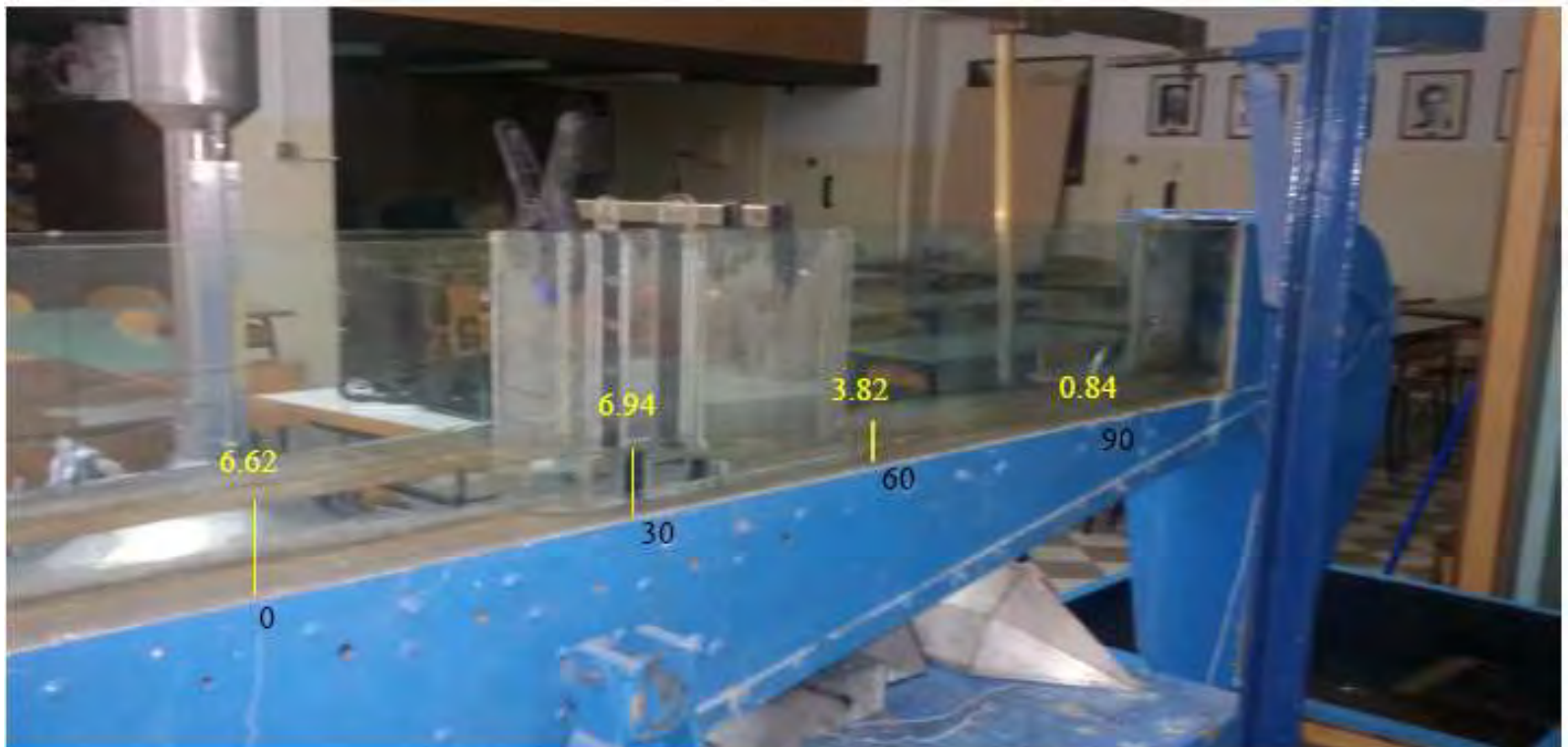
3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.0019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 5 \text{ cm}$.



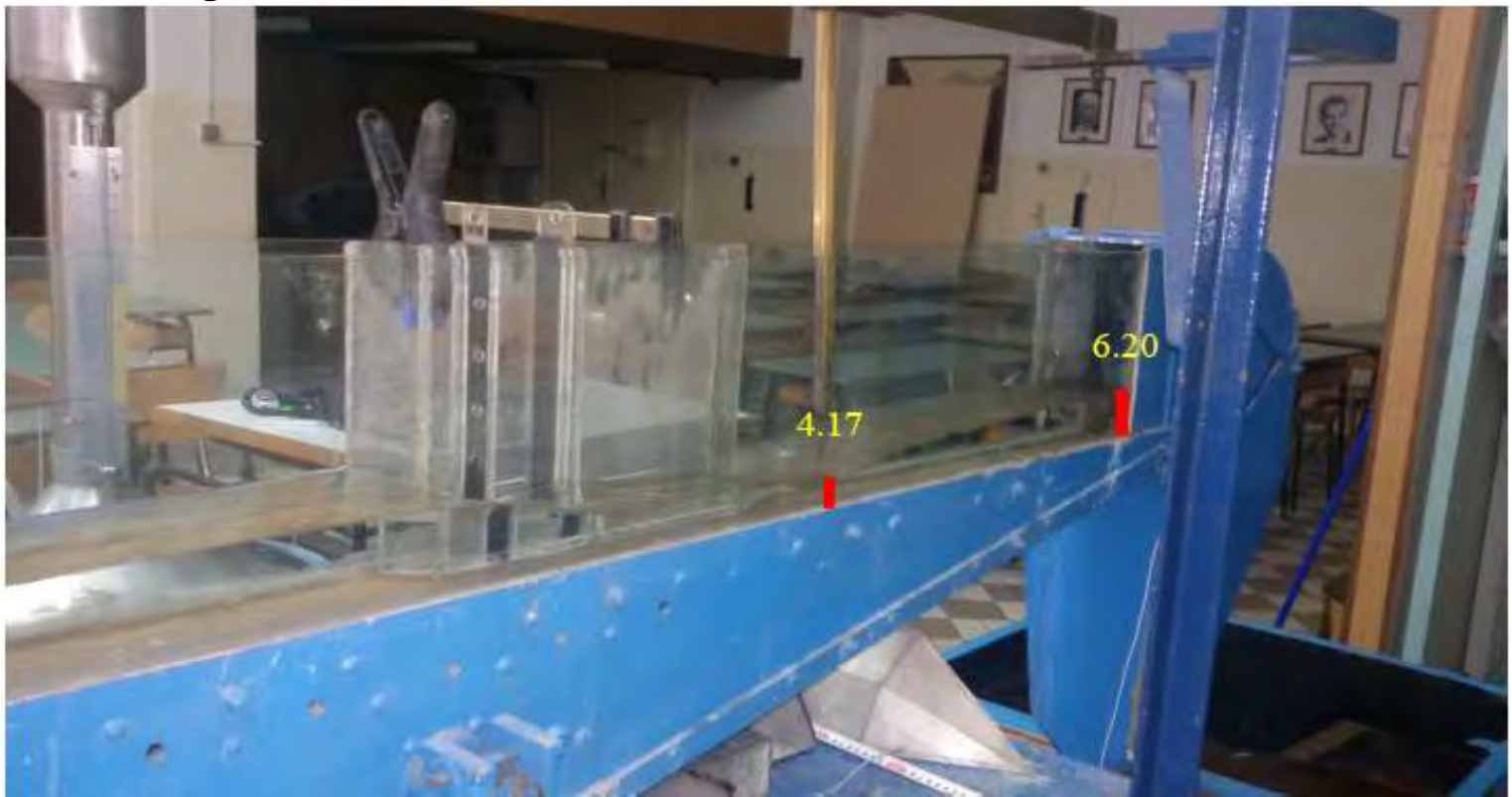
3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – Hniz = 6.2cm.



3. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Potopljeno suženje– $H_{niz} = 11.5cm$



3. 4. Trougaoni preliv

- Pored mernih suženja i širokih pragova, na kanalima se za merenje proticaja koriste i oštroični preliv.
- Bernulijeva jednačina će biti kao i u slučaju širokog praga.
- *za preseke 1 i 2 (uzvodno od praga i na pragu):*

$$E_1 + E_2 = \Delta E_{1-2} \quad \Rightarrow \quad h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = p + h_2 + (1 + \xi_1) \frac{V_2^2}{2g}$$

- *za preseke 2 i 3 (na pragu i nizvodno od praga):*

$$E_2 + E_3 = \Delta E_{2-3} \quad \Rightarrow \quad p + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} = h_3 + (1 + \xi_2) \frac{V_3^2}{2g}$$

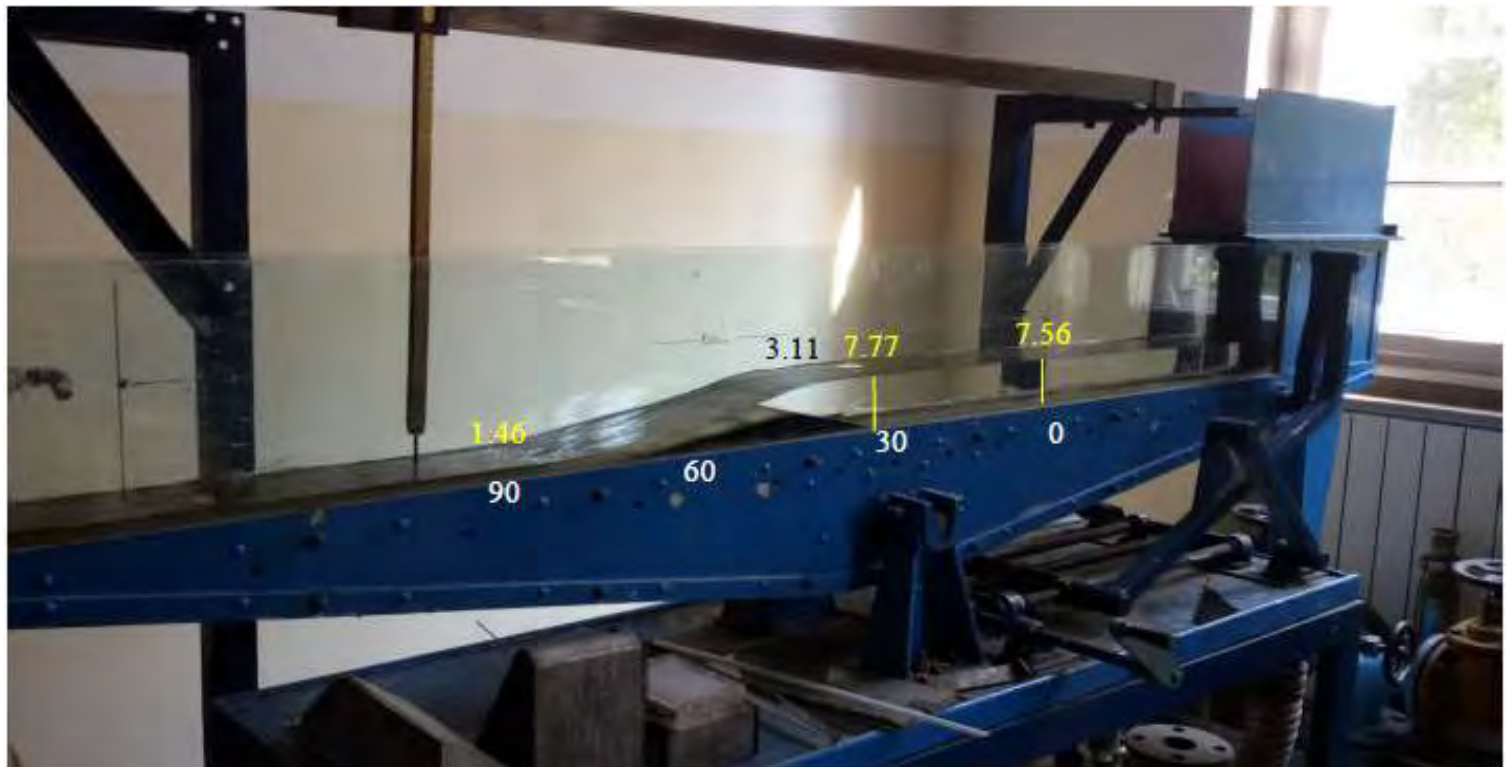
3. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.001747 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



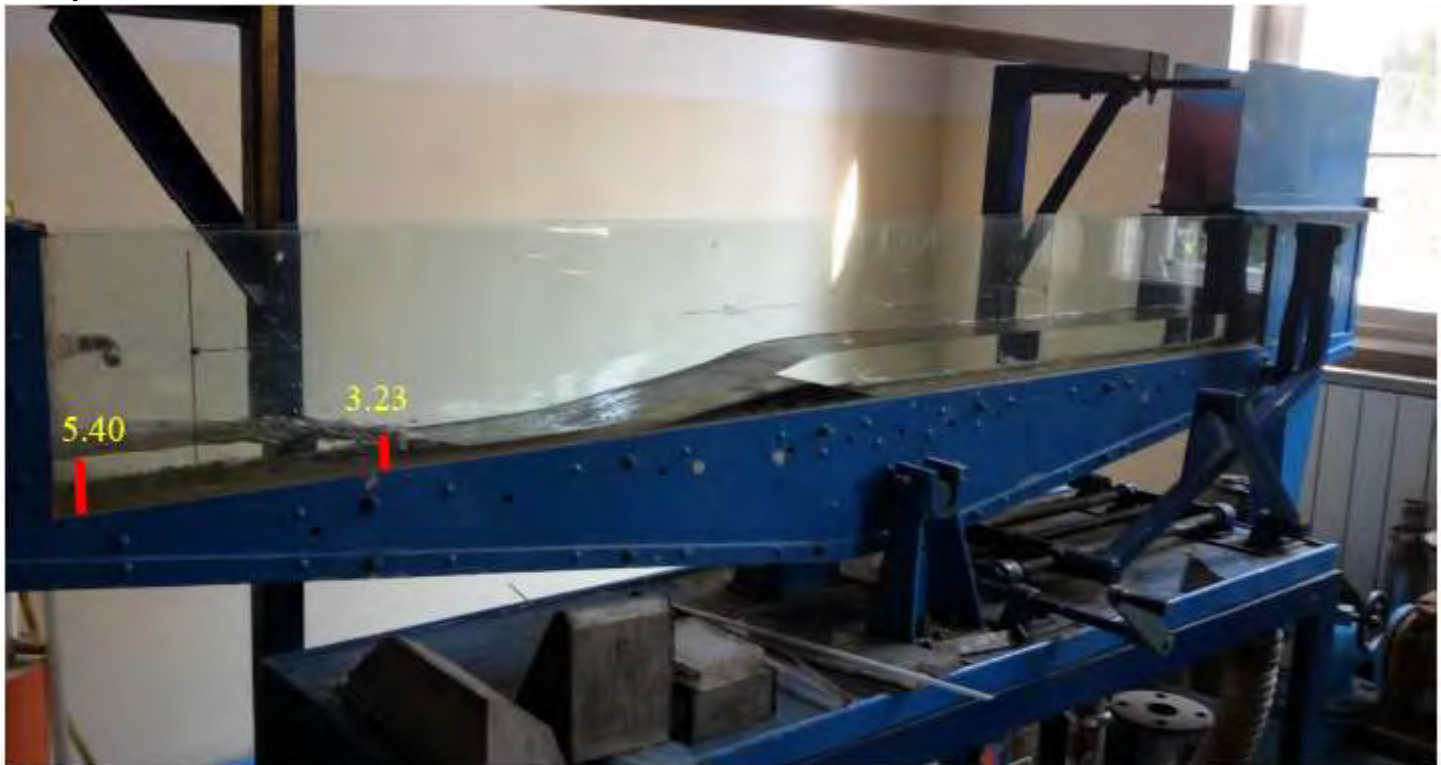
3. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 5.4$ cm.



3. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.1cm$.



3. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Potopljeni preliv – $H_{niz} = 9.4cm$



4. Rezultati

4. 1. Prelivanje preko širokog praga
4. 2. Preliv praktičnog profila
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka
4. 4. Trogaoni preliv

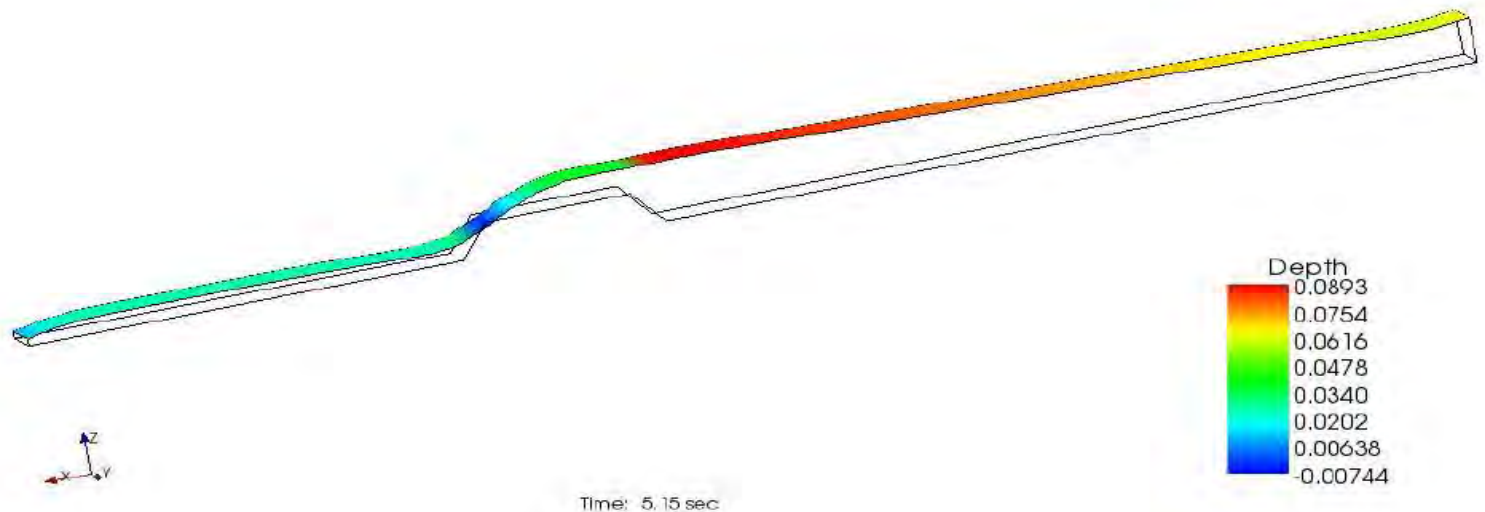
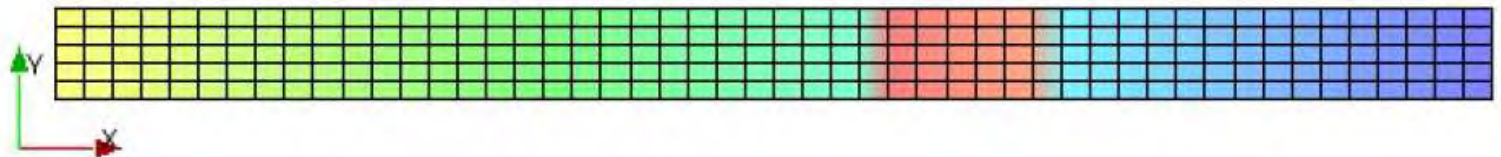
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

- a) Prvo je definisana geometrija laboratorijskog kanala 192.5x12cm.
- „Grid” sa „Bed elevation” preprekom : po x osi: 100 (dx =0.01925), po y osi: 10 (dy = 0.012). Broj slojeva po dubini: 10.
 - vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$



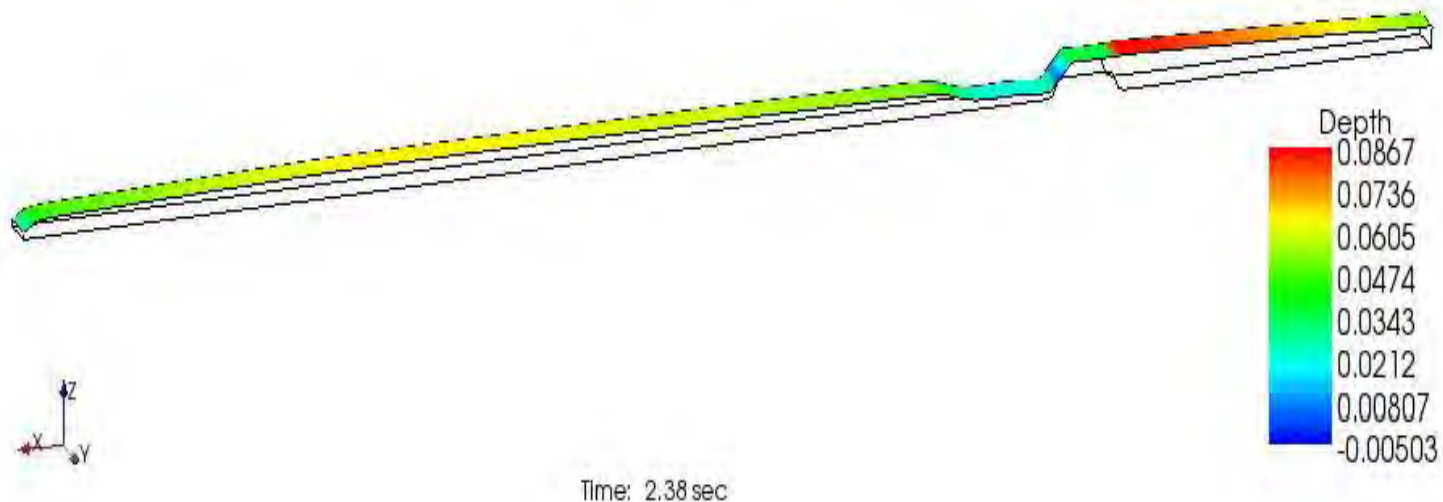
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

- a) Prvo je definisana geometrija laboratorijskog kanala 192.5x12cm.
- „Grid” sa „Bed elevation” preprekom : po x osi: 50 (dx = 0.0385), po y osi: 5 (dy = 0.024). Broj slojeva po dubini: 5
 - vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$



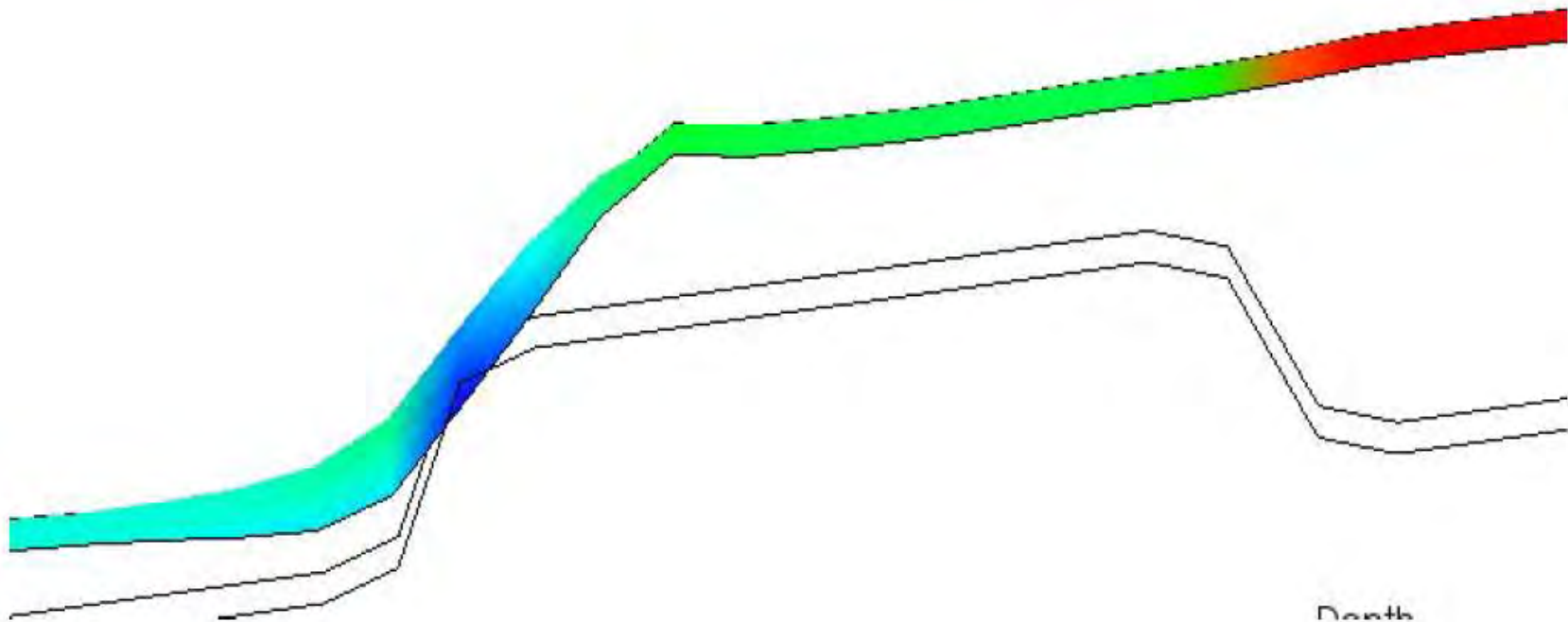
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

- b) Definisana geometrija laboratorijskog kanala 492.5x12cm
- „Grid” sa „Bed elevation” preprekom : po x osi: 256 ($dx = 0.01925$), po y osi: 10 ($dy = 0.012$).
 - Broj slojeva po dubini: 10.
 - vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$



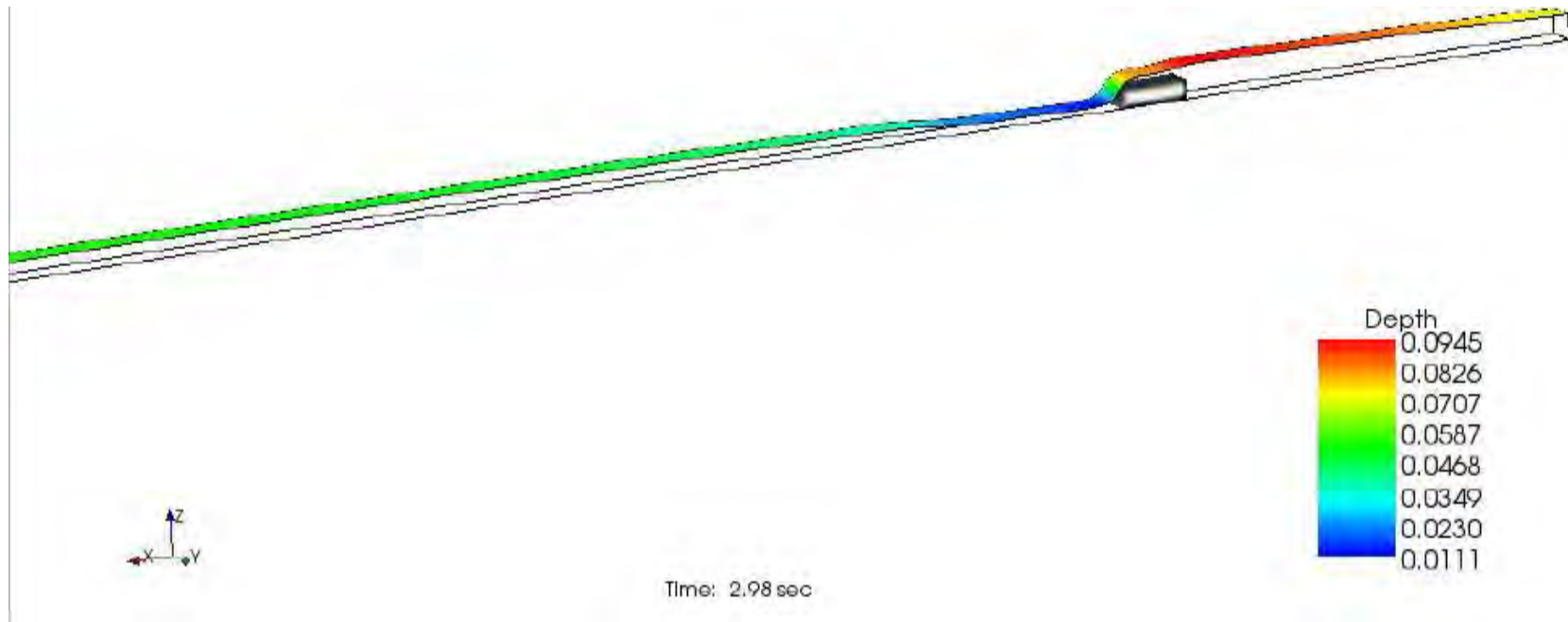
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

- b) Definisana geometrija laboratorijskog kanala 492.5x12cm
- „Grid” sa „Bed elevation” preprekom : po x osi: 256 ($dx = 0.01925$), po y osi: 10 ($dy = 0.012$).
 - Broj slojeva po dubini: 10.
 - vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$



4. 1. Prelivanje preko širokog praga

- c) Definisana geometrija laboratorijskog kanala 492.5x12cm
- „Grid” sa „Obstacle” preprekom : po x osi: 256 (dx =0.01925), po y osi: 10 (dy = 0.012).
 - Broj slojeva po dubini: 10.
 - vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$



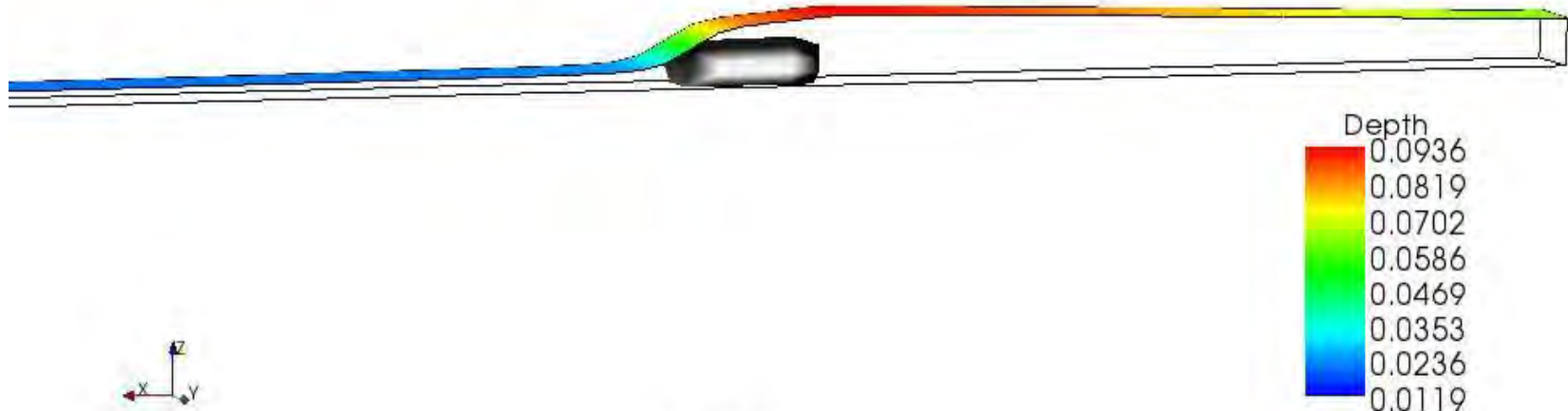
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

- d) Definisana geometrija laboratorijskog kanala 492.5x12cm
- „Grid” sa „Obstacle” preprekom po x osi: 128 ($dx = 0.0385$), po y osi: 5 ($dy = 0.024$).
 - Broj slojeva po dubini: 5.
 - vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$



Time: 20 sec

4. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

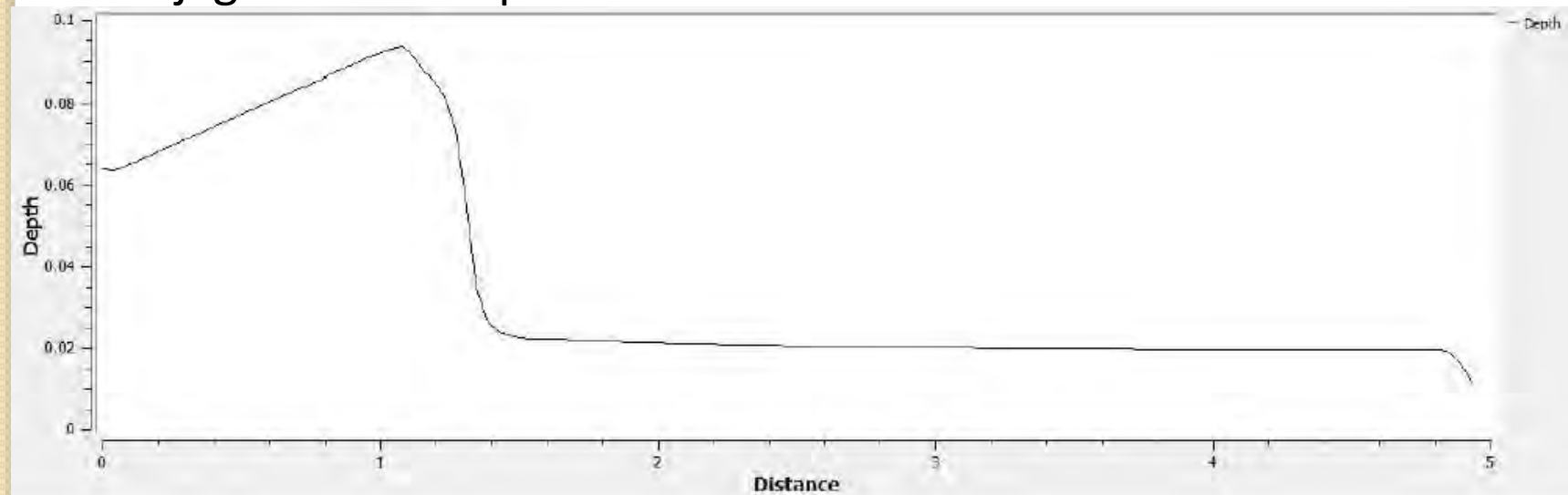
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Dijagram dubina po dužini



Controller

I:
K:

1
1

Data Source | Axis Setting | Draw Setting | Marker Setting | Copy

Snapshot | CSV Export

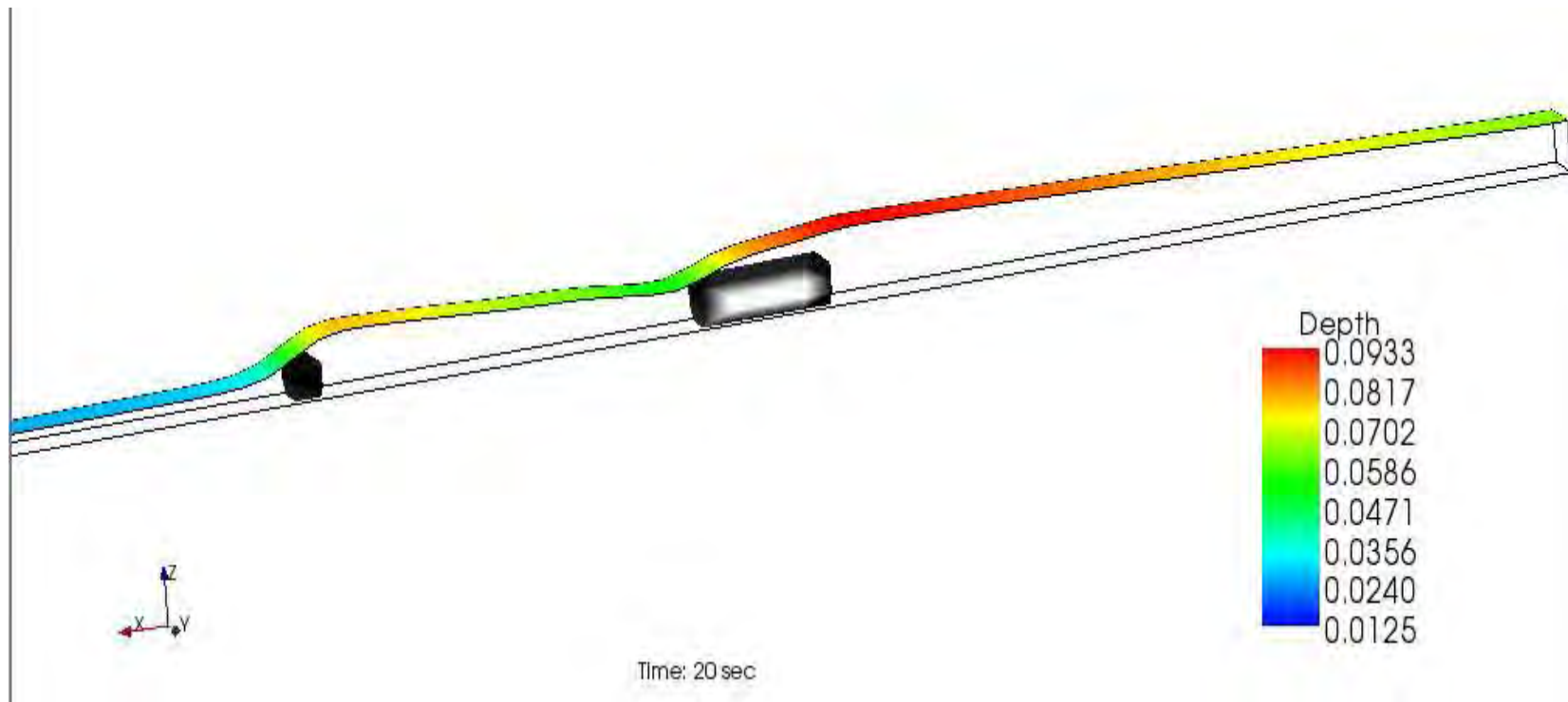
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Sa hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.53cm$ – dubina vode



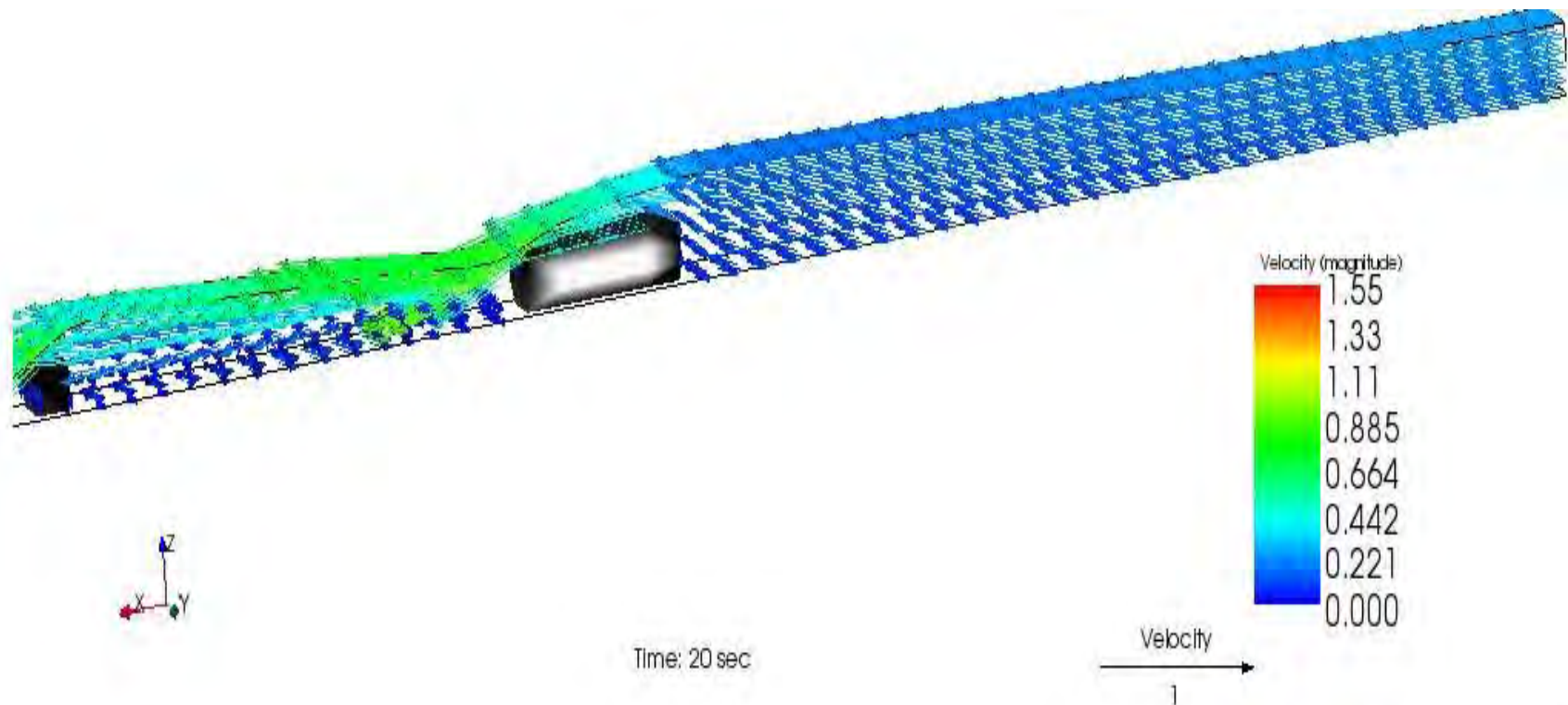
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Sa hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.53cm$ – vektori brzina



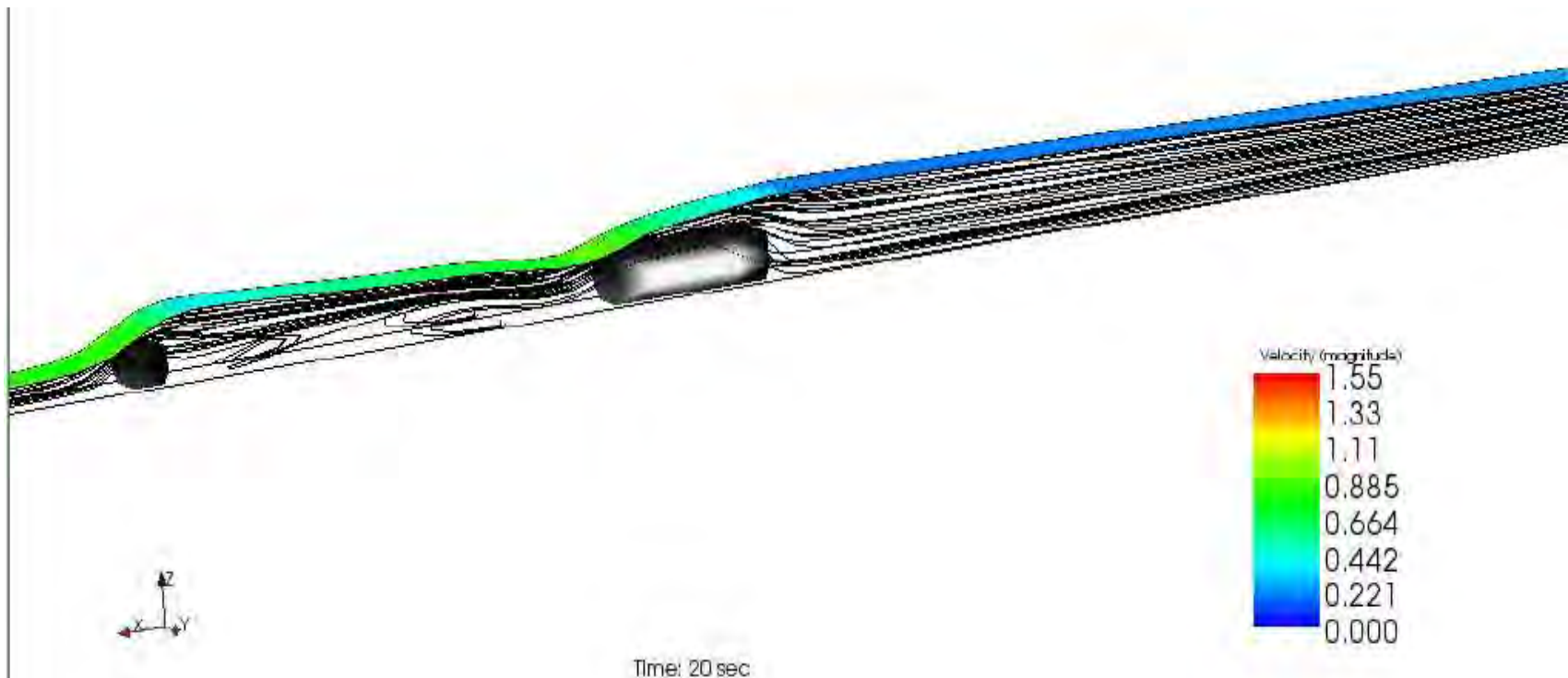
4. 1. Prelivanje preko širokog praga

1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Sa hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.53cm$ – strujnice



4. 1. Prelivanje preko širokog praga

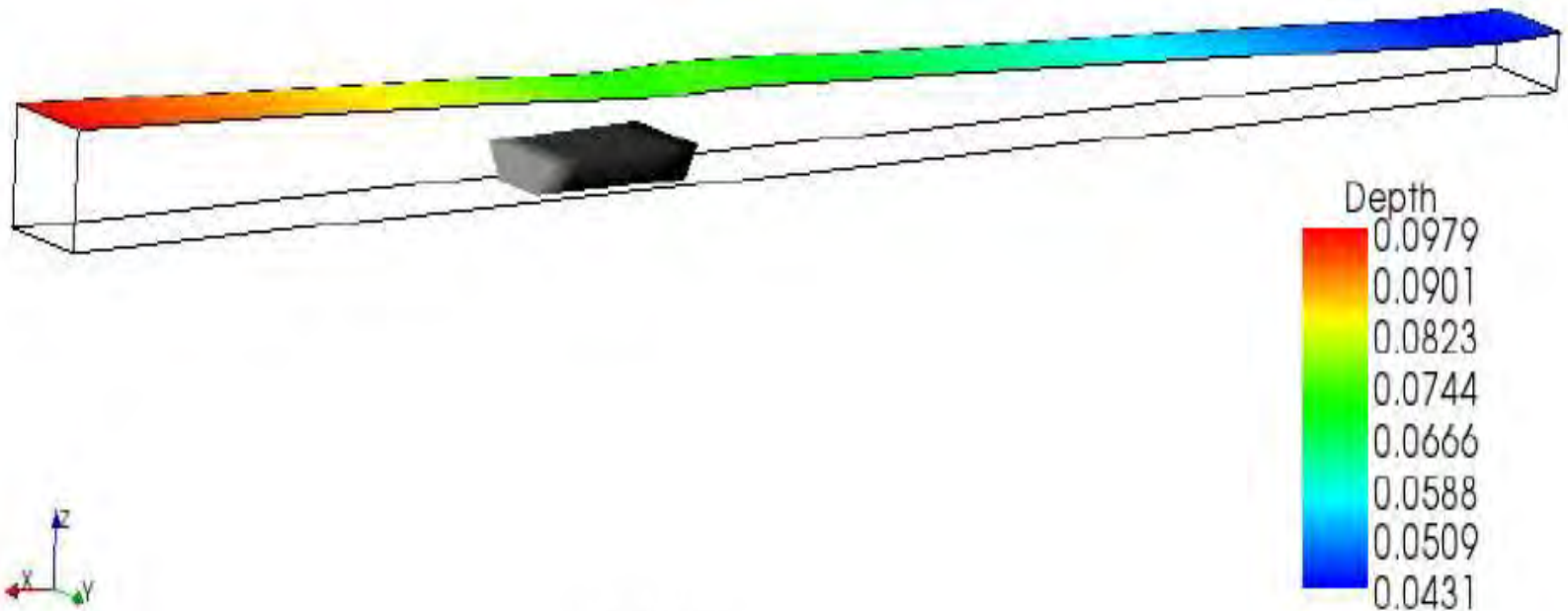
1. Slučaj

$$Q = 0.001641 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 2.9\%$$

Potopljeno prelivanje – $H_{niz} = 9.79\text{cm}$.

Dužina kanala 1.925m.



Time: 20 sec

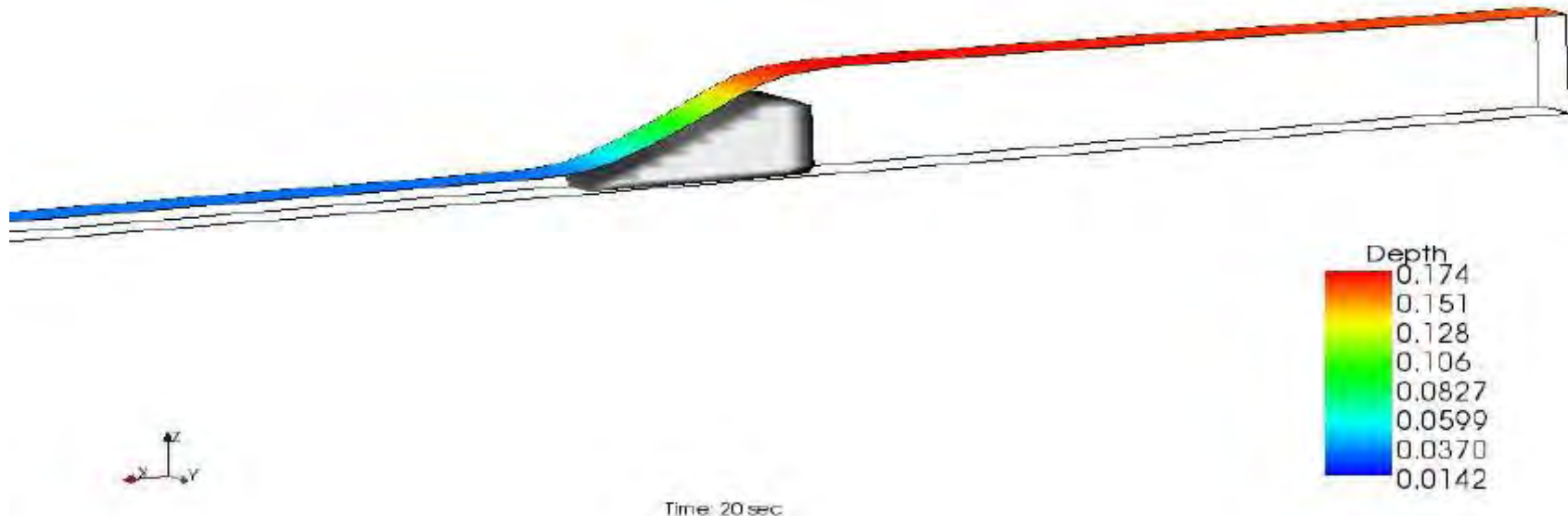
4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.

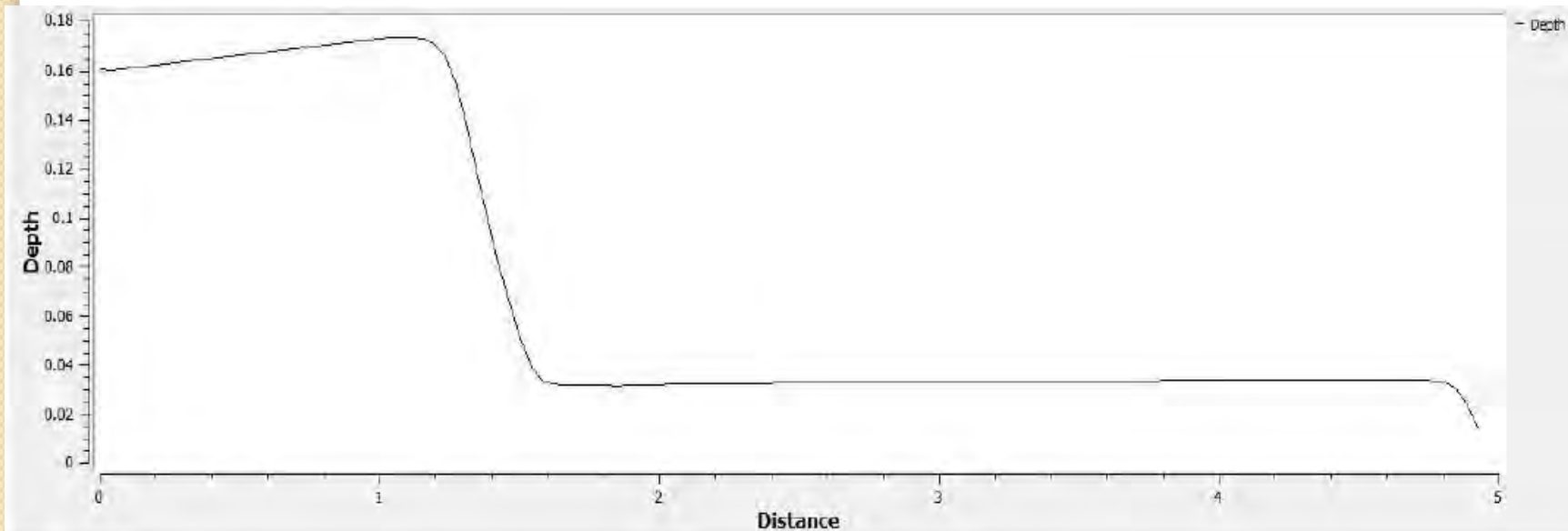
4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



Controller

I:

K:

Data Source Axis Setting Draw Setting Marker Setting Copy

Snapshot CSV Export

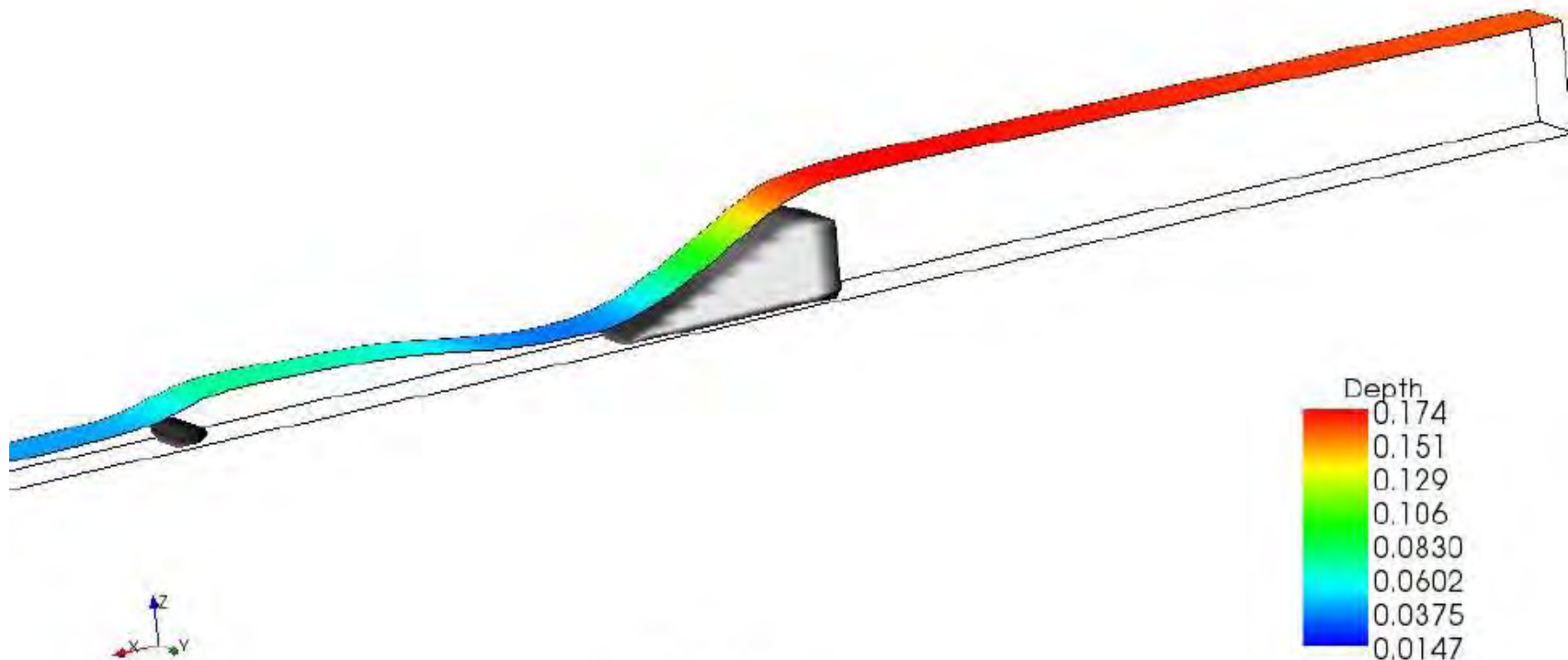
4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 4cm$ - dubine



Time: 20 sec

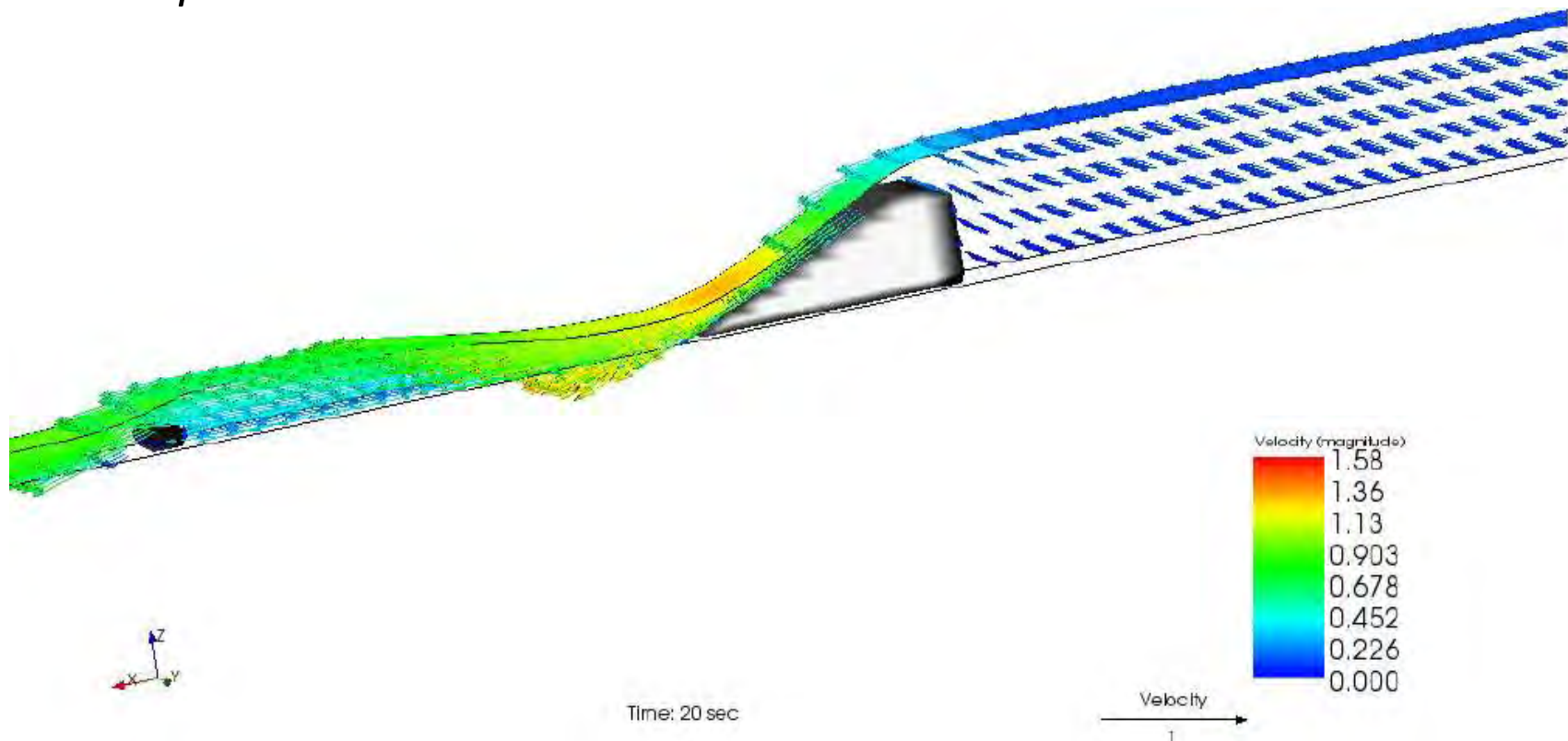
4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 4cm$ – vektori brzina



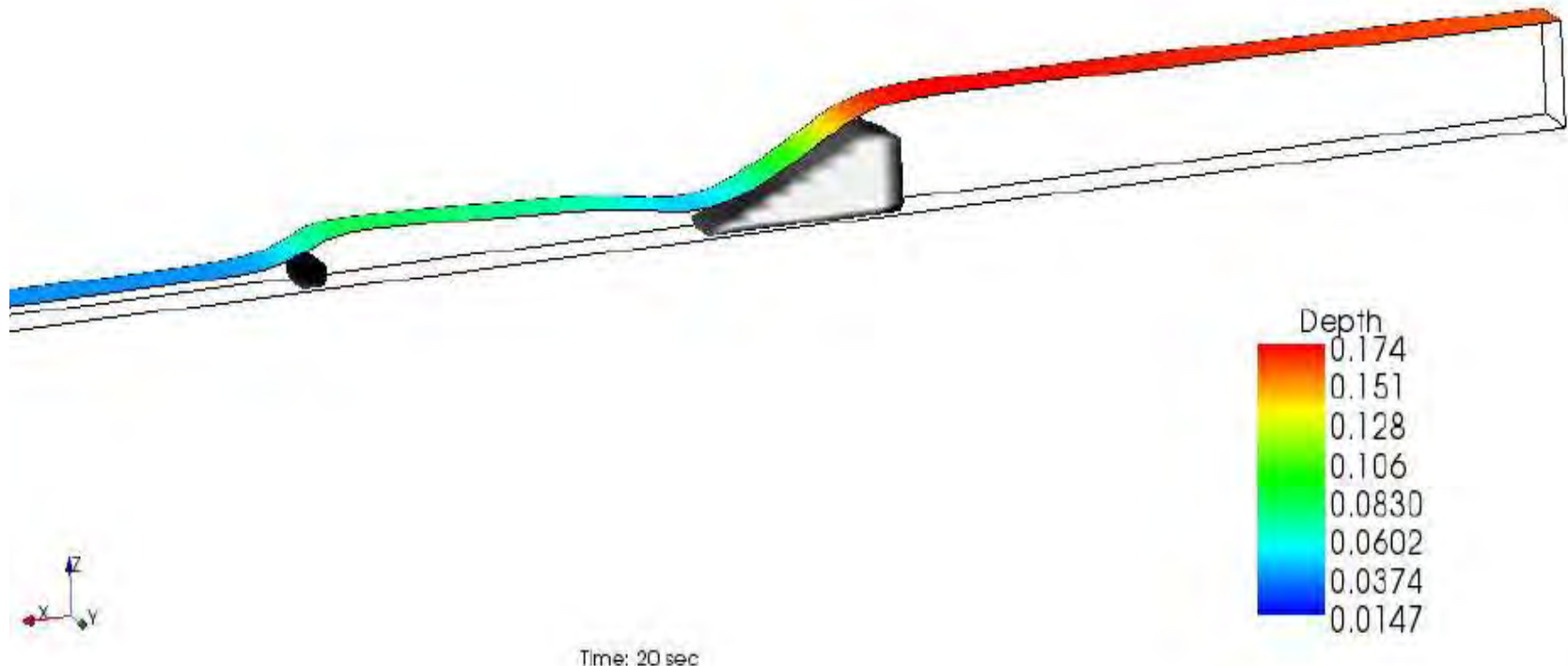
4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 1.3\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 8cm$ - dubine



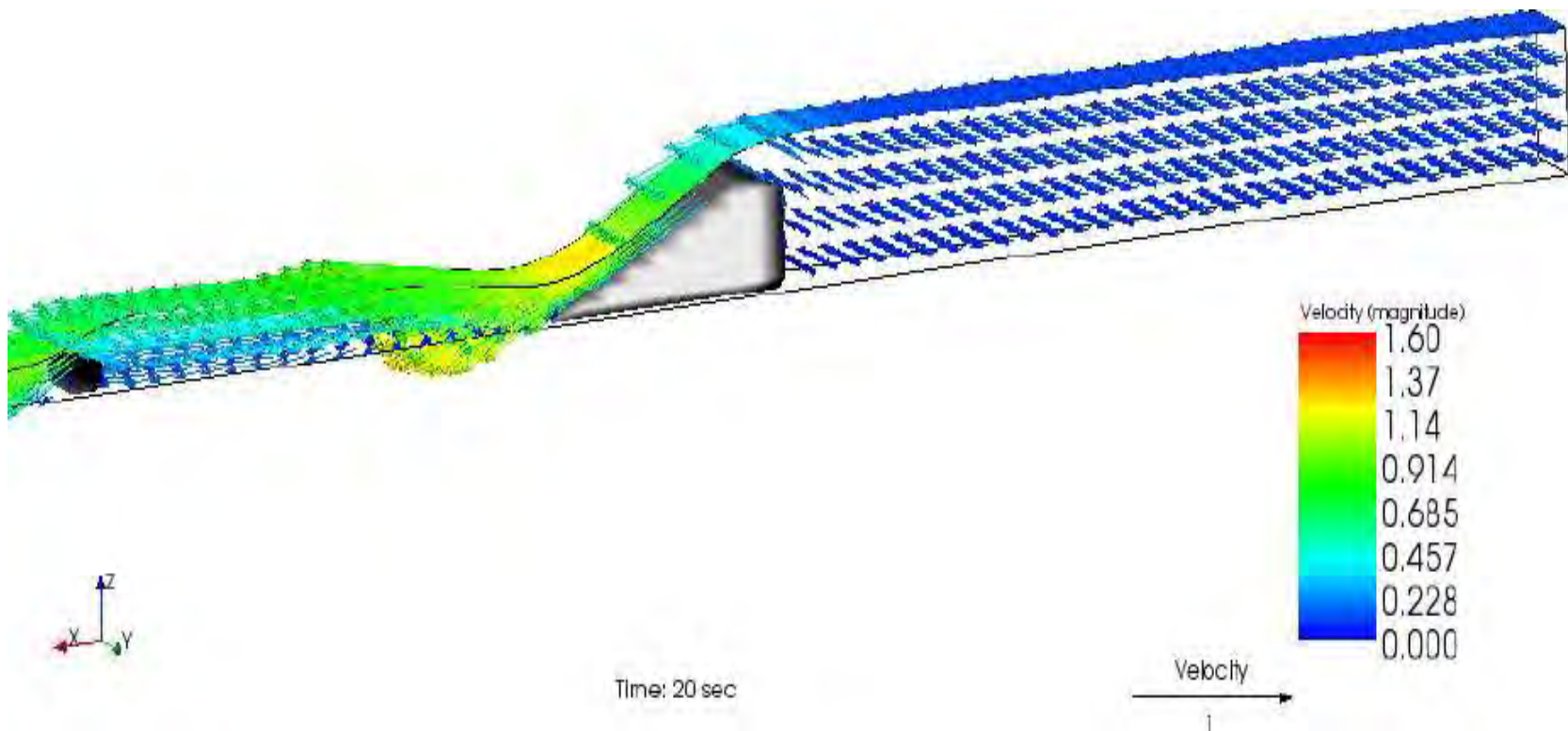
4. 2. Preliv praktičnog profila

2. Slučaj

$$Q = 0.002062 \frac{m^3}{s}$$

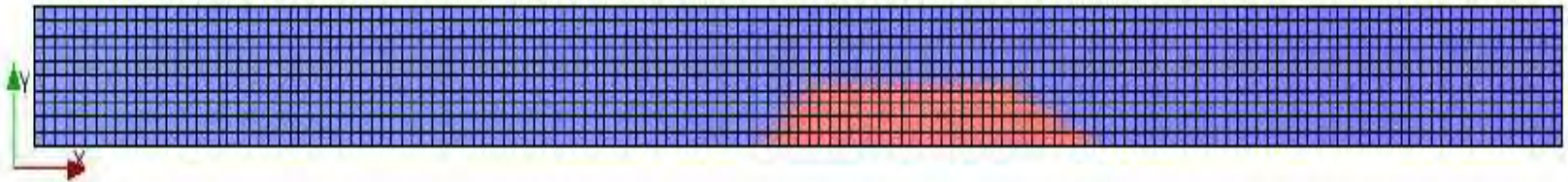
$$I_k = 1.3\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 8cm$ – vektori brzina



4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

- Za razliku od prethodnih slučajeva, ovde nema potrebe za produžavanjem kanala, jer se ustaljen režim dobija za dužinu kanala od 1.925 m.
- Izabrana je gustina mreže: po x osi: 150 ($dx=0.0128$), po y osi: 10 ($dy = 0.012$). Broj slojeva po dubini: 10.
- vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$.



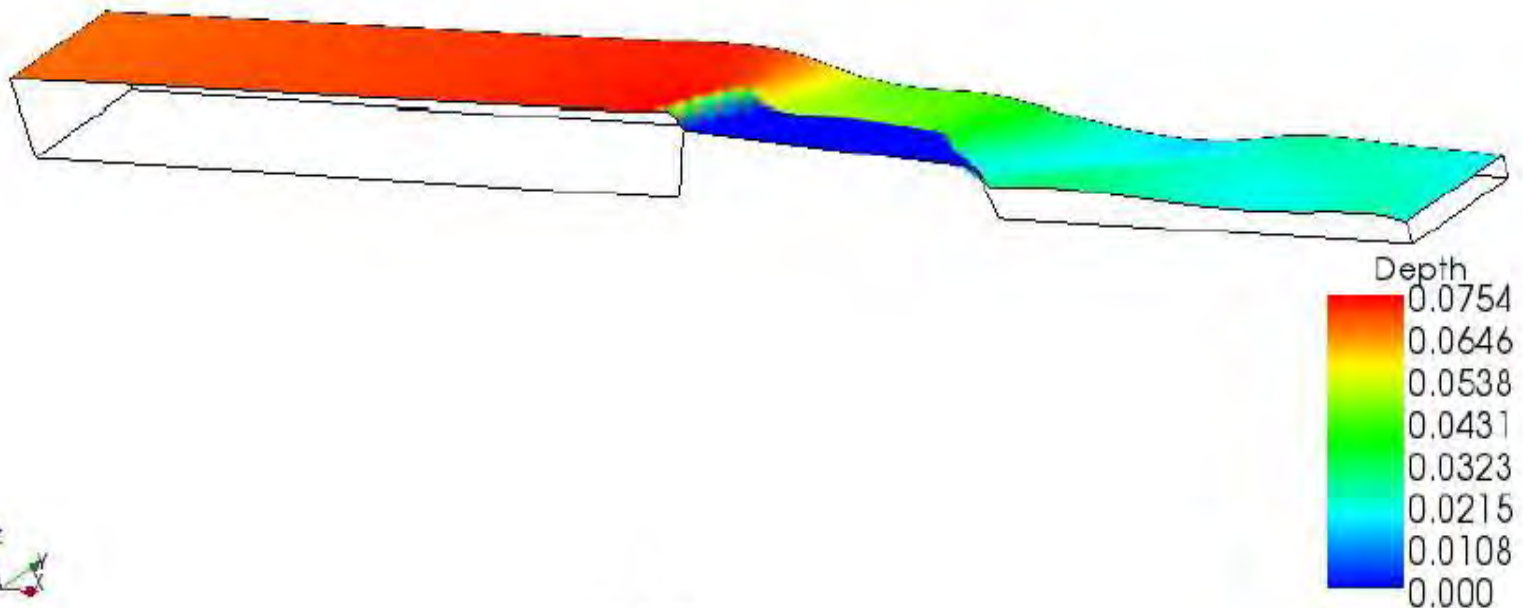
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.0019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



Time: 10 sec

4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.0019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.

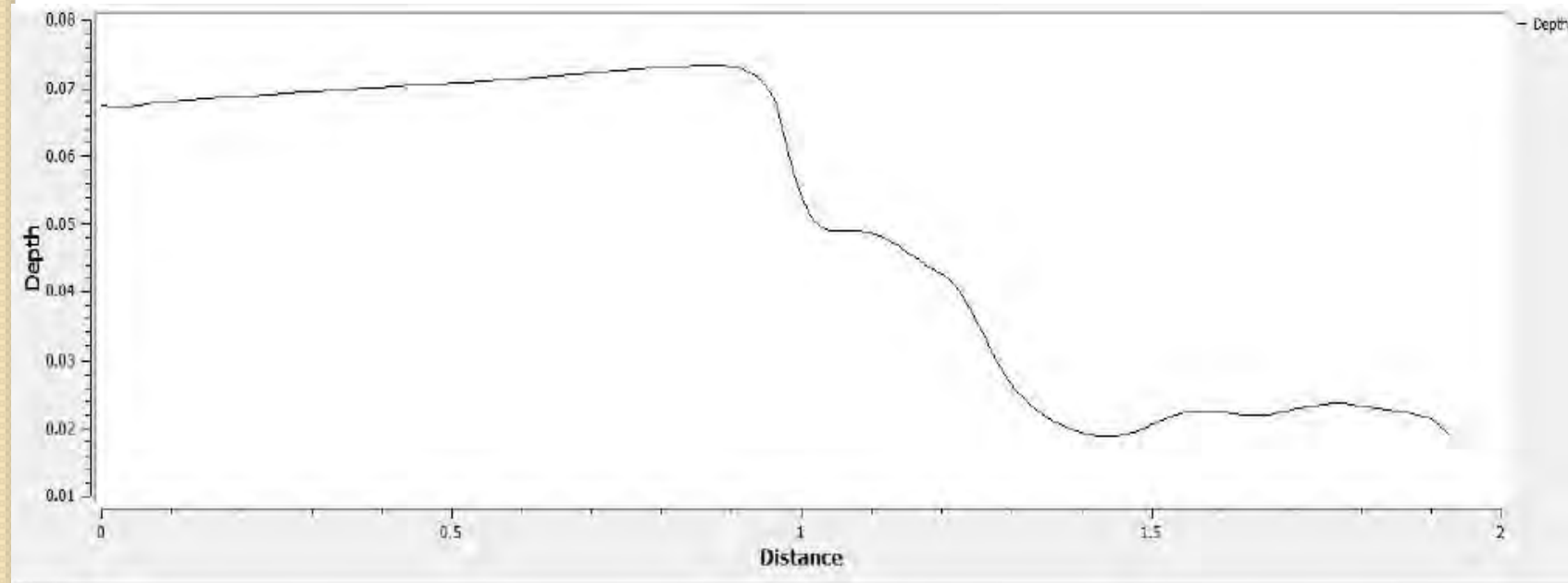
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.0019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



Controller

D:
K:

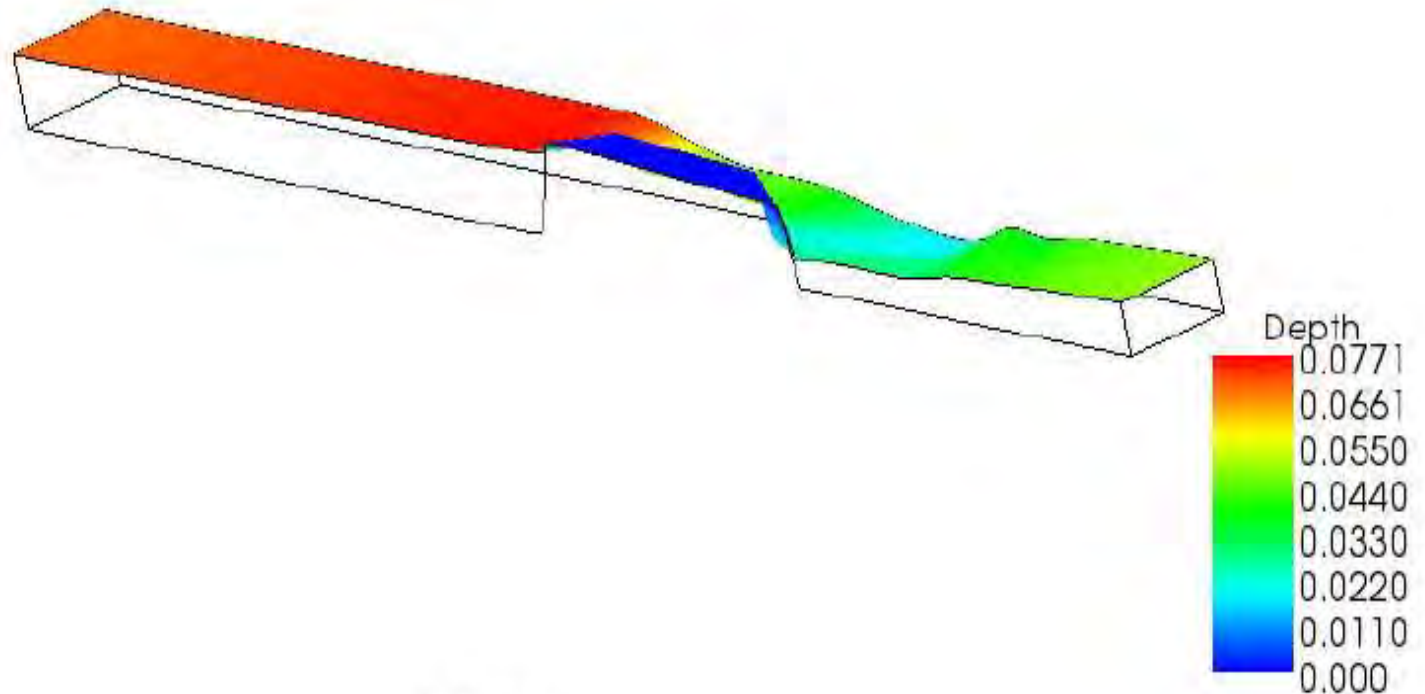
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 5$ cm - dubine



Time: 10 sec

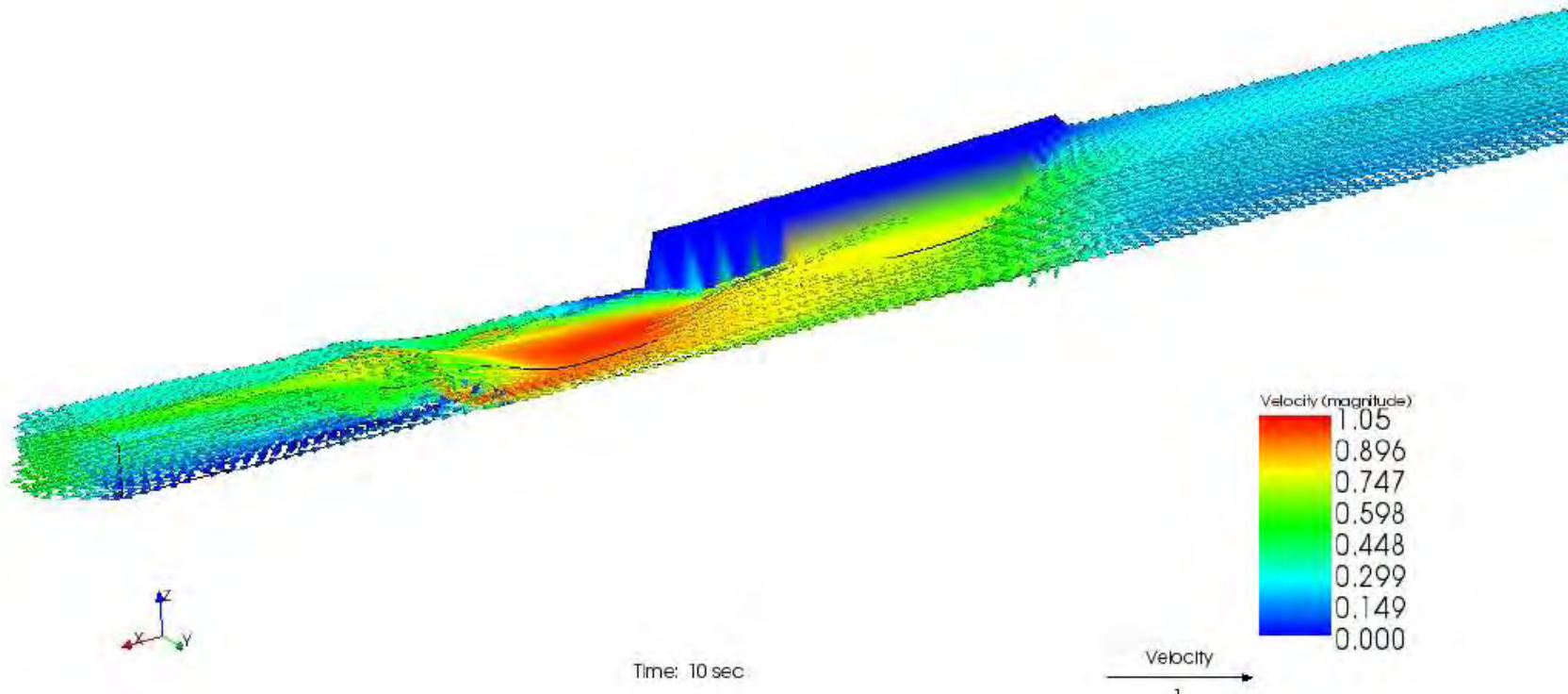
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 5 \text{ cm}$ – vektori brzina



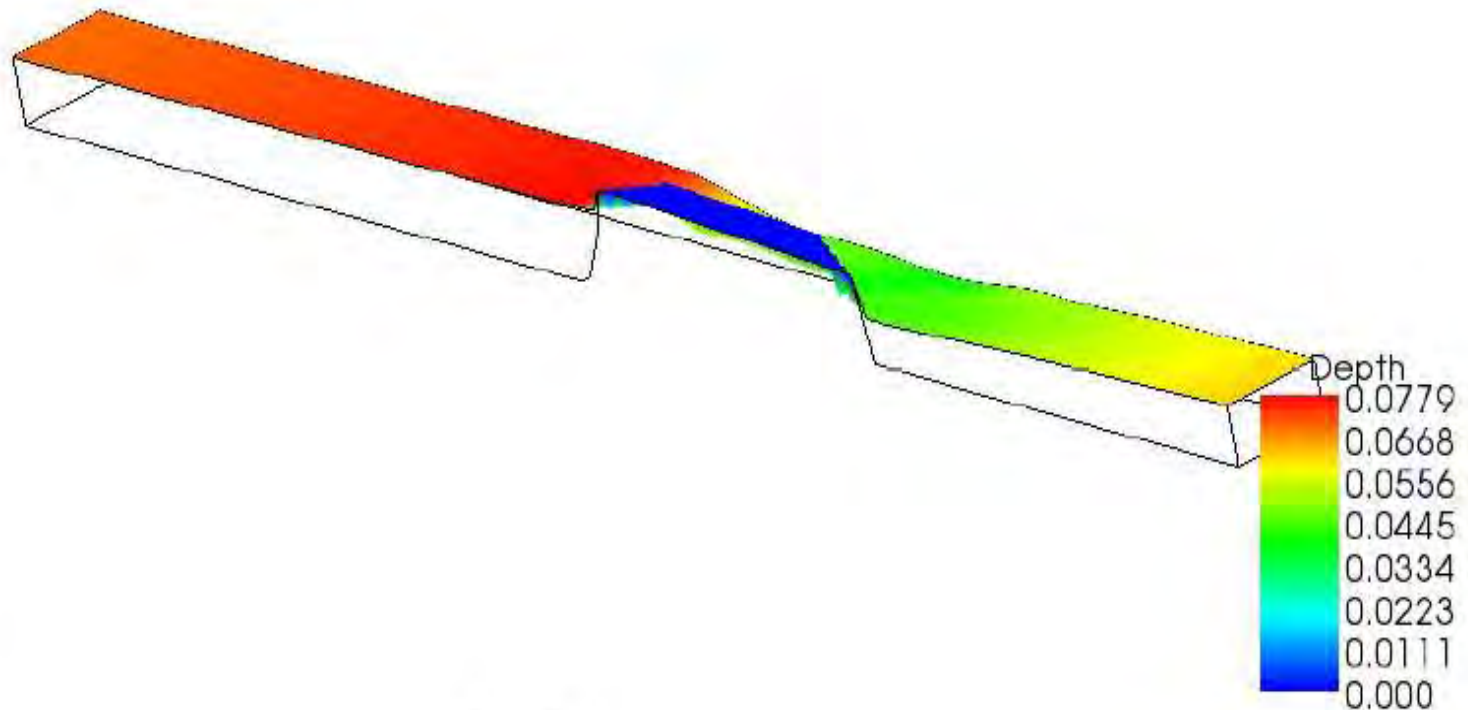
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.2cm$ - dubine



Time: 10 sec

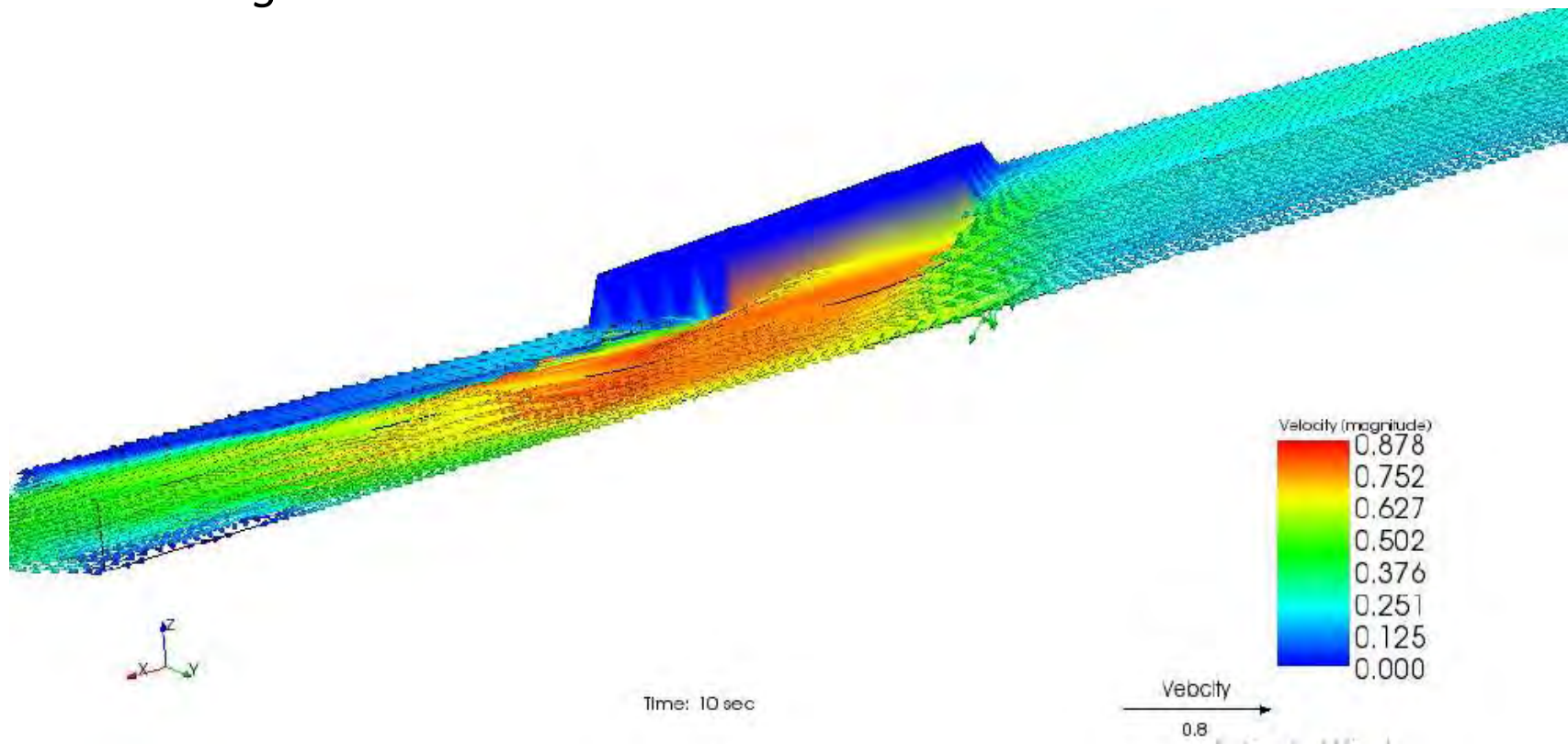
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.2cm$ – vektori brzina



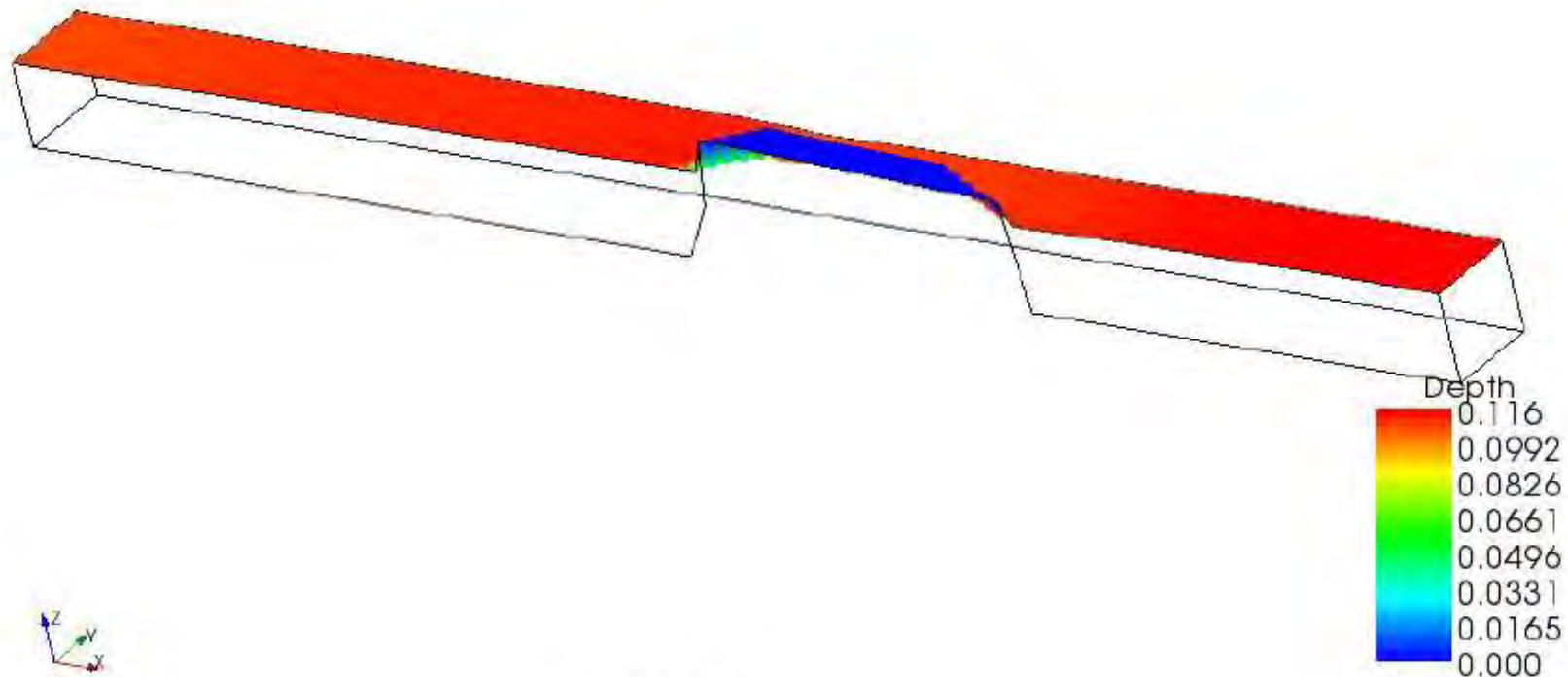
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Potopljeni preliv – $H_{niz} = 11.5cm$



Time: 10 sec

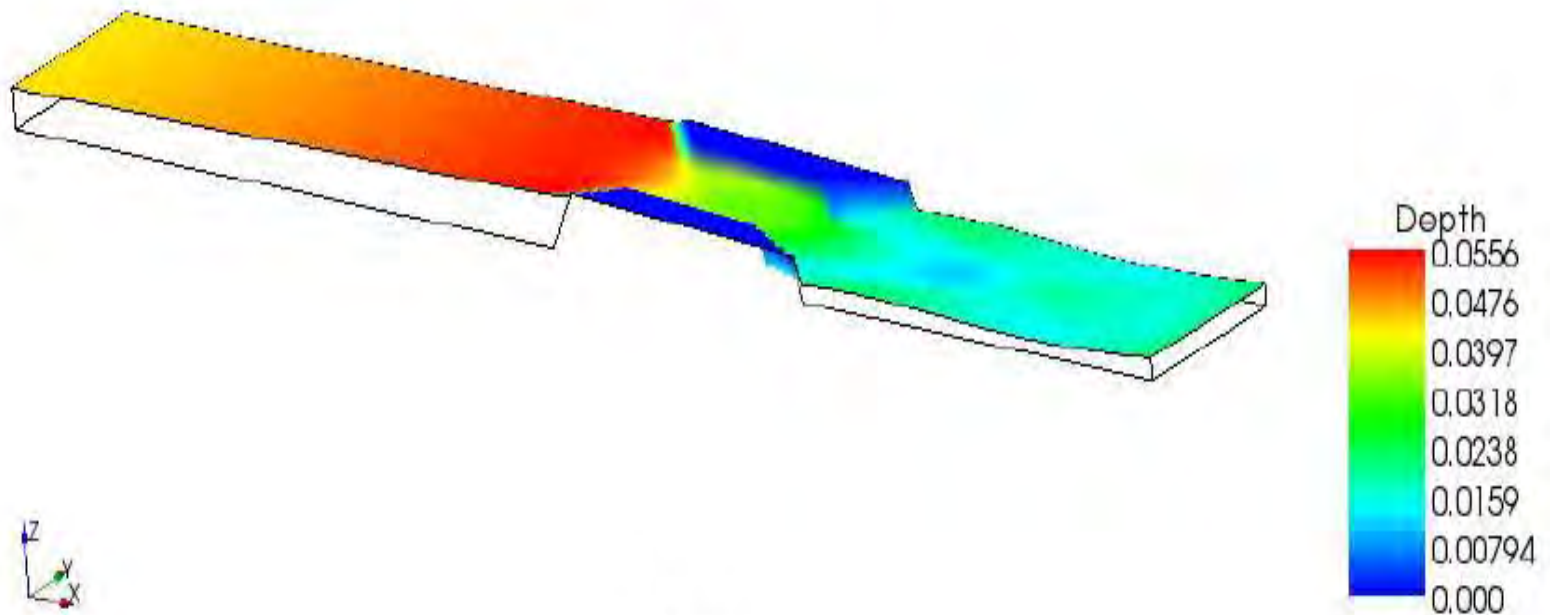
4. 3. Merno suženje trapeznog poprečnog preseka

3. Slučaj

$$Q = 0.0019 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

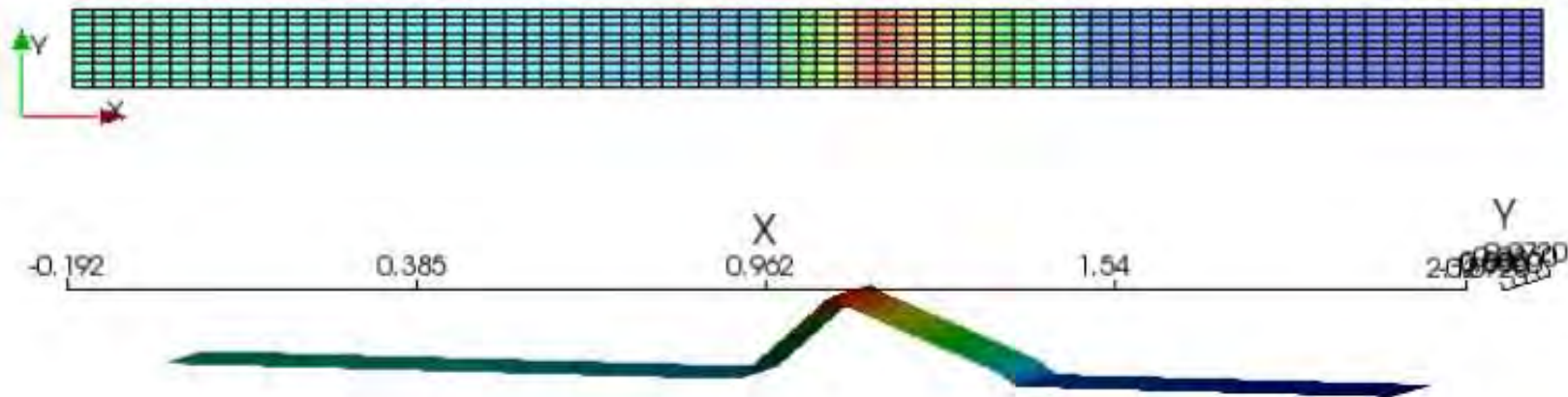
Merno suženje na obe strane



Time: 10 sec

4. 4. Trougaoni preliv

- Ni kod ovog slučaja nema potrebe za produžavanjem kanala, jer se ustaljen režim dobija za dužinu kanala od 1.925 m.
- Izabrana je gustina mreže: po x osi: 75 ($dx=0.0257$), po y osi: 10 ($dy = 0.012$). Broj slojeva po dubini: 10.
- vreme diskretizacije $\Delta t = 0.001$.



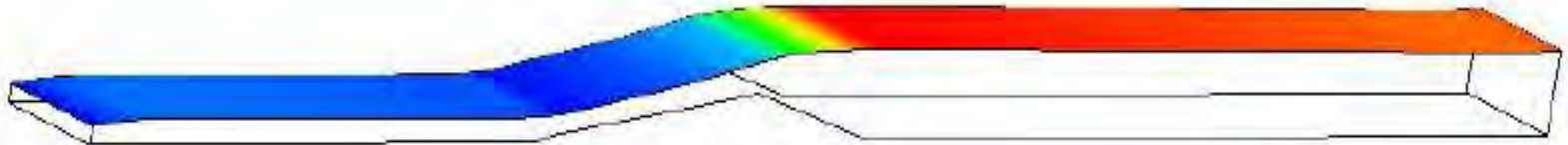
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

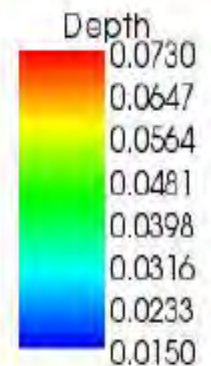
$$Q = 0.001747 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



Time: 10 sec



4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.001747 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.

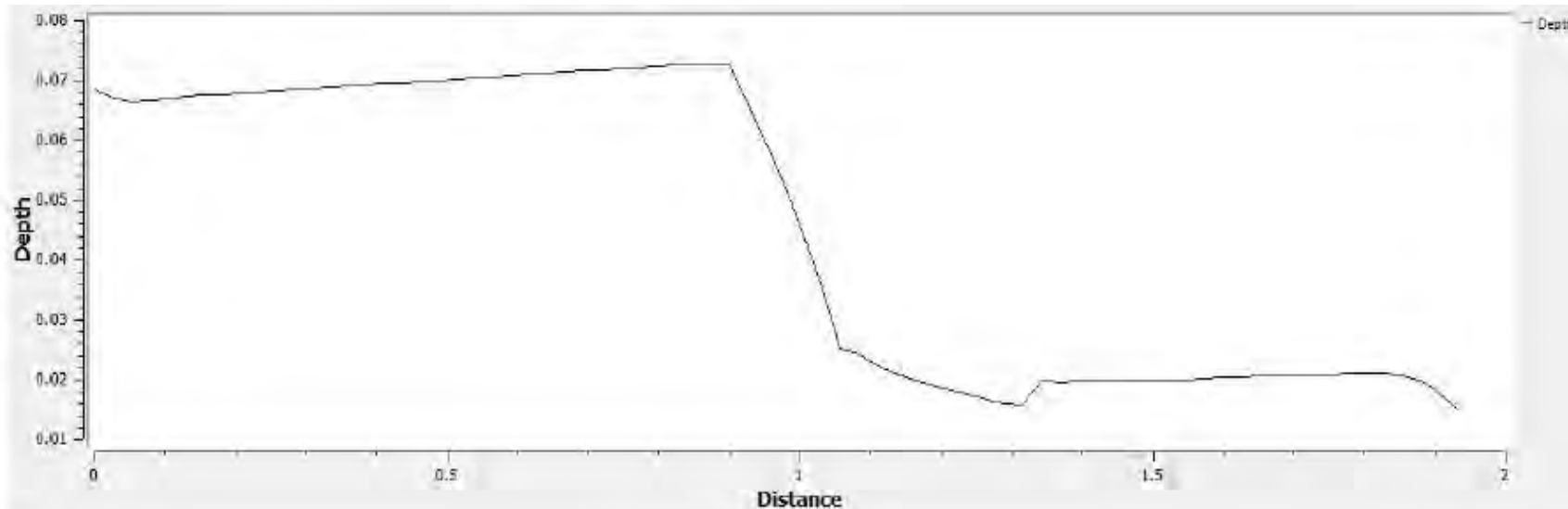
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj (suženje na $x = 30\text{cm}$)

$$Q = 0.001747 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Bez hidrauličkog skoka, bez nizvodnog graničnog uslova.



controller

z

K

Data Source

Axis Setting

Draw Setting

Marker Setting

Copy

Snapshot

CSV Export

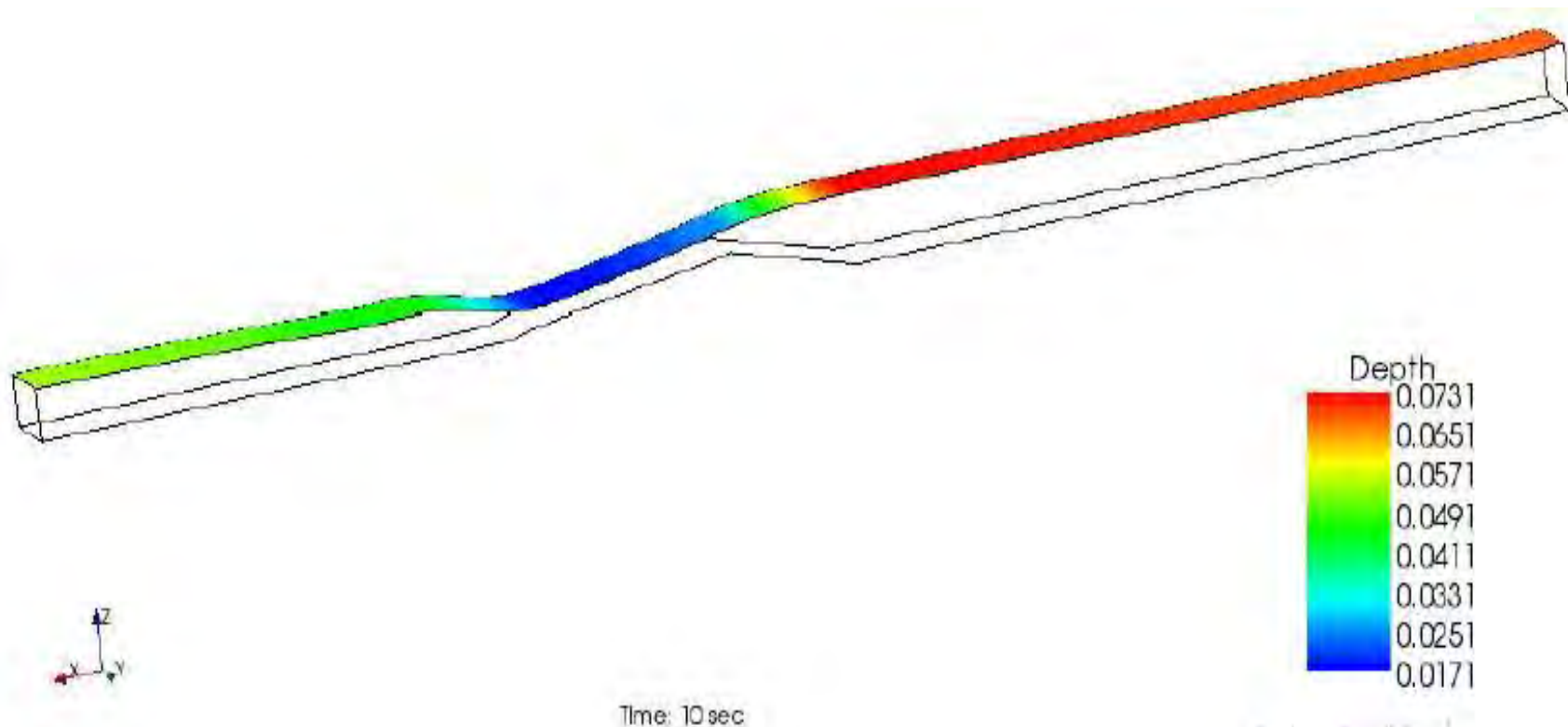
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 5.4$ cm - dubine



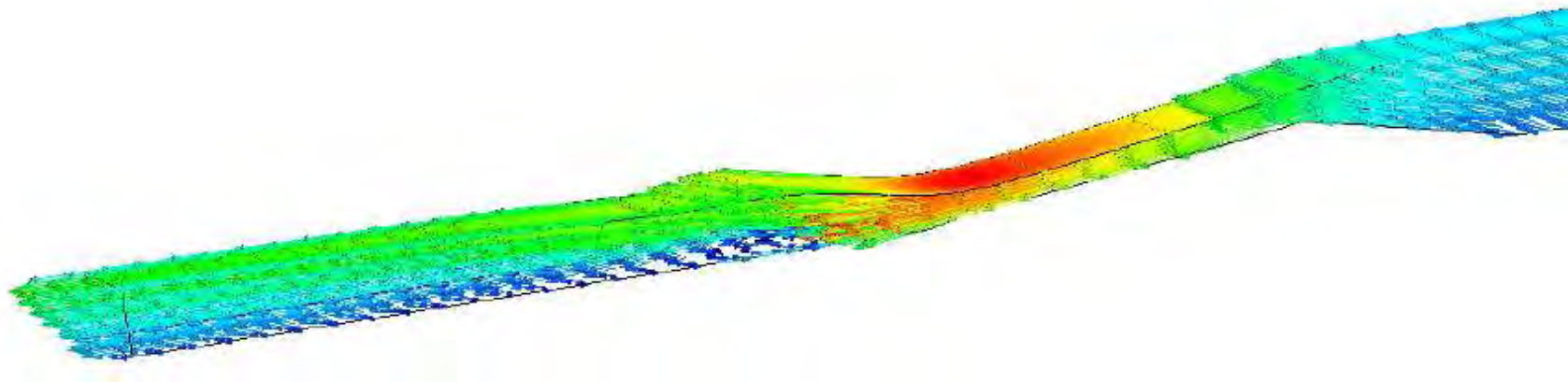
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

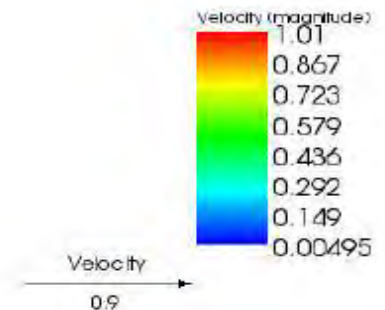
$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa prvim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 5.4 \text{ cm}$ – vektori brzina



Time: 10 sec



Velocity

0.9

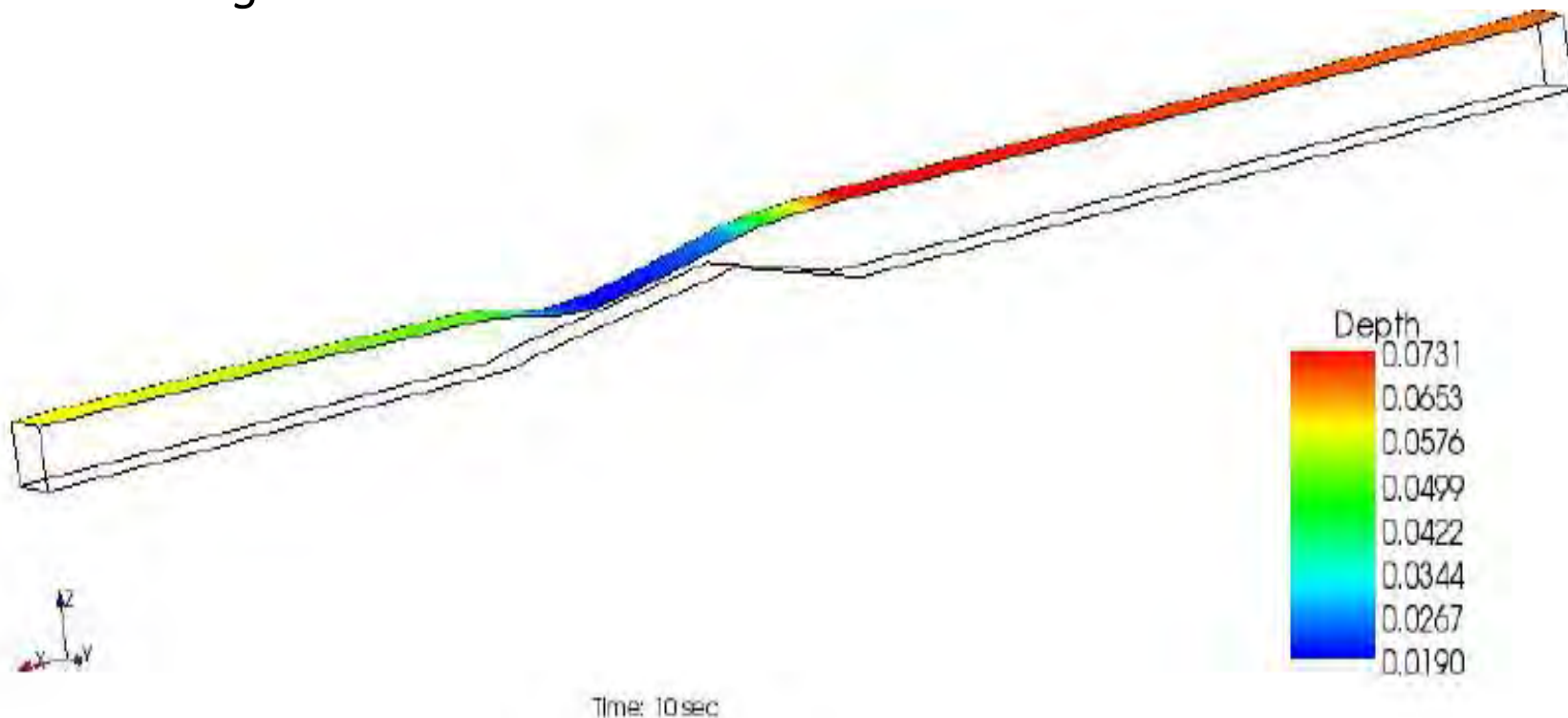
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – Hniz = 6.1cm - dubine



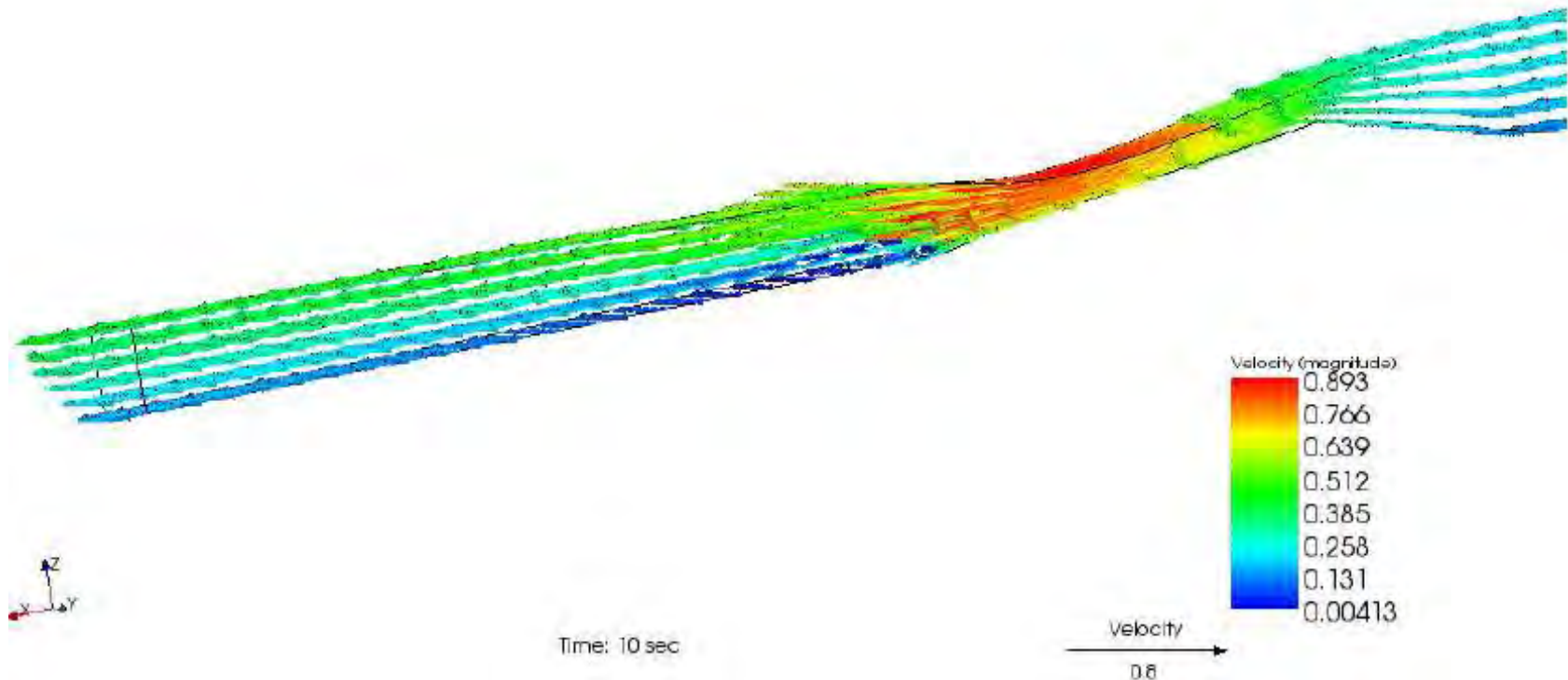
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Sa drugim hidrauličkim skokom – $H_{niz} = 6.1cm$ – vektori brzina



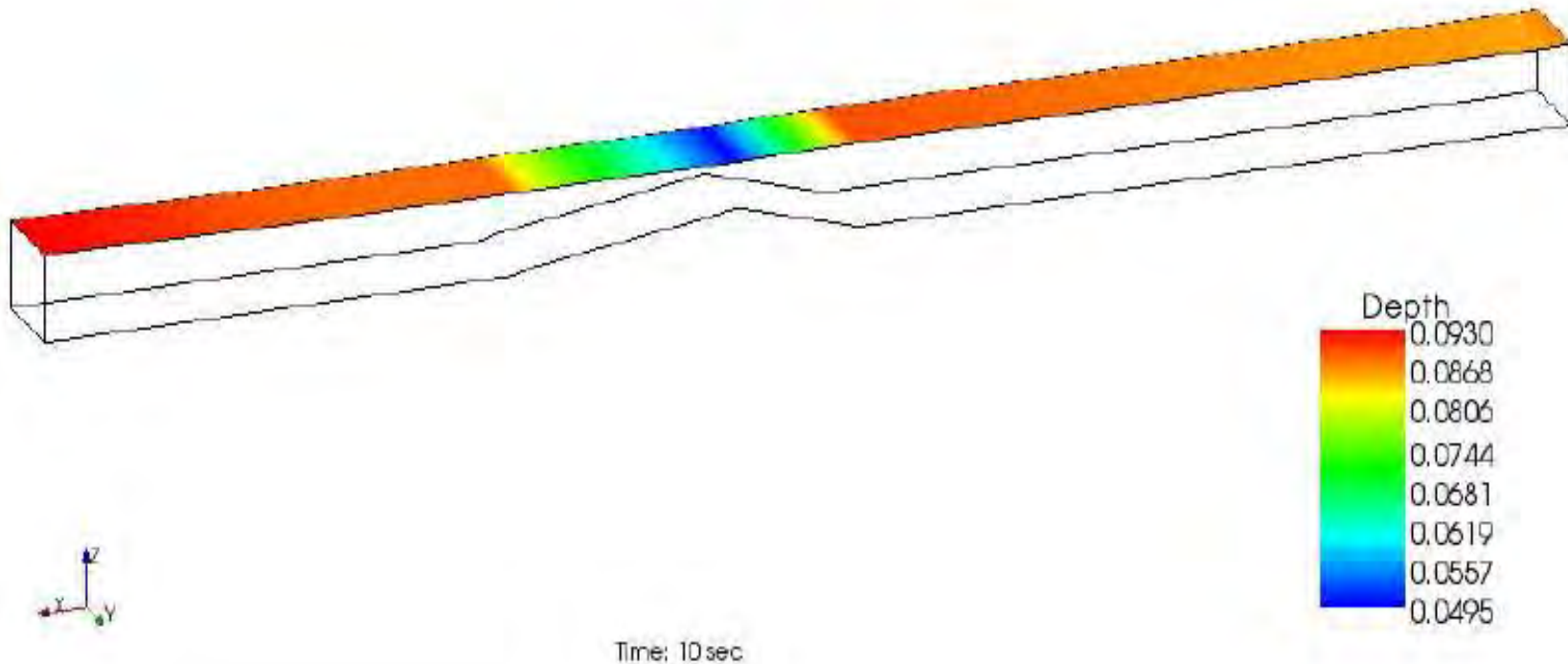
4. 4. Trougaoni preliv

4. Slučaj

$$Q = 0.001747 \frac{m^3}{s}$$

$$I_k = 0.8\%$$

Potopljeni preliv – $H_{niz} = 9.4cm$



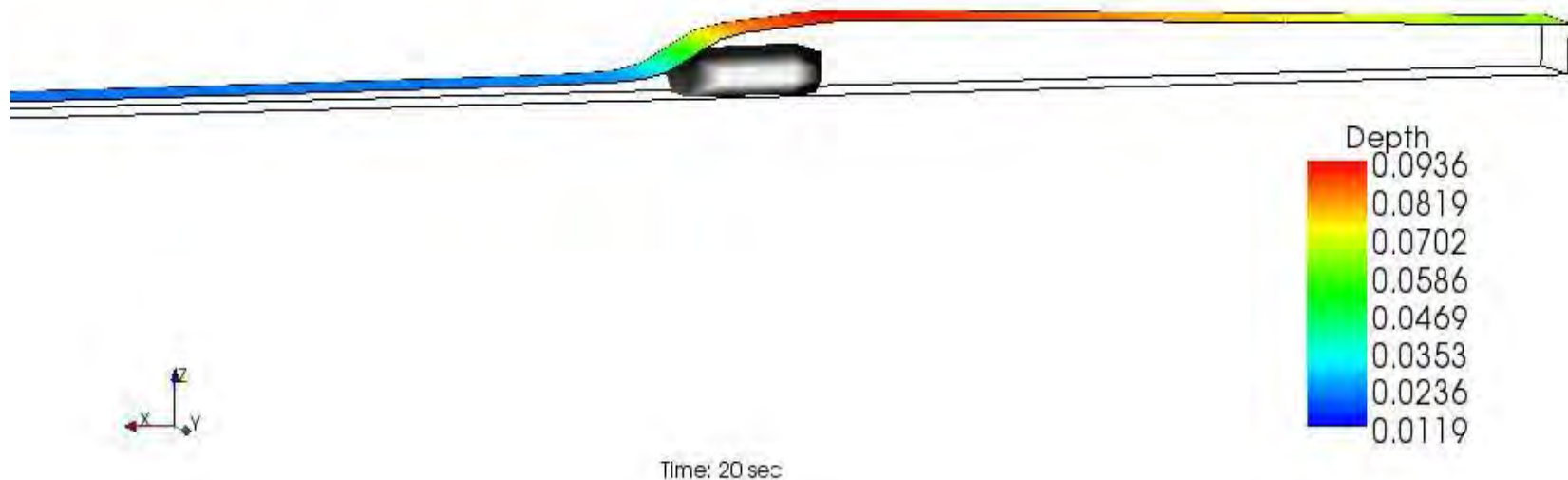
5. Diskusija rezultata

- Široki prag - prelivanje



5. Diskusija rezultata

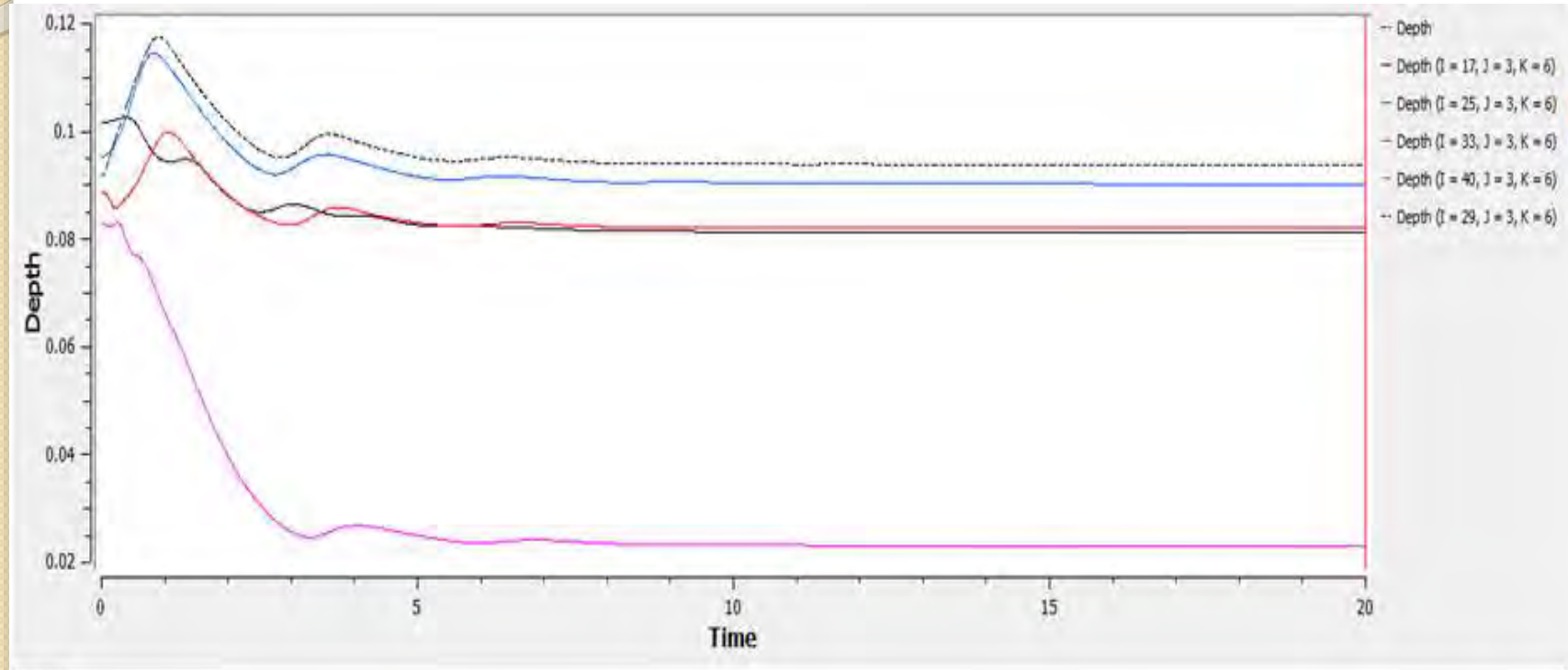
- Široki prag – prelivanje



Prelivanje preko širokog praga je korektno izračunato, što nam i vizualno poređenje to potvrđuje.

5. Diskusija rezultata

- Široki prag - prelivanje



Controller



5. Diskusija rezultata

- Široki prag – prelivanje

Odnosi L/hkr i P/hp

	Mereno	Sračunato
hkr (cm)	3.07	3.4
hp (cm)	5.53	4.8
L/hkr	6.449511	5.8235294
P/hp	0.904159	1.0416667

Poređenjem navedenih odnosa možemo zaključiti da određena razlike u dubinama postoje, međutim ona nisu velika. Razlike su posledica ređe mreže i korišćenja Obstacle prepreke, zbog nestabilnosti u korišćenju Bed elevation prepreke.

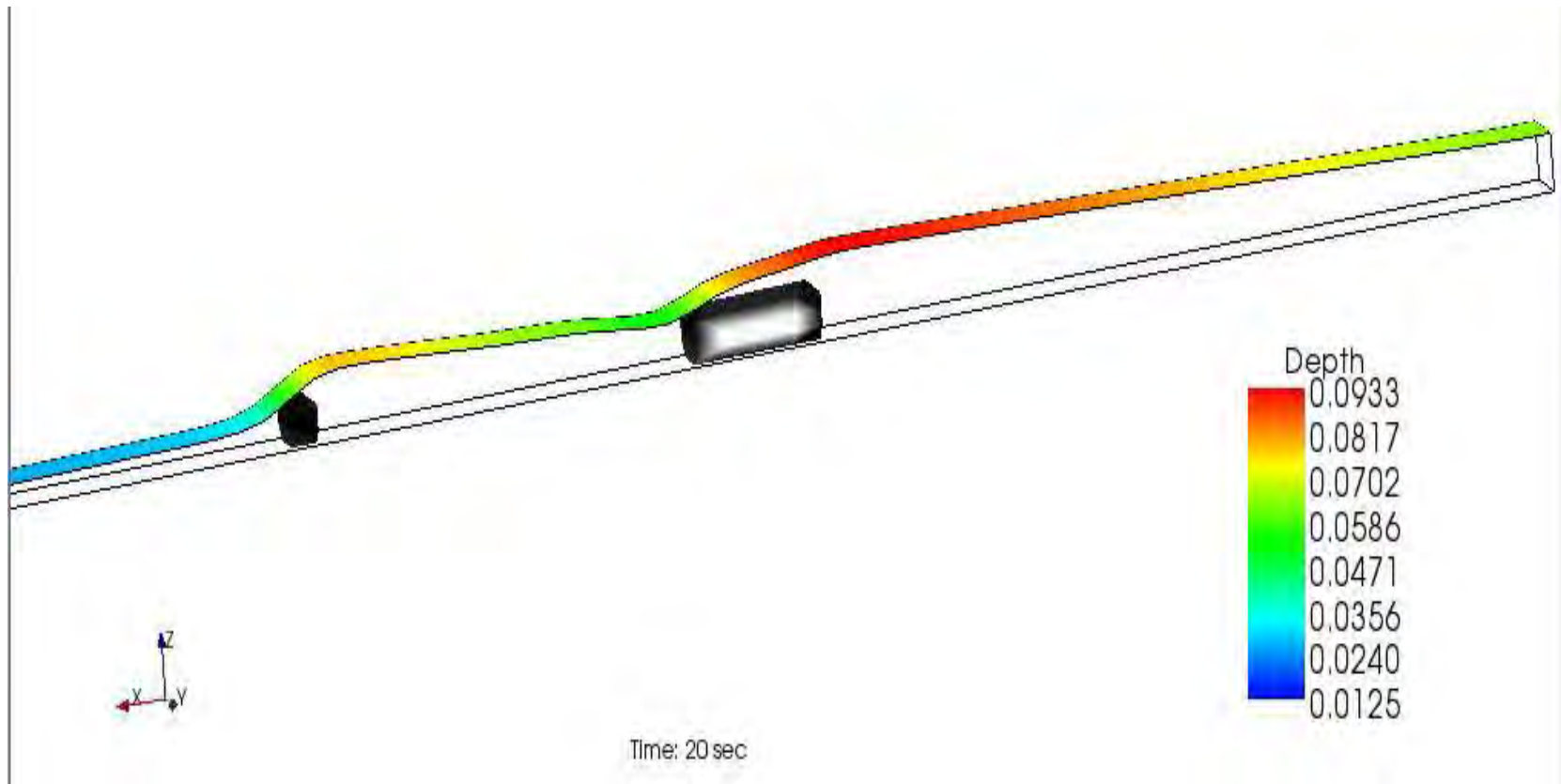
5. Diskusija rezultata

- Široki prag – hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

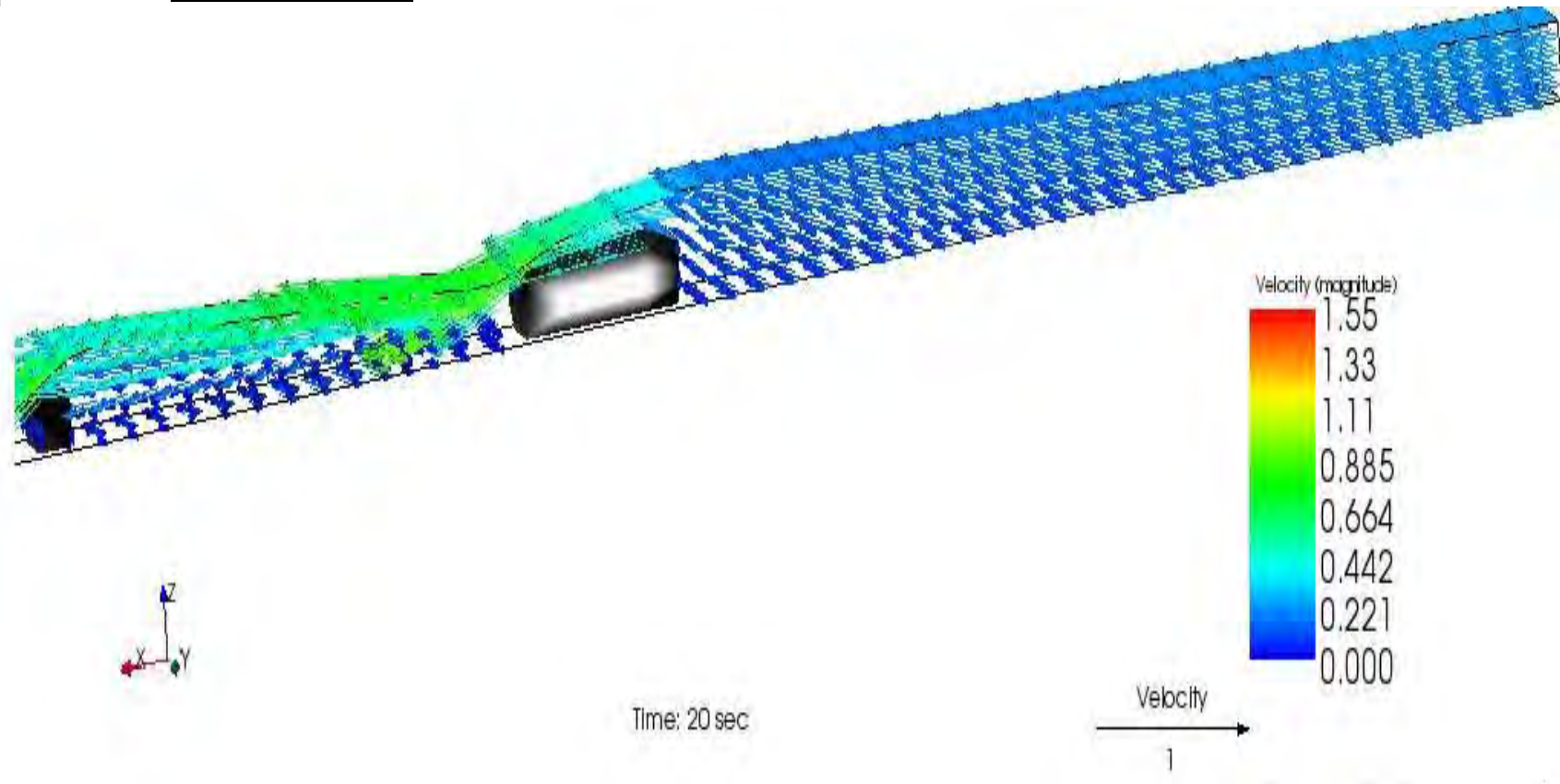
- Široki prag – hidraulički skok



Poređenjem dubina kod hidrauličkog skoka možemo zaključiti da je proračun korektno obavljen.

5. Diskusija rezultata

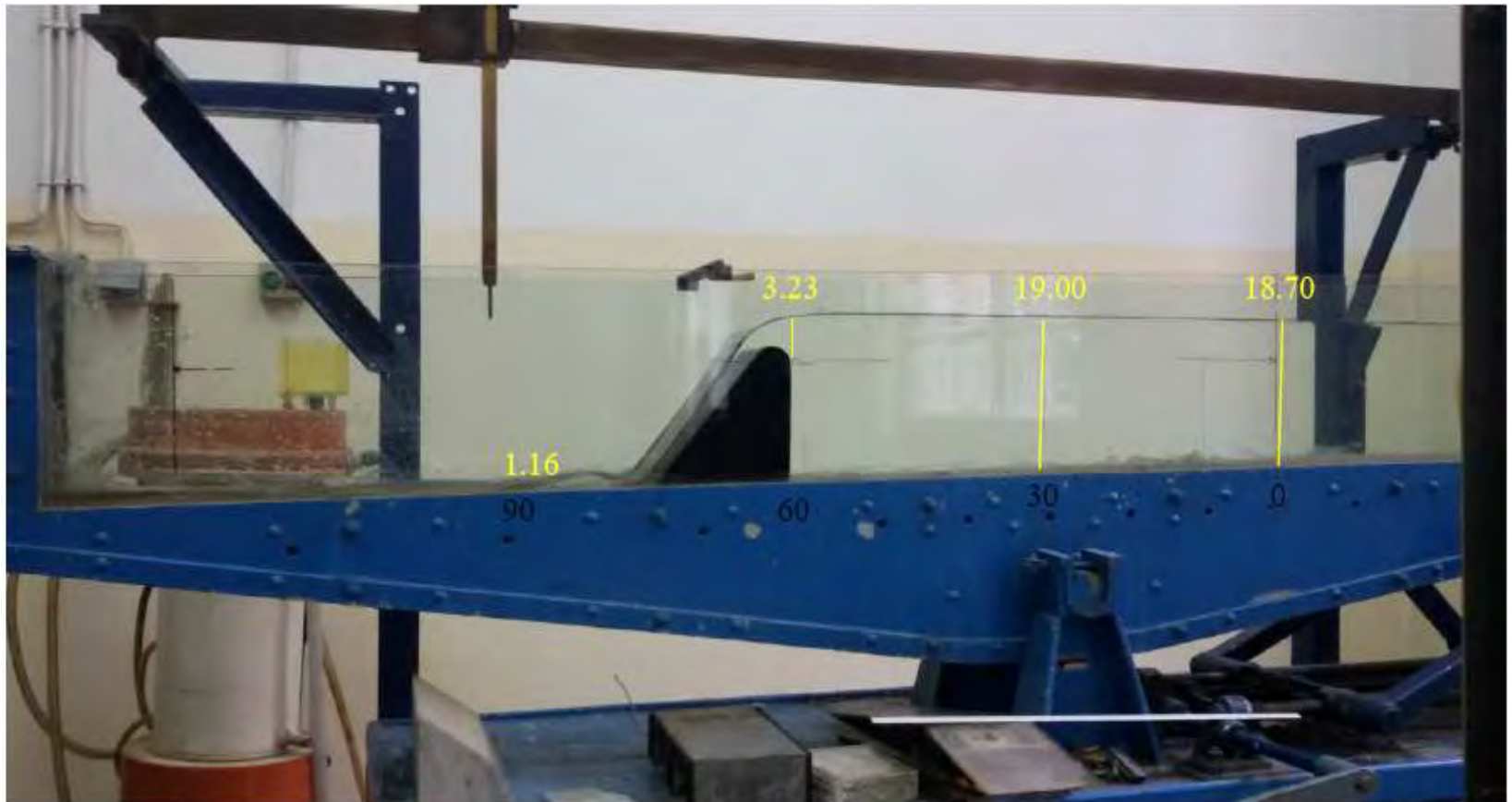
- Široki prag – hidraulički skok



Takođe, mesto hidrauličkog skoka je na identičnom mestu kao i u laboratorijskom kanalu.

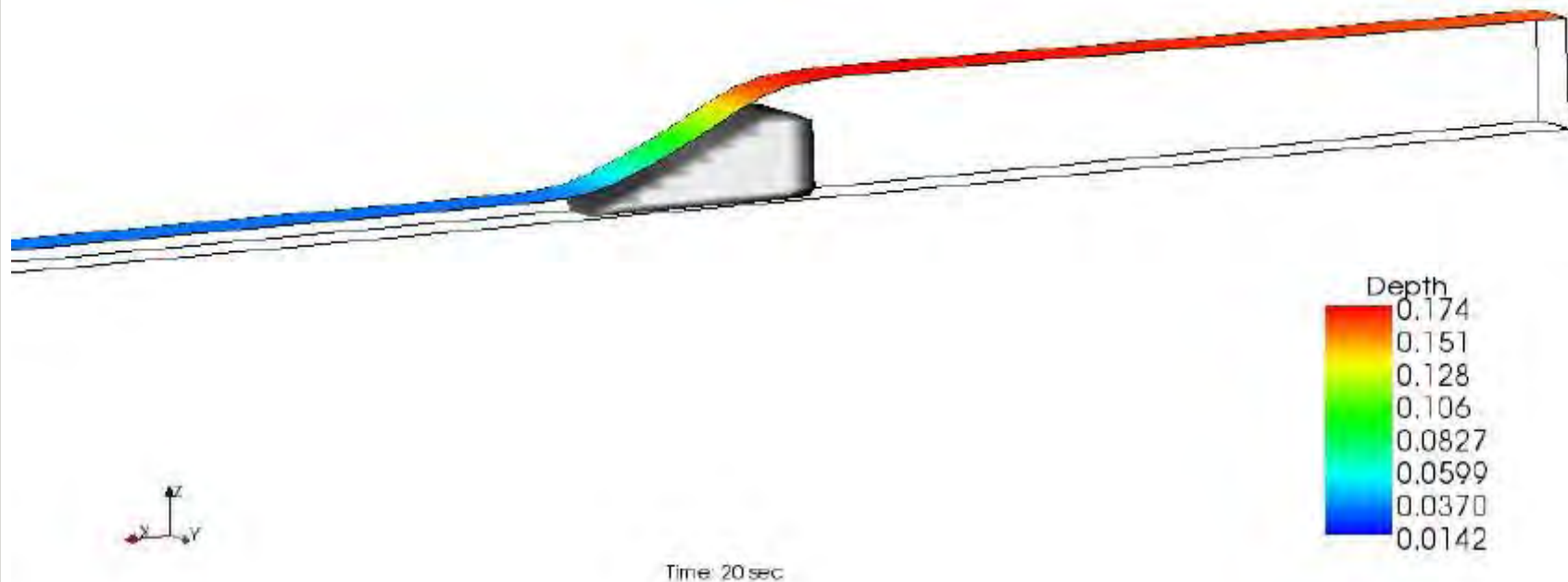
5. Diskusija rezultata

- Preliv praktičnog profila - prelivanje



5. Diskusija rezultata

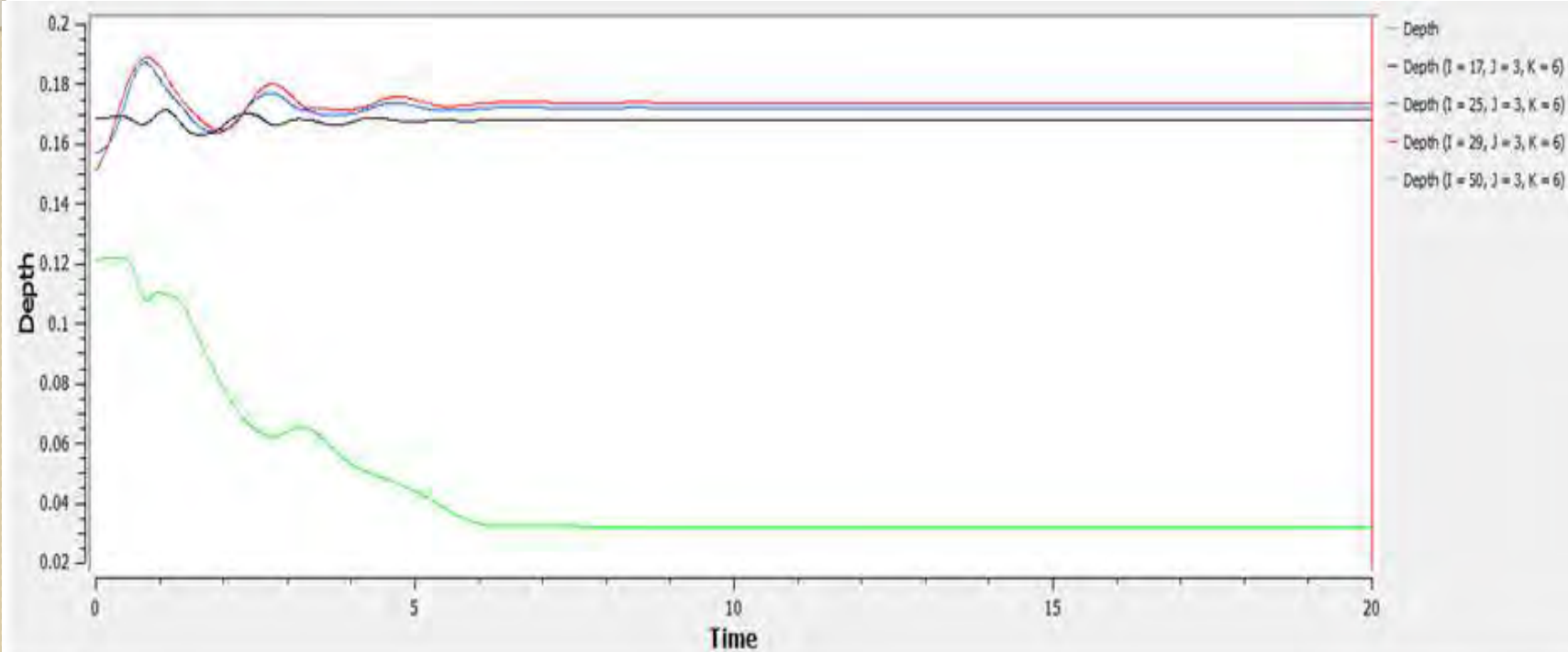
- Preliv praktičnog profila – prelivanje



Prelivanje preko preliva praktičnog profila je korektno izračunato, što nam i vizualno poređenje to potvrđuje.

5. Diskusija rezultata

- Preliv praktičnog profila - prelivanje



Controller



Data Source | Axis Setting | Draw Setting | Marker Setting | Copy

Snapshot | CSV Export

5. Diskusija rezultata

- Preliv praktičnog profila - prelivanje

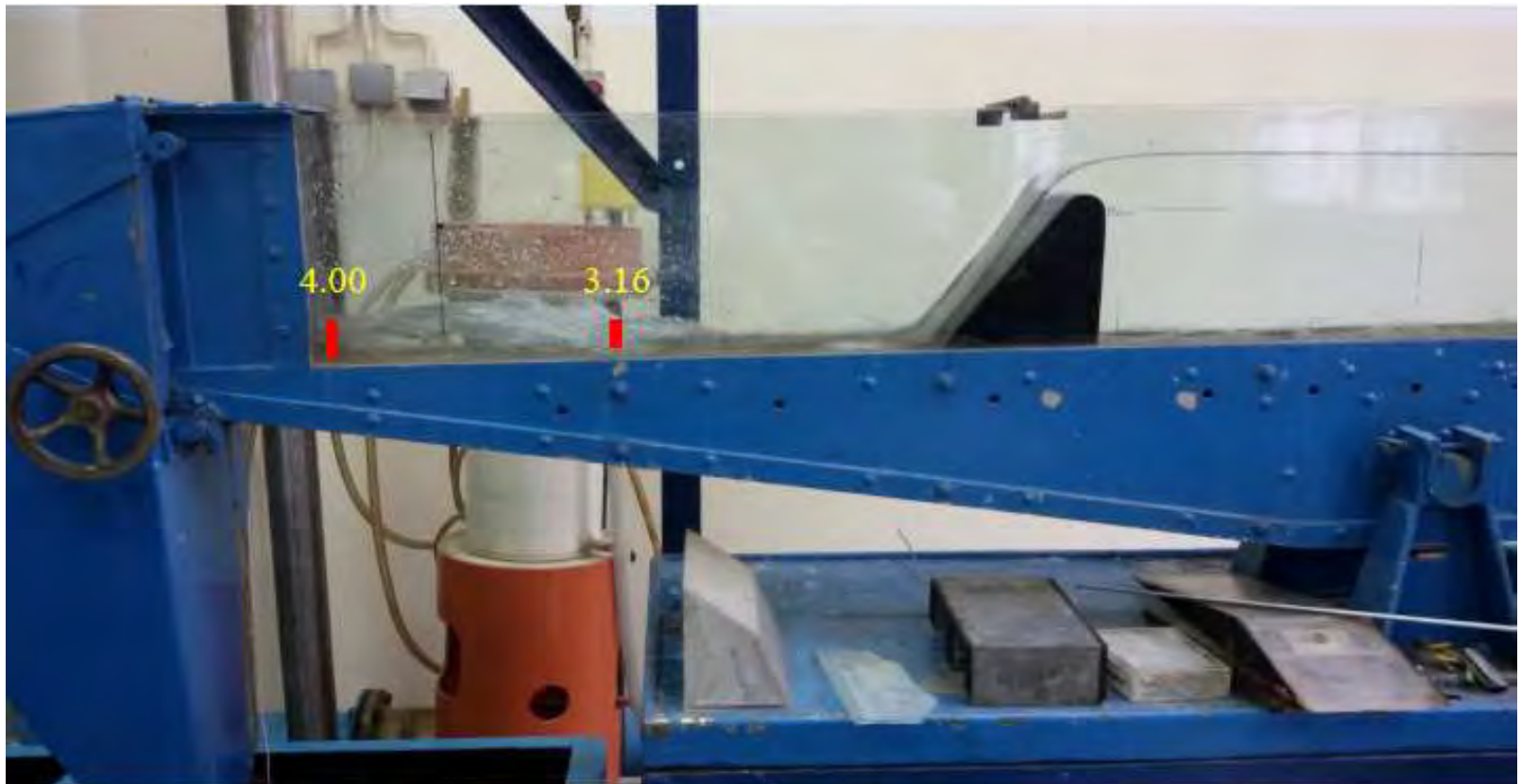
Odnosi P/hp

	Mereno	Sračunato
hp (cm)	3.23	2
P/hp	4.829721	7.8

Kao i u prethodnom slučaju, poređenjem navedenog odnosa možemo zaključiti da određena razlike u dubinama postoje. Razlike su posledica ređe mreže i korišćenja Obstacle prepreke, zbog nestabilnosti u korišćenju Bed elevation prepreke.

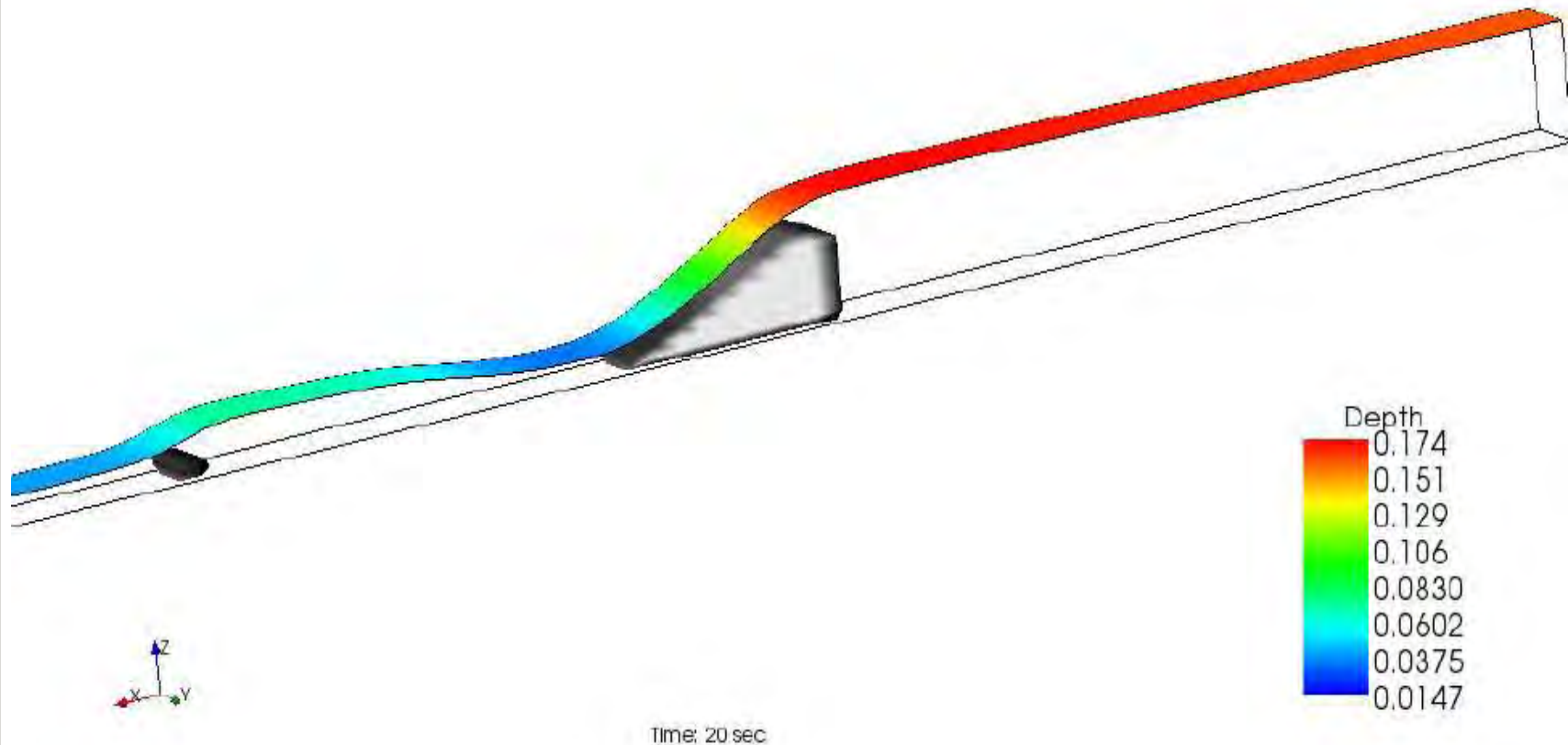
5. Diskusija rezultata

- Preliv praktičnog profila – prvi hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

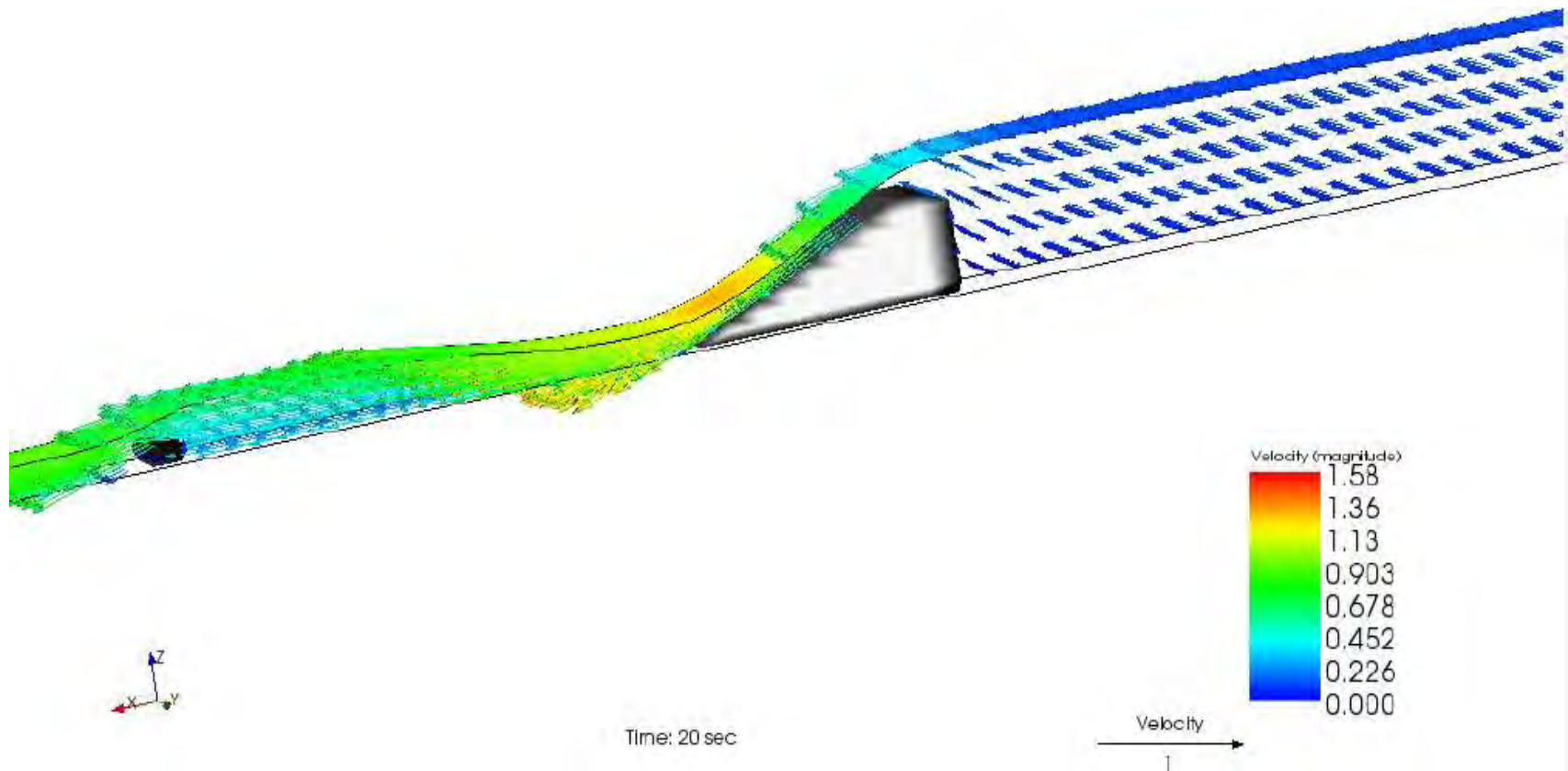
- Preliv praktičnog profila – prvi hidraulički skok



Odbačeni skok, dubine su slične kao u laboratorijskom kanalu.

5. Diskusija rezultata

- Preliv praktičnog profila – prvi hidraulički skok



Možemo jasno videti prelazak iz burnog u miran režim preko vektora brzina.

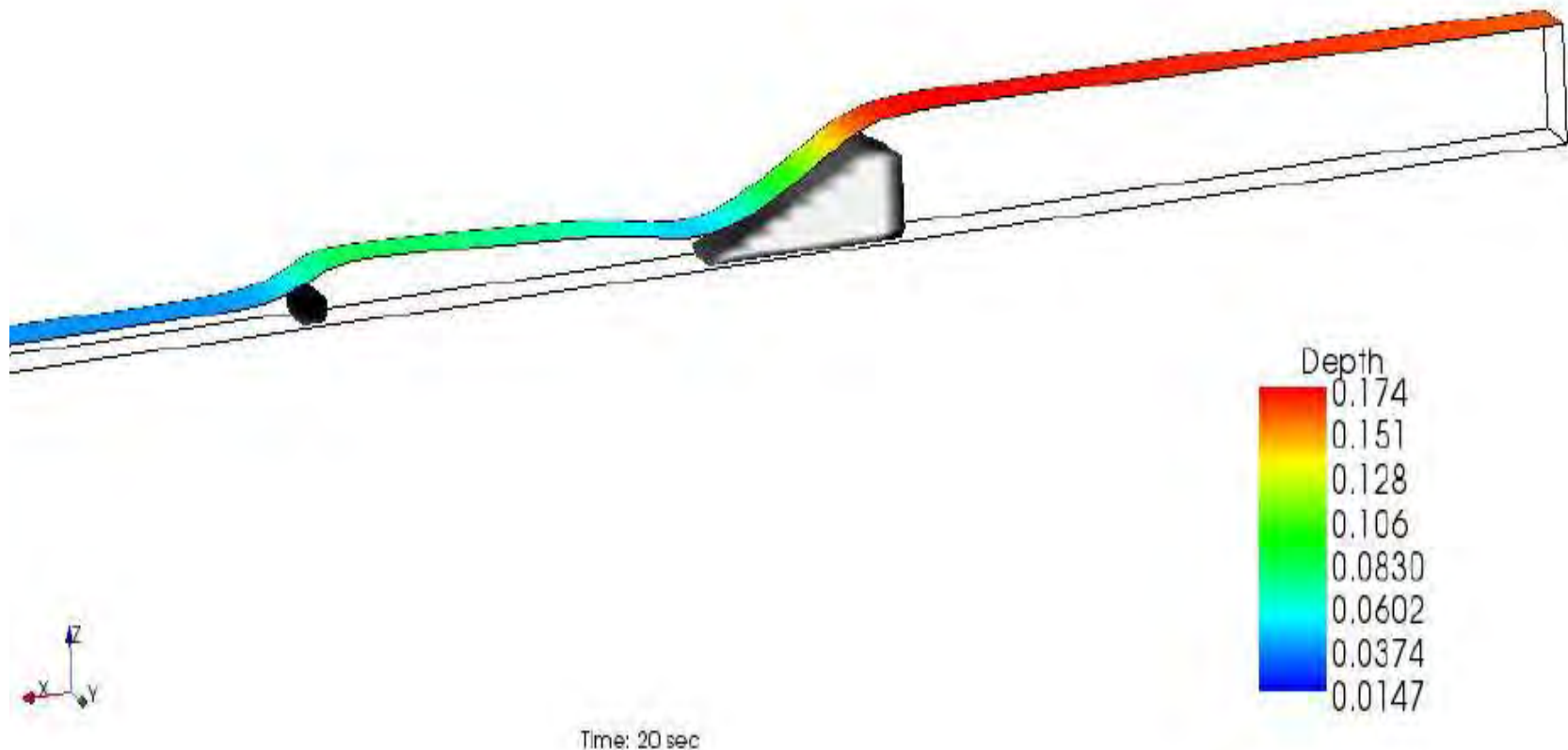
5. Diskusija rezultata

- Preliv praktičnog profila – drugi hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

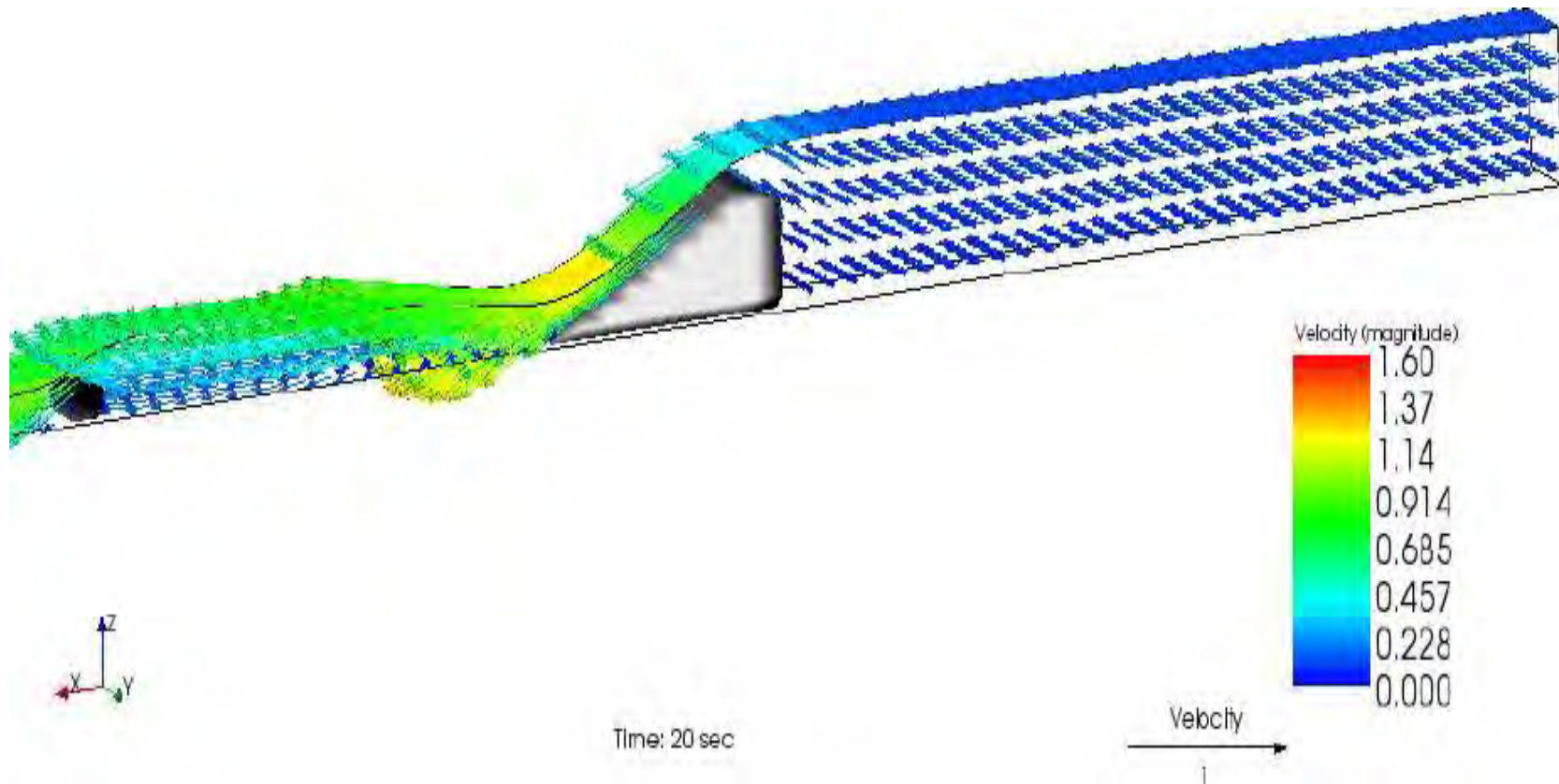
- Preliv praktičnog profila – drugi hidraulički skok



Povećanjem nizvodnog graničnog uslova, u ovom slučaju je to prag kojim podižemo nivo uzvodno od praga, hidraulički skok smo približili prelivu.

5. Diskusija rezultata

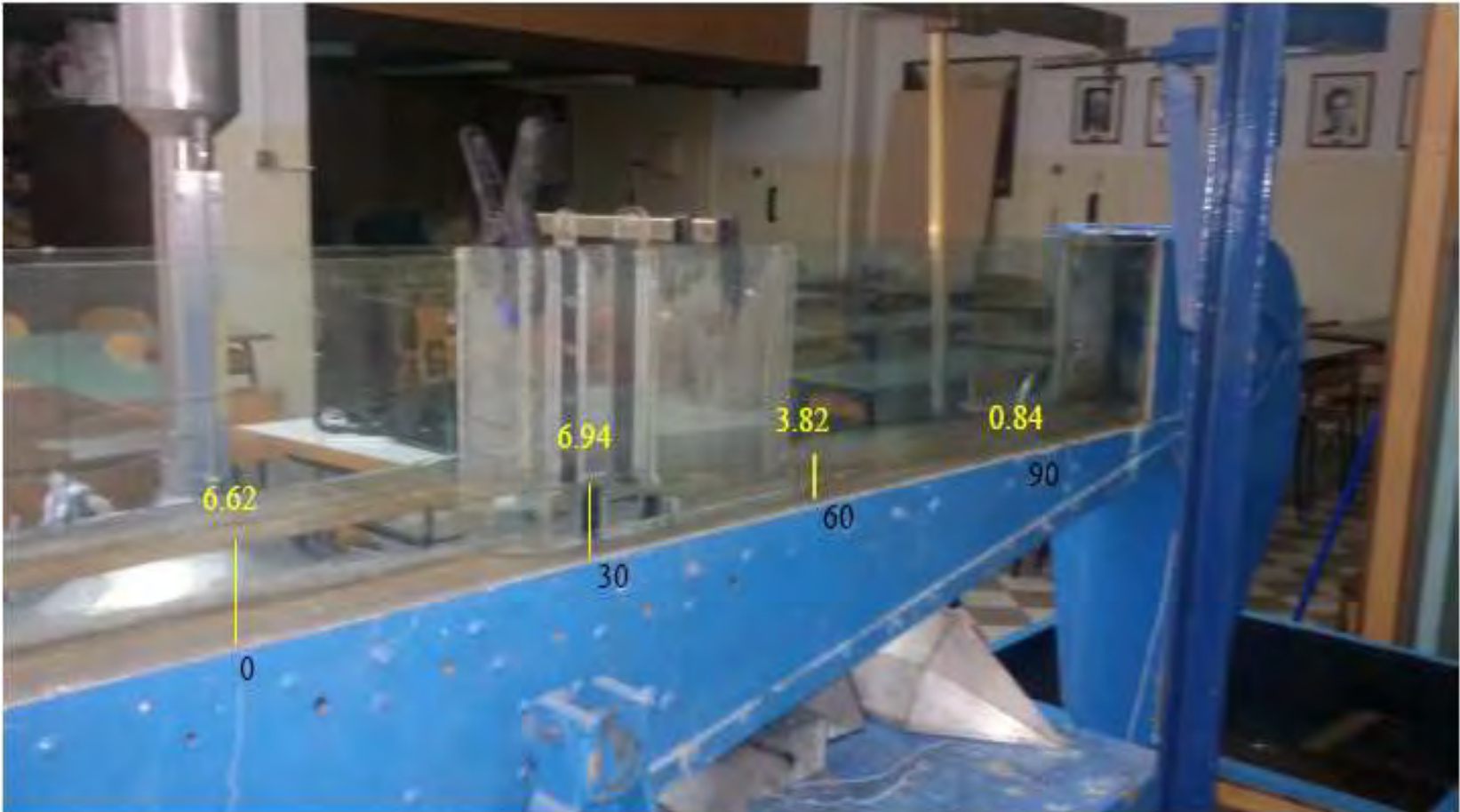
- Preliv praktičnog profila – drugi hidraulički skok



Takođe to možemo videti i preko vektora brzina.

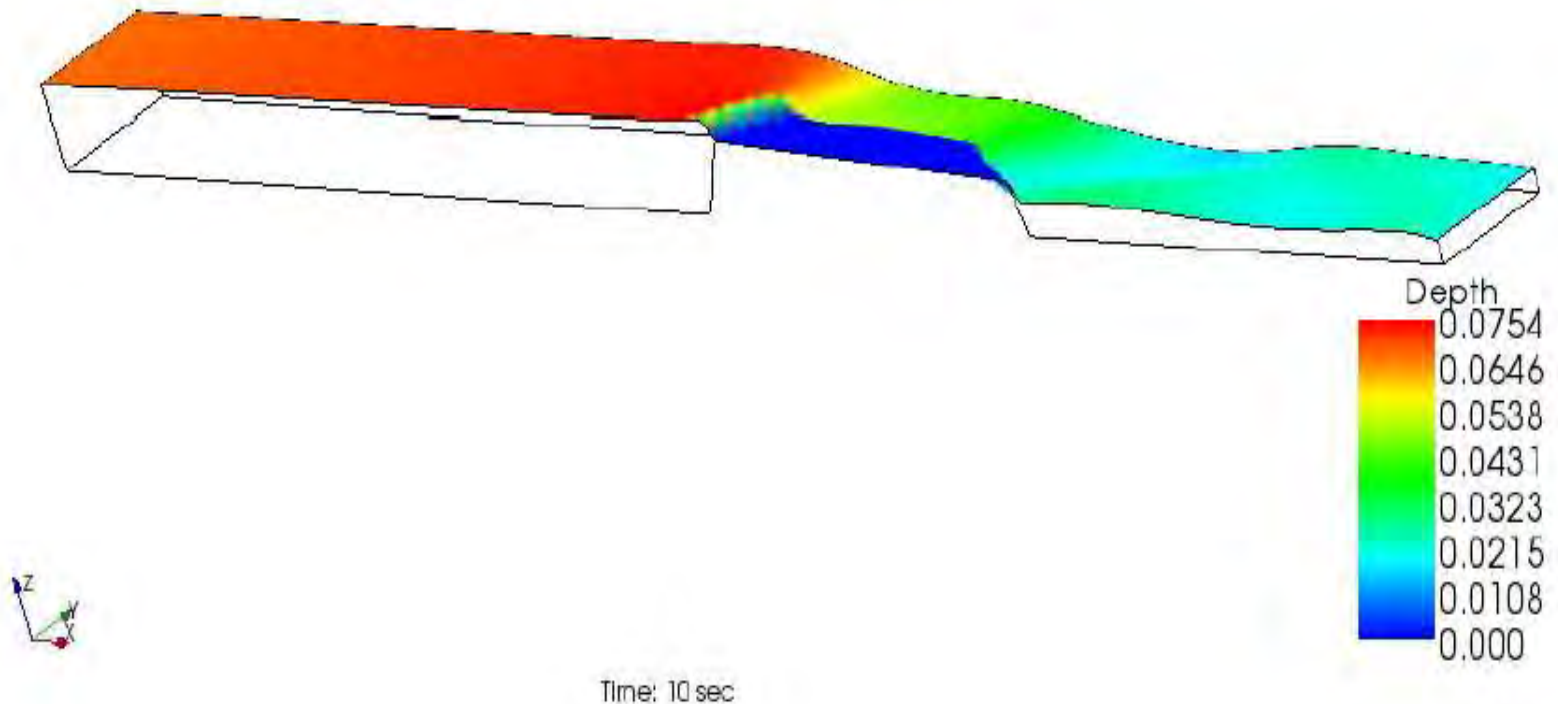
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje



5. Diskusija rezultata

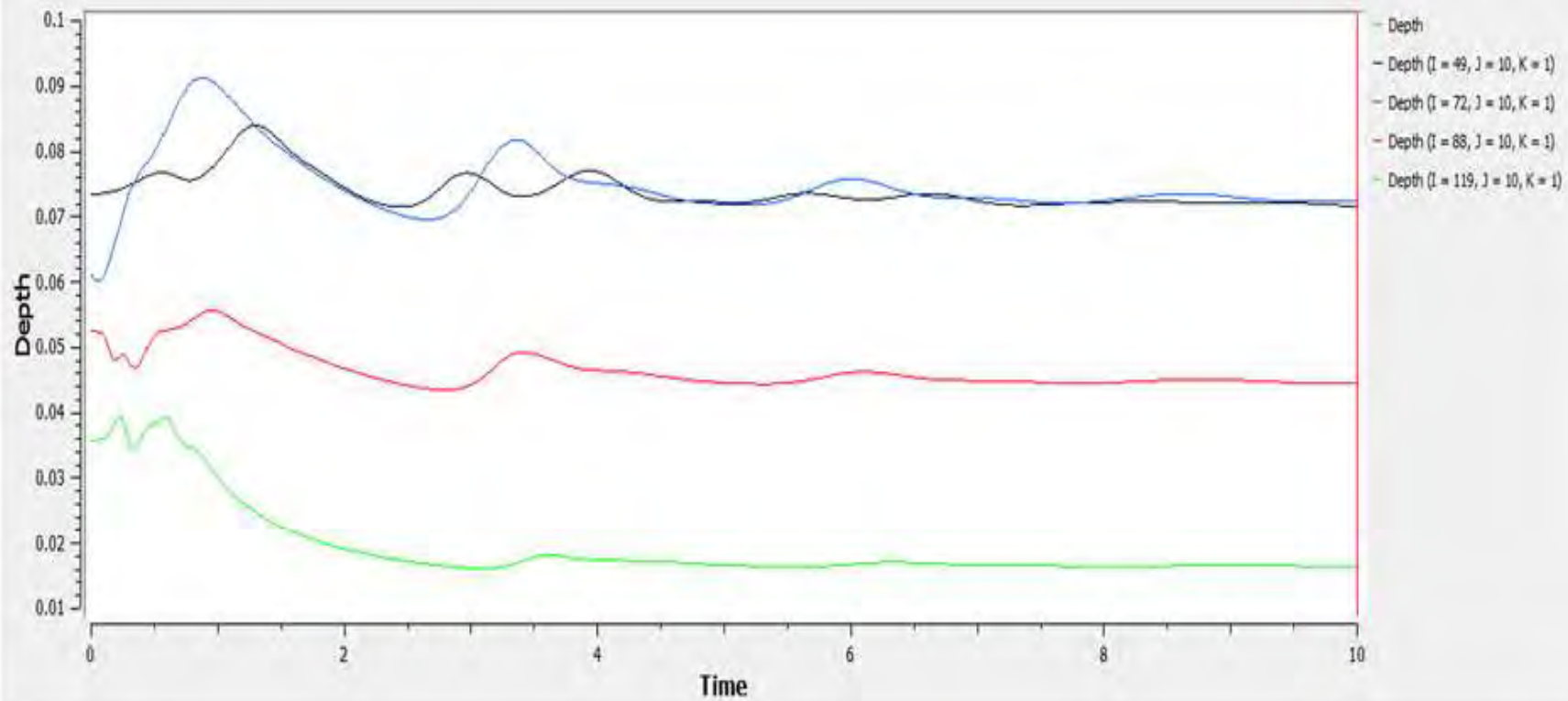
- Merno suženje



Dubine u mernom suženju su korektno izračunate, u ovom slučaju nismo imali problem sa gušćom mrežom, takođe smo mogli da postavimo Bed elevation prepreku, što je dodatna prednost ovog slučaja.

5. Diskusija rezultata

- Merno suženje



Controller



5. Diskusija rezultata

- Merno suženje

Karakteristične dubine

	Mereno	Sračunato
h1 (cm)	6.62	7.05
hkr (cm)	3.82	4.3
h3 (cm)	1.86	1.9

Poređenje realnosti i modela nam potvrđuje da velikih razlika nije bilo kod slučaja mernog suženja.

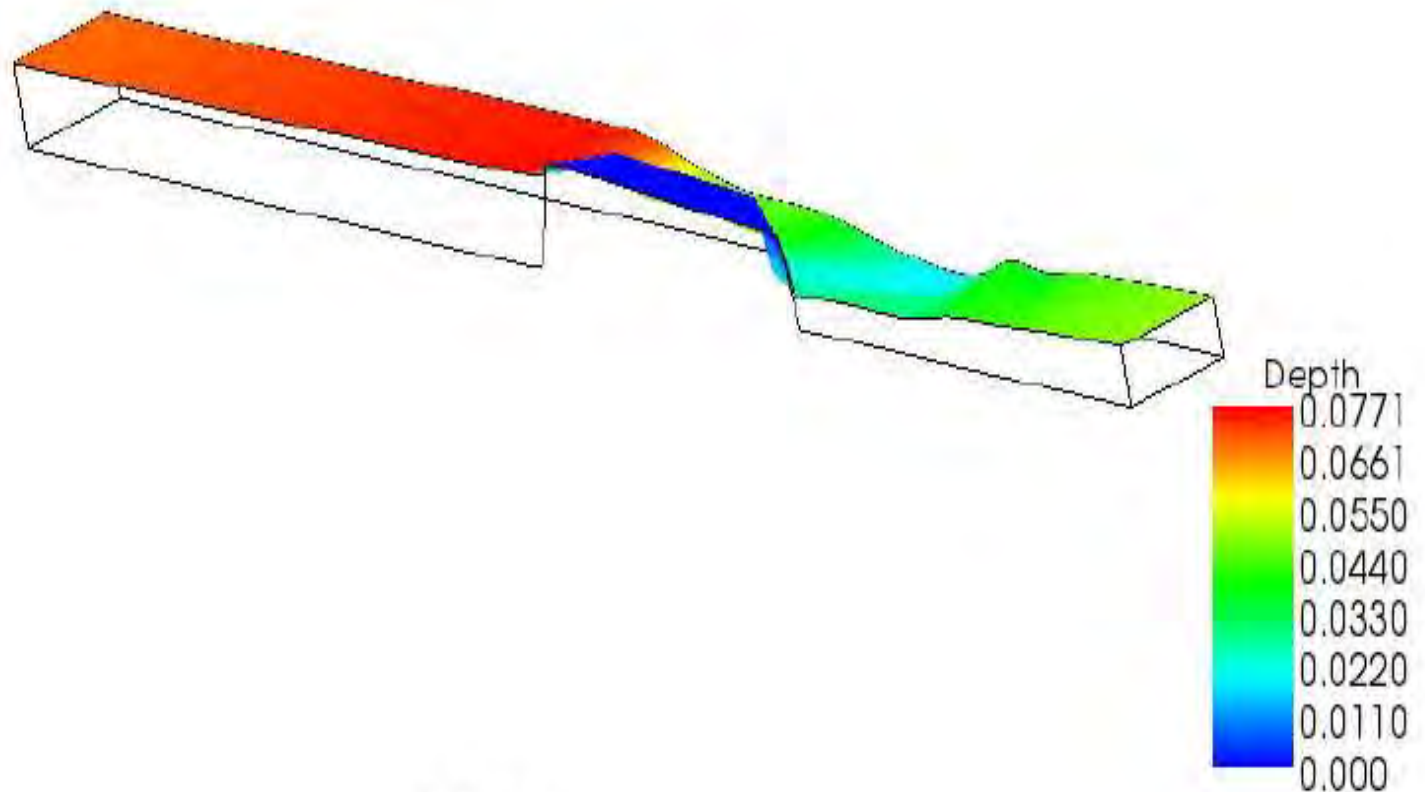
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – prvi hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

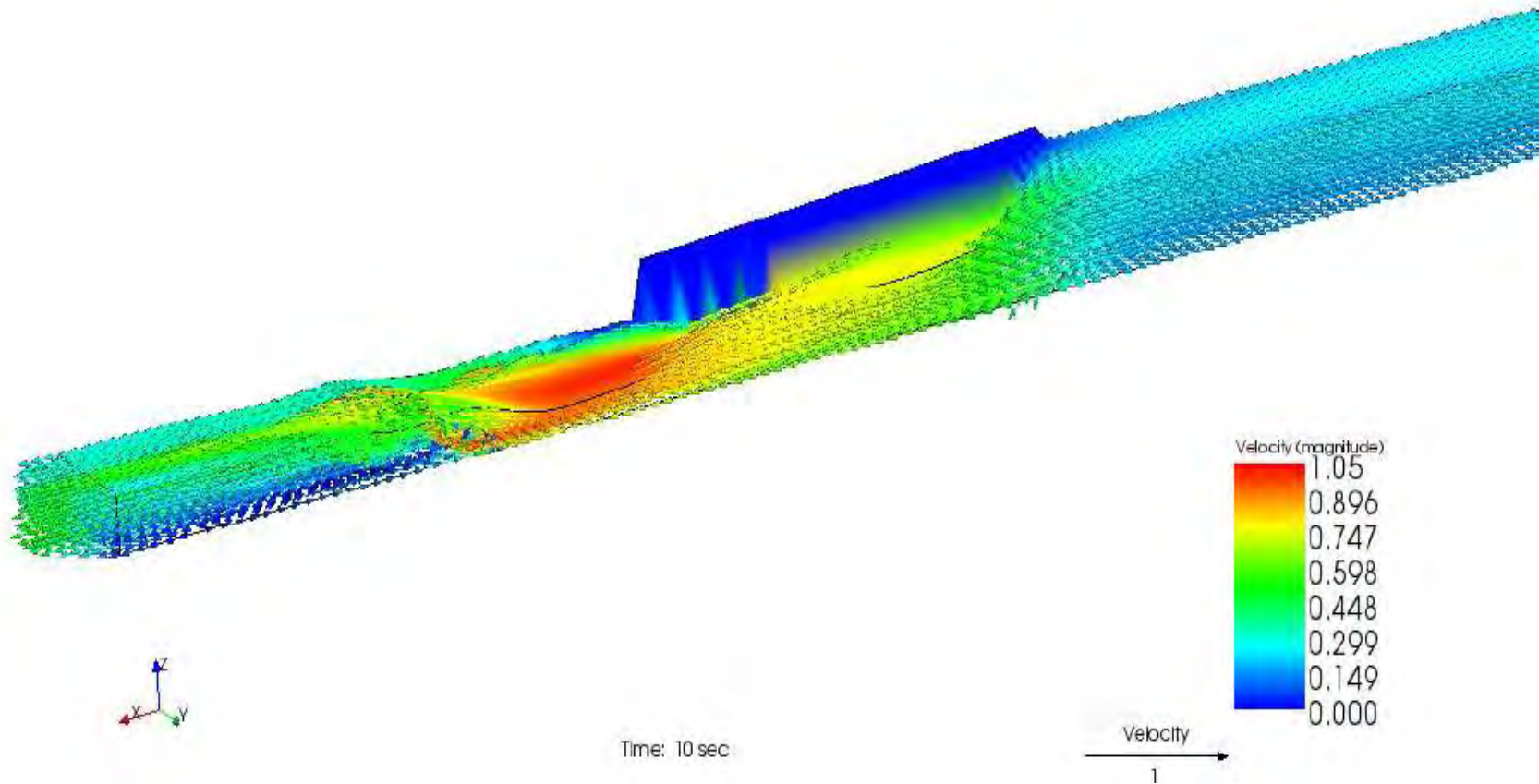
- Merno suženje – prvi hidraulički skok



Time: 10 sec

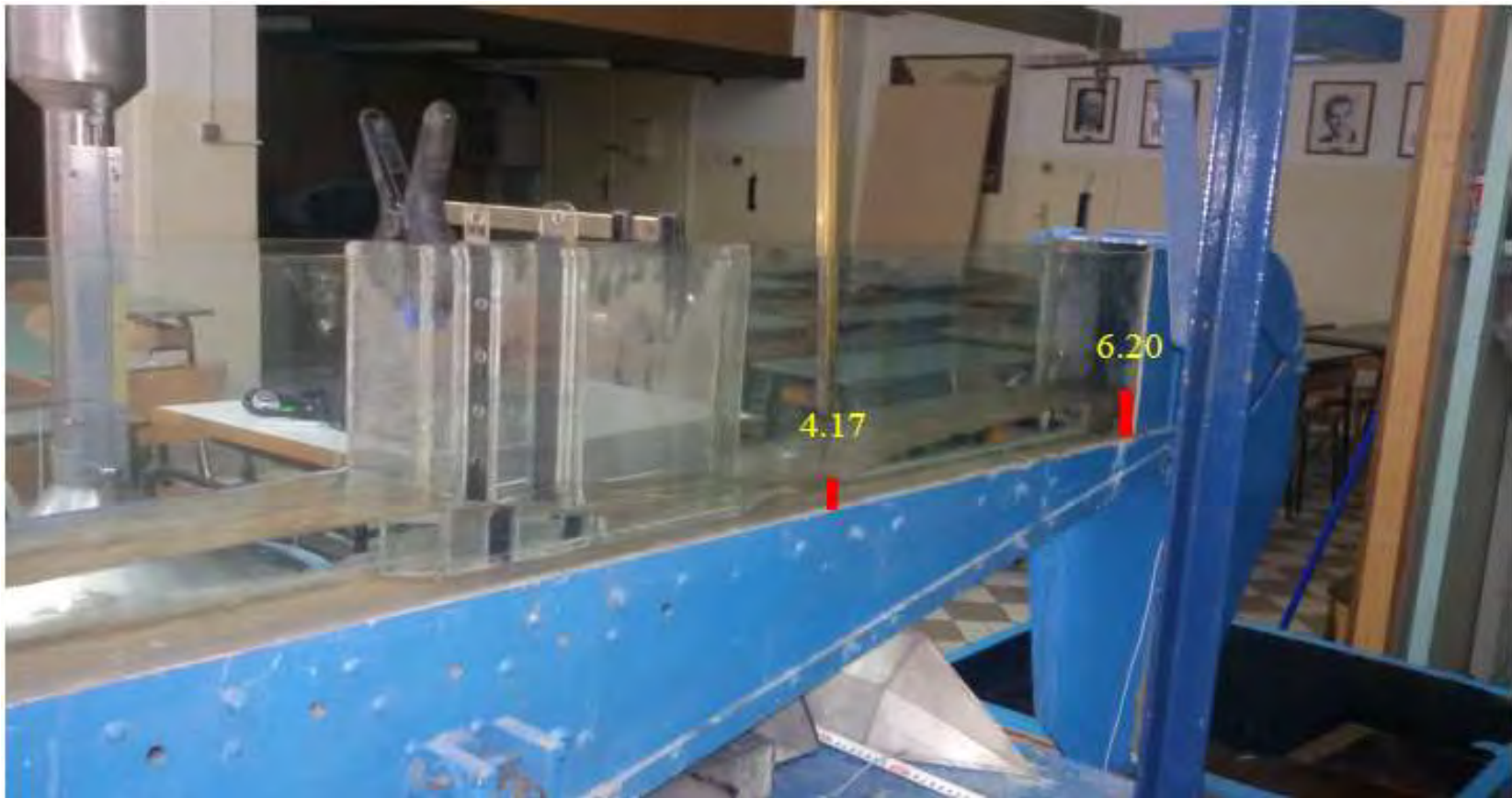
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – prvi hidraulički skok



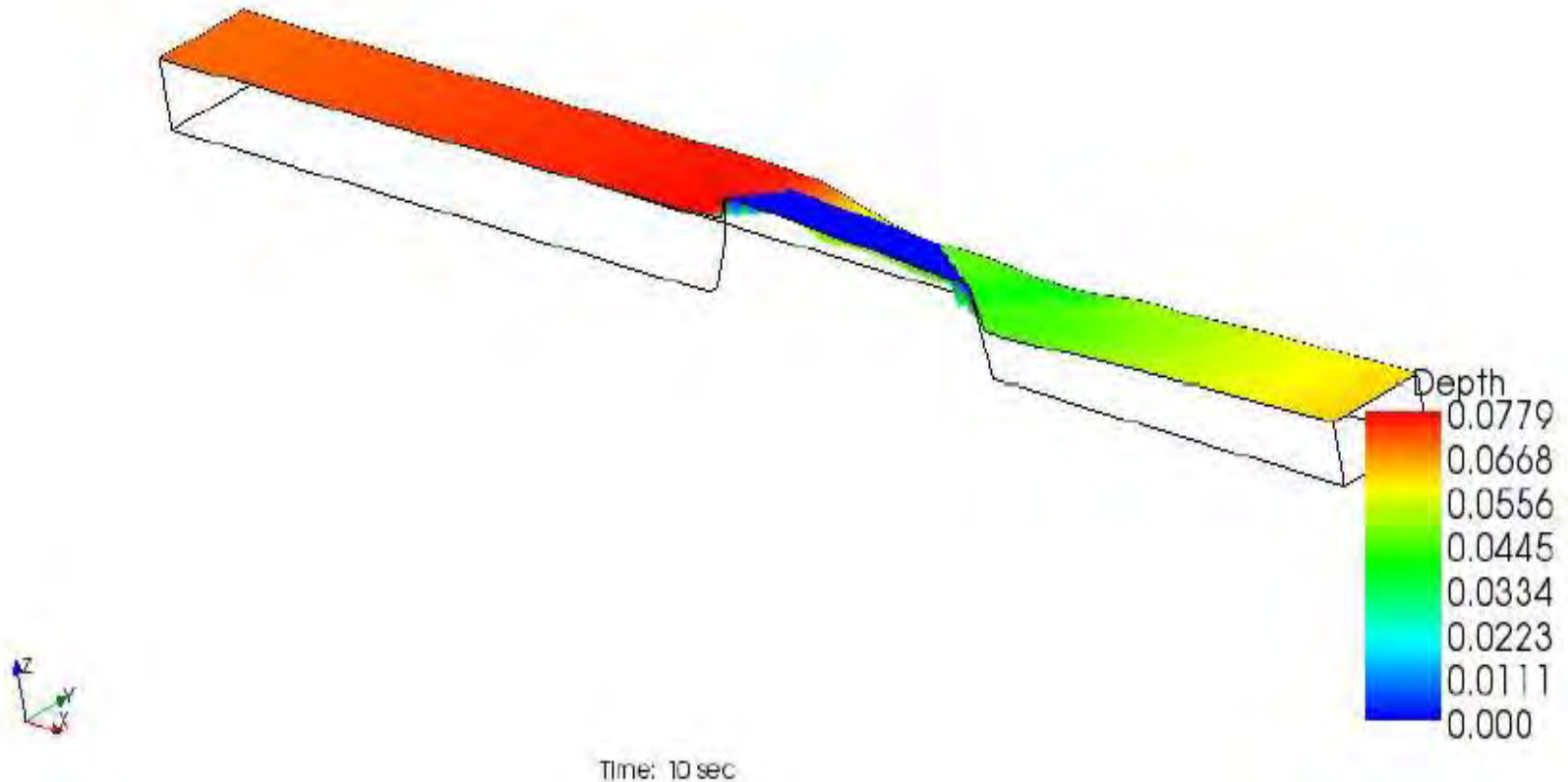
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – drugi hidraulički skok



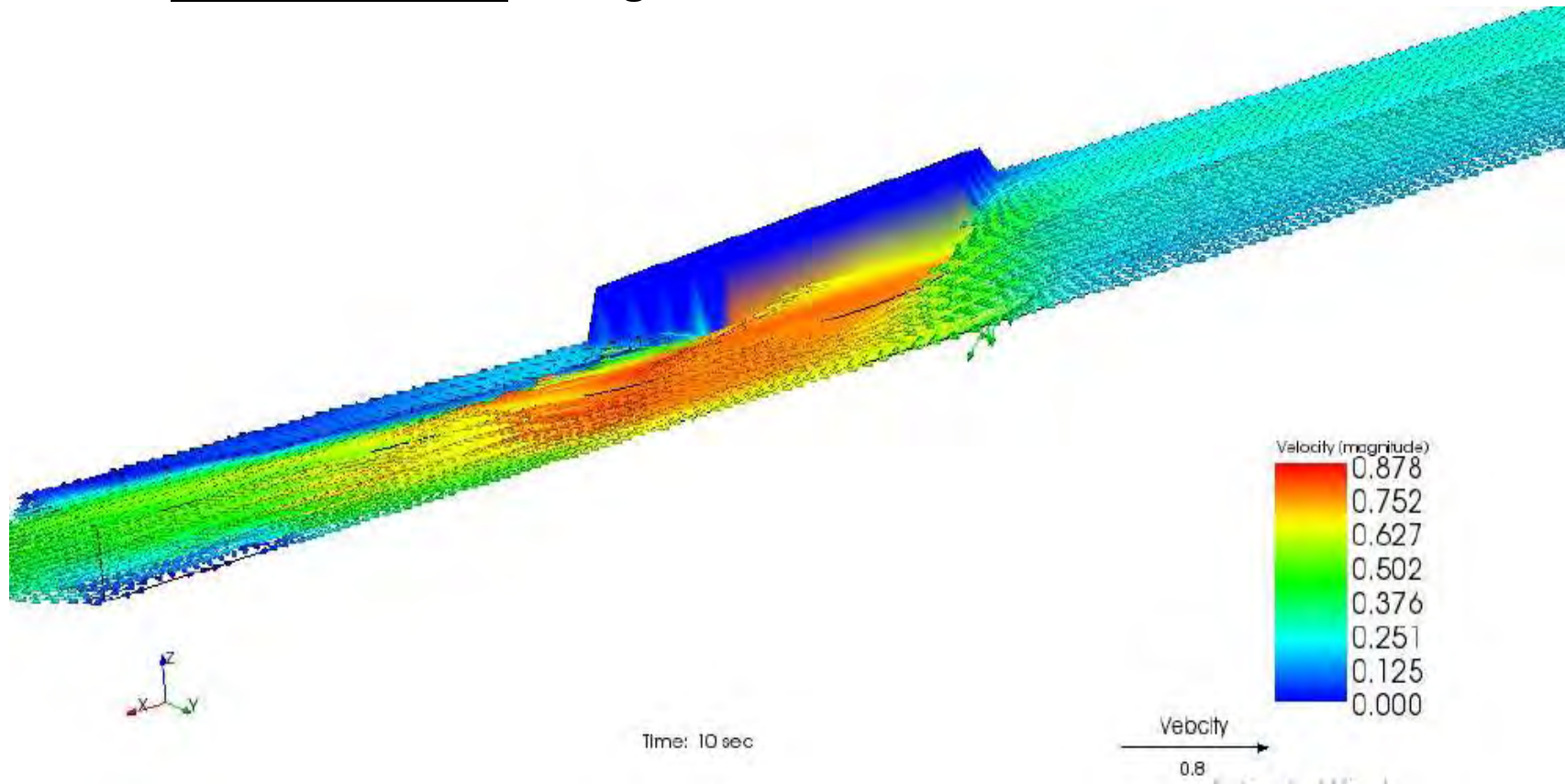
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – drugi hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – drugi hidraulički skok



U odnosu na prethodna dva slučaja, ovde nije bilo potrebe za produženjem kanala, pa smo nizvodni granični uslov postavljali u podešavanjima.

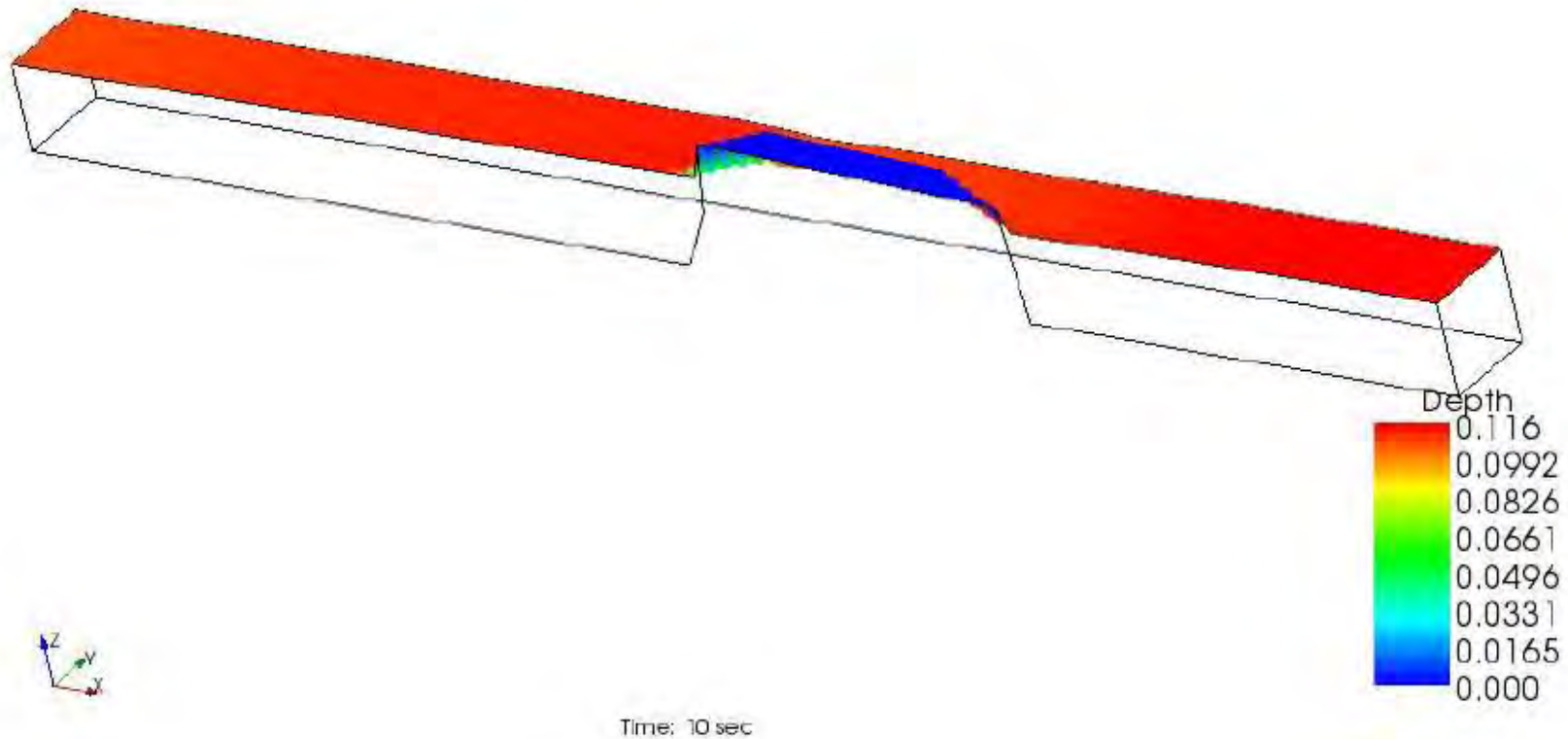
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – potopljeno suženje



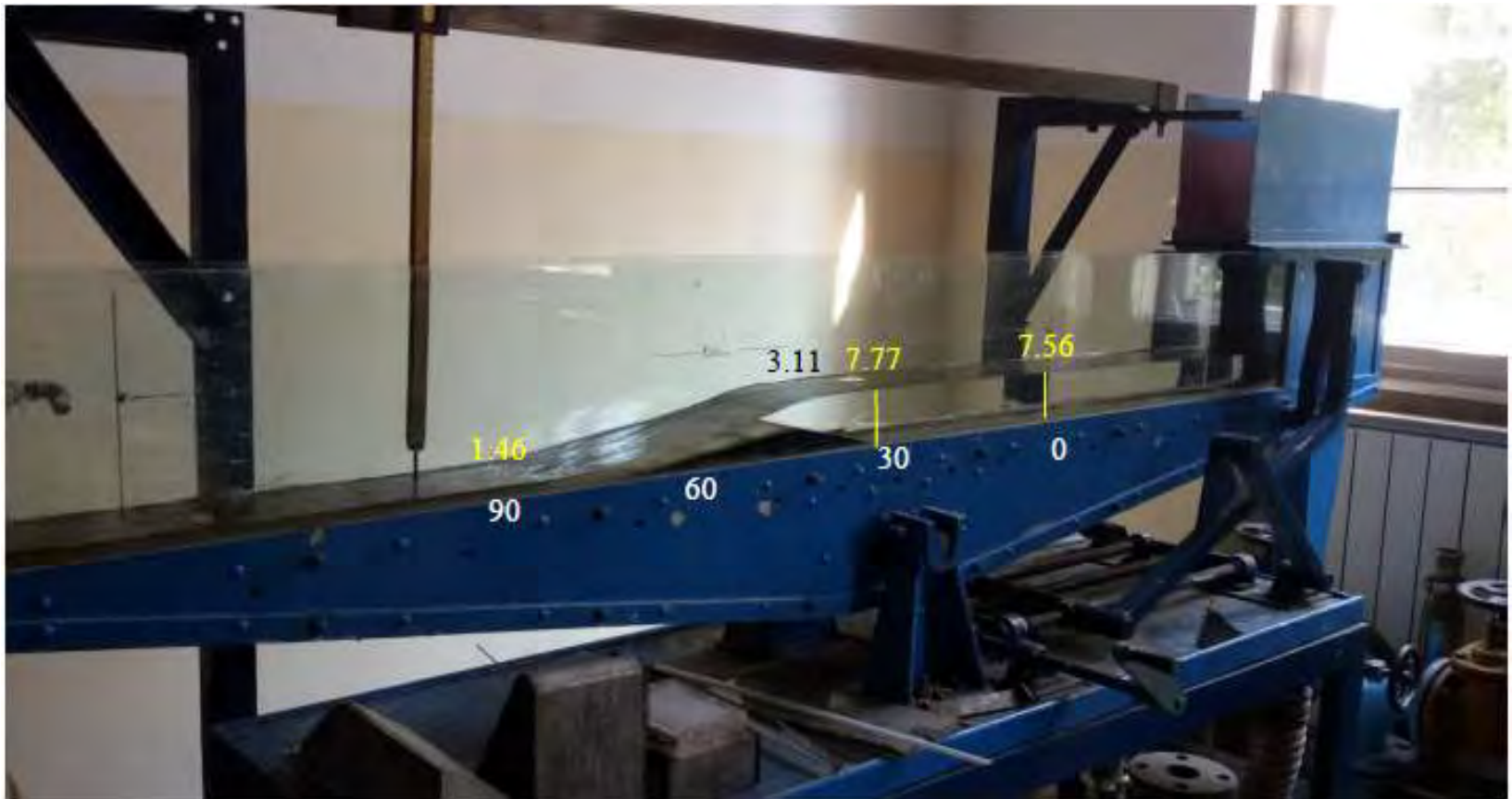
5. Diskusija rezultata

- Merno suženje – potopljeno suženje



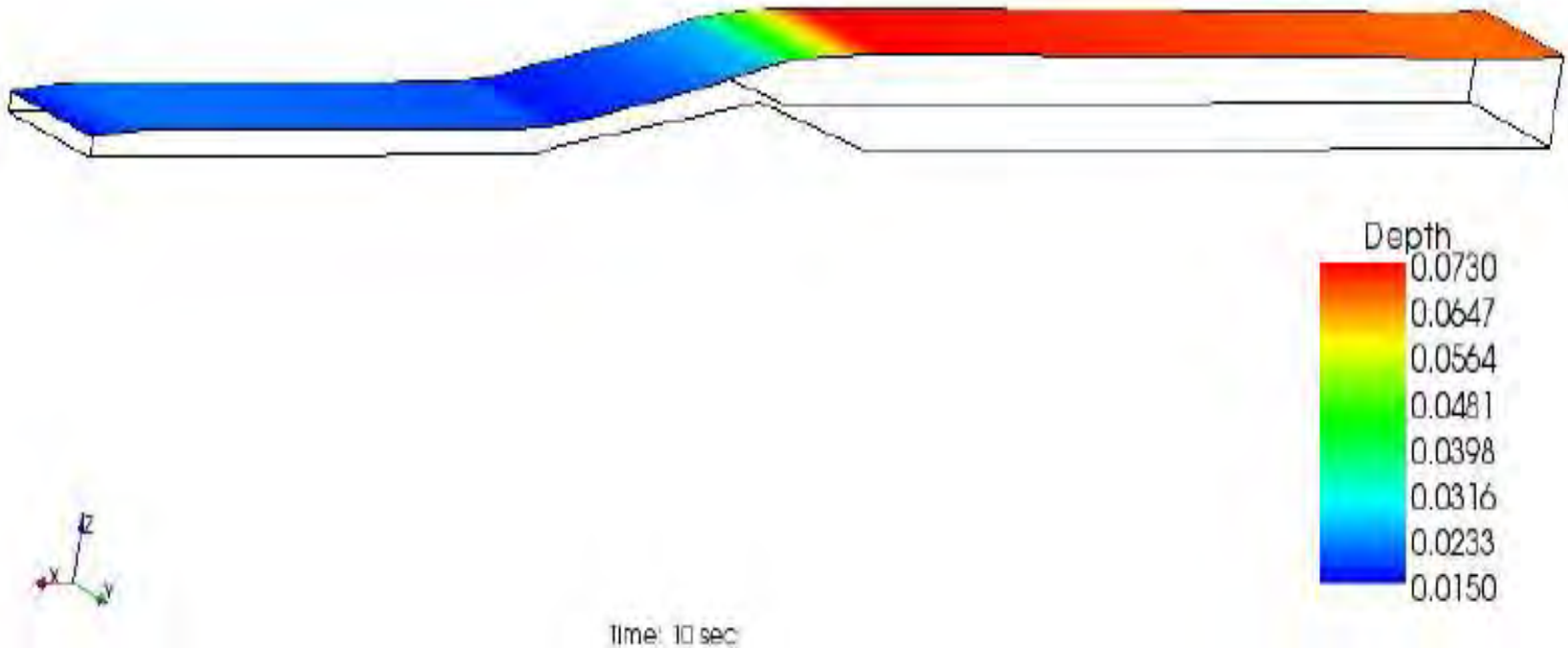
5. Diskusija rezultata

- Trougani preliv - prelivanje



5. Diskusija rezultata

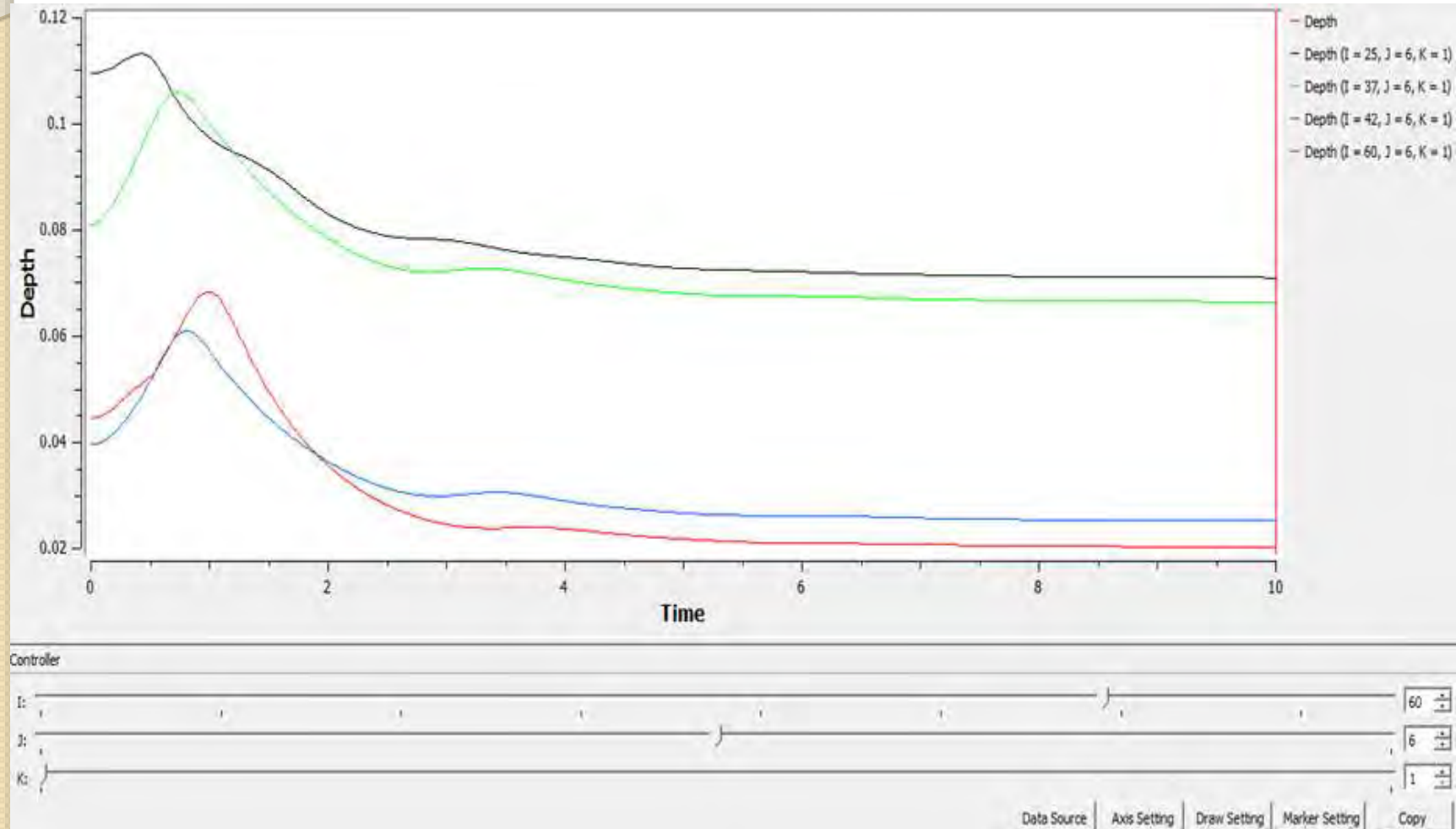
- Trougani preliv – prelivanje



Za razliku od slučaja širokog praga, ovde je visina preliva za 2 cm manja, što nam je omogućilo postavljanje Bed elevation prepreke. Takođe, nismo imali potrebu da produžujemo kanal.

5. Diskusija rezultata

- Trougani preliv - prelivanje



5. Diskusija rezultata

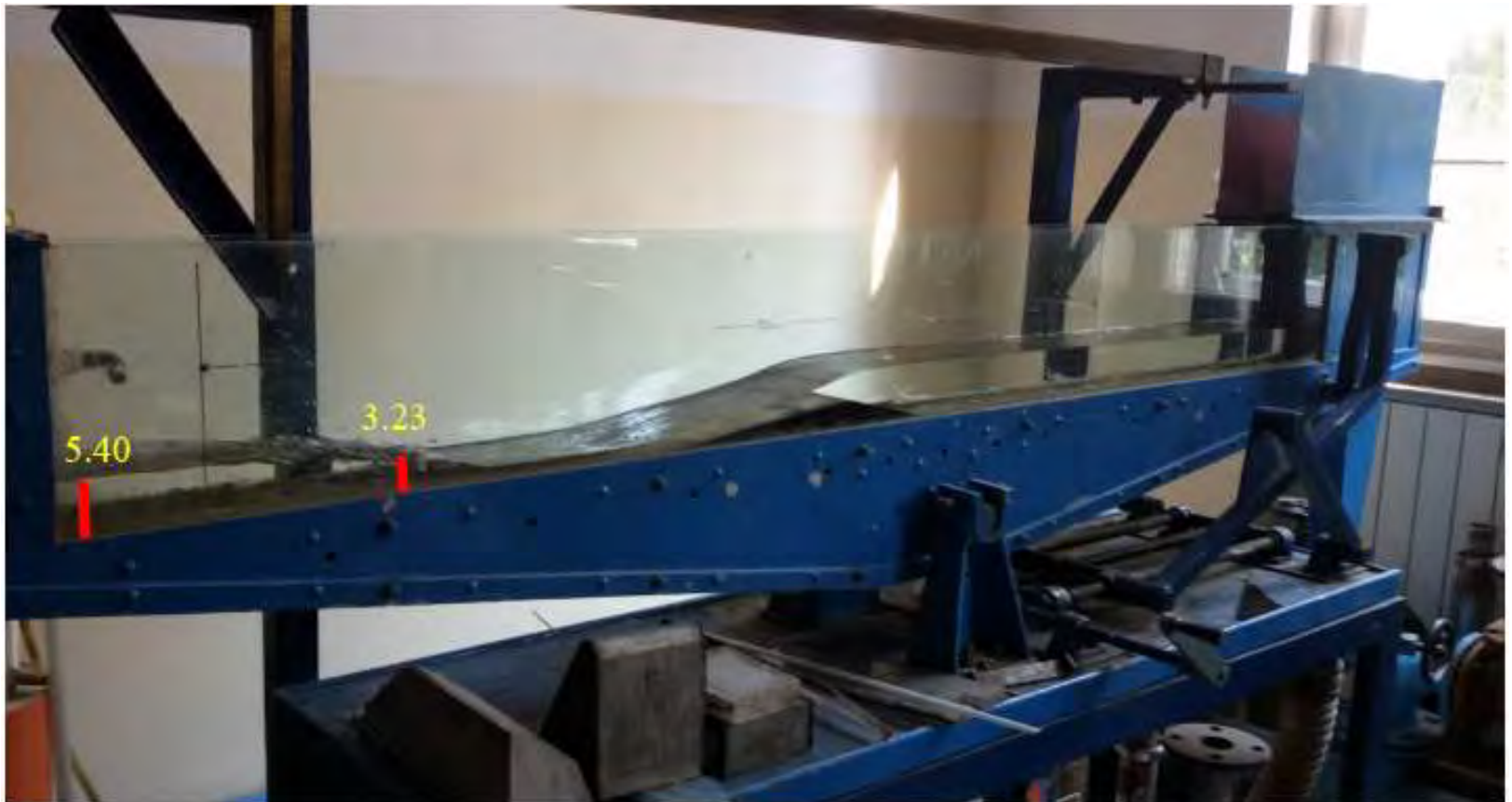
- Trougani preliv - prelivanje
odnosi L/hkr i P/hp

	Mereno	Sračunato
hkr (cm)	3.11	3.1
hp (cm)	7.77	7.1
L/hkr	15.11254	15.16129
P/hp	0.48906	0.535211

Odnosi karakterističnih dubina, visina i dužina su, kao što se iz tabele vidi, slični.

5. Diskusija rezultata

- Trougani preliv – prvi hidraulički skok



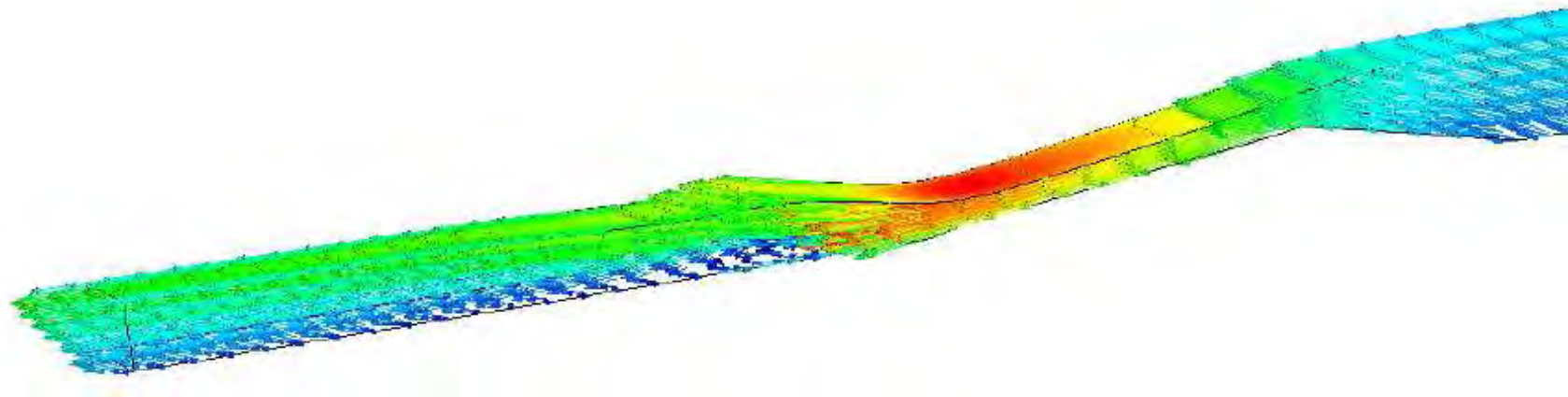
5. Diskusija rezultata

- Trougani preliv – prvi hidraulički skok

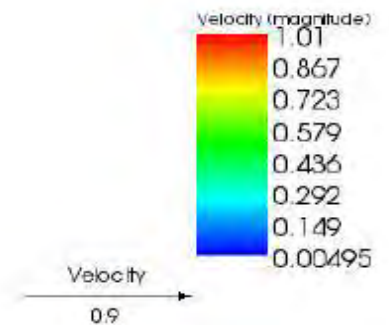


5. Diskusija rezultata

- Trougani preliv – prvi hidraulički skok



Time: 10 sec



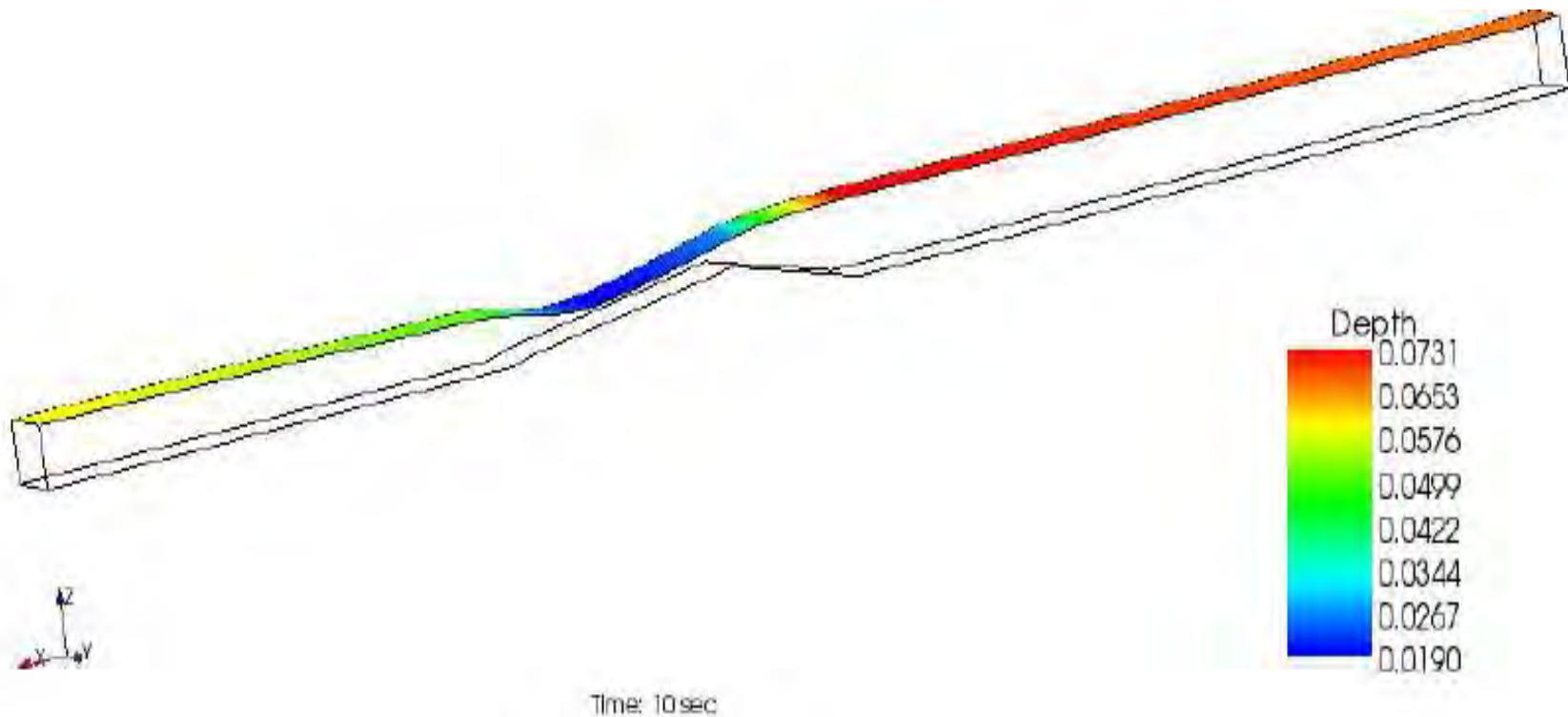
5. Diskusija rezultata

- Trougaoni preliv – drugi hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

- Trougaoni preliv – drugi hidraulički skok



5. Diskusija rezultata

- Trougaoni preliv – drugi hidraulički skok



Kao i u prethodnom slučaju, nizvodni granični uslov smo zadali u podešavanjima i nije bilo potrebe za produžavanjem kanala.

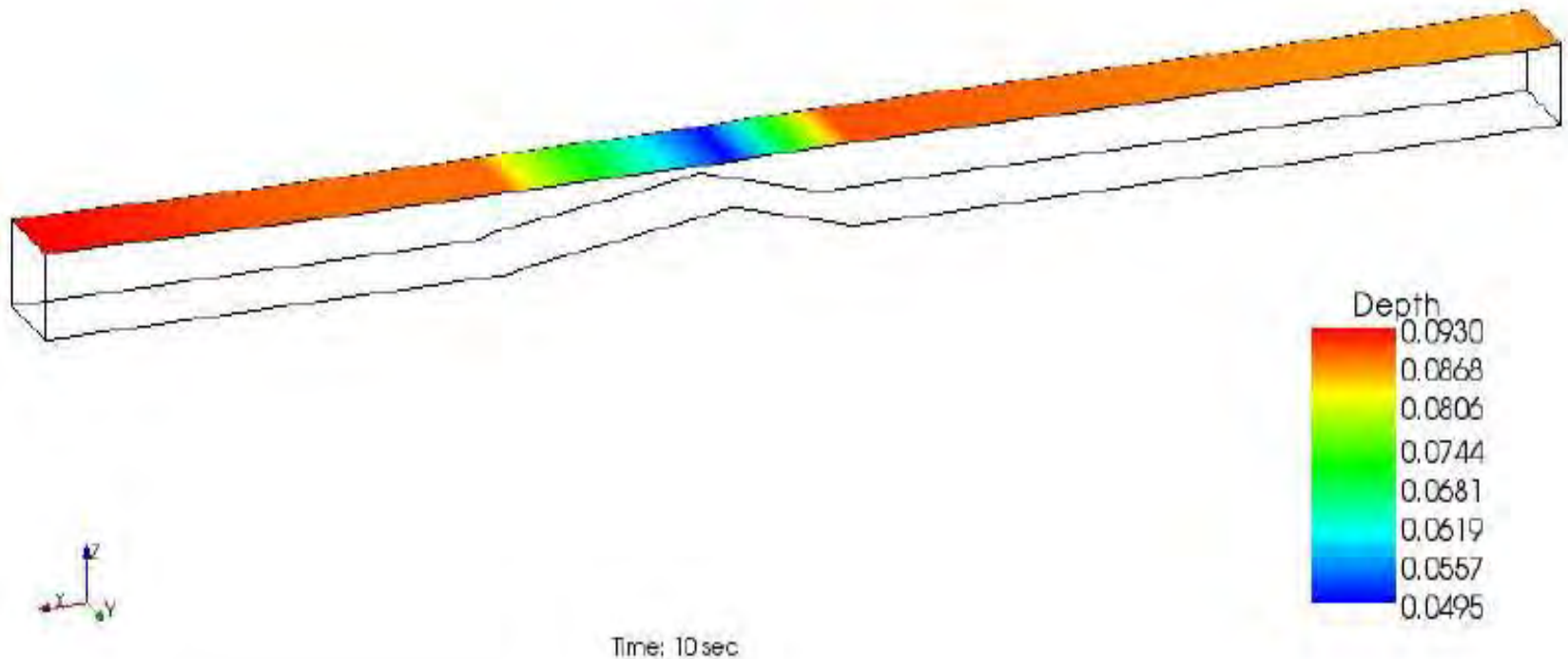
5. Diskusija rezultata

- Trougaoni preliv – potopljeno suženje



5. Diskusija rezultata

- Trougaoni preliv – potopljeno suženje



6. Zaključak

Prelivanje:

- Primer sa širokim pragom nam pokazuje da rešenje sa „Bed elevation” preprekom solver NaysCUBE pokazuje nestabilan proračun, jer solver nam zahteva veći protok, koji neće spustiti nivo vode ispod visine praga. To se jasno vidi upoređivanjem rešenja koja smo dobili za široki prag i trougaoni preliv, gde se „Bed elevation” prepreka bez problema mogla primeniti, jer je trougaoni preliv bio manje visine nego široki prag.
- Kod mernog suženja taj problem nismo imali, jer je voda imala prostor da nesmetano prolazi, odnosno samo suženje koje služi kao merni objekat.

6. Zaključak

Hidraulički skok:

- Problem hidrauličkog skoka je što solver ne reprezentuje realnost vizualno na pravi način, možemo zaključiti po vektorima brzine vode gde bi se hidraulički skok javio, a takođe i po površinskom sloju se može primetiti promena iz burnog u miran režim.

Potopljeno prelivanje:

- Može se zaključiti da je najbolje modeliranje u slučaju potopljenog prelivanja, jer nizvodni granični uslov koji namećemo daje stabilnost proračunu usled povratnog talasa.

6. Zaključak

Da li gušća mreža znači tačniji i stabilniji proračun?

- Ukoliko se vratimo na primere sa širokim pragom i prelivom praktičnog profila, videćemo da smo morali zbog visina ovih prepreka da koristimo ređu mrežu i da smo dobili stabilniji proračun. Slučajevi mernog suženja i trougaonog preliva su nam dozvolili gušću mrežu, takođe stabilnog proračuna.
- Zaključak je da se od slučaja do slučaja mora ispitati šta je najbolje za korišćenje, jer osim što se možda misli da se korišćenjem gušće mreže postiže tačniji proračun, za tu gustinu mreže bi nam trebalo i više vremena da solver izračuna.
- Kolika će dugo proračun trajati zavisi od odabranog vremenskog koraka: mora se voditi računa da li gustina mreže odgovara vremenu diskretizacije – Kurantov uslov stabilnosti se mora zadovoljiti.

6. Zaključak

Neke generalne zamerke na solver NaysCUBE bi bile:

- Dugo trajanje proračuna;
- Nemogućnost pauziranja proračuna;
- Nemogućnost izmene geometrije nakon izvršenog proračuna;
- Nerepresentovanje hidrauličkog skoka potpuno verno.

Solver traži strpljivo variranje ulaznih parametara da bi se došlo do odgovarajućeg rešenja: protoka, nizvodnog graničnog uslova, minimalne dubine, kao i ulaznog nagiba površine vode.

Svaki problem se mora kritički posmatrati, jer se za različite uslove dobijaju različiti rezultati, a to nas može dovesti do potpuno pogrešnog zaključka. Zbog toga je važno svaki slučaj ispitati.

Kao nastavak rada, može se postavljati više prepreka, kao i pokušati da se napravi simulacija neke deonice realnog kanala i tada bi se solver iskoristio punim kapacitetom.

HVALA NA PAŽNJI !!!

