

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ			
Примљено: 07 DEC 2021			
Својед.	Број	Прилог	Боджес
06	012 06	-	2259/4-20

СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ВЕЋЕ ЗА СТУДИЈЕ ПРИ УНИВЕРЗИТЕТУ
Биофизика

Предмет: Извештај комисије о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Бојане С. Стојадиновић.

Одлуком Већа за студије при Универзитету именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата БОЈАНЕ С. СТОЈАДИНОВИЋ под насловом:

„Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система“

После прегледа достављене Дисертације, Комисија подноси Већу за студије при Универзитету у Београду следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидаткиња Бојана Стојадиновић је школске 2014/2015. године уписала докторске академске студије при Универзитету у Београду на студијском програму Биофизика. Током студија је положила све испите и испунила све обавезе везане за студијски истраживачки рад предвиђене планом и програмом.

Кандидаткиња је пријавила тему докторске дисертације под насловом *„Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система“*, а Веће за студије при Универзитету је на седници одржаној 25. маја 2020. године донело одлуку о именовању

чланова комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под насловом *„Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система“*.

На седници Већа за студије при Универзитету одржаној 22. јуна 2020. године усвојен је извештај Комисије за оцену научне заснованости предложене теме докторске дисертације под називом *„Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система“*, а за менторе ове докторске дисертације именовани су др Дејан Жикић, ванредни професор Медицинског факултета Универзитета у Београду и др Сања Мaziћ, редовни професор Медицинског факултета Универзитета у Београду.

Веће за студије при Универзитету на седници одржаној 08. новембра 2021. године донело је одлуку о именовану Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Бојане Стојадиновић под називом *„Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система“* у следећем саставу:

1. Проф. др Дејан Жикић, ванредни професор, Медицински факултет Универзитета у Београду. Ужа област научно-истраживачког рада: биофизика (ментор);
2. Проф. др Сања Мaziћ, редовни професор, Медицински факултет Универзитета у Београду. Ужа област научно-истраживачког рада: медицинска физиологија (ментор);
3. Проф. др Иван Белча, редовни професор, Физички факултет Универзитета у Београду. Ужа област научно-истраживачког рада: примењена физика (члан комисије);
4. Проф. др Небојша Радовановић, редовни професор, Медицински факултет Универзитета у Београду. Ужа област научно-истраживачког рада: кардиологија (члан комисије);
5. Проф. др Зоран Николић, ванредни професор, Физички факултет Универзитета у Београду. Ужа област научно-истраживачког рада: примењена физика (члан комисије);

1.2. Научна област дисертације

Ужа научна област у коју спада докторска дисертација јесте Кардиоваскуларна физика. Сама тема, њена научна обрада и методолошки приступ карактерише мултидисциплинарност, што подразумева повезивање и примену научних области из медицине, кардиологије, физике, математике, електронике и анализе сигнала.

Ментори докторске дисертације су др Дејан Жикић, ванредни професор Медицинског факултета Универзитета у Београду (ужа област научно-истраживачког рада: биофизика) и др Сања Мaziћ, редовни професор Медицинског факултета Универзитета у Београду (ужа област научно-истраживачког рада: медицинска физиологија). Наведени ментори су аутори великог броја научних радова у међународним часописима и испуњавају све формалне и законске услове за менторе докторске дисертације. Радови ментора који потврђују њихову компетентност за област докторске дисертације су наведени приликом саме пријаве теме докторске дисертације кандидаткиње.

1.3. Биографски подаци о кандидаткињи

Бојана Стојадиновић је рођена 08. маја 1990. године у Пожаревцу. Године 2009. уписала је основне академске студије на Физичком факултету Универзитета у Београду, на смеру Примењена и компјутерска физика. Дипломирала је 2013. године са просечном оценом 9,32 и стекла звање дипломирани физичар.

Мастер студије је уписала исте године на Физичком факултету Универзитета у Београду, смер Примењена и компјутерска физика. Мастер студије са просечном оценом 10,00 је завршила 2014. године са темом мастер рада “Експериментално одређивање брзине пулсног таласа вискозног флуида у еластичним цевима: биофизички модел васкуларног протока”, под менторством проф. др Зорана Николића. Од школске 2014/2015. године је докторанд мултидисциплинарних докторских студија Универзитета у Београду на студијском програму Биофизика. Исте године започиње научну сарадњу и постаје активни члан Лабораторије за биомедицинске сензоре и моделовање у хемодинамици, на Институту за Биофизику Медицинског факултета Универзитета у Београду.

Од априла 2015. године постаје стипендиста за докторске студије Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Од 15. јуна 2015. године запослена је као асистент на катедри за Биофизику у медицини на Медицинском факултету Универзитета у Београду где учествује у настави биофизике на редовним и изборним предметима Интегрисаних академских студија медицине, као и на Специјалистичким академским студијама на изборним модулима Експерименталне физиологије и патолошке физиологије, у извођењу вежби. Ментор је три студентска научно-истраживачка рада која су представљена на Конгресима студената биомедицинских наука Србије.

2015. године постаје члан и активно учествује у раду Друштва биофизичара Србије. Од 2018. године прикључена је на пројекат МПНТР Републике Србије бр.171035 – Графитне и неорганске наноструктуре ниске димензионалности, руководиоца проф. др Милана Дамњановића, на Физичком факултету Универзитета у Београду, као једна од 1000 младих докторанада.

Бојана је до сада публиковала четири рада у међународним часописима који су на SCIEexpanded листи, од којих су три рада са impact фактором (на једном раду први аутор) и један рад из едукације без impact фактора, на коме је први аутор. Радови произашли из истраживања спроведених у оквиру рада на докторској дисертацији су наведени у поглављу 4.3. Верификација научних доприноса. Преостали део библиографије кандидаткиње обухвата следеће публикације:

Радови објављени у целости у зборницима међународних научних скупова:

- Rajković N., Radulović M., Stojadinović B., Milošević NT. Histological images of malignant breast tumor: mono and multifractal analysis, Proceedings of 20th International Conference on Control Systems and Computer Science, Vol. 2: IAFA: Fractal Analysis of Medical Images, I. Dumitrache, A. Magda Florea, F. Pop, A. Dumitrascu (eds.), The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Los Alamitos, CA, USA, 2015, 531-538.

Изводи у зборницима међународних скупова:

- Žikić D., Stojadinović B., Nestorović Z. Biophysical Modeling of Wave Propagation Phenomena: Experimental Determination of PWV in Viscous Fluid-filled Elastic Tubes in a Gravitation Field, 2018, 8th Regional Biophysics Conference, Zreče, Slovenia Book of abstracts, PS-80
- Stojadinović B., Nestorović Z., Žikić D. Using infrared radiation for the measurement of arterial blood flow waveform, The Sixth International School and Conference on Photonics, PHOTONICA 2017, Book of abstracts B.1 – 102.
- Žikić D., Stojadinović B., Žikić D. A mathematical model of blood pressure and flow waveforms in the aortic root, European Biophysics Journal with Biophysics Letters, 2015, S – 182.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под насловом „*Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система*“ је написана на српском језику на 81 страну (95 страна са насловним странама, сажецима, биографијом и изјавама) куцаног текста латиничним писмом и садржи 47 слика, 9 табела и 35 референци наведених по редоследу цитирања у тексту дисертације. Текст дисертације је организован у оквиру следећих поглавља:

1. Увод
2. Хипотеза и циљеви
3. Методе
4. Резултати
5. Дискусија
6. Закључак
7. Литература

Осим наведеног садржаја, на почетку дисертације налазе се: насловна страна на српском и енглеском језику, подаци о менторима и члановима комисије, посвета, захвалница, сажетак дисертације на српском и енглеском језику и садржај. Након поглавља Литература додати су биографија кандидата и три потписане изјаве (изјава о ауторству, изјава о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу). По форми и по садржају написана дисертација испуњава све стандарде Универзитета у Београду за докторску дисертацију.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У поглављу Увод приказан је значај проблематике проучаване у оквиру докторске дисертације, извршено је образлагање теме и концепата повезаних са темом и указано је на актуелност и научни допринос истраживања феномена таласног простирања крви кроз кардиоваскуларни систем и испитивање утицаја спољашњих и унутрашњих фактора на простирање таласа. Предочено је и да је истраживање наведене теме спроведено кроз

мултидисциплинаран теоријски и експериментални приступ. У Теоријском делу дисертације је приказан преглед досадашњих достигнућа у области проучавања брзине простирања пулсних таласа. Приказани су математички модели који су до сада коришћени, а на крају Увода су приказане и математичке релације које су добијене у овом истраживању и које могу да се примене за наставак истраживања феномена таласног простирања са циљем бољег разумевања кардиоваскуларне физике. Поглавље Увод садржи пет потпоглавља.

У поглављу Хипотеза и циљеви наведени су циљеви истраживања који су били водиле приликом израде докторске дисертације. Основни циљ овог истраживања је био да се на биофизичким моделима кардиоваскуларног система експериментално одреди утицај гравитације на брзину простирања пулсних таласа. Други циљ овог истраживања је био да се на биофизичким моделима кардиоваскуларног система експериментално одреди зависност брзине пулсних таласа од параметара флуида и геометрије цеви кроз коју се простира талас (флуиди различитих вискозности, цеви различитих унутрашњих пречника и различит притисак флуида унутар цеви). Последњи циљ истраживања је био да се на основу добијених резултата мерења изведе математичка законитост између брзине пулсних таласа, гравитације, параметара флуида и геометрије цеви.

У поглављу Методе приказана је коришћена методологија. За мерење брзине пулсних таласа развијена су и коришћена два биофизичка модела кардиоваскуларног система. У овом поглављу детаљно су описани развијени биофизички модели кардиоваскуларног система који су коришћени за мерење брзине пулсних таласа, као и сам протокол мерења. Детаљно су описане и следеће методе: одређивање вискозности течности које су коришћене у експериментима, одређивање густине течности и температуре, одређивање димензије еластичних црева, одређивање густине еластичних црева и две методе за одређивање модула еластичности црева. У овом поглављу је описан и начин одређивања времена проласка пулсног таласа између два сензора, као и начин како се одређивала брзина пулсних таласа. На крају поглавља Методе приказане су изведене математичке релације за рачунање брзине пулсних таласа у гравитационом пољу.

У поглављу Резултати наведене су табеле и графици који садрже резултате мерења. Такође, представљени су и графици поређења брзина пулсних таласа експериментално добијених и израчунатих из математичких модела.

У поглављу Дискусија представљена је детаљна анализа добијених резултата истраживања. И дискусија је организована по потпоглављима у којима су посебно анализирани брзине пулсних таласа на оба биофизичка модела кардиоваскуларног система, анализиран је утицај промене притиска флуида на брзину пулсних таласа и представљена је анализа поређења експериментално добијених резултата и математичких модела.

У поглављу Закључак сумирани су најзначајнији резултати и сазнања проистекла из ове докторске дисертације, са акцентом и на могућу примену. Такође су дате и смернице за будући истраживачки рад.

У поглављу Литература наведене су све референце цитиране у докторској дисертацији.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

У докторској дисертацији је Бојана Стојадиновић разматрала веома актуелан проблем таласног простирања крви кроз кардиоваскуларни систем. Разматрала је проблем утицаја гравитације на брзину простирања пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом, а такође је разматрала проблем утицаја одређених параметара флуида и геометрије цеви на простирање пулсних таласа, као и утицај притиска унутар цеви кроз коју се талас простире. Бојана Стојадиновић је представила и нове математичке релације које је добила у својим истраживањима. Основни научни допринос кандидаткиње је примена добијених резултата истраживања у медицинској дијагностици.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Кандидаткиња је прегледом литературе показала да је проучила радове у области испитивања брзине простирања пулсних таласа, као и математичких модела који се користе за рачунање брзине пулсних таласа. Излагање у дисертацији показује да је Бојана Стојадиновић одлично разумела проблеме који нису били решени у претходним истраживањима. Такође, приметно је да је кандидаткиња на основу познавања литературе, изнела проницљива запажања и повезивања, те да је на јасан начин истакла допринос тезе у односу на претходна истраживања. Прегледом пописане литературе уочљиво је да су наведене квалитетне и пробране референце. На основу свега тога, кандидаткиња је испољила зрелост и способност самосталног научно-истраживачког рада.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Концепт дисертације је детаљно образложен, у складу са научним принципима и научном методологијом. Методологија је јасно и прегледно изведена, а у складу са тим, приказани су и резултати на научно задовољавајући начин, кроз графике и табеле са свим потребним

означавањима и детаљима. На основу свега тога обезбеђена је поновљивост истраживања и добијених резултата, уколико се поседује одговарајућа опрема. Излагање у дисертацији је јасно и довољно детаљно, а укључује и елементе који показују зрелост кандидаткиње која је развијена током докторских студија. Примењене методе истраживања су поштовале све норме рада заснованог на доказима. Приказ експерименталног одређивања брзине пулсних таласа на моделима кардиоваскуларног система и дискусија резултата су дати на начин који омогућава заинтересованим истраживачима у области биофизике, кардиологије и биомедицине да наставе даља истраживања феномена таласног простирања крви кроз кардиоваскуларни систем.

3.4. Применљивост остварених резултата

Применљивост остварених резултата огледа се у могућности да други истраживачи могу такође применити ново успостављену методу у својим истраживањима. Ова дисертација такође омогућава да други истраживачи у области клиничких истраживања могу применом ових резултата да унапреде дијагностичке методе и омогуће једноставно добијање корисних информација о стању кардиоваскуларног система и здрављу целокупног организма, као и да развију нове кардиолошке импланте.

3.5. Оцена постигнутих способности кандидата за самостални рад

Кандидаткиња Бојана Стојадиновић је приликом извођења експерименталног истраживања и израде докторске дисертације испољила значајну посвећеност и одговорност и у самосталном раду и у тимској сарадњи. Ове тврдње следе из личног познавања кандидаткиње, али и из прегледа резултата које је кандидаткиња публиковала у часописима и зборницима са међународних конференција који имају строгу рецензију. Бојана Стојадиновић је током израде докторске дисертације испољила самосталност и стручност у претраживању савремене литературе, планирању истраживања, осмишљавању, припреми и реализацији експеримената, као и у анализи добијених резултата. Имајући у виду испољене квалитете, заинтересованост, мотивисаност, стручност у обављању научних активности, Комисија сматра да кандидаткиња Бојана Стојадиновић поседује компетентност и све квалитете који су неопходни услови за успешан самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни допринос докторске дисертације огледа се у повезивању фундаменталних и примењених истраживања са циљем стварања нових знања од интереса за друштво и ширу научну заједницу. Ново створена знања су валидизована кроз публикације у водећим међународним часописима. Резултати из ове дисертације о утицају вискозности на брзину простирања пулсних таласа примећени су у широј међународној научној заједници и цитирани 7 пута. У дисертацији је у првом делу представљен проблем досадашњег истраживања брзине простирања пулсних таласа. Истраживања на моделима која су до данас спровођена нису узела у обзир утицај гравитације, унутрашњег притиска и вискозности флуида на брзину простирања пулсних таласа. Такође, изведена формула за рачунање брзине пулсних таласа у еластичним цевима испуњеним флуидом (*Moens–Korteweg equation*) се не може применити на израчунавање брзине простирања таласа кроз кардиоваскуларни систем. У другом делу дисертације представљени су биофизички модели кардиоваскуларног система који су коришћени у истраживањима и који су омогућили мерење брзине пулсних таласа у различитим условима. Показано је да како гравитација, тако и притисак флуида, одређени параметри флуида, као што су густина и вискозност и геометрија цеви утичу на брзину простирања пулсних таласа. Такође су изведене и нове математичке релације које, за разлику од досадашњих, садрже члан за вискозност, притисак и гравитацију, тако да су се показале као много прецизније у односу на раније представљене математичке моделе. Изучавање брзине простирања пулсних таласа у гравитационом пољу са различитим вредностима вискозности флуида је од велике важности за развој и креирање вештачких артерија или импланата у кардиоваскуларном стаблу. Такође, брзина пулсних таласа је један од кардиоваскуларних параметара помоћу кога се може неинвазивним путем пратити дејство медикаментне терапије. На крају, као важну ставку, потребно је нагласити мултидисциплинарни приступ у реализацији овог истраживања

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Резултати приказани у дисертацији проистекли су из критичке анализе прегледа постојећих резултата других аутора у области испитивања брзине простирања пулсних таласа. Докторска дисертација Бојане Стојадиновић дефинише практичан методолошки приступ проучавања утицаја гравитације, различитих параметара флуида, димензије цеви и притиска флуида на брзину пулсних таласа. Кандидаткиња је успешно објединила све остварене резултате и на основу њих стекла нова знања која је приказала у закључцима. У

истраживачком приступу докторске disertacije ostvarena je sinteza više naučnih disciplina: medicina, kardiologija, fizika, matematika, elektronika i analiza signala.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси докторске disertacije верификовани су у следећим радовима:

Радови објављени у међународним часописима:

- Žikić D., **Stojadinović B.**, Nestorović Z. Biophysical modeling of wave propagation phenomena: experimental determination of pulse wave velocity in viscous fluid-filled elastic tubes in a gravitation field, *European Biophysics Journal with Biophysics Letters*, 2019, DOI 10.1007/s00249-019-01376-1 M22, IF–2,527
- Djurić B., Suzić S., **Stojadinović B.**, Nestorović Z., Ivanović M., Suzić-Lazić J., Nesić D., Mazić S., Tenne T., Zikich D., Žikić D. An improved design of optical sensor for long-term measurement of arterial blood flow waveform, *Biomedical microdevices*, 2017, 19(3): 48, M22, IF–2,692.
- **Stojadinović B.**, Nestorović Z., Djurić B., Tenne T., Zikich D., Žikić D. Laboratory model of the cardiovascular system for experimental demonstration of pulse wave propagation, *Physics Education*, 2017, 52(2): 025001.
- **Stojadinović B.**, Tenne T., Zikich D., Rajković N., Milošević NT., Lazović B., Žikić D. Effect of viscosity on the wave propagation: Experimental determination of compression and expansion pulse wave velocity in fluid-fill elastic tube, *Journal of Biomechanics*, 2015, 48(15): 3969-3974, M22, IF–2,951

Конференције и скупови:

- Žikić D., **Stojadinović B.**, Nestorović Z. Biophysical Modeling of Wave Propagation Phenomena: Experimental Determination of PWV in Viscous Fluid-filled Elastic Tubes in a Gravitation Field, 2018, 8th Regional Biophysics Conference, Zreče, Slovenia Book of abstracts, PS-80
- **Stojadinović B.**, Nestorović Z., Žikić D. Using infrared radiation for the measurement of arterial blood flow waveform, *The Sixth International School and Conference on Photonics, PHOTONICA 2017*, Book of abstracts B.1 – 102.
- Žikić D., **Stojadinović B.**, Zikich D. A mathematical model of blood pressure and flow waveforms in the aortic root, *European Biophysics Journal with Biophysics Letters*, 2015, S – 182.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторску дисертацију кандидаткиње Бојане Стојадиновић смо пажљиво прегледали и установили да задовољава све академске и научне стандарде потребне за одбрану. Дисертација садржи сагласне и доследно представљене резултате, у научном смислу, строго изведених вишегодишњих теоријских и експерименталних истраживања у чијој је основи мултидисциплинаран приступ повезивања и примене научних области из биофизике, медицине, кардиологије, физике, математике, електронике и анализе сигнала. Дисертација је омогућила стицање нових знања у разумевању феномена таласног простирања крви кроз кардиоваскуларни систем. Приказани поступак експерименталног одређивања брзине пулсних таласа на моделима кардиоваскуларног система је оригиналан и иновативан.

У дисертацији се могу пронаћи нова сазнања о утицају гравитације на брзину простирања пулсних таласа кроз цеви еластичних зидова испуњених вискозним флуидом. То је до сада било скоро потпуно научно неистражено.

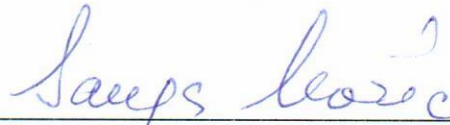
Највећи део резултата добијених из истраживања приказаног у докторској дисертацији су представљени и у научним радовима који су објављени у међународним часописима (са стручном рецензијом) и међународним научним скуповима. Кандидаткиња је положила све испите предвиђене програмом докторских студија и испунила све потребне услове да брани докторску дисертацију на Универзитету у Београду.

Имајући све наведено у виду, доле потписани чланови Комисије са великим задовољством предлажу већу Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом „Таласно простирање у гравитационом пољу: експериментално истраживање утицаја гравитације на простирање пулсних таласа кроз еластичне цеви испуњене вискозним флуидом на биофизичким моделима кардиоваскуларног система“ кандидаткиње Бојане Стојадиновић прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



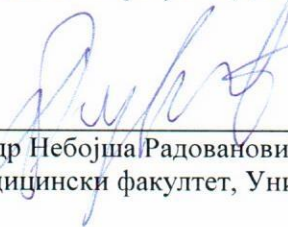
Проф. др Дејан Жикић, ванредни професор,
Медицински факултет, Универзитет у Београду



Проф. др Сања Мазич, редовни професор
Медицински факултет, Универзитет у Београду



Проф. др Иван Белча, редовни професор
Физички факултет, Универзитет у Београду



Проф. др Небојша Радовановић, редовни професор
Медицински факултет, Универзитет у Београду



Проф. др Зоран Николић, ванредни професор
Физички факултет, Универзитет у Београду

У Београду, 6. децембар 2021. године