

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Одсек за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство



МАСТЕР РАД

**АНАЛИЗА ХИДРАУЛИЧКИХ ПАРАМЕТАРА ЛОКАЛНОГ
СТРУЈАЊА ДУЖ РИБЉЕ СТАЗЕ**

Студент: Сања Шалић

Број индекса: 637/13

Београд, 2014.

Садржај:

1. Увод.....	2
2. Преглед литературе	2
2.1. Рибље стазе као хидротехнички објекти	2
2.1.1. Рибље стазе	3
2.1.2. Преводнице за рибе.....	5
2.1.3 Преноснице за рибе (Лифтови за рибе).....	5
2.1.4 Постојећи објекти.....	5
2.2. Пројектовање рибљих стаза.....	6
2.3. Основне једначине које користи програм Nays CUBE.....	9
3. Мерења на физичком моделу	11
3.1. Опис мерне инсталације.....	11
3.2. Мерење протока	12
3.3. Мерење дубина.....	13
3.3.1. Мерење дубина мерном иглом.....	13
3.3.2. Мерење дубина лењиром.....	14
3.4. Мерења брзина	15
3.4.1. Спецификација сонде	15
3.4.2. Мерења сондом	19
3.4.3. Проблеми при мерењу бочном вектрино сондом.....	23
4. Израда просторног модела струјања	23
4.1. Опис програмског пакета iRIC	23
4.2. Прорачун у NaysCUBEу.....	25
4.3. Недостаци који су уочени приликом рада у програму NaysCUBE.....	30
5. Анализа резултата	31
5.1. Анализа резултата добијених дубина	31
5.2. Анализа резултата добијених брзина	35
6. Закључак	38
Литература	39
Списак прилога	40

1. Увод

Регулацијом река, нараочито изградњом преградних објеката, као што су бране, уставе, преводнице за бродове, ремети се природни режим тока, а самим тим и егзистенцијални услови речне флоре и фауне. Један од проблема јесте и миграција рибљих врста. Проблем миграције се решава изградњом рибљих стаза. Рибље стазе су грађевине којима се омогућава кретање риба у узводном смеру код ниских брана, за више бране граде се лифтови за рибе или се рибе скупљају у посебно опремљене танкове и превозе крановима или камионима у зону горње воде узводно од објекта. При већим падовима треба обезбедити и безбедно спуштање рибље млађи кроз турбине или низ евакуационе органе.

У оквиру Мастер рада упознаћемо се са карактеристикама и типовима рибљих стаза. Затим је на моделу рибље стазе урађено мерење основних хидрауличких параметара: протока, дубина по простору и расподелела брзина. За исте граничне услове који су били измерени на физичком моделу рибље стазе урађен је просторни нумерички модел у програмском пакету iRIC. Хидрулички параметри, дубине по простору и расподела брзина, који су добијени мерењем на моделу и прорачуном су потом упоређени. Дата је препорука шта би требало још испитати.

2. Преглед литаературе

У оквиру овог поглавља укатко ћемо се упознати са рибљим стазама као хидротехничким објектима, са пројектовањем рибљих стаза, и са основним једначинама по којима ради програм NaysCUBE.

2.1. Рибље стазе као хидротехнички објекти

Током средњег века многе бране и уставе су саграђене у Европи на рекама како би се искористило што боље потенцијал воде. Реке као јефтинији и брзи вид транспорт се све више користе у свету, и као најјефтинији и незагађујући извор енергије.

Данас хидроенергетска производња игра важну улогу у изградњи нових брана, посебно под аспектом повећања промоције коришћења обновљиве енергије. Стога, хидроелектрична енергија је снажно промовисана као средство смањивања емисија CO₂ из фосилних извора енергије.

Изградња успорних објеката на рекама мења еколошке услове за живот и развој одговарајућих биоценоза, али се посебно одражава на инофауну. Ти утицаји су следећи:

- преграђују се бранама путеви за миграцију риба према мрестилиштима;
- отежава се мрест рибљих врста којима је за то потребна текућа вода пошто већи делови водотока долазе под успор;
- мења се хидролошки, хидрохемијски и хидробиолошки режим, што утиче на услове развоја низа рибљих врста;

- погоршавају се услови низводне миграције риба после мреста и рибље млађи;
- нарушавају се равнотежни еколошки односи у изграђеном делу водотока и услови за опстанак неких врста.

Да би се неутралисали неповољни утицаји хидроенергетских објеката на инофауну предузимају се бројне мере:

- 1) у оквиру успорних објеката предвиђају се постројења која обезбеђују узводну и низводну миграцију риба;
- 2) посебним уређајима се спречава прилаз риба постројењима где би биле физички уништене;
- 3) граде се вештачка мрестилишта;
- 4) водопривредним мерама обезбеђују се неопходни услови за живот и миграцију риба.

Постоји више врста хидротехничких објеката за пропуштање риба, то су:

- рибље стазе;
- преводнице за рибе;
- преноснице риба механичким путем (лифтови за рибе);
- посебно опремање постојећих објеката хидроелектрана.

2.1.1. Рибље стазе

Рибље стазе су посебни канали у саставу бране или у широј зони преградног профила у којима рибе саме, пливајући савладавају пад између горње и доње воде. У тима каналима вода тече из горње у доњу воду, кроз лавиринте или каскадне преграде, омогућавајући рибама да пливајући уз воду савладају успорну денивелацију. Да би рибе успеле у томе брзина воде у каналу не сме да пређе брзину воде коју рибе могу да савладају.

Да би рибе могле да пронађу улаз у рибљу стазу морају се при пројектовању поштовати еколошки принципи. У зони доње воде рибе се скупљају тамо где је већи садржај кисеоника у води, али где брзине нису веће од граничних. Брзина струје која се ствара на улазу у рибљу стазу мора да буде нешто већа од брзине у основном току, како би рибе лакше откриле улазни отвор. Погодни улаз је између машинске зграде и преливног дела бране.

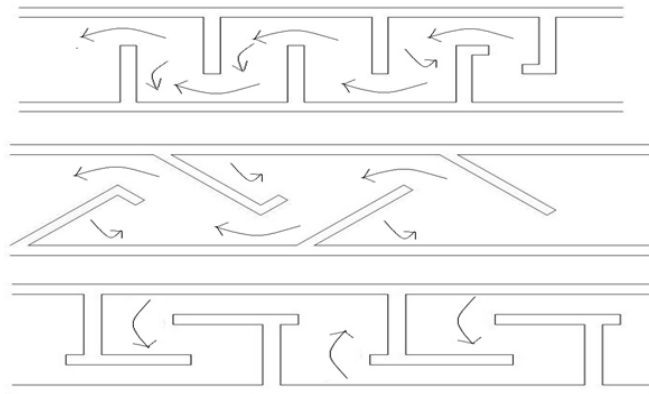
Рибље стазе се у кострукцијском погледу реализују као каналске, у виду каскаде базена и у виду степеначасте каскаде. Данас се све више рибље стазе граде да буду што сличније природном окружењу риба (Close-to-nature types of fish passes).

Каналска рибља стаза је слична брзотоку. Између горње и доње воде се поставља канал, најчешће правоугаоног попречног пресека, нагиба од 0,001-0,003, кроз који тече вода брзином која омогућава узводно пливање риба. Ако је денивелација између 3 и 5 m могу се применити глатки канали, док се код већих падова од 5 до 15 m примењују канали са лавиринтним преградама. Овим преградама се повећава храпавост, и доводи до смањења брзине и омогућава повећање нагиба канала на 0,075-0,13. Највећа денивелација која се свладава каналским рибљим стазама је 15 m јер рибе у овим

Мастер рад

стазама немају места за одмор, па целу стазу морају да пређу без заустављања. На слици 2.1.1. су приказани неки типови каналских рибљих стаза.

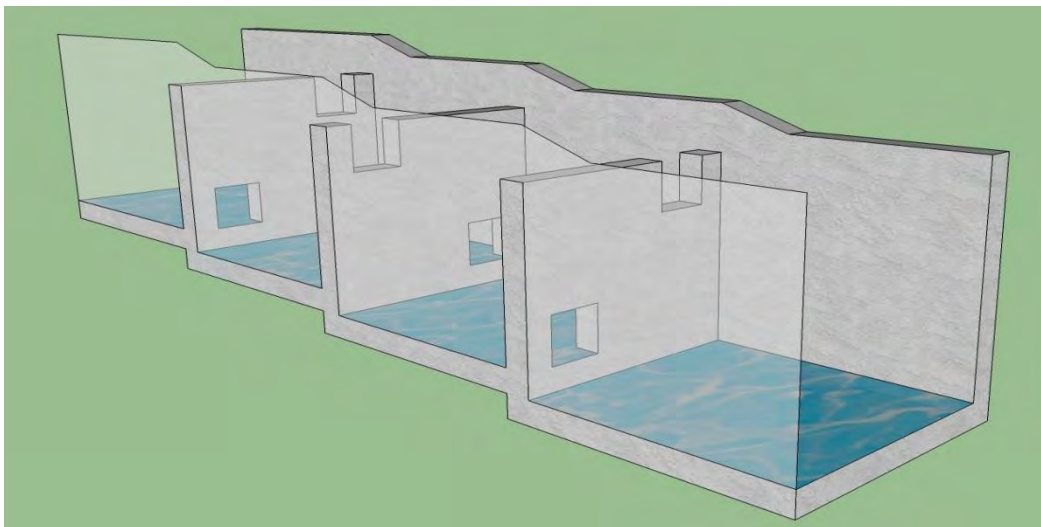
Стазе у виду каскаде базена спојених каналима омогућавају да се рибе одморе у базену са мањим брзинама, при савладавању читаве денивелације. Овај тип стаза је погодан за објекте на планинским рекама денивелације до 25 m. Овакве конструкције се најчешће диспозиционирају на обали, при повољним топографским условима. Повећање храпавости се постиже облагањем зида канала камењем.



Слика 2.1.1: Типови попречних преграда на каналским рибљим стазама.



Слика 2.1.2: Рибље стазе у виду каскаде базена.



Слика 2.1.3: Степеничаста рибља стаза.

Степеничaste рибље стазе су најраспрострањеније, јер су погодне за многе врсте риба. Користе се за падове до 30 m. Конструјушу се као канали са преградама које формирају каскаду, денивелација између суседних степеница је 0,3-0,45 m. На преградама се остављају отвори у горњем делу или при дну, чија је величина од 0,3 до 1 m. Отвори на преградама се постављају наизменично због бољег утрошка енергије. На сваких 4 до 5 m се поставља базен за одмор риба, он је већи за 1,5 до 2 пута од базена у стази, у њега се поставља камена облога која имитира природно окружење.

2.1.2. Преводнице за рибе

Преводнице за рибе се граде за падове веће од 30 m, јер би за те падове рибље стазе постале предугачке. Постављају се на споју машинске зграде и бране. Постоје два типа преводница: шахтна преводница и преводница са косим шахтом.

Шахтна преводница се конструише слично бродској преводници. Састоји се од вертикалног шахта у који улазе рибе, привучене струјањем воде у доводном каналу. Затварањем доњег затварача комора се пуни, подиже се решетка покретног дна која присиљава рибе да испливају у канал горње воде. Често се примењују и шахтне преводнице са два шахта, док је једна затворена, у другу улазе рибе.

Преводница са косим шахтом се користи код гравитационих брана, јер се може реализовати у блоку бране. Прво се отварају доњи затварачи, рибе улазе у доњу комору привучене струјањем воде, потом се затварају доњи затварачи, вода се диже у косом шахту и рибе кроз горњу комору прелазе у горњу воду.

2.1.3 Преноснице за рибе (Лифтови за рибе)

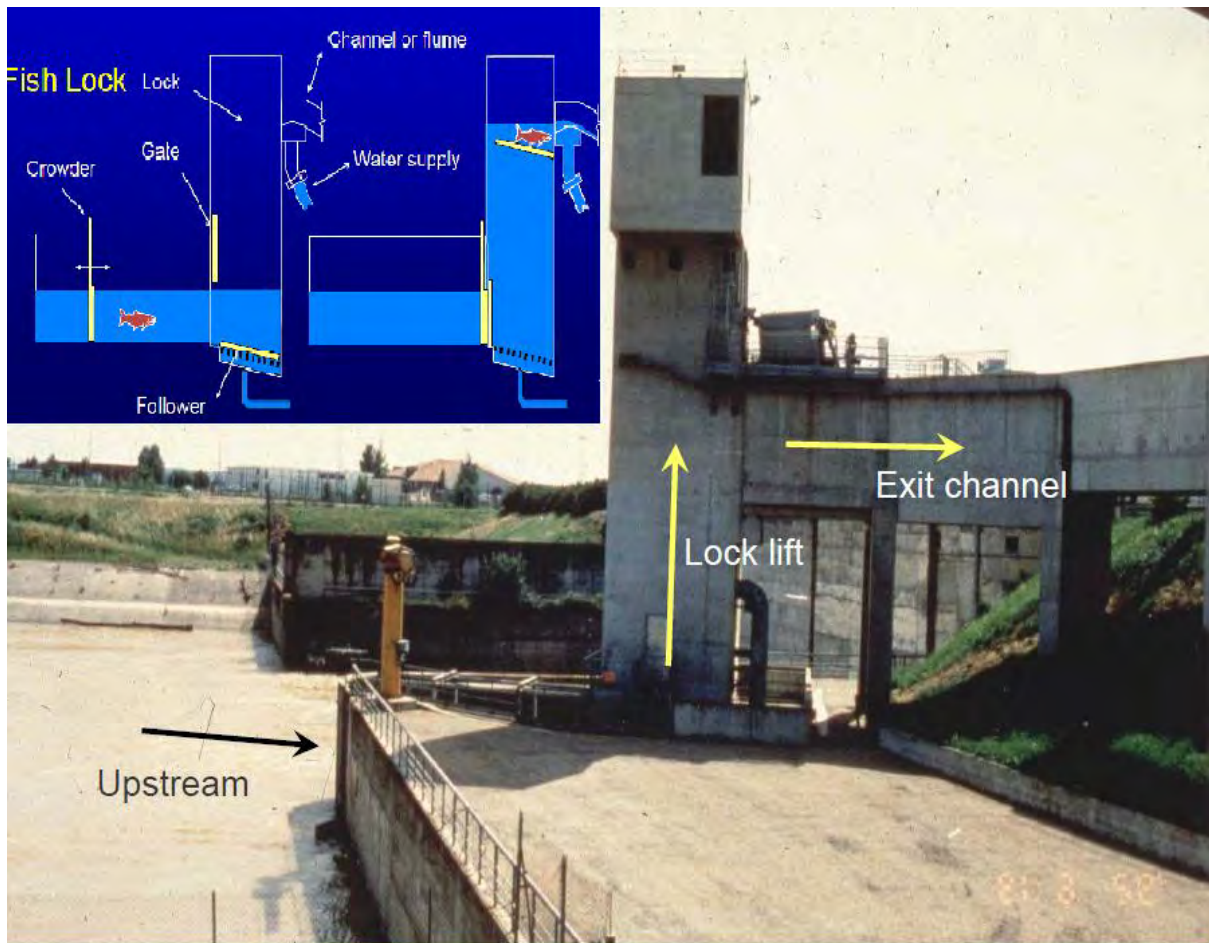
Преноснице за рибе се користе за денивелацију од 6 до 10 m и кад има мало воде, али се уграђују и за веће денивелације (на реци Орегон у Сједињеним Америчким Државама је корићен на брани од 120 m). У кострукцијском погледу оне се састоје од контењера испуњеног водом у који се рибе примамљују струјом, који је постављен у доњој води, затим се контењер по косој рампи, вертикалним лифтом или на неки други начин диже до горње воде, где се рибе пуштају из контењера. Мана им је мања пропусна способност (Слика 2.1.4).

2.1.4 Постојећи објекти

Постојећи објекти се могу адаптирати да ефикасно пропуштају рибе. Посебно су погодне бродске преводнице, при отварању низводне капије пропушта се одређена количина воде која привлачи рибе да уђу у преводницу. У коморама се могу инсталирати и посебни електрични побуњивачи, а са низводне стране постављају се мреже које усмеравају рибе ка преводници.

Темељни испусти се могу користити за превођење риба: подизањем узводног затварача при отвореном низводном затварачу, ствара се у темељном испусти струја

брзине 0,2-0,3 m/s, која привлачи рибу у галерију испуста, а потом се затварањем низводних и отварањем узводних врата омогућава њихово прелажење у горњу воду.

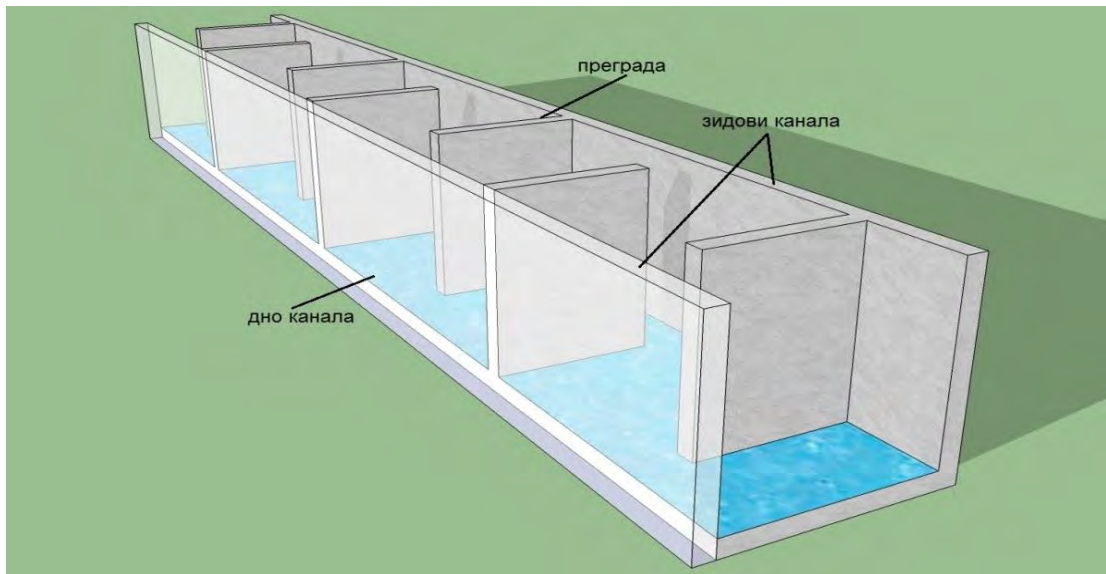


Слика 2.5: Преносница за рибе (преузета са интернета, непознат аутор).

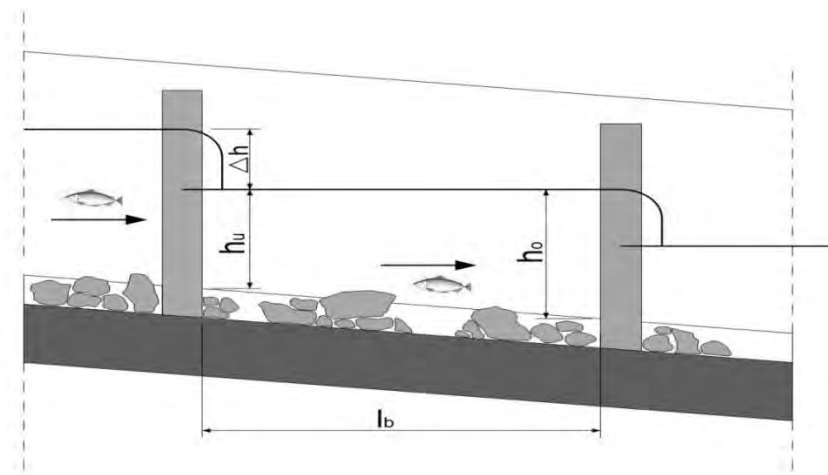
2.2. Пројектовање рибљих стаза

Конструкција рибље стазе састоји се од канала који полази од горње воде до доње воде и преграда, који формирају низ базена, пролази се углавном налази у отворима у преградама и расипају потенцијалну енергију воде корак по корак у базенима (Слика 2.2.1). Риба се крећу из једног у други базен кроз отворе у преградама где се сусрећу са јаким струјама, док у базенима где је брзина воде мала рибама се пружа склониште и прилика за одмор. Пролаз између базена мора бити позициониран тако да се не формирају мртви углови кад год је то могуће и да се омогући слободан проток воде кроз целу стазу.

Максимална брзина воде зависи од врсте рибе која се пропушта, тј од њене величине, као и од разлике нивоа воде (Δh) у сваком појединачном базену. Разлика нивоа између два базена је ограничавајући фактор током проласка риба кроз пролаз. У најгорем случају Δh не сме прећи 0,2 m, прихватљивије Δh је од 0,15 m (Слика 2.2.2).



Слика 2.2.1: Конструкција рибље стазе.



Слика 2.2.2: Детаљ рибље стазе.

Идеалан пад се израчунава из односа разлике нивоа воде између базена и дужине базена (l_b):

$$I = \frac{\Delta h}{l_b} \quad (2.2.1)$$

Стрмији падови се могу једино постићи скраћивањем стаза и поштовањем већ утврђених правила о висини воде у базенима. Ипак, ово може довести до значајних турбуленција у базену и треба избегавати.

Број потребних базена (n) се рачуна из односа денивелације (H) и разлике нивоа воде из суседних базена (Δh) умањених за 1:

$$n = \frac{H}{\Delta h} - 1 \quad (2.2.2)$$

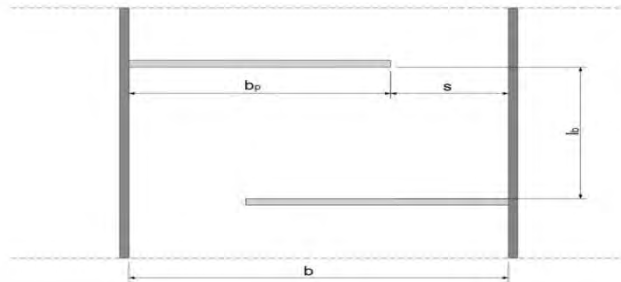
Денивелација је разлика између максималне горње воде и минималне доње воде:

$$H = Z_{GV} - Z_{DV} \quad (2.2.3)$$

У основи, ширина базен, број преграда и проток одређују потребну димензију базена, као и врста риба за коју се стаза пројектује.

Мастер рад

Најважнија карактеристика рибље стазе је њена ширина, која се бира на основу врсте рибе. За ситније рибе и пастрмке ширина пролаза треба да буде $s=0,15-0,17$ m, за лосога, морску пастрмку и остале веће рибе $s=0,3-0,6$ m. Облик преграда мора бити такав да се не формирају секундарне струје већ једна константна главна струја, која има природан ток и стварања што мањих турбуленција. Такав режим постиже се постављањем наизменичних преграда које усмеравају струју. Преграде се праве од бетона или од дрвета.



Слика 2.2.3: Димензије базена.

При пројектовању у сваком тренутку треба обратити пажњу на:

- дубине воде;
- брзине тока кроз пролазе (критичне вредности);
- проток;
- дисперзију енергије тока по јединици запремине.

Дубина воде директно испред преграде (h_u) би требала да буде довољно велика да спречи превелики одлив воде, ово може бити остварено под следећим условима:

$$h_u > h_{gr} \quad \text{или} \quad (2.2.4)$$

$$v_{max} > v_{gr} \quad (2.2.5)$$

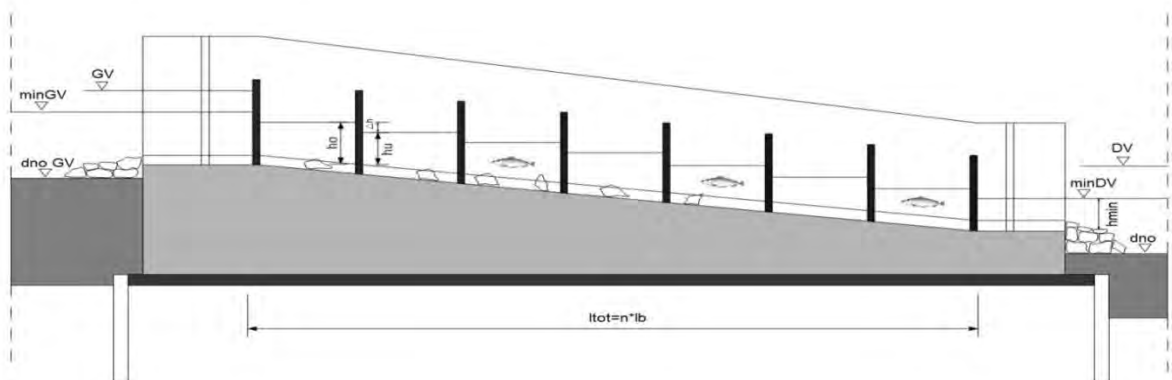
где је

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gs^2}} \quad (2.2.6)$$

$$v_{max} = \sqrt{2g\Delta h} \quad (2.2.7)$$

$$v_{gr} = \sqrt{gh_{gr}} \quad (2.2.8)$$

Најнижи ниво горње воде који се може јавити одређује позицију дна рибље стазе, док дно са низводне стране одређује ниво најниже доње воде који се може јавити.



Слика 3.4: Подужни пресек.

Максимална брзина воде се добија на основу разлике између нивоа воде суседних преграда (Δh):

$$v_s = \sqrt{2g\Delta h}. \quad (2.2.9)$$

Проток се одређује коришћењем следеће једначине:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_r s \sqrt{2gh_0}^{3/2} \quad (3.10)$$

где су: h_0 дубина воде испред преграде, μ_r је коефицијент протока, s ширина пролаза. Коефицијент протока у рибљим стазама зависи од доста фактора, постоје разна истраживања за одређивање коефицијента протока у зависности од типа рибње стазе (погледати Katorpodis, С.: Introduction to Fishway Desing, January 1992, и Kamula R.: Flow over weirs with application to fish passage facilities, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, 2001).

2.3. Основне једначине које користи програм Nays CUBE

Nays CUBE је нумерички модел за симулацију просторног течења и деформацију речног корита.

Nays CUBE је развијен применом основних једначина просторног тока комбинованих са динамичким притиском воде у речним токовима. У основи, програм је развијен на нелинеарном моделу турбуленције, па може да репродукује феномене изазване нелинеарношћу турбулентног тока. Због тога програм може да реши већину проблема течења које могу бити проблематична за стандардне моделе. Програм је пре свега намењен за симулацију локалних феномена код отворених токова.

У овом програму рачунање се састоји из трансформације компликоване просторне топографије реке у нумеричку шему Декартовог координатног система. Такве трансформације користе генерализовани криволинијски, покретни координатни систем. У овом процесу, оригиналне компликоване речне мреже (физички простор) се трансформишу у мрежу коначних запремина (речунски простор), чија свака страница има дужину 1. Име овог програм CUBE (косцка) је добијено из ове шеме (Слика 4.1.2).

Основне једначине које решава Nays CUBE су: једначина континуитета, осредњена Рејнолсова једначина (Reynolds-averaged) и једначина модела турбуленције (κ и ϵ једначине).

Основне једначине које решава програм NaysCUBE, RANS модел:

1. Једначина континуитета:

$$\frac{\partial U^i}{\partial x^j} = 0$$

2. Једначина одржања количине кретања:

$$\frac{\partial U^i}{\partial t} + \frac{\partial U^i U^j}{\partial x^j} = G^i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x^i} + \frac{\partial (-\overline{u^i u^j})}{\partial x^j} + \nu \frac{\partial^2 U^i}{\partial x^j \partial x^j}$$

3. κ – једначина

$$\frac{\partial \kappa}{\partial t} + \frac{\partial \kappa U^j}{\partial x^j} = -\overline{u^i u^j} \frac{\partial U^i}{\partial x^j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x^j} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\kappa} + \nu \right) \frac{\partial \kappa}{\partial x^j} \right\}$$

4. ε – једначина

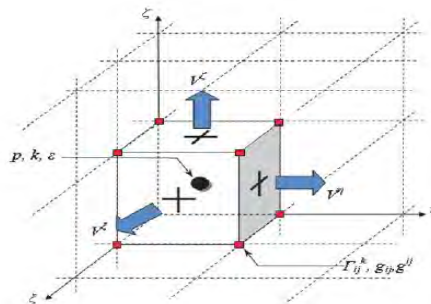
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon U^j}{\partial x^j} = -C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \overline{u^i u^j} \frac{\partial U^i}{\partial x^j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x^j} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x^j} \right\}$$

где је x^i просторна координата (spatial coordinates), t - време, U_i – брзина (flow velocity), p - хидростатички притисак (pressure), u – турбулентна компонента брзине-флуктација (turbulent velocity), ν – кинематички коефицијент вискозности (kinematic viscosity coefficient), ρ – густина течности (fluid density), κ – турбулентна кинетичка енергија (turbulent kinematic energy), ε – дисипација турбулентне кинетичке енергије (dissipation rate of turbulent kinematic energy), ν_t - коефицијент турбулентне вискозности (turbulent kinematic viscosity coefficient), G - gravитација ($g=9.81 \text{ m/s}^2$), $u^i u^j$ -тензор Рејлнодсовог напона. Константе $\sigma_\kappa=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.30$, $C_{\varepsilon 1}=1.44$, $C_{\varepsilon 2}=1.92$.

Наведене јеначине су написане за Декартов координатни систем, програм их потом преводи у криволинијски координатни систем.

Nays CUBE за рачунање користи методу коначних запремина. У центру нумеричке шеме, која је у облику коцке, се налазе притисак, κ и ε , док су вектори брзине распоређене на страницама (Слика 2.3.1).

За дескритизацију конвективних чланова у једначинама количине кретања, κ једначине и ε једначине, корисник може да се определи за једну од метода: "Upwind scheme" (првог реда тачности), "QUICK scheme" (другог реда тачности) или "TVD-MUSCL scheme" (трећег реда тачности). Интеграција основних једначина по времену се врши експлицитном нумеричком шемом, коришћењем Adams-Bashforth методе, док се поље брзина и притиска у сваком временском кораку рачуна итеративно, применом HSMAC (Highly Simplified Marker and Cell) поступка.



Слика 2.3.1: Метода коначних запремина.

Детаљнији приказ и објашњење наведених једначина, нумеричких метода и граничних услова могу се наћи у: iRIC Software-Solver Manual, 2011.

3. Мерења на физичком моделу

Физички модел рибље стазе је направљен у лабораторији Института за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство Грађевинског факултета, на њему су измерени основни хидраулички параметри: проток, дубина по простору и расподелела брзина по дубини. Проток је мерен на Томпсоновом преливу, дубине су мерене на два начина мерном иглом и лењиром (очитавање су вредности са фотографија), а брзине су мерене бочном вектрино сондом.

Сви хидраулички параметри су мерени за нагиб дна канала $Id=5\%$.

3.1. Опис мерне инсталације

Физички модел рибље стазе је направљен у лабораторији Института за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство Грађевинског факултета, у размери за дужину $P=1:10$, направљен физички модел рибље стазе је приказан на слици 3.1.1. У питању је кратак објекат, и није се очекивао значајан утицај трења, па је модел пројектован према Фрудовој сличности, односно обезбеђена је сличност гравитационих и инерцијалних услова на модели и у природи.

Бездимензионални Фрудов број представља однос инерцијалних и гравитационих сила, које су доминатне код течења под оваквим условима:

$$F_r = \frac{v^2}{gL} \quad (3.1.)$$

где су: v брзина течења воде, g убрзање земљине теже и L дубина воде или нека друга карактеристична дужина.

Модел рибље стазе је направљен од провидног плексигласа, како би се визуелно што боље испратило течење на моделу. Плексиглас је дебљине 8 mm. Модел се састоји од две вертикалне паралелне плоче висине 27 cm и дном ширине 12 cm, са седам неизменично постављених преграда ширине 7,8 cm и висине 24 cm. Дужина модела рибље стазе је 140 cm. Цела конструкција је постављена у канал (Слика 3.1.1.). На узводном делу модела ниво горње воде се подешава уставам, а силовито течење се ублажава ублаживачем млаза. На низводном крају модела се такође налази устава којом се подешава ниво доње воде.



Слика 3.1.1: Мерна инсталација.

3.2. Мерење протока

Проток у каналу је мерен на Томпсоновом преливу (Слика 3.2.1). Измерена је дубина на преливу помоћу мерне игле и преко једначине 3.2.1, добијен је проток у каналу.

$$Q = \frac{5}{16} \sqrt{2 * g \Delta h^5} \quad (3.2.1)$$

$$\Delta h = H_{\text{мерено}} - H, \quad H = 37,32 \text{ cm} \quad (3.2.2)$$

Израчунат проток у каналу преко једначине 3.2.1 је провераван на електромагнетном мерачу протока (Слика 3.2.2). На електромагнетном мерачу протока је јављају мале осцилације у протоку, које производи пумпа за воду, зато је прецизније израчунати проток на Томпсоновом преливу, а проверити на мерачу протока.

Проток који је добијен мерењима и за који је косније рађен прорачун је $Q=1 \text{ l/s}$.



Слика 3.2.1: Томпсонов прелив.



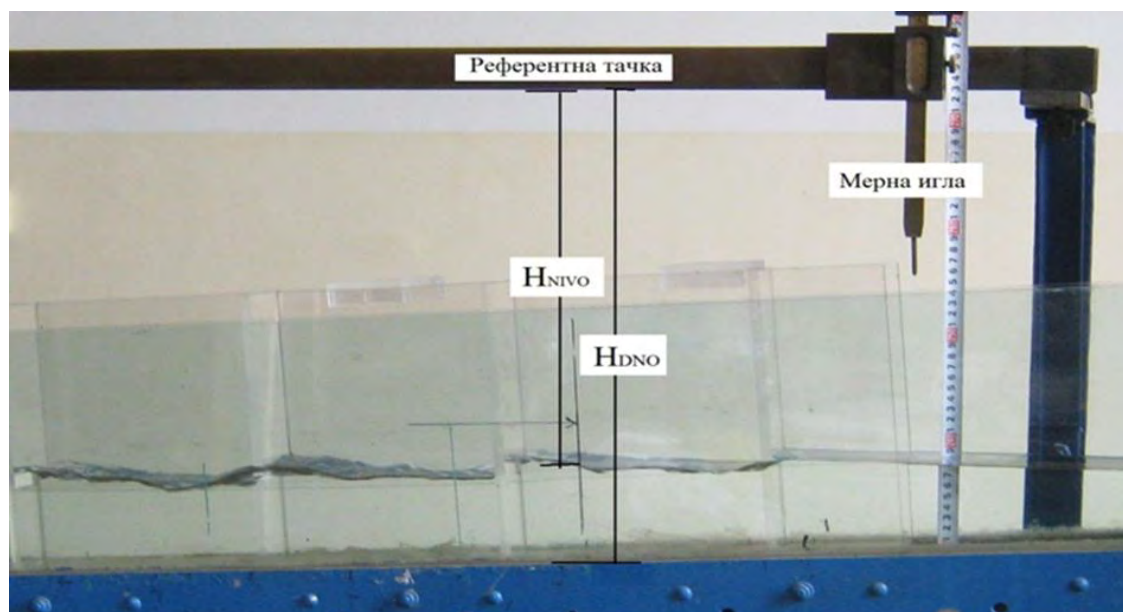
Слика 3.2.2: Мерач протока.

3.3. Мерење дубина

Дубине воде на моделу рибље стазе су мерене помоћу мерне игле и лењиром (очитаване су вредности дубина са слика). Дубине које су мерене помоћу мерне игле су мерене на средини модела рибље стазе, док су дубине које су мерене лењиром мерене уз десну и уз леву ивицу канала. Све дубине су мерене за проток $Q=1$ l/s и нагиб дна канала $Id=5\%$.

3.3.1. Мерење дубина мерном иглом

Дубина воде је мерена помоћу мерне игле тако што је мерено висинско растојање од референтне тачке до дна канала и од референтне тачке до површине воде (Слика 3.3.1.1), дубина воде је добијена одузимањем ове две вредности. Референтна тачка је место где је мерна игла причвршћена и клизи по носачу дуж канала. Дубине воде су мерене за седам преграда, колико их има на моделу, за сваку преграду мерен је дубина воде испред преграде и иза преграде приближно на хоризонталном растојању 3 cm од преграде, на средини канала (Слика 3.3.1.2). Измерене дубине се налазе у Прилогзима Г1 и Г2 .



Слика 3.3.1.1: Мерење дубине мерном иглом.



Слика 3.3.1.2: Мерења мерном иглом по средини канала.

3.3.2. Мерење дубина лењиром

Фотоапаратом су снимане лева и десна страна стакленог канала у коме се налази физички модел рибље стазе, на канал је са спољашње стране причвршћен лењир са кога су после очитавања вредности дубине воде у каналу уз ивицу (Слика 3.3.2.1). Снимана је свака комора на којој је био причвршћен лењир и очитаване су дубине воде на 3 cm испред и иза преграде, са леве и десне стране канала (Слика 3.3.2.2). Све снимке се налазе у Прилогу Д као и табела дубина Прилогу Г2.



Слика 3.3.2.1: Дубина воде између прве и друге преграде на левој страни модела.



Слика 3.3.2.2: Лева и десна страна рибље стазе.

3.4. Мерења брзина

Брзине су мерене на физичком моделу рибе стазе са бочном вектрино сондом. Брзине су мерене при протоку $Q=1$ l/s и нагибу дна канала $Id=5\%$.

3.4.1. Спецификација сонде

Постоји више врсти Vectrino сонди (Слика 3.4.1.1), све раде на истом принципу, али се користе на одређеним местима, или као допуне једна другој.

У стакленом каналу лабораторије за хидротехнику, у који је постављена физички модел рибе стазе, мерене су брзине воде помоћу Vectrino 2D-3D Sidelooking - бочне вектрино сонде (Слика 3.4.1.2).



Слика 3.4.1.1: Вектрино сонде.

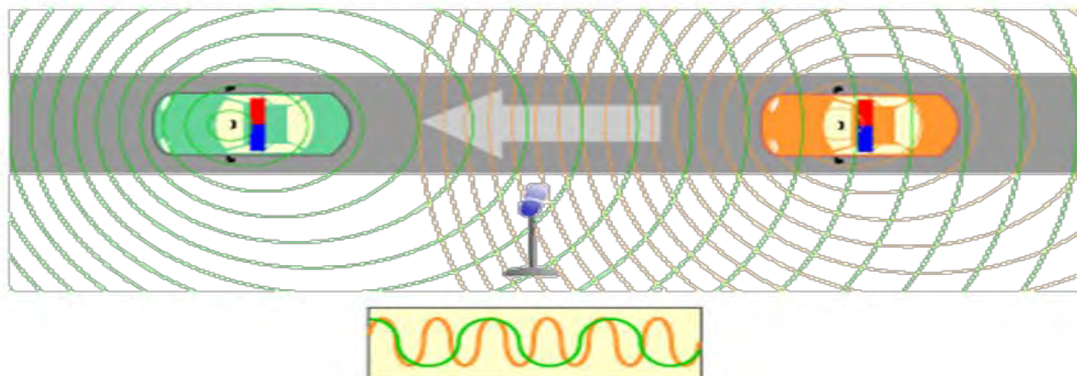


Слика 3.4.1.2: Бочна вектрино сонда.

Мастер рад

Векрино сонде су ултразвучни мерачи брзине велике резолуције. Користи се за мерење брзине воде, од мерења у лабораторији, преко канала, река, језера, до окена. Векрино сонде ради на принципу доплеровог ефекта.

Доплеров ефекат је појава услед кретања пријемника или предајника долази до мењања фреквенције таласа, на страни пријемника. Ако се пријемник и предајник крећу један ка другом, фреквенција расте, а ако се пријемник и предајник крећу један од другог, фреквенција опада. Пример доплеровог ефекта можемо приметити на ауто-путу: бука коју мотро аутомобила прави док нам се приближава је другачија од оне коју чујемо док се од нас одаљава (Слика 3.4.1.3).

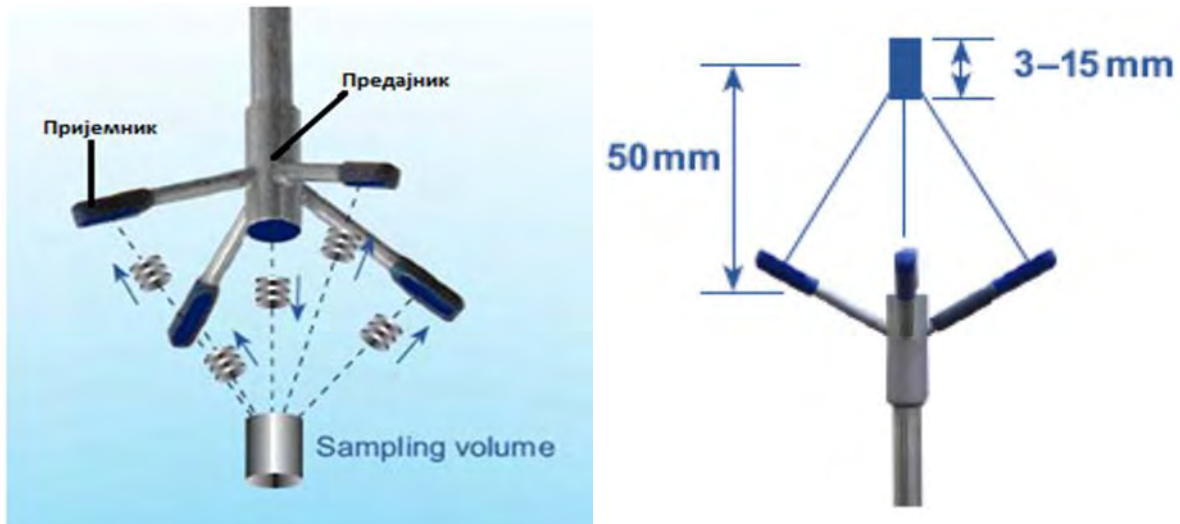


Слика 3.4.1.3: Пример доплеровог ефекта (преузета са интернета, непознат аутор)>

Бочна векрино сонда користи рефлексију звука од делиће који се крећу заједно са флуидом, и који праве доплеров помак фреквенције звука. Мерењем фреквентивног помака рефлектованог ултразвука од делића који се крећу заједно са флуидом, могуће је одредити брзину тих делића. Истраживања су показала да је брзина ситних честица које се налазе у води уствари брзина воде. Векрино сонда не може да ради у чистој води, потребо је воду засејати. Приликом мерења коршћен је прашкасти абразив Scalla за засејавање воде (Слика 3.4.1.4).



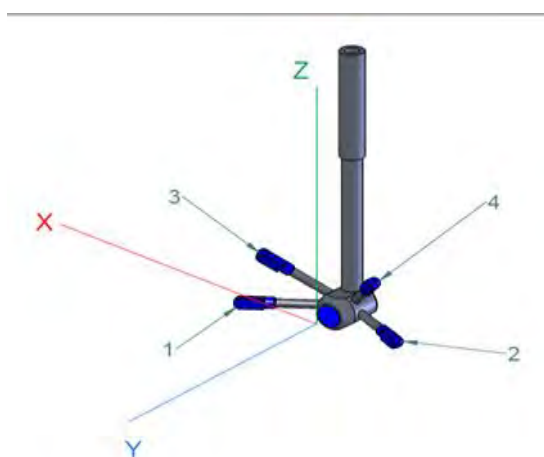
Слика 3.4.1.4: Материјал за засејавање воде.



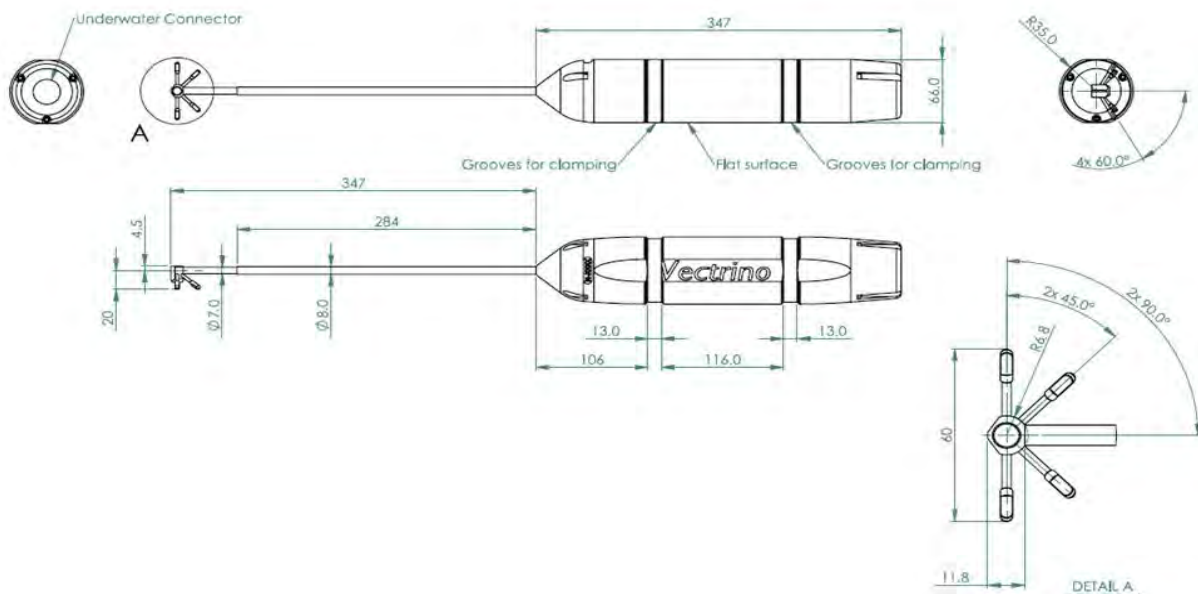
Слика 3.4.1.5 : Пријемници и предајници вектрино сонде (Nortek AS: User Guide-Vectrino Velocimeter, 2009).

Код вектрино сонди пријемник и предајник ултразвучних таласа су одвојени (Слика 3.4.1.5). Предајник шаље таласе ка замишљеној запремини која се налази на 50 mm од врха сонде (Слика 3.4.1.5). Димензије запремине су следеће: висина се креће од 3-15 mm, док је пречник основе 6 mm. Унутар запремине долази до сударања ултразвучник таласа и честица након чега одбијене таласе прихватају пријемници, који су усмерени ка тој запремини. Подаци се складиште, а онда се помоћу рачунара обрађују, одакле добијамо брзине, на начин који смо већ поменули. Мерећи фреквентивни помак рефлектованог ултразвука од делића који се крећу заједно са флуидом.

Вектрино сонда има четири пријемника, пошто мери векторе брзина у три правца, у X, Y, Z правцу (Слика 3.4.1.6) где је четврти пријемник корекциони, омогућава што боље добијање резултата. Код бочне вектрино сонде са којом је рађено мерење корекциони пријемник даје резултате нула. На слици 3.4.1.7, су приказане димензије сонде.

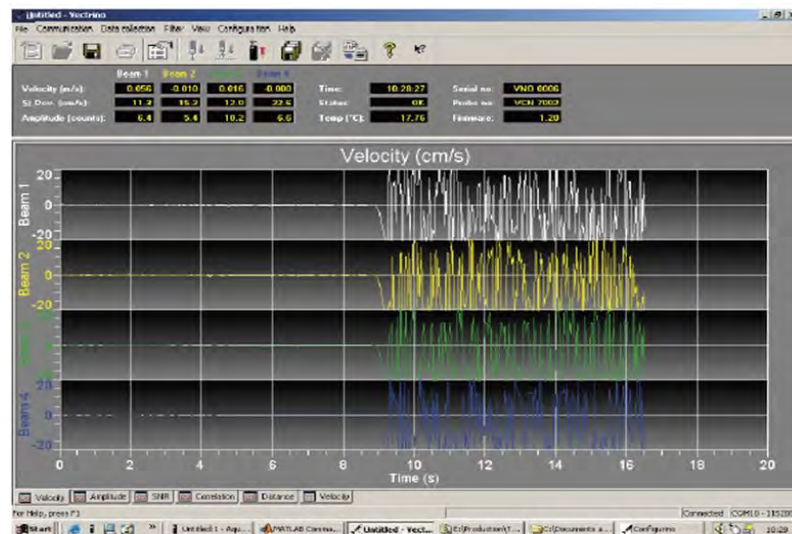


Слика 3.4.1.6: Орејнатација предајника.

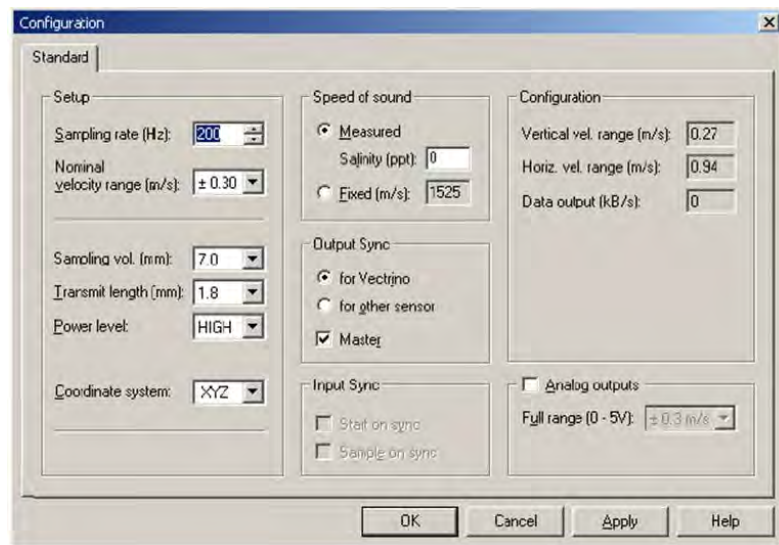


Слика 3.4.1.7: Димезије бочне вектрино сонде (Nortek AS: User Guide- Vectrino Velocimeter, 2009).

При монтажи сонде на канал где се врше мерења, мора се водити рачуна о пажљивом руковању сондом, да се глава сонде не би оштетила. Препоручујемо да се сонда обезбеди од пада на дно канала. Након што је сонда постављена и осигурана на мерном месту, приступа се повезивању сонда за рачунар. Треба конектовати сонду на напајање и на СОМ порт од рачунара. Затим треба покренути вектрино софтвер, и започети прикупљање података. На слици 3.4.1.8 приказан је главни прозор, где се могу видети дијаграми и вредности брзина у сва три правца, док се на слици 3.4.1.9 види прозор за подешавање параметара мерења. Могу се варирати брзина узорковања, номинални опсег брзина, висина мерне запремине, брзина звука кроз флуид...



Слика 3.4.1.8: Главни прозор вектрино софтвера (Nortek AS: User Guide- Vectrino Velocimeter, 2009).



Слика 3.4.1.9: Прозор за подешавање параметара мерења (Nortek AS: User Guide- Vectrino Velocimeter, 2009)..

Вектрино софтвер прави бинарне фајлове, који се могу конвертова ASCII формат. Формати који се добијају помоћу софтвера су *.hdr, *.dat и *.sen, где се у .dat, фајловима налазе подаци о мереној брзини. Ови фајлови се лако екпортују у друге програме за анализу и обраду података, на пример Excel.

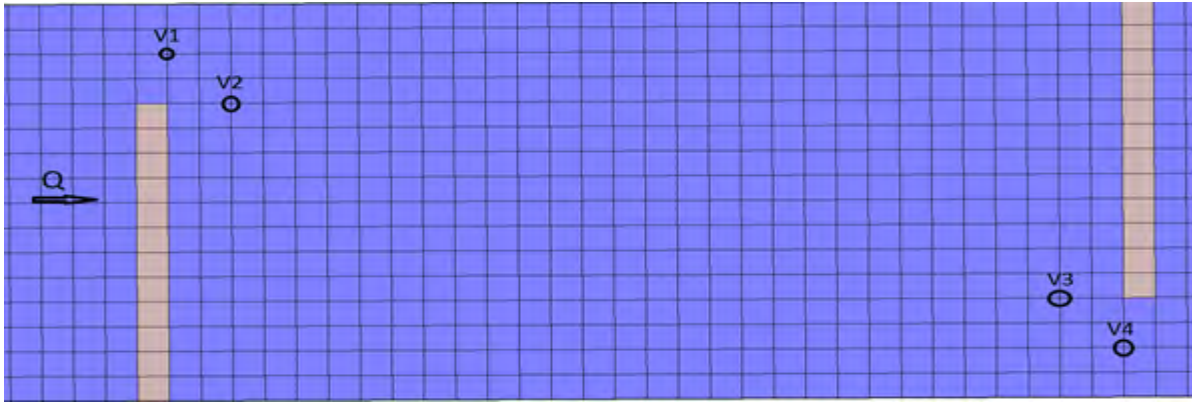
Као и сваки мерни уређај и бочна вектрино сонда има недостатке. Неки од њих су:

1. Велика осетљивост рецептора на удар. Због тога није препоручљиво користити сонду на местима где може бити изложена удару и треба је обезбедити приликом мерења.
2. Не даје добре резултате у чистој водим, мора се обезбедити засејавање воде.
3. Иако геометрија сонде омогућава да се што мање ремети ток, ипак постоји извесни поремећај од стране сонде.
4. Резултати на контролном предајнику су увек нула, тако да нема корекције при мерењу. Зато је треба користити као допуну вектрино сонди, и на местима где због оријентације главе вектрино сонде не може да се приђе.

3.4.2. Мерења сондом

Вектори брзине су мерени у четири вретикале, између четврте и пете преграде, (Слика 3.4.2.1), у стакленом каналу у лабораторији Института за хидротехнику и водно ижењерство у који је постављена рибља стаза, мерене су помоћу бочне вектрино сонде. Проток при коме су мерене брзине је $Q=1 \text{ l/s}$, нагиб дна канала је $Id=5\%$. На првој и другој вертикали мерене су брзине у четири тачке на растојању од дна на 2, 4, 6 и 8 cm, док су на трећој и четвртој вертикали мерене у по две тачке на растојању од дна на 4 и 8 cm. Резултати прикупљени са сонде су обрађивани у програмском пакету Excel.

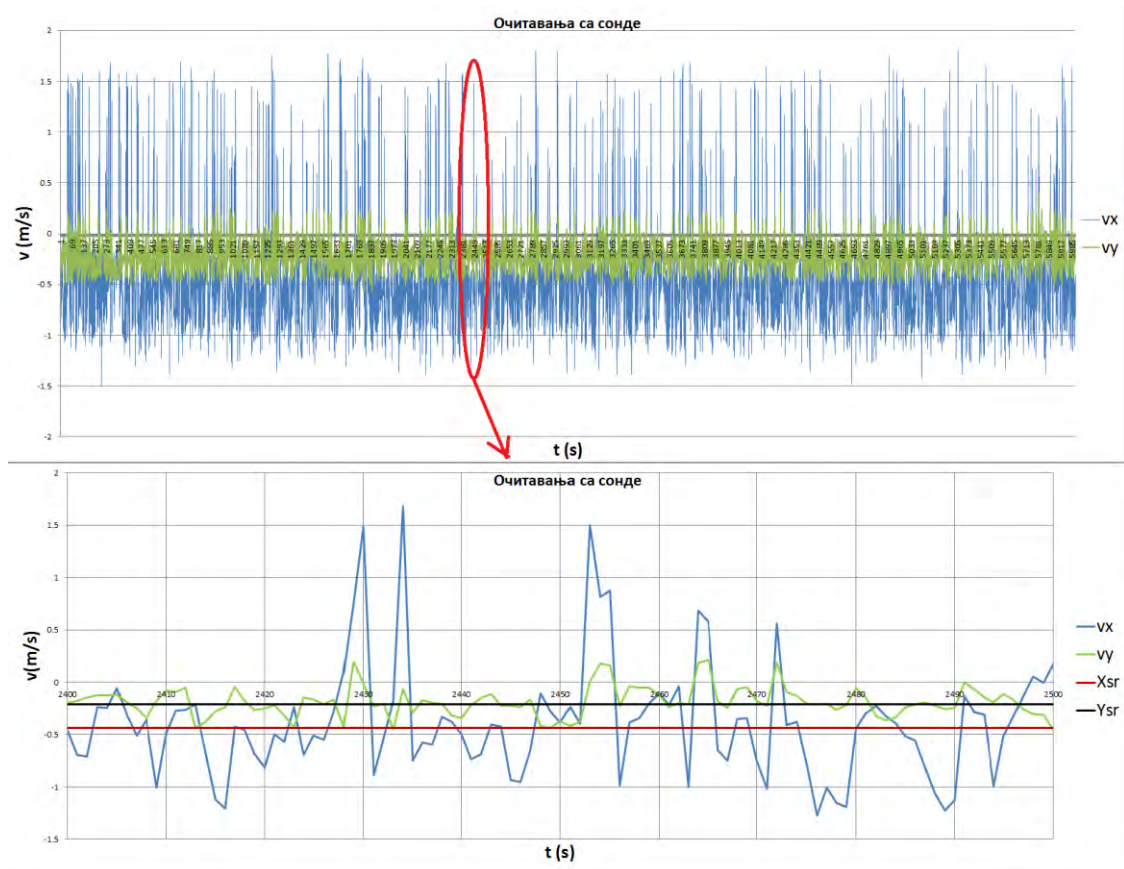
Забележене су велике осцилације око средње вредности у прикупљеном узорку са сонде, па је мерење поновљено за прву и трећу вертикалу (V1 и V3) у по две тачке на свакој вертикали, на растојању 4 cm и 8 cm.



Слика 3.4.2.1: Позиције вертукала у каналу.

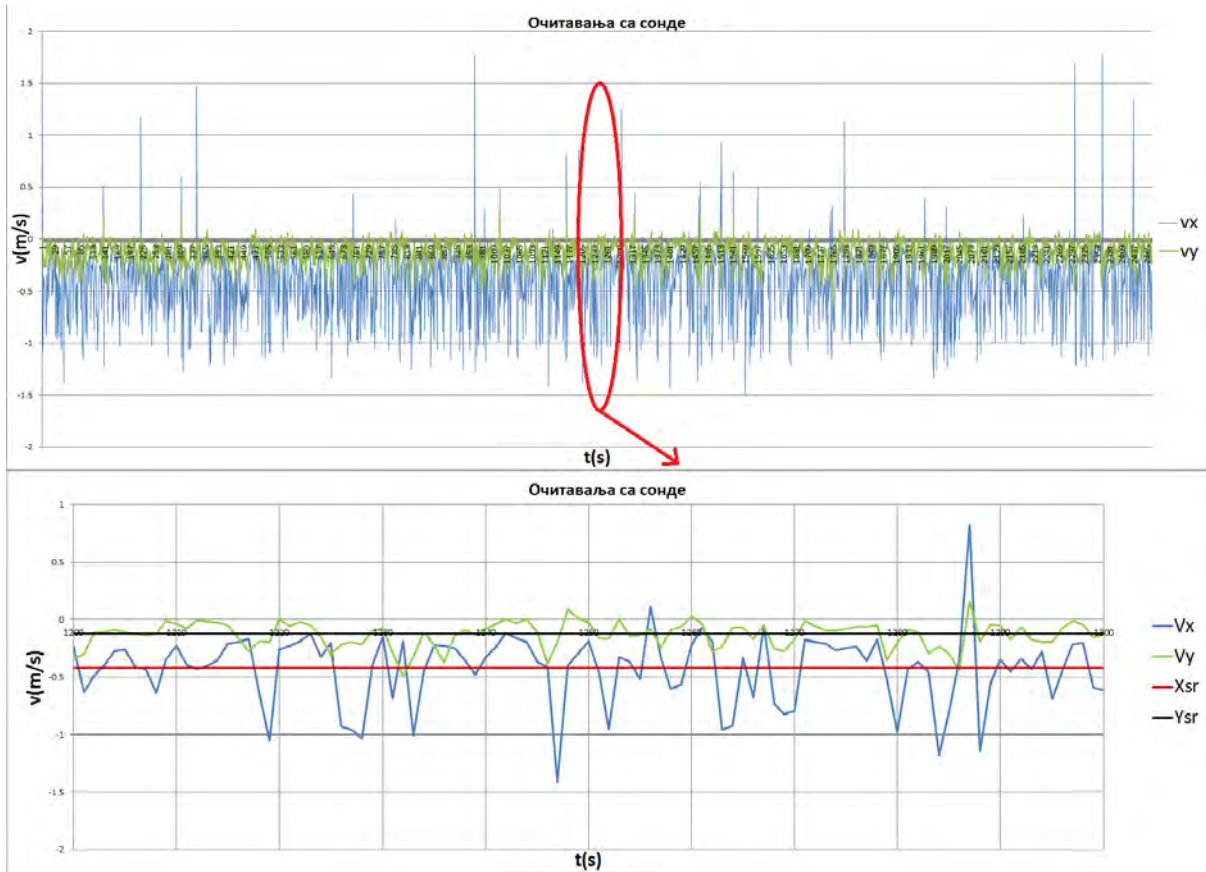
Уочене су велике осцилације око средње вредности у прикупљеном узорку и контролни крак сонде је забележио вредност нула и лоше вредности вектора брзине у Z правцу. Осцилације смо пробали да смањимо у контролном мерењу тако што смо у комору испред мерне сонде убацивали средство за расејавање и смањили смо временски корак бележења сонде са $\Delta t=1/75$ s на $\Delta t=1/40$ s.

Поновљено мерење није дало боље резултате на месту где су забележене велике брзине (Дијаграм 3.4.2.1 и Дијаграм 3.4.2.2) осцилације око средње вредности су и даље велике док се при мањим брзинама добијају мало бољи резултати (Дијаграм 3.4.2.3 и Дијаграм 3.4.2.4).

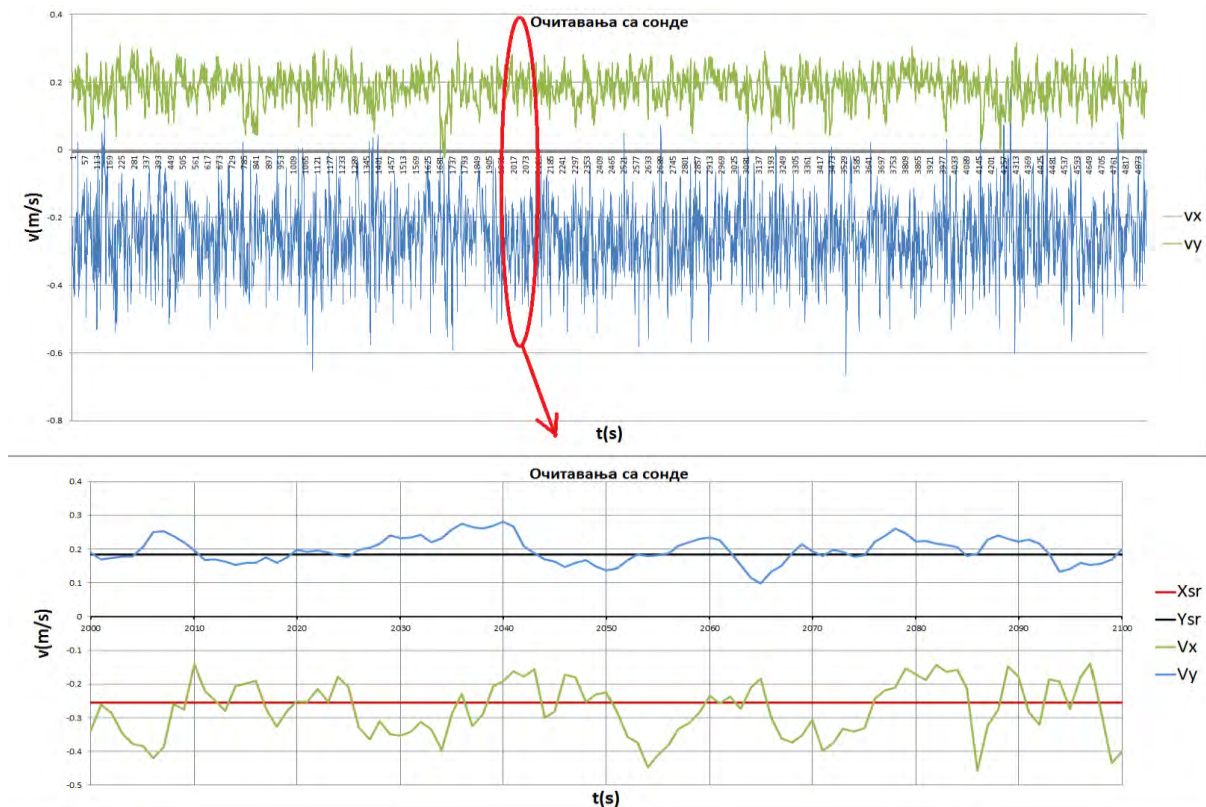


Дијаграм 3.4.2.1: Очитавања са сонде прва вертикала тачка $Z_1=8$ cm.

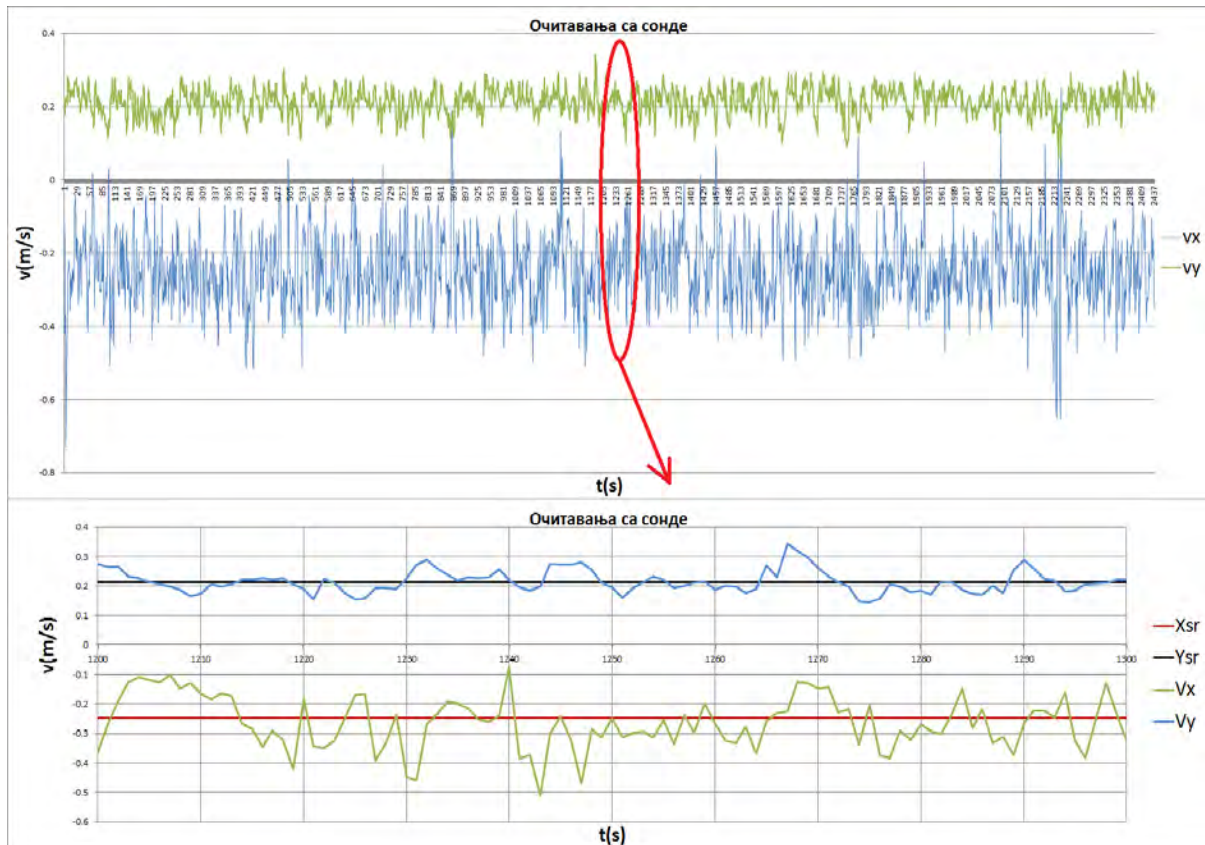
Мастер рад



Дијаграм 3.4.2.2: Очитавања са сонде прва вертикала тачка Z1=8 cm, контролно мерење.

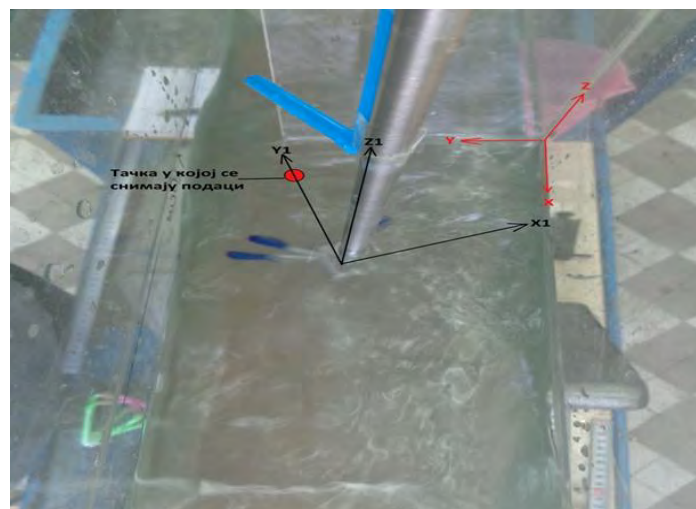


Дијаграм 3.4.2.3: Очитавања са сонде трећа вертикала тачка Z1=8 cm.



Дијаграм 3.4.2.4: Очитавања са сонде трећа вертикала тачка Z1=8 cm, контролно мерење.

Требало би водити рачуна, кад се користе подаци са сонде и упоређују са другим подацима, да се координатни систем сонде и податка који се користе покалапају. Препоручљиво је да се из локалног координатног система сонде пребаце подаци у глобални координатни ситем, да не би дошло до грешака. За пребацавање у глобални координатни систем потребано је забележити тачку где је спуштена сонда, као и тачку у којој сонда ради мерења (Слика 3.4.2.2).



Слика 3.4.2.2: Локални систем сонде.

3.4.3. Проблеми при мерењу бочном вектрино сондом

Бочна вектрино сонда увек даје резултате на контроном краку нула и због тога лошије податке вектора брзине у Z правцу. Бочну вектрино сонду требало би користити само као контролну сонду за углове где вектрино сонда не може да приђе, а познате су приближне вредности брзине.

Проблем који се јавио са осцилација око средње вредности података није успешно отклоњен, јер се велике честице, средства за расејавање, брзо наталоже по дну канала.

4. Израда просторног модела струјања

Нумерички просторни модел струјања за рибљу стазу урађен је у програмском пакету iRIC, у програму NaysCUBE. Прорачун је урађен за исте хидрауличке услове као и на физичком моделу рибље стазе. Проток је $Q=1$ l/s, низводни гранични услов је $H=12$ cm и минимална дубина је $h=10$ cm.

4.1. Опис програмског пакета iRIC

iRIC (the Internacional River Interface Cooperative) је програмски пакет који омогућава прорачун течења како на рекама тако и на физичким моделима. Настао је у сарадњи јапанских научника са Hokkaido универзитета и америчког геолошког института (USGS).

iRIC се састоји од више програма (solver). У зависности који проблем решавамо можемо се одредити за један од девет програма: CER1D, delftflow, Elimo, FaSTMech, Morpho2D, Nays2D, Nays2D Flood, River2D, StoRM, NaysCUBE (Слика 4.1.1).

Програм CER1D се користи за прорачуне линијског (једнодимензионалног) неустаљеног течења у рекама, може се користити за прорачуне протока на рекама, кретања леда на рекама и цунамија на рекама.

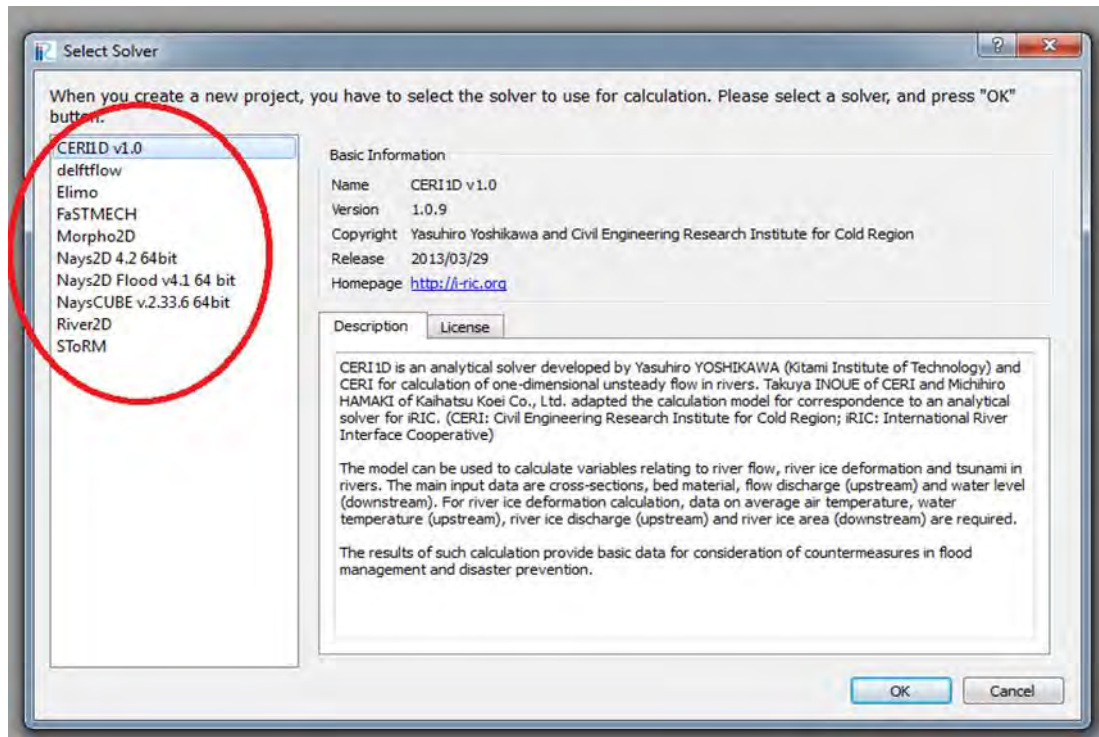
Програм delftflow је водећи светски програм за просторно (3D) моделирање хидродинамике, седиментног транспорта, морфологије и квалитета воде за токове, заливе и приобалне средине.

Elimo је програм за `једноставно и лако прорачунавање цунамија` (simple and easy tsunami computation).

Програм FaSTMech (Flow and Sediment Transport with Morphological Evolution of Channels) се користи за прорачуне течења и седиментног транспорта у каналима, може да ради прорачуне са изузено дугим временским кораком.

Програм Morpho2D је намењен за прорачуне неустаљене раванске деформације речног корита, чешће се користи за природне водотоке.

Програм Nays2D који се користи за прорачуне неустаљеног дводимензионалног течења и деформације речног дна.



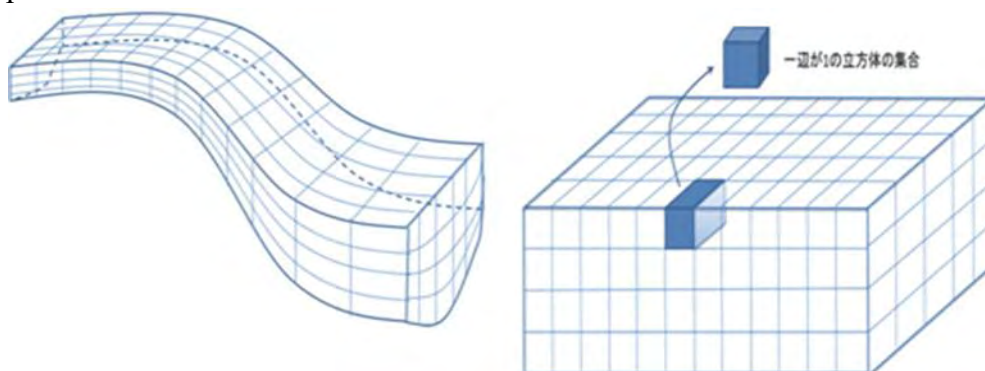
Слика 4.1.1: Почетни прозор iRICa.

Програм Nays2D Flood се користи за анализирање поплава, тј прорачуне неуостаљеног дводимензионалног течења.

Програм River2D се користи за проучавање рибљих станишта у рекама.

Програм StoRM (System for Transport and River Modeling) се користи за прорачуне раванског течења, за компликоване граничне услове.

NaysCUBE је програм за просторне прорачуне течења у рекам, каналима и на физичким моделима и деформације речног корита. Прорачуни у програму се раде тако што се компликована просторна топографија реке издели на коцке, које представљају нумеричку шему (Слика 4.1.2). Прорачун се ради за сваку коцку. Зато је и програм добио назив Nays CUBE (коцка). Нумеричка шема се у програму деформише по дубини. За покретање прорачуна потребно је задати почетне и граничне услове, и временски корак. Што је мања димензија коцки, у нумеричкој шеми, и временски корак треба смањити.



Слика 4.1.2: Нумеричка шема (Ichiro Kimura: iRIC Software-Solver Manual, 2011).

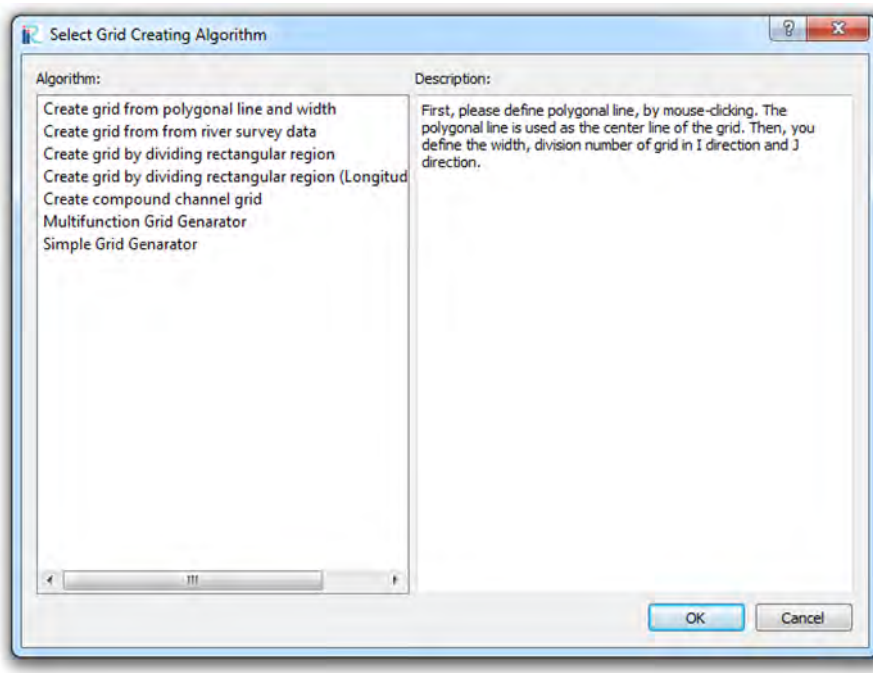
4.2. Прорачун у NaysCUBEу

Програмски пакет iRIC је коришћен за прорачун течења на моделу рибље стазе, коришћен је програм NaysCUBE, за просторне прорачуне течења.

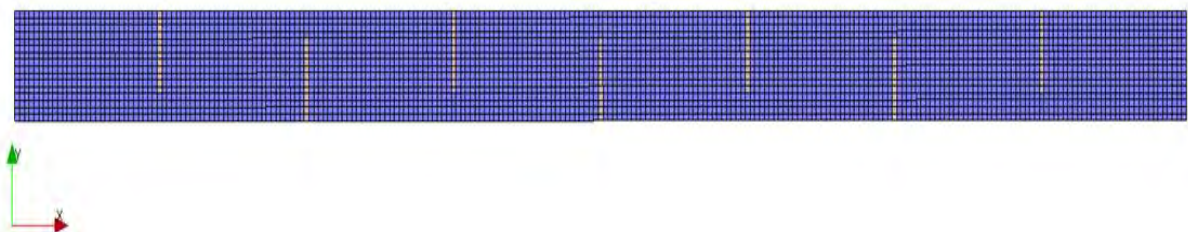
Покретањем програмски пакет iRIC, отвара се прозор (Слика 4.1.1), у њему изаберемо у ком програму желимо да радимо. Прорачун течења на моделу рибље стазе је рађен у програму NaysCUBE.

Пошто смо изабрали програм у коме хоћемо да радимо, уносимо географске податке, ако се ради о речном току, затим нумеричку шему. Прво треба изабрати нумеричку шему (Слика 4.2.1). Затим дефинишемо геометрију нумеричке шеме.

Нумеричка шема рибље стазе се састоји од 247 квадра по дужини и 17 квадра по ширини, димензија једног квадрата је 6,5x6,5 mm (Слика 4.2.2).



Слика 4.2.1: Нумеричке шеме у програму NaysCUBE.

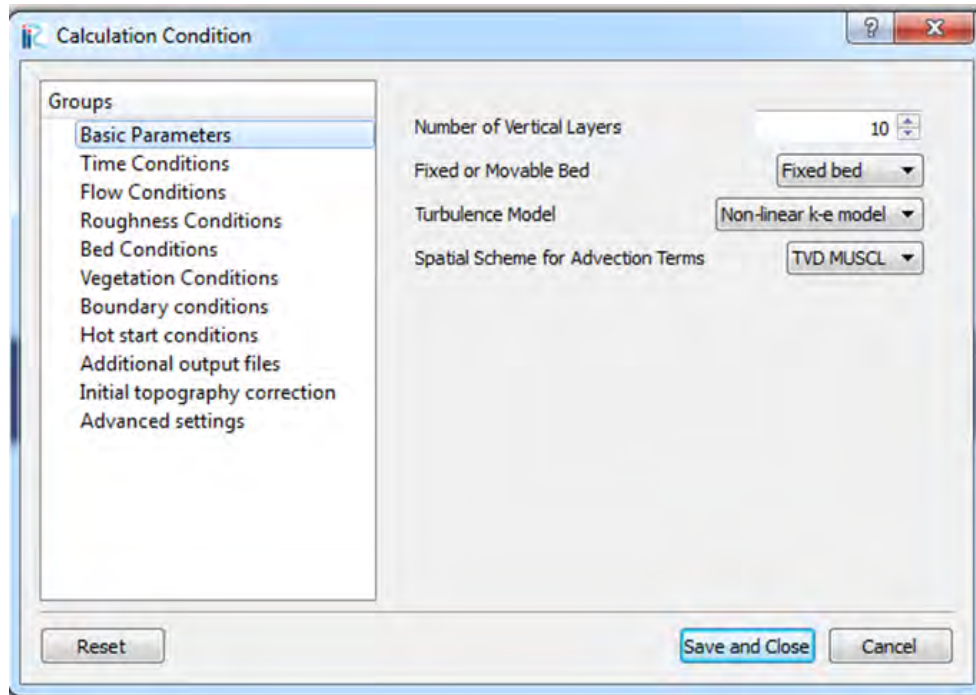


Слика 4.2.2: Нумеричка шема рибље стазе.

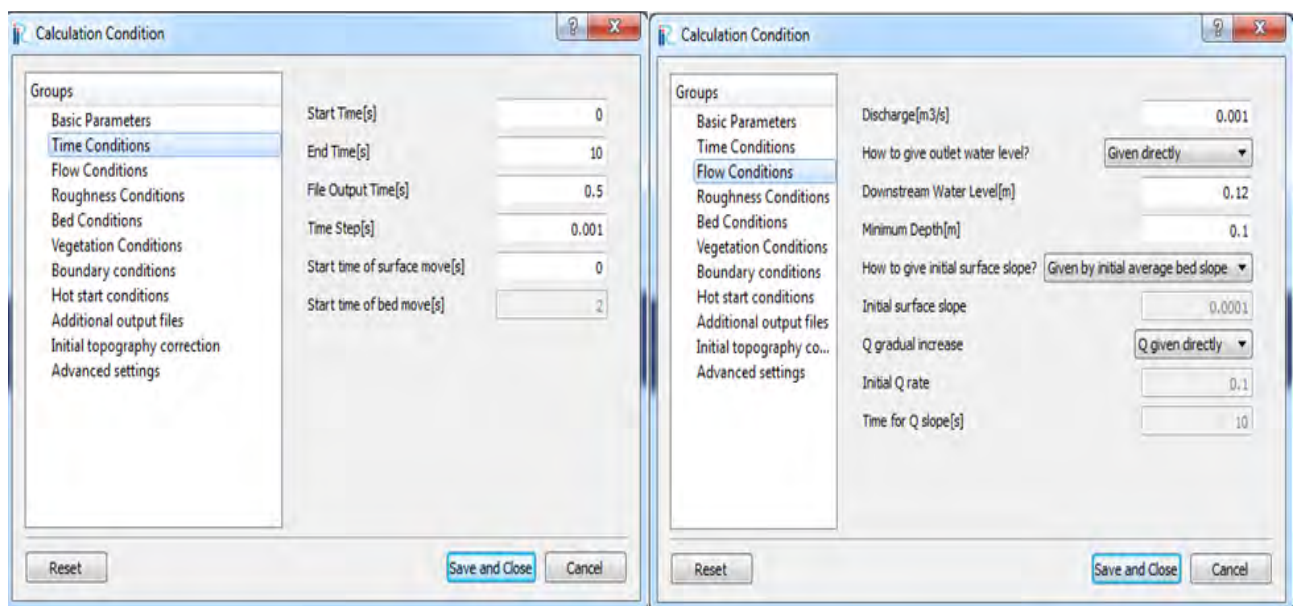
Мастер рад

Пре покретања прорачуна треба дефинисати почетне, граничне услове и временски корак (Слика 4.2.3). У прорачуну течења на моделу рибље стазе битно је дефинисати време за које се ради прорачун, временски корак, параметре течења и низводни гранични услов (Слика 4.2.4). Време за које је рађен прорачун је $T=10$ s, временски корак је $\Delta t=0,001$ s, проток је $Q=1$ l/s, низводни гранични услов је $H_{\text{низ}}=12$ cm, минимална дубина је $h_{\text{мин}}=10$ cm.

Када смо подесили све параметре можемо да покренемо прорачун.



Слика 4.2.3: Услови за прорачун.



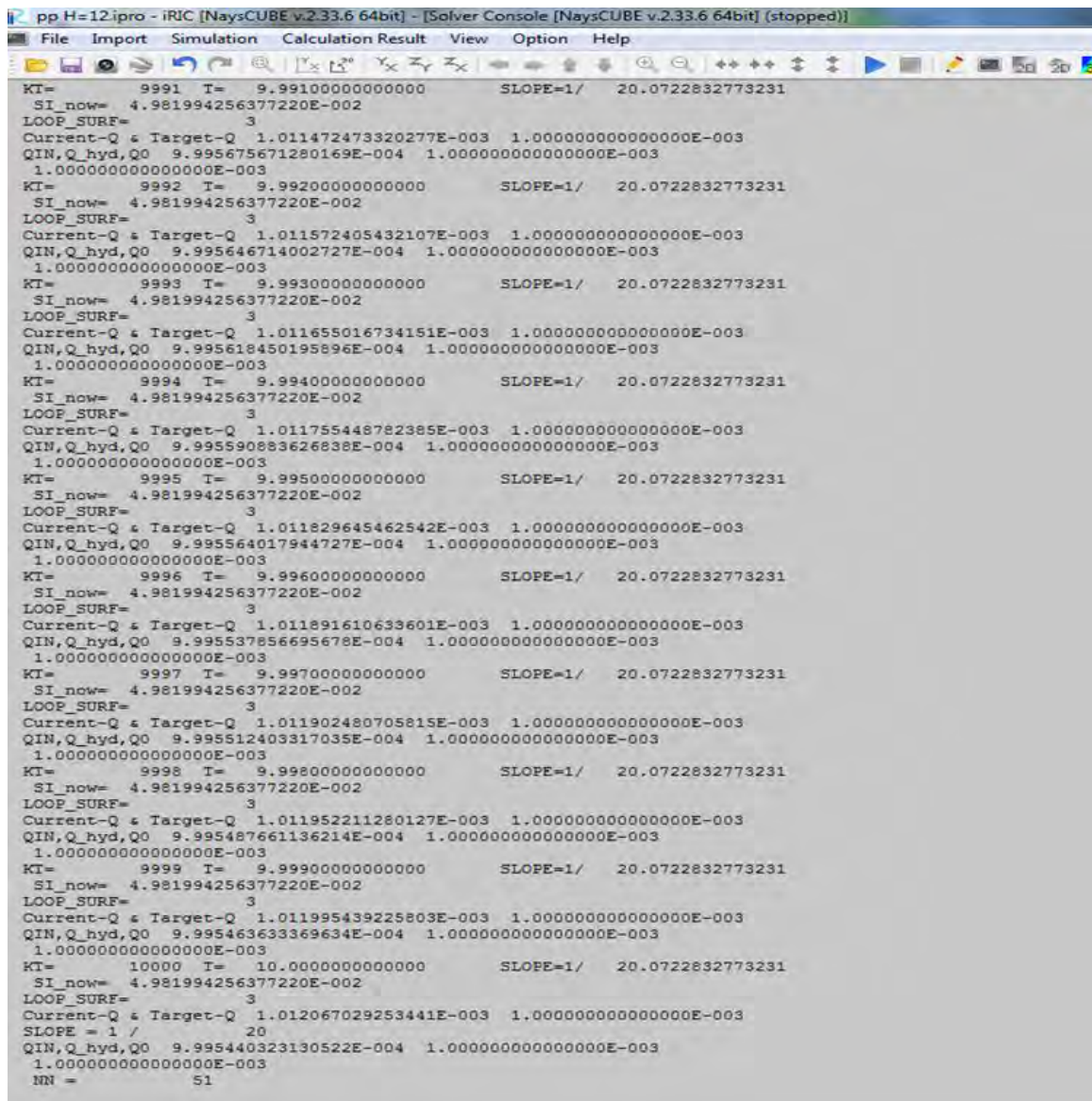
Слика 4.2.4: Време и параметри течења на моделу рибље стазе.

Мастер рад

Прорачун који је рађен за рибљу стазу, у зависности од рачунара, траје од два до пет сати. На Слици 4.2.5 је приказан прозор на коме се види како изгледа прорачун, док програм рачуна.

Резултате прорачуна се могу погледати на више начина:

- У 3D post-processing прозору;
- Као графике (Graf Window);
- Могу се експортирати у текстуални облик (VTK files) или у Excell облик (CSV files) .

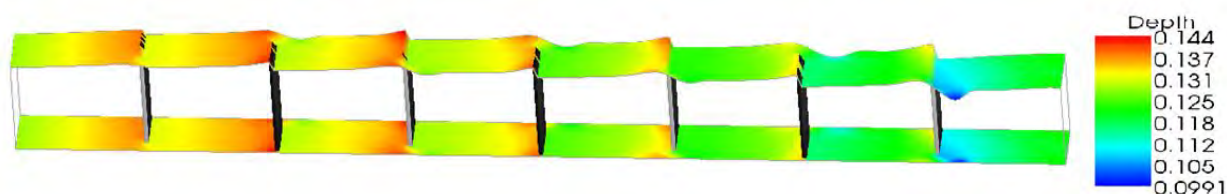


```
pp H=12.ipro - iRIC [NaysCUBE v.2.33.6 64bit] - [Solver Console [NaysCUBE v.2.33.6 64bit] (stopped)]
File Import Simulation Calculation Result View Option Help
KI= 9991 I= 9.991000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011472473320277E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995675671280169E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9992 I= 9.992000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011572405432107E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995646714002727E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9993 I= 9.993000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011655016734151E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995618450195896E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9994 I= 9.994000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011755448782385E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995590883626838E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9995 I= 9.995000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011829645462542E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995564017944727E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9996 I= 9.996000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011891610633601E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995537856695678E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9997 I= 9.997000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011902480705815E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995512403317035E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9998 I= 9.998000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011952211280127E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995487661136214E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 9999 I= 9.999000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.011995439225803E-003 1.000000000000000E-003
QIN,Q_hyd,Q0 9.995463633369634E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
KI= 10000 I= 10.000000000000000 SLOPE=1/ 20.0722832773231
SI_now= 4.981994256377220E-002
LOOP_SURF= 3
Current-Q & Target-Q 1.012067029253441E-003 1.000000000000000E-003
SLOPE = 1 / 20
QIN,Q_hyd,Q0 9.995440323130522E-004 1.000000000000000E-003
1.000000000000000E-003
MN = 51
```

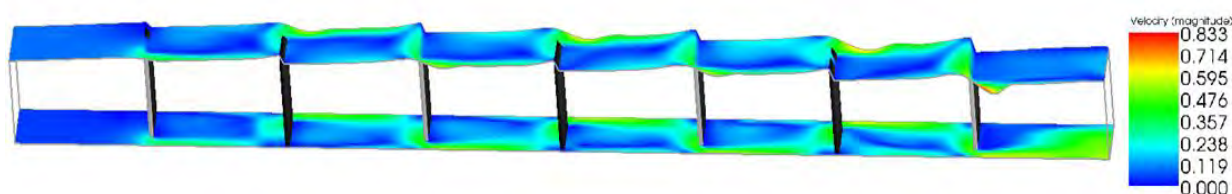
Слика 4.2.5: Прозор прорачуна.

Мастер рад

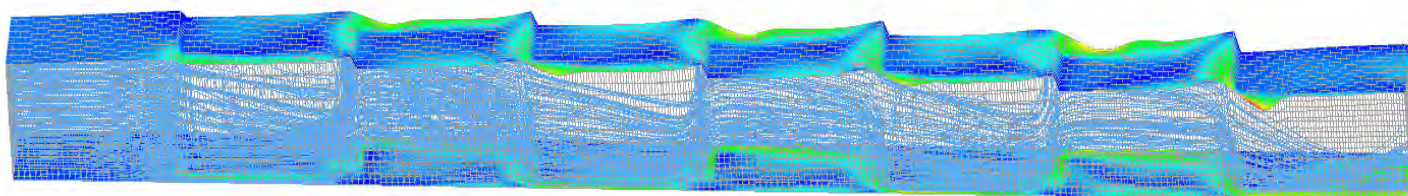
У 3D post-processing прозору се могу подешавати разни параметри, које желимо да погледамо. На слици 4.2.6 представњени су нивои на рибљој стази. На слици 4.2.7 представњене су брзине. На слици 4.2.8 представљене су струјнице. На слици 4.2.9 представљено је поље брзина, за које је су мерене брзине бочном вектрино сондом. Детаљнији резултатеи прикази се налазе у Прилогу Ђ.



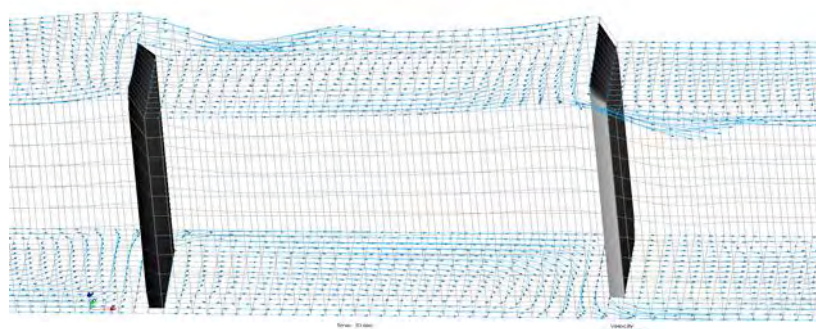
Слика 4.2.6: Нивои на моделу рибље стазе



Слика 4.2.7: Брзине воде на моделу рибље стазе.



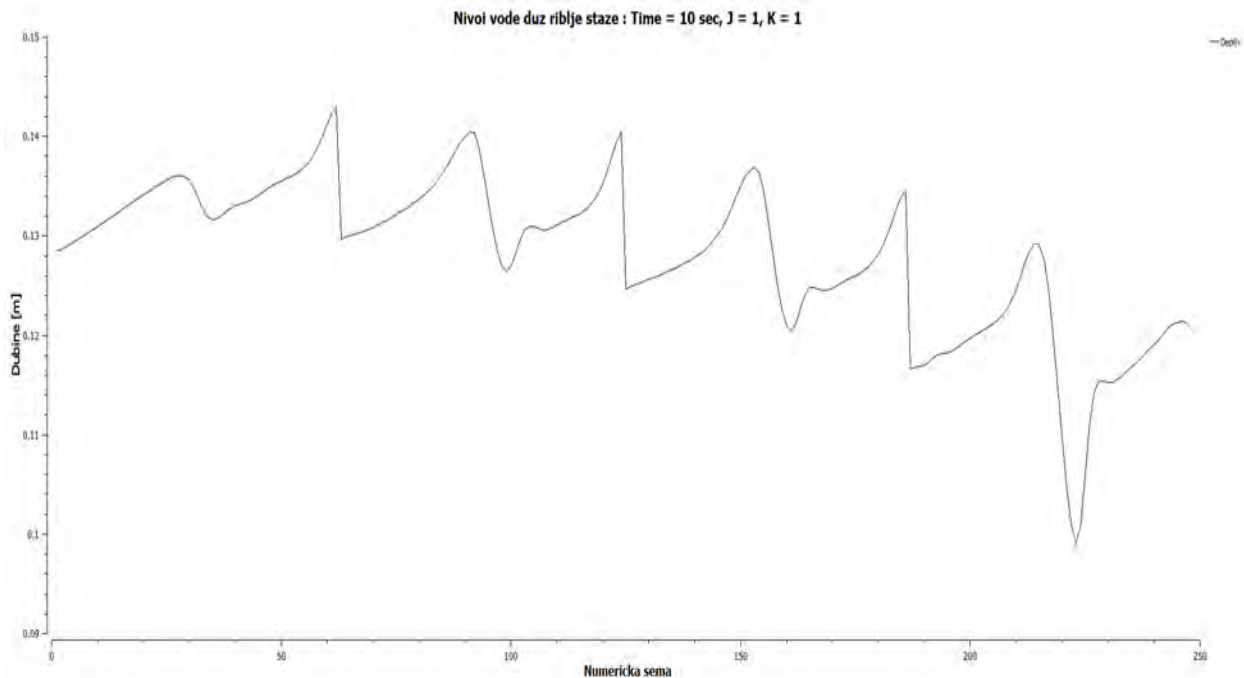
Слика 4.2.8: Струјнице на моделу рибље стазе.



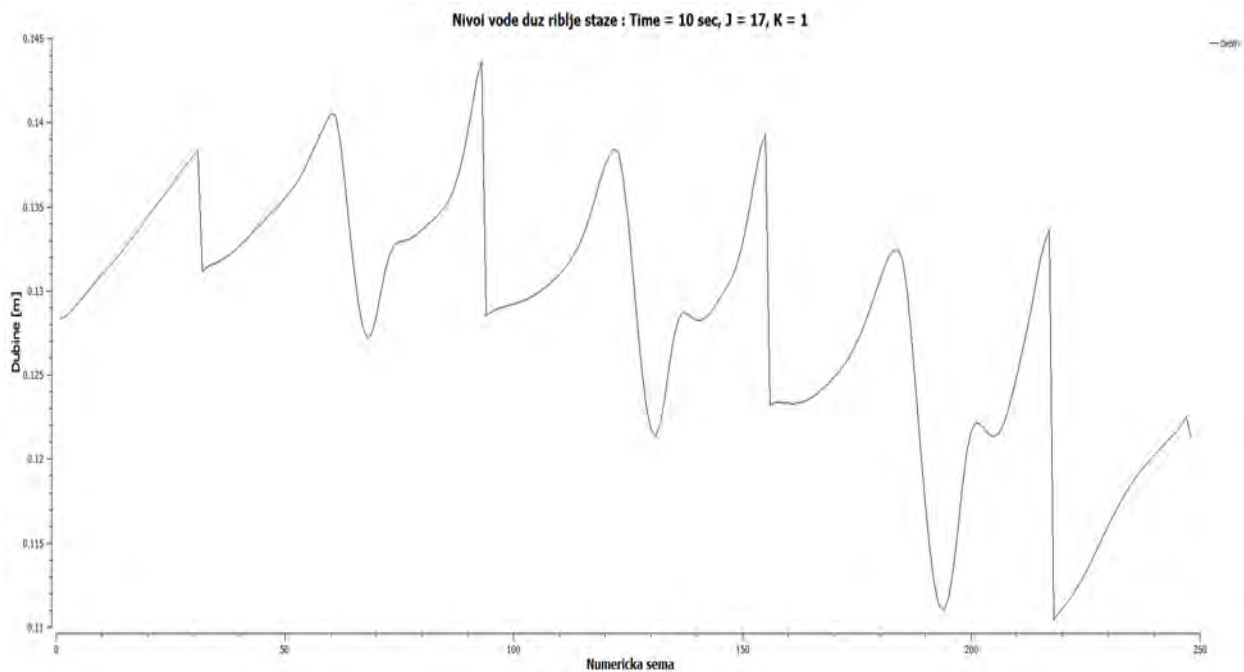
Слика 4.2.9: Поље брзина, за које су мерене брзине бочном вектрино сондом.

Мастер рад

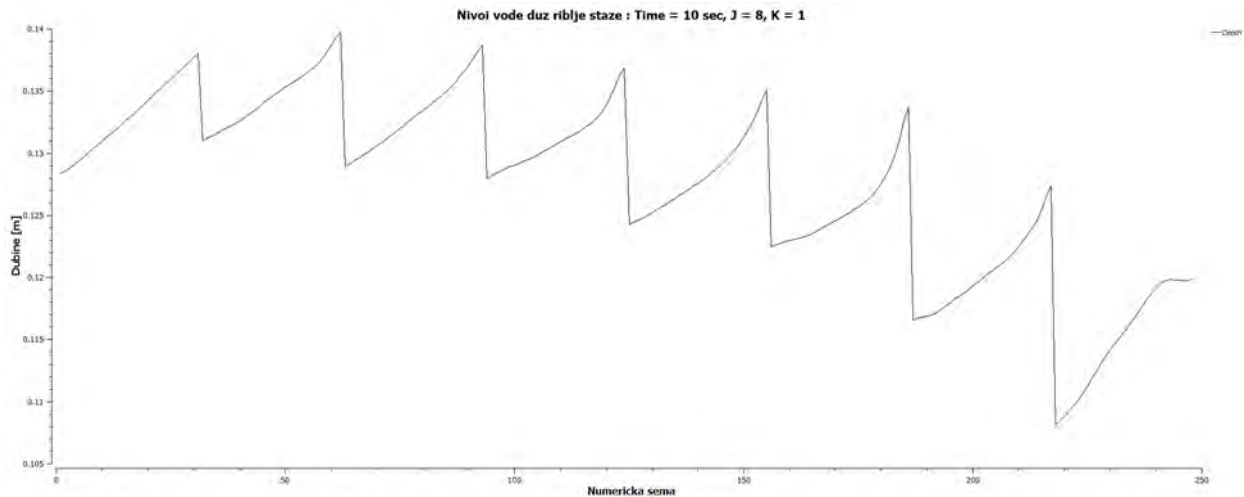
У Graf Window се могу урадити графици. На слици 4.2.10 представљени су нивои воде на моделу рибље стазе, дуж десне ивице канала. На слици 4.2.11 представљени су нивои воде на моделу рибље стазе на средини канала. На слици 4.2.12 представљени су нивои воде на моделу рибље стазе, дуж леве ивице канала. На слици 4.2.13 престављени су нивои воде на средини четврте коморе модела рибље стазе.



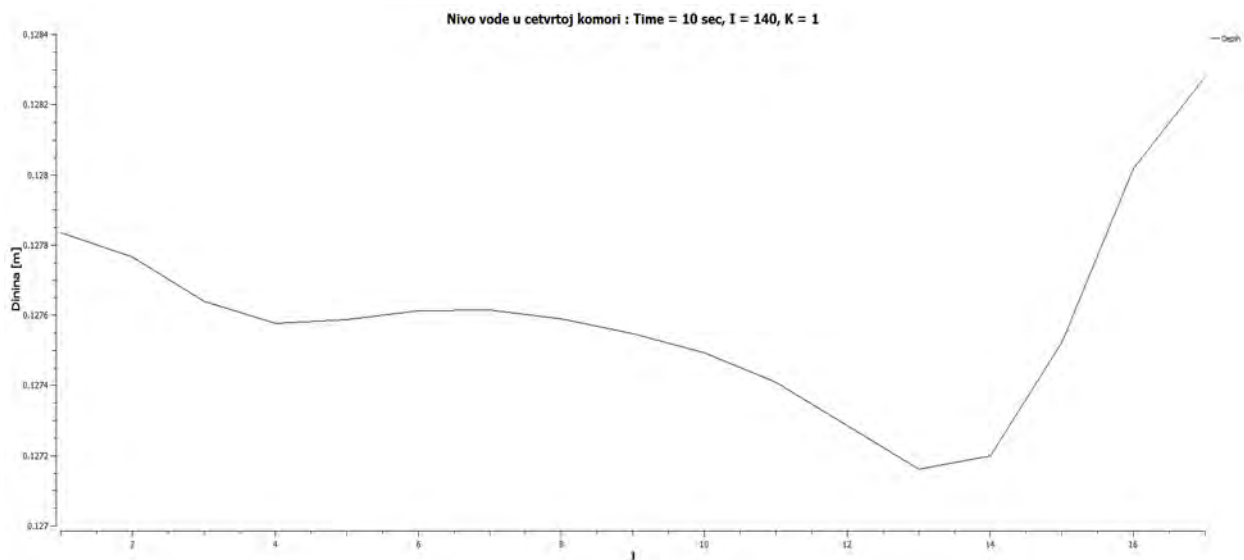
Слика 4.2.10: Нивои воде дуж десне ивице.



Слика 4.2.11: Нивои воде дуж леве ивице.



Слика 4.2.12: Нивои воде дуж средине модела рибље стазе.



Слика 4.2.13: Ниво воде на средини четврте коморе.

4.3. Недостаци који су уочени приликом рада у програму NaysCUBE

Приликом рада у програму NaysCUBE уочен је низ недостатака:

- Прогам захтева новији рачунар и јак процесор да би прорачун био урађен у што краћем року.
- Програма је осетљив на однос временског корака и димензије квадрата у нумеричкој шеми, па би требало одредити прави однос, у супротном програма неће покренути прорачун.
- Доста је компликовано постављање нумеричке шеме квадратног облика.

- У првој верзији програма компликована је била употреба експортираних података, CSV подаци су се налазили у једној ћелији у Excell-у, док је у другој верзији програма то отклоњено.
- Када се раде графици, у Graf Window-у, наслови се могу написати, само енглеским писмом, остала писма избацује као знакове питања.
- На графицима се не могу повећати бројеви на осама, као ни величина наслова.

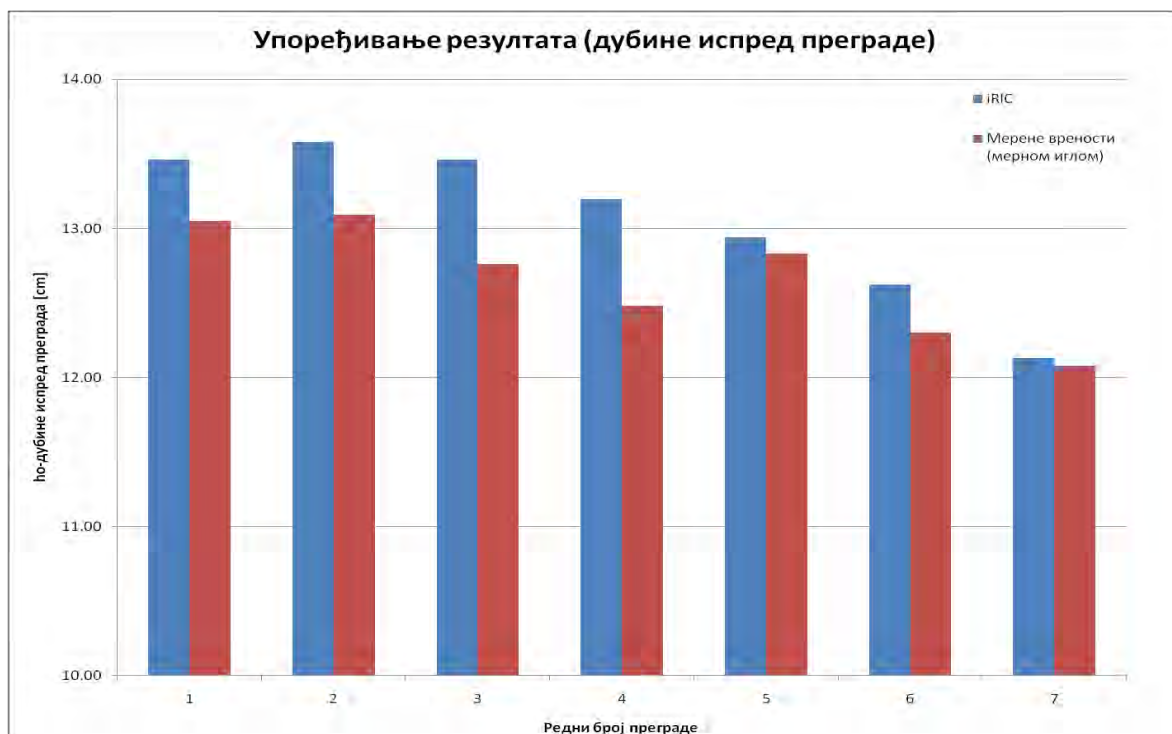
5. Анализа резултата

Измерени подаци, дубине и брзине, су упоређени са резултатима који су добијени у прорачуну, на просторном нумеричком моделу у програму NaysCUBE.

5.1. Анализа резултата добијених дубина

Дубине воде измерене мерном иглом и лењиром упоређене су са дубинама добијеним у програму NaysCUBE. На следећим дијаграмима представљене су добијене вредности.

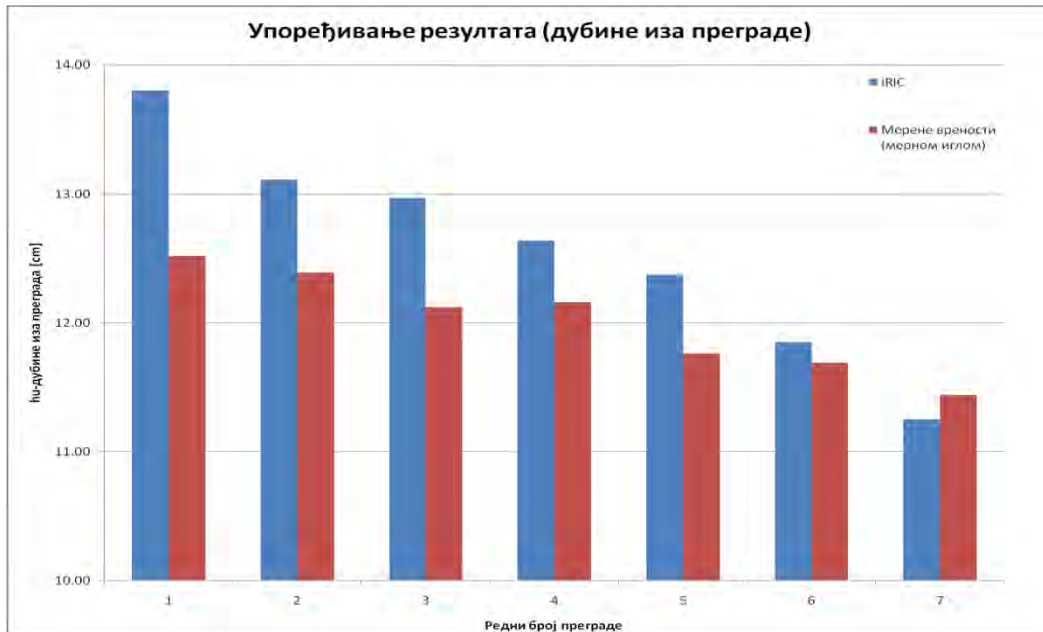
На Дијаграму 5.1.1 приказане су вредности дубина испред преграда, добијене мрењем мерном иглом (црвени правоугаоници) и вредности добијене у NaysCUBEу (плави правоугаоници), на средини канала. На Дијаграму 5.1.1 се види да су узводне дубине добијене, у NaysCUBEу, за 0,5 cm веће од дубина добијених мерном иглом.



Дијаграм 5.1.1: Дубине испред преграда, средина канала.

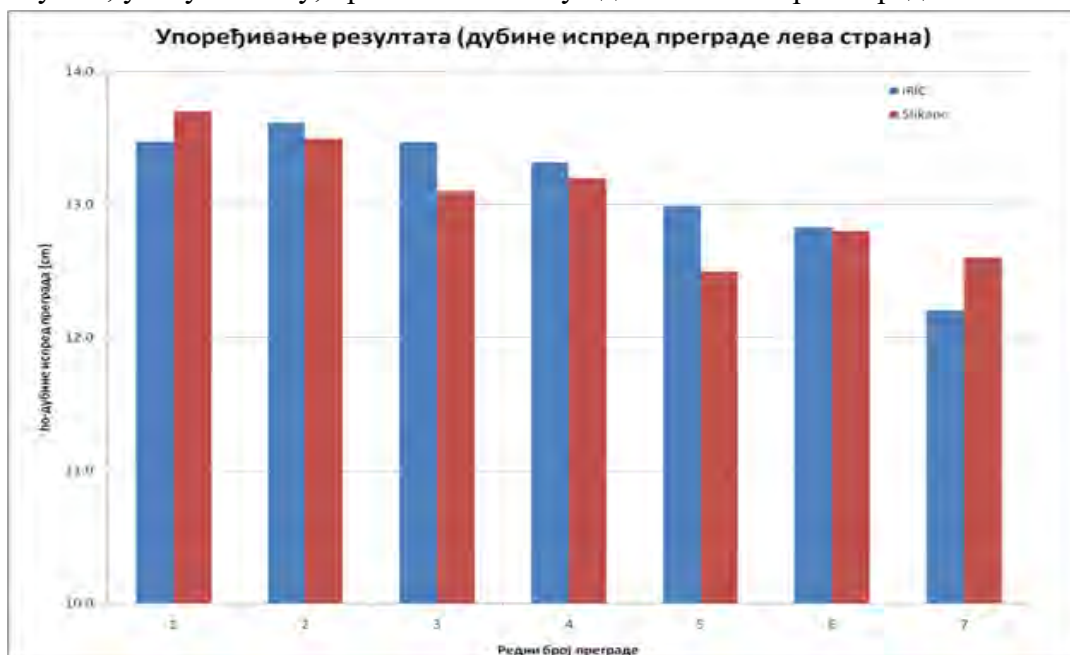
Мастер рад

На Дијаграму 5.1.2 приказане су вредности дубина, иза преграда, добијене мрењем мерном иглом (црвени правоугаоници) и вредности добијене у NaysCUBEу (плави правоугаоници), на средини канала. На Дијаграму 5.1.2 се види да се дубине добијене прорачуном, у NaysCUBEу, повећавају од низводне дубине ка узводној и да је на првој прегради разлика у дубинама за 1,5 cm.



Дијаграм 5.1.2: Дубине иза преграда.

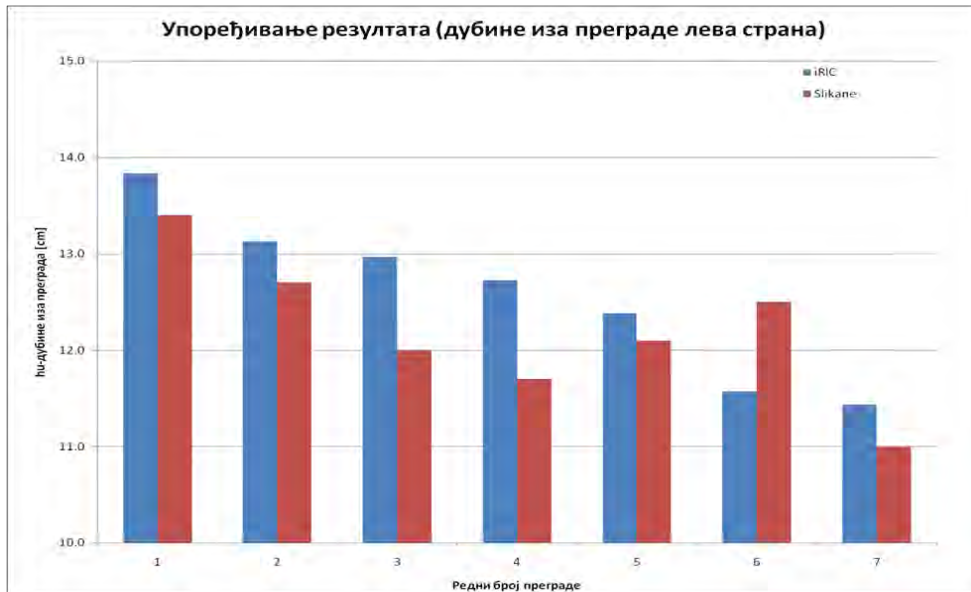
На Дијаграму 5.1.3 приказане су вредности дубина испред преграда, уз леву ивицу канала, измерене лењиром (црвени правоугаоници) и вредности добијене у NaysCUBEу (плави правоугаоници). На Дијаграм 5.1.3 види да су добијене дубине у прорачуном, у NaysCUBEу, приближно исте у односи на измерене вредности.



Дијаграм 5.1.3: Дубине испред преграда, лева страна канала.

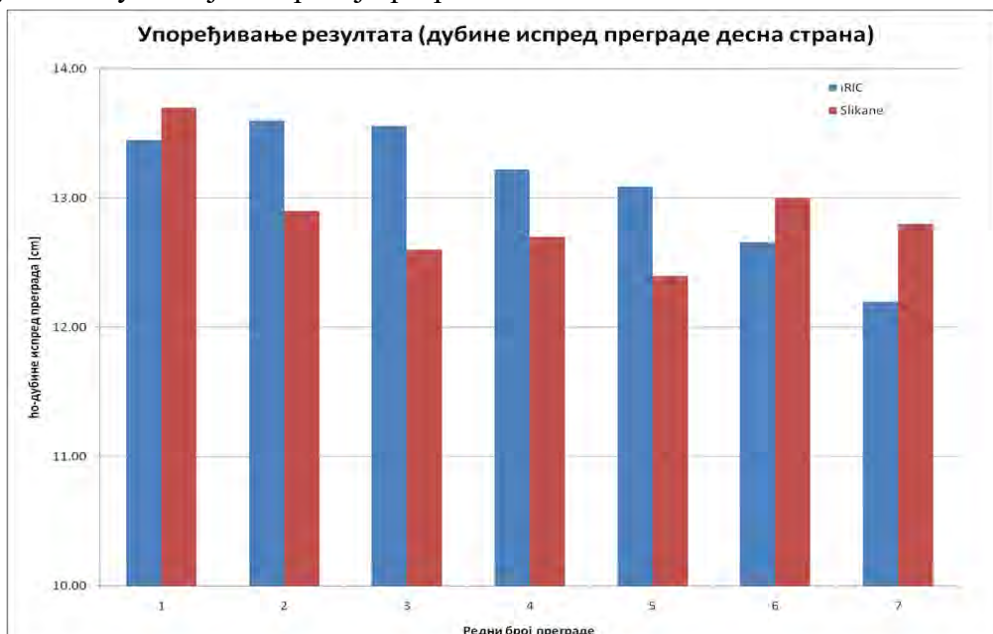
Мастер рад

На Дијаграму 5.1.4 су приказане вредности дубина иза преграда, уз леву ивицу канала, измерене лењиром (црвени правоугаоници) и вредности добијене у NaysCUBEу (плави правоугаоници). На Дијаграм 5.1.4 се види да се добијене дубине, прорачуном, у NaysCUBEу, разликују у односу на измерене вредности од 0,5 cm до 1,5 cm, највеће оступање је на четвртој прегради.



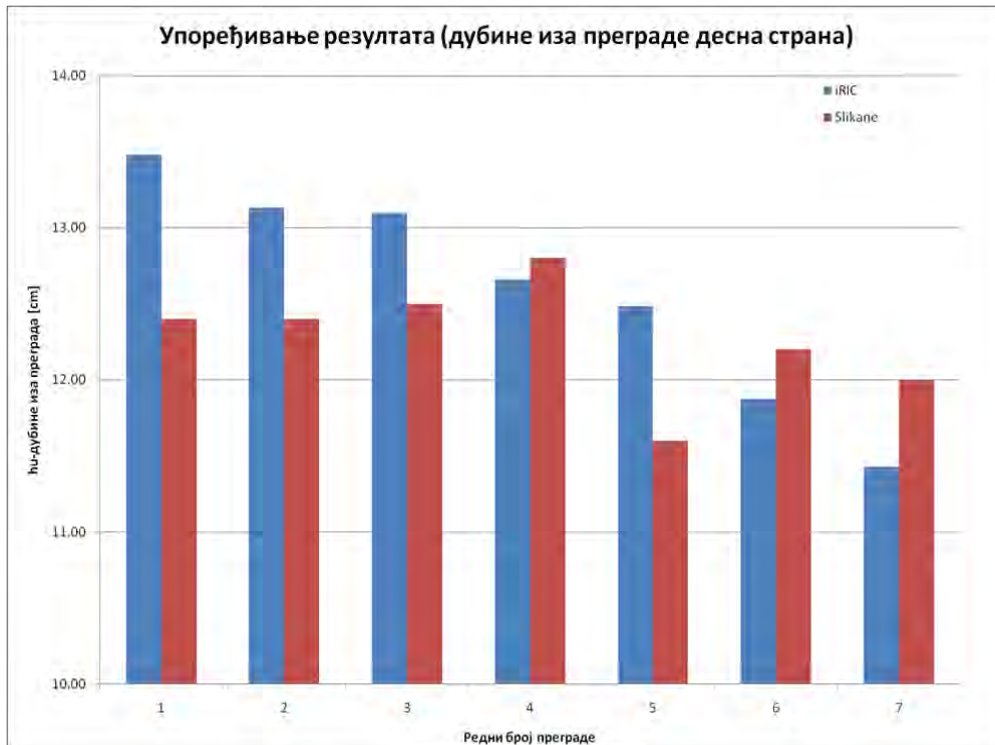
Дијаграм 5.1.4: Дубине иза преграда лева страна.

На Дијаграму 5.1.5 су приказане вредности дубина испред преграда, уз десну ивицу канала, измерене лењиром (црвени правоугаоници) и вредности добијене у NaysCUBEу (плави правоугаоници). На Дијаграм 5.1.5 се види да се добијене дубине прорачуном, у NaysCUBEу, разликују у односу на измерене вредности од 0,5 cm до 1 cm, највеће оступање је на трећој прегради.



Дијаграм 5.1.5: Дубине испред преграда десна страна.

На Дијаграму 5.1.6 су приказане вредности дубина иза преграда, уз десну ивицу канала, измерене лењиром (црвени правоугаоници) и вредности добијене у NaysCUBEу (плави правоугаоници). На Дијаграм 5.1.6 се види да се добијене дубине, прорачуном, у NaysCUBEу, разликују у односу на измерене вредности од 0,2 cm до 1 cm, највеће одступање је на првој прегради.



Дијаграм 5.1.6: Дубине иза преграда десна страна.

Разлике у дубинама, које су се јавиле приликом мерења и прорачуна, су настале из више фактора:

- Да би прорачун био покренут трбало је задати низводни гранични услов у програму. Низводни гранични услов је задат тако да се дубина испред последње преграде, мерена мерном иглом, поклапа са дубином у програму, што се види на Дијаграму 5.1.1. Остављено је да се даље испита тачније задавање граничног услова за прорачун. Препорука је да се узме више тачака, низводно од послење преграде, и оне осредње, па се покуша са таквим низводним граничним условом.
- На физичком моделу постоји разлика у нивоу дна за 0,8 mm (Слика 5.1.1), која није била обухваћена у нумеричкој шеми, у прорачуну. Требало би испитати да ли тај мали степеник прави проблеме, који су довели до одступања у дубинама.
- Модел је израђен од плекслигаса, а трење је занемарено приликом прорачуна. Требало би коефицијент трења задати у програму, и видети да ли ће се одступања у дубинама смањити.



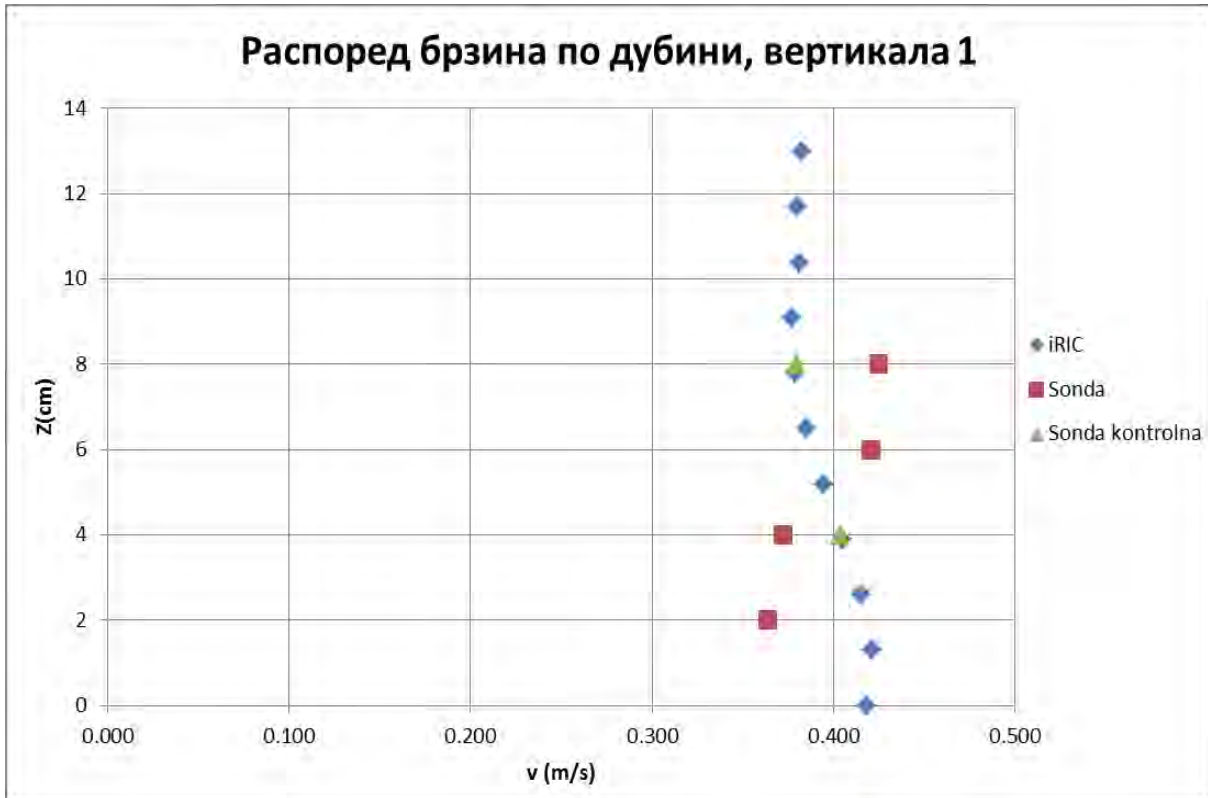
Слика 5.1.1: Седма преграда и крај физичког модела риблије стазе, који са дном канала прави степеник од 0,8 mm.

5.2. Анализа резултата добијених брзина

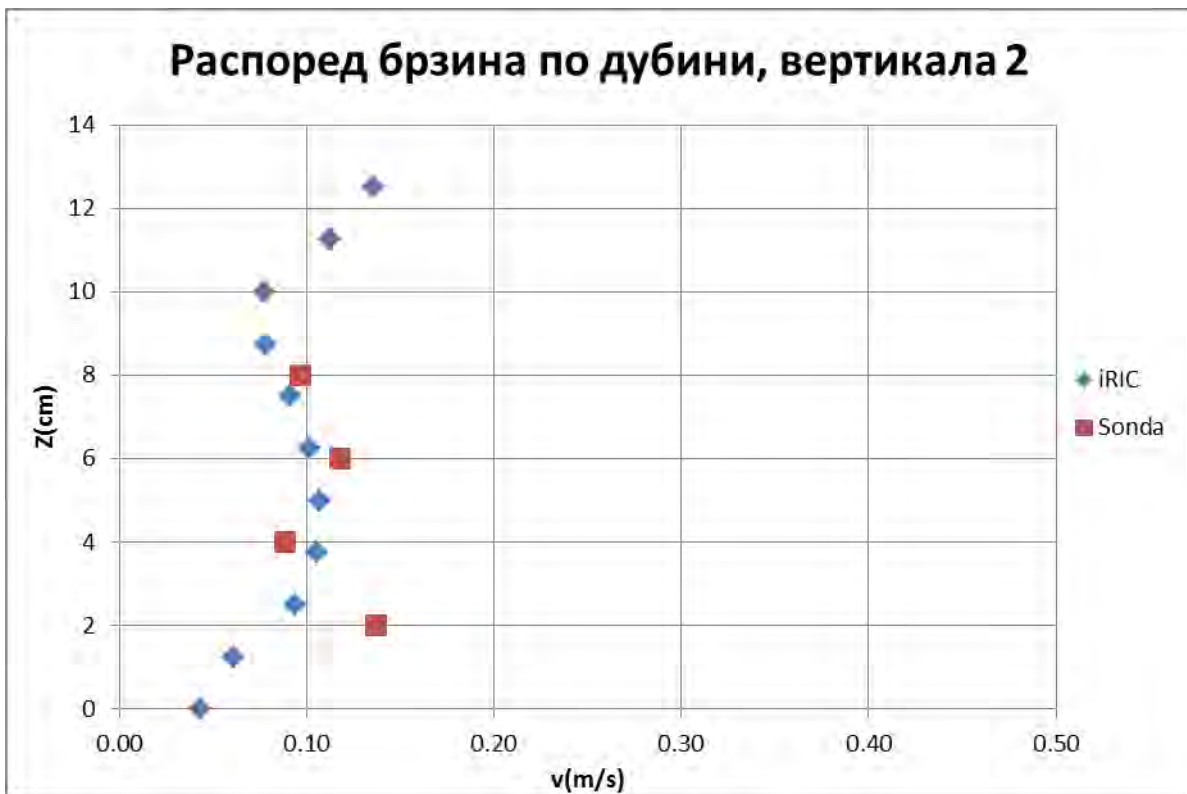
На моделу риблије стазе мерене су брзине у четири вертикале (Слика 3.4.2.1), за прве две вертикале брзине су мерене у четири тачке на растојању од дна канала на 2, 4, 6 и 8 cm, за трећу и четврту вертикалу брзине су мерене у две тачке на растојању од дна канала на 4 и 8 cm, за прву и трећу вертикалу урађена су и контролна мерења у две тачке на растојању од дна канла на 4 и 8 cm. Брзине су мерене бочном вектрино сондом. Измерене брзине су упоређиване са брзинама добијеним прорачуном у програму NaysCUBE, програмског пакета iRIC. Добијене вредности брзина су представљене на дијаграмима.

На Дијаграму 5.2.1 су представљене вредности брзина по дубини за прву вертикалу. Вредности брзина које су измерене у контролном мерењу се поклапају са брзинама добијеним у програму NaysCUBE. Док вредности брзина добијене у првом мерењу одступају од прорачуна за $\pm 0,04$ m/s.

На Дијаграму 5.2.2 су представљене вредности брзина по дубини за другу вертикалу. Вредности брзина у првој тачки, $Z=8$ cm, се разликују за 0,019 m/s, у другој и трећој тачки, $Z=6$ cm и $Z=4$ cm, за $\pm 0,017$ m/s, док је одступање у четвртој тачки, $Z=2$ cm, 0,043 m/s.

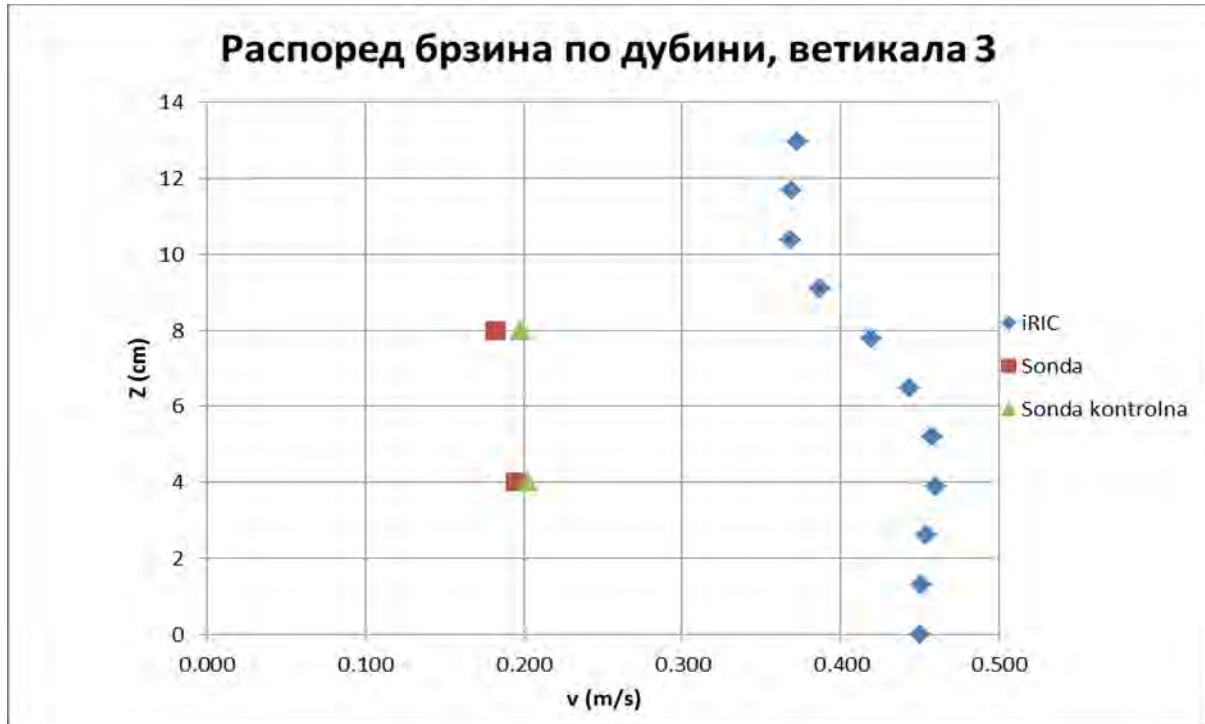


Дијаграм 5.2.1: Распоред брзина по дубини, прва вертикала.



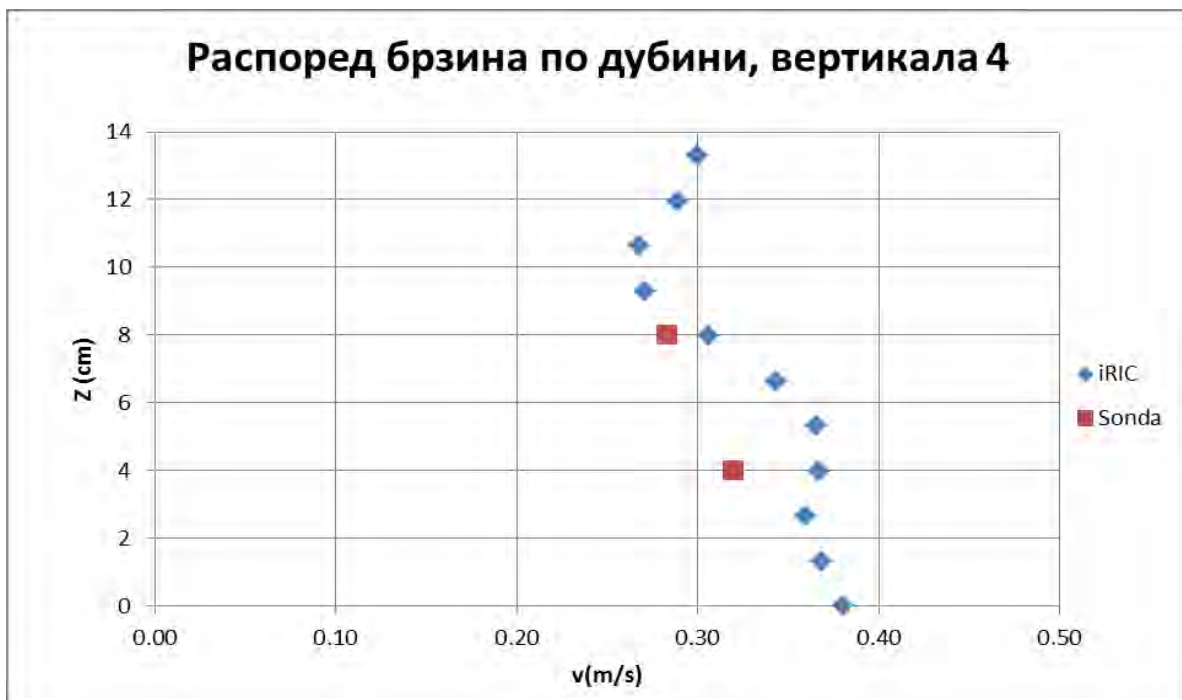
Дијаграм 5.2.2: Распоред брзина по дубинама, друга вертикала.

На Дијаграму 5.2.3 су представљене вредности брзина по дубини за трећу вертикалу. Вредности брзина за прво мерење и контролно мерење одступају од прорачуна у NaysCUBE за 0,25 m/s.



Дијаграм 5.2.3: Распоред брзина по дубини, трећа вертикала.

На Дијаграму 5.2.4 су представљене вредности брзина по дубини за четврту вертикалу. Вредности брзина у првој тачки, $Z=8$ cm, се разликују за 0,02 m/s, а у другој тачки, $Z=4$ cm, за 0,05 m/s.



Дијаграм 5.2.4: Распоред брзина по дубини, четврта вертикала.

6. Закључак

У оквиру овог рада урађена су мерења основних хидрауличких величина, на физичком моделу рибље стазе и упоређена са просторним нумеричким моделом рибље стазе који је прорачунат у програму NaysCUBE.

Приликом мерења брзина, бочном вектрино сондом, појавила су се два проблема, велике осцилације око средње вредности, у прикупљеним подацима, и контролни пријемник сонде је давао резултате нула. Осцилације, око средње вредности, нису успешно отклоњене, сипањем средства за засејавање воде у ближу преграду, само су мало умањене. Треба испитати који материјал за засејавање воде ће успешно отклонити осцилације. Контролни пријемник даје увек нула резултате, јер је бочна вектрино сонда контролна сонда. Требало би направити већи модел, па брзине мерити са вектрино сондом или наћи неку другу сонду за мерење на постојећем моделу. На постојећем моделу је тешко позиционирати сонду, у тачку у којој се врши мерење, јер је велика у односу на физички модел и сметају јој преграде да би се лако њом руковало.

Уочена су одступања у дубинама, на физичком моделу рибље стазе и просторном нумеричком моделу. Требало би боље испитати низводни гранични услов, који се задаје за покретање прорачуна. Препорука је да се узме више тачака, низводно од послење преграде, и оне осредње па покушати са таквим низводним граничним условом. У нумеричку шему треба додати и разлику нивоа дна, коју физички модел рибље стазе прави са каналом у који је спуштен.

Из искуства која су стечена изарадом овог мастер рада, моја препорука за даље коришћење физичког модела и просторног нумеричког модела је следећа: физички модел би требало увек конструисати ако се има довољно новчаних средстава за то, требало би увек користи најбољу опрему за мерења на њему, јер су хидротехнички објекти сложени системи. Пошто ни најсавременија опрема некад није најбоље решење, препорука је да се уради и просторно нумеричко моделирање, па анализирати обе групе података. Ако су финансиска средства оскудна просторни нумерички модел може да послужи за пројектовање рибљих стаза али морају да се воде рачун о граничним условима.

Литература

- [1] Шаљић, С.: Дипломски задатак- Мерења на физичком моделу рибље стазе, Београд 2013.
- [2] Fish Passes – Deign, Dimensions and Monitoring, FAO, Rome 2002.
- [3] Ђорђевић, Б.: Коришћење водних снага – објекти хидроелектрана, Грађевински факултет, Београд, 1984.
- [4] Савић, Љ.: Увод у хидротехничке грађевине, друго издање, Грађевински факултет, Београд, 2009.
- [5] Јовановић, М.: Рибље стазе у склопу "натуралног" уређења малих вода, Водопривреда, Vol.43, стр. 217-226, 2011.
- [6] Katopodis, C.: Introduction to Fishway Desing, January 1992.
- [7] Nallamuthu Rajaratnam, M., Gary Van der Vinne, and Shristos Kapopodis, – Hydraulics od Vertical Slot Fishway, The Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 112, No. 10, pp. 909-927, February 14, 1986.
- [8] Blank J., Weber L., Numerical Simulations of Fish Passage Facilities at Lower Granite Dam, IHR Tehnical Report No. 412, Iowa Institute of Hydraulic Research, November 2000.
- [9] Kamula R.: Flow over weirs with application to fish passage facilities, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, 2001.
- [10] iRIC Software- User`s Manual, River Cenatar of Hokkaido.
- [11] iRIC Tutorials, River Cenatar of Hokkaido.
- [12] Ichiro Kimura: iRIC Sotware-Solver Manual, 2011.
- [13] Nortek AS: User Guide- Vectrino Velocimeter, 2009.

Списак прилога

Прилог А:

1. Модел рибље стазе
2. Основа модела рибље стазе
3. Попречни пресек модела рибље стазе пресек 1-1
4. Подужни пресек модела рибље стазе, пресек 2-2

Прилог Б:

1. Дубине испред преграда на средини модела рибље стазе
2. Дубине иза преграда на средини модела рибље стазе
3. Дубине испред преграда на левој страни модела рибље стазе
4. Дубине иза преграда на левој страни модела рибље стазе
5. Дубине испред преграда на десној страни модела рибље стазе
6. Дубине иза преграда на десној страни модела рибље стазе

Прилог В :

1. Вредности брзина у правцу X, вертикала 1
2. Вредности брзина у правцу Y, вертикала 1
3. Распоред брзина по дубини, вертикала 1
4. Вредности брзина у правцу X, вертикала 2
5. Вредности брзина у правцу Y, вертикала 2
6. Распоред брзина по дубини, вертикала 2
7. Вредности брзина у правцу X, вертикала 3
8. Вредности брзина у правцу Y, вертикала 3
9. Распоред брзина по дубини, вертикала 3
10. Вредности брзина у правцу X, вертикала 4
11. Вредности брзина у правцу Y, вертикала 4
12. Распоред брзина по дубини, вертикала 4

Прилог Г (Табеле):

1. Вредности дубина испред и иза преграда на средини модела рибље стазе
2. Вредности дубина испред и иза преграда на левој и десној страни модела рибље стазе
3. Прорачун брзина у iRICy, вертикала 1
4. Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 1
5. Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, контролно мерење, вертикала 1
6. Прорачун брзина у iRICy, вертикала 2
7. Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 2

8. Прорачун брзина у iRICy, вертикала 3
9. Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 3
10. Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, контролно мерење, вертикала 3
11. Прорачун брзина у iRICy, вертикала 4
12. Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 4

Прилог Д (Фотографије):

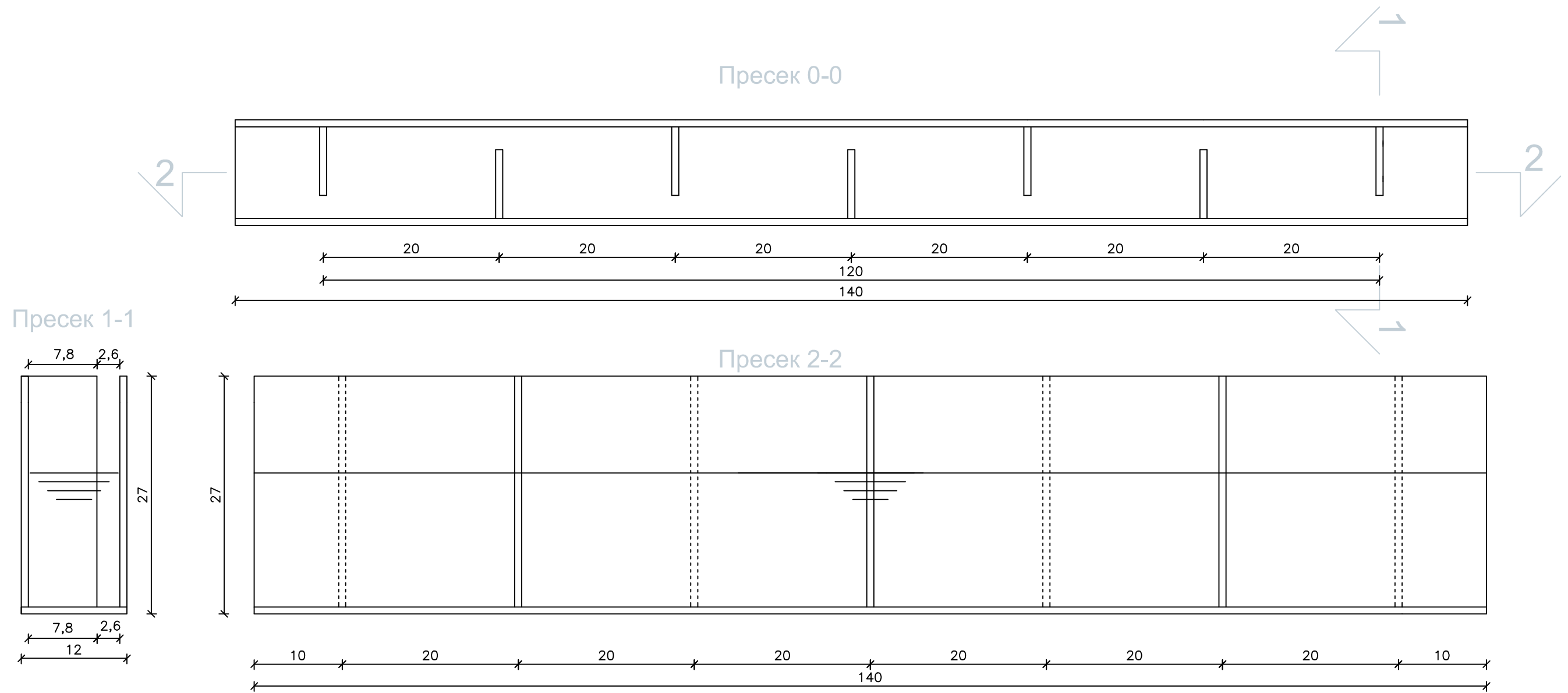
1. Поглед са леве стране модела рибље стазе, при протоку $Q=1$ l/s.
2. Дубина воде испред прве преграде на моделу, лева страна.
3. Дубина воде између прве и друге преграде на левој страни модела.
4. Дубина воде између друге и треће преграде на левој страни модела.
5. Дубина воде између треће и четврте преграде на левој страни модела.
6. Дубина воде између четврте и пете преграде на левој страни модела.
7. Дубина воде између пете и шесте преграде на левој страни модела.
8. Дубина воде између шесте и седме преграде на левој страни модела.
9. Дубина воде иза седме преграде на левој страни модела.
10. Дубина воде између прве и друге преграде на десној страни модела.
11. Дубина воде између друге и треће преграде на десној страни модела.
12. Дубина воде између треће и четврте преграде на десној страни модела.
13. Дубина воде између четврте и пете преграде на десној страни модела.
14. Дубина воде између пете и шесте преграде на десној страни модела.
15. Дубина воде између шесте и седме преграде на десној страни модела.
16. Дубина воде иза седме преграде на десној страни модела.

Прилог Ђ (Нумерички модел):

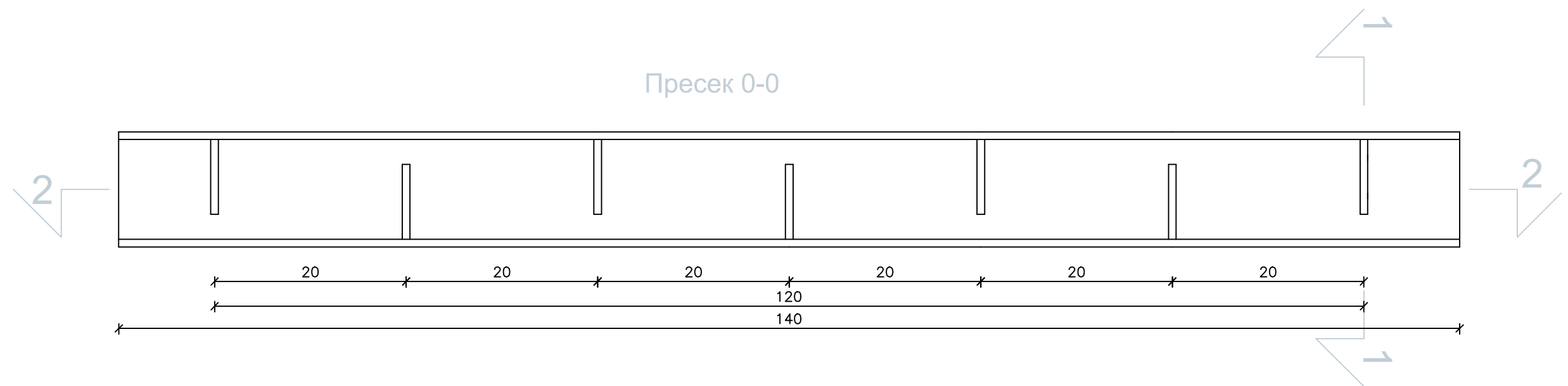
1. Нумеричка шема деформисана по дубини
2. Брзине воде дуж модела рибље стазе.
3. Вектори брзина у четвртој прегради, на дну и на површини.
4. Вектори брзина на првој вертикали на растојању 2, 4, 6, 8 cm.
5. Вектори брзина на другој вертикали на растојању 2, 4, 6, 8 cm.
6. Вектори брзина на трећој вертикали на растојању 2, 4, 6, 8 cm.
7. Вектори брзина на четвртој вертикали на растојању 2, 4, 6, 8 cm.
8. Вектори брзина на првој и другој вертикали.
9. Вектори брзина на трећој и четвртој вертикали вертикали.
10. Вектори брзине, све четири вертикале.

-Прилози-

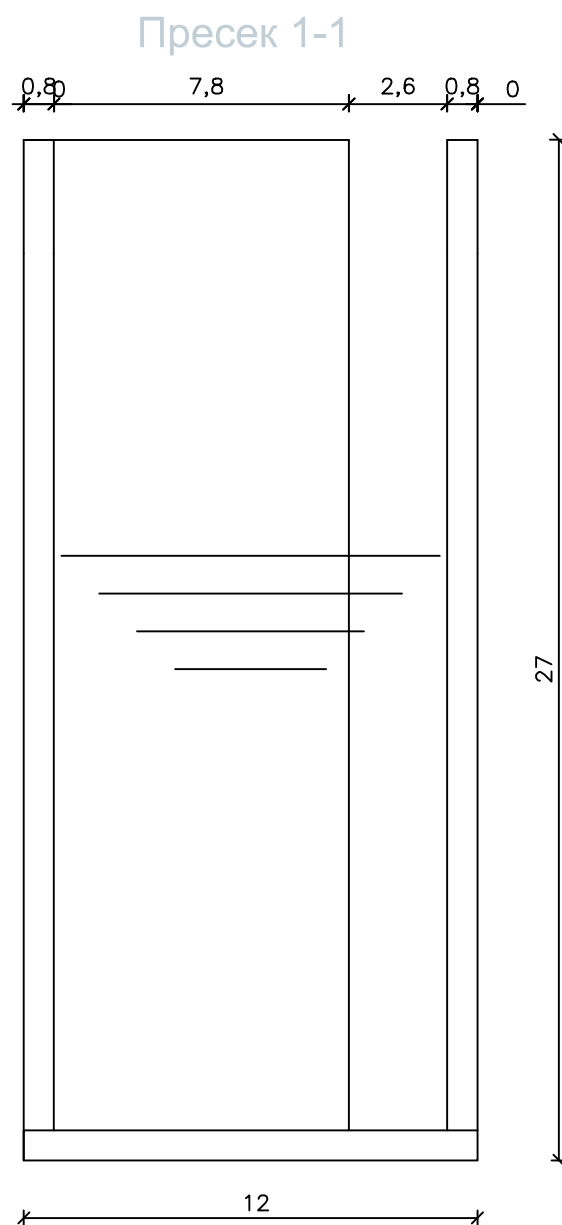
Прилог А1: Модел рибље стазе P=1:5



Прилог А2: Модел рибље стазе -основа- P=1:5

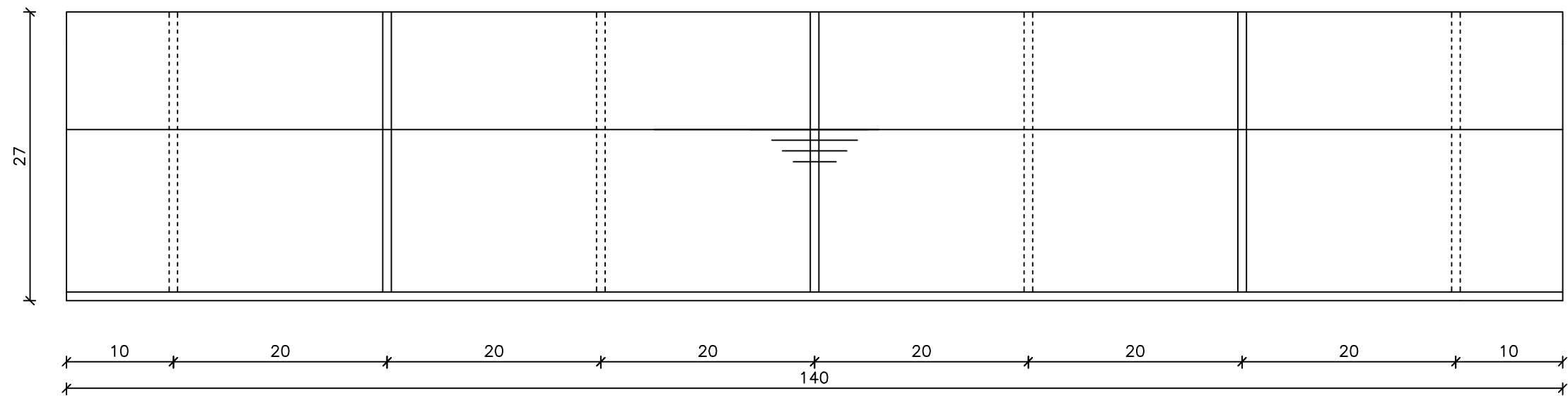


Прилог А3: Модел рибље стазе -пресек 1-1- R=1:2

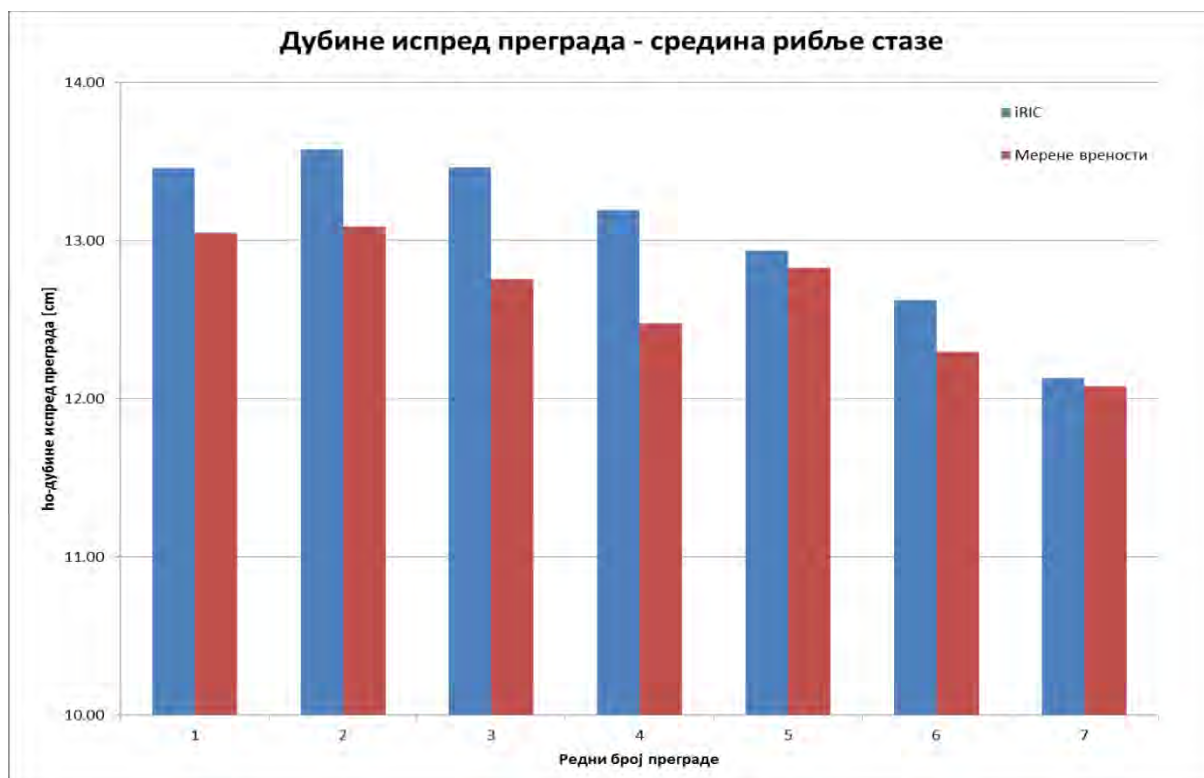


Прилог А4: Модел рибље стазе
-пресек 2-2-
P=1:5

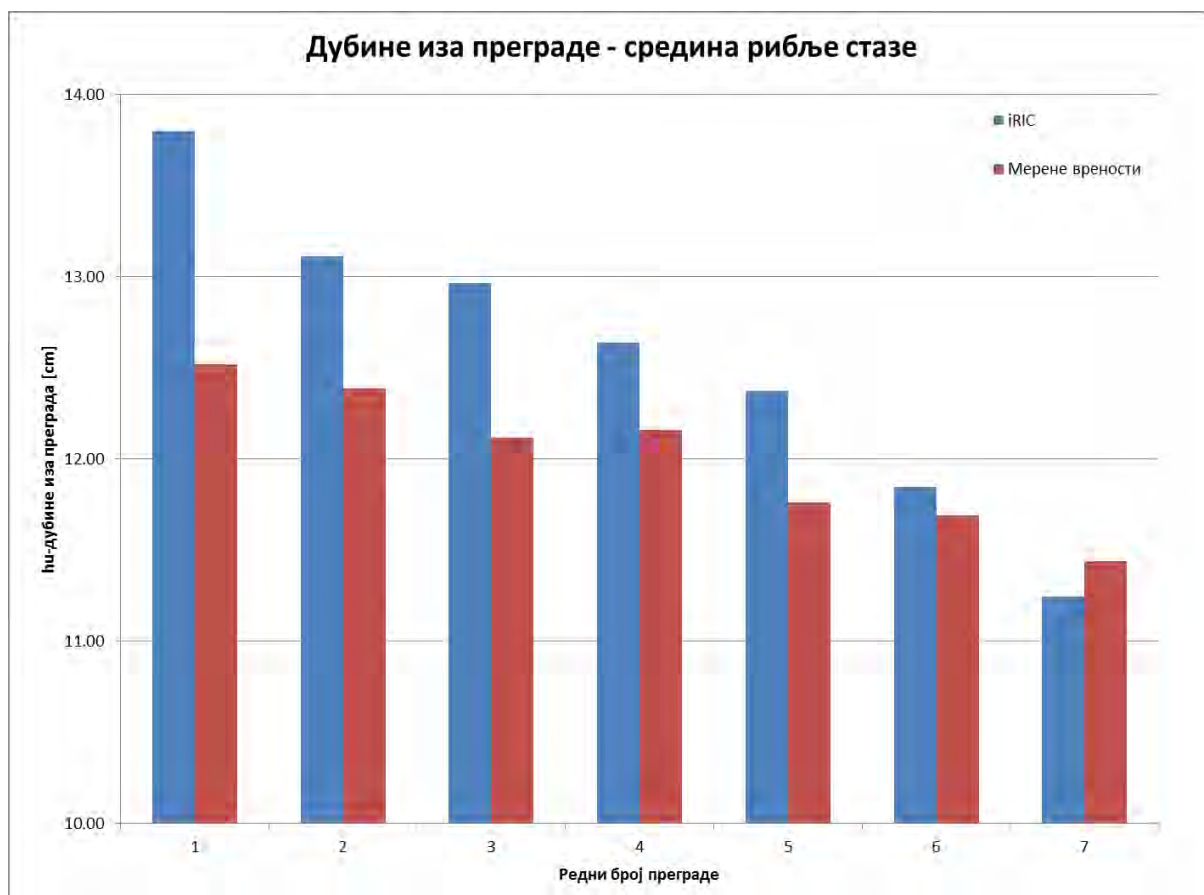
Пресек 2-2



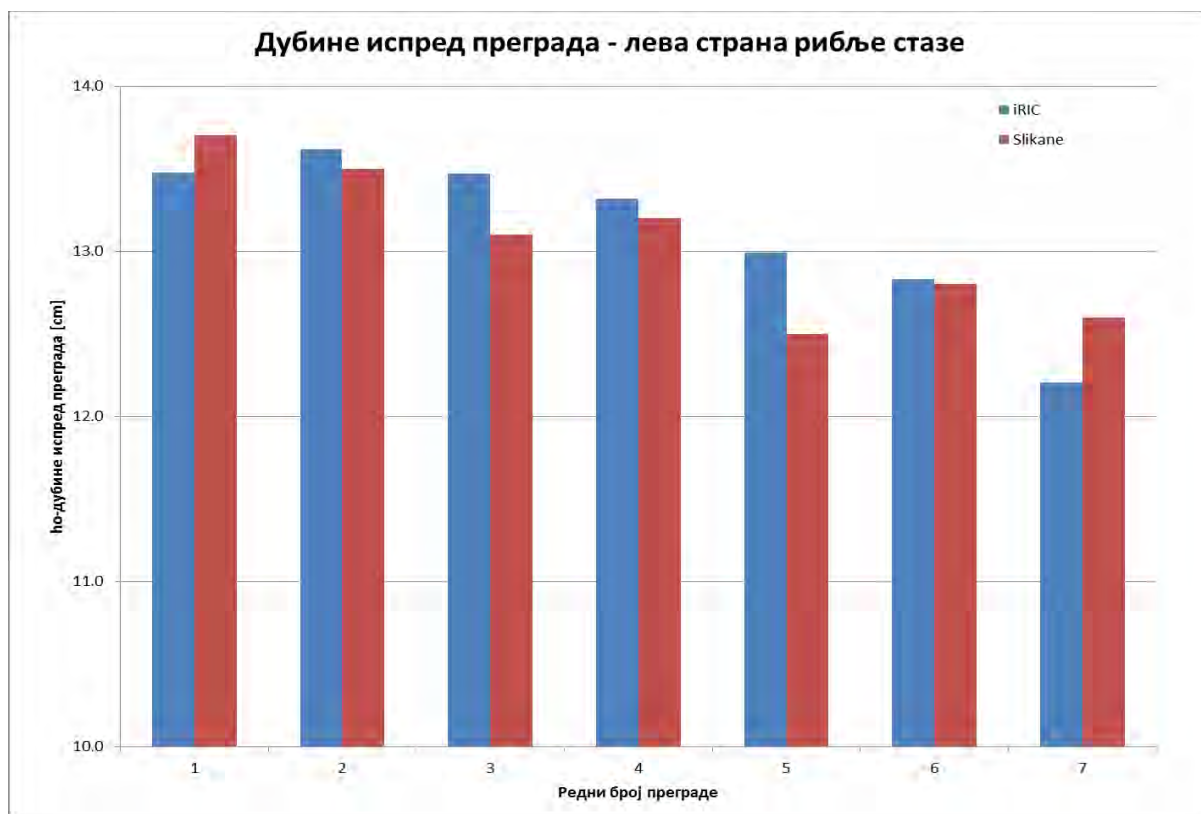
Прилог Б1:



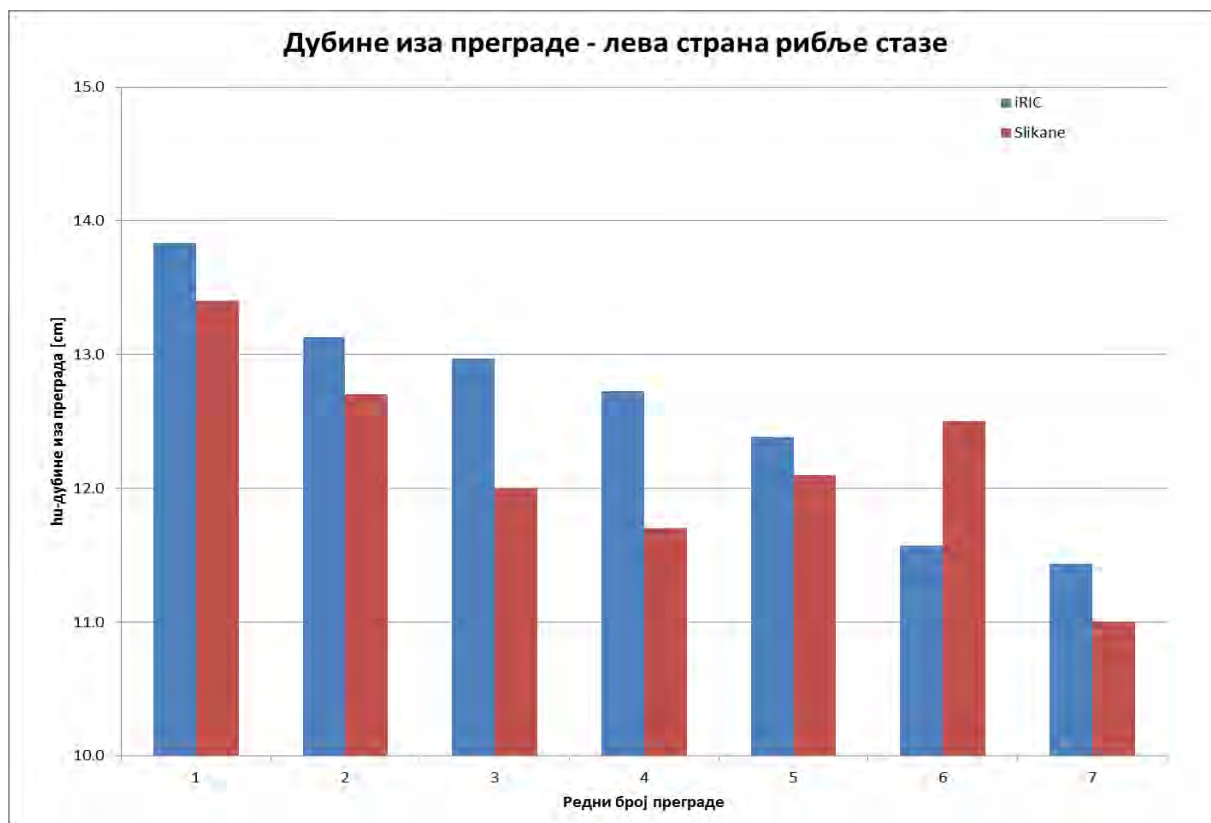
Прилог Б2:



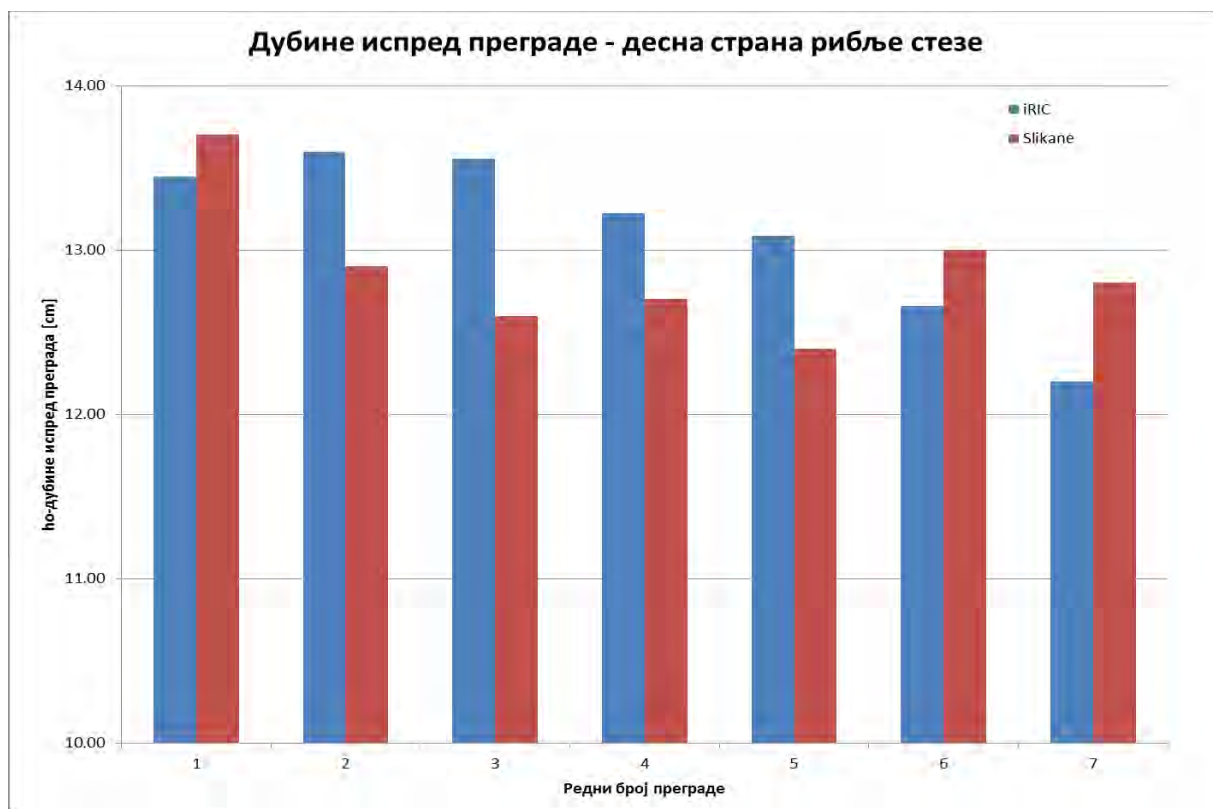
Прилог Б3:



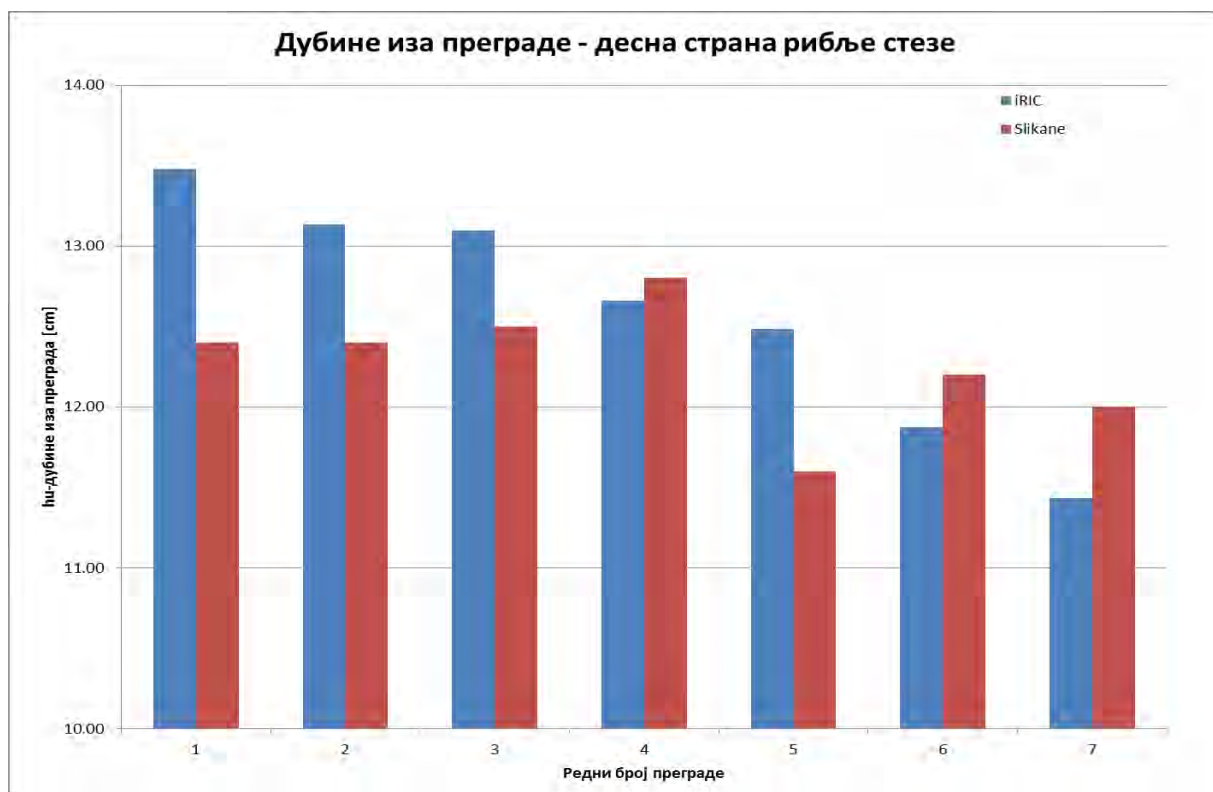
Прилог Б4:



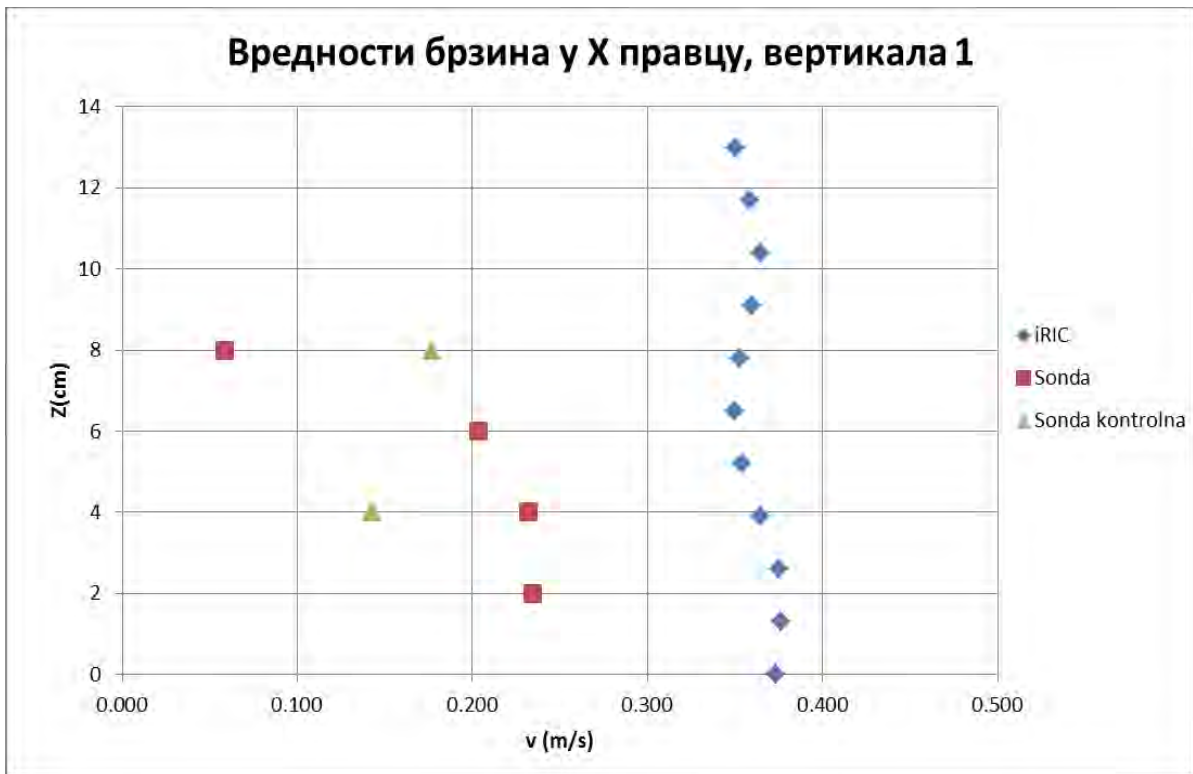
Прилог Б5:



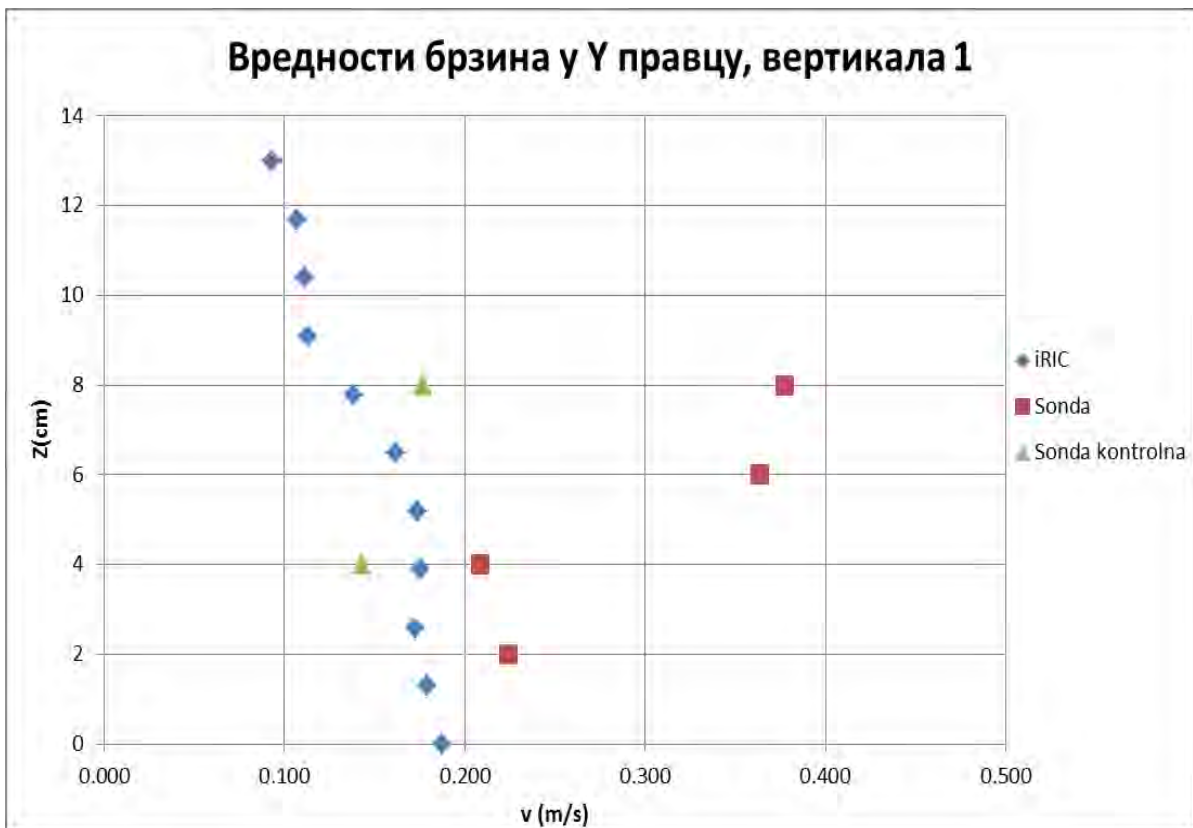
Прилог Б6:



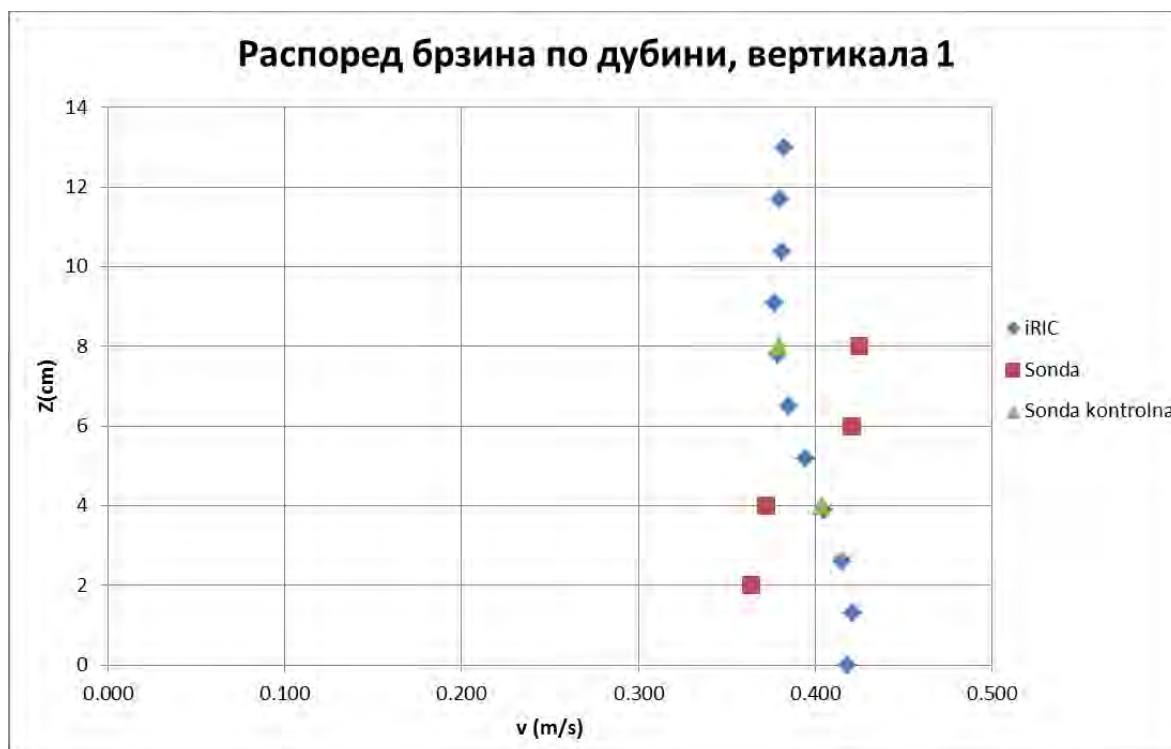
Прилог В1:



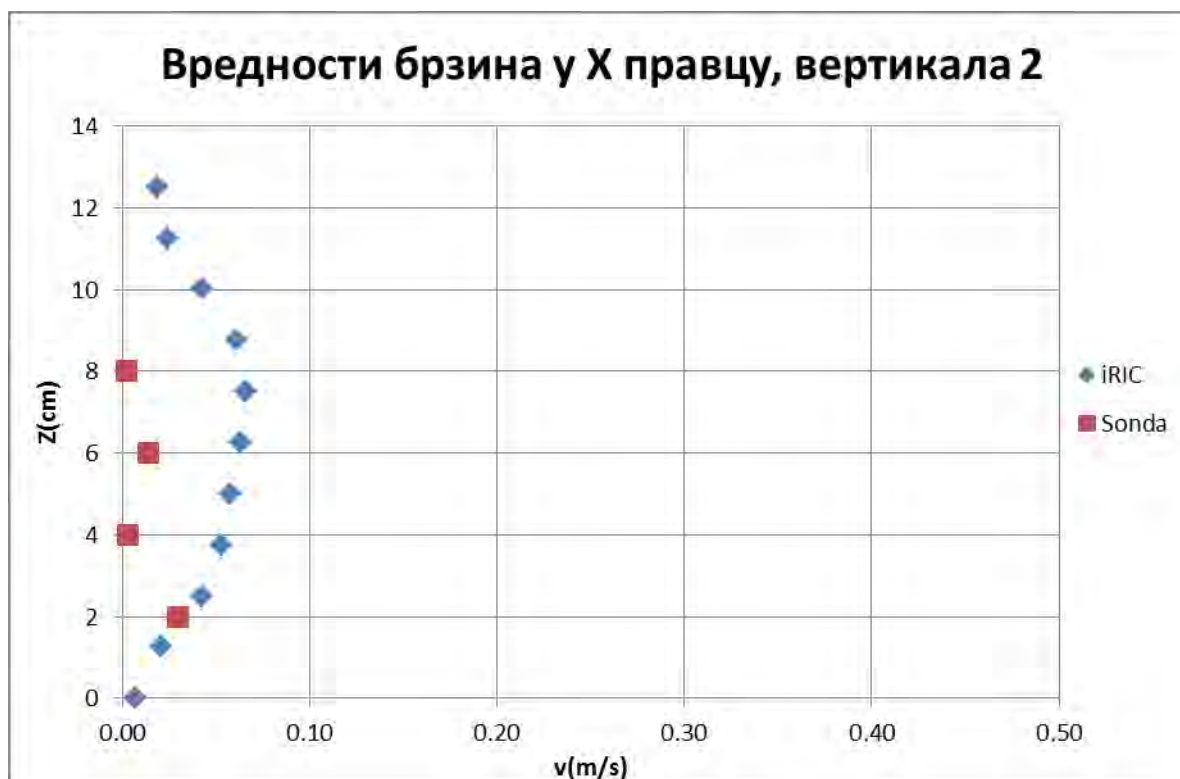
Прилог В2:



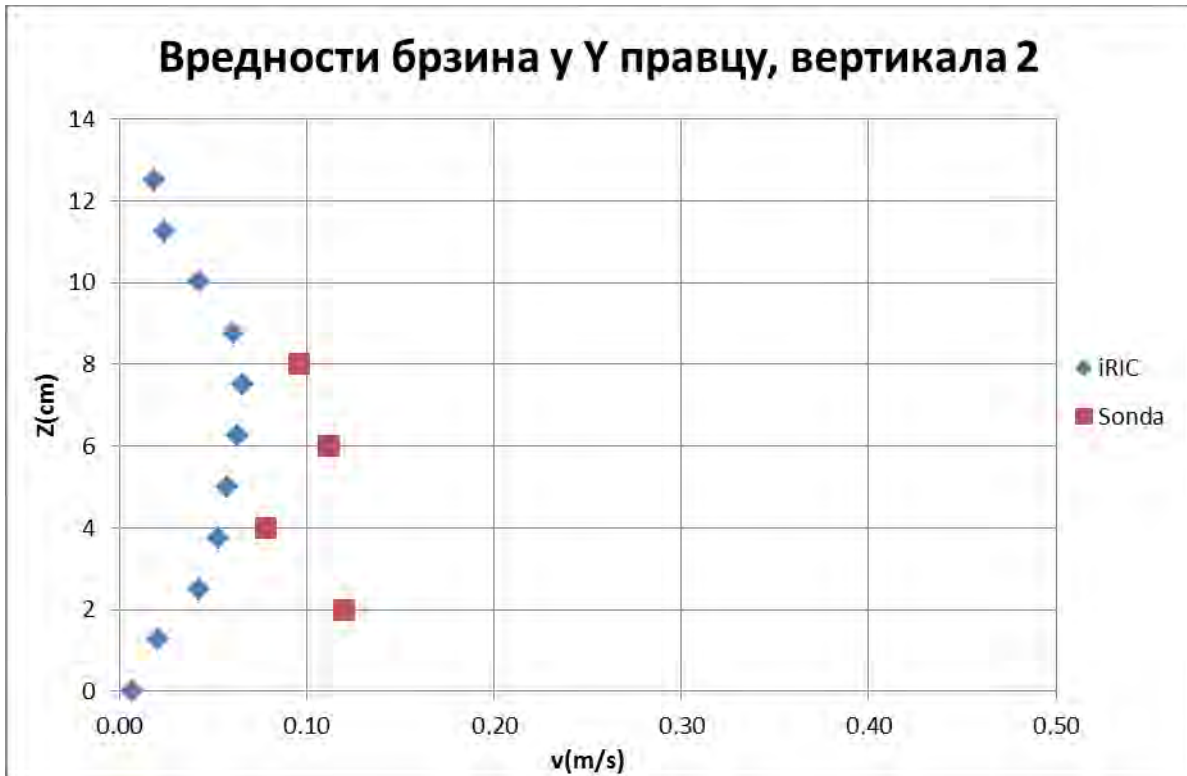
Прилог В3:



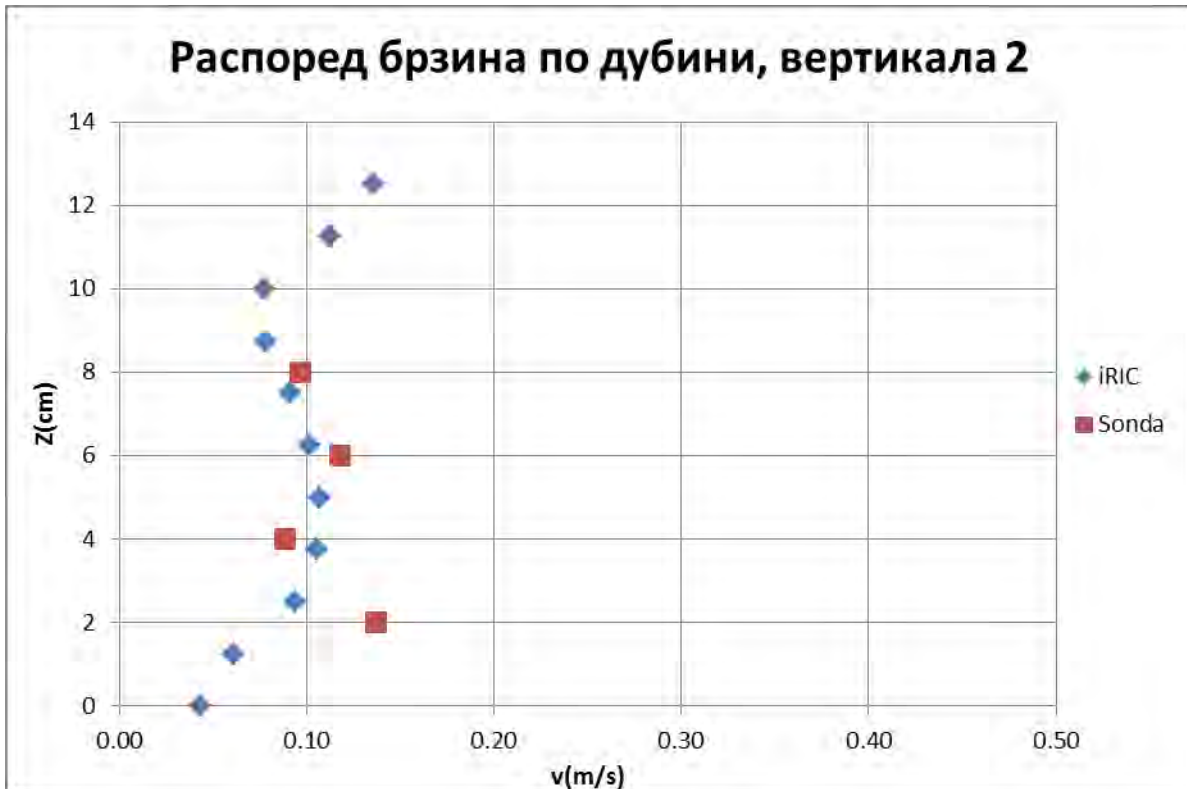
Прилог В4:



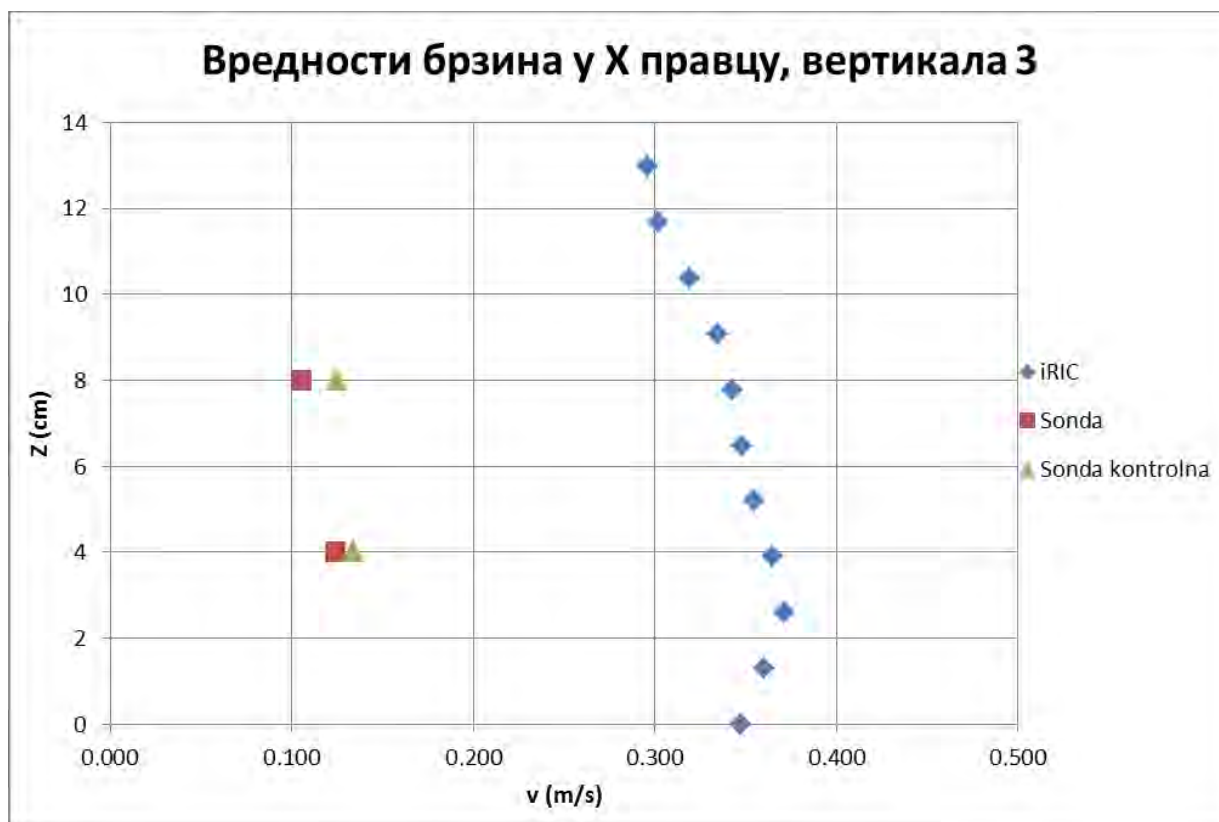
Прилог В5:



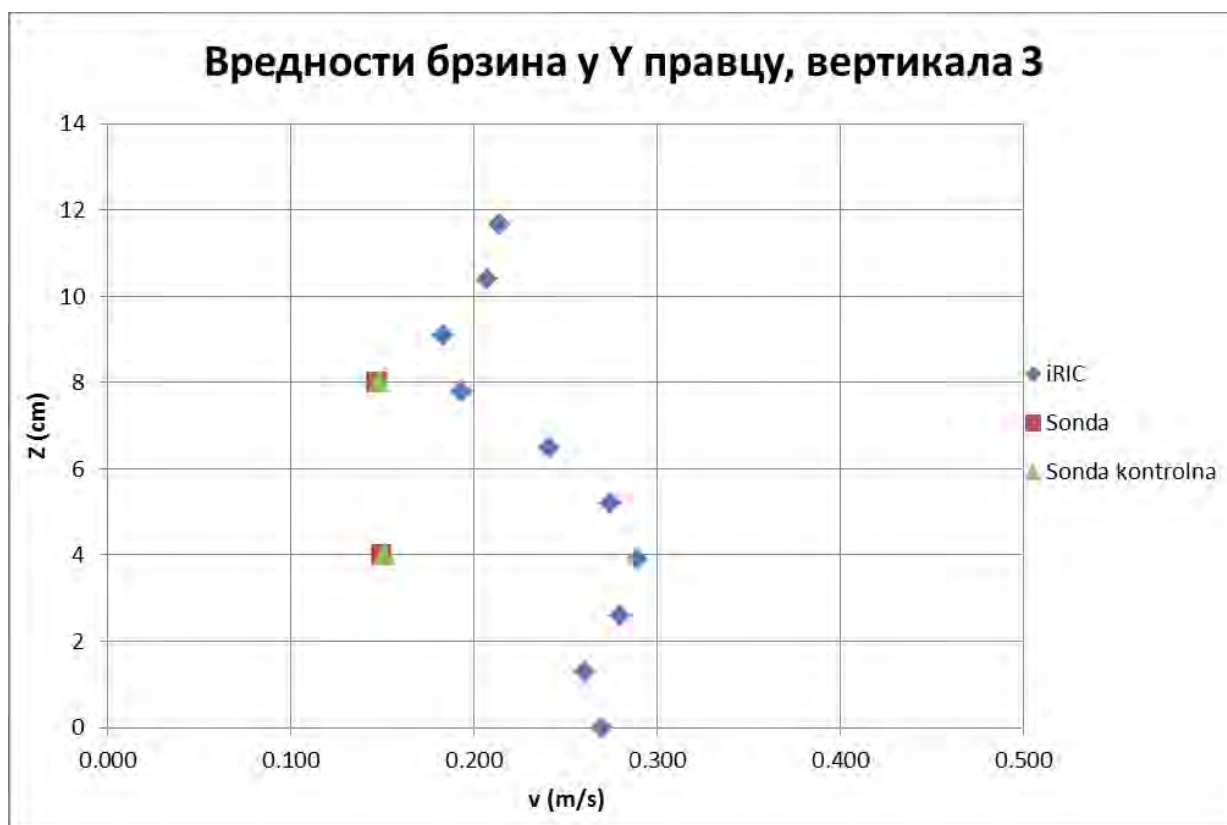
Прилог В6:



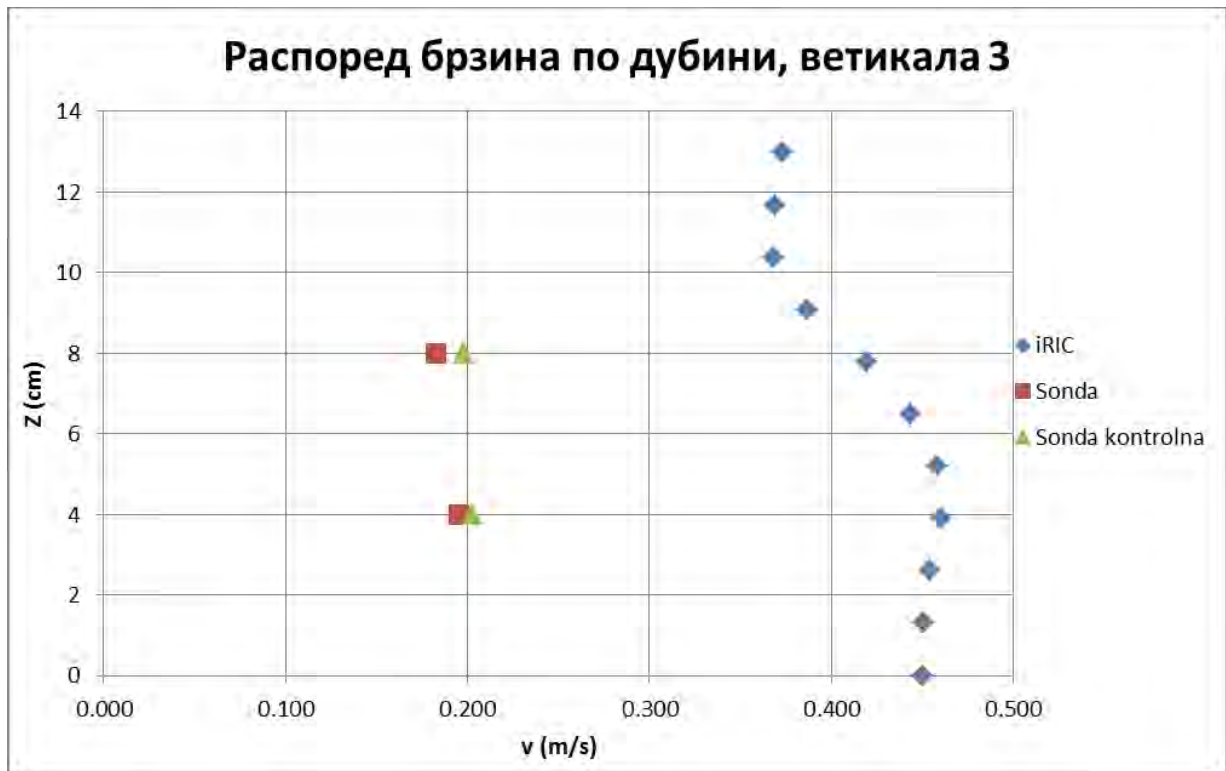
Прилог В7:



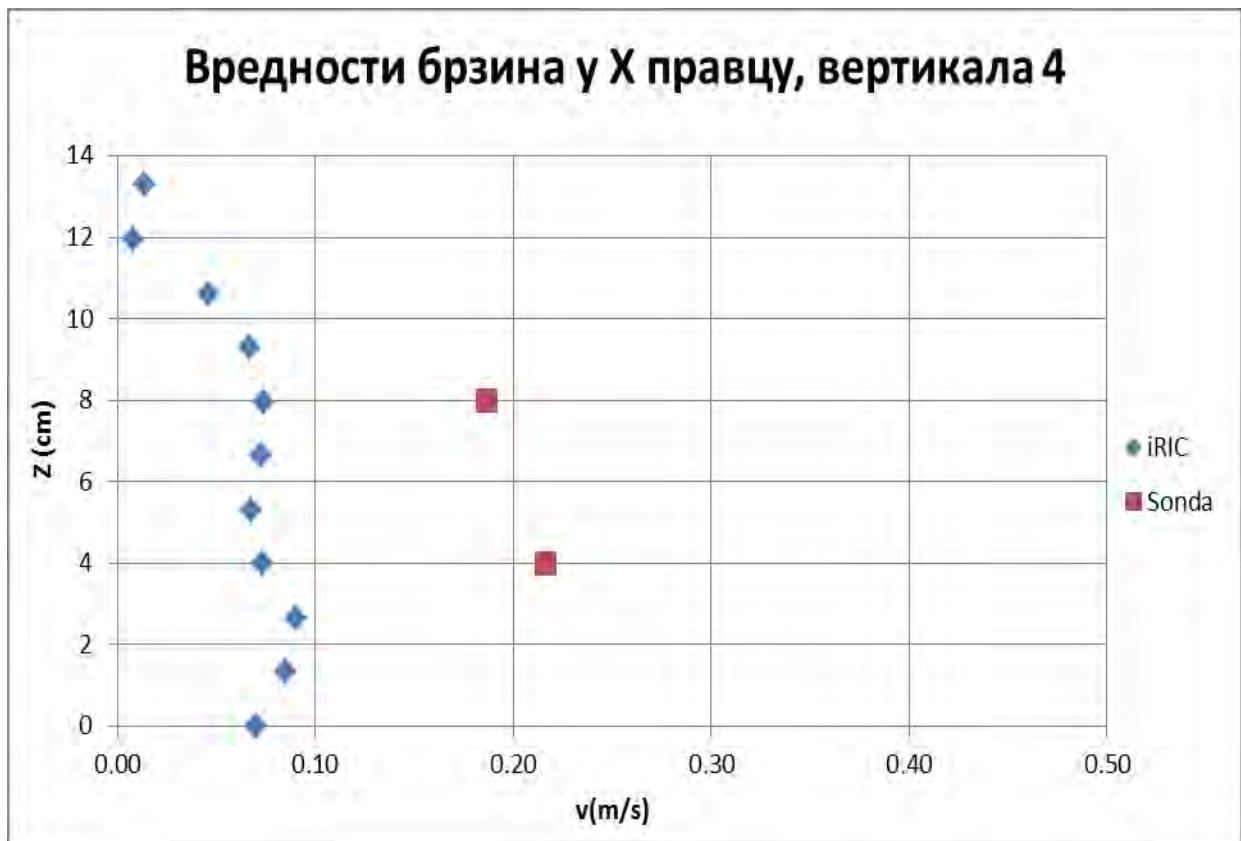
Прилог В8:



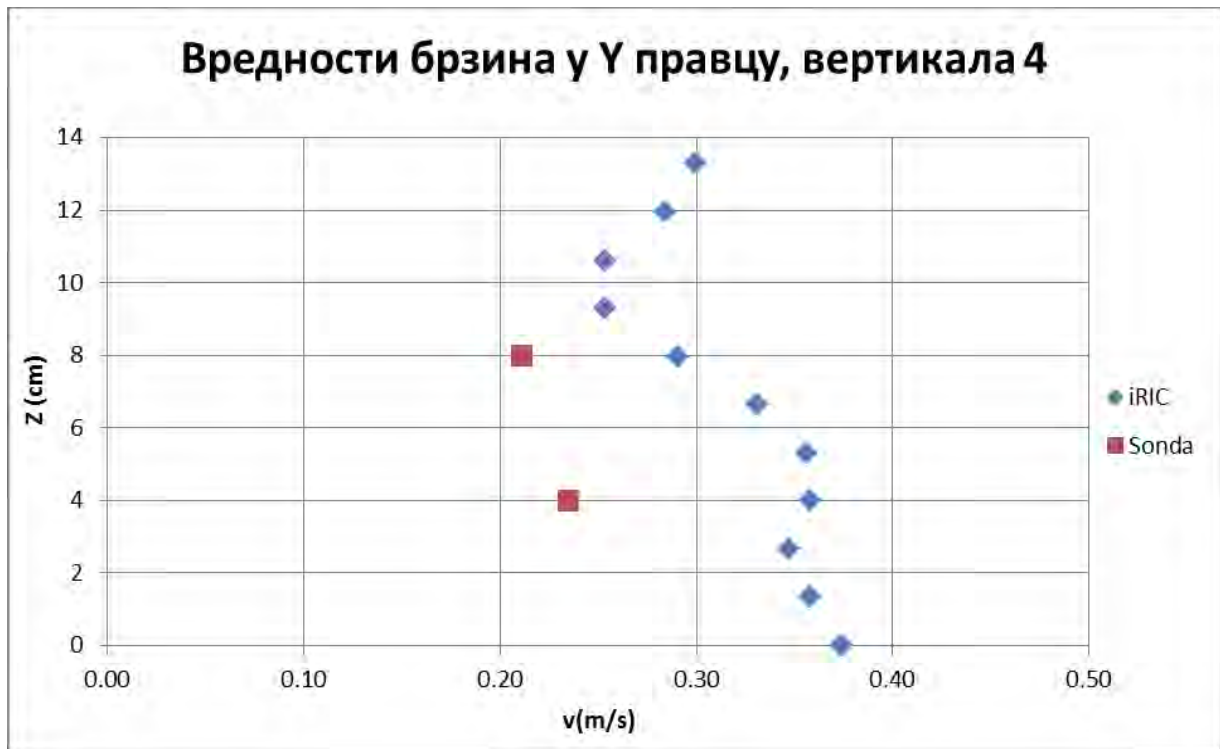
Прилог В9:



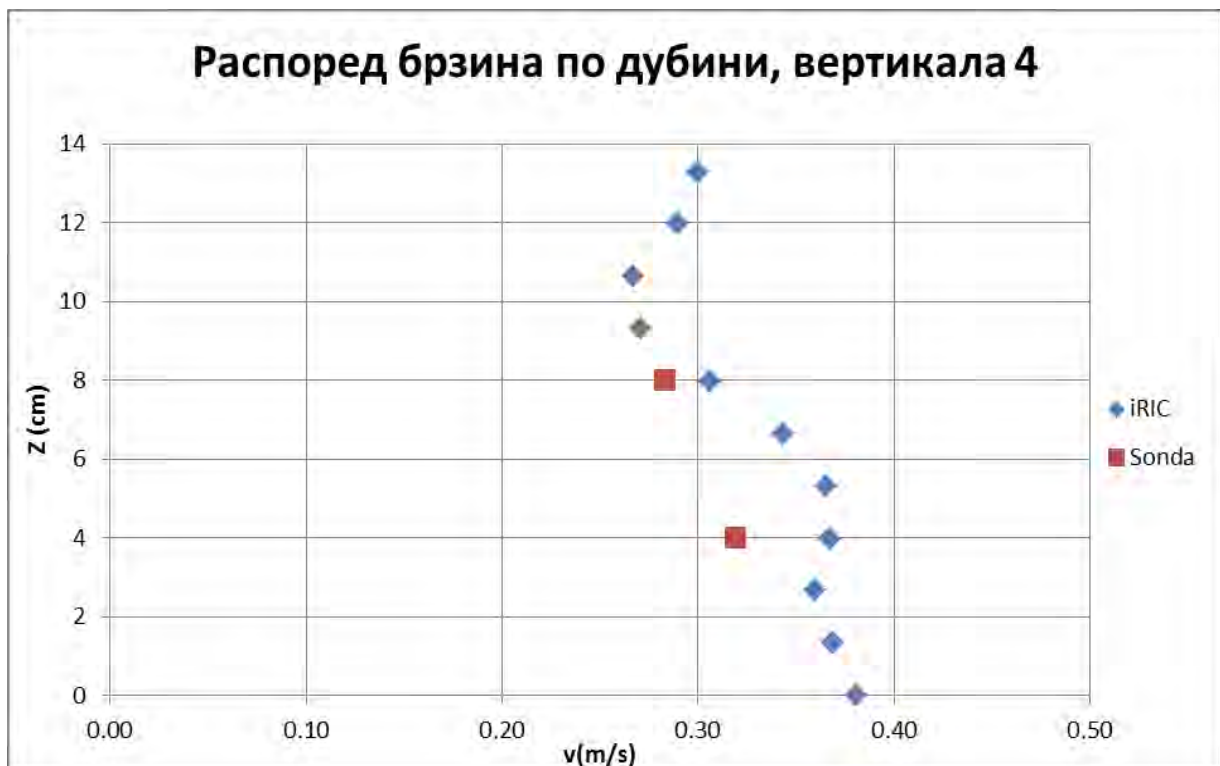
Прилог В10:



Прилог В11:



Прилог В12:



Табела Г1: Вредности дубина испред преграда h_0 и иза преграда h_u
на средини модела рибље стазе

Редни број преграда		iRIC		Мерење
		(m)	(cm)	(cm)
1	h_0	0.13	13.46	13.05
	h_u	0.14	13.80	12.52
	Δh	0.00	-0.34	0.53
2	h_0	0.14	13.58	13.09
	h_u	0.13	13.11	12.39
	Δh	0.00	0.47	0.70
3	h_0	0.13	13.46	12.76
	h_u	0.13	12.97	12.12
	Δh	0.00	0.49	0.64
4	h_0	0.13	13.20	12.48
	h_u	0.13	12.64	12.16
	Δh	0.01	0.56	0.32
5	h_0	0.13	12.94	12.83
	h_u	0.12	12.37	11.76
	Δh	0.01	0.57	1.07
6	h_0	0.13	12.62	12.30
	h_u	0.12	11.85	11.69
	Δh	0.01	0.77	0.61
7	h_0	0.12	12.13	12.08
	h_u	0.11	11.25	11.44
	Δh	0.01	0.89	0.64

Мастер рад

Табела Г2: Вредности дубина испред преграда h_0 и иза преграда h_u на левој и десној страни модела рибље стазе

Редни број преграде		Сликано		iRIC	
		Лева страна	Десна страна	Лева страна	Десна страна
1	h_0	13.7	13.7	13.5	13.4
	h_u	13.4	12.4	13.8	13.5
	Δh	0.3	1.3	-0.4	0.0
2	h_0	13.5	12.9	13.6	13.6
	h_u	12.7	12.4	13.1	13.1
	Δh	0.8	0.5	0.5	0.5
3	h_0	13.1	12.6	13.5	13.6
	h_u	12	12.5	13.0	13.1
	Δh	1.1	0.1	0.5	0.5
4	h_0	13.2	12.7	13.3	13.2
	h_u	11.7	12.8	12.7	12.7
	Δh	1.5	-0.1	0.6	0.6
5	h_0	12.5	12.4	13.0	13.1
	h_u	12.1	11.6	12.4	12.5
	Δh	0.4	0.8	0.6	0.6
6	h_0	12.8	13	12.8	12.7
	h_u	12.5	12.2	11.6	11.9
	Δh	0.3	0.8	1.3	0.8
7	h_0	12.6	12.8	12.2	12.2
	h_u	11	12	11.4	11.4
	Δh	1.6	0.8	0.8	0.8

Мастер рад

Табела Г3: Прорачун брзина у iRIC, вертикала 1

Z1(m)	Z1(cm)	Z(cm)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)	V (m/s)
0.040	3.998	0.000	0.373	0.187	-0.022	0.418
0.053	5.296	1.298	0.376	0.179	-0.059	0.421
0.066	6.594	2.596	0.375	0.173	-0.043	0.415
0.079	7.892	3.895	0.365	0.176	-0.022	0.405
0.092	9.190	5.193	0.354	0.173	-0.005	0.394
0.105	10.489	6.491	0.350	0.162	0.007	0.385
0.118	11.787	7.789	0.352	0.138	0.012	0.379
0.131	13.085	9.088	0.360	0.113	0.010	0.377
0.144	14.383	10.386	0.365	0.111	-0.001	0.381
0.157	15.682	11.684	0.358	0.107	-0.071	0.380
0.170	16.980	12.982	0.351	0.093	-0.121	0.382

Табела Г4: Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 1

Z(cm)	V(m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)
8	0.424737	0.058	0.377	-0.186
6	0.420817	0.204	0.363	0.061
4	0.372548	0.232	0.208	0.204
2	0.363684	0.234	0.224	0.165

Табела Г5: Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, контроно мерење, вертикала 1

Z(cm)	V(m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)
8	0.379692	0.176	0.181	0.000
4	0.403846	0.143	0.194	0.000

Табела Г6: Прорачун брзина у iRIC, вертикала 2

Z1(m)	Z1(cm)	Z(cm)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)	V (m/s)
0.039	3.933	0.000	0.043	0.007	-0.002	0.044
0.052	5.183	1.251	0.044	0.020	-0.037	0.061
0.064	6.434	2.502	0.044	0.042	-0.072	0.094
0.077	7.685	3.753	0.039	0.053	-0.082	0.105
0.089	8.936	5.003	0.033	0.058	-0.083	0.107
0.102	10.187	6.254	0.028	0.063	-0.074	0.101
0.114	11.438	7.505	0.029	0.066	-0.055	0.091
0.127	12.688	8.756	0.038	0.061	-0.030	0.078
0.139	13.939	10.007	0.064	0.043	-0.007	0.078
0.152	15.190	11.258	0.109	0.024	0.007	0.112
0.164	16.441	12.509	0.135	0.018	-0.001	0.136

Табела Г7: Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 2

Z(cm)	V(m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)
8	0.097	0.002	0.096	-0.013
6	0.118	0.014	0.112	-0.036
4	0.088	0.003	0.078	-0.042
2	0.137	0.030	0.120	-0.060

Табела Г8: Прорачун брзина у iRIC, вертикала 3

Z1(m)	Z1(cm)	Z(cm)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)	V (m/s)
0.030	3.023	0.000	0.347	0.286	-0.019	0.450
0.043	4.320	1.298	0.360	0.270	-0.026	0.451
0.056	5.618	2.595	0.372	0.261	-0.005	0.454
0.069	6.915	3.893	0.365	0.280	0.005	0.460
0.082	8.213	5.190	0.355	0.289	0.001	0.458
0.095	9.510	6.488	0.348	0.274	-0.002	0.443
0.108	10.808	7.785	0.343	0.241	-0.006	0.419
0.121	12.105	9.083	0.335	0.193	-0.016	0.387
0.134	13.403	10.380	0.319	0.183	-0.016	0.368
0.147	14.700	11.678	0.302	0.207	-0.045	0.369
0.160	15.998	12.976	0.296	0.214	-0.076	0.373

Табела Г9: Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 3

Z(cm)	V(m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)
8	0.182	0.106	0.147	-0.026
4	0.195	0.124	0.149	-0.020

Табела Г10: Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, контроно мерење, вертикала 3

Z(cm)	V(m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)
8	0.198	0.125	0.148	-0.041
4	0.203	0.134	0.151	-0.023

Табела Г11: Прорачун брзина у iRIC, вертикала 4

Z1(m)	Z1(cm)	Z(cm)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)	V (m/s)
0.031	3.088	0.000	0.070	0.374	-0.004	0.381
0.044	4.416	1.328	0.085	0.358	0.019	0.369
0.057	5.744	2.656	0.091	0.347	0.027	0.360
0.071	7.072	3.984	0.073	0.358	0.036	0.367
0.084	8.400	5.313	0.067	0.356	0.046	0.365
0.097	9.728	6.641	0.073	0.331	0.056	0.343
0.111	11.056	7.969	0.074	0.290	0.063	0.306
0.124	12.384	9.297	0.067	0.253	0.068	0.270
0.137	13.713	10.625	0.046	0.253	0.072	0.267
0.150	15.041	11.953	0.008	0.284	0.054	0.289
0.164	16.369	13.281	0.014	0.300	-0.006	0.300

Табела Г12: Вредности измерених брзина са бочном вектрино сондом, вертикала 4

Z(cm)	V(m/s)	V _x (m/s)	V _y (m/s)	V _z (m/s)
8	0.283	0.187	0.211	-0.023
4	0.319	0.216	0.235	-0.013

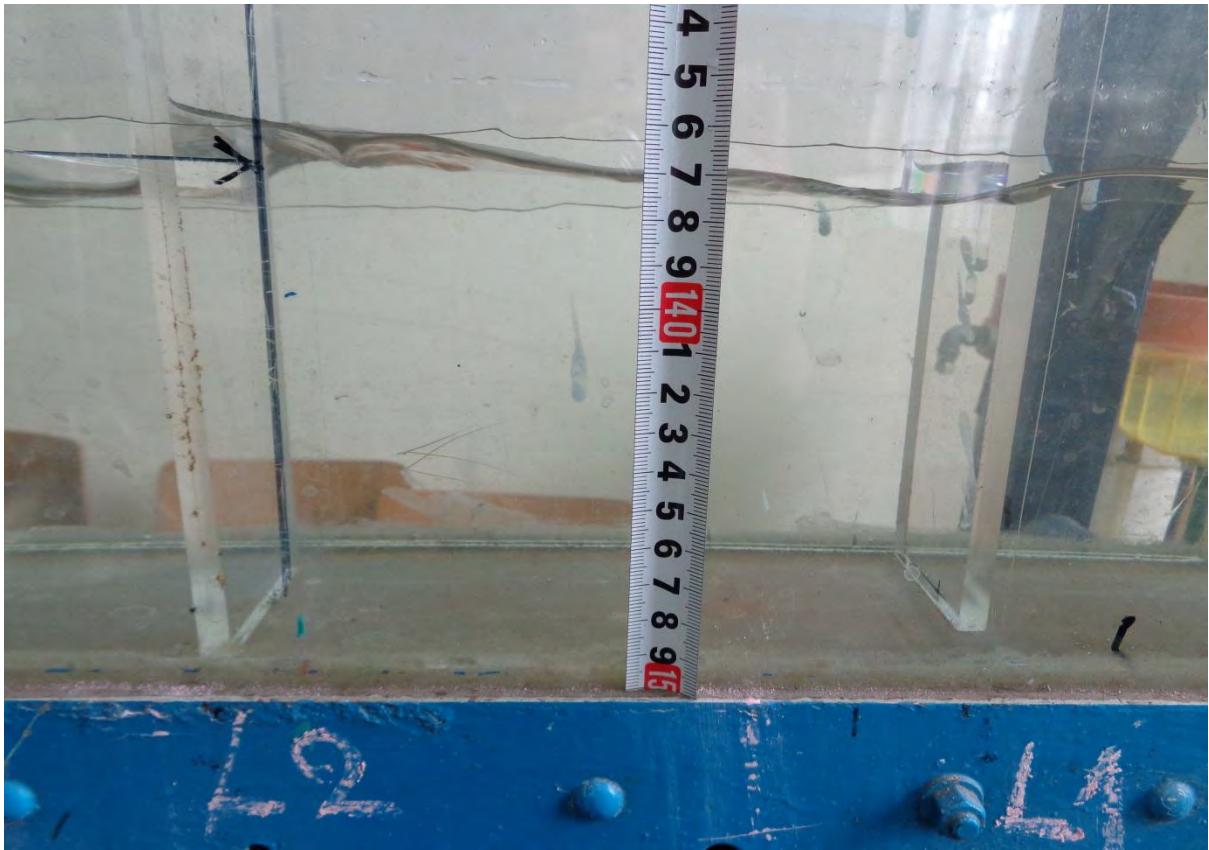
Прилози Д (фотографије):



Слика Д1: Поглед са леве стране модела рибље стазе, при протоку $Q = 1 \text{ l/s}$.



Слика Д2: Дубина воде испред прве преграде на моделу, лева страна.



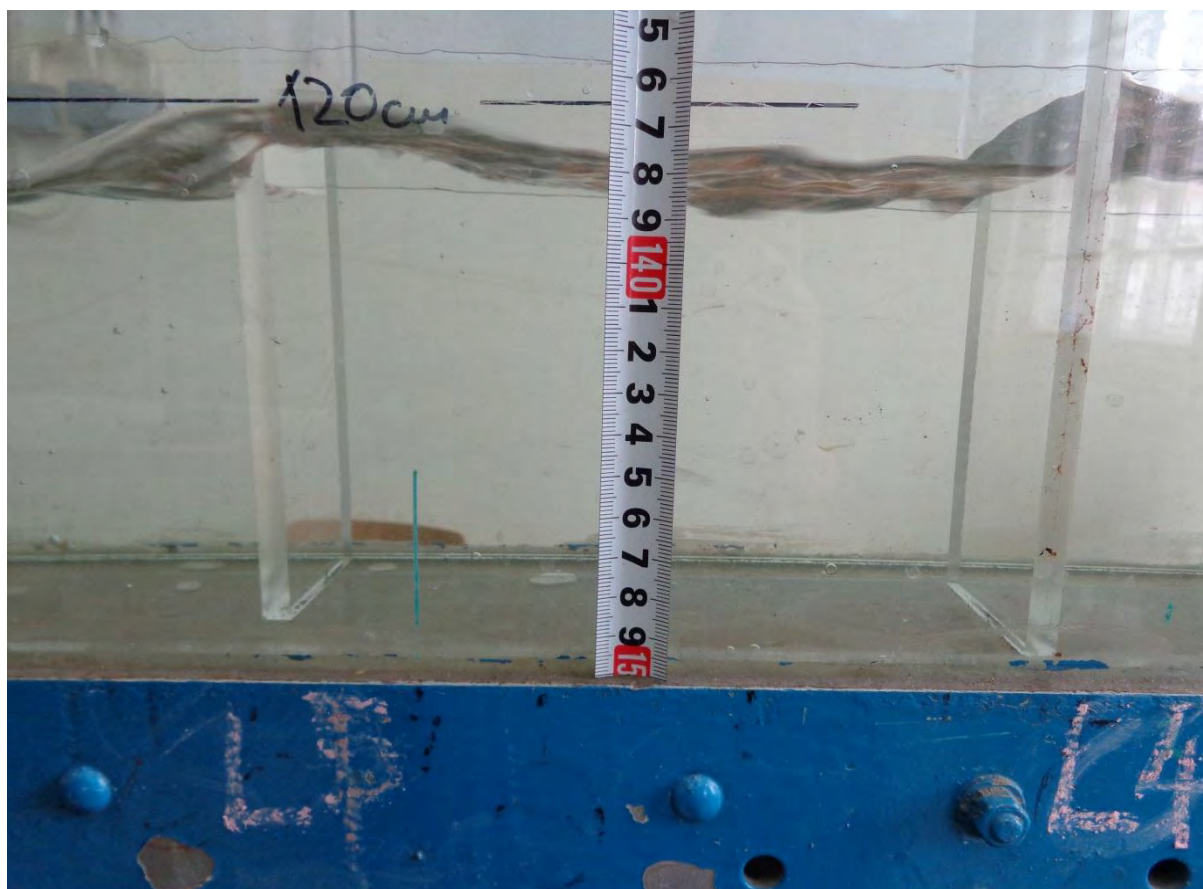
Слика Д3: Дубина воде између прве и друге преграде на левој страни модела.



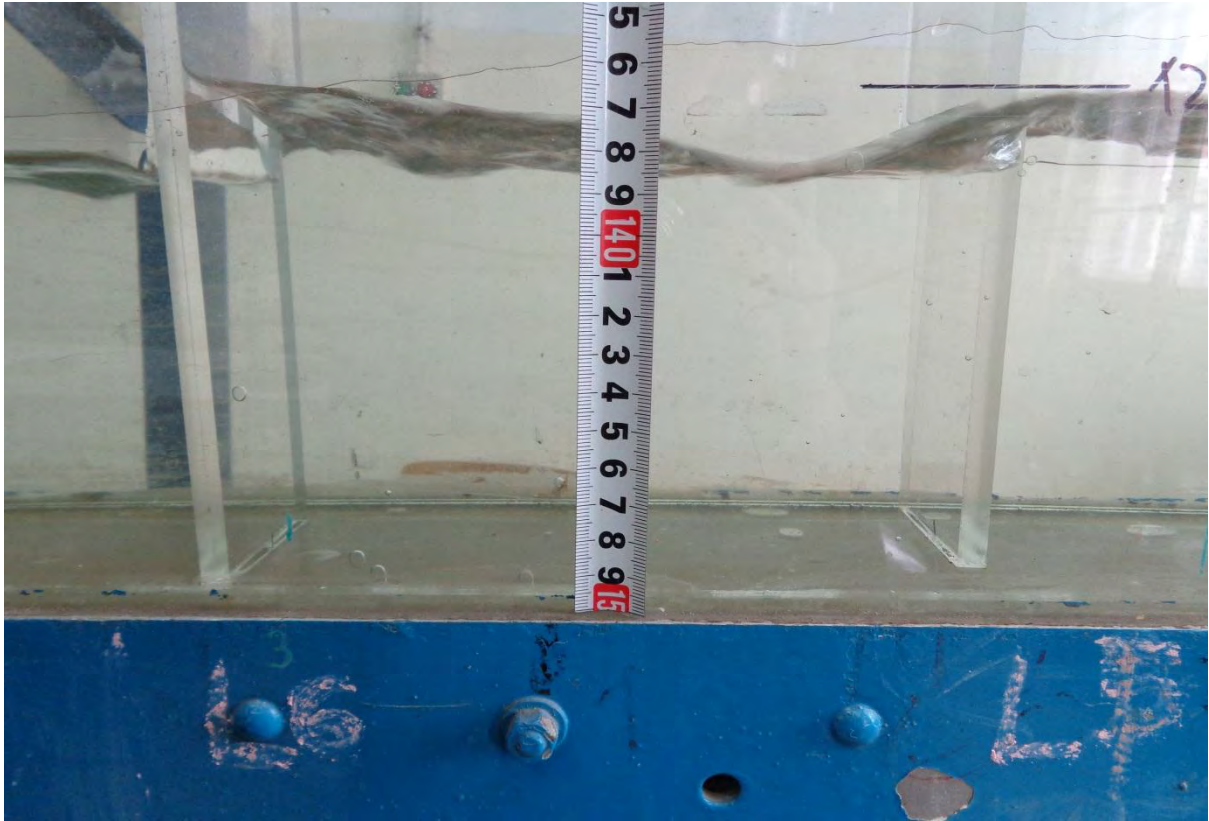
Слика Д4: Дубина воде између друге и треће преграде на левој страни модела.



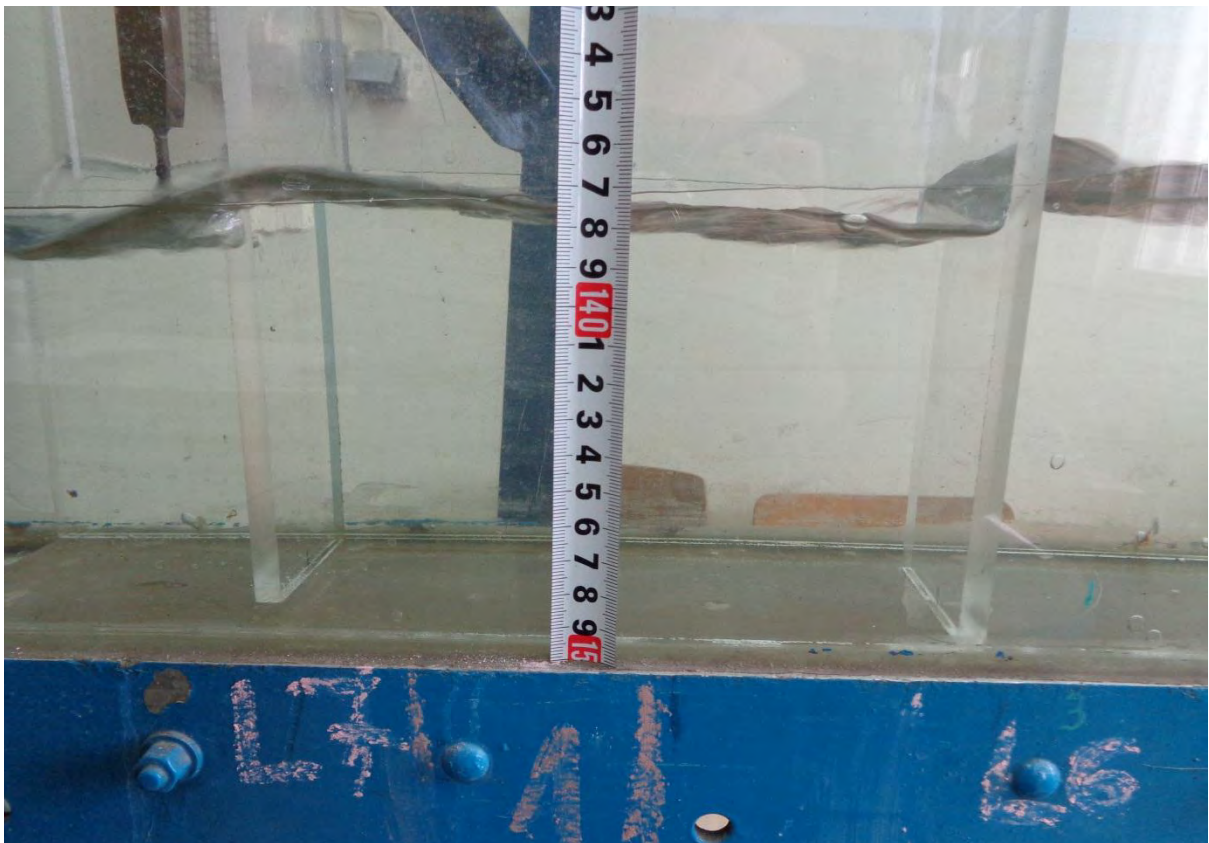
Слика Д5: Дубина воде између треће и четврте преграде на левој страни модела.



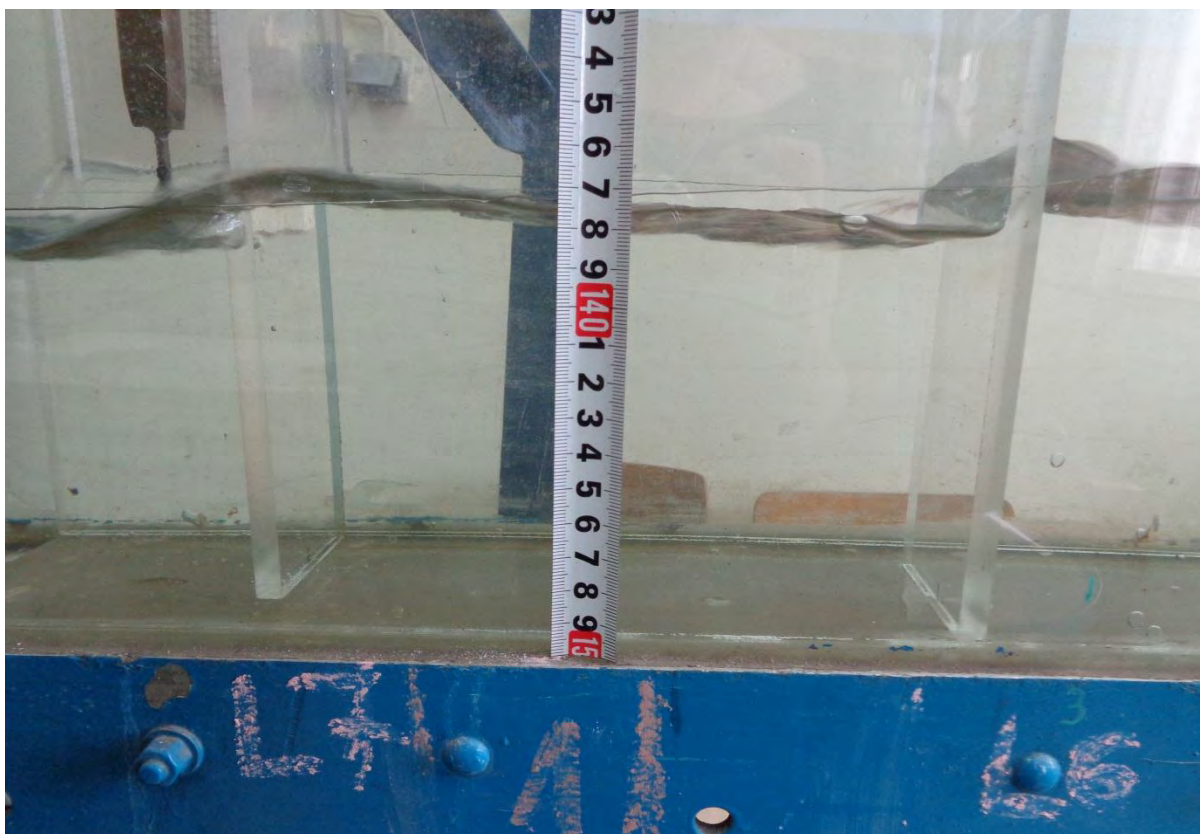
Слика Д6: Дубина воде између четврте и пете преграде на левој страни модела.



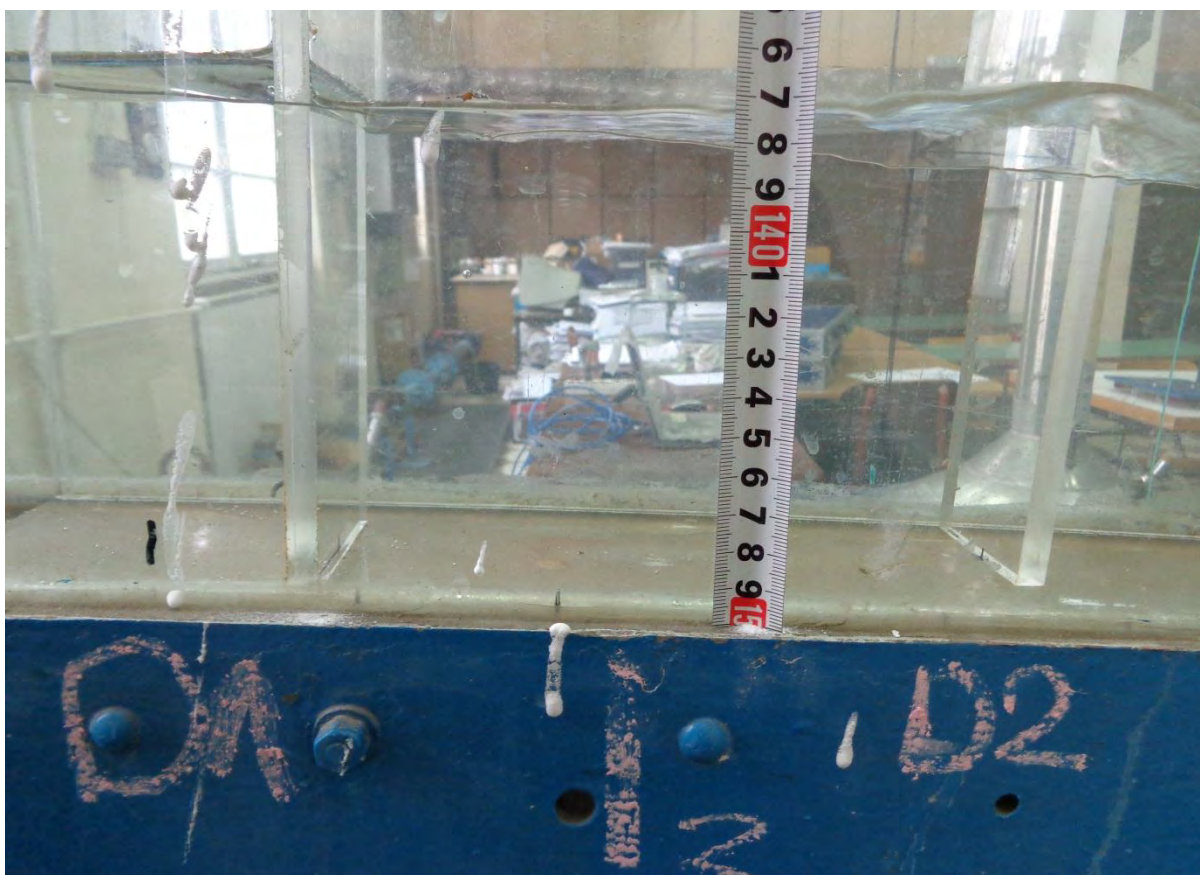
Слика Д7: Дубина воде између пете и шесте преграде на левој страни модела.



Слика Д8: Дубина воде између шесте и седме преграде на левој страни модела.



Слика Д9: Дубина воде иза седме преграде на левој страни модела.



Слика Д10: Дубина воде између прве и друге преграде на десној страни модела.



Слика Д11: Дубина воде између друге и треће преграде на десној страни модела.



Слика Д12: Дубина воде између треће и четврте преграде на десној страни модела.



Слика Д13: Дубина воде између четврте и пете преграде на десној страни модела.



Слика Д14: Дубина воде између пете и шесте преграде на десној страни модела.



Слика Д15: Дубина воде између шесте и седме преграде на десној страни модела.

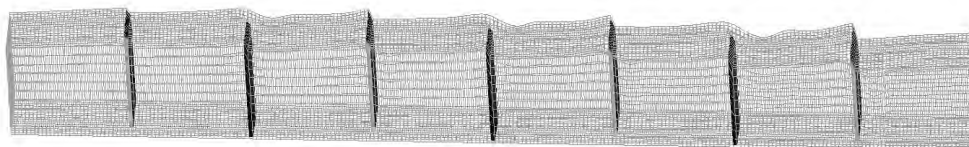


Слика Д16: Дубина воде иза седме преграде на десној страни модела.

Мастер рад

Прилог Ђ1: Нумеричка шема деформисана по дубини.

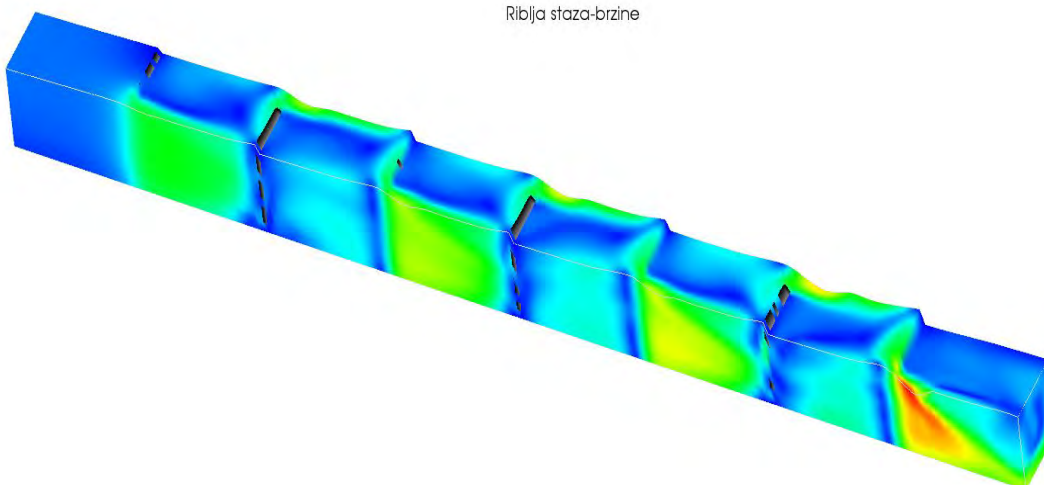
Numericka shema deformisana po dubini



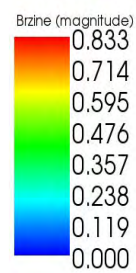
Time: 10 sec

Прилог Ђ2: Брзине воде дуж модела рибље стазе.

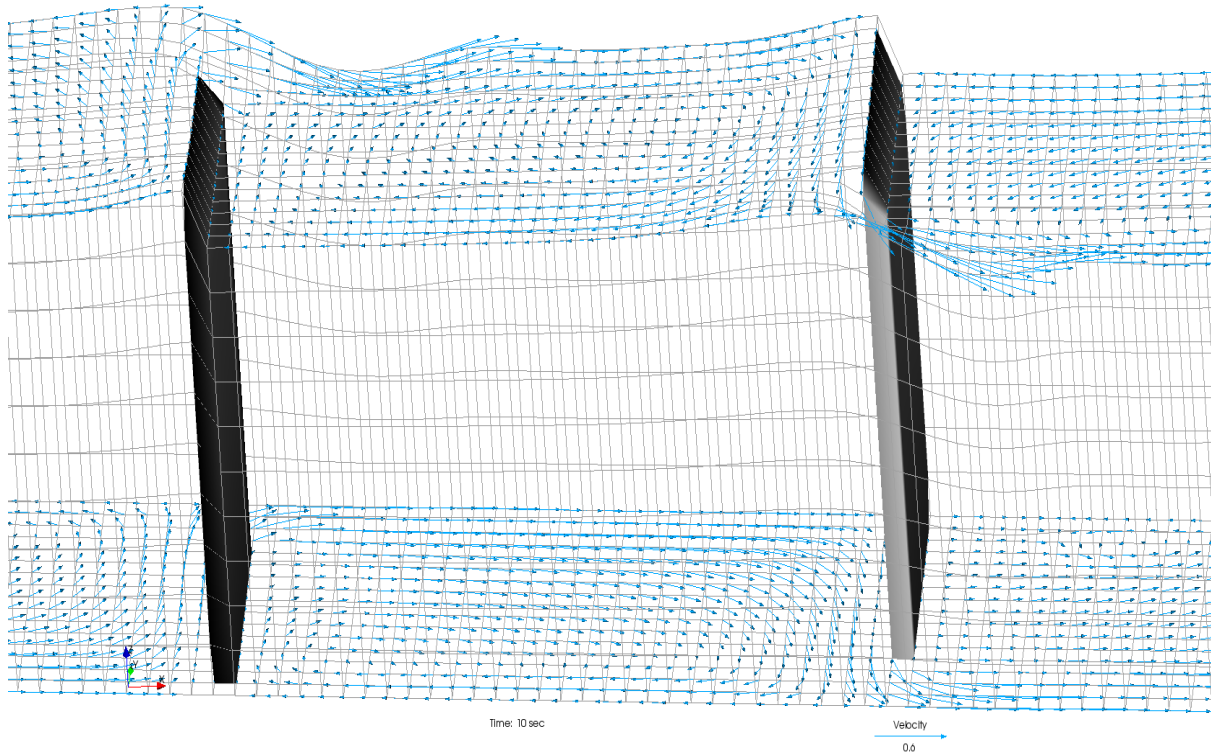
Riblja staza-brzine



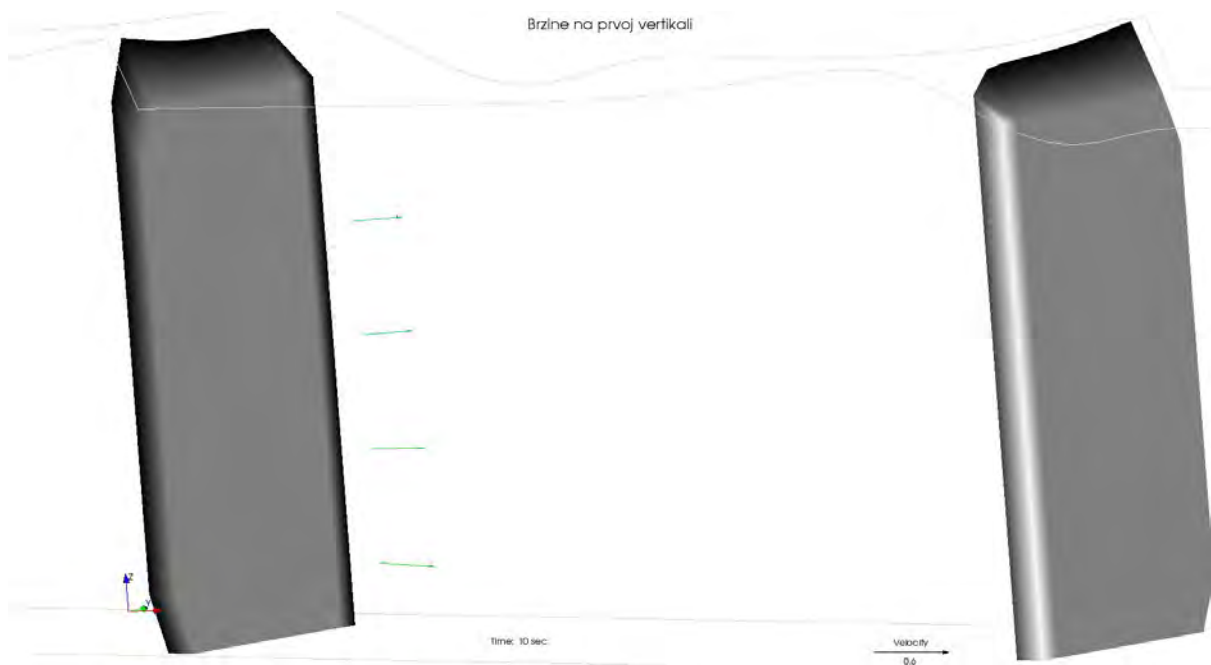
Time: 10 sec



Прилог Ђ3: Вектори брзина у четвртој прегради, на дну и на површини.



Прилог Ђ4: Вектори брзина на првој вертикали.



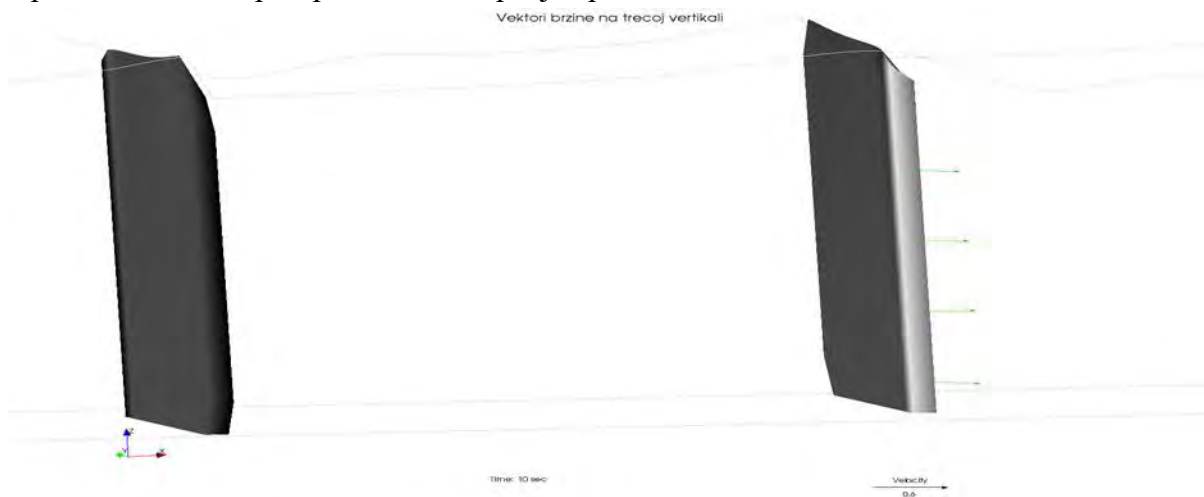
Прилог Ђ5: Вектори брзина на другој вертикали.



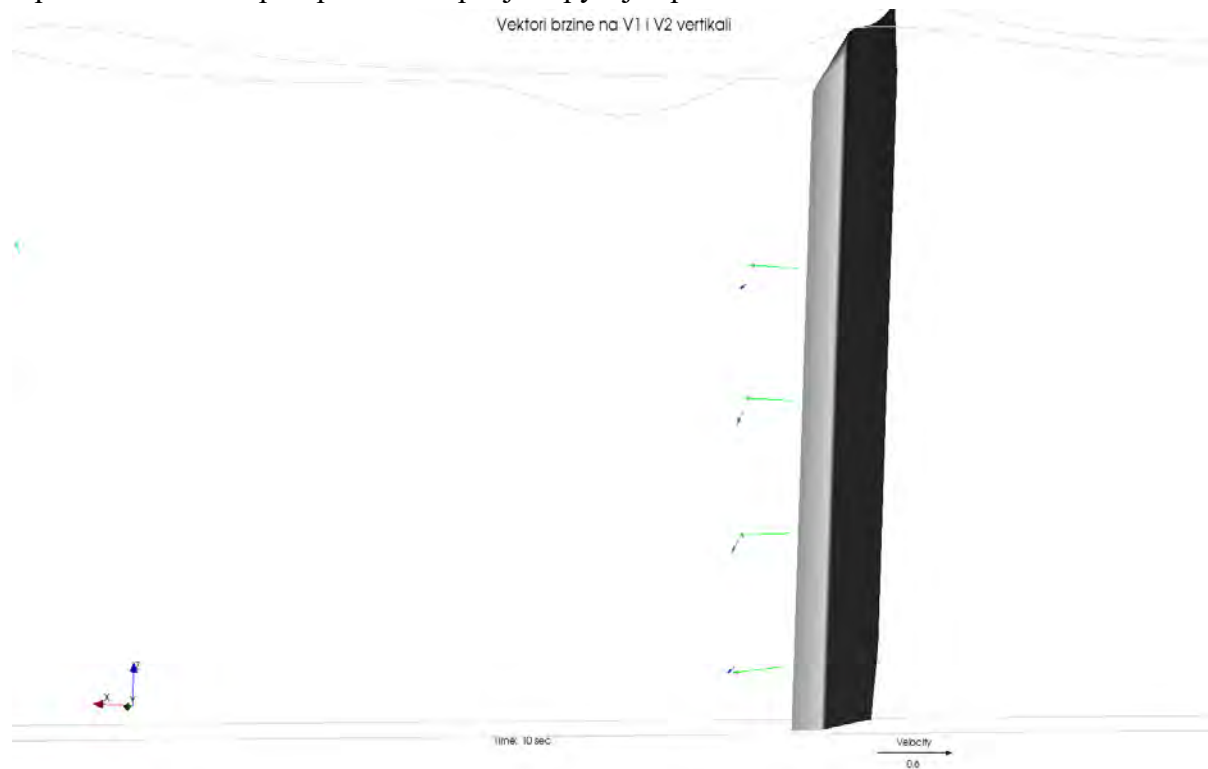
Прилог Ђ6: Вектори брзина на трећој вертикали.



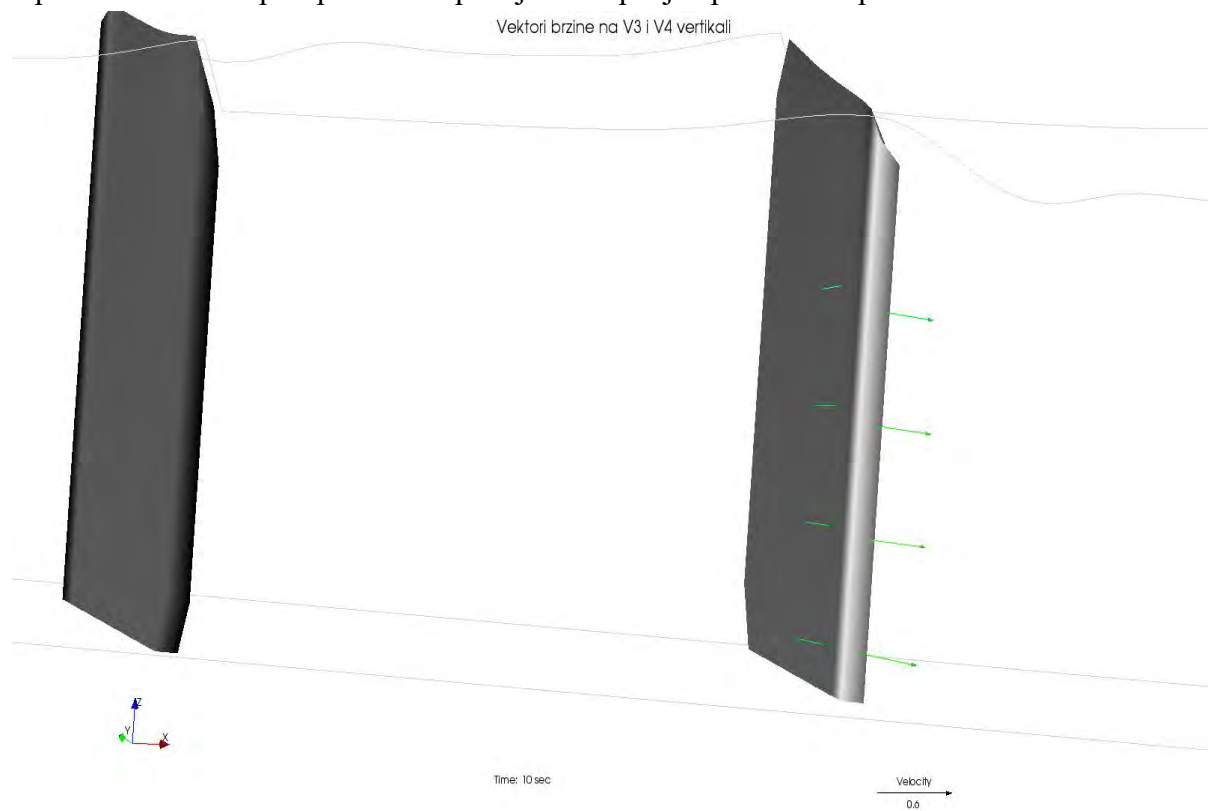
Прилог Ђ7: Вектори брзина на четвртој вертикали.



Прилог Ђ8: Вектори брзина на првој и другој вертикали.



Прилог Ђ9: Вектори брзина на трећој и четвртој вертикали вертикали.



Прилог Ђ10: Вектори брзина, све вертикале.

Vektori brzine sve vertikale

