

Грађевински факултет Универзитета у Београду
Одсек за хидротехнику и водно-еколошко инжењерство

Мастер рад

Експериментално изучавање могућности умирења струјног поља у
наставној инсталацији за предмет Мерења у хидротехници



Ментор:

Проф. др Душан Продановић

Кандидат:

Никола Перић

Београд, 2015.

Садржај:

1. Увод	2
2. Методологија	3
2.1 Ултразвучни мерачи протока.....	3
2.1.1 Принцип рада Vectrino Acoustic Doppler Velocimeter сонде.....	4
2.1.2 Геометрија.....	7
2.1.3 Технички опис.....	8
2.1.4 Предности.....	11
2.2.5 Недостаци.....	12
2.2 Електромагнетна сонда.....	13
3. Опис диспозиције система.....	15
4. Резултати мерења.....	22
4.1 Избор брзине мерења (sample rate) помоћу ултразвучне сонде.....	22
4.2 Обрада и приказ резултата.....	25
4.3 Поређење ЕМ сонде са УЗ сондом.....	29
5. Дискусија о добијеним резултатима.....	30
6. Закључци и даље смернице за рад.....	32
7. Прилози	36
8. Литература	48

1. Увод

На Грађевинском факултету у Београду, у оквиру предмета „Мерења у хидротехници“ се већ неко време изводи вежба мерења просторног распореда брзина на инсталацији са рецикулацијом. Постојећа инсталација се показала као неадекватна, због релативно малог распона брзина као и велике неустаљености тока.

Мерења ће се обавити прво на оригиналној инсталацији, а затим ће кандидат приступити поправљању услова у инсталацији (додавање умиривача, продужетак раздеоног зида, додавање прага, постављање низводне решетке...). Мерећи стално поља брзина у истим условима (у истим тачкама као пре сваке од модификација, и при истом погону мотора за рецикулацију) кандидат ће проверавати ефекте надоградње (промена струјања, величине вртлога, неустаљености). На основу добијених резултата потребно је дати закључке и смернице за даља истраживања.

Инсталација се састоји од каде у којој је монтиран преградни зид и на једном крају подешен електрични мотор, марке Panther Martin 12V. Димензије каде су 1,5м x 0,5м. Дубина воде на почетку мерења била је 35 cm. Мотор је радио у другој брзини при напону од 12 Волти, при свим мерењима.

Да би се успешно измериле брзине, било је потребно урадити више пробних мерења да би се што боље упознало са радом сонде. За што тачније прикупљање података, потребно је да се у воду дода одређена количина сидинга, да се запрља вода да би УЗ имао од чега да се одбије. У овом случају у каду је додато 16 грама мрвљеног стакла, које се у ранијим случајевима показало као добро решење. За мерење је коришћена ADV Vestrino 3D сонда која ради на принципу Доплеровог ефекта, и електромагнетна сонда. Сврха овог мастер рада је да се што боље разради вежба за студенте мастер студија.



Слика 1. Почетно стање мерне инсталације

2.Методологија

2.1 Ултразвучни мерачи протока

Сви ултразвучни мерачи протока се заснивају на мерењу кашњења примљених ултразвучних таласа које се мења при промени протока течности. Зависно од чистоће течности чији се проток мери, користе се две основне технике мерења:

1. Код прве технике, у цевовод се постављају два супротна пријемника, тако да је један узводно, а други низводно од места емитовања таласа. Помоћу ових пријемника се мери разлика брзине звука у правцу и насупротив правца струјања флуида. За мерење овог типа, потребно је да је течност чији се проток мери релативно чиста. Ово се користи код течења под притиском.

2. Друга техника се примењује на мерења протока течности које садрже нечистоће (честице или мехуриће) од којих могу да се одбију звучни таласи. Ове нечистоће би требало да се крећу истом брзином као основни ток течности. Користи се Доплеров ефекат тако што се мери промена фреквенције таласа који се одбијају од нечистоћа у течности. Ова промена фреквенције таласа је пропорционална брзини течности.

Обе технике мерења протока које користе ултразвук одговарају средњој брзини течности дуж путање звучног таласа. Пошто се профил брзина мења са променом Рејнолдсовог броја, ово утиче и на коефицијент који повезује излазни сигнал из инструмента са протоком. Ово је нарочито изражено при промени брзина флуида између ламинарног и турбулентног режима струјања и у тој области су грешке мерења највеће.

Поред наведених, у новијој литератури се помињу и методе одређивања протока флуида засноване на мерењу кроскорелације стохастичких шума, коришћењу обележених супстанци, формирању аксијалног вртлога, флуидичким елементима, мерењу одведене топлоте итд.

2.1.1 Принцип рада Vectrino Acoustic Doppler Velocimeter сонде

Сонда која се користила у раду је Vectrino Acoustic Doppler Velocimeter.

Сонда из породице сензора нове генерације за мерење брзина воде у 3 димензије (3D)



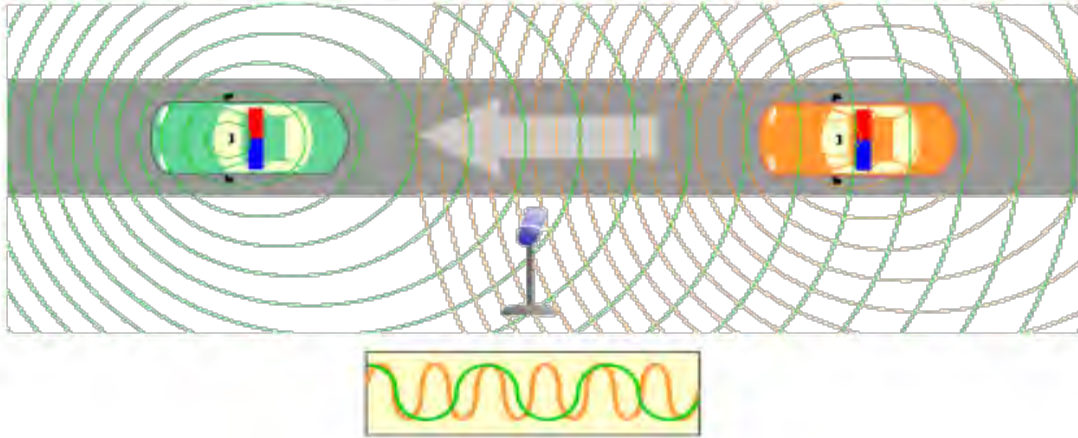
Слика 2: Ултразвучна сонда повезана на софтвер

Вектрино сонда је ултразвучни мерач брзине високе резолуције. Користи се за мерење 3D брзине воде, од мерења у лабораторији, преко канала, река, језера, до океана.

Vectrino Acoustic Doppler Velocimeter –брзину мери на принципу Доплеровог ефекта.

Доплеров ефекат је појава да услед кретања пријемника или предајника долази до мењања **фреквенције таласа**, на страни пријемника. Ако се пријемник и предајник крећу један ка другом, фреквенција се помера навише (расте), а ако се пријемник и предајник крећу један од другог, фреквенција се помера наниже (опада).

На пример, Доплеров ефекат можемо приметити на аутопуту: бука коју мотор аутомобила прави док нам се приближава другачија је од оне коју чујемо док се од нас удаљава.



Слика 3: Доплеров ефекат

Вектрино ултразвучна сонда користи рефлексију звука од делића који се крећу заједно са флуидом, и који праве Доплеров помак фреквенције звука. Мерењем фреквентног помака ултразвука од делића који се креће заједно са флуидом, могуће је одредити брзину тих делића.

Дугогодишње искуство је показало да се те мале честице крећу истим брзинама као вода, одакле следи да је брзина честица у ствари брзина воде.

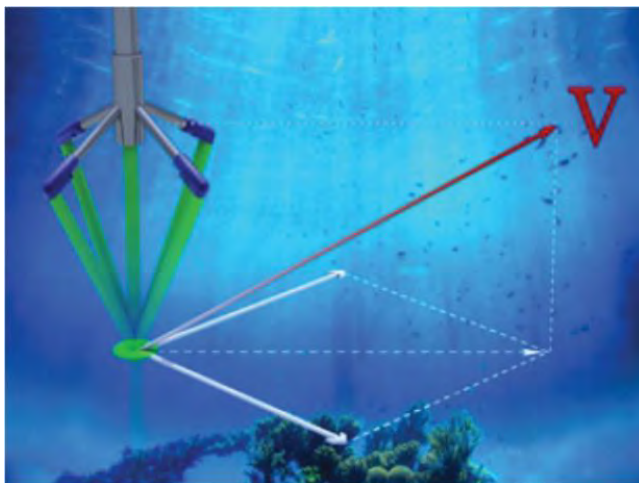
Код ове сонде, предајник и пријемник ултразвучних таласа су одвојени, што се може видети са слике.



Слика 4: Изглед главе мерне сонде



Слика 5: Удаљеност и величина мерне запремина



Слика 6: Принцип рада сонде [2]

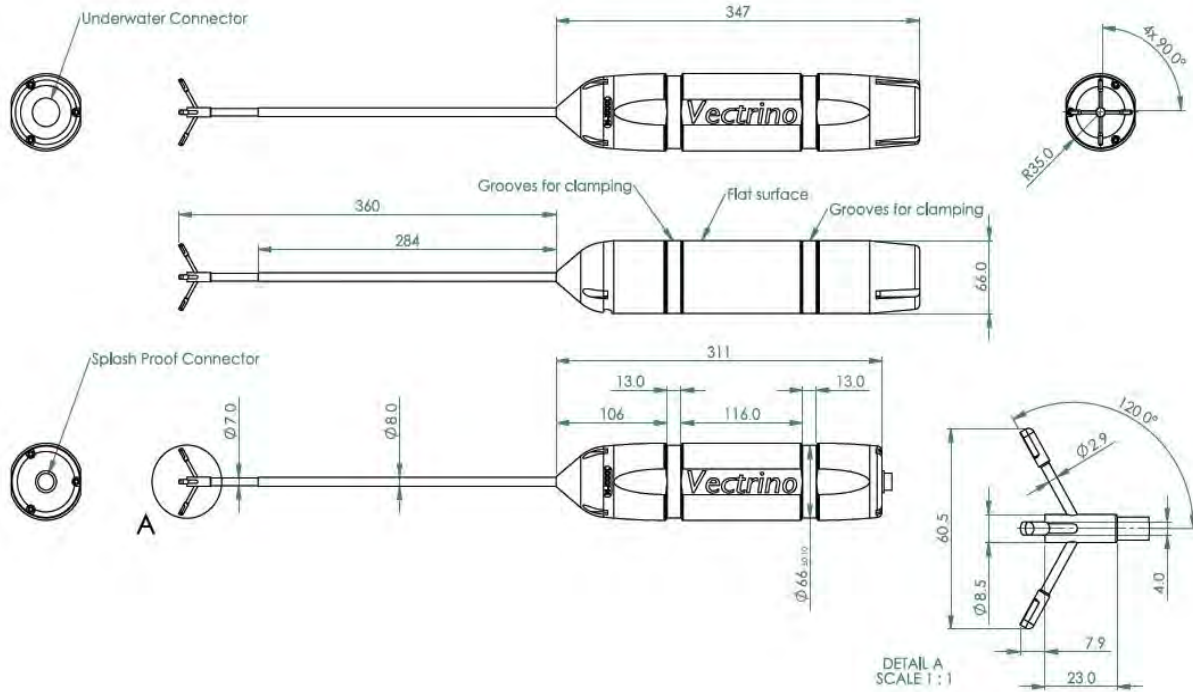
Предајник шаље таласе ка замишљеној запремини која се налази 50 mm од врха сонде. Димензије запремине су следеће: висина се креће од 3-15 mm (зависи од корисника), док је пречник основе 6 mm. Унутар запремине долази до сударања ултразвучних таласа и честица након чега одбијене таласе прихватају пријемници, који су сви усмерени ка тој замишљеној запремини. Подаци се складиште, а онда се помоћу рачунара обрађују, одакле добијамо брзину флуида, на начин као што смо већ навели, мерећи фреквентни помак рефлектованог ултразвука од делића који се креће заједно са флуидом.

Пријемника има четири, зато што меримо брзину у три димензије, у X, Y и Z правцу, где је четврти пријемник корекциони, омогућава што боље добијање резултата.

Вектрино АДВ сондом такође можемо да меримо и дубину на којој се врши мерење. Дубина се мери по принципу мерења времена које је потребно ултразвучном таласу да пређе пут од предајника до дна и да се одбије до пријемника, одакле се уз познавање брзине звука кроз воду одређене густине и измереног времена лако може добити пређени пут, тј. дубина.

Пошто густина воде зависи од температуре, унутар главе сонде се налази температурни сензор који мери температуру воде.

2.1.2 Геометрија



Слика 7: Димензије сонде [2]

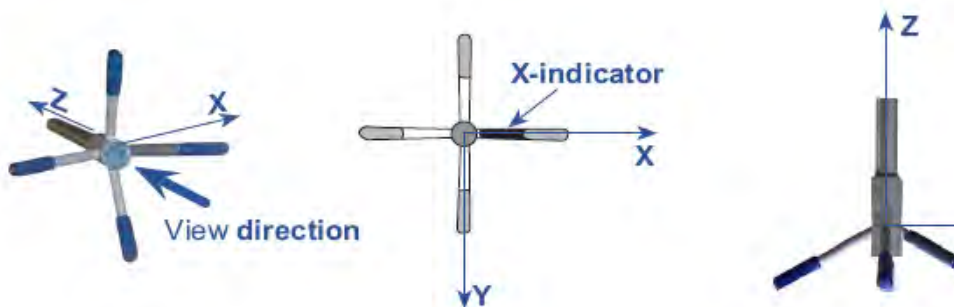
На слици су приказане значајне димензије сонде.

Може да се дода само пар речи о геометрији главе сонде. Пријемници су под углом од 90° једни у односу на друге, а под углом од 60° у односу на предајник. 30° је угао под којим прихватају ултразвучне таласе.

На глави сонде, тачније на једном од пријемника налази се и индикатор X правца, који морамо да покlopимо са правцем тока воде, да бисмо добили сто тачнија мерења и умањили грешке.

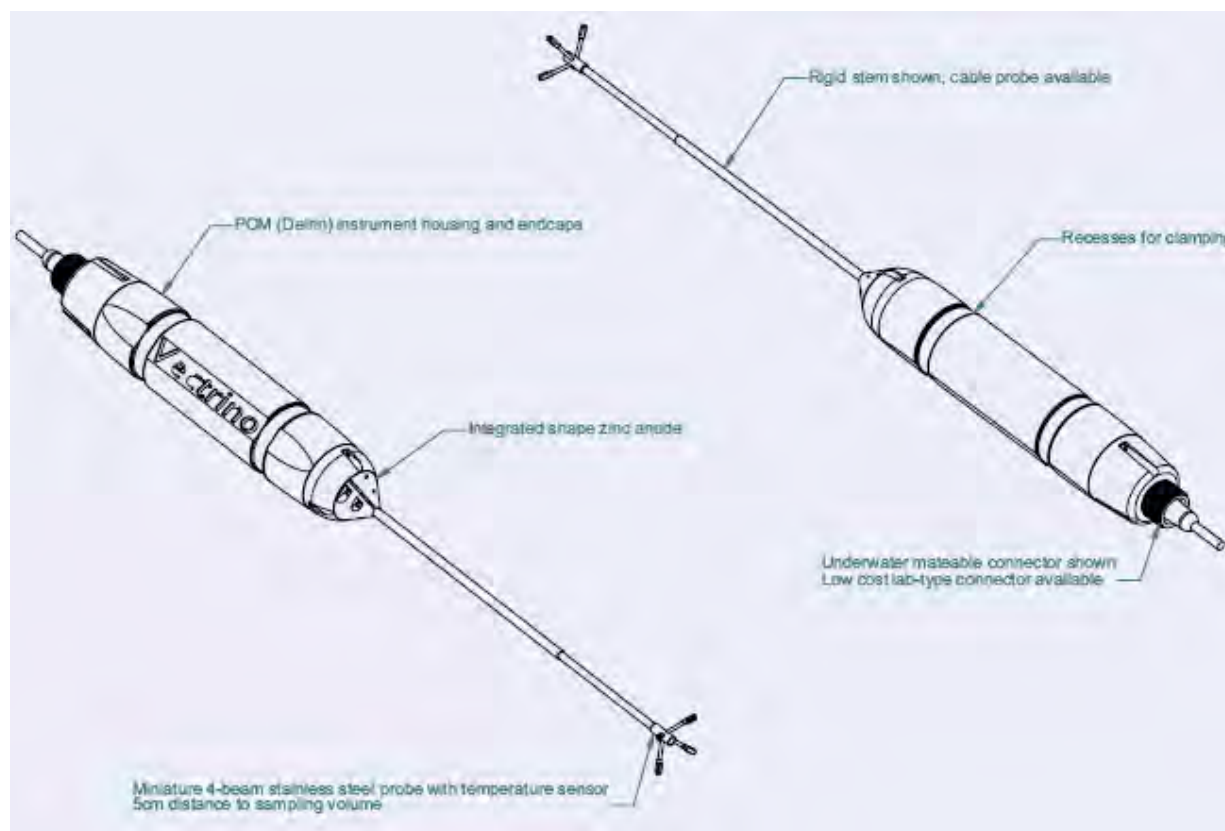


Слика 8: Угао крака [2]



Слика 9: Поглед на главу сонде из више углова[2]

2.1.3 Технички опис



Слика 10: Делови ADV Vectrino сонде

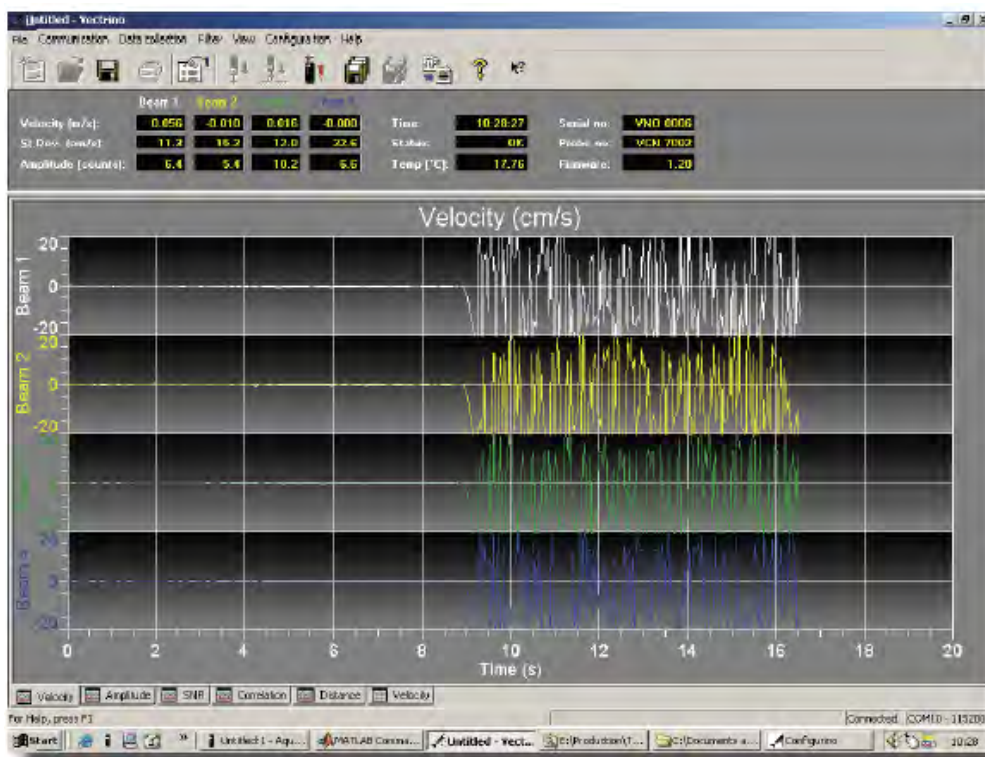
1. Кућиште за електронику
2. Интегрисани облик цинк анода
3. Предајник, пријемници и температурни сензор
4. Круга веза, а постоји и сонда са кабловском везом
5. Удубљење за причвршћивање сонде
6. Конектор за повезивање са рачунаром

При монтажи сонде на инсталацију 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 (у нашем случају коришћено је парче цеви, постављено испод носача тако да онемогући сонду да се спусти испод одређеног нивоа).

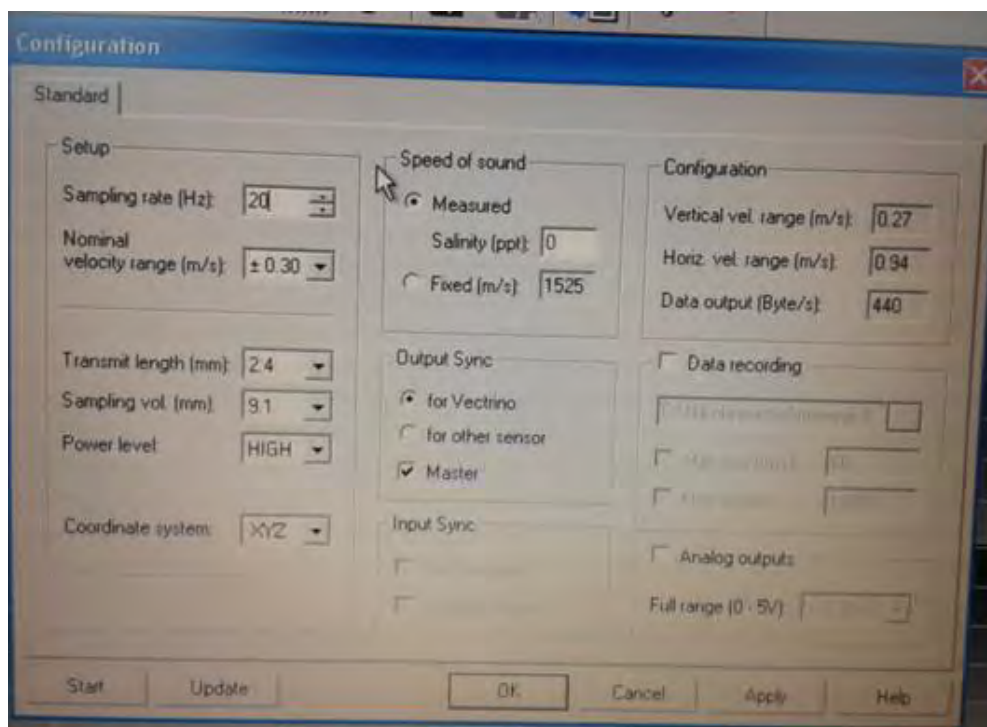


Слика 11: Цев која штити сонду од удара у дно

Након што је сонда постављена и осигурана на мерном месту, приступа се повезивањем сонда за рачунар. Треба конектовати сонду на напајање и на СОМ порт од рачунара. Затим треба покренути Vestrino софтвер (погледати у упутству како спровести Functionalitycheck и Probescheck[2], који морају предходити мерењу), и започети колекцију података. На слици 12 приказан је главни прозор, где се могу видети дијаграми и вредности брзина у сва три правца, док се на слици 13 види прозор за подешавање параметара мерења. Могу се варирати брзина узорковања, номинални опсег брзина, висина мерне запремине, брзина звука кроз флуид...



Слика 12: Главни прозор Vectrino софтвера[4]



Слика 13: Прозор за подешавања параметра мерења

Vestriно софтвер прави бинарне фајлове, који се могу конвертовати у 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 Excell.

2.1.4 Предности

Vestriно Acoustic Doppler Velocimeter је сонда из породице сензора нове генерације. Представља корак напред у перформансама:

- Геометрија сонде омогућава да се што мање утиче на проток од саме сонде
- Електроника стаје унутар основног инструмента
- Поседује четврти пријемник за побољшање мерења
- Има интегрисани сензор температуре у сонди
- Одвојени пријемници од предајника, што повећава број узорака, и још много тога

2.1.5 Недостаци

Као и сваки уређај, и овај има своје недостатке, које ако познајемо можемо више или мање успешно да надоместимо, или потпуно уклонимо њихов утицај. Управо из тих разлога наводимо следеће примере, са којима када смо упознати можемо успешно да наставимо мерење:

- Велика осетљивост рецептора на удар. Због тога, није пожељно користити сонду за мерења у канализацији и другим местима где може доћи до оштећења главе сонде, која иначе није јефтина.
- У превише чистој води не показује добре резултате. Рекли смо, зато што је потребно да у води има суспендованих честица.
- Када меримо брзине у близини дна, морамо да водимо рачуна да је замишљена запремина 5 cm испод главе сонде, да не би сонду превише приближили дну, јер нећемо добити добре резултате.
- Мерење брзина при површини је из истог разлога онемогућено, али зато постоји друга сонда за површинско мерење брзина, са другачијим распоредом рецептора
- Због карактеристичног распореда пријемника немогуће је мерити брзине уз сам зид, али се за то користи side-looking сонда
- Код мерења малих дубина обично се за резултат добија да је $h=2*$ (приближно права висина), али о томе треба да се поведе рачуна.

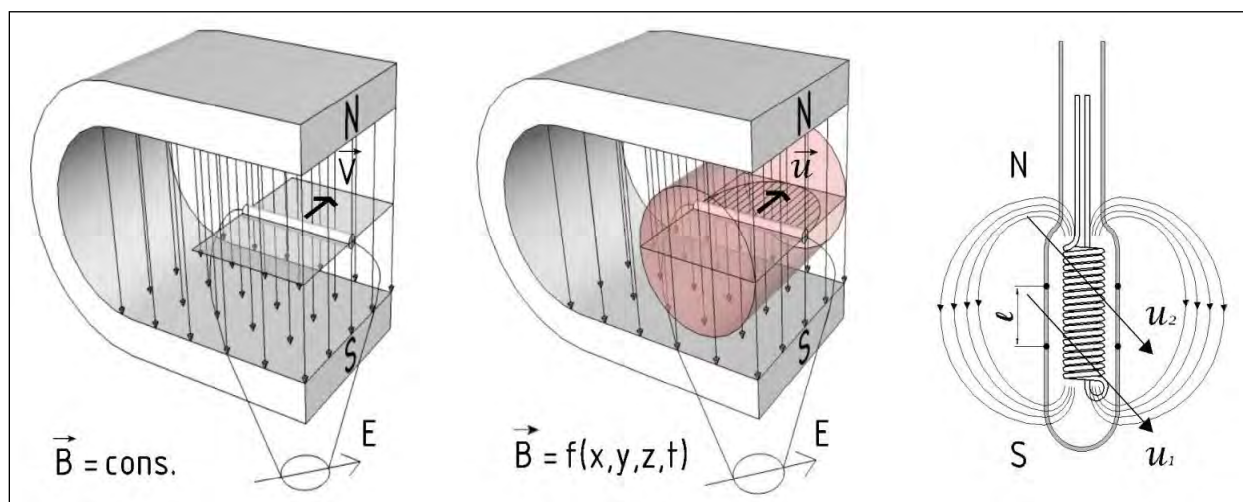


Слика 14: Side-looking сонда

2.2 Електромагнетна сонда

Друга сонда која се користила у мерењима, да би се резултати упоредили са ултразвучном, је електромагнетна сонда.

Мерење протока, односно брзине проводних честица течности користећи принцип електромагнетне индукције се користи од раних 50-тих година двадесетог века. Принцип се заснива на Фарадејевом закону, по коме се на крајевима крутог проводника дужине L индукује електромоторна сила E уколико се тај проводник креће у магнетном пољу \vec{B} брзином \vec{V} . За хомогено магнетно поље и за константну брзину кретања, индукована електромоторна сила ће бити производ $E = \vec{B} \times \vec{V} \cdot L$ (слика 1, лево).



Слика 15: Принцип електромагнетне индукције (лево), мерење протока проводне течности користећи принцип електромагнетне индукције (средина), мерење брзине проводне течности „у тачки“ (десно) [3]

Принцип електромагнетне индукције се може искористити и да се измери брзина флуида „у тачки“ односно, средња брзина флуида у релативно малој запремини. На слици 1, десно, приказано је уобичајено решење, где се магнетно поље формира унутар флуида, па се на мерним електродама индукује електромоторна сила пропорционална брзини управној на правац електрода и правац магнетног поља. Како се ради о производу вектора, индукована електромоторна сила има косинусну зависност од угла под којим струји вода. На слици 1, десно, приказано је решење које истовремено мери две компоненте брзине, u_1 и u_2 , чиме се омогућава не само мерење просторног распореда брзина већ и његових турбулентних карактеристика.

Да би се измерила брзина, неопходно је прво сачекати одређено време да се „смире“ прелазне појаве по успостављању + или – дела побудне четвртке, а затим треба измерити напоне E_1 , и у другој периоди E_2 . Средња вредност тих вредности је једносмерна компонента коју треба одузети од појединих мерења да би се добила брзина. Потискивање сметњи се постиже филтрирањем, при чему временска константа је обично реда величине пар секунди или већа.



На слици 16 приказана је електромагнетна двокомпонентна сонда домаћег произвођача Свет инструмената (Београд). Пречник главе сонде је 18 mm и у глави сонде се налази побудни калем, 4 пара електрода и прецизни малешумни појачивач који омогућава постављање сонде десетак метара удаљено од електронике.

На основу изложеног јасно је да треба мерити и реконструисати, што је могуће прецизније и тачније корисни сигнал са сонде (слика 16). Може се констатовати да је корисни сигнал периодичан и да само у једном свом делу садржи корисну информацију о брзини. Уобичајено да су напони E_1 и E_2 измере релативно спорим АД конверторима велике прецизности, синхронизовано са побудом са кашњењем од T_k чиме се постиже задовољавајућа тачност мерења и при великим присутним сметњама.

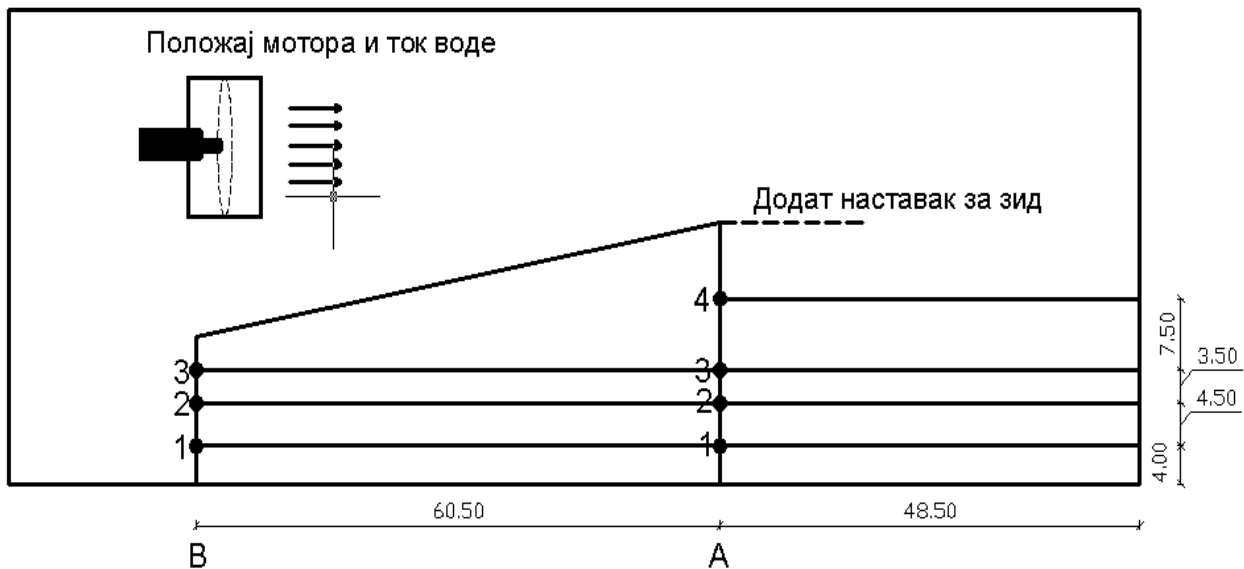
У нашем случају, пошто смо електромагнетну сонду користили само као контролну, нисмо улазили у дубљу анализу рада сонде и обрађивања података. Помоћу волтметра смо читавали максималне и минималне вредности у истим тачкама као што смо мерили са ултразвучном сондом, и читавали флукуацију у тачкама.

Даље у раду ће бити дати добијени резултати.

3.Опис диспозиције система

Цео мерни систем коришћен у даљим мерењима састоји се од каде са преградом, мерне сонде и система за регулисање и пуштање у систем континуалног протока кроз инсталацију. У даљем тексту биће детаљно описане фазе измене инсталације, уз образложења која решења су и из ког разлога прихваћена као одговарајућа.

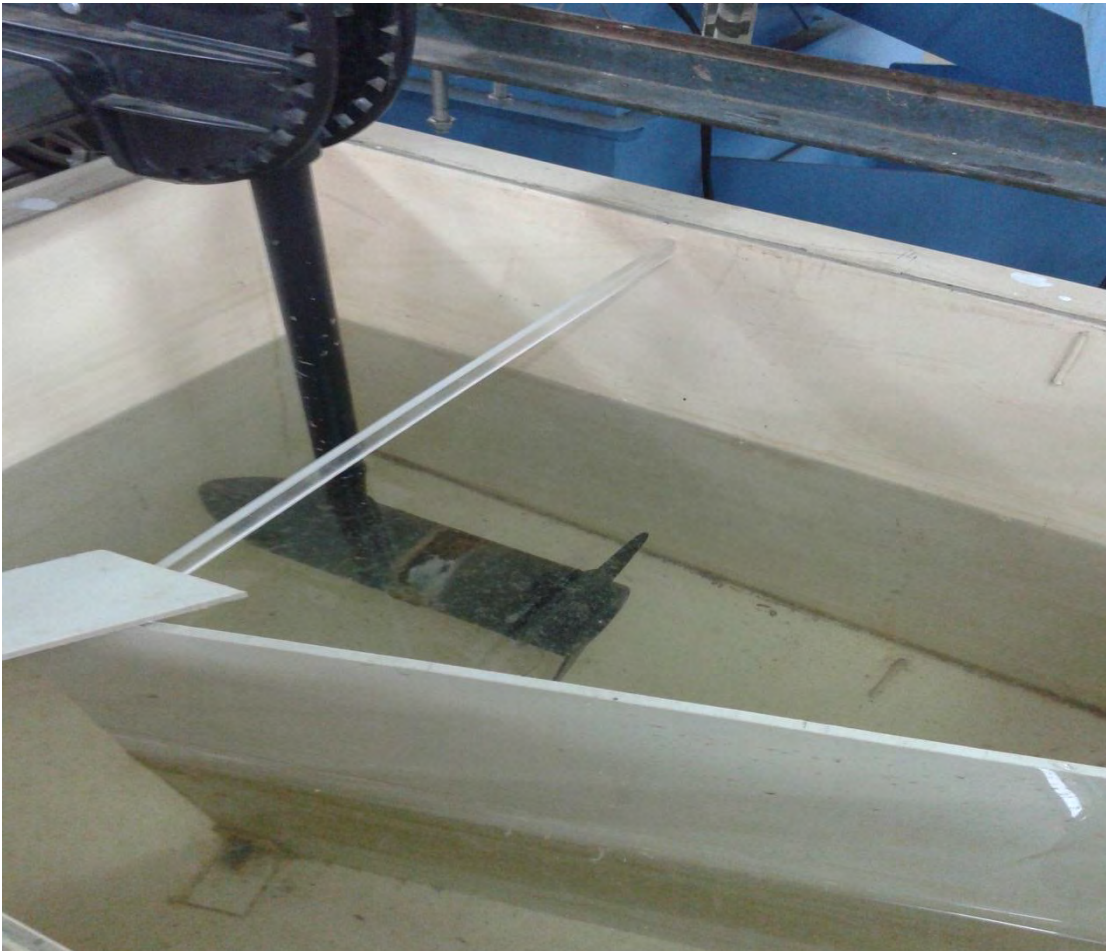
Прва фаза се састојала у томе да се одреде тачке које ће бити најповољније за мерења, и које ће нам дати тражене податке који се касније могу користити на студентским вежбама. Усаглашено је да постоје два профила у којима ће се мерити у више тачака по ширини и дубини.



Слика 17: Распоред мерних тачака

Прво су одрађена пробна мерења да би се што боље упознало са радом сонде, и да би се видело какви се резултати добијају. На почетку пробних мерења у воду је додато 16 грама мрвљеног стакла, да би ултразвучни таласи имали од чега да се одбијају.

- Почетно стање је било најједноставније решење. У кади је постојала само већ постојећа преграда и додат је још само мотор који је покретао воду и држао услове течења у инсталацији константним.



Слика 18: Почетно стање

Проблем овакве диспозиције је био у томе што је мотор правио велике вртлоге, било је и повратних таласа, и у тачкама које су одређене за мерење нису се могли добити добри резултати из разлога што се није знало да ли су мерени вртлози последица мотора или пређене кривине.

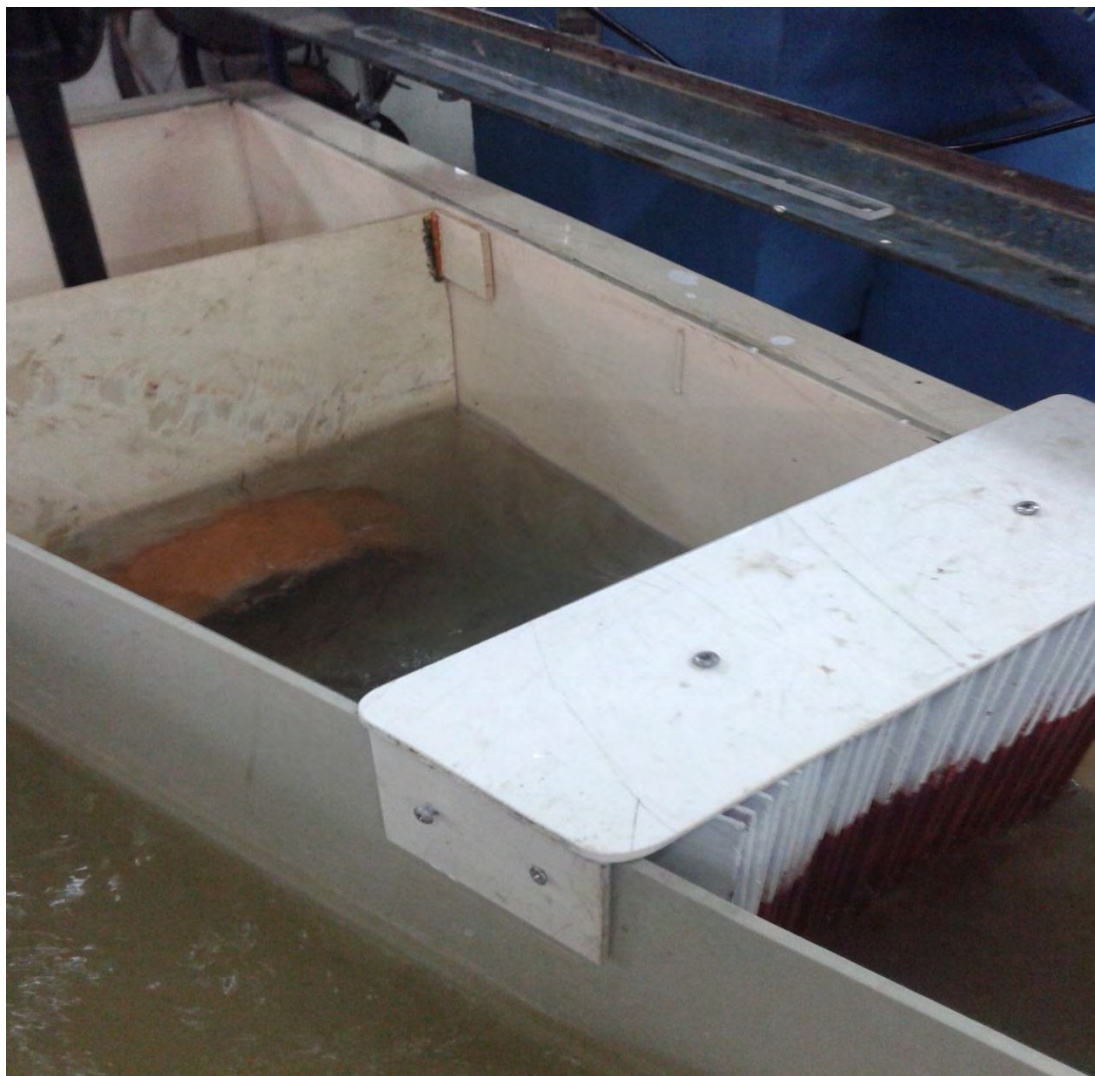
- Из тог разлога се приступило дорађивању инсталације. Прво је покушано да се стављањем ламинатора што више умире вртлози које изазива мотор. Ламинатор се састоји из тридесет паралелно постављених лимених плоча, које су биле фиксиране за горњу и доњу плочу. Он је имао задатак да што више разбије вртлоге и да се течење иза њега устали и умири.



Слика 19: Додат ламинатор

То је донекле поправило ситуацију али је и даље било проблема са повратним таласима што се даље морало решавати.

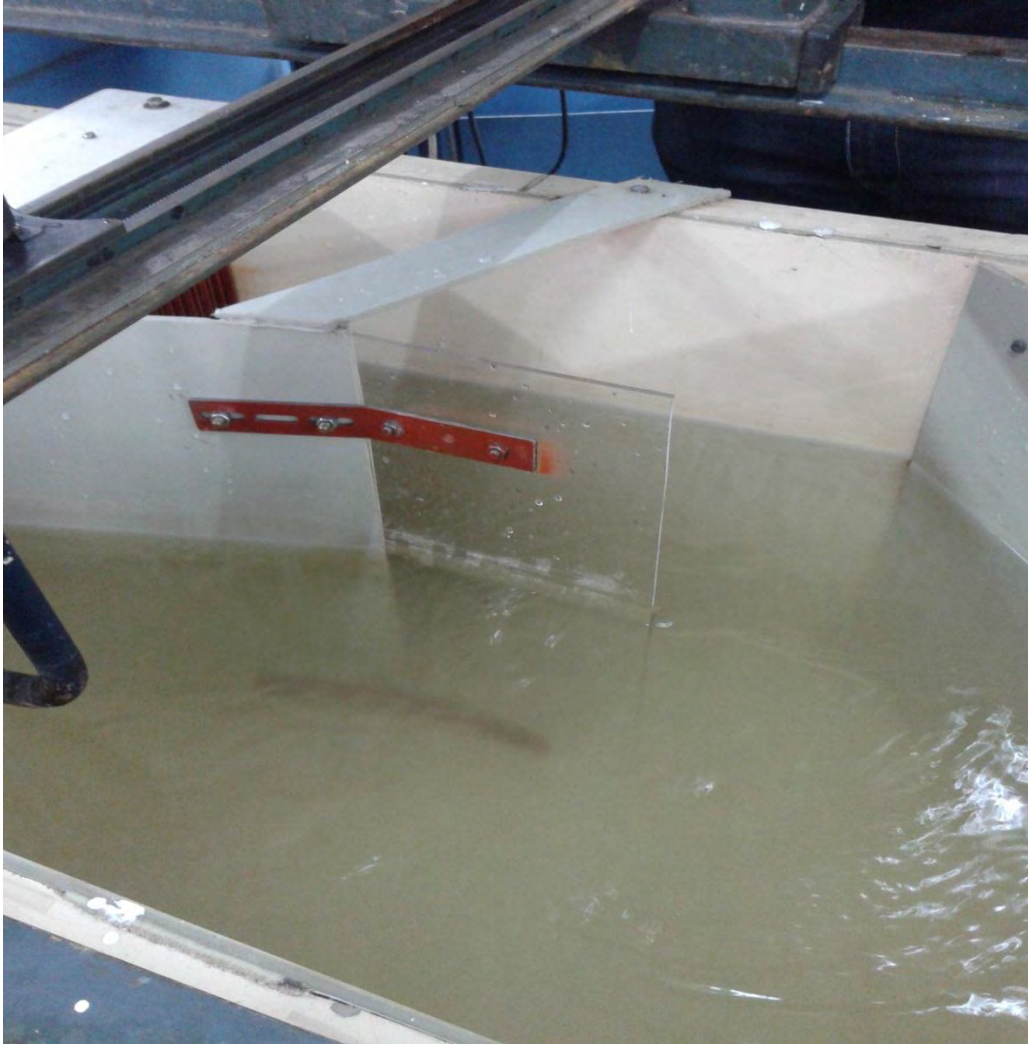
- Да би се што више смањило повратно течење преко мотора, дошло се до закључка да би најбоље било да се пропелер мотора огради парчетом полиетиленске цеви, и да се направи вертикални зид изнад тог оквира. Уграђена је цев ф300, која је додатним сечењем и варењем смањена на ф275.



Слика 20: Уграђен оквир за мотор

Надоградња мотора дала је доста повољније резултате, али се тежило да се инсталација унапреди да буду што бољи резултати.

- У следећем кораку желели смо да што више одбацимо вртлог од кривине. То смо хтели да постигнемо тиме што смо продужили преградни зид додатним делом од плексигласа који смо фиксирали за постојећи. Тиме смо такође сузили пролаз води и повећали брзине, што нам је такође била намера.



Слика 21: Уграђен продужетак преградног зида

Добили смо што смо хтели али брзине и даље нису биле довољно велике колике смо ми прижељкивали да буду.

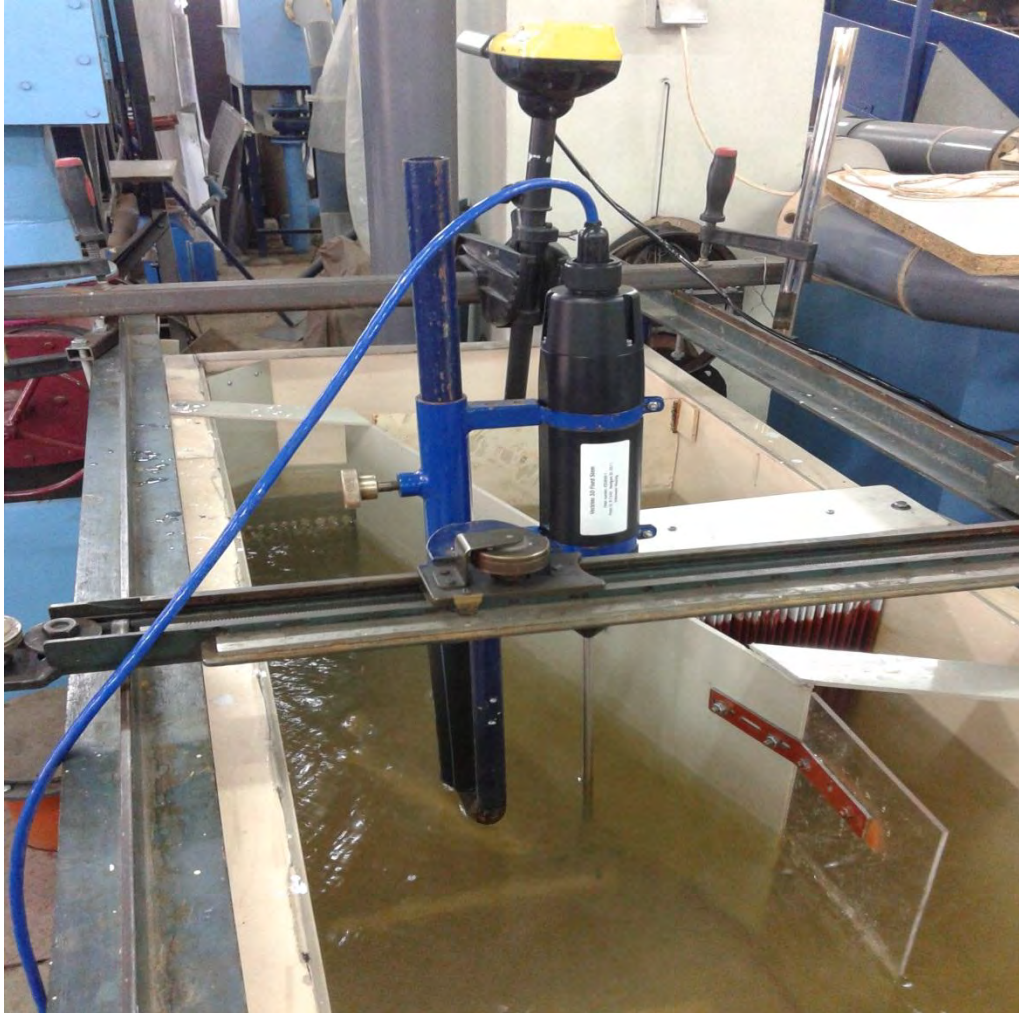
- У наредној фази надоградње система приступило се изради прага. Тиме смо желели да постигнемо још веће брзине од оних које смо тренутно имали. Праг је направљен од танке пластике, испод су поређане цигле, тако да смо добили висину прага од 8 cm. Дубина воде у инсталацији је сада износила 27 cm. Праг је и на улазу правилно обликован, да би се што више смањили локални губици.



Слика 22: Изглед прага

Проблем који се јавио код уградње прага био је испливавање, јер је маса била веома мала. То се веома лако решило стављајући две оловне плоче са горње стране које су држале праг на одговарајућем месту.

- У последњој фази промене диспозиције, хтели смо да смањимо утицај повратног течења у низводном профилу, профилу В. То смо успели да остваримо помоћу пластичне решетке која је уграђена на низводном делу. Смањила је утицај од мотора и поправила резултате.



Слика 23: Постављена решетка у систем

Једини проблем који је правила постављена решетка је тај што је задржавала сидинг испред и повремено пропуштала са водом, па је морало пре мерења да се помоћу пластичног штапа мало промеша вода да би сав сидинг прошао кроз решетку.

4. Резултати мерења

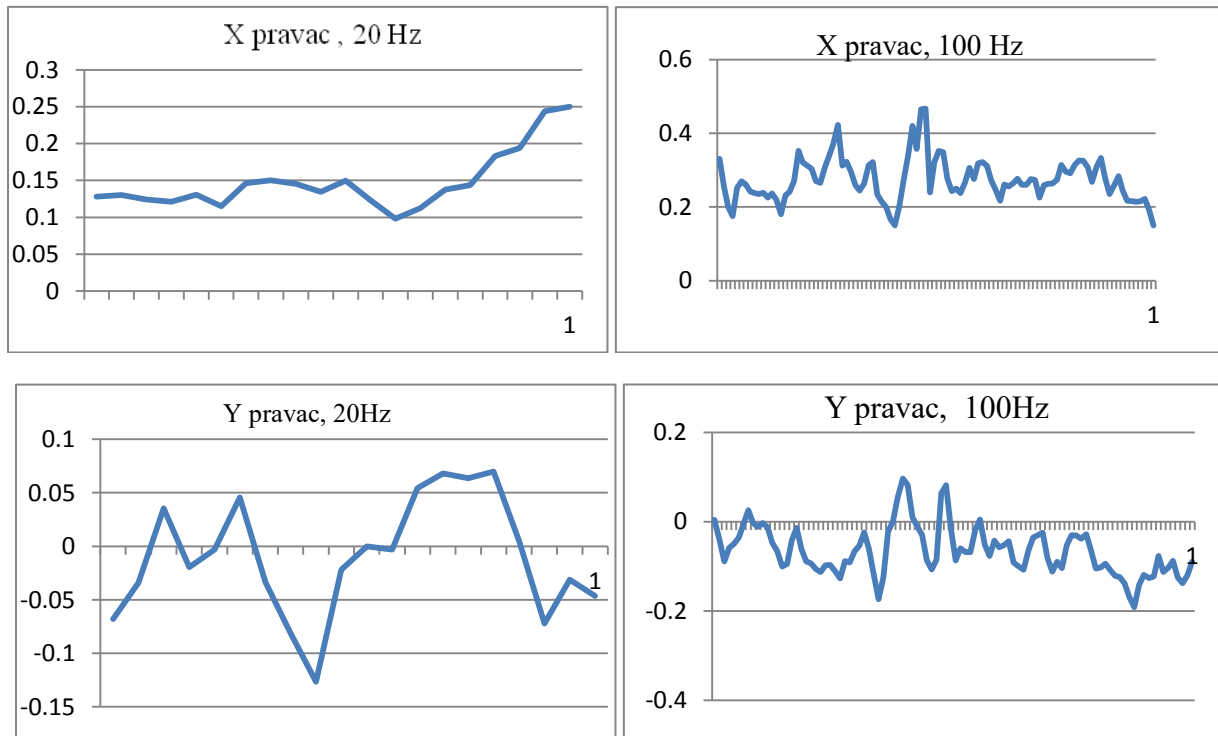
Сви добијени резултати мерења и добијени графици биће приказани у прилозима на крају рада.

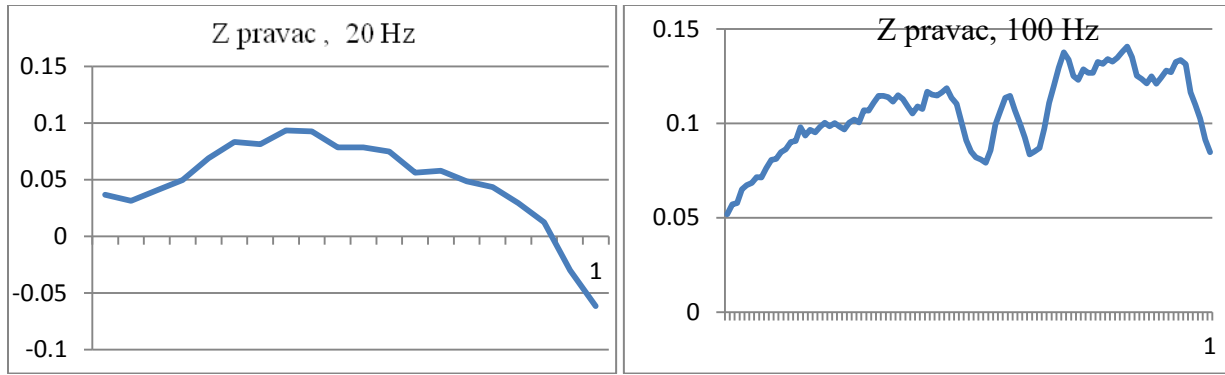
4.1. Избор брзине мерења (sample rate) помоћу ултразвучне сонде

Прво се у датим тачкама одрадило неколико пробних мерења да би се што боље упознало са радом сонди, а касније да би се што боље овладало сређивањем података који су сређивани у програмима Excel и Matlab. У датим тачкама мерило се на дубинама од 135mm, 185mm и 245mm. Мотор је радио константно у другој брзини при напону од 12 Волти.

У тим пробним мерењима рађено је са фреквенцијом прикупљања података од 20 и 100Hz. То се радило да би се упоредили графици да бисмо знали даље коју фреквенцију прикупљања да користимо у даљем раду.

Даље ће бити дат приказ по једну секунду мерења од 20 и од 100 Hz, да би била међусобно упоредива.





Упоређивањем добијех графика (од 20 и од 100Hz), утврђено је да се и са фреквенцијом од 20 Hz хватају сва битна дешавања која се одигравају у мерној тачки. Одлучено је да се сва даља мерења раде са фреквенцијом узорковања од 20 Hz.

Имали смо намеру да сва дешавања у мерној тачки прикажемо преко Фуријеове трансформације, да бисмо што боље приказали колики је интензитет вртлога, коју бисмо одрадили у програмском пакету Matlab.

Припрема података за Фуријеову трансформацију:

Фуријеова трансформација се ради за сваки правац посебно, за сваки правац мора да се ради посебно следеће ставке које ће бити наведене. Прво што се ради је да се нађе средња вредност, нпр. вредности у X правцу, која се затим одузима од сваке појединачне вредности за тај правац. Тиме бисмо добили низ који можемо да назовемо *bezsr.vred.* Затим се као посебна ставка направи прозор који допуњава низ до 1024 података уколико их нема. У прозору првих и последњих 50 вредности треба да одговарају синусној функцији када пренесемо на график. Између тога стављају се вредности броја 1.

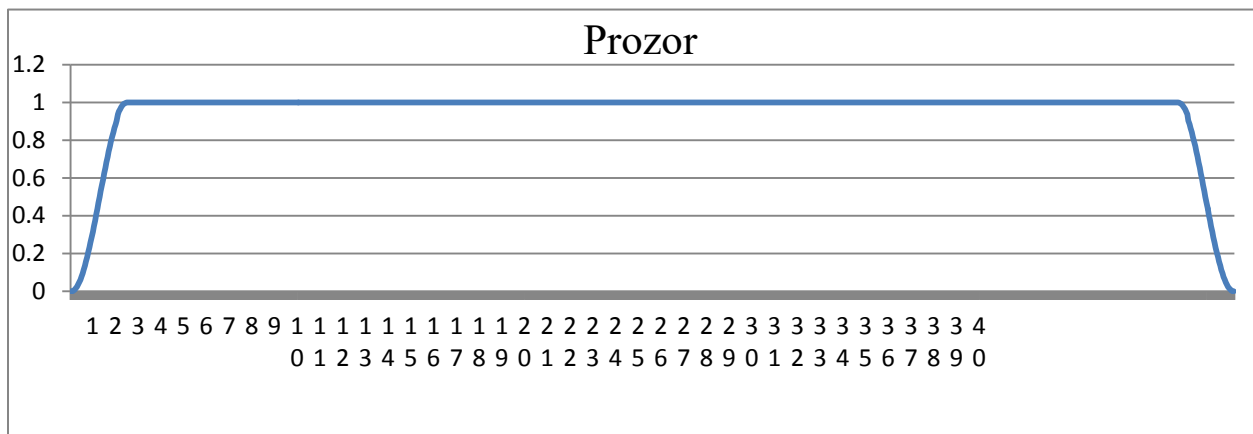


График II: Прозор који се користи код припреме података за Фуријеову трансформацију

Када је и прозор спреман потребно је помножити га са колоном `bezsr.vred.`, и тако смо добили податке које сад треба унети у `velx` које ћемо да направимо у Matlab-u.

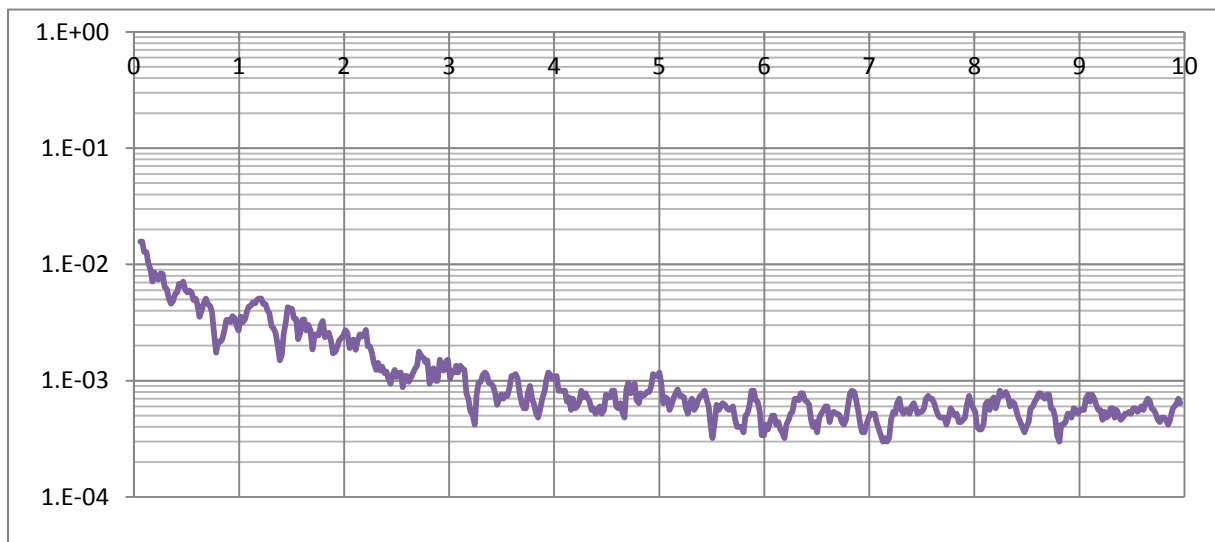
Сада ће бити дат један пример записа из Matlab-a.

Пример 1.

```
velx=[ копирају се из Excel-а све добијене вредности описане у претходном поступку];  
Y=fft(velx,1024)/1024;  
f=20/2*linspace(0,1,1024/2+1);  
plot(f, 2*abs(Y(1:1024/2+1)));  
title(' наслов графика')  
xlabel('Фреквенција (Hz)')
```

У другом реду број 1024 представља број узорака у X правцу, мора да се узме да буде 2^X (нпр. 512, 256, 128...).

У трећем реду број 20 представља фреквенцију уторковања, значи ако се радило са 100Hz уместо 20 биће 100.



ФФТ: График након одрађене фуријеове трансформације (20Hz), логаритамска расподела

Ако се жели да се још боље исфилтрира график и након Фуријеове трансформације, то се може урадити осредњавањем на 3 или 5 секунди. Горе је дат исфилтриран график на 5 секунди.

Сонда је подешена тако да даје 20 вредности брзина у секунди. Приликом мерења сонда бележи већи број података:

- Брзине у четири правца (X, Y, Z и контролни Z1)
- Амплитуде ултразвучног еха
- Однос сигнала и шума
- Корелацију сигнала

Интервал снимања вредности износио је 40 секунди, што је дало 800 података за сваку тачку.

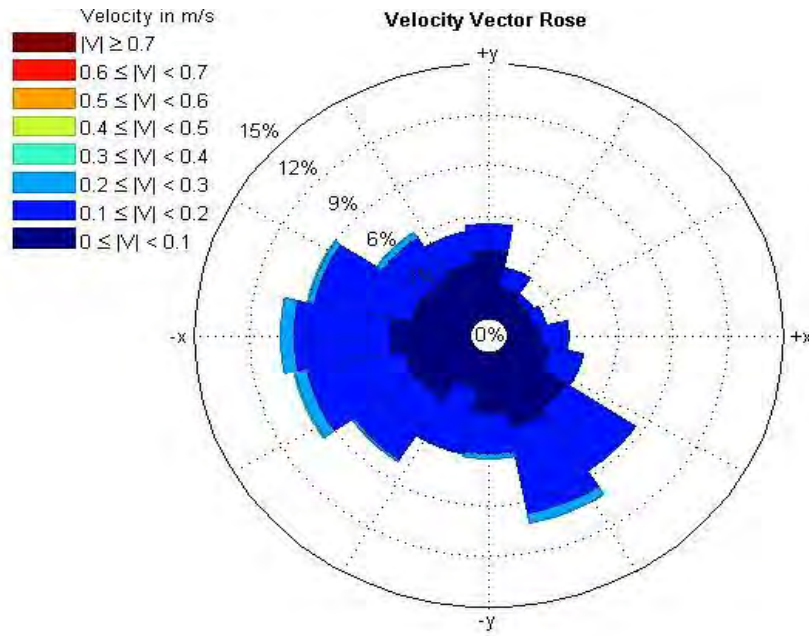
Снимљени низови података пребачени су у Microsoft Excel и у њему је извршена статистичка обрада података. Рачунате су средње вредности и стандардна девијација за сваку тачку.

4.2 Обрада и приказ резултата

Стандардна девијација се рачуна по обрасцу:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (v_x - \bar{v}_x)^2}{N-1}} \dots\dots\dots(1)$$

Поред Microsoft Excel-а за обраду података, за одређивање доминантног правца (правац који вектор најчешће заузима), користи се једна од многобројних функција развијених у Matlab окружењу од стране корисника. На интернету је доступна функција WindRose[6], аутора Даниела Переиरे, која је прилагођена потребама овог рада и названа је VelRose. Коришћењем наведене функције могуће је представити у радијалном координатном систему, учесталост углова које вектор брзина заклапа са неком референтном осом. Поред тога, на дијаграму се за одређени опсег углова може видети и која је учесталост појаве одређених интензитета вектора .



Слика 24:Пример приказа резултата помоћу VelRose функције

Испод су дати графици помоћу којих се добила дата ружа брзина:

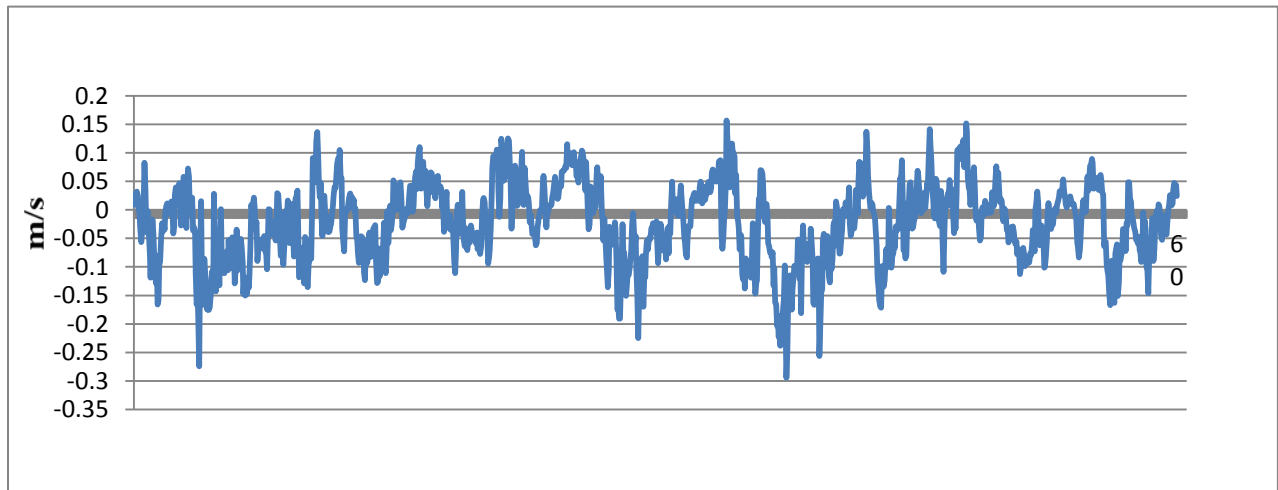


График X: Временски распоред брзина у X правцу

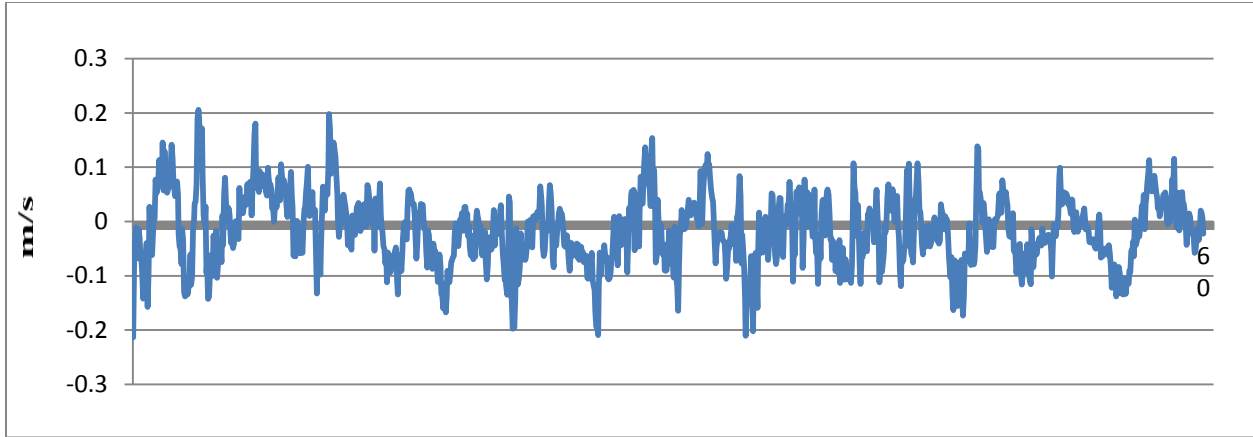


График Y: Временски распоред брзина у Y правцу

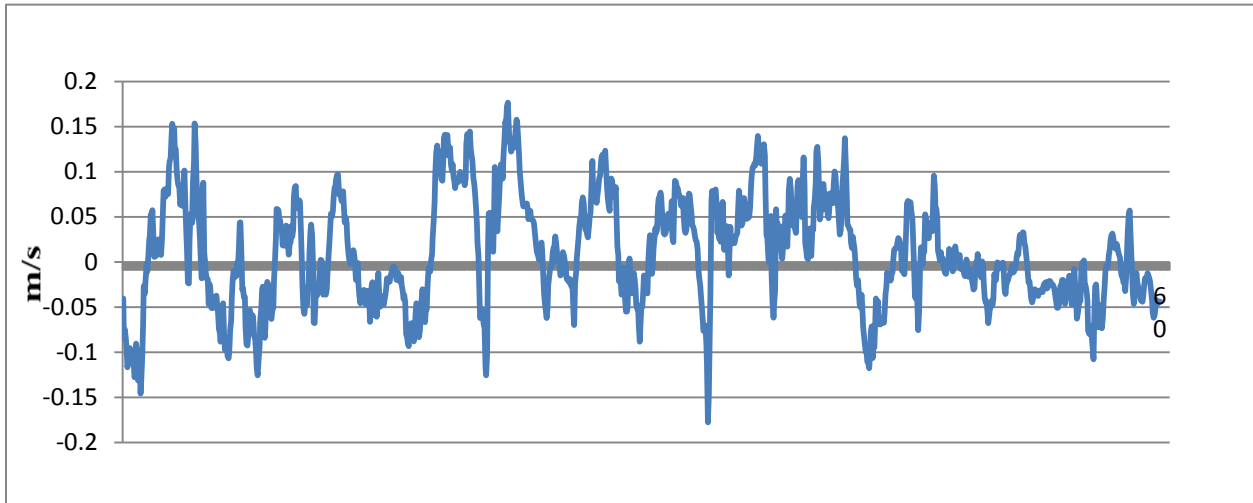


График Z: Временски распоред брзина у Z правцу

Интерпретација дијаграма :

- Дужина „штапова“ који се пружају од центра круга дефинише учесталост појаве вектора брзина у том опсегу углова- на слици најзаступљенији опсези 150° - 300°
- Бојом су дефинисане различите брзине, односно, интензитети вектора и њихов удео у једном штапу на дијаграму, односно, ефинисана је учесталост појаве одређеног опсега интензитета брзина у одређеном опсегу углова- на слици, у доминантном опсегу углова 150° - 300° најчешћи (скоро 65 %) је интензитет вектора био од 0.1 до 0.2 m/s(плава боја), а око 30% су биле заступљене брзине од 0 до 0.1 m/s .

Упутство за употребу VelRose-a:

Пре коришћења функције VelRose у програмском пакету Matlab, неопходно је припремити низове улазних података: *direction* и *speed*. До података о правцу, односно углу вектора брзине који он заклапа са *x*-осом координатног система(*direction*), долази се помоћу основних геометријских манипулација. Угао расте у смеру супротном од казаљке на сату(слика 24). Наиме познавањем V_x и V_y , односно брзина струјања у *x* и у правцу, могуће је дефинисати угао α који заклапа вектор брзина са *x* координатом преко следећег обрасца:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{V_y}{V_x}\right) \dots\dots\dots(2)$$

Треба водити рачуна да VelRose користи углове дефинисане у радијанима. У низу *speed* се дефинишу интензитети вектора *V*, користећи образац:

$$|V| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \dots\dots\dots(3)$$

Користећи дефинисане низове *direction* и *speed*, функција VelRose се може позвати преко следеће команде:

VelRose(*direction*,*speed*, 'MaxFrequency', 15, 'FreqLabelAngle', 135), где је са 15 задат максималан опсег учесталости који се јавља(потребно прилагодити сваком појединачном случају), а са 135 угао у степенима којим се дефинише правац у којем се приказује скала за фреквенције. Наведени позив функције одговара слици 24.

4.3 Поређење ЕМ сонде са УЗ сондом

У следећој табели даје се приказ поређења мерења електромагнетном сондом и ултразвучном сондом:

Табела 1: Поређење рада ЕМ сонде и УЗ сонде

A1-185-6							
Srednja vrednost				Stand. Devijacija			
X pravac		Y pravac		X pravac		Y pravac	
EM	UZ	EM	UZ	EM	UZ	EM	UZ
-0.03	0.46	-0.8	-0.069	0.09318	0.197	0.08231	0.186
A4-185-6							
Srednja vrednost				Stand. Devijacija			
X pravac		Y pravac		X pravac		Y pravac	
EM	UZ	EM	UZ	EM	UZ	EM	UZ
-0.1	0.12	0.08	0.093	0.11024	0.145	0.08856	0.188
B2-135-6							
Srednja vrednost				Stand. Devijacija			
X pravac		Y pravac		X pravac		Y pravac	
EM	UZ	EM	UZ	EM	UZ	EM	UZ
-0.03	0.24	-0.6	-0.057	0.10597	0.075	0.0939	0.067

Електромагнетна сонда је коришћена само као контролна. Мери у два правца, X и Y, мерено је у истим тачкама као и са ултразвучном сондом. Резултати су прикупљани помоћу Волтметра, који нам је давао максималне и минималне вредности, средње вредности, као и флукуацију у датим тачкама (средња вредност заједно са флукуацијом дају комплетан сигнал).

Након упоређивања видело се да су добијени резултати реални, јер се очекивало да ултразвучна сонда даје веће вредности од резултата мерених електромагнетном сондом.

5. Дискусија о добијеним резултатима

Сва мерења која су одрађена за овај мастер рад, одрађена су при собној температури и идентичним условима за све тачке. Закључено је да се много квалитетнији сигнал ултразвучне сонде добијао за време пробних мерења, а узрок за то лежи вероватно у томе што се временом вода све више прљала током надоградње инсталације (ултразвучна сонда не може да ради у потпуно чистој води, али такође постоји граница до које може да буде запрљана, нпр. не може да мери проток у канализацији јер је вода исувише прљава).

На почетку овог рада, циљ нам је био да дешавања у мерној тачки прикажемо кроз спектралну анализу коју бисмо направили у Matlab-у. Након обрађених података преко Фуријеове трансформације дошло се до закључка да су турбуленције изазване пропелером превелике, које не могу да се смире у прилазној деоници, тако да се из спектра брзина (График ФФТ), види да нема природног „гашења“ вртлога. Због тога нису међусобно поређени спектри мерених брзина у појединим тачкама, већ само средње брзине и правци брзина.

На графицима од 1-3, и на ружи брзина број 29, приказана је ситуација у почетном стању, када је инсталација била најједноставнија, без икаквих дорађивања. Сонда је давала веома јасне резултате, јер вода на почетку мерења није имала никакве друге нечистоће осим сидинга који је додат. Што се тиче праваца вектора брзина, они су веома различити из разлога што се мерена тачка налазила у вртлогу.

Следећа мерења која су приказана су мерења за стање број 4. То је ситуација када је у систем додат оквир за мотор, ламинатор и продужетак преградног зида. То стање је приказано на графицима од 4-6 и на ружи брзина на слици број 30. Стављањем оквира за мотор, хтели смо да смањимо враћање воде назад преко мотора. Постављањем ламинатора, била је жеља да се што више умири турбуленција коју је изазивао мотор и да се што више исправе струјнице. На крају, пошто је ламинатор мало и успоравао ток, продужетком преградног зида хтели смо да сузимо проток води, а самим тим и да повећамо брзине. Као што се може видети са датих прилога, брзине су се повећале у односу на почетно стање, а прерасподела праваца брзина вектора је мање различита јер је вртлог продужењем попречног зида мало одбачен од мерне тачке.

Пошто на претходно описаним графицима има одређени број „лажних“ брзина, односно компоненти са графика када је сонда лоше измерила или није имао од чега да се одбије ултразвук. Сва мерења, пре него што се уђе у дубљу анализу, морају визуелно да се прегледају и размотре. Када би се ушло у дубљу анализу без претходног проверавања, и када би се узели у обзир и дати пикови, добила би се потпуно погрешна слика о стању ствари. Не би била тачна ни средња вредност, ни стандардна девијација и график би нам створио тотално лошу представу. Узета је вредност између два искакања рада сонде и са тиме је рађено. Одавде се види да смо поништили дејство сужавања пролаза води које смо остварили продужавањем преградног зида (хтели да повећамо брзине), монтирањем

ламинатора у систем. Брзине се нису промениле у односу на почетно стање. То је приказано на графицима од 7-9, и на ружи брзина на слици 31.

Наредни резултати који су приказани су резултати у тачки В2-135-6. То је низводна тачка. Пре него што су мерења одрађена у систем је, поред већ претходно наведених података, уграђен и праг и решетка. Задатак прага је био да нам обезбеди што већу брзину, а низводна решетка је постављена са циљем да скроз умањи дејство преосталог повратног течења од мотора. У датој ситуацији доминирају компоненте у Х правцу. Због низводне решетке која задржава воду, постоји врло мали утицај повратног течења па зато све брзине нису скроз у Х правцу. То се види на графицима од 10-12 и на ружи брзина на слици број 32. Проблем који се јавио приликом постављања решетке низводно, је тај што је решетка задржавала велику количину сидинга испред себе. Временом, сонда почиње да даје све лошије резултате који су били потпуно неупотребљиви. Пре мерења морало се прво пластичним штапићем промешати вода испред решетке да би сав сидинг прошао. Кад се то одради, у наредних неколико минута није било проблем прикупљати резултате.

На графицима од 13-15 и на ружи брзина на слици 33, рађена су мерења са фреквенцијом прикупљања података од 100 Hz, односно 100 података у секунди. Овим мерењем је била жеља да се у датој тачки ухвати што више података о дешавањима у њој. Тачка се налази у вртлогу, отуда доста расипања правца вектора. Брзине су мале јер је мерено на почетку, док се још разрађивала инсталација. Сигнал је изузетно чист и прегледан. Мерења су трајала 10 s.

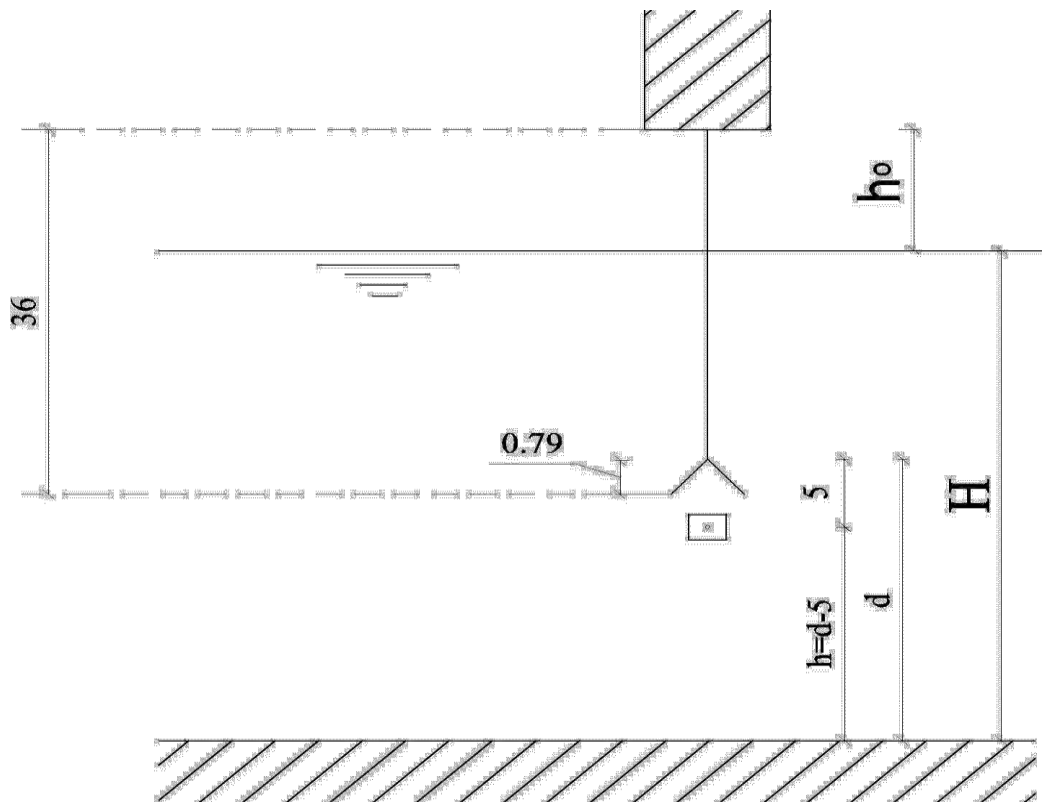
Такође, 10s су трајала и мерења у низводном профилу и фреквенција прикупљања података је била 100Hz, који су приказани на графицима од 16-18 и на ружи брзина број 34. Код овог мерења је још израженији Х правац. Брзине су веће него у истој тачки мереној са 20 Hz, јер у систем није убачена решетка која је спречавала нормалан проток воде. Сигнал је изузетно чист и прегледан.

Такође, у раду је била намера и да се обраде Карманови вртлози и да се премери брзина у турбулентном језгру, да би се проверила могућност успостављања студентских вежби. У томе, нажалост, нисмо успели јер су резултати били веома лоши. Шипка коју смо стављали у инсталацију да бисмо изазвали вртлоге била је преуска, а и фреквенција узорковања је била мала па се није могло разазнати да ли су вртлози изазвани окретањем пропелера или су били изазвани од уметнуте шипке. Са слике 27 се види да је у области коју смо ми разматрали и даље био јак утицај мотора и да због тога нисмо могли да уђемо у дубљу анализу око Карманових вртлога. За турбулентно језгро поред проблема са малом фреквенцијом узорковања, проблем је представљао и узан простор и сама конструкција држача сонде, јер је веома тешко било прићи самом језгру.

6. Закључци и даље смернице за рад

Због специфичне израде овог мерног уређаја, мерења на самој површини флуида су немогућа. Са слике 25, може се видети да се мерна запремина налази 5 cm удаљена од предајника сонде, што нам ограничава мерења при површини воде, односно онемогућава нам да меримо брзине које се налазе мање од 5 cm испод површине флуида. Ако би глава сонде и предајник били у ваздуху изнад флуида, тј. ако не би били потопљени, наша мерења би била неупотребљива, јер не би били сигурни од које површине се одбија сигнал послат из предајника. Ова сонда није предвиђена за таква мерења и не сме се користити кроз два медијума (нпр. ваздух- вода).

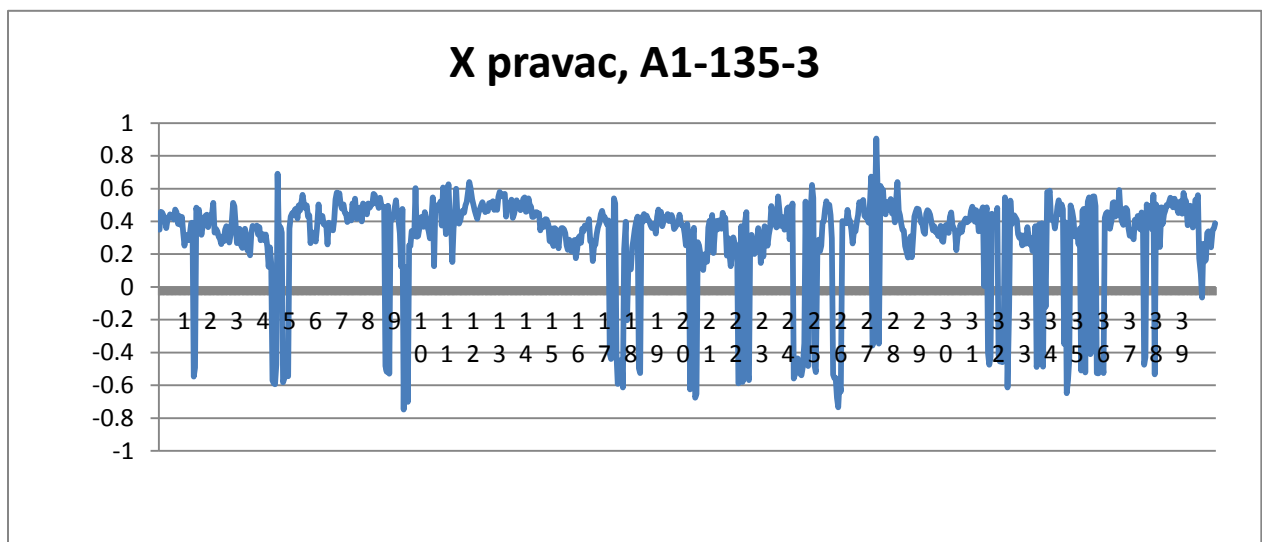
Такође, при мерењима на дну инсталације, треба обратити пажњу да сонда не буде постављена ближе од 5-6 cm од дна, јер ће у противном, добијени резултати бити бескорисни. Тек на удаљености од 5-6 cm, сонда ће давати брзине које се односе на кретање воде по дну канала. При овим мерењима треба обратити пажњу на закривљеност струјница при контакту са чврстом контуром.



Слика 25: Приказ мерне запремине сонде

Приликом постављања мерне сонде близу зида мерне инсталације, треба водити рачуна о закривљености струјница уз саме зидове канала. Као што је познато, брзине уз саме зидове су једнаке нули, па се тек на одређеном растојању од зидова јавља средња профилска брзина. Због облика сонде са којом смо вршили мерења није било могуће тачно измерити брзине уз саме бочне зидове канала (за мерење уз саме зидове, користи се „side-looking” сонда), тако да је мерење вршено на одстојању од 4cm до ивице.

Неке ствари које смо очекивали да ће да нам помогну, након сређивања резултата закључено је да су нам само одмагала. То се пре свега односи на ламинатор. Покушали смо да почетне вртлоге од мотора умањимо, умиримо турбуленције и исправимо струјнице постављањем ламинатора на пут воде. Добили смо контра ефекат. Поред тога што је смиривао вртлоге он је задржавао сидинг на себи и веома је успорио ток што нам није одговарало. Задржавањем сидинга на себи, и повременим пропуштањем, ултразвучни сигнал који је сонда слала, која је била постављена иза ламинатора, није имао од чега да се одбије и врати назад, што је био узрок великих „искакања“ сонде из рада и бескорисних резултата. Један такав запис дат је испод на графику.



Слика 26 :Приказ „искакања” рада сонде у тачки А1-135-3, након стављања ламинатора(бескорисно мерење)

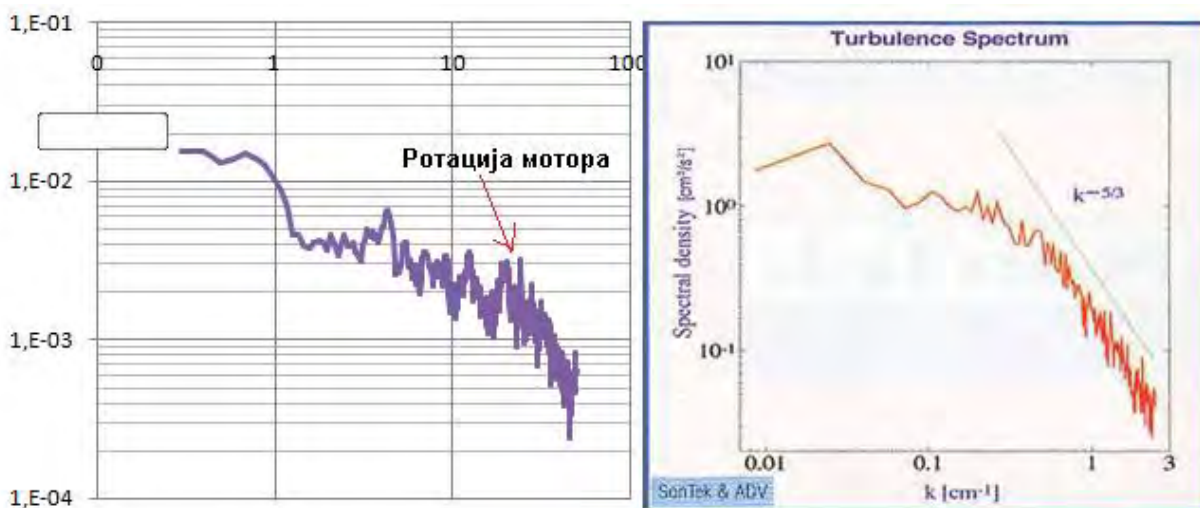
Проблем који се јавио код монтирања прага је тај што је праг био направљен од изузетно танке пластике, и било је веома тешко одредити праву дубину на којој се сонда налази помоћу опције Distance check. Ултразвучни талас који је слала сонда је на одређеној дубини пролазио кроз праг и није се помоћу те опције могла одредити тачна дубина на којој се сонда налази.

Сва мерење за рад рађена су са фреквенцијом прикупљања података од 20Hz, што се касније испоставило као лоше. Накнадним одређивањем фреквенције пропелера мотра помоћу стробоскопског светла утврђено је да је фреквенција окретања пропелера већа од фреквенције узорковања, те су зато много лепши резултати на графицима који су рађени са 100 Hz.

Пошто смо имали проблема и нисмо могли никако да измеримо фреквенцију мотора у води, због уског простора у којем је инсталација, мотор је морао бити извађен и фреквенција му је мерена у ваздуху. То није права вредност која је нама потребна јер није рачуната са отпором који има од воде када је монтиран у инсталацију.

Табела 2: Фреквенција мотора у ваздуху (obrtaja/ min)

	Panther Martin 34 lbs thrust		
	12 V	10 V	8 V
1. brzina	1450 (25Hz)	1190 (20Hz)	845 (14Hz)
2. brzina	1560 (26Hz)	1290 (21,5Hz)	940 (16Hz)
3. brzina	1670 (28Hz)	1380 (23Hz)	1030 (17Hz)



Слика 27: Одумирање турбуленције у нашим мерењима је доста спорије него у природним догађајима

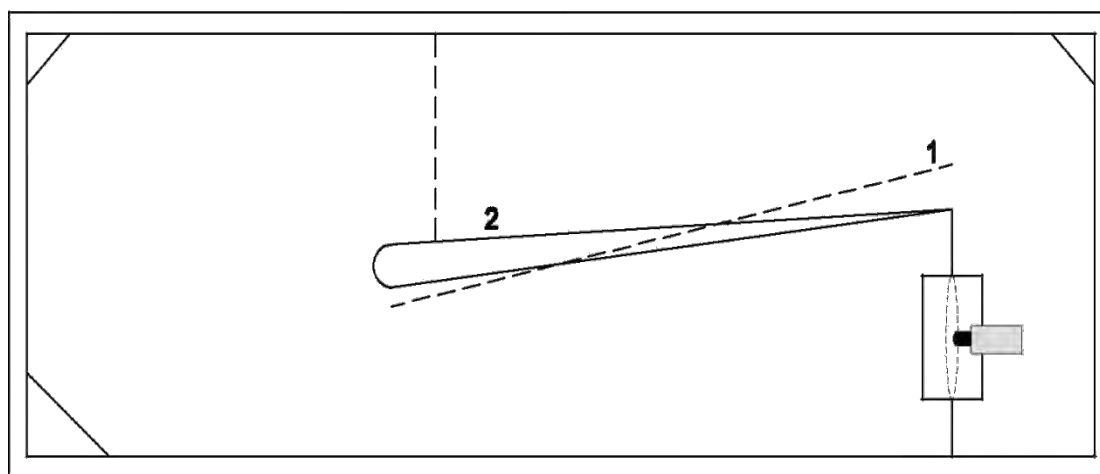
Одавде се види да је утицај мотора и даље јак, да је одумирање турбуленције доста спорије. Очекивали смо да ће у ранијој фази графика да почне да опада утицај.

На основу урађених експеримената, главна сугестија која се односи на следеће радове у вези са овом темом је да се после узетих мерења помоћу сонде, одмах приступи сређивању и анализи података. Само тако може најбоље да се примети шта доприноси, а шта отежава анализу. Најбољи пример за то је коришћење ламинатора у овом експерименту. Предлог је да се уопште не користи. Грешка је била што су прво узимани резултати, и надограђивала се инсталација, а нису проверавани резултати. Мора да се ради парцијално и да се изостављају они елементи који не доприносе бољем сагледавању ствари.

Прва ствар која мора да се уради пре будућих мерења је да се ажурира софтвер за ултразвучну сонду. То се може наћи на сајту произвођача[2], и треба проверити да ли сонда факултета има ту могућност, с обзиром да је она из прве генерације таквих мерних инструмената.

Такође, као лоше се показала и сама инсталација. Као прво, вема је мала и у њој не могу да се развије очекивани след догађаја. Преградни зид се са почетног широког дела сужава на веома узан у којем је тешко манипулисати сондом. Мора да се измени положај зида тако да буде на почетку мало ужи од постојећег, а на крају мало шири. Такође, мора да се направи на превоју зида лепо обликован прелаз, у облику ваљка, да би струјнице што боље пратиле чврсту контуру.

Мерни профил



Слика 28: 1) Тренутни положај преградног зида 2) положај зида у преправљеној инсталацији

7. Прилози

- Тачка А4 – 185 (почетно стање)

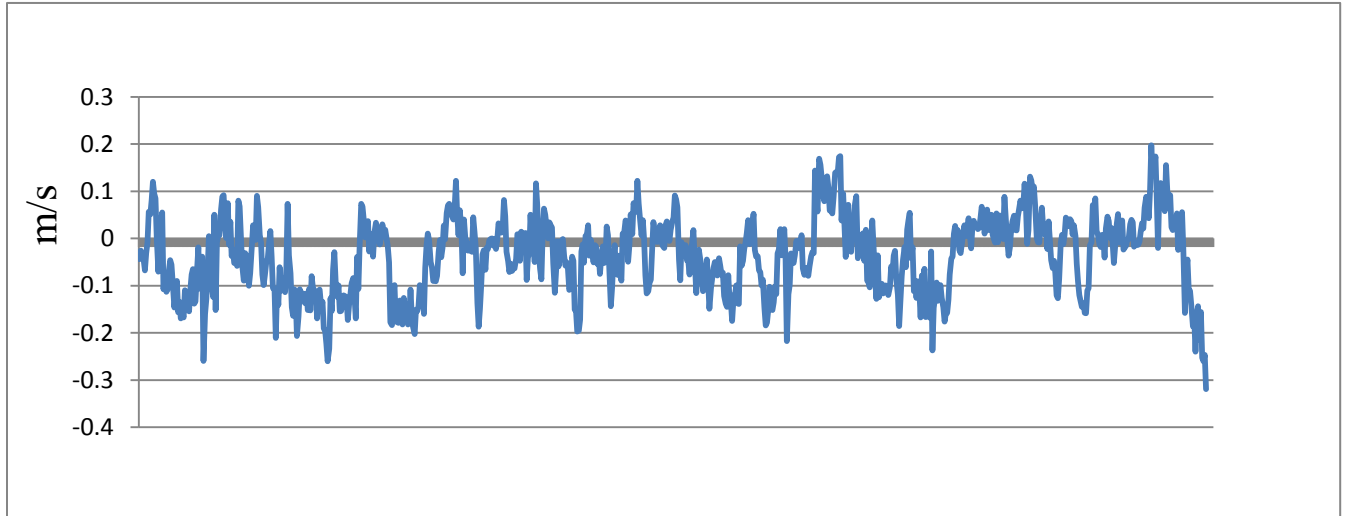


График 1 : X правац, А4-185

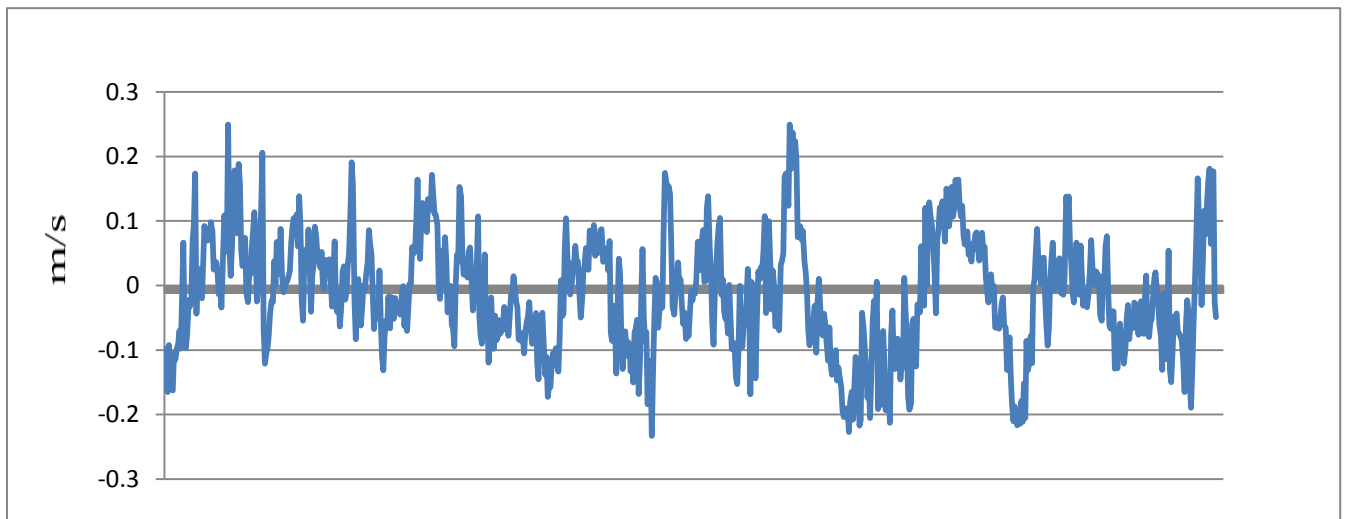


График 2: Y правац, А4-185

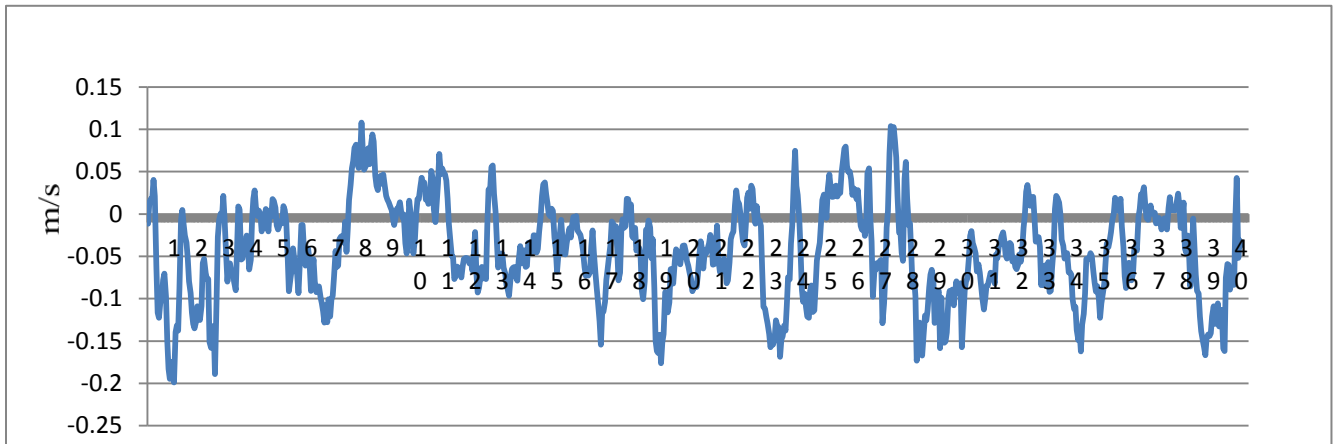
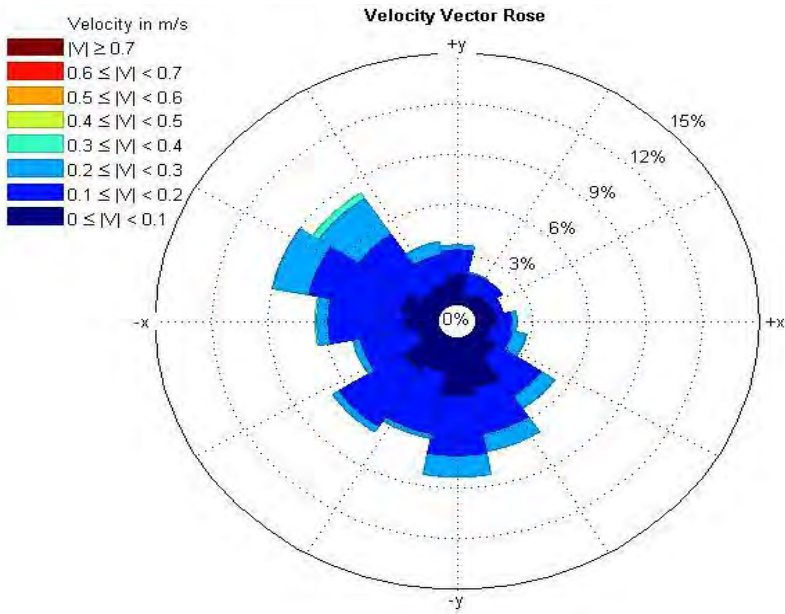


График 3: Z правац, А4-185



Слика 29 :Правац вектора брзина у тачки А4-185

Почетно стање, мерна тачка је у самом вртлогу.

- Тачка А4 – 185 – 4 (додат оквир за мотор, ламинатор и продужетак зида)

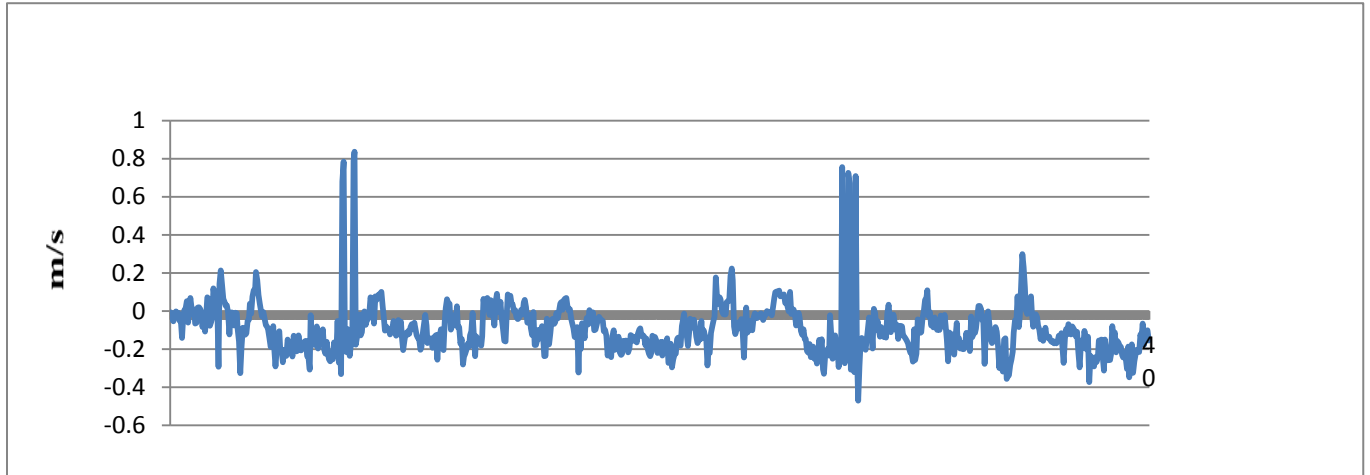


График 4: X правац, А4-185-4

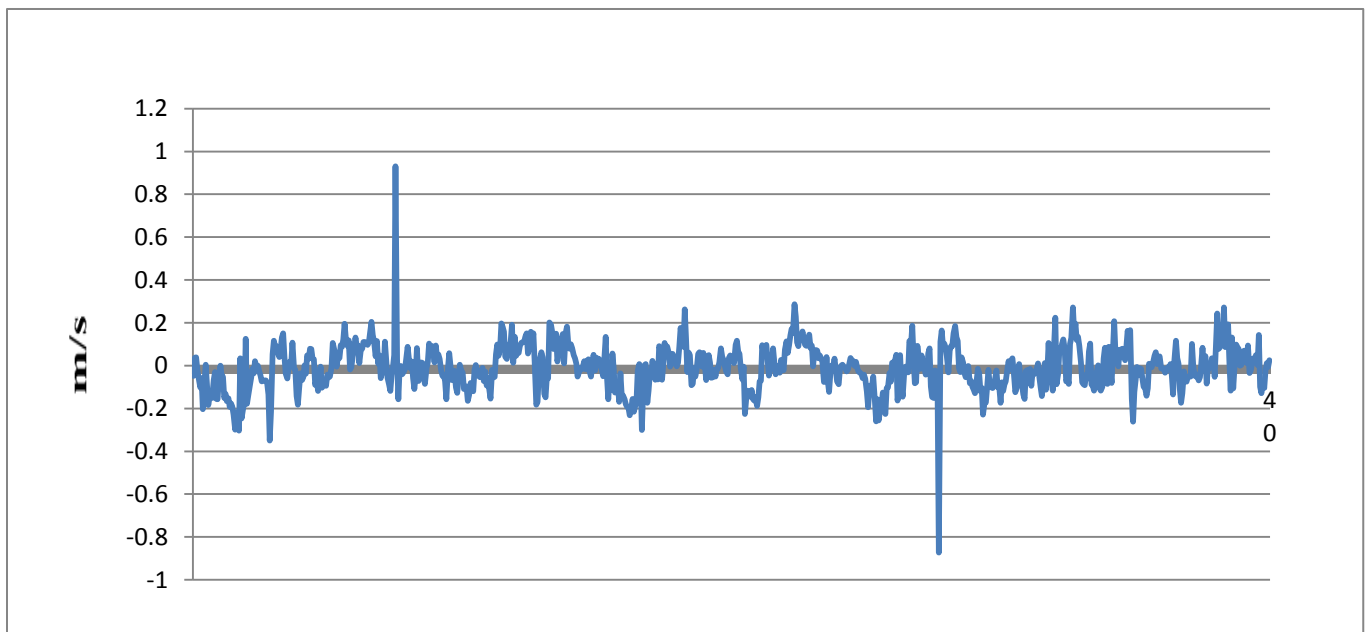


График 5: Y правац, А4-185-4

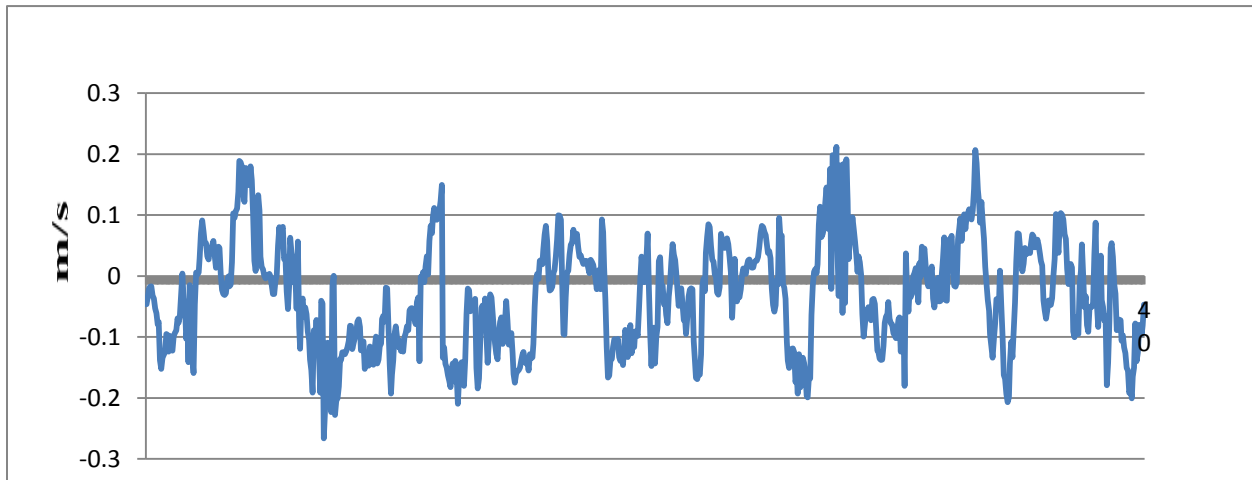
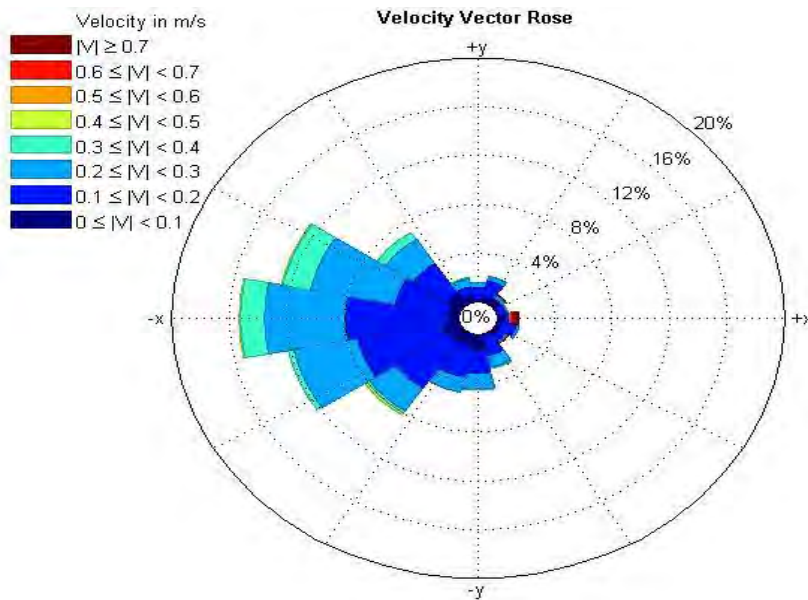


График 6: Z правац, A4-185-4



Слика 30 :Правац вектора брзина у тачки A4-185-4

Брзине се повећале у поређењу са почетним стањем.

- Тачка А4-185-4 (сређивано)

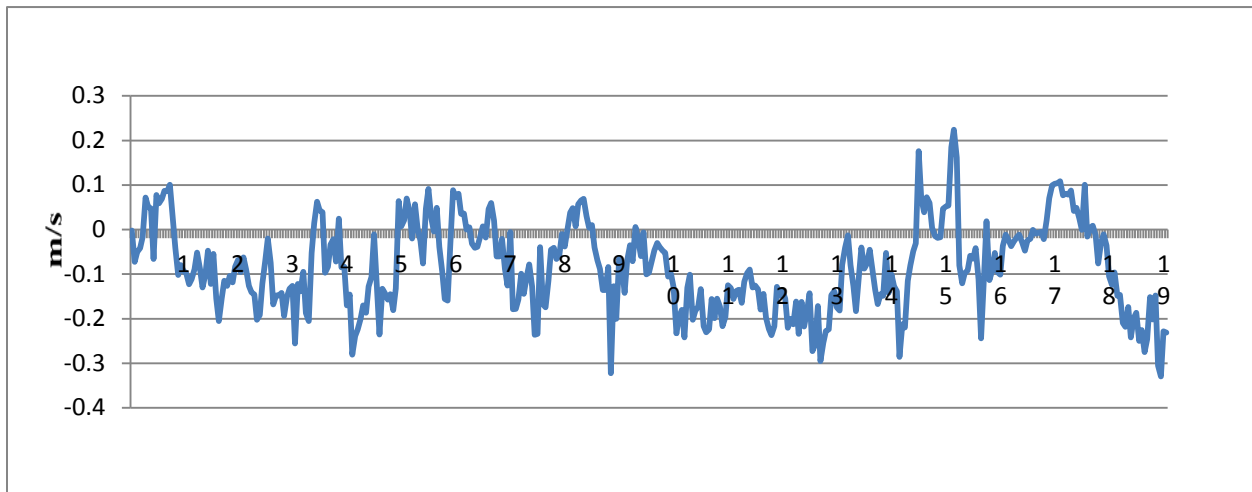


График 7: X правац, А4-185-4 сређено

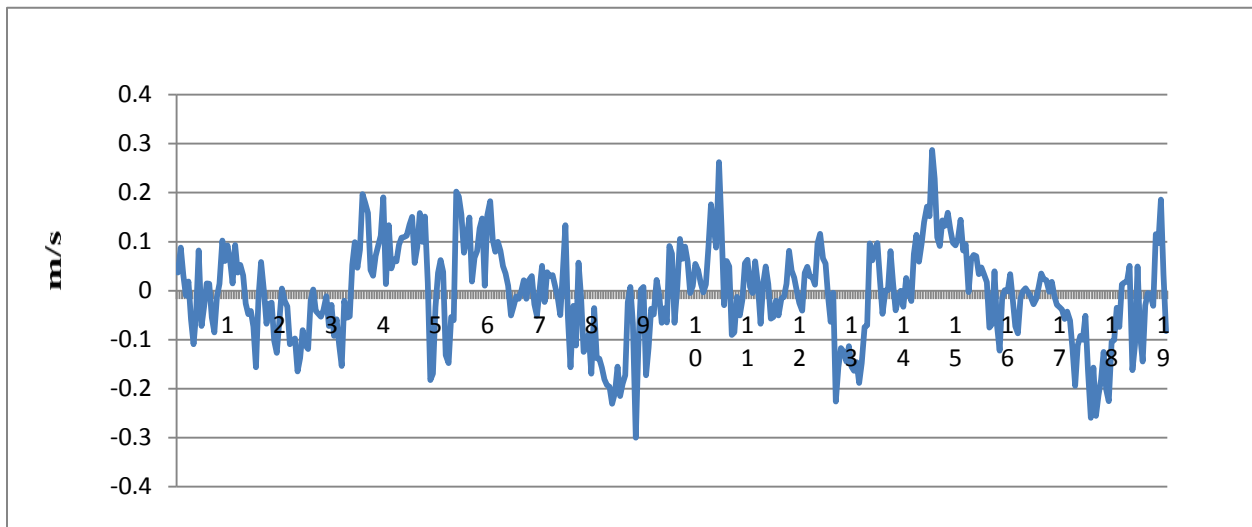


График 8: Y правац, А4-185-4 сређено

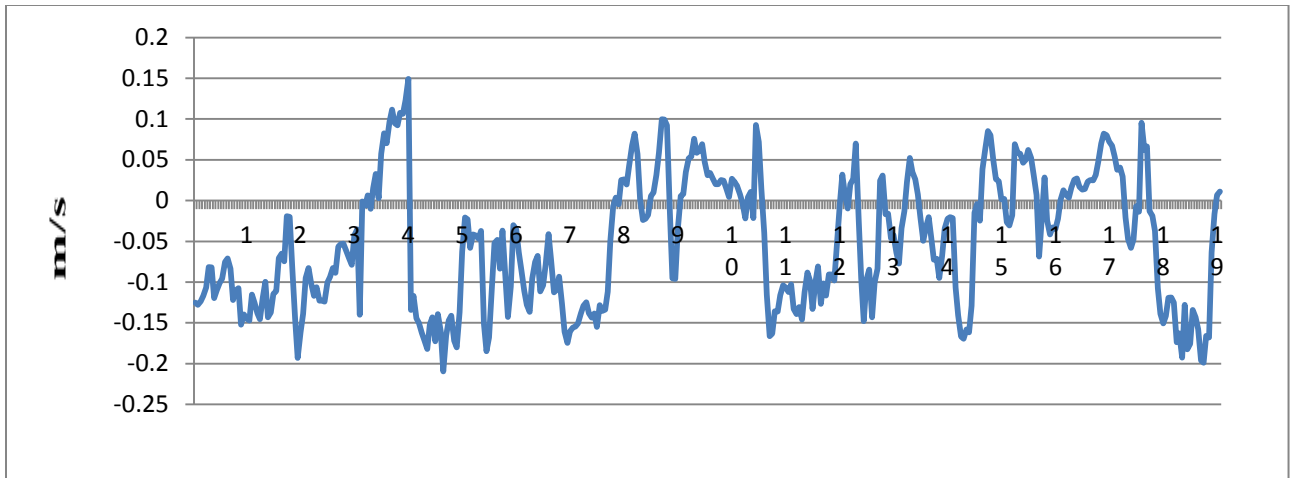
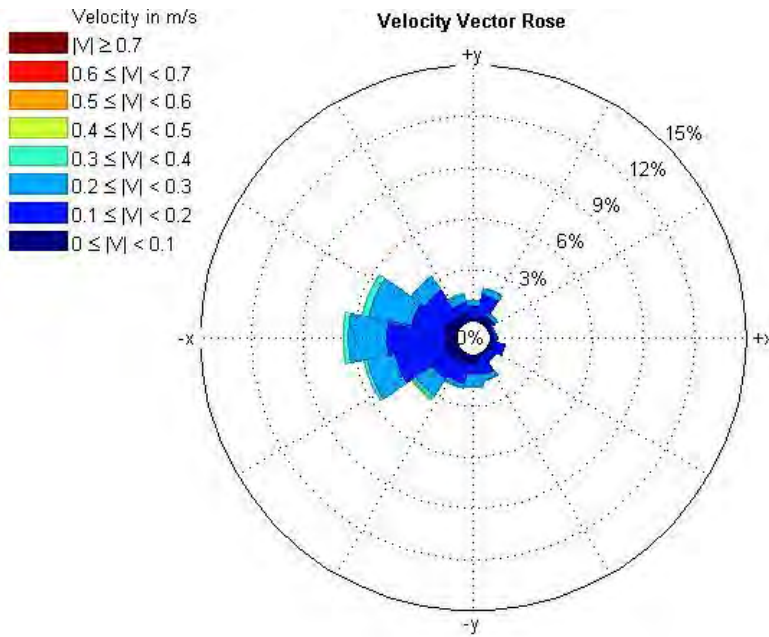


График 9: Z правац, A4-185-4 сређено



Слика 31: Правац вектора брзина у тачки A4-185-4(сређено)

Сређена претходна мерења и дат приказ реалног стања у којем се систем налазио.

- Тачка В2-135-6 (низводна тачка, крајње стање)

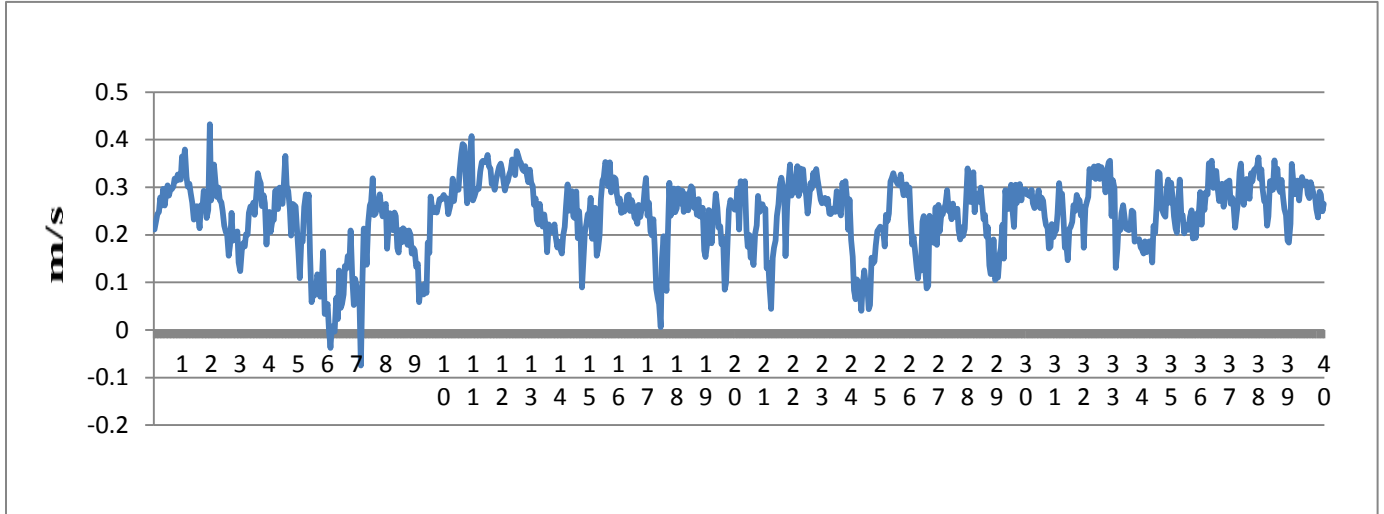


График 10: X правац, В2-135-6

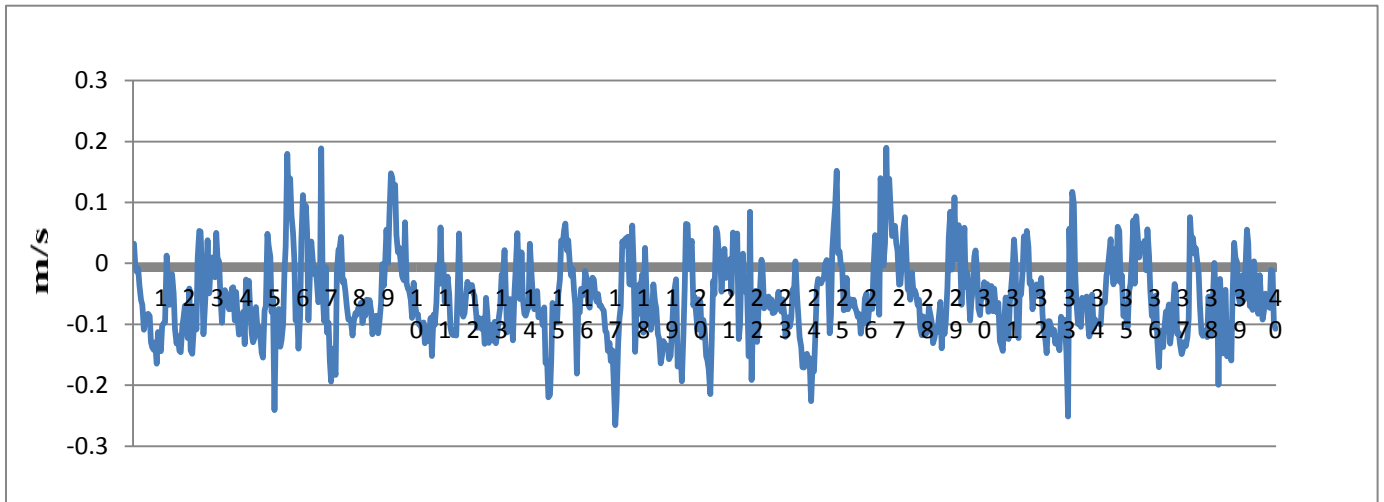


График 11: Y правац, В2-135-6

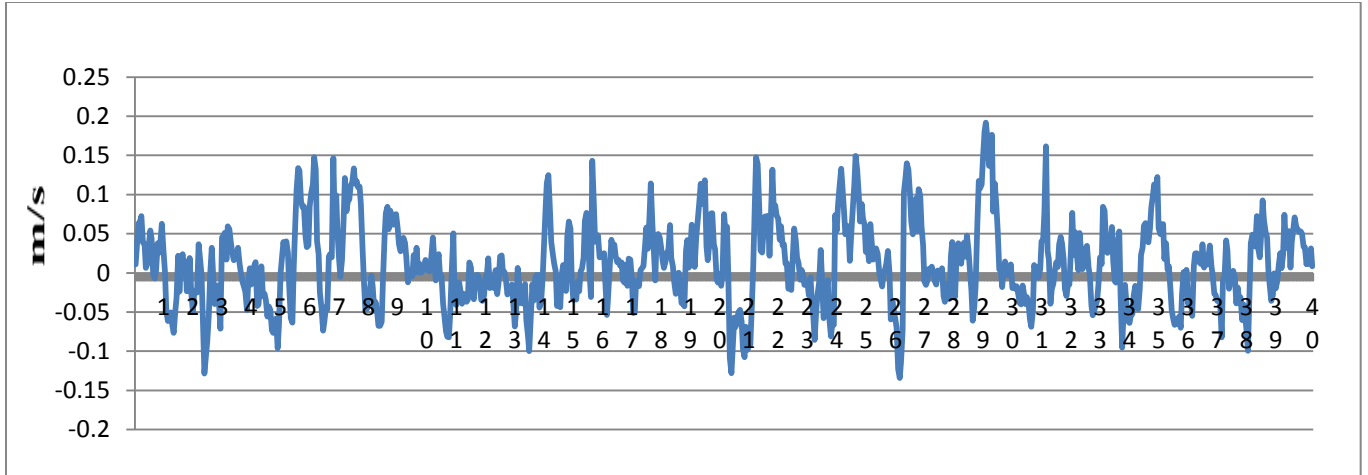
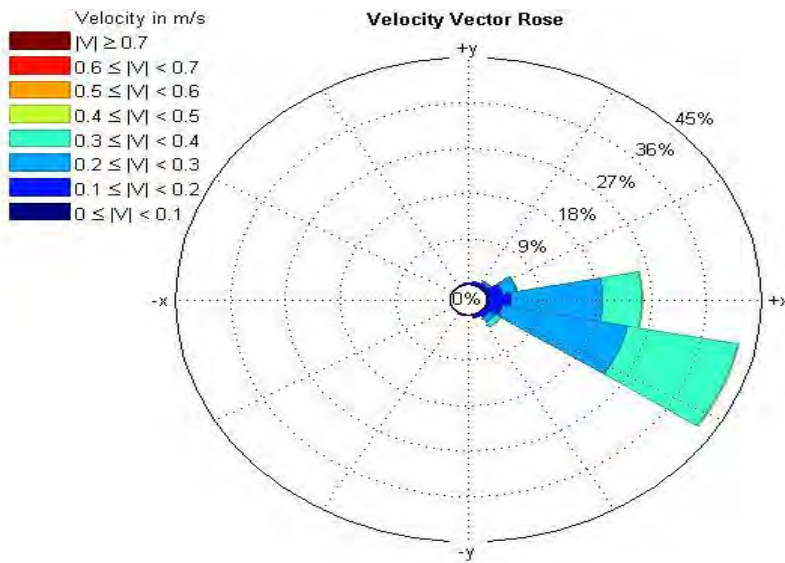


График 12: Z правац, B2-135-6



Слика 32 :Правац вектора брзина у тачки B2-135-6

Низводна тачка, доминирају компоненте у X правцу.

- Тачка А4-185 (мерење од 100 Hz, трајање 10s)

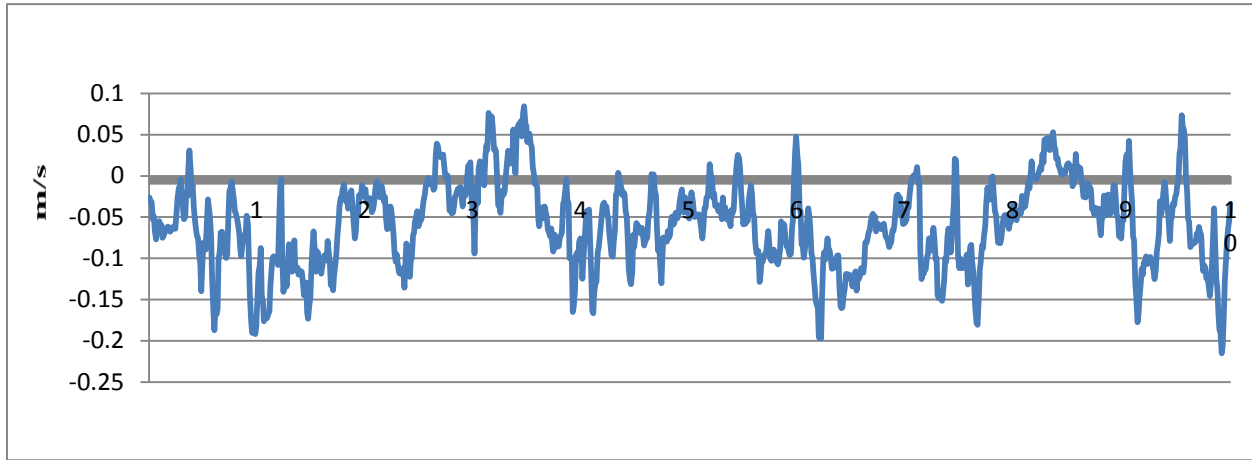


График 13 : X правац , А4-185 (100 Hz)

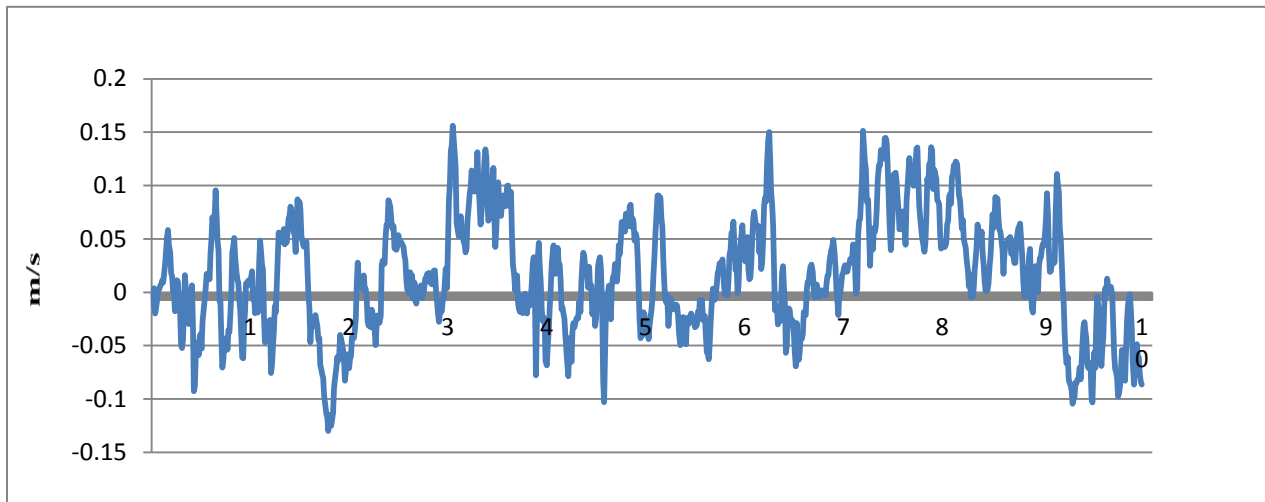


График 14: Y правац ,А4-185 (100Hz)

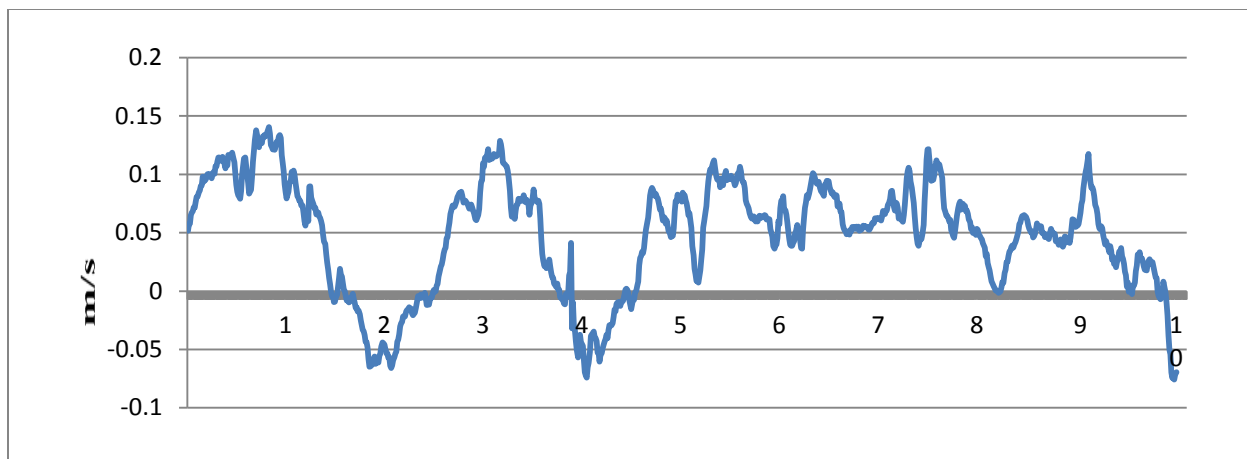
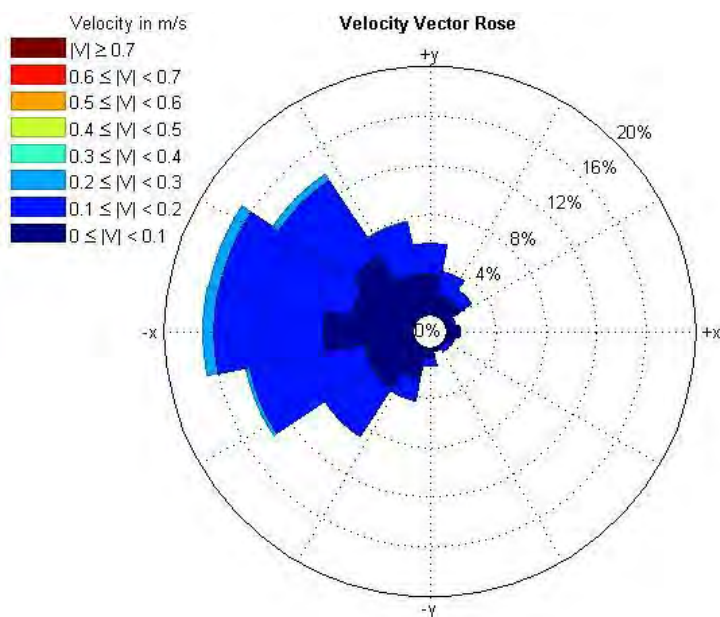


График 15: Z правац, A4-185 (100Hz)



Слика 33 :Правац бектора брзина у тачки А4- 185 (100 Hz)

Тачка се налази у вртлогу, отуда доста расипања правца вектора.

- Тачка В2-185 (мерење од 100 Hz, трајање 10s)

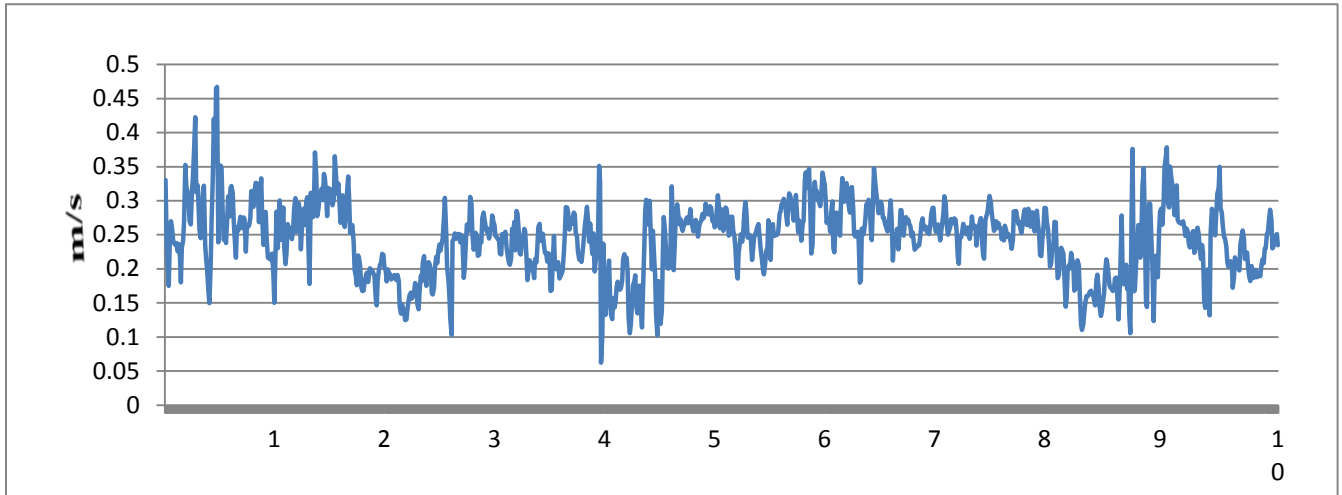


График 16 : X правац, В2-185 (100 Hz)

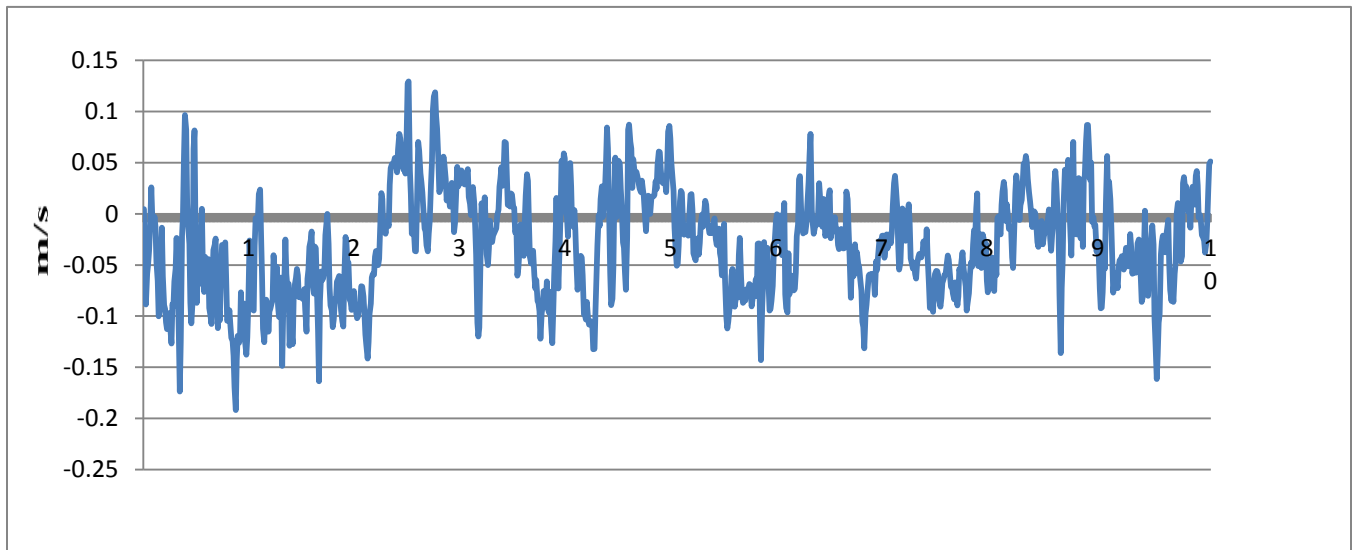


График 17: Y правац, В2-185 (100 Hz)

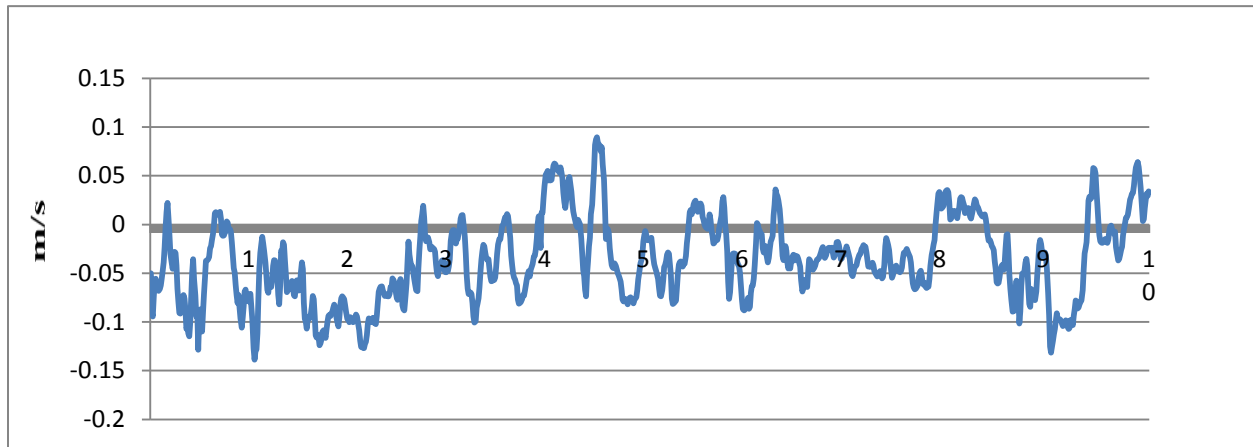
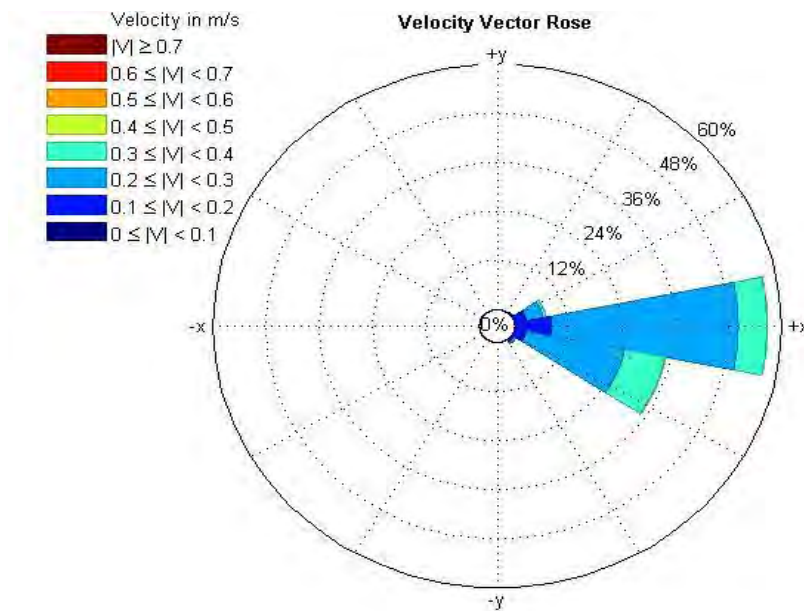


График 18: Z правац, B2-185 (100Hz)



Слика 34 :Правац вектора брзина у тачки B2-185 (100Hz)

Код овог мерења је још израженији X правац зато што низводно није била постављена решетка.

8. Литература

[1] Д. Продановић – *Скрипта са предавања из предмета Мерења у хидротехници*
http://hikom.grf.bg.ac.rs/web_stranice/KatZaHidr/Predmeti/Merenja/Literatura/Skripta/Tekst/Skripta.html

[2] Сајт произвођача мерне опреме Nortek
www.nortek.com

[3] *„Проблеми мерења брзине проводне течности у тачки електромагнетном методом и предлог решења“*

Здравко Ристић, Душан Продановић, Марко Иветић, Владимир Вујичић

[4] Семинарски рад студената на тему: *„Распоред брзина у лабораторијском каналу за праг“*, 2014.

[5] Семинарски рад студената на тему: *„Мерење брзине ADV Vectrino ултразвучном сондом“*, 2012.

[6] Адреса за објашњења за WindRose :
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17748-wind-rose>