

# Плочасти мешач тока као кондиционер струјања у цевима под притиском

Тијана Јовановић<sup>1</sup>  
Душан Продановић<sup>2</sup>  
Драгутин Павловић<sup>3</sup>  
Немања Бранисављевић<sup>4</sup>

**АПСТРАКТ:** Мерила протока на системима под притиском постижу своју декларисану тачност само ако је испуњен услов о праволинијском струјању и осносиметричном распореду брзина на месту њихове уградње. Произвођачи мерила прописују минималне потребне дужине праволинијских деоница испред и иза мерила. На терену такви захтеви ретко могу да се остваре, па је потребно струјну слику у зони постављања мерила на неки начин побољшати. Један од ефикасних начина је уградња кондиционера струјања. У раду је приказана конструкција плочастог мешача тока, дају се основни конструктивни подаци као и резултати лабораторијског испитивања кондиционера пречника 250 mm. На самом крају дата су запажања у вези потврде ефикасности као и препоруке о употребљивости разматраног кондиционера.

Кључне речи: Кондиционер струјања, профил брзина, мерење протока

## Tab-type flow conditioner in presureased systems

The complex pressurized pipelines layouts are usually unsuitable for the flow measurement since most devices assume and will reach its accuracy only for regular flow field. As the consequence, the accuracy of installed device is in most cases worse than rated accuracy. The flow conditioners are budget devices which can establish fully developed flow field in hydraulically hard environment, and to enable the use of the standard flowmeters in their declared accuracy. In this paper the laboratory investigations of one of the tab-type, modern flow conditioner construction is presented. The flow conditioner is constructed and tested at the 250 mm pipe diameter and some results of velocity profile measurements are presented.

Key words: Flow Conditioners, Tab-Type, Fully Developed Turbulent Profile

---

<sup>1</sup> Тијана Јовановић, студент мастер студија, Грађевински факултет, [tijanajovanovic@outlook.com](mailto:tijanajovanovic@outlook.com)

<sup>2</sup> Др, Душан Продановић, професор, Грађевински факултет, [erodano@hikom.grf.bg.ac.rs](mailto:erodano@hikom.grf.bg.ac.rs)

<sup>3</sup> Мр, Драгутин Павловић, асистент, Грађевински факултет, [eravlov@hikom.grf.bg.ac.rs](mailto:eravlov@hikom.grf.bg.ac.rs)

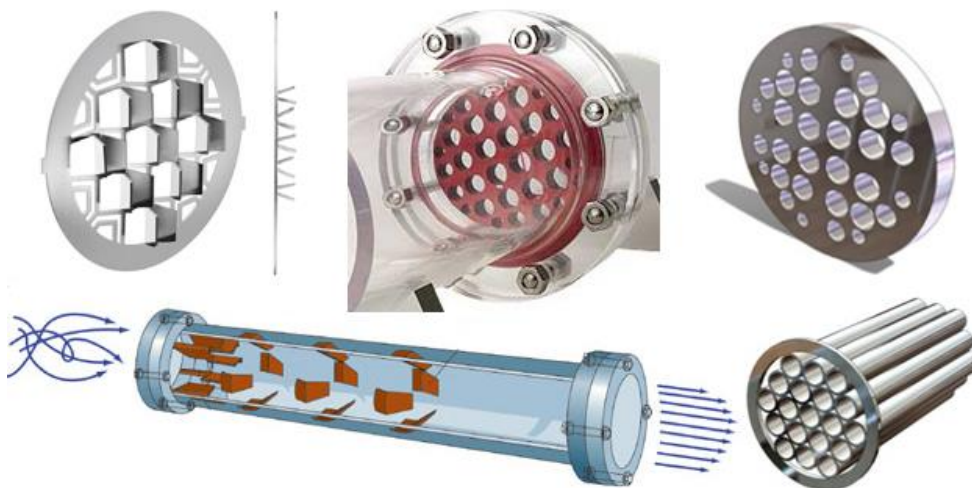
<sup>4</sup> Др, Немања Бранисављевић, асистент, Грађевински факултет, [nemanja@hikom.grf.bg.ac.rs](mailto:nemanja@hikom.grf.bg.ac.rs)

# 1 Увод

Основна претпоставка код свих мерила протока на цевима под притиском је постојање праволинијског струјања и односиметричног распореда брзина на месту уградње. У таквим условима се врши и калибрација мерила код произвођача.

Постављањем мерила протока на место где струјна слика одступа од идеалне, добијају се мерења смањење тачности, изван класе декларисане за уграђено мерило. До поремећаја струјне слике долази услед било какве нагле промене правца цеви (колена, рачве) или постављањем препрека флуидној струји (затварачи). Те неправилности које се као последица оваквих промена јављају, а значајно утичу на мерења, су завојно струјање и неравномеран распоред брзина по профилу. Неправилности ће се умањити или потпуно нестати на дугачким деоницама правих цеви као резултат дифузије и турбулентног мешања. Како су дугачке деонице правих цеви на терену редак случај потребно је наћи адекватно решење. У литератури се могу наћи разни начини за решавање проблема [1,2] а као један од економичнијих наводи се коришћење кондиционера тока.

Постоји више типова кондиционера (слика 1) са различитим утицајима на различите флуиде. Неки типови кондиционера су погоднији за ваздух, други за нафту, док је трећима улога редуковање завојног струјања. У литератури [7] се за воду препоручује плочасти мешач тока, који решава проблем неравномерног распореда брзина по профилу и завојног струјања, док се као додатна повољност наводи да је пад притиска у зони плочастог мешача много мањи у односу на друге типове кондиционера.



Слика 1. Типови кондиционера струјања (први ред: кондиционери типа турбулентних решетки, други ред са лева на десно: плочасти мешач тока, цеваста ламинатор)

Предмет истраживања овог рада је експериментална конструкција и испитивање плочастог мешача тока. Конструкција плочастог мешача тока се базира на производу компаније “Vortab” чије су препоруке за израду, једним делом, дате на интернет страници компаније [8] док су остали подаци усвојени интуитивно.

## 2 Опис плочастог мешача тока

Принцип рада плочастог мешача тока је да се помоћу низа препрека, плочица постављених на зид цеви, прво поништи завојно струјање а затим уз помоћ изазване секундарне турбуленције утиче на формирање стабилнијег, развијеног турбулентног профила брзина. Тиме се на много краћем растојању постиже стабилизација профила брзина него ако се то препусти самој флуидној струји. Једна од значајних предности овакве конструкције је и мали пад притиска у зони кондиционера као и непостојање препреке која у потпуности затвара профил цеви, као што је то случај са разним турбулентним решеткама или ламинаторима.

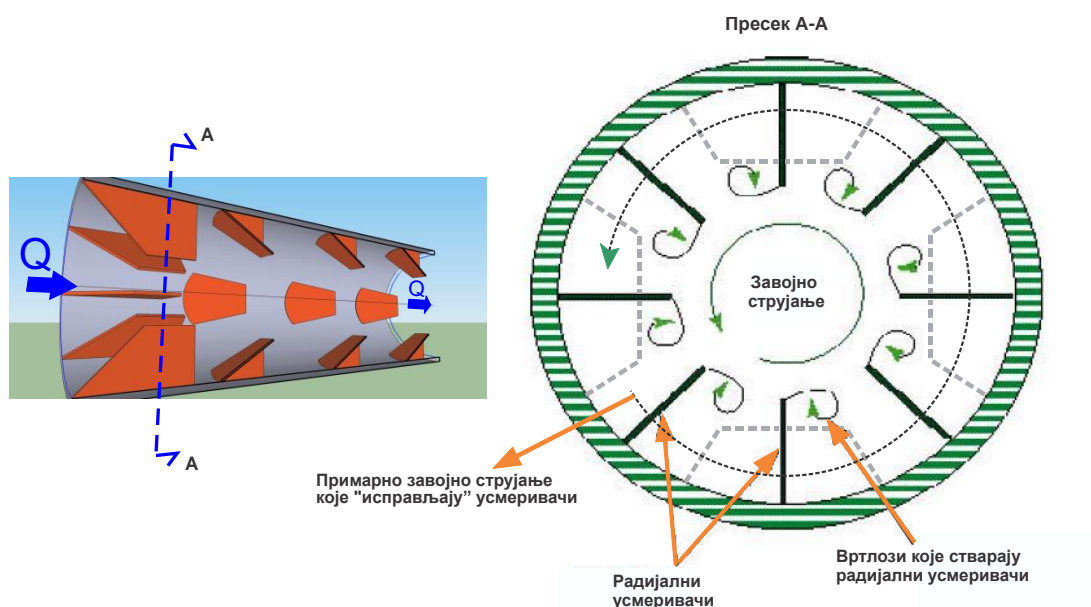
### 2.1 Начин рада

Принцип рада [8] је, као што је већ напоменуто, заснован на систему плочица уграђених у цев. Користе се два типа плочица: 1) радијални усмеривачи и 2) плочасти мешачи

#### 2.1.1 Радијални усмеривачи

Радијални усмеривачи имају улогу да смање завојно струјање. Има укупно осам усмеривача који су равномерно распоређени по обиму цеви на узводном крају кондиционера, тако да су управљени дуж осе цеви (слика 2).

Примарни задатак усмеривача је да улазно завојно струјање флуида „исправи“. Такође, завојно струјање проузрокује генерисање појединачних вртлога на свакој од осам усмеривача са смером ротације супротним од смера ротације главног тока (слика 2), што доводи до њиховог међусобног поништавања.



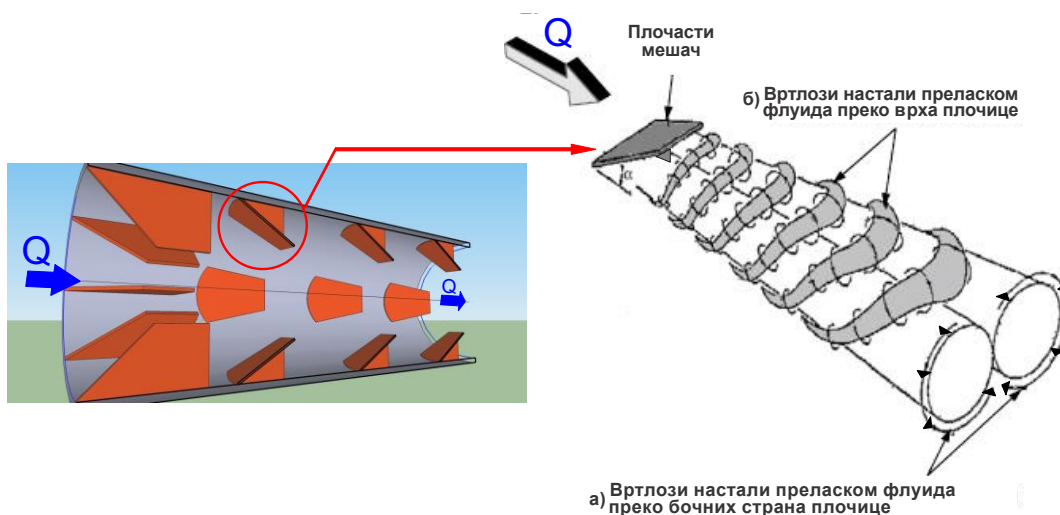
Слика 2. Принцип рада радијалних усмеривача

## 2.1.2 Плочасти мешачи

Низводно од радијалних усмеривача постављају се плочасти мешачи. Они својим изгледом и функцијом подсећају на крило авиона. Постављени су у правцу струјања флуида, под одређеним углом на унутрашњи зид цеви, тако да је доња ивица заварена на зид цеви док су бочне и горња ивица „урођене“ у флуид. Оваквом диспозицијом се обезбеђује двоструко дејство плочастих мешача на флуидну струју:

а) Приликом преласка флуида преко бочних страна плочастих мешача (плочице) генеришу се два вртлога са супротним смером ротације, са сваке стране плочице по један. Оса око које вртлози ротирају је паралелна оси цеви (слика 3)

б) Приликом преласка флуида преко горње стране (врха) плочастих мешача низводно се стварају тзв. „hairpin“ вртлози (слика 3). Њихова улога је да флуид који се налази изнад плочице, у непоремећеној струји, увлаче у зону турбулентног мешања описаног под а) и тако обезбеђују турбулентно мешање по читавом профилу цеви.



Слика 3. Принцип рада плочастих мешача

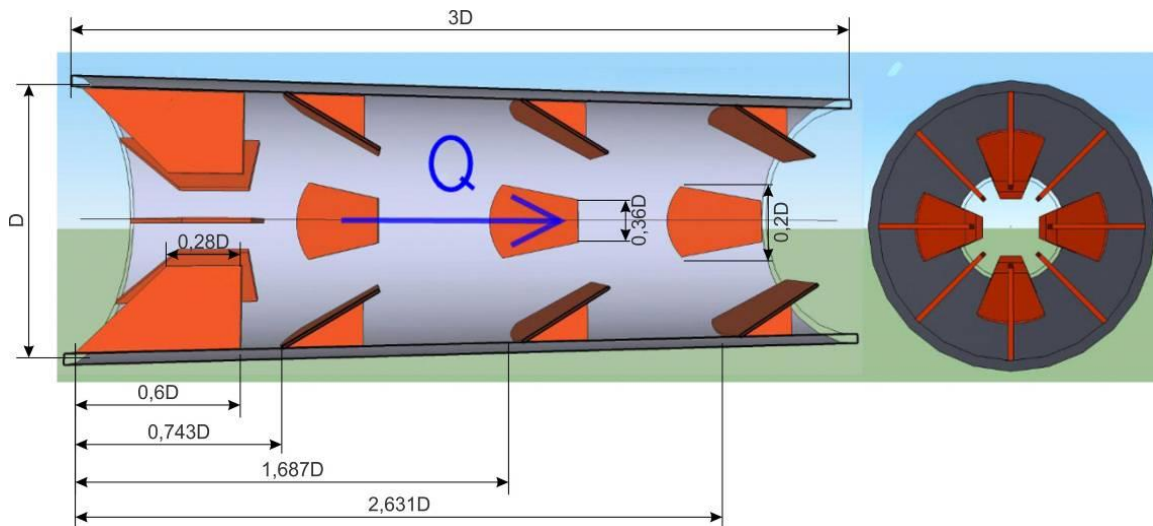
Поспешено турбулентно мешање по читавом пресеку ценовода значајно убрзава процес развоја турбулентног, теоријског профила брзина. Зоне мањих брзина се на овај начин мешају са зонама већих брзина што доводи до убрзавања флуида у зонама мањих брзина, односно успоравања флуида у зонама већих брзина.

Коначни резултат дејства плочастих мешача тока, када се комбинује дејство радијалних усмеривача и плочастих мешача, је развијен и симетричан профил брзина без завојног струјања. Тиме се повећава тачност и поновљивост мерног уређаја постављеног низводно од мешача уз минималан пад притиска.

## 2.2 Конструкција

Плочасти мешач тока се може релативно лако направити у сопственој режији. Могућа су два начина његовог конструисања. Први је да се направе само плочице и усмеривачи, а затим се директно заваре на већ постојећу цев. Ова варијанта се

препоручује само ако је цев довољно великог пречника, ради лакшег маневрисања у процесу варења и ако кондиционер треба да трајно остане у цеви. Други начин конструисања је да се направи кружни уметак на који се потом заваре делови кондиционера, што касније омогућава лакше уклањање из цеви без њеног оштећивања.



Слика 4. Плочасти мешач тока

Као што је наведено у делу 2.1.1 радијалних усмеривача има укупно осам и равномерно су распоређени по обиму цеви на узводном крају кондиционера. Након њих постављају се, на одређеним растојањима, плочасти мешачи и то у 3 пресека по 4 симетрично распоређена мешача (слика 4). За потребе лабораторијског испитивања направљен је мешач тока као уметак, пречника  $D=250\text{ mm}$ .

### 3. Метод испитивања и опис инсталације

Испитивања плочастог мешача тока извршена су на лабораториској инсталацији у Институту за хидротехнику Грађевинског факултета Универзитета у Београду. За потребе експеримента формирана је нова испитна линија.

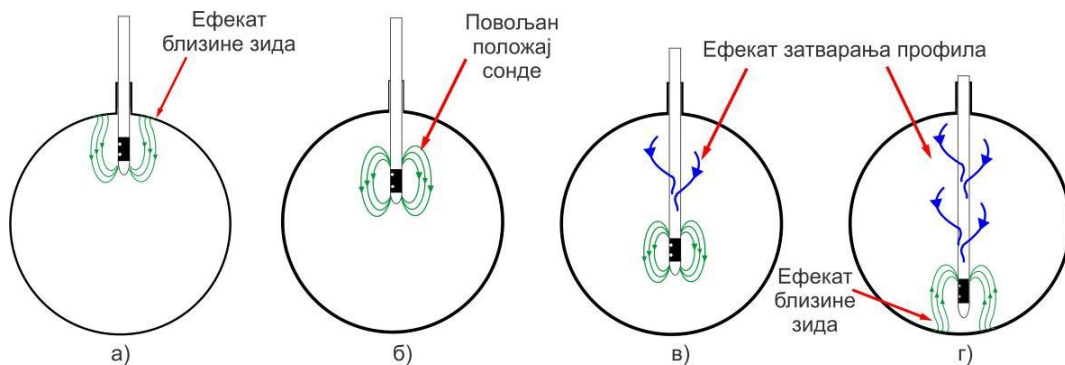
Мерења профила брзина су подељена у две серије, прва без кондиционера и друга са њим. Мерења су вршена електромагнетном сондом „Logомер 18” (Свет Инструмената, Београд), пречника  $\text{Ø}18\text{mm}$ , базна дужина  $1000\text{ mm}$ . Сонда мери брзину флуида у тачки (односно, у релативно малој мерној запремини) уз осредњавање од 4 секунде. Бележење очитаних брзина вршено је логером, снимањем резултата мерења на пола секунде.

Електромагнетна сонда је увођена у цев кроз уводнице са кугластим вентилима, у 3 правца. Гледајући низ цев у правцу тока воде, увођење је вршено: хоризонтално са леве стране (ознака на каснијим дијаграмима ХЛ), хоризонтално са десне стране (ознака на дијаграмима ХД) и вертикално одозго (ознака на дијаграмима ВО). Мерење у сваком од правца је вршено у више тачака дуж линије увођења сонде; првих 11 тачака на по  $1\text{ cm}$ , затим 6 тачака на  $2\text{ cm}$  и још 7 тачака по  $1\text{ cm}$ , укупно у 24 тачке (за сваки од положаја, мерен је распоред брзина

сондом од зида до зида цеви). У хоризонталном правцу је, практично, мерена иста брзина из два правца (са леве и са десне стране) да би се установио и утицај присуства саме сонде на распоред брзина.

Ранијим испитивањима је утврђено да постоје два ефекта утицаја коришћених електромагнетних сонди на резултате мерења профила брзина у челичним цевоводима: утицај самог зида цевовода на рад сонде и утицај присуства сонде пречника 18 mm на профил брзина [6].

1. Утицај присуства челичног цевовода – близина зида. Док је сонда релативно „плитко“ увучена у цев, она својим присуством не ремети много брзине. Међутим, код челичних цевовода долази до ефекта „крађе“ дела магнетног поља саме сонде (слика 5-а), које се затвара кроз цевовод и тиме смањује осетљивост сонде. Резултат је да за исту брзину, сонда у близини зида од магнетичног материјала показује мање брзине. Ефекат „крађе“ се одвија и када сонду потпуно увучемо у цев где сада имамо ефекат зида са супротне стране (слика 5-г).
2. Утицај електромагнетне сонде на мерене брзине – затварање профила. Када се сонда „увуче“ дубље од половине профила, она својим присуством (цилиндар пречника 18 mm) почиње значајно да смањује мерни профил и изазива локално повећање брзина (слика 5-в и 5-г). Те промене нису директно повезане само са локалним смањењем протицајног пресека цевовода.

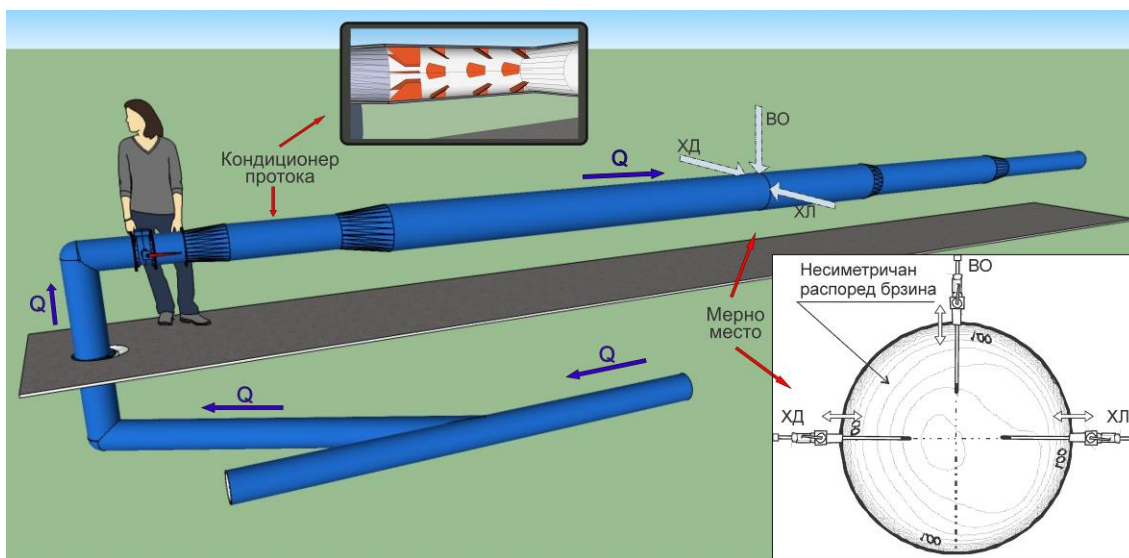


Слика 5. Зоне утицаја на мерење профила брзина

На слици 5 су приказане четири зоне утицаја ЕМ сонда/зид цевовода/профил брзина. Прва зона: значајан утицај зида (слика 5а), очекује се да ће резултати подбацивати теоријске вредности. Друга зона: зона повољног положаја (Слика 5б), сонда је довољно удаљена од зида, не ремети се њено магнетно поље и нема значајнијег затварања профила цеви подужним пресеком сонде. Трећа зона: почиње да се осећа утицај затварања профила (слика 5в). Око сонде постоји локално повећање брзина, услед чега се очекује да ће резултати пребацивати теоријске вредности. Четврта зона је и најнеповољнија (слика 5г) где се мешају утицаји близине зида и затварања профила.

Под предпоставком да важи теоријски распоред брзина, корекција профила брзина је представљена као однос теоријске брзине и осредњене брзине у тачки. Брзине су осредњене по профилу јер на брзине утиче увученост сонде, без обзира са које стране се увлачење изврши, тако да ће се корекције извршити према средњој вредности брзина из свих правца мерења. Као референтне су узете

брзине измерене са присуством плочастог мешача тока у цеви, јер се очекује да су тачније.



Слика 6. Лабораторијска инсталација са приказом позиције кондиционера протока, мерног места и начином увлачења сонде у цев

На слици 6 приказана је испитна линија. Могу се уочити узроци деформације струјне слике: узводна рачва, два колена и лептирасти вентил DN200. Претходна испитивања мерила на сличној испитној линији указала су да ове 4 везане опструкције току воде стварају поремећај довољног интензитета да утичу на правилно мерење. Посебно у условима када се притвори лептирасти вентил.

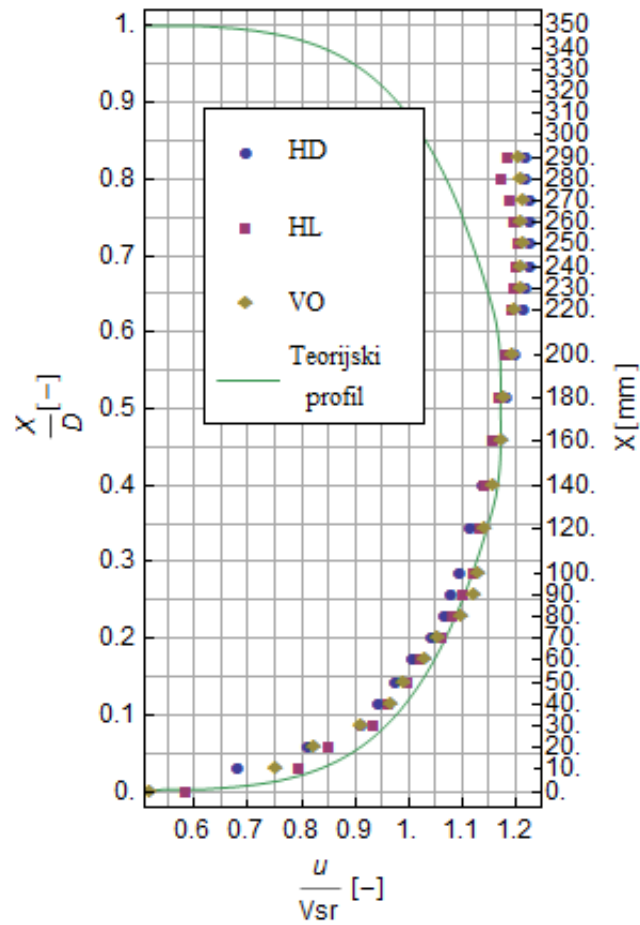
Низводно од лептирастог вентила и дифузора налази се комад цеви DN250 у коме се монтира уметак са плочастим мешачем тока. Низводно следи опет дифузор и прелазак на цевовод DN350 на коме се налази мерно место (слика 6), удаљен  $16.4D$  од кондиционера (апсолутно удаљење 4.1 m).

## 4. Резултати и дискусија

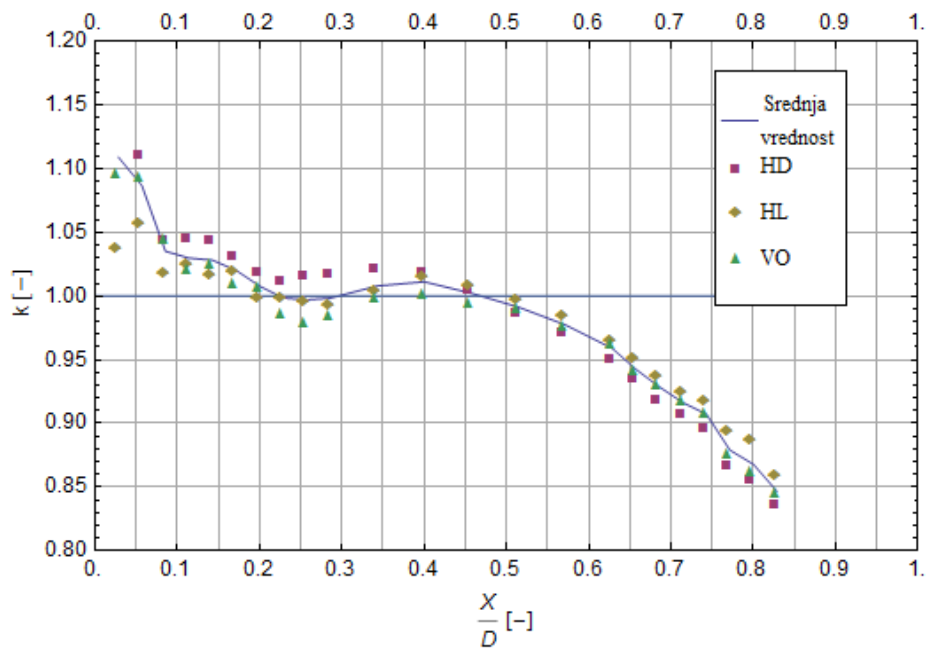
### 4.1 Утицај сонде на профил брзина

Добијени „сирови“ резултати (без уклањања ефеката сонде) дати су на слици 7. На дијаграмима су представљене средње вредности брзина очитаних у појединим тачкама при различитим начинима увлачења сонде у цев (под тачком 3 су објашњене ознаке на дијаграмима). Мерење је извршено са присуством кондиционера тока у цеви.

Уочава се јасно да брзине подбацују вредности до неких  $30\% D$ , добро прате теоријски профил брзина у зони од  $30\% D$  до неких  $60\% D$  и затим да до коначно могуће дубине уласка сонде у цевовод имају пребацивање теоријске брзине. Како су се почетне претпоставке о зонама утицаја потврдиле може се кориговати профила брзина.



Слика 7. Дијаграм профила брзина за различите начине увлачења сонде у цев, са плочастим мешачем тока у цеви



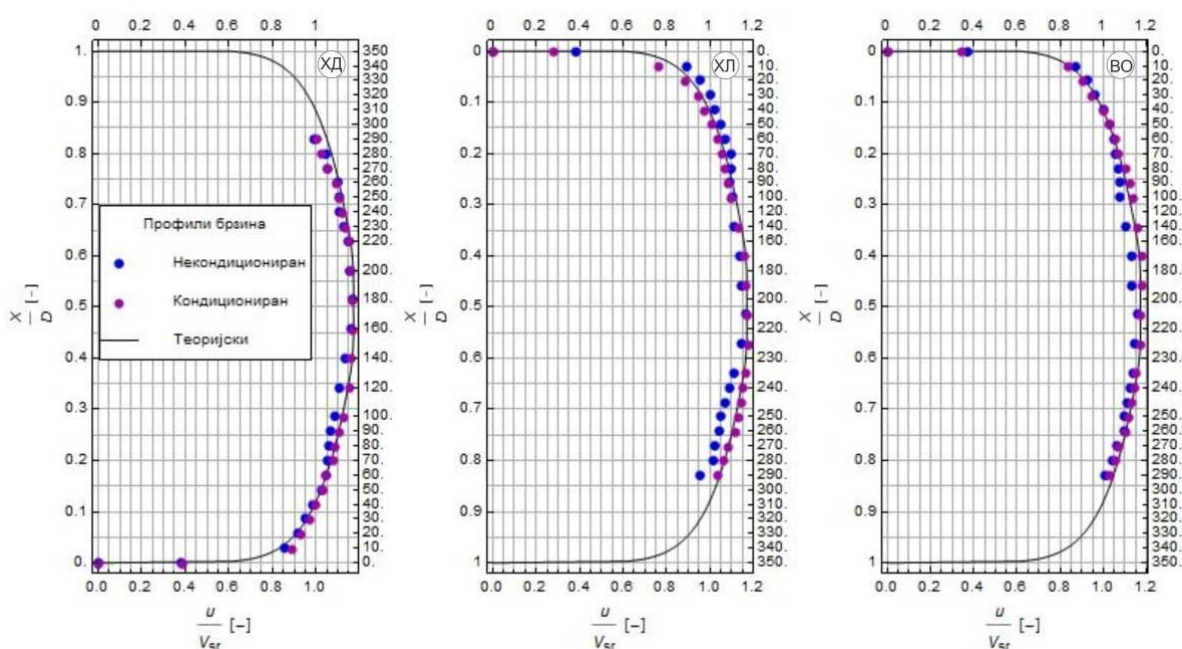
Слика 8. Корекциони фактори за сваку од тачака, за однос пречника цеви и сонде 350mm/18mm



Дијаграм корекционих фактора за сваку од тачака дат је на слици 8. Са тим вредностима се множе сирове мерене вредности брзина. Напомиње се да добијени корекциони фактори важе само за однос пречника цеви и сонде 350mm/18mm.

## 4.2 Профил брзина

Након одређивања корекционих фактора можемо приступити корекцији измерених резултата. На слици 9 су приказане кориговане вредности брзина. Плаве тачке представљају вредности брзина без присуства кондиционера док су љубичасте тачке брзине са присуством кондиционера у цеви. Пуном линијом је означен теоријски профил брзина. Може се видети да брзине са кондиционером много боље прате теоријски распоред брзина док брзине без кондиционера негде пребацују а негде подбацују вредности теорисјких брзина.

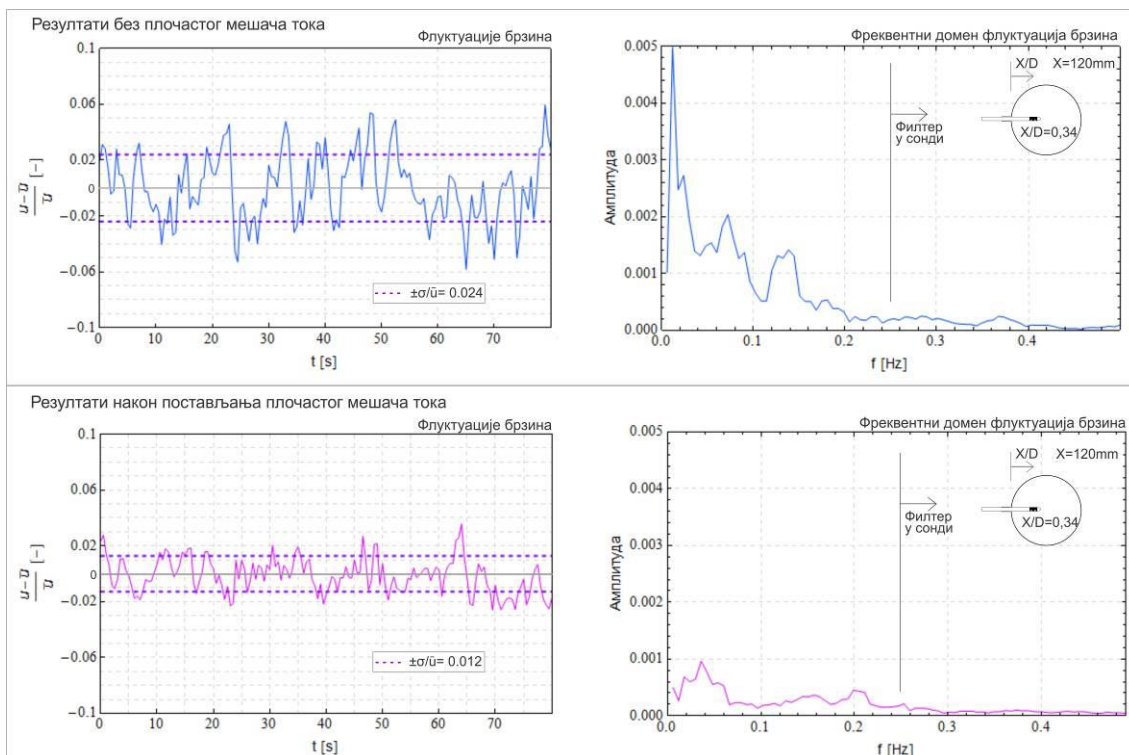


Слика 9. Дијаграми коригованог профила брзина за различите начине увлачења сонде у цев (уклоњен утицај увучености сонде)

## 4.3 Турбулентне карактеристике тока

Ефекат кондиционера се може видети на слици 10, где су приказане две временске серије флукуација брзина снимљене у истим тачкама, са и без кондиционера (леви део слике). У случају без кондиционера, види се да постоји нешто већи однос „Peak-to-Peak“ као и постојање нешто нижих фреквенција у сигналу. Стандардна девијација (ниво турбуленције) је нижа са кондиционером.

На слици 10 десно, приказане су фреквентне карактеристике временске серије, односно расподела енергије тока по величини вртлога, за једну мерну тачку. У случају без кондиционера (слика 10, десно, горе), види се постојање значајнијих већих вртлога (опсег ниже фреквенције на дијаграму). Стављањем кондиционера, примећује се (слика 10, десно, доле) да је плочасти мешач извршио прераспodelу вртложених карактеристика тока у зону виших фреквенција поделом већих вртлога на већи број мањих вртлога.



Слика 10. Анализа турбуленције у тачки  $X/D=0.34$  за правац ХД

Анализирајући дијаграме (слика 10), треба имати на уму да сама коришћена електромагнетна сонда има уграђен филтер нископропусник са временском константом од 4 секунде. Због тога на спектралним дијаграмима и није могуће видети мање вртлоге.

## 5. Закључак

На основу претходно приказаних резултата и њиховог разматрања, недвосмислено се потврђује да плочасти мешач флуида, као кондиционер струјања, има способност да умири поремећену струјну слику са израженим великим вртлогом. То подразумева да се добије струјање које карактерише приближно стабилан развијен профил брзина у турбулентном режиму течења и то на краћој дужини цевовода него да се умирење препусти самом току. Тиме се омогућава да се мерење протока и на наповољним позицијама врши мерним методама и мерним уређајима који, иако у нижој ценовној категорији, постижу захтевану тачност мерења.

Неколико важних закључака се може донети из испитивања на лабораторијској инсталацији:

- Изабрана мерна деоница која је  $16.4 D$  удаљена од поремећаја је „релативно“ добра и без кондиционера, па нису добијени довољно упечатљиви резултати. Боље би било да су мерења извршена у попречном профилу ближем поремећају.
- Утицај коришћене сонде на струјно поље је било истог или нешто већег реда величине као ефекат кондиционера на струјно поље. Из обављених мерења је добијено да су брзине у мерном профилу „симетричније“ и да више одговарају

теоријском профилу, али није могуће са већом поузданошћу то квантификовати.

- Коришћена сонда мери и попречну (овде, радијалну) компоненту брзине (у овом раду нису приказани ти резултати), која је квалитативно јасно указала на постојање завојног струјања, али због утицаја близине зида на сонду, није могуће те резултате квантификовати.
- Коришћена сонда не може да мери флукуације брзина испод 4 секунда, те не омогућава увид у садржај енергије малих вртлога.

На жалост, осим одабира ближе локације за нека будућа мерења, Институту за хидротехнику и водноекколошко инжењерство, на Грађевинском факултету Универзитета у Београду не поседује тренутно бољу опрему за мерење распореда брзина у води, без поремећаја тока. Ако се укаже могућност да се мерења обаве применом ласер доплер технике или PIV (Particle Image Velocimetry), биће могуће унапредити ова мерења и обавити јасну квантификацију ефеката кондиционера на струјање.

## Захвалност

Аутори се захваљују Министарству просвете и науке, под чијим се финансирањем одвија научни пројекат TR37010 „Системи за одвођење кишних вода као део урбане и саобраћајне инфраструктуре”, у оквиру кога је извршено истраживање приказано у овом раду.

## Литература

1. R.W. Miller (1983.) *Flow Measurement Handbook*, McGrawHill Book Company.
2. Д.Продановић, *Мерења у хидротехници*, скрипте са предавања, расположиве на Интернет локацији
3. [http://www.hikom.grf.bg.ac.rs/web\\_stranice/KatZaHidr/Predmeti/Merenja/Literatura/Skripta/Tekst/Skripta.html](http://www.hikom.grf.bg.ac.rs/web_stranice/KatZaHidr/Predmeti/Merenja/Literatura/Skripta/Tekst/Skripta.html)
4. Д.Продановић (2007.) *Механика флуида за студенте грађевинског факултета*, Грађевински факултет Универзитета у Београду
5. Philip D. Baker (2007.) *Effect of Flow Conditioning on Liquid Measurement*, Class #2120, предавање на Оклахома универзитету, САД, у оквиру *International School of Hydrocarbon Measurements*, pdf датотека, Интернет.
6. Д.Илић (1999.) *Експериментално истраживање профила брзина у приближно идеалним мерним условима*, дипломски рад, Грађевински факултет Универзитета у Београду
7. <http://www.ceasiamag.com/article/flow-conditioners/2007>, Интернет линк ка часопису Control Engineering Asia China, чланак *Flow Conditioners*, аутор Дон Lundberg, октобар 2006.
8. <http://www.vortab.com>, Интернет адреса компаније Vortab, произвођача кондиционера тока.