

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Грађевински факултет

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ БЕОГРАД

ПРИМЉЕНО: 19 OCT 2018			
Ст. јед.	Број	Поллог	Вредност
02	156/90-	16	

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Жељка Василића, маг. инж. грађ.

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донетој на седници одржаној 18.10.2018. године (одлука бр. 156/9-16), именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Жељка Василића, маг. инж. грађ. под насловом

### АЛГОРИТМИ ЗА ПОДРШКУ ОДЛУЧИВАЊУ ПРИ СЕКТОРИЗАЦИЈИ МРЕЖА ПОД ПРИТИСКОМ

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

#### DECISION SUPPORT ALGORITHMS FOR SECTORIZATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS

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 Жељко Василић, маг. инж. грађ. уписао је докторске студије на Грађевинском факултету, Универзитета у Београду, школске 2010/11 године. На седници Катедре за хидротехнику и водно еколошко инжењерство одржаној дана 12.04.2016. године, кандидат Жељко Василић, маг. инж. грађ. је пред члановима Катедре јавно изложио предлог теме докторске дисертације под насловом „Алгоритми за подршку одлучивању при секторизацији мрежа под притиском“ (на енг. „Decision support algorithms for sectorization of water distribution networks“). 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 21.04.2016. именована је Комисија за писање извештаја о оцени подобности теме и кандидата (одлука 156/3 од 22.04.2016). Позитиван извештај Комисије за пријем теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 19.05.2016. године

(одлука 156/5-16 од 20.05.2016.), а за ментора је именован ванредни проф. др Милош Станић, дипл. грађ. инж. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 28.06.2016. године дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Жељка Василића, маст. инж. грађ. (одлука бр. 61206-2611/2-16 од 28.06.2016.). Кандидат је завршену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 28.09.2018. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду донетој на седници одржаној 18.10.2018. године (одлука бр. 156/9-16), именована је Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Жељка Василића, маст. 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 Хидроинформатика и Механика нестишљивих флуида и хидраулика, за које је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду.

Ментор је ванредни проф. др Милош Станић, дипл. грађ. инж. са Грађевинског факултета Универзитета у Београду. Именовани ментор испуњава важеће критеријуме Универзитета у Београду.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Жељко Василић, мастер инжењер грађевинарства рођен је у Ужицу 27.09.1986. године. Основну школу „Стари Град“ у Београду завршио је 2001. године као носилац дипломе „Вук Караџић“ и носилац звања „Ђак генерације“. Након завршене основне школе уписује природно-математички смер „Шесте београдске гимназије“ који завршава 2005. године са одличним успехом.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, одсек грађевинарство, уписује школске 2005/2006 године. Основне академске студије завршава школске 2008/2009 године на одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство са просечном оценом 9,36 (девет и 36/100). Синтезни рад под називом „Идејно решење система за наводњавање спортског центра Телеоптик Земун“ одбранио је дана 22.10.2009. године са оценом 10 (десет) и стекао звање дипломирани инжењер грађевинарства. За одбрањени синтезни рад кандидат је добио награду Привредне коморе града Београда за најбоље дипломске радове који имају примену или су од посебног значаја за привреду Београда. У току похађања основних академских студија кандидат је примао стипендију Министарства просвете Републике Србије.

Школске 2009/2010 године уписује дипломске академске – мастер студије на Грађевинском факултету на одсеку за хидротехнику и водно еколошко инжењерство. Током мастер студија кандидат је остварио просечну оцену 9,83 (девет и 83/100). Мастер рад под називом „Употреба мембранских технологија у пречишћавању вода“ одбранио је дана 17.06.2010. године са оценом 10 (десет) и стекао звање мастер инжењер грађевинарства. У школској 2009/2010 години кандидат је био добитник стипендије града Београда за талентоване студенте.

Након завршених мастер студија, 2010. године уписао је докторске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду. На докторским студијама је успешно положио све испите са просечном оценом 10 (десет). На Грађевинском факултету 2011. године заснива радни однос у звању асистента – студента докторских студија за уже научне области Механика нестишљивих флуида и Хидраулика, Хидроинформатика и Хидротехничке мелиорације и уређење сливова. Поред обавеза у настави, активно учествује и на изради техничке документације разних пројеката, студија и експертиза из области хидротехнике, које Грађевински факултет реализује преко Института за хидротехнику и водно еколошко инжењерство. Ангажован је као истраживач на научном пројекту TR37010 „Системи за

одвођење кишних вода као део урбане и саобраћајне инфраструктуре“. Аутор је и коаутор четири 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 а поседује и основно познавање француског језика

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „Алгоритми за подршку одлучивању при секторизацији мрежа под притиском“ написана је на енглеском језику под насловом: “Decision support algorithms for sectorization of water distribution networks”. Дисертација садржи 6 поглавља:

1. Увод (Introduction)
2. Преглед литературе (Literature review)
3. Унапређена метода прстенова за хидраулички прорачун (Improved loop-flow method for hydraulic simulation)
4. Алгоритам за секторизацију мреже под притиском заснован на униформности и хеуристици (Uniformity and heuristic based algorithm for sectorization of WDN)
5. Рачунски примери (Case studies)
6. Закључци и даља истраживања (Conclusions and future work)

Дисертација садржи резиме (на енглеском и на српском језику) као и биографију кандидата. Текст дисертације је написан на 152 стране. Дисертација садржи 47 слика и 11 табела. Списак литературе има 103 референце.

Структура дисертације и текст су у потпуности обликовани према важећем Правилнику о докторским студијама на Универзитету у Београду, донетом од стране Сената Универзитета у Београду на седници одржаној 13.04.2016. године, и према посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије дисертације садржаним у Прилогу 1 који је саставни део овог правилника (Прилог 1: Облик и садржај докторске дисертације).

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом уводном поглављу је укратко представљен предмет истраживања. У наставку је постављен основни циљ и дефинисани задаци истраживања.

Развој нових метода и алгоритама намењених за подршку одлучивању приликом секторизације дистрибутивне мреже под притиском је постављен као основни циљ истраживања у оквиру дисертације. Могућност практичне примене у пракси 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 и дефинисањем истраживачких питања која ће бити обрађена у дисертацији. Преглед литературе је подељен у два главна одељка:

- Секторизација дистрибутивне мреже под притиском и
- Хидраулички прорачун мрежа под притиском.

Након уводног поглавља, у коме је укратко представљен основни предмет истраживања-секторизација дистрибутивне мреже под притиском, у првом одељку другог поглавља дат је опширнији опис секторизације као једне од основних мера за побољшање ефикасности водоводног система, најзначајније дистрибутивне мреже под притиском. Боље управљање водоводним системом, самим тим и побољшање његове ефикасности, могу се остварити применом секторизације која омогућава континуално праћење водног биланса, откривање

губитака и контролу притисака у дистрибутивној мрежи. Објашњено је како се претходно наведени циљеви могу остварити поделом мреже тј. њеном секторизацијом на основне зоне билансирања (ОЗБ, енг. District Meter Area -DMA) као и сам поступак дефинисања ОЗБ који се тренутно користи у пракси. Дискутовано је и о факторима који утичу на дефинисање адекватне величине ОЗБ за дистрибутивну мрежу. Направљен је посебан осврт на локалне економске услове и степен развијености система који се разматра. Први одељак, који се односи на секторизацију мреже, је закључен са детаљним прегледом тренутно доступних алгоритама и алата за који се могу користити за секторизацију. Извршена је класификација у две категорије: 1) алати за подршку одлучивању при секторизацији и 2) потпуно аутоматски алгоритми за дефинисање ОЗБ у поступку секторизације.

Осим дефинисања основног циља, развоја методологије за секторизацију, у уводном делу је постављен и захтев да методологија буде од користи инжењерима који се у пракси баве проблемом секторизације. Између осталог, то подразумева да имплементација методологије мора бити ефикасна у погледу рачунарског времена, а овај циљ је остварив уколико се у методологији користи ефикасан метод за хидраулички прорачун. Други одељак другог поглавља се бави приказом доступних метода за хидраулички прорачун мрежа под притиском и анализом њихових предности и мана. Приказан је историјски развој метода, дата је њихова систематизација и наведени су значајни искораци у побољшању рачунарске ефикасности, остварени у последњој деценији. Последњи део овог одељка се бави прегледом доступних алгоритама за идентификацију прстенова у мрежи, која је неопходна за хидраулички прорачун заснован на методи прстенова.

Након претходно описана два главна одељка другог поглавља, следи систематизација закључака донетих на основу прегледа литературе, дефинисање главних истраживачких питања и постављање основних хипотеза. Један од основних закључака је да у постојећим методологијама за секторизацију преовлађује употреба оптимизационих метода са великим бројем критеријума и ограничења, који често нису од битног значаја за нормално функционисање система у пракси. Такође, углавном недостају резултати примене постојећих методологија на реалним мрежама значајне сложености услед претходног рачунарског времена. Такво рачунарско време је последица: 1) употребе оптимизационих метода које захтевају велики број хидрауличких симулација да би се испитала сва варијантна решења и 2) употребе мање ефикасних метода за хидраулички прорачун које се користе у свакој од претходно наведених хидрауличких симулација. С тога су дефинисана 2 основна истраживачка питања: 1) да ли је могуће развити алгоритам за секторизацију који ће, осим основних, обухватити и најрелевантније инжењерске критеријуме и ограничења и 2) да ли је могуће остварити бољу рачунарску ефикасност у односу на постојеће методологије које се ослањају на примену оптимизационих метода? Прегледом литературе препознат је потенцијал да се хидраулички прорачун мрежа под притиском базиран на методи прстенова додатно унапреди и оствари боља рачунарска ефикасност. Тиме су дефинисана додатна два истраживачка питања: 3) да ли је могуће развити ефикасан алгоритам за идентификацију прстенова у мрежи и 4) да ли је могуће имплементирати методологију за хидраулички прорачун, тако да се убрзања остварена по итерацији одразе и на убрзања целокупне симулације? Коначно, секторизација мреже у неколико различитих нивоа детаљности, тј. хијерархијска секторизација је препозната као практичан захтев многих водоводних предузећа која управљају мање ефикасним системима и располажу ограниченим финансијским средствима. Према томе, последње истраживачко питање у оквиру дисертације је 5) да ли се новим алгоритмом за секторизацију може омогућити и хијерархијска секторизација мреже?

У оквиру трећег поглавља приказан је унапређен метод за хидраулички прорачун базиран на методи прстенова, који је у литератури познат и као  $\Delta Q$  метод јер се прорачун распореда протока заснива на сукцесивним корекцијама протока у прстеновима. Након уводног дела поглавља, следи одељак у коме је објашњен начин формирања система нелинеарних

једначина које дефинишу  $\Delta Q$  метод хидрауличног прорачуна, као и примењен приступ за њихово решавање. У истом одељку је указано на неједнозначност идентификације прстенова у мрежи, као и на важност те чињенице за формирање система једначина објашњеног у претходном одељку. У последњем одељку овог поглавља је представљен нови метод за хидраулички прорачун, развијен у оквиру истраживања презентованог у дисертацији, назван TRIBAL- $\Delta Q$  метод. Најпре је представљен и објашњен нови алгоритам за идентификацију прстенова заснован на триангулацији (TRIBAL - TRIangulation Based ALgorithm), а затим и начин имплементације  $\Delta Q$  метода хидрауличног прорачуна.

Четврто поглавље приказује опис и могућности новог алгоритма за секторизацију водоводне дистрибутивне мреже под притиском, названог DeNSE (Distribution Network SEctorization). Након уводног одељка, следи одељак у коме је DeNSE алгоритам детаљно описан. Алгоритам је заснован на примени: 1) принципа униформности величине зона (у погледу потрошње) и 2) искуствених критеријума (хеуристика) преузетих из инжењерске праксе. Детаљно су описани улазни подаци неопходни за примену алгоритма, као и све три његове фазе: а) припрема података, б) подела мреже на кластере заснована на принципу униформности и ц) избор локација за постављање мерача протока и изолационих затварача, заснован на хеуристици, чиме се успостављају ОЗБ. Следећи одељак садржи опис додатних могућности DeNSE алгоритма, као што су хијерархијска секторизација и упаривање са оптимизационим методом.

Пето поглавље садржи резултате примене нових метода и алгоритама развијених у оквиру докторске дисертације. Поглавље је подељено на два главна одељка. У првом одељку су приказани резултати тестирања новог метода за хидраулички прорачун на четири мреже различитих сложености и карактеристика. Нови TRIBAL- $\Delta Q$  метод је упоређен са методом коју користи најпознатији софтвер за хидраулички прорачун мрежа под притиском – EPANET. Резултати приказују значајну предност новог метода у погледу рачунарске ефикасности, уз очување нумеричке стабилности и тачности решења хидрауличног прорачуна. У другом одељку поглавља DeNSE алгоритам је упоређен са постојећим методама за секторизацију дистрибутивних мрежа. Резултати потврђују да је нови алгоритам у стању да идентификује скуп могућих решења, која не угрожавају поузданост система и снабдевање потрошача. Рачунарска ефикасност DeNSE алгоритма идентификована је као једна од његових најзначајнијих предности јер омогућава идентификацију не једног, већ скупа могућих решења за реалне дистрибутивне мреже у релативно кратком рачунарском времену. Ова чињеница посебно долази до изражаја када се рачунарско време DeNSE алгоритма упореди са рачунарским временом метода које користе оптимизационе алгоритме (минути у поређењу са сатима).

Шесто, завршно поглавље садржи синтезу закључака свих претходних поглавља, уз критички осврт на испуњење постављених истраживачких задатака и предлоге за наставак истраживања приказаног у дисертацији.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

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

Историјски, водоводни систем има улогу да обезбеди континуално водоснабдевање корисника водом која је бактериолошки исправна и увек доступна. Задовољење ових стандарда је обезбеђено јасно дефинисаном законском регулативом (Правилник о хигијенској исправности воде за пиће - Сл. лист СРЈ, бр. 42/98), која међутим не прописује стандарде за контролу стања и ефикасности самог водоводног система за водоснабдевање. Обзиром да је вода основни животни ресурс на чију доступност све више утичу климатске промене, суше и раст броја становника, све више пажње се посвећује унапређењу ефикасности водододних система. Крајем деведесетих година прошлог века у значајном делу

европских земаља губици у водоводним системима (односно ненаплатива вода) су превазилазили вредности од 25% (нпр. Италија 37%) а у слабо развијеним земљама и 45% (Европска Агенција за заштиту животне средине). У периоду до 2010. године направљен је значајан напредак на пољу смањења ових губитака чији се тренд и даље наставља. Потенцијал за пораст губитака у систему и смањење ефикасности је повезан и са стањем инфраструктуре система. Старост од неколико десетина година ће се директно одразити на повећање губитака. Водоводна предузећа ће често одустати од реконструкције мреже (редовног одржавања) због захтеваних значајних улагања која касније неће моћи да поврате кроз наплату потрошње јер је, барем у нашем окружењу, економска цена воде тешко остварива. Ефикасно управљање водоводним системима, пре свега подразумева контролу водног биланса кроз ефикаснији мониторинг и смањење губитака у систему. Као што је већ наведено у претходном кратком опису дисертације, једна од основних стратегија која се примењује за ову сврху је секторизација мреже тј. дефинисање основних зона билансирања. Осим основне намене (контрола биланса и детекција губитака), зоне се могу користити и за контролу притиска у мрежи (посебно за мреже где постоји значајна висинска разлика), ефикаснију контролу ширења акцидентног загађења и квалитетније управљање ресурсима, планирање реконструкције и одржавања система (поделом на зоне сложени водоводни систем се дели на мање целине које олакшавају сагледавање система).

Обзиром на велики број критеријума и ограничења, у пракси је дефинисање зона процес базиран на експертском знању, односно, на инжењерском приступу у току кога се методом пробања тестирају различита варијантна решења на хидрауличком моделу. Искусствено знање се свакако не може занемарити и треба да буде укључено у процес креирања зона, међутим, овакав приступ захтева доста времена а одабрано решење не мора бити оптимално. Развојем рачунараских ресурса у протеклом периоду приступило се развијању методологија за димензионисање и аутоматску поделу мреже заснованих на примени оптимизационих алгоритама (најчешће методе енумерације и генетских алгоритама) које би омогућиле претрагу ширег скупа могућих решења. Недостатак оваквог приступа је веома лоша ефикасност у погледу рачунарског времена, услед чега у литератури не постоје примери примене на дистрибутивним мрежама реалне величине. Поред чињенице да неке од ових метода обухватају веома широк спектар критеријума и ограничења, њихова применљивост на реалне мреже није потврђена нити извесна.

Савременост истраживања приказаног у дисертацији се огледа у превазилажењу претходно наведених недостатака мануелног инжењерског приступа и метода заснованих на примени оптимизације. Развијене, и у дисертацији приказане, методе и алгоритми су директно употребљиве у пракси као подршка одлучивању инжењерима и доносиоцима одлука који се баве проблемом секторизације мреже.

### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру ове дисертације цитиране су укупно 103 библиографске јединице, од чега се приближно једна трећина односи на резултате истраживања у разматраној области објављене у претходних неколико година: 37 цитираних референци настало је после 2010. године. Кандидат је кроз преглед литературе обухватио најважније ауторе и публикације из области моделирања и секторизације дистрибутивних мрежа под притиском. Већину референци чине радови објављени у врхунским међународним часописима, пре свега у *Journal of Hydraulic Engineering*, *Journal of Water Resources Planning and Management*, *Journal of Hydroinformatics* и *Urban Water Journal*.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Осим општих научних метода које су коришћене преваходно за преглед литературе и синтезу закључака, у оквиру истраживања примењене су специфичне научне методе које обухватају истраживања на математичком моделу дистрибутивне мреже под притиском. У

оквиру истраживања кандидат је користио нумеричке методе за решавање система нелинеарних једначина, као и различите методе из области теорије графова која се примењује за моделирање система који се могу представити скупом објеката и веза између њих. За потребе ефикаснијег хидрауличног прорачуна мрежа под притиском, кандидат је развио унапређену методу засновану на методи прстенова. Методе из области теорије графова су примењене за развој алгоритма за проналажење прстенова у мрежи, неопходног за примену методе хидрауличног прорачуна базиране на методи прстенова. Обзиром да је идентификација прстенова у мрежи проблем много ширег значаја од оних анализираних у дисертацији, методологија развијена у дисертацији може наћи примену и у другим областима. Приликом развоја алгоритма за секторизацију мрежа под притиском, такође су коришћене методе из области теорије графова, али и одређене хеуристичке методе како би се избегла примена оптимизације и обезбедила боља рачунарска ефикасност алгоритма. У оквиру алгоритма за секторизацију је омогућена употреба претходно развијене методе за хидраулички прорачун.

Сви развијени алгоритми и методе су програмиране у програмском језику C++, како би се добијени резултати упоредили са постојећим методама 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

Нове методе и алгоритми развијени у дисертацији могу бити врло успешно примењени за различите намене у области моделирања дистрибутивних мрежа под притиском. Пре свега, резултати тестирања новог алгоритма за секторизацију демонстрирају његову робустност и изузетну предност у рачунарској ефикасности, у поређењу са тренутно доступним алгоритмима. Додатно, примена алгоритма не резултира једним решењем секторизације мреже, већ спектром могућих решења која задовољавају унапред дефинисане критеријуме и ограничења. Узимајући у обзир ове две чињенице, алгоритам може бити од изузетне користи инжењерима и доносиоцима одлука којима је у интересу да брзо и ефикасно сагледају предности и мане различитих приступа секторизацији мреже (дефинишући различите критеријуме и ограничења). Посебна погодност је имплементација могућности за хијерархијску секторизацију мреже, интересантна водоводним компанијама са ограниченим финансисјким средствима чији је интерес да секторизацију мреже изводе кроз фазе. Изузетној ефикасности алгоритма за секторизацију, између осталог, доприноси и примењени метод за хидраулички прорачун развијен и представљен у дисертацији. Овај метод може бити примењен и за хидраулички прорачун других намена, невезано за проблем секторизације мреже. Коначно, методологија за идентификацију прстенова у мрежи се може применити и у другим областима истраживања где се објекти и везе између њих могу представити у форми графа.

#### 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. Кандидат се у оквиру своје докторске дисертације бавио изучавањем и критичком анализом доступне референтне литературе, развојем ефикаснијег метода хидрауличног прорачуна и развојем новог алгоритма за аутоматску секторизацију мрежа под притиском. 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 Жељко

Василић, 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
- Нови алгоритам за идентификацију прстенова у мрежи (TRIBAL алгоритам), базиран на теорији графова и алгоритмима из области рачунске геометрије. Поред успешне примене у овој дисертацији, TRIBAL алгоритам потенцијално може бити користан и за друге истраживачке области, обзиром да је идентификација прстенова у графу проблем много ширег значаја.
- Нови метод за хидраулички прорачун мрежа под притиском који представља својеврсно унапређење методе прстенова - TRIBAL- $\Delta Q$  метод. Унапређење методе се огледа у значајном побољшању рачунарске ефикасности хидрауличног прорачуна, непосредно остварене и применом новог TRIBAL алгоритма за идентификацију прстенова у мрежи.
- Нови алгоритам за аутоматску секторизацију мреже под притиском на ОЗБ – DeNSE алгоритам. Представљени алгоритам надомешћује недостатке сличних алгоритма представљених у блиској прошлости, пре свега у применљивости на дистрибутивне мреже реалних величина.
- Хијерархијска секторизација, у прошлости препозната као пожељна и практична стратегија, први пут је у оквиру ове дисертације омогућена и имплементирана у један аутоматски алгоритам за секторизацију.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру поглавља са прегледом литературе је веома јасно и свеобухватно објашњен предмет истраживања. Током истраживања је развијено неколико нових метода и алгоритма који се могу користити у области моделирања дистрибутивних мрежа под притиском. Приликом њиховог развоја, тежило се остваривању могућности за практичну примену у инжењерској пракси, која није потврђена неким ранијим истраживањима. У оквиру дисертације нови метод за хидраулички прорачун је успешно интегрисан у нови алгоритам за аутоматску секторизацију, међутим његова примена је могућа и самостално за друге потребе анализе мрежа под притиском. Између осталог, остварена имплементација у програмском језику C++ омогућава релативно једноставну и ефикасну примену и у друге сврхе.

Резултати тестирања метода развијених у оквиру овог истраживања су веома охрабрујући и потврђују иницијално постављене истраживачке хипотезе. Унапређен је хидраулички прорачун базиран на методи прстенова и резултатима је доказано да је значајно ефикаснији од најчешће коришћене методе чворова, имплементирани у најпознатији и најчешће коришћени софтвер за хидрауличке анализе – EPANET. Доказано је и да је висока ефикасност највећим делом постигнута применом новог алгоритма за идентификацију прстенова у мрежи. Резултати тестирања новог алгоритма за секторизацију мреже под притиском потврђују његову употребљивост и за велике дистрибутивне мреже од неколико десетина хиљада чворова и цеви. Потребно рачунарско време за овакве мреже са применом



новог алгорита знатно је краће у односу на постојеће алгоритме који се ослањају на примену оптимизације. Што је важније, очувана је ваљаност решења, тј. добијена решења нису гора од решења остварених применом алтернативних алгоритама (у неким аспектима су и боља).

У закључном поглављу дисертације јасно је направљен преглед претходно наведених научних доприноса. Такође је направљен и критички осврт на недостатке развијених метода и алгоритама, које је потребно отклонити у наставку истраживања како би се додатно побољшала њихова употребљивост. Дефинисање зона које ће омогућити ефикасну контролу водног биланса у мрежи је постављено као основни циљ приликом развоја DeNSE алгорита за секторизацију. Основни критеријуми су минимално улагање у уређаје потребне за дефинисање зона на терену и очување поузданости система, чије се задовољење процењује усвојеним индикаторима перформанси. Алгоритам је развијен модуларно, тако да се врло једноставно може имплементирати и другачији скуп критеријума за секторизацију (нпр. обезбеђење пожарног оптерећења или задовољење специфичних параметара квалитета). TRIBAL- $\Delta Q$  метод за хидраулички прорачун је развијен под претпоставкама да чворна потрошња не зависи од притиска и да се топологија мреже не мења. Обзиром да контрола притиска није постављена као један од критеријума у алгоритму за секторизацију, у истраживању представљеном у дисертацији ове чињенице нису ограничавајуће. Међутим уколико се хидрауличком анализом нпр. желе моделирати уређаји као што су затварачи за контролу протока или потрошња која зависи од притиска у мрежи, додатне модификације би се морале имплементирати.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

У оквиру овог истраживања кандидат је објавио 2 рада у часописима са SCI листе, 2 рада у часописима од националног значаја, 6 радова је изложио на међународним научним скуповима и 1 рад на националном научном скупу:

##### Категорија M21 A – Међународни часописи изузетних вредности:

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., Kapelan, Z., Ivetić, D., & Prodanović, D. (2018). Improved Loop-Flow Method for Hydraulic Analysis of Water Distribution Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management (ASCE)*, 144(4), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000922](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000922)

##### Категорија M22 – Истакнути међународни часопис:

Ivetić, D., **Vasilić, Ž.**, Stanić, M., & Prodanović, D. (2016). Speeding up the water distribution network design optimization using the  $\Delta Q$  method. *Journal of Hydroinformatics*, 18(1), 33-48. <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.118>

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

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., Kapelan, Z. & Prodanović, D. (2018). Advanced Loop-flow Method for Fast Hydraulic Simulations. *13th International Hydroinformatics Conference – HIC2018*, 1 – 6 July 2018. Palermo (Italy)

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., Prodanović, D., & Kapelan, Z. (2017). Network Sectorization Through Aggregation of Strong Connected Components. In proceedings from *18th International Conference on Water Distribution Systems – WDSA2016*, 24 – 28 July 2016. Cartagena (Colombia), *Procedia Engineering*, 186, 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.238>

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., & Prodanović, D. (2017). Topology Based Algorithm for Sectorisation of Water Distribution Network. In K. Z. T. M. Zdravković M. (Ed.), *Proceedings of the 7th*

*International Conference on Information Society and Technology, ICIST 2017* (Vol. 1, pp. 205–209). Kopaonik: Society for Information Systems and Computer Networks.

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., Ivetić, D., & Prodanović, D. (2015). Improving the Hydraulic Analysis of a Water Distribution Network with the  $\Delta Q$  Method Using Automatic Identification of Minimal Basis Loops. *In 7th IWA Eastern European Young Water Professional Conference*, 17 – 19 September 2015. Belgrade, Serbia

Stanić, M., Babić, B., **Vasilić, Ž.**, & Prodanović, D. (2014). Clustering Water Distribution Networks with WatNC Algorithm. *In Proceedings: 14-ta međunarodna konferencija: Vodovodni i kanalizacioni sistemi* (pp. 253–262). Association for water technology and sanitary engineering, Belgrade.

Stanić, M., **Vasilić, Ž.**, Prodanović, D., & Branisavljević, N. (2012). Algoritmi za dekompoziciju, agregaciju i hidraulički proračun mreža pod pritiskom. *U zborniku: 12. međunarodna konferencija "Vodovodni i kanalizacioni sistemi" - Jahorina 2012* (pp. 187–192). Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd.

Категорија M51 – Врхунски часописи националног значаја:

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., Babić, B., Prodanović, D., & Dzodanović, B. (2016). Automatska podela vodovodne mreže na osnovne zone bilansiranja na primeru Požarevca. *Voda i Sanitarna Tehnika*, (1), 41–46.

Ivetić, D., **Vasilić, Ž.**, Stanić, M., & Prodanović, D. (2013). Optimizacija mreža pod pritiskom modeliranih  $\Delta Q$  metodom. *Vodoprivreda*, 264–266(4–6), 265–274.

Категорија M63 – Национални научни скупови:

**Vasilić, Ž.**, Stanić, M., Babić, B., & Prodanović, D. (2015). Dekompozicija vodovodne mreže primenom WatNC algoritma. *In Proceedings: 17. savetovanje SDHI i SDH*, Vršac, 5-6. oktobar 2015. (pp. 611–620). Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu.

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У докторској дисертацији под насловом „Алгоритми за подршку одлучивању при секторизацији мрежа под притиском“ (на енгл. „Decision support algorithms for sectorization of water distribution networks“) развијени су и представљени оригинални алгоритми и методе намењени за примену у области хидрауличке анализе и моделирања дистрибутивних мрежа под притиском. Развијен је нови алгоритам за идентификацију прстенова у мрежи, који је имплементиран у нову методу за хидраулички прорачун чиме је постигнута изузетна ефикасност у погледу рачунарског времена. Развијен је и оригинални алгоритам за секторизацију мреже под притиском који надомешћује недостатке сличних алгоритма представљених у блиској прошлости, између осталих и у применљивости на дистрибутивне мреже реалних величина. Све три целине истраживања представљене у дисертацији (алгоритам за идентификацију прстенова, метода за хидраулички прорачун и алгоритам за секторизацију) представљају веома вредан научни допринос у областима Хидроинформатике и Механике нестишљивих флуида и хидраулике. Алгоритам за идентификацију прстенова у мрежи се може сматрати вредним научним доприносом и за друге области истраживања у којима се примењује теорија графова. Практична применљивост развијених метода и алгоритма је доказана тестирањем на мрежама различитих карактеристика и сложености и верификацијом резултата поређењем са постојећим релевантним и опште прихваћеним методама. Научна вредност рада је доказана и кроз публикавање 2 рада у часописима са SCI листе (категорија M21A и M22), 2 рада у часописима од националног значаја, 6 радова на међународним научним скуповима и једног рада на националном научном скупу. Способности Жељка Василића, маг.инж.грађ. испољене током израде ове дисертације

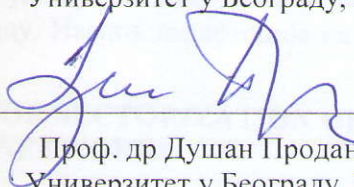
показују да кандидат поседује квалитете потребне за самостални научни рад, пре свега способност критичког сагледавања обављених истраживања, и синтезе њихових резултата на јасан, систематичан и концизан начин.

На основу изнетог, Комисија констатује да докторска дисертација под насловом „Алгоритми за подршку одлучивању при секторизацији мрежа под притиском“ (на енг. „Decision support algorithms for sectorization of water distribution networks“) представља оригиналан и значајан научни допринос у областима Хидроинформатике и Механике нестишљивих флуида и хидраулике. Услед напред наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати позитивну оцену докторске дисертације кандидата Жељка Василића, 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.

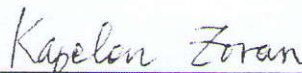
#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



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



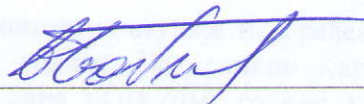
Проф. др Душан Продановић, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет



Проф. др Зоран Капелан, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Exeter – у, Велика Британија



В. проф. др Тина Дашић, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет



Доцент др Бранислав Бабић, дипл. грађ. инж.  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет