

Предмет: Реферат о завршеној докторској дисертацији **Зоране Б. Тривковић, маг. инж. маш.**, студента Докторских студија

Одлуком бр. 1080/2 од 13.06.2019. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Зоране Б. Тривковић** под насловом:

„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“

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 Зорана Б. Тривковић, маг. инж. маш, уписала је Докторске студије Машинског факултета Универзитета у Београду школске 2010/11. године. Положила је испите из свих предмета предвиђених наставним планом и програмом за ниво докторских студија са просечном оценом 10 (десет).

Кандидату је одобрено мировање школске 2015/16. године (решење 9/10793 од 13. 09. 2016. године), продужење статуса студента на Докторским студијама у трајању од два семестра у школској 2017/18. године (решење 2350/1 од 06. 10. 2017. године) и продужење статуса студента на Докторским студијама у трајању од два семестра у школској 2018/19. години (решење 9/14765 од 11. 10. 2019. године).

Кандидат Зорана Б. Тривковић, маг. инж. маш., пријавила је тему докторске дисертације 17.06.2016. године дописом бр. 1410/1 на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Слободана Ступара, редовног професора. На основу сагласности Катедре за Ваздухопловство и одлуке Већа бр. 1410/3 од 14.07.2016. године о прихватању предложене теме формирана је комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације у саставу проф. др Слободан Ступар, ментор, проф. др Александар Симоновић и проф. др Слободан Гвозденовић.

Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације је 22.08.2016. године поднела Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду извештај бр. 1410/4 о испуњености услова за одобрење тезе. Комисија

у извештају предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“** наводећи да кандидат испуњава законске и друге услове за рад на докторској дисертацији, као и да је предложена тема адекватна да буде предмет докторске дисертације.

На основу Захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације бр. 1410/5 од 25.08.2016. године, упућеног од стране Машинског факултета у Београду, Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду, донело је Одлуку 02 број: 61206-4247/2-16 од 19.09.2016. године, којом даје сагласност на предложену тему докторске дисертације.

Због одласка ментора проф. др Слободана Ступара у пензију, кандидат је 20.05.2019. године Наставно-научном већи и Катедри за ваздухопловство поднела захтев бр.917/1 за промену ментора и као предлог навела доц. др Огњена Пековића. Колегијум наставника Катедре за ваздухопловство се 21.05.2019. сагласио да доц. др Огњен Пековић може бити ментор докторске дисертације **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“**. Наставно-научно веће је на седници одржаној 23.05.2019. године донело одлуку о именовану доц. др Огњена Пековића за ментора докторске дисертације **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“**.

О завршетку докторске дисертације кандидата Зоране Б. Тривковић, мас. инж. маш. под називом: **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“** и предлогу Комисије за оцену и одбрану, ментор доц. др Огњен Пековић обавестио је Катедру за ваздухопловство, а Катедра дописом бр. 1080/1 од 10.06.2019. године Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду. Наставно-научно веће је 13.06.2019. донело Одлуку бр. 1080/2 о формирању Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:

1. Др Огњен Пековић, доцент, ментор
2. Др Часлав Митровић, редовни професор
3. Др Небојша Петровић, редовни професор
4. Др Александар Симоновић, редовни професор
5. Др Никола Мирков, научни сарадник, ИНН Винча Београд

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“**, припада ужој научној области - Ваздухопловство, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. Ментор др Огњен Пековић је доцент на Катедри за ваздухопловство Машинског факултета Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 6 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Зорана Тривковић (рођ. Постељник) је рођена 20. децембра 1986. године у Београду, где је завршила основну школу и Прву београдску гимназију, природно-математички смер. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је школске 2005/2006. године. Основне академске студије на Машинском факултету завршила је септембра 2008. године са просечном оценом 8.37, одбранивши завршни (B.Sc.) рад под називом: “Пројектовање и прорачун структуре носеће конструкције ветротурбине“ са оценом 10. Дипломске академске студије завршила је јуна 2010. године на Одсеку за ваздухопловство

са просечном оценом 9.45 и оценом 10 за одбрањени дипломски (M.Sc.) рад: „Нумеричка анализа чврстоће композитних структура“. У току студија била је награђивана као један од најбољих студената - школске 2008/2009. и 2009/2010. године. Докторске академске студије уписала је школске 2010/2011. године на Машинском факултету Универзитета у Београду на Катедри за ваздухопловство.

Течно говори енглески језик, а служи се и руским језиком. Оспособљена је за рад на рачунару под оперативним системима Windows и Linux. Успешно се служи следећим програмским језицима: FORTRAN, Pascal, VBScript, C/C++, Python, и софтверским пакетима: CATIA, AutoCAD, MATLAB, ANSYS, OpenFOAM, PATRAN/NASTRAN.

Зорана Тривковић је од јануара 2011. до новембра 2018. године била запослена на Машинском факултету у Београду, на Катедри за ваздухопловство у звању истраживач-приправник као учесник на пројекту који је финансиран од стране Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије - ТР 35035 „Истраживање и развој савремених приступа пројектовању композитних лопатица ротора високих перформанси“. Марта 2014. изабрана је у звање истраживач-сарадник. У оквиру програма Основних и Мастер академских студија била је ангажована на припреми и извођењу лабораторијских и аудиторних вежби из предмета Ветројурбине 1 и Ветројурбине 2 у току школске 2010/2011, 2011/2012, 2012/2013 и 2013/2014 године, као и из предмета Пројектовање летелица у току школске 2013/2014. Такође је, у сарадњи са предметним професором, учествовала у реализацији више завршних (B.Sc.) радова из предмета Ветројурбине 1.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Зоране Тривковић, маг. инж. маш., под насловом „**Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина**“ је документ формата А4, штампан једнострано, написан на српском језику, ћириличним писмом. Написана је на укупно 135 нумерисаних страна укључујући и Литературу која садржи 179 референци. Илустрована је са 60 слика и дијаграма, садржи 17 нумерисаних израза, и 15 табела.

Докторска дисертација садржи следећа Поглавља:

1. Увод;
2. Преглед литературе;
3. Нумерички прорачуни;
4. Оптимизација структуре лопатице;
5. Израда и експериментално испитивање лопатице са анализом резултата;
6. Закључак и препоруке за будући рад;
7. Литература.

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље представља уводни део који је подељен на неколико потпоглавља у којима су: приказани трендови развоја енергије ветра у свету и у Србији, тренутни инсталисани капацитети, потреба и оправданост континуираног истраживања у области технологије ветротурбина, затим дефинисани основни типови конструкције ветротурбина, наведене неке од њихових предности и мана, и основни принцип рада. Даље, дат је кратак преглед поступака експерименталног испитивања и технологије израде композитних лопатица, и на крају је дефинисан предмет истраживања у овом раду.

У **другом** поглављу приказан је опсежан број релевантне литературе у коју спадају научни, стручни и истраживачки радови, књиге, докторске и магистарске дисертације, монографије, разни технички извештаји, патенти, као и упутства и смернице о раду у програмским пакетима и језицима који су коришћени. Треба истаћи и да је литература на српском језику била од изузетне помоћи, али да је њен број изузетно мали. Садржај овог поглавља има за циљ да упуту на референце које су се показале најкориснијим, у свим областима у којима је било потребно употпунити знање како би овај рад добио своју коначну форму.

У **трећем** поглављу детаљно је описан поступак анализе ветротурбине са вертикалном осом обртања мале снаге. Приказана је 3Д анализа опструјавања ротора ветротурбине методом коначних запремина и спроведени аеродинамички прорачуни различите сложености. Затим је дат приказ карактеристика изабраних композитних материјала и прорачун структуре ламинатне композитне лопатице применом методе коначних елемената.

Четврто поглавље приказује поступак оптимизације композитне структуре лопатице ветротурбине. Резултати спроведеног аеродинамичког прорачуна опструјавања фиксираних спољашњег облика лопатице (пре свега аеродинамичких сила које делују на лопатицу) и развијени параметризовани, структурни модел лопатице и метод прорачуна, искоришћени су у наставку за оптимизацију дефинисаних параметара структуре лопатице (броја n_i и оријентације θ_i слојева ламинатне структуре композитне лопатице). Као метод оптимизације изабрана је оптимизација ројем честица. За спровођење целог поступка развијен је сопствени код који је детаљно описан у овој глави.

У **петом** поглављу описани су поступак израде композитне лопатице и експерименталног испитивања. Приказана је израда калупа од медијапана на нумерички управљаној машини и процес формирања лопатице од композитног материјала. Дате су слике и подаци о поставци за експеримент и опреми која је коришћена за статичко испитивање композитне лопатице – конвенционалном методом мерних трака и неконвенционалном – методом корелације слика (Digital Image Correlation method). Упоредени су резултати деформација нумеричких прорачуна и експерименталног испитивања и изведени су закључци.

У **шестом** поглављу обједињени су научни и стручни доприноси и презентовани закључци у вези са предметом дисертације. Извршена је верификација нумеричких прорачуна на основу постигнутих експерименталних резултата и дате су препоруке за будући рад у овој области.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „**Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина**“ кандидата Зоране Б. Тривковић, маг. инж. маш., даје савремен и оригиналан приступ методологији моделовања и оптимизације композитних лопатица ветротурбина са вертикалном осом обртања.

При изради докторске дисертације коришћене су неке од најсавременијих параметризационих, прорачунских и оптимизационих метода који су реализовани применом актуелних комерцијално доступних напредних софтверских алата и самостално развијених кодова.

Оригиналност се посебно огледа у формирању испитне инсталације за извођење експеримента као и добијеним оригиналним експерименталним резултатима, који пружају могућност наставка истраживања и даљег унапређења дизајна композитних лопатица.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру истраживања у току израде дисертације извршен је опсежан преглед литературе што је резултирало цитатима 179 научно – стручних публикација. Референце су највећим делом објављени радови у водећим научно истраживачким часописима, затим монографије, књиге и докторске дисертације које се односе на оптимизацију ветротурбина са вертикалном осом обртања мале снаге, проблематику опструјавања оваквих конструкција, затим коришћене методе за аеродинамичке и структурне прорачуне, методе оптимизације, истраживање о карактеристикама адекватних композитних материјала за израду лопатица, као и поступке експерименталног испитивања. Унутар коришћених референци налазе се кључни радови у вези са дефинисањем DIC мерног поступка и доказивањем његове тачности. Наведена литература је послужила као преглед досадашњих резултата у овој области и полазиште у одређивању даљих праваца истраживања и примене.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Поред општих закључака који су изведени индуктивним методама, а прегледом литературе и доступних резултата испитивања, у току израде дисертације било је потребно користити одређене научне методе истраживања:

- методе теоријске анализе у области аеродинамике, механике флуида, структуре лопатица ветротурбина, композитних материјала, производње композитних лопатица
- нумеричке методе прорачуна - метода коначних елемената и метода коначних запремина
- хеуристички метод оптимизације ројем честица
- експериментална мерења методом мерних трака и дигиталне корелације слика
- метода корелације резултата нумеричке симулације и остварених експерименталних резултата

3.4. Применљивост остварених резултата

Приказани резултати, у овој дисертацији, имају велику примену у области ваздухопловства, са акцентом на лопатице ветротурбина. Приказана методологија

оптимизације композитне лопатице ветротурбине са вдертикалном осом обртања може се применити и на друге узгонске површине захваљујући могућности параметризације модела, аутоматизацији и интеграцији процеса прорачуна и оптимизације. Такође, развијена експериментална поставка и добијени резултати могу се користити за даља истраживања. Дати резултати креирају темељ за будућа истраживања у овој области, као што је кандидат у Закључку дисертације истакла.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је током израде докторске дисертације показала способност за самостални научни рад. Поседује темељно и широко знање у оквиру аеродинамике узгонских површина (са акцентом на лопатице ветротурбина), анализе композитних структура као и знање у оквиру примене нумеричких метода користећи савремене софтверске пакете за решавање постављених проблема. Уз то кандидат поседује знања претраге и одабира релевантне литературе и писања научних радова. То је потврђено ауторским радом и коауторским радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Успешном реализацијом циљева истраживања у оквиру докторске дисертације под називом „**Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина**“, остварени су следећи научни доприноси:

- Развој оригиналне методологије и прорачунске платформе за интегралне аеродинамичко-структуралне вишекритеријумске оптимизације композитних лопатица ветротурбина што је потврђено публикавањем рада [1] из категорије M21, али и радова [6, 9, 10, 11]. Такође су спроведене и вишекритеријумске оптимизације структуре лопатице са вертикалном осом обртања што је приказано у радовима [13, 14]. Приказану методологију могуће је брзо и једноставно унапредити моделима веће тачности или применити на другачијој геометрији.
- Спровођење детаљних, нестационарних, нумеричких симулација 3Д струјног поља око узгонских површина применом сопствених кодова и комерцијалног софтвера ANSYS FLUENT што је приказано у радовима [4, 5, 8]. Такође су изведени унапређени нумерички прорачуни љускастих композитних структура што је описано у радовима [3, 7, 18]. Додатно су, за израђену лопатицу, добијени нумерички резултати валидирани експерименталним испитивањем чиме се указује на правилно дефинисање нумеричких поставки.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области ове докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања са којима се кандидат сусрео у току истраживања. Извршена је валидација постигнутих нумеричких резултата кроз поређење са резултатима добијеним експерименталним испитивањем, на основу чега се може

констатовати примењивост развијене методологије у различитим областима истраживања и решавању инжењерских проблема.

4.3. Верификација научних доприноса

Доприноси предметне докторске дисертације су верификовани кроз следеће радове:

Научни рад у врхунском међународном часопису (M21)

- [1] **З.Постељник**, С.Ступар, Ј.Сворцан, О.Пековић, Т.Иванов, *Multi-objective design optimization strategies for small-scale vertical-axis wind turbines*, Structural and Multidisciplinary Optimization, Springer Berlin Heidelberg, 2016, 53(2) 277-293

Радови у водећем часопису националног значаја (M51)

- [2] Д.Комаров, С.Ступар, **З.Постељник**, *Review Of The Current Wind Energy Technologies And Global Market*, Journal of Applied Engineering Science, Институт за истраживања и пројектовања у привреди, 9(2011)4, 208 pp.437-448, DOI: 10.5937/JAES9-1120
- [3] **З.Постељник**, С.Ступар, А.Симоновић, Ј.Сворцан, Н.Петрашиновић, *Нумеричка анализа напонско-деформационог стања композитне лопатице ветротурбине*, Енергија (2014) бр. 1-2, година XVI, pp. 404-409 (ISSN: 0354-8651)
- [4] Ј.Сворцан, С.Ступар, **З.Постељник**, О.Пековић, С.Тривковић, *Нумеричка анализа струјања око ветротурбине са вертикалном осом обртања при променљивој брзини ветра*, Енергија (2014) бр. 1-2, година XVI, pp. 398-403 (ISSN: 0354-8651)
- [5] **З.Тривковић**, Ј.Сворцан, М.Балтић, Д.Комаров, В.Фотев. *Нумеричка анализа лопатица главног ротора хеликоптера у близини земље*. Scientific Technical Review, 2016, 66(4):52-58

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

- [6] О.Пековић, А.Симоновић, С.Ступар, С.Тривковић, **З.Постељник**, *Contemporary software tools in the design process of composite structures*, 5th International Scientific Conference on Defensive Technologies, The Military Technical Institute, ОТЕН 2012, ISBN 978-86-81123-58-4, pp.117-122, Београд, 2012.
- [7] О.Пековић, С.Ступар, А.Симоновић, **З.Постељник**, *Bending and free vibration finite element analysis of thin composite plates based on isogeometric paradigm*. Fourth Serbian Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Serbian Society of Mechanics, Врњачка бања, 2013
- [8] Ј.Сворцан, Д.Комаров, С.Ступар, **З.Постељник**, М.Станојевић, *Computational analysis of unsteady aerodynamic loads acting on an oscillating wing in transonic flow*. 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies, ОТЕН 2014, The Military Technical Institute, Belgrade 2014, pp.61-66, ISBN 978-86-81123-71-3.
- [9] Ј. Сворцан, **З. Тривковић**, М. Балтић, О. Пековић. *Rapid multidisciplinary, multi-objective optimization of composite horizontal-axis wind turbine blade*. 1st International Conference on Multidisciplinary Engineering Design Optimization, MEDO 2016, Belgrade 14-16 Sep 2016, pp. 1-6 (Electronic ISBN: 978-1-5090-2112-3)

- [10] J. Сворцан, **З. Тривковић**, Т. Иванов, *Computational Analysis of Horizontal-Axis Wind Turbine by different RANS Turbulence Models*, 6th International Congress of Serbian Society of Mechanics, June 19-21, 2017
- [11] **З. Тривковић**, J. Сворцан, М. Балтић, О. Пековић. *Multi-objective integrated optimization of horizontal-axis wind turbines*. International Conference & Workshop REMOO-2017, Venice 10-12 May 2017, ISBN:978-3-9818275-2-1)
- [12] **З. Тривковић**, J. Сворцан, О. Пековић, Т. Иванов, *Manufacturing technology of aircraft and wind turbine blades models, plugs and moulds*. Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies. NEWTECH 2017 Lecture Notes in Mechanical Engineering, стр. 469-475, 2017, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56430-236>
- [13] J. Сворцан, **З. Тривковић**, М. Балтић, О. Пековић. Т. Иванов. *Multi-Objective Structural Optimization of Laminate Vertical-Axis Wind Turbine Blades*. International Conference on Science, Engineering and Technology (ICSET), Tokyo, Japan, Feb 06-07th 2019, Proceedings of GSRD International Conference, pp. 42-45 (ISBN 978-93-88786-54-6)
- [14] J. Сворцан, **З. Тривковић**, Т. Иванов, М. Балтић, О. Пековић. *Multi-Objective Constrained Optimizations of Vertical-Axis Wind Turbine Composite Blades Based on Finite Element Analysis and Particle Swarm Optimization*. YOUNg ResearcherS Conference YOURS 2019, Belgrade, Serbia, Abstract Proceedings, pp. 20 (ISBN 978-86-84231-48-4)

Саопштења са скупа националног значаја штампана у целини (M63)

- [15] **З.Постељник**, С.Тривковић, Н.Петрашиновић, М.Станојевић, *Пројектовање лопатице напредне ветротурбине применом савремених САД софтвера*, 37. Јупитер конференција. (24. САД/САМ симпозијум), ISBN 978-86-7083-724-9, стр. 2.41-2.45, Машински факултет у Београду, 2011.
- [16] Н.Зорић, З.Митровић, А.Симоновић, **З.Постељник**, *Оптимальна контрола вибрација композитног еластичног пиезоелектричног манипулатора применом фази-логичког управљања*. 38. ЈУПИТЕР конференција. (34. симпозијум NU-ROBOTI-FTS) ISBN 978-86-7083-757-7, стр. 3.165-3.170, Машински факултет у Београду, 2012.
- [17] Н.Петрашиновић, Д.Петрашиновић, **З.Постељник**, С.Тривковић, *Концептуални дизајн хеликоидне ветротурбине са вертикалном осом обртања*, 38. ЈУПИТЕР конференција. (25. Симпозијум САД/САМ), ISBN 978-86-7083-757-7, стр.2.74-2.79, Машински факултет у Београду, 2012.
- [18] **З.Постељник**, С.Ступар, J.Сворцан, Н.Петрашиновић, *Поређење експерименталних и нумеричких анализа деформација композитне лопатице ветротурбине*. 39. ЈУПИТЕР конференција. (26. симпозијум САД/САМ), ISBN 978-86-7083-838-3, стр. 2.41-2.46, Машински факултет у Београду, 2014.
- [19] J.Сворцан, С.Ступар, **З.Постељник**, М.Балтић, *Одређивање особина материјала композитних делова помоћу експерименталних података и неуронских мрежа*. 39. ЈУПИТЕР конференција. (26. симпозијум САД/САМ), ISBN 978-86-7083-838-3, стр.2.47-2.52, Машински факултет у Београду, 2014.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“** кандидата **Зоране Б. Тривковић**, маг. инж. маш., урађена према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и да је у складу са Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат **Зорана Б. Тривковић**, маг. инж. маш., успешно завршила докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања и дошла до оригиналних научних резултата који су успешно и верификовани. Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да докторска дисертација под називом **„Вишекритеријумска оптимизација композитних лопатица ветротурбина“** представља оригиналан и вредан научни рад са научним доприносима у области машинства, ужа научна област Ваздухопловство, па сходно члану 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да Реферат прихвати, дисертацију стави на увид јавности и упути Реферат на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат **Зорана Б. Тривковић**, маг. инж. маш., позове на јавну одбрану.

У Београду, 09.07.2019. год.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

др Огњен Пековић, доцент, ментор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Часлав Митровић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Небојша Петровић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Александар Симоновић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Никола Мирков, научни сарадник
Институт за нуклеарне науке „Винча“, Београд