

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**

**Грађевински факултет**

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша Милашиновића, маг. инж. грађ.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донетој на седници одржаној 19.11.2020. године (одлука бр. 288/10-19), именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Милашиновића, маг. инж. грађ. под насловом:

### **МЕТОДОЛОГИЈА ЗА БРЗУ АСИМИЛАЦИЈУ ПОДАТАКА У МОДЕЛИМА ОТВОРЕНИХ ТОКОВА**

Докторска дисертација је написана на српском језику у складу са важећим Правилником о докторским студијама на Универзитету у Београду. Наслов дисертације на енглеском језику гласи:

### **FAST DATA ASSIMILATION METHODOLOGY FOR OPEN CHANNEL FLOW MODELS**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### **1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације**

Кандидат Милош Милашиновић, маг. инж. грађ. уписао је докторске студије на Грађевинском факултету, Универзитета у Београду, школске 2015/16. године. На седници Катедре за хидротехнику и водно еколошко инжењерство одржаној дана 05.09.2019. године, кандидат Милош Милашиновић, маг. инж. грађ. је пред члановима Катедре јавно изложио предлог теме докторске дисертације под насловом „Методологија за брзу асимилацију података у моделима отворених токова“ (на енг. „Fast data assimilation methodology for open channel flow models“). Након излагања кандидата и давања одговора на постављена питања, Катедра је једногласно донела одлуку да се Приступни рад прихвати и кандидату омогући пријава теме докторске дисертације.

На седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 12.09.2019. именована је Комисија за писање извештаја о оцени подобности теме и кандидата (одлука 288/2 од 17.09.2019). Позитиван извештај Комисије за пријем теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 17.10.2019. године (одлука 288/4-19 од 18.10.2019.), а за ментора је именован редовни проф. др Душан Продановић, дипл. грађ. инж. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 26.11.2019. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Милоша

Милашиновића, маг. инж. грађ. (одлука бр. 61206-4395/2-19 од 27.11.2019.). Кандидат је завршену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 05.11.2020. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донетој на седници одржаној 19.11.2020. године (одлука бр. 288/10-19), именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Милашиновића, маг. инж. грађ.

### 1.2. Научна област дисертације

Тема дисертације спада у научно поље техничко-технолошких наука. Научна област је Грађевинарство, а уже научне области су Механика нестишљивих флуида и хидраулика и Хидроинформатика, за које је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду.

Ментор је редовни проф. др Душан Продановић, дипл. грађ. инж. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Именовани ментор испуњава важеће критеријуме Универзитета у Београду.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Милашиновић, мастер инжењер грађевинарства рођен је у Смедеревској Паланци 01.05.1991. године. Основну школу „Ђорђе Јовановић“ у Селевцу завршио је 2006. године као носилац дипломе „Вук Караџић“ и носилац звања „Ђак генерације“. Након завршене основне школе уписује природно-математички смер „Паланачке гимназије“ у Смедеревској Паланци који завршава 2010. године као носилац дипломе „Вук Караџић“.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, одсек грађевинарство, уписује школске 2010/2011. године. Основне академске студије завршава школске 2013/2014. године на одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство са укупном просечном оценом 9,25 (девет и 25/100) и дипломским радом под називом „Техничко решење система за наводњавање Гроцка-Пударци“ са оценом 10 (десет) чиме је стекао звање дипломирани инжењер грађевинарства. У току похађања основних академских студија кандидат је примао стипендију Министарства просвете Републике Србије.

Школске 2014/2015. године уписује мастер академске студије на Грађевинском факултету на одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство. Током мастер студија кандидат је остварио просечну оцену 10,00 (десет и 00/100). Мастер студије је завршио 2015. одбравивши мастер рад под називом „Пример управљања каскадним мини хидроенергетским системом“ оценом 10 (десет) чиме је стекао звање мастер инжењер грађевинарства.

Након завршених мастер студија, 2015. године уписао је докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду. На докторским студијама је успешно положио све испите са просечном оценом 10 (десет). Од новембра 2015. до фебруара 2016. запослен је у предузећу Србијаводе на пројектима одбране од поплава. Након тога, у фебруару 2016. заснива радни однос на Грађевинском факултету у звању асистента студента докторских студија за уже научне области Механика нестишљивих флуида и хидраулика и Еколошко инжењерство. Поред обавеза у настави ангажован је и као истраживач на научном пројекту технолошког развоја ТР37010 „Системи за одвођење кишних вода као део урбане и саобраћајне инфраструктуре“ у периоду од 2016. до 2020. Аутор је три рада на SCI листи, као и већег броја радова у домаћим часописима, на међународним и домаћим научним и стручним скуповима. Течно говори и пише енглески језик.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Методологија за брзу асимилацију података у моделима отворених токова“ написана је на српском језику. Дисертација садржи 6 поглавља:

1. Увод
2. Преглед литературе
3. Методологија
4. Тестирање методологије
5. Резултати и дискусија
6. Закључци и препоруке

Дисертација садржи резиме (на српском и на енглеском језику) као и биографију кандидата. Текст дисертације је написан на 110 страна. Дисертација садржи 89 слика и 10 табела. Списак литературе има 163 референце.

Структура дисертације и текст су у потпуности обликовани према важећем Правилнику о докторским студијама на Универзитету у Београду из 2019. године, и према посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије дисертације садржаним у документу „Упутство о облику и садржају докторске дисертације која се брани на Универзитету у Београду“.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом, уводном, поглављу је представљен предмет истраживања. У наставку поглавља је јасно постављен основни циљ истраживања: развој брзе методе за асимилацију података у моделима отворених токова за потребе управљања водопривредним системима. При томе, могућност практичне примене нове методе за релативно једноставну и рачунарски ефикасну асимилацију података, односно, прилагођавање прорачунских стања математичких модела минимизирањем разлика између мерених величина (нивоа воде на хидролошким и падавинским станицама) и прорачунатих величина (нивоа) је наведена као један од примарних захтева. Уводно поглавље је закључено прегледом садржаја дисертације по поглављима.

Друго поглавље дисертације садржи преглед литературе, који је закључен идентификацијом главних непознаница о теми истраживања, дефинисањем истраживачких задатака који ће бити обрађени у дисертацији и полазних хипотеза на којима се базира истраживање. Преглед литературе је подељен у четири главна одељка:

- Примена прогноза вођених моделима и њихов значај у управљању водним ресурсима,
- Генерални преглед метода асимилације података,
- Детаљни прегледа примене метода асимилације података у хидролошко-хидрауличким моделима, и
- Методе за брзу асимилацију података.

Након приказа прегледа литературе и дефинисања истраживачких задатака, треће поглавље приказује развијену методологију за брзу асимилацију података. Први одељак методологије приказује општи принцип предложене методе за асимилацију и главне разлике у односу на стандардне методе које се често користе. Све стандардне методе асимилације података су статистички засноване и користе принцип директног усаглашавања резултата добијених по моделу и измерених података. Пошто стандардне методе асимилације често могу изазвати нестабилност у линијским (енг. 1D) моделима отворених токова, у овом одељку се описује нови, индиректни приступ асимилацији заснован на „додавању“ и „одузимању“ воде у модел према разлици моделираних и измерених нивоа, којима се описује стање у отвореном току (река, канал, акумулација итд.). У овом одељку назначено је да ће се тај процес индиректног усаглашавања нивоа по моделу и измерених података (додавањем/одузимањем воде из модела) одвијати применом теорије управљања (енг. *control theory*), тачније применом пропорционално-интегративно-деривативних контролера (енг. *PID controllers*).

Након овог одељка следи други одељку методологије се описује усвојени хидраулички модел течења о отвореном току, који ће се касније користити у поступку асимилације. Описан је линијски модел дифузионог таласа са смакнутом, експлицитном, нумеричком схемом.

Пошто је један од истраживачких задатака био да се покаже рачунарска ефикасност нове методе за асимилацију, у трећем одељку методологије је описана стандардна метода за асимилацију података са којом ће се вршити поређење. Описана је метода Ensemble Kalman Filter (EnKF) за коју је прегледом литературе (друго поглавље, трећи одељак) утврђено да је најчешће у употреби у комбинацији са хидролошко-хидрауличким моделима.

У наредном одељку, четвртм по реду, детаљно је описана нова метода за асимилацију података заснована на примени теорије управљања. Описан је математички апарат који стоји иза примењене теорије ПИД контролера. Описан је начин имплементације овог елемента у линијски модел отвореног тока и уведен појам корективног дотока којим ће се вршити индиректно усаглашавање стања у моделу и измерених података, а у циљу довођења модела до бољег почетног стања.

Неопходан корак у примени асимилације података, посебно у случајевима када је потребно упоредити различите методе, је оцена квалитета спроведене асимилације. У ту сврху, у оквиру петог одељка методологије, дефинишу се индикатори квалитета асимилације података или индикатори перформанси. У овом истраживању користе се четири индикатора, од којих се три могу применити на обе асимилационе методе, док је један индикатор дефинисан само у случајевима када се користи нова, индиректна метода асимилације података.

Примена теорије ПИД контролера, у различитим областима, подразумева да се проблем управљања системом може извршити употребом различитих конфигурација ових контролера. То практично значи да се у неким случајевима могу изоставити поједини елементи који не утичу на процес управљања, односно контроле. Истраживање у оквиру ове дисертације обухвата и анализу оптималне структуре (конфигурације, форме) ПИД контролера. Због тога је у шестом одељку методологије описан фазни поступак којим се на основу промене индикатора перформанси одређује оптимална конфигурација контролера. Резултат овог испитивања даје иницијалне податке за наредни корак у имплементацији нове асимилационе методе, а који се тиче оптималног подешавања усвојених контролера.

У наредном одељку (седмом по реду) описан је процес проналажење оптималних вредности параметара којима се дефинише контролер (енг. *tuning of the controllers*). Описан је поступак вишекритеријумске оптимизације помоћу генетског оптимизационог алгорита, за проналазак оптималних вредности параметара контролера. Као критеријум за оптимизацију, односно подешавање контролера, користе се индикатори квалитета асимилације података који су описани у петом одељку методологије.

Поменути индиректни приступ асимилацији података омогућава додатне корисне алате при употреби ове методе. У овом истраживању приказује се потенцијал ове методе за реконструкцију хидрограма и процену кривих протока на локацијама где постоје забележени само нивограма. У осмом одељку методологије приказује се поступак за реконструкцију хидрограма користећи резултате корективних дотока добијене у процесу асимилације података. На тај начин могуће је проценити (или смањити непоузданост постојеће) криве протока, што може бити од великог значаја у области хидрауличког моделирања и управљања речним системима (пре свега у области прогнозе и одбране од поплава).

Након детаљног приказа методологије која се односи на математички апарат нове асимилационе методе у четвртм поглављу описују се тест примери на којима ће ова методологија бити примењена. У првом одељку описан је хипотетички речни систем на ком ће се вршити поређење (енг. *benchmark*) нове и референтне асимилационе методе.

Након примера за поређење ове две асимилационе методе, прелази се на опис реалног речног система у другом одељку на коме ће се вршити детаљна имплементација нове асимилационе

методе и испитати потенцијал ове методе за реконструкцију хидрограма. Детаљна имплементација ове методе подразумева и одређивање оптималне конфигурације ПИД контролера према поступку описаном у шестом одељку трећег поглавља и оптимално подешавање параметара контролера према алгоритму описаном у седмом одељку методологије. Такође, описан је део посматраног речног система на коме ће се тестирати и алгоритам за реконструкцију хидрограма и процену кривих протока.

Пето поглавље приказује резултате свих тестова и анализа спроведених у оквиру истраживања. Прво су приказани резултати бенчмаркинга на хипотетичком тест примеру. Након тога, дати су резултати имплементације ПИД контролера као асимилационог елемента у хидраулички модел. На крају су приказани и резултати примене нове асимилационе методе у сврху реконструкције хидрограма и процене кривих протока.

На основу резултата приказаних у целом петом поглављу и датих одговора на истраживачка питања, у шестом поглављу се изводе јасни закључци и препоруке за примену нове методе за асимилацију података. Поред закључака и препорука, у овом поглављу јасно се издвајају недостаци предложене асимилационе методе уочени током истраживања. Према уоченим недостацима, предлажу се и даља решења у виду планова за будућа истраживања.

На крају дисертације, седмо поглавље садржи листу свих референци које су послужиле за формирање истраживачких задатака, одабир референтне асимилационе методе за поређење и, конкретно, за развој методологије за брзу асимилацију података. Треба још поменути да се у поглављу са прилозима (осмо поглавље) налази и табела са детаљним прегледом литературе која се тиче примене асимилације података у области хидролошко-хидрауличког моделирања (први одељак), као и додатни резултати за различите тест варијанте и сценарије који нису ушли у основни текст (други одељак).

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### **3.1. Савременост и оригиналност**

Текуће климатске промене узрокују интензивнију појаву екстремних хидролошких сценарија попут поплава и суша, које директно утичу на свакодневни живот људи, угрожавајући њихове животе и имовину. Ризик се свакодневно повећава са порастом броја становника на планети. Управљање ризиком од поплава је веома захтеван задатак који је практично немогуће замислити без употребе помоћних алата који се тичу прикупљања и обраде података, моделирања природних процеса и давања прогноза. Додатно, савремени начин живота који је праћен технолошким развојем, захтева велике количине електричне енергије за свакодневне активности. Услед константног повећања емисије штетних гасова који доприносе глобалном отопљавању и климатским променама, тенденција у 21. веку је да се фокус енергетских ресурса премести са фосилних на обновљиве изворе енергије. На тај начин појачавају се притисци на област управљања водним ресурсима за потребе енергетике, поготово у оним деловима света где је хидроенергетика доминантан облик производње електричне енергије. Коришћење водних снага за производњу електричне енергије представља, тренутно, обновљиви извор енергије који је најуправљивији, што заједно са економском исплативошћу, ставља хидроенергетику у први план обновљивих извора енергије. Свакодневно управљање великим хидроенергетским системима захтева релативно поуздане процене доступности воде. У овој области правилно управљање не може се замислити без поузданих рачунских алата.

Употреба водних ресурса за водоснабдевање становништва и пољопривреде, као есенцијални вид коришћења воде за човека, такође је на удару услед повећања броја становника и константне деградације квалитета воде. Управљање количинама воде за водоснабдевање, али и квалитетом, такође захтева употребу рачунских модела за анализе најразличитијих сценарија и доношење оптималних управљачких одлука.

Често се посао управљања водним ресурсима додатно компликује у случајевима када постоји више „корисника“ истог ресурса, са супротно оријентисаним циљевима. Један облик овог

проблема јавља се у случајевима када су „супротстављене“ стране различите гране водопривреде. Тако се, на пример, дешава да се један водопровредни систем користи и за хидроенергетику и за одбрану од поплава. Управљање оваквим системом је једноставније у ситуацијама када нема поплавних таласа. Тада се највећа пажња може посветити једном кориснику (у овом случају хидроенергетици). Проблем настаје када се јављају екстремни хидролошки сценарији (поплавни таласи) који су све учесталији услед климатских промена. Тада је циљ једног „корисника“ супротстављен циљу другог и неопходно је донети управљачке одлуке које су компромисне за све. Додатни примери супротстављених циљева се виде и у случајевима када се неки водпривредни систем користи и за водоснабдевање и за хидроенергетику, док се све чешће јављају и проблеми управљања мањим системима где се лако може нарушити постојећи екосистем (нпр. неадекватно управљање малим хидроелектранама). Доношење одлука се додатно компликује са повећањем броја „корисника“. Други пример сложених водопривредних система су велики међународни системи где су корисници различите државе (пр. ХЕ Ђердап на Дунаву). Више међународних корисника истог ресурса, такође доводи до неслагања и компликовања при управљању водним ресурсима.

Због свих описаних проблема стручњаци задужени за управљање водним ресурсима се свакога дана суочавају са изазовима и често нерешивим проблемима. Како би се унапредило управљање неким водним ресурсом и учинило поузданим, стручњаци имају потребу за алатима који ће омогућити прогнозе на краткорочном и/или дугорочном плану као подршку у одлучивању (енг. *decision support*). Прогностички алати се односе на прогнозе количине доступне воде и квалитета воде. Да би се то обезбедило користе се симулациони модели. Овај поступак назива се прогноза вођена моделима (енг. *model-driven forecasting*). Међутим, употреба модела са собом доноси нове проблеме које је потребно решити. Пре свега, модели који се користе захтевају калибрацију како би верно репрезентовали стања система који се анализирају. Каснија употреба тих модела у пракси често показује незадовољавајуће резултате. Овај проблем условљен је, између осталог, сезонском варијацијом параметара модела, трајним променама параметара услед природних и вештачких активности на домену који се моделира, недовољно дугим калибрационим периодом, непоузданим граничним условима, непоузданим поступком за процену почетних услова на целом домену итд. Такође, веома битан фактор који утиче на неслагања резултата, чак и у случајевима добро калибрисаних модела, је различита просторна покривеност. Рачунски модели најчешће покривају значајно већи део неког система него што је то случај са мерним локацијама. Према томе, процес калибрације подразумева да се у моделу подешавају вредности великог броја параметара на основу неколико мерених података, што лако може довести до каснијих неслагања резултата. Чак и да се овај проблем некако превазиђе, постоје додатни проблеми који ће условити поменута неслагања резултата и касније лошије прогнозе. Један од најдоминантнијих проблема условљен је непоузданошћу граничних услова (падавине, дотоци, криве протока итд). Ова непоузданост аутоматски се преноси и на почетне услове (који су неопходни за процес прогнозе) а самим тим се повећава и непоузданост прогнозних резултата. Све то на крају лоше утиче на управљачке одлуке и доводи до управљања системом које није оптимално.

На системима на којима постоје редовна осматрања текућег стања (на пример, нивоа воде на хидролошким и падавинским станицама), најчешће се догађа да рачунски модели не пружају задовољавајуће резултате јер су калибрисани за неке другачије услове и да нису у стању да репродукују довољно тачно осматрено текуће стање система (нивоа, на пример). Међутим, могуће је прогнозу унапредити коришћењем поступка асимилације података (енг. *data assimilation*), кроз прилагођавање прорачунских стања математичких модела минимизирањем разлика између мерених величина и прорачунатих величина.

Савременост истраживања приказаног у овој дисертацији се огледа у превазилажењу претходних проблема, присутних при прогнозама потребним за управљање водним ресурсима,

применом поступка асимилације и теорије управљања. Једноставан принцип представљен у новој методи за брзу асимилацију података, која је развијена у овој дисертацији, омогућава лаку примену у пракси и може бити значајан алат за подршку у одлучивању инжењерима и доносиоцима одлука који се баве управљањем водним ресурсима.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру ове дисертације цитиране су укупно 163 библиографске јединице, од чега се приближно 70% односи на резултате истраживања у разматраној области објављене у претходних десет година: 114 цитираних референци настало је током и после 2010. године. Кандидат је кроз преглед литературе обухватио најважније ауторе и публикације из области асимилације података у хидролошко-хидрауличким моделима. Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима, пре свега у *Journal of Hydrology*, *Journal of Hydroinformatics*, *Advances in Water resources* и *Water resources research*.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Осим општих научних метода које су коришћене превасходно за преглед литературе и синтезу закључака, у оквиру истраживања примењене су специфичне научне методе које се тичу моделирања отворених линијских (1D) токова и асимилације података. У оквиру истраживања кандидат је користио нумеричку методу за дискретизацију једначина математичког модела линијског тока. За потребе ефикасније асимилације података кандидат је развио методу засновану на теорији управљања, тачније на примени пропорционално-интегративно-деривативних контролера. За потребе поређења нове методе кандидат је користио и стандардну методу за асимилацију података Ensemble Kalman Filter (EnKF). За оцену квалитета поступка асимилације података кандидат је увео четири индикатора перформанси, од којих су три често у употреби док је четврти, нови индикатор, уведен у складу са новом асимилационом методом.

Један од главних задатака при имплементацији пропорционално-интегративно-деривативних контролера је процена оптималне конфигурације подешавање параметара контролера. У ту сврху је кандидат користио хеуристичке методе за процену оптималне конфигурације контролера и вишекритеријумску оптимизацију помоћу генетског алгоритма који не фаворизује ниједну од критеријумских функција (енг. Nondominated Sorting Genetic Algorithm II – NSGA II) за одређивање оптималних вредности усвојене конфигурације контролера.

Обзиром да је асимилација података има много шири опсег примене од области анализираних у дисертацији, методологија развијена у дисертацији може наћи примену и у другим областима (асимилација података за потребе процене протока у системима за одводњавање, детекција губитака у водоводним системима итд.).

Сви развијени алгоритми и постојеће (стандардне) методе су кодиране од стране кандидата у програмском окружењу MATLAB, како би се добијени резултати упоредили на адекватан начин. Резултати приказани у дисертацији указују на то да је кандидат успешно користио претходно наведене нумеричке и теоријске методе како би успешно остварио циљеве дисертације.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Нова метода развијена у дисертацији може бити врло успешно примењена за различите намене у области моделирања отворених токова. Може се примењивати за побољшање прогнозирања за потребе одбране од поплава или за бољу прогнозу доступних количина воде према којима се управља хидроенергетским системима или системима за водоснабдевање. Пре свега, резултати тестирања нове асимилационе методе демонстрирају изузетну предност у рачунарској ефикасности, у поређењу са тренутно опште прихваћеним методама. Додатно, имплементација ПИД контролера као асимилационог елемента и математички апарат су релативно једноставни, што повећава шансу за употребу на реалним водопривредним

системима. Узимајући у обзир ове две чињенице, нова метода може бити од изузетне користи инжењерима и доносиоцима одлука којима је у интересу да брзо и ефикасно процене количину воде која ће бити на располагању без неког значајнијег губитка поузданости у односу на стандардне методе асимилације података.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

У току докторских студија кандидат је остварио способност за самосталан научно-истраживачки рад кроз полагање испита, публикавање научних радова, учешћа на најзначајнијим међународним конференцијама из области истраживања и припрему и израду дисертације. Такође, у склопу припрема за израду дисертације кандидат је похађао и летњу школу из области која је тема дисертације (“Crash course on data assimilation - Theoretical foundations and advanced applications with focus on ensemble methods”, Берген, Норвешка, 2018.) на којој су предавали светски признати стручњаци из ове области. Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне референтне литературе, развојем нове, рачунарски ефикасне методе за асимилацију података у линијским моделима отворених токова. Кандидат је успешно критички усвојио нова знања и, кроз самостални научни рад, показао способност сагледавања проблема и формулисања хипотеза, затим осмишљавања поступка за тестирање постављених хипотеза, као и одабира адекватних метода и техника које би при томе требало користити. Евидентно је да је кандидат Милош Милашиновић, приступом истраживачком проблему и начином решавања постављених задатака, показао способност за самосталан научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Вредност истраживања приказаног у дисертацији огледа се у обезбеђењу следећих научних доприноса, потврђених приказаним резултатима:

- Систематизација досадашњих знања о предмету истраживања
- Нова метода за асимилацију података у линијским моделима отворених токова, базирана на индиректном приступу и теорији управљања. Ова метода омогућава значајну уштеду у времену што је чини погодном за употребу на реалним системима. Поред успешне примене у овој дисертацији, нова метода асимилације потенцијално може бити корисна и за друге истраживачке области
- Уведени су индикатори перформанси асимилације података који омогућавају лаку процену оптималне конфигурације ПИД контролера као асимилационог елемента
- Процедура за подешавање параметара ПИД контролера, као асимилационог елемента, применом вишекритеријумске оптимизације
- Поступак за реконструкцију хидрограма и процену кривих протока као значајног алата у процени поплавних таласа.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру поглавља са прегледом литературе је веома јасно и свеобухватно објашњен предмет истраживања. Током истраживања је развијена нова метода која се може користити у области прогнозирања вођеног моделима. Приликом развоја методе, тежило се остваривању могућности за практичну примену у инжењерској пракси, која није потврђена неким ранијим истраживањима. У оквиру дисертације нова метода за асимилацију података је успешно интегрисана у линијски модел течења у отвореним токовима за потребе управљања хидроенергетским системом Ђердап. Истраживање је спроведено у оквиру пројекта имплементације Хидроинформационог система (ХИС) Ђердап, финансираног од стране Електропривреде Србије, у сарадњи са Институтом за водопривреду Јарослав Черни.



Резултати тестирања методе развијене у оквиру овог истраживања су веома охрабрујући и потврђују иницијално постављене истраживачке хипотезе. Поједностављен је поступак асимилације података и резултатима је доказано да је нова метода значајно ефикаснија од најчешће коришћене методе ЕпКФ. Доказано је да је висока ефикасност највећим делом добијена увођењем новог, индиректног, приступа асимилацији података. Показано је да је при оцени метода за асимилацију података неопходно користити мултиметрички приступ (више индикатора). Показано је да се проблем подешавања параметара више ПИД контролера који утичу један на други ефикасно може решити применом вишекритеријумске оптимизације на основу уведених индикатора перформанси асимилације података.

У закључном поглављу дисертације јасно је направљен преглед постигнутих научних доприноса. Такође је направљен и критички осврт на недостатке развијене методе и алгоритама, које је потребно отклонити у наставку истраживања како би се додатно побољшала њена употребљивост.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру овог истраживања кандидат је објавио 1 рад у часопису са SCI листе, 1 рад у часопису од националног значаја и 2 рада је изложио на међународним научним скуповима:

##### Категорија M21a – Међународни часописи изузетних вредности:

**Milašinović M.**, Prodanović D., Zindović B., Rosić N., Milivojević N. (2020): Fast data assimilation for open channel hydrodynamic models using control theory approach, Journal of Hydrology, 584, doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124661 (IF: 4.5)

##### Категорија M33 – Међународни научни скупови:

**Milašinović M.**, Zindović B., Rosić N., Prodanović D. (2019): PID controllers as data assimilation tool for 1D hydrodynamic models of different complexity, 5th International conference SimHydro 2019, Sophia Antipolis, Nice, France

**Milašinović M.**, Prodanović D., Zindović B., Rosić N., Milivojević N. (2020): Control theory-based update of water levels in 1D hydrodynamic models, 10th International conference on Fluvial hydraulics – RiverFlow 2020, Delft, Netherlands

##### Категорија M51 – Врхунски часописи националног значаја:

**Milašinović M.**, Zindović B., Rosić N., Prodanović D. (2018): Analiza uticaja kompleksnosti 1D modela tečenja na postupak asimilacije podataka zasnovane na primeni PID kontrolera – preliminarni rezultati, VODOPRIVREDA 0350-0519, Vol. 50 (2018), No. 294-296, p. 245-254

## **5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ**

У докторској дисертацији под насловом „Методологија за брзу асимилацију података у моделима отворених токова“ (на енг. „Fast data assimilation methodology for open channel flow models“) развијена је и представљена оригинална метода за асимилацију података линијских модела отворених токова. Нова метода за асимилацију података у моделима отворених токова је имплементирана помоћу теорије ПИД контролера чиме је постигнута изузетна ефикасност у погледу рачунарског времена у односу на стандардне асимилационе методе. Развијен је и оригинални, хеуристички алгоритам за одређивање оптималне конфигурације ПИД контролера и представљен је поступак за подешавање параметара контролера применом вишекритеријумске оптимизације и индикатора перформанси асимилације. У дисертацији је приказан и потенцијал нове асимилационе методе за реконструкцију хидрограма и процену кривих протока. Истраживања представљена у дисертацији представљају веома вредан научни допринос у областима Механике нестишљивих флуида и хидраулике и Хидроинформатике. Практична применљивост развијене асимилационе методе и свих пропратних алата је доказана тестирањем на хипотетичком и реалном систему и поређењем са опште прихваћеном асимилационим методом. Научна вредност рада је доказана и кроз публикавање рада у

врхунском међународном часопису категорије M21a. Способности Милоша Милашиновића, маг.инж.грађ. испољене током израде ове дисертације показују да кандидат поседује квалитете потребне за самостални научни рад, пре свега способност критичког сагледавања обављених истраживања, и синтезе њихових резултата на јасан, систематичан и концизан начин.

На основу изнетог, Комисија констатује да докторска дисертација под насловом „Методологија за брзу асимилацију података у моделима отворених токова“ (на енг. „Fast data assimilation methodology for open channel flow models”) представља оригиналан и значајан научни допринос у областима Механике нестишљивих флуида и хидраулике и Хидроинформатике. Услед напред наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Милоша Милашиновића, маг. инж. грађ., и да, сходно томе, упути захтев Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за јавну одбрану дисертације.

## ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

Проф. др Душан Продановић, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

---

Проф. др Драган Савић, дипл. грађ. инж.  
KWR Water Research Institute, Холандија

---

В. проф. др Милош Станић, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

---

доц. др Будо Зиндовић, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

---

др Никола Миливојевић, дипл. маш. инж.  
Институт за водопривреду Јарослав Черни