

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

262/2
(Број захтева)Већу научних области техничких наука
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)11.02.2016.
(Датум)

ЗАХТЕВ
за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да сходно чл. 46. ст.5. тач.3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације

МОДЕЛОВАЊЕ ДИНАМИКЕ НИВОА ПОДЗЕМНИХ ВОДА МЕТОДАМА НЕЛИНЕАРНЕ СТАТИСТИКЕ И ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Механика флуида

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног родитеља и презиме кандидата: ИВА (ИВАН) ГУРАНОВ
- Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд
- Година дипломирања: 2010.
- Назив магистарске тезе кандидата: _____
- Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: _____
- Година одбране магистарске тезе: _____
- Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: _____

Година уписа докторских студија: 2010.Обавештавамо Вас да је _____
Наставно-научно веће Факултета
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 11.02.2016.
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

Прилог:

- Предлог теме докторске дисертације са образложењем.
- Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 262/2
Датум: 11.02.2016. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Иве Гуранов**, мастер. инж. маш., бр. 2525/1 од 04.12.2015. године да јој се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Милан Лечић, ред.проф., др Небојша Васовић, ред.проф., РГФ Београд, др Александар Цветковић, ред.проф., др Александар Ћоћић, доцент и др Срђан Костић, научни сарадник, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“, број 262/1 од 03.02.2016. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 11.02.2016. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **ИВА ГУРАНОВ**, мастер инж. маш. испуњава услове за израду докторске дисертације **«МОДЕЛОВАЊЕ ДИНАМИКЕ НИВОА ПОДЗЕМНИХ ВОДА МЕТОДАМА НЕЛИНЕАРНЕ СТАТИСТИКЕ И ВЕШТАЧКИХ НЕУРОНСКИХ МРЕЖА»**.

За менторе студенту **Иви Гуранов**, именују се **др Милан Лечић, ред.проф. и др Небојша Васовић, ред. проф. РГФ Београд.**

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Подобност теме и кандидата Иве И. Гуранов за израду докторске дисертације

Одлуком бр. 2525/3 од 24.12.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Иве И. Гуранов, мастер инж. маш, студента докторских студија, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме **„Моделовање динамике нивоа подземних вода методама нелинеарне статистике и вештачких неуронских мрежа“**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ива (Иван) Гуранов рођена је 18.09.1986. у Загребу. Основну школу „Свети Сава“ у Житишту и Техничку школу у Зрењанину, смер машински техничар, завршила је са одличним успехом и за постигнуте резултате награђена је дипломама „Вук Стефановић Караџић“. Школске 2005/2006. године уписала се на Машински факултет Универзитета у Београду. Основне академске студије завршила је 2008. године са просечном оценом 9,63 (девет и 63/100) са оценом 10 (десет) на завршном раду под насловом *„Истраживање буке вентилатора“* из предмета Пумпе и вентилатори, ментор проф. др Милош Недељковић. Дипломске академске (мастер) студије уписала је школске 2008/2009. године на модулу Хидроенергетика. Дипломски-мастер рад на тему *„Примена OpenFOAM-а при истраживању ламинарног струјања у криволинијском каналу квадратног попречног пресека“* одбранила је 01.10.2010. са оценом 10 (десет), ментор проф. др Милан Лечић. Просечна оцена током мастер студија је 9,80 (девет и 80/100).

Школске 2010/2011. уписује Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, број индекса Д10/10. Кандидаткиња је положила све испите на Докторским студијама са просечном оценом 10,00 (десет). Од 01. јануара 2011. запослена је на Машинском факултету Универзитета у Београду у својству истраживача-сарадника на пројекту Министарства науке, просвете и технолошког развоја *„Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта“*, број пројекта: ТР 35046, руководилац пројекта: проф. др Милан Лечић.

Током Основних академских, Мастер академских и Докторских академских студија са постигнуте резултате добитник је следећих стипендија, награда и признања:

- Стипендија СЕЕPUS програма за студентску размену: Катедра за енергетику, Машински факултет, Технички универзитет у Либерецу, Чешка, 1. – 28. Јун 2011.
- Признање за обављену праксу програма „БГ пракса – 2010“, Београдске електране, мај – новембар 2010.
- Награда за изузетан успех и просечну оцену 9,90 (девет и 90/100) на другој години Дипломских академских-мастер студија, Машински факултет Универзитета у Београду, октобар 2010.
- Награда за изузетан успех и просечну оцену 9,64 (девет и 64/100) на првој години Дипломских академских-мастер студија, Машински факултет Универзитета у Београду, октобар 2009.
- Признање за похађање курса: Инспекција на бази ризика – област енергетика, у оквиру пројекта: „ESPRiT-Steinbeis Advanced Risk Technologies“, диплома бр. 16411-3/27/2009, Београд, март 2009.
- Стипендија Фондације за развој научног и уметничког подмлатка Републике Србије, октобар 2008. – октобар 2010.
- Награда за изузетан успех и просечну оцену 9,67 (девет и 67/100) на трећој години Основних академских студија, Машински факултет Универзитета у Београду, октобар 2008.
- Награда за изузетан успех и просечну оцену 9,90 (девет и 90/100) на другој години Основних академских студија, Машински факултет Универзитета у Београду, октобар 2007.
- Стипендија Министарства просвете Републике Србије, октобар 2006. – септембар 2008.
- Награда за изузетан успех и просечну оцену 9,28 (девет и 28/100) на првој години Основних академских студија, Машински факултет Универзитета у Београду, октобар 2006.

Знање страних језика

Енглески језик, Немачки језик.

Познавање оперативних система, софтверских пакета и програмских језика

- Оперативни системи: Windows, GNU/Linux
- Софтверски пакети: Autodesk Inventor, AutoCAD, SolidWorks, MatLab, Microsoft Office, Libre Office, Latex, OpenFOAM, Xfig, GIMP, Gnuplot, Octave, SciLab
- Програмски језици: Fortran

Истраживачка интересовања

механика флуида, нелинеарна статистика, вештачке неуронске мреже, временске серије, вискоеластични флуиди, нумеричка механика флуида

1.2. Сечено научноистраживачко искуство

1.2.1. Преглед положених испита

Ред. бр.	Назив предмета	Предметни наставник	Година студија и ЕСПБ				Оцена
			1. година		2. година		
			1. сем. (30)	2. сем. (30)	1. сем. (30)	2. сем. (30)	
1.	ОМНИР и комуникација (о)	проф. др Милош Недељковић	5				10 (десет)
2.	Виши курс математике (о)	проф. др Душан Георгијевић проф. др Стојан Раденовић	5				10 (десет)
3.	Нумеричке методе (о)	проф. др Миодраг Спалевић проф. др Александар Цветковић	5				10 (десет)
4.	Теорија хидродинамичке стабилности (и)	проф. др Милан Лечић	5				10 (десет)
5.	Одабрана поглавља из механике флуида (о)	проф. др Светислав Чантрак		5			10 (десет)
6.	Математичке методе механике флуида (и)	проф. др Милан Лечић		5			10 (десет)
7.	Виши курс биомеханике флуида (и)	проф. др Невена Стевановић		5			10 (десет)
8.	Турбулентна струјања (и)	проф. др Милан Лечић			5		10 (десет)
9.	Локомоторни биоинжењеринг (и)	проф. др Михајло Лазаревић			5		10 (десет)
10.	Истраживање и публикавање 1	проф. др Милан Лечић	10				10 (десет)
11.	Истраживање и публикавање 2	доц. др Александар Ћоћић		15			10 (десет)
12.	Истраживање и публикавање 3	доц. др Александар Ћоћић			20		10 (десет)
13.	Истраживање и публикавање 4	доц. др Александар Ћоћић				8	10 (десет)
14.	Пројекат идеје докторске дисертације	проф. др Милан Лечић проф. др Небојша Васовић проф. др Александар Цветковић доц. др Александар Ћоћић научни сарадник др Срђан Костић				22	10 (десет)
Укупно			120				10,00

Легенда: о – обавезни предмет, и – изборни предмет.

Напомена:

Кандидаткиња је положила свих 9 предмета предвиђених планом и програмом Докторских академских студија Машинског факултета у Београду. Од укупног броја предмета четири предмета су обавезна, а број изборних предмета је пет, при чему сваки вреди 5 ЕСПБ бодова, што је укупно 45 ЕСПБ бодова. Кандидаткиња је 53 ЕСПБ бода остварила радом на истраживању и публикавању, а 22 при припреми и одбрани пројекта идеје докторске дисертације, коју је одбранила пред комисијом у саставу од пет чланова, и тиме стекла услов за пријаву теме докторске дисертације.

1.2.2. Учесће у извођењу наставе

Кандидаткиња учествује у извођењу вежби и организацији испита, као студент докторских студија, на предмету Механика флуида Б на Машинском факултету Универзитета у Београду у школским годинама 2011/2012, 2012/2013, 2014/2015, 2015/2016. У току школске 2014/2015. и 2015/2016. ангажована је, као хонорарни асистент, на Рударско-геолошком факултету Универзитета у Београду на извођењу вежби из предмета Механика флуида, Механика 1, Механика 2, Техничка механика, Отпорност материјала, Наука о чврстоћи.

1.2.3. Списак објављених радова

1.2.3.1. Научни радови саопштени на скупу међународног значаја, штампани у зборнику у целини, категорија М33

1. Kostić D. S., **Guranov I.**, Vasović N.: *Nonlinear time series analysis of fluid dynamics: Stochastic groundwater level oscillation*, Proceedings / The 5th International Congress of Serbian Society of Mechanics, Arandelovac, Serbia, June 2015, F1b, pp. 1-8. (ISBN: 978-86-7892-715-7, COBISS.SR-ID 296997639 - USB)
2. Ćočić S. A., **Guranov I.**, Lečić R. M.: *Numerical investigation of laminar flow in square curved duct with 90° bend*, Proceedings / The 3rd International Congress of Serbian Society of Mechanics, Vlasina Lake, Serbia, July 2011., M2-21, pp. 1275-1283. (ISBN 978-86-909973-3-6, COBISS:SR-ID 187662860)
3. Ćočić S. A., **Guranov I.**: *An Overview of OpenFOAM CFD Software*, Proceedings of Third International Symposium Contemporary problems of Fluid Mechanics, Belgrade, Serbia, May 2011, pp. 119-126. (ISSN: 978-86-7083-725-6)
4. **Guranov I.**, Ćočić S. A., Lečić R. M.: *Numerical Studies of Viscoelastic Flow Using the Software OpenFOAM*, PAMM-Special Issue: 84th Annual Meeting of the International Association of Applied Mathematics and Mechanics (GAMM), Novi Sad 2013, Vol 13, No 1, pp. 591-592. (ISSN: 1617-7061, DOI: 10.1002/pamm.201310276)

1.2.3.2. Учесће у научним пројектима

1. Истраживач-сарадник, од 01.01.2011, на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја: ТР 35046, под називом „Примена савремених мерних и прорачунских техника за изучавање струјних параметара вентилационих система на

моделу енергетски изузетно ефикасног (пасивног) објекта“, руководиоца: др. Милан Лечић, редовни професор.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу биографских података кандидата, положених испита на докторским студијама, ангажовања на истраживачким активностима у оквиру пројекта технолошког развоја, као и на основи одбране пројекта идеје докторске дисертације, Комисија сматра да кандидаткиња испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Научно подручје, односно **ужа научна област** истраживања у предложеном докторату је **механика флуида**, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

Тема предложене дисертације односи се на анализу података осматрања нивоа подземних вода, са циљем дефинисања прогнозног математичког модела, коришћењем савремених математичких нумеричких метода нелинеарне статистике и вештачких неуронских мрежа. Значај теме огледа се у њеној савремености и очекиваним резултатима истраживања, који ће представљати новину у домаћој научној и стручној јавности. Такође, примена метода нелинеарне статистике по први пут је предложена у анализи динамике нивоа подземних вода и са становишта до сада објављених резултата у референтним међународним часописима, а у складу је са методологијом истраживања чији се резултати објављују у овим часописима из области примењене механике флуида (*Journal of Applied Fluid Mechanics, Journal of Fluids Engineering, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Environmental Fluid Mechanics*). Са становишта инжењерске праксе, очекивани резултати, односно, формулисање поузданог прогнозног модела динамике нивоа подземних вода, треба да омогуће смањење потребе за реалним мерењима *in situ*, као и да допринесу прецизнијем моделовању утицаја осцилација нивоа подземних вода на стабилност терена за потребе пројектовања и грађења објеката.

2.1. Предмет истраживања

Предмет истраживања у предложеној дисертацији је динамика нивоа подземних вода, као процес о којем постоји велики број података осматрања без познавања одговарајућег прогнозног модела. Најчешћи разлог за непостојање адекватног математичког модела је или недовољан број података да би модел био прецизно дефинисан или је механизам настанка процеса веома комплексан и није га могуће моделовати релативно једноставним математичким моделима. Истраживање у оквиру ове докторске дисертације обухватиће анализу података осматрања нивоа подземних вода на пијезометарским станицама инсталираним на подручју Србије. Подаци који ће се користити за анализу су јавно доступни и биће преузети са интернет странице Републичког хидрометеоролошког завода. Планирана анализа обухватиће примену две групе математичких метода: методу нелинеарне статистике и методу вештачких неуронских мрежа. Истраживање ће бити изведено нумерички, у програмском пакету *Matlab* [1], коришћењем готових програмских решења, уз одговарајуће измене у зависности од квалитета прикупљених података - њиховог броја и континуитета мерења. Очекује се да се методама нелинеарне статистике дефинише класа процеса којима припадају анализиране временске серије (случајан, детерминистички, стохастички), уз предлог прелиминарног модела предвиђања. С друге стране, примена метода вештачких неуронских мрежа треба да омогући формирање две групе модела: на бази претходно

осматраних података нивоа подземних вода, као и у функцији утицајних контролних фактора: падавина, температуре и нивоа површинских вода, са којима су посматране воде у хидрауличкој вези.

2.2. Осврт на релевантне библиографске изворе

Статистичка анализа података добијених осматрањем укључује и тестирање нултих хипотеза, а циљ тог тестирања је ближе одређивање карактера података који су на располагању. Одређивање „довољно доброг“ алгорита за генерисање сурогат серија је сложен задатак, и превазилажењем ограничења постојећих метода бавили су се Schreiber и Schmitz [2,3]. Takens [4] је међу првима схватио и показао да се вишедимензиони системи, са више променљивих, могу ближе одредити праћењем промене током времена (временске серије), само једне променљиве тог система.

Shaw [5] и Fraser и Swinney [6], запазили су и потврдили да је минимум функције узајамне информације добар критеријум за одређивање оптималног временског интервала развијања при реконструкцији вишедимензионог фазног портрета из временских серија, а функцију узајамне информације у оквиру теорије информација дефинисао је Gallagher [7].

Проблем одређивања прихватљиве минималне димензије развијања разматрали су Kennel et al. [8], а директни тест детерминизма система, заједно са примерима који показују разлику између хаотичне динамике, која је генерисана детерминистичким системом, и стохастичке динамике, динамике под утицајем шума, представили су Kaplan и Glass [9] и Perc [10].

Динамика промене нивоа подземних вода је тема која је због практичног значаја изучавана различитим приступима, али је још увек непознато да ли ова динамика испољава детерминистичку или стохастичку природу. Испитивање природе овог процеса врши се применом нелинеарне анализе временских серија, која још није коришћена у области механике флуида, али је до сада врло успешно примењивана у разним областима истраживања. Примена у другим областима истраживања показала је да нелинеарна анализа временских серија има огроман потенцијал у разматрању временских серија различитих врста података добијених мерењем или опажањем.

Основне методе нелинеарне анализе временских серија, на разматрање хаотичног понашања код резонантних кола, директно из података добијених експерименталним путем, применили су Kodba et al. [11]. Увод у нелинеарну анализу временских серија, заједно са применом на временске серије добијене детерминистичким једначинама, представио је и Perc [12], док се основама нелинеарне анализе временских серија баве Kantz и Schreiber [13] и Dolan и Spano [14]. За најбољу реконструкцију атрактора коришћене су методе узајамне информације¹ и привидно најближе вредности². Затим је на реконструисани атрактор примењен тест детерминизма и одређен је највећи Љапуновљев експонент. Показало се да је највећи Љапуновљев експонент позитиван, што је јак индикатор хаотичног понашања система. Применом метода нелинеарне анализе временских серија Perc [15] је анализирао људски електрокардиограм и, након позитивне потврде присуства детерминизма и стационарности, одређен је, опет, максимални Љапуновљев експонент. Нелинеарна анализа временских серија успешно је примењена и у чланцима Костић et al. [16,17] и докторској дисертацији Костић [18], где су аутори разматрали регистроване велосиграме осциловања тла за време рударски генерисаних потреса и закључили да је природа ових потреса стохастичка, а не детерминистичка. На основи резултата ове анализе, аутори предлажу коришћење вештачких неуронских мрежа за генерисање модела предвиђања.

Последњих година вештачке неуронске мреже користе се за предикцију у многим областима науке и инжењерства и то су нумеричке методе којима се успоставља нелинеарна веза између параметара система и траженог одговора, а креиране су по узору на

¹ *mutual information method* (енгл.)

² *false nearest neighbour method* (енгл.)

функционисање реалних неурона. Основне идеје и примере примене вештачких неуронских мрежа у својој монографији дао је Kriesel [19].

Коришћење вештачких неуронских мрежа је оправдано када подаци који се разматрају нису систематски прикупљени, не постоји довољно података, веза међу факторима који контролишу процес је комплексна и тачна математичка форма сложене природе процеса у позадини није позната. Васовић et al. [20] су добили задовољавајућу тачност предвиђања примењујући методе вештачких неуронских мрежа за предвиђање осциловања тла узрокованог ефектима минирања, као и за предвиђање утицаја на грађевинске објекте, а Костић и Васовић [21] испитивали су примену вештачких неуронских мрежа на испитивања чврстоће узорака бетона и предвиђања су засновали на експерименталним резултатима. За разлику од метода нелинеарне анализе временских серија, вештачке неуронске мреже већ су примењиване на проблеме одређивања нивоа подземних вода и предикцију њиховог понашања. Mohanty [22] је моделирао ниво подземних вода тако што је узео у обзир вредности других осматраних величина, тј. падавина, температуре, нивоа воде у рекама, нивоа воде у одводима и нивоа подземних вода за одређени претходни временски период. Разматрањем моделовања на основу и других података осматрања, осим нивоа подземних вода, бавили су се и Rakhshandehroo et al. [23] и Tapoglou et al. [24], док су Chitsazan et al. [25] разматрали и оптимални дизајн вештачких неуронских мрежа са различитим алгоритмима. Daliakopoulous [26] је разматрао особине различито „склопљених“ неуронских мрежа да би се идентификовала оптимална архитектура која може да симулира тренд опадања нивоа подземних вода и обезбеди прихватљиву предикцију у одређеном временском периоду. Због повећања тачности предвиђања испитано је и упоређено седам различитих архитектура мреже и алгоритама тренинга. Седам различитих врста архитектуре вештачких неуронских мрежа оценио је и Affandi [27] да би дошао до закључка о тачности предвиђања тренда опадања нивоа подземних вода и показао да се вештачке неуронске мреже могу користити за одређивање нивоа подземних вода и са релативно малим бројем података. Потврђивањем потенцијала примене вештачких неуронских мрежа на проблеме нивоа подземних вода бавили су се и Nayak et al. [28]. Одличне резултате при предвиђању просторно-временске флукуације подземних вода коришћењем хибридног типа вештачких неуронских мрежа представили су Jha и Sahoo [29]. Вештачке неуронске мреже код предвиђања карактеристика природних токова река употребио је Sahay [30], а моделовањем транспорта седимената помоћу вештачких неуронских мрежа бавили су се Ebtehaj и Bonakdari [31]. Применом вештачких неуронских мрежа и испитивањем модела на подацима који нису коришћени за тренирање, односно упоређивањем резултата добијеним применом вештачких неуронских мрежа са експерименталним резултатима бавили су се у другим областима механике флуида Mohammadi-Amin et al. [32] и Zhao et al. [33].

Практична примена наведених метода на велике временске серије нивоа подземних вода захтева сложена израчунавања. Апликације за таква израчунавања најчешће су развијене и имплементиране у комерцијалне или слободно доступне софтвере. Један од таквих „алата“ је MATS³, развијен за софтверски пакет *Matlab* [1], од стране Kugiumtzisa и Tsimpirisa [34]. Служи за обраду произвољно великих скаларних серија, а разноврсност избора опција илустрована је примерима у наведеном раду.

Освртом на најзначајније референце видљиво је да у литератури, као и домаћој стручној јавности недостаје истраживање које би се бавило применом нелинеарне статистике на осцилације нивоа подземних вода. Планирано је да се у овој дисертацији изврши примена метода нелинеарне статистике и вештачких неуронских мрежа, да се добију резултати, и на основу тих резултата изведу закључци о карактеру процеса и унапреди предикција везана за нивое подземних вода.

³ Акроним од *Measures of Analysis of Time Series* (енгл.)

2.3. Релевантни библиографски извори

- [1] The MathWorks, Inc.: *MATLAB-The Language of Technical Computing*, Version 7.5, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, 2007,
URL: <http://www.mathworks.com/products/matlab>.
- [2] Schreiber T., Schmitz A.: *Improved surrogate data for nonlinearity test*, Physical Review Letters, Vol 77, 1996, pp. 635–638.
- [3] Schreiber T., Schmitz A.: *Surrogate time series*, Physica D, Vol 142, No 3-4, 2000, pp. 346-382.
- [4] Takens F.: *Detecting strange attractors in turbulence*, in: Rand D.A., Young L.S.: *Dynamical Systems and Turbulence*, Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Vol 898, 1981, pp. 366–381.
- [5] Shaw R.: *Strange attractors, chaotic behavior and information flow*, Zeitschrift für Naturforschung, Vol 36A, 1981, pp. 80-112.
- [6] Fraser A., Swinney H.: *Independent coordinates for strange attractors from mutual information*, Physical Review A, Vol 33, 1986, pp. 1134-1140.
- [7] Gallagher R.G.: *Information Theory and Reliable Communication*, Wiley, New York, 1968, pp. 1-608.
- [8] Kennel M., Brown R., Abarbanel H.: *Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction*, Physical Review A, Vol 45, 1992, pp. 3403-3411.
- [9] Kaplan D.T., Glass L.: *Direct test for determinism in time series*, Physical Review Letters, Vol 68, 1992, pp. 427-430.
- [10] Perc M.: *Visualizing the attraction of strange attractors*, European Journal of Physics, Vol 26, 2005, pp. 579-587.
- [11] Kodba S., Perc M., Marhl M.: *Detecting chaos from a time series*, European Journal of Physics, Vol 26, 2005, pp. 205-215.
- [12] Perc M.: *Introducing nonlinear time series analysis in undergraduate courses*, Fizika A, Vol 15, 2006, pp. 91-112.
- [13] Kantz H., Schreiber T.: *Nonlinear time series analysis*, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 2004, pp. 1-388.
- [14] Dolan K.T., Spano M.L.: *Surrogate for nonlinear time series analysis*, Physical Review E, Vol 64, 2001, 046128-1-6.
- [15] Perc M.: *Nonlinear time series analysis of the human electrocardiogram*, European Journal of Physics, Vol 26, 2005, pp. 757-768.
- [16] Kostić S., Vasović N., Perc M., Toljić M., Nikolić D.: *Stochastic nature of earthquake groundmotion*, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol 392, 2013a, pp. 4134-4145.
- [17] Kostić S., Perc M., Vasović N., Trajković S.: *Predictions of Experimentally Observed Stochastic Ground Vibrations Induced by Blasting*, PLoS One 8, 2013b, e82056.
- [18] Kostić S.: *Nelinearno dinamičko modelovanje potresa izazvanih promenom naponskog stanja pri izradi horizontalnih podzemnih prostorija*, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta u Beogradu, 2013, pp. 1-233.
- [19] Kriesel D.: *A Brief Introduction to Neural Networks*, <http://www.dkriesel.com>, 2007, pp. 1-244.
- [20] Vasović D., Kostić S., Ravilić M., Trajković S.: *Environmental impact of blasting at Drenovac limestone quarry (Serbia)*, Environmental Earth Sciences, Vol 72, 2014, pp. 3915-3928.

- [21] Kostić S., Vasović D.: *Prediction model for compressive strength of basic concrete mixture using artificial neural networks*, Neural Computing and Applications, Vol 26, 2014, pp. 1005-1024.
- [22] Mohanty S., Jha M.K., Kumar A., Sudheer K. P.: *Artificial Neural Network Modeling for Groundwater Level Forecasting in a River Island of Eastern India*, Water Resources Management, Vol 24, 2010, pp. 1845-1865.
- [23] Rakhshandehroo G.R., Vaghefi M., Aghbolaghi M.A.: *Forecasting Groundwater Level in Shiraz Plain Using Artificial Neural Networks*, Arabian Journal for Science and Engineering, Vol 37, 2012, pp. 1871-1883.
- [24] Tapoglou E., Trichakis I.C., Dokou Z., Karatzas G.P.: *Groundwater level forecasting using an artificial neural network trained with particle swarm optimization*, Geophysical Research Abstracts, Vol 14, 2012, EGU2012-2405.
- [25] Chitsazan M., Rahmani G., Neyamadpour A.: *Forecasting Groundwater Level by Artificial Neural Networks as an Alternative Approach to Groundwater Modeling*, Journal of the Geological Society of India, Vol 85, 2015, pp. 98-106.
- [26] Daliakopoulos I.N., Coulibaly P., Tsanis I.K., *Groundwater level forecasting using artificial neural networks*, Journal of Hydrology, Vol 309, No 1-4, 2005, pp. 229-240.
- [27] Affandi A.K., Watanabe K., Tirtomihardjo H.: *Application of an artificial neural network to estimate groundwater level fluctuation*, Journal of Spatial Hydrology, Vol 7, 2007, pp. 23-46.
- [28] Nayak P.C., Satyaji Rao Y.R., Sudheer K.P.: *Groundwater Level Forecasting in a Shallow Aquifer Using Artificial Neural Network Approach*, Water Resources Management, Vol 20, 2006, pp. 77-90.
- [29] Jha M., Sahoo S., *Efficacy of neural network and genetic algorithm techniques in simulating spatio-temporal fluctuations of groundwater*, Hydrological Processes, Vol 29, 2015, pp. 671-691.
- [30] Sahay R. R.: *Prediction of longitudinal dispersion coefficients in natural rivers using artificial neural network*, Environmental Fluid Mechanics, Vol 11, 2011, pp. 247-261.
- [31] Ebtehaj I., Bonakdari H.: *Evaluation of sediment transport in sewer using artificial neural network*, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Vol 7, No 3, 2013, pp. 382-392.
- [32] Mohammadi-Amin M., Ghadiri B.: *An Aeroelastic Metamodel Based on Experimental Data for Flutter Prediction of Swept Rectangular Wings*, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol 6, 2013, pp. 115-120.
- [33] Zhao L., Zhang C., Shao L., Yang L. A.: *Generalized Neural Network Model of Refrigerant Mass Flow Through Adiabatic Capillary Tubes and Short Tube Orifices*, Journal of Fluids Engineering, Vol 129, No 12, 2007, pp. 1559-1564.
- [34] Kugiumtzis D., Tsimpiris A., *Measures of analysis of time series (MATS): a MATLAB toolkit for computation of multiple measures on time series data bases*, Journal of Statistical Software, Vol 33, 2010, pp. 1-30.

2.4. Циљ истраживања

Циљ планираних истраживања у докторској дисертацији је формулисање математичког модела динамике нивоа подземних вода. Строго математички посматрано, формулисани модел припадаће класи нелинеарних алгебарских и стохастичких модела. Планираним истраживањем треба да се одреди класа процеса којој припадају временске серије осциловања нивоа подземних вода, као и да се формирају поуздани модели прогнозе

базирани на резултатима досадашњих осматрања и на анализи утицаја контролних фактора: температуре, падавина и нивоа одговарајућих површинских вода.

3. Полазне хипотезе

Основна полазна хипотеза за планирано истраживање је претпоставка да постоји одређена законитост у осциловању нивоа подземних вода, која, са одређеном тачношћу, може да се дефинише довољно једноставним математичким моделом, односно, довољно једноставним са становишта коришћења у инжењерској пракси. Треба нагласити да се очекује да примена метода нелинеарне статистике покаже да осциловање нивоа подземних вода представља, у основи, детерминистички процес, са одређеним учешћем стохастичког дела, који потиче од непрецизности мерења и релативно сложених геолошких услова у којима се одвија осциловање нивоа подземних вода. С тим у вези, очекује се добијање довољно поузданих прогноза на бази формираног прогнозног модела, и то на основу података претходних осматрања, као и на бази утицаја контролних фактора динамике система: падавина, температуре и нивоа површинских вода.

4. Научне методе истраживања

Планирано истраживање у предложеној докторској дисертацији обухватиће примену две групе метода:

- методама нелинеарне статистике треба да се одреди класа процеса којој припадају временске серије осциловања нивоа подземних вода, а затим да се формулише прелиминарни прогнозни модел;
- вештачке неуронске мреже послужиће за формирање прогнозног модела, и то на бази резултата претходних осматрања, као и у функцији контролних параметара динамике система (падавине, температура, осцилације нивоа површинских вода).

Методе нелинеарне статистике обухватају анализу сурогат података и нелинеарну анализу временских серија. Примена метода нелинеарне анализе временских серија састоји се из неколико корака: извођење прелиминарних тестова, формирање сурогат података и поређење са осматраним вредностима, као и примена теореме потапања (развијања) скаларне временске серије у фазном простору. Прелиминарно тестирање подразумева конструкцију фазног портрета система и израчунавање Фуријеовог спектра снаге. С друге стране, примена теореме потапања биће изведена кроз следеће основне фазе: одређивање оптималног временског интервала развијања⁴ и минималне димензије развијања⁵, реконструкција временске серије у фазном простору, испитивање детерминизма и стационарности осматраних система и одређивање вредности највећег Љапуновљевог експонента. У овој фази се испитује да ли режимом нивоа подземних вода управља случајан или детерминистички процес, или је осциловање нивоа подземних вода одређено неком класом стохастичких процеса. Планиране методе истраживања биће примењене нумерички, путем анализе у слободно доступним програмским пакетима, као и коришћењем готових програмских решења у *Matlab*-у [1].

Следећа фаза истраживања представља примену друге групе метода, односно вештачких неуронских мрежа. Формирана база података о осциловању нивоа подземних вода послужиће као основа за креирање предикционих модела коришћењем вештачких неуронских мрежа. Планира се коришћење вишеслојне вештачке неуронске мреже са простирањем сигнала унапред, уз примену различитих алгоритама обучавања и различитог

⁴ *optimal embedding delay* (енгл.)

⁵ *minimum embedding dimension* (енгл.)

броја јединица у скривеном слоју. Предвиђа се формирање модела на два начина: користећи претходно осматране вредности нивоа подземних вода (модел као пресликавања) или користећи регистроване вредности утицајних фактора: падавина, температура и нивоа површинских вода (који су у хидрауличкој вези са нивоима подземних вода) као улазне податке - независне променљиве (модел као нелинеарне функције више променљивих). Поузданост коришћења и тачност модела биће тестирана за временски период који није био разматран при формирању модела.

5. Очекивани научни допринос

У погледу очекиваног научног доприноса, реализацијом истраживања у оквиру предложене теме дисертације, очекују се следећи резултати:

- Одређивање класе детерминистичких/стохастичких процеса којима припадају осматрани нивои подземних вода методама нелинеарне статистике;
- Дефиниција детерминистичког/стохастичког модела динамике нивоа подземних вода коришћењем метода нелинеарне статистике;
- Дефиниција два типа детерминистичких модела динамике нивоа подземних вода коришћењем методе вештачких неуронских мрежа:
 - на бази резултата осматрања нивоа подземних вода у претходном периоду,
 - на основу интеракције режима нивоа подземних вода и падавина, температура и нивоа површинских вода, као главних утицајних фактора.

Са становишта инжењерске праксе, очекивани резултати истраживања имају вишеструки значај. Као прво, формулисање поузданог прогнозног модела динамике нивоа подземних вода омогућава смањење броја потребних мерења *in situ*. Као друго дефинисани прогнозни модел осциловања нивоа подземних вода може да послужи инжењерима геолошке, рударске, грађевинске и шумарске струке у пракси при изучавању стабилности терена за потребе пројектовања и грађења објеката.

На бази прегледа радова објављених у референтним часописима, као и доступне фондовске документације предложена тема истраживања представља прву примену нелинеарне статистике и неуронских мрежа у истраживању динамике подземних вода у домаћој научној и стручној јавности. Резултати истраживања објављени у референтним међународним часописима указују на то да методе нелинеарне статистике до сада нису примењиване у изучавању динамике нивоа подземних вода.

6. План истраживања и структура рада

6.1. План истраживања

Истраживања ће се обавити по следећим фазама:

- Прикупљање, анализа и синтеза резултата досадашњих истраживања објављених у референтним међународним часописима, као и доступне фондовске документације.
- Формирање временских серија осциловања нивоа подземних вода на бази измерених вредности у реалним условима.
- Примена метода нелинеарне статистике са циљем одређивања карактера процеса у позадини осциловања нивоа подземних вода, као и са циљем формулисања прелиминарног модела прогнозе. Технике које ће се применити су:

- прелиминарни тестови,
- анализа сурогат података,
- развијање временских серија у фазном простору,
- детерминистички тест,
- тест стационарности,
- одређивање највећег Лапуновљевог експонента.
- Примена вештачких неуронских мрежа, са циљем формулисања прогнозног модела на бази резултата претходних осматрања, као и на основу анализе утицаја контролних фактора динамике система (падавина, температуре и осциловања нивоа површинских вода).
- Анализа добијених резултата и интерпретација са становишта инжењерске праксе.

6.2. Структура рада

Планирано је да се докторска дисертација састоји из следећих поглавља:

- Увод
- Предмет, циљ и задаци истраживања
- Методологија истраживања
 - Осматрање нивоа подземних вода на територији Србије
 - Методе нелинеарне статистике
 - Вештачке неуронске мреже
- Резултати истраживања
 - Формирање временских серија осциловања нивоа подземних вода
 - Нелинеарна анализа временских серија осциловања нивоа подземних вода
 - Формирање прогнозног модела на бази резултата нелинеарне анализе
 - Формулисање прогнозног модела коришћењем вештачких неуронских мрежа
- Дискусија
- Закључак
- Списак коришћене литературе и фондовске документације

7. Закључак и предлог

Анализом пријаве кандидата Иве И. Гуранов, мастер инж. маш, студента докторских студија, Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације актуелна и адекватна, као и да кандидат испуњава све услове за рад на предложеној теми.

Стога, Комисија предлаже Већу докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату

Иви И. Гуранов, мастер инж. маш.

одобри тему докторске дисертације под називом:

„Моделовање динамике нивоа подземних вода методама нелинеарне статистике и вештачких неуронских мрежа“

научна област: **машинство,**

ужа научна област: **механика флуида,**

за **менторе** се предлажу:

- **др Милан Лечић**, редовни професор Машинског факултета, Универзитета у Београду,

- **др Небојша Васовић**, редовни професор Рударско-геолошког факултета,
Универзитета у Београду.

У Београду,
22.01.2016. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Милан Лечић, ред. проф. - ментор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Небојша Васовић, ред. проф. - ментор,
Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет

.....
др Александар Цветковић, ред. проф. - члан,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Александар Ћоћић, доцент - члан,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др Срђан Костић, научни сарадник - члан,
Институт за водопривреду „Јарослав Черни“

Додатак уз образац 1.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Иву Гуранов, мастер инж. маш.

Име и презиме ментора: Милан Лечић

Звање: редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Lečić R. M., Čočić S.A., Čantrak M. S.: *Original Measuring and Calibration Equipment for Investigation of Turbulent Swirling Flow in Circular Pipe*, Experimental Techniques, Vol 38, No 3, May/June 2014, pp. 54-62. (ISSN 0732-8818, IF= 0.545 за 2014.), DOI: [10.1111/j.1747-1567.2012.00812.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2012.00812.x)
2. Čočić S.A., Lečić R. M., Čantrak M. S.: *Numerical Analysis of Axisymmetric Turbulent Swirling Flow in Circular Pipe*, Thermal Science, Vol 18, No 2, 2014, pp. 493-505. (ISSN 0354-9836, IF= 1.222 за 2014.) [doi:10.2298/TSCI130315064C](https://doi.org/10.2298/TSCI130315064C)
3. Benišek H. M., Lečić R. M., Ilić B. D., Čantrak S. Đ.: *Application Of New Classical Probes In Swirl Fluid Flow Measurements*, Experimental Techniques, Vol 34, No 3, May/June 2010, pp. 74-81. (ISSN 0732-8818, IF=0.545 за 2014.), DOI: [10.1111/j.1747-1567.2009.00482.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-1567.2009.00482.x)
4. Lečić R. M., Čantrak S. Đ., Čočić S.A., Banjac J. M.: *Piezoresistant velocity probe*, Experimental Techniques, Vol 33, No 3, 2009, pp.73-79. (ISSN 0732-8818, IF=0.545 за 2014.)
5. Banjac J. M., Stamenić S. M., Lečić R. M., Stakić B. M.: *Size distribution of agglomerates of milk powder in wet granulation process in a vibro-fluidized bed*, Brazilian Journal of Chemical Engineering, Vol 26, No 2, Jul-Sep 2009, pp. 515-525. (ISSN 0104-6632, IF=1.043 за 2014.)
6. Lečić R. M.: *A new experimental approach to the calibration of hot-wire probes*, Flow Measurement and Instrumentation, Vol 20, No 3, June 2009, pp. 136-140. (ISSN 0955-5986, IF=1.040 за 2014.) [doi:10.1016/j.flowmeasinst.2009.04.001](https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2009.04.001)

7. Čantrak M. S., Beníšek H. M., Nedeljković S. M., Lečić R. M.: *Problems of non-local turbulent transfer modelling*, Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik / ZAMM, Vol 81, C4, 2001, pp. S913-S914. (ISSN 0044-2267, IF=1.162 за 2014.)
8. Lečić R. M., Čočić S.A., Čantrak M. S.: *Positioning Devices for Measuring Spatial Velocity Correlations in Turbulent Swirl Flow in the Pipe by Hot - Wire Probes*, Experimental Tehniques, Accepted for Printing, First Published Online: 14.09.2013. (ISSN 0732-8818, IF=0.545 за 2014.) DOI: [10.1111/ext.12052](https://doi.org/10.1111/ext.12052)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П. _____

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата Иву Гуранов, мастер инж. маш.

Име и презиме ментора: Небојша Васовић

Звање: редовни професор Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Kostić D. S., Vasović N., Franović I., Todorović D. K.: *Complex Dynamics of Spring-Block Earthquake Model Under Periodic Parameter Perturbations*, Journal of Computational and Nonlinear Dynamics, Vol 9, No 3, 2014, pp. 031019-1-10. (ISSN 1555-1423, IF=1.111 за 2014.)
[doi:10.1115/1.4026259](https://doi.org/10.1115/1.4026259)
2. Lapčević R., Kostić D. S., Pantović V. R., Vasović N.: *Prediction of blast-induced ground motion in a coppermine*, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol 69, July 2014, pp. 19-25. (ISSN 1365-1609, IF=1.686 за 2014.) [doi:10.1016/j.ijrmms.2014.03.002](https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.03.002)
3. Kostić D. S., Vasović N., Perc M.: *Temporal distribution of recorded magnitudes in Serbia earthquake catalog*, Applied Mathematics and Computation, Vol 244, 1 October 2014, pp. 917-924. (ISSN 0096-3003, IF=1.551 за 2014.) [doi:10.1016/j.amc.2014.07.063](https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.07.063)
4. Kostić D. S., Vasović N., Perc M., Toljić M., Nikolić D.: *Stochastic nature of earthquake ground motion*, Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, Vol 392, No 18, 2013, pp. 4134-4145. (ISSN 0378-4371, IF=1.732 за 2014.) [doi:10.1016/j.physa.2013.04.045](https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.04.045)
5. Kostić D. S., Franović I., Todorović D. K., Vasović N.: *Friction memory effect in complex dynamics of earthquake model*, Nonlinear Dynamics, Vol 73, No 2, 2013, pp. 1933-1943. (ISSN 0924-090X, IF=2.849 за 2014.)
[doi:10.1007/s11071-013-0914-8](https://doi.org/10.1007/s11071-013-0914-8)
6. Kostić D. S., Perc M., Vasović N., Trajković N.: *Predictions of Experimentally Observed Stochastic Ground Vibrations Induced by Blasting*, PLoS One / Public Library of Science, Vol 8, No 12, 2013, pp. e82056-1-13. (ISSN 1932-6203, IF=3.234 за 2014.)
[doi:10.1371/journal.pone.0082056](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082056)

7. Kostić D. S., Vasović N., Franović I., Jevremović D., Mitrović D., Todorović D. K.: *Dynamics of landslide model with time delay and periodic parameter perturbations*, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol 19, No 9, September 2014, pp. 3346-3361. (ISSN 1007-5704, IF=2.866 за 2014.) [doi:10.1016/j.cnsns.2014.02.012](https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.02.012)
8. Kostić D. S., Vasović N., Sunarić D.: *A new approach to grid search method in slope stability analysis using Box-Behnken statistical design*, Applied Mathematics and Computation, Vol 256, April 2015, pp. 425-437. (ISSN 0096-3003, IF=1.551 за 2014.) [doi:10.1016/j.amc.2015.01.022](https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.01.022)

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техничко-технолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је Министарство за науку класификовало као M24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као M11, M12, M13, M14, M41 и M51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односно дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум _____

М.П. _____