

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

## ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о завршеној докторској дисертацији кандидата  
Сузанае Линић, маг.инж.маш.

Одлуком број 1407/2 од 22-06.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Сузанае Линић, маг.инж.маш. под насловом

### „БИОМИМИКРИЈА КАО МЕТОД АЕРОДИНАМИЧКОГ ДИЗАЈНИРАЊА ВОЗА ВЕЛИКИХ БРЗИНА“

Након прегледа достављене дисертације, пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила

## РЕФЕРАТ

### 1. УВОД

#### 1.1. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат Сузана Линић, маг.инж.маш., је поднела захтев за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације под називом „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“ Универзитету у Београду, Машинском факултету под бројем 2671/1 од 21.12.2015. Кандидат је за менторе предложила проф. др Војкана Лучанина, редовног професора Машинског факултета и др Мирка Козића, научног саветника из Војнотехничког института у Београду.

На основу пријаве кандидата, Колегијум наставника Катедре за шинска возила је упутио предлог Наставно-научном већу Машинског факултета за именовање ментора и Комисије за писање реферата за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме (број 591/1 од 14.03.2016. године).

Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду, на основу пријаве кандидата и сагласности Катедре за шинска возила, донело је одлуку (број 591/2 од 17.03.2016. године) да се прихвата тема докторске дисертације „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“, да се именују ментори др Војкан Лучанин, редовни професор и др Мирко Козић, научни саветник, Војнотехнички институт у Београду. Такође, именује се Комисија за оцену

подобности теме и кандидата у саставу: др Војкан Лучанин, ред.проф., др Мирко Козић, науч. сав, ВТИ, др Слободан Ступар, ред.проф., др Александар Бенгин, ред.проф., др Јован Танасковић, доц.

Комисија за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“ поднела је реферат (број 591/3 од 31.05.2016.) у коме предлаже да се одобри тема докторске дисертације, наводећи да је пријављена тема адекватна за израду докторске дисертације, да кандидат испуњава законске услове и да има истраживачке квалификације за рад на докторској дисертацији.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је донело одлуку број 591/4 од 02.06.2016. године да се прихвата заснованост теме и да кандидат испуњава услове за израду докторске дисертације.

На захтев Машинског факултета број 591/4 од 02.06.2016.године Веће научних области техничких наука је донело Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације под бројем 61206-2946/2-16 од 04.07.2016. год.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је решењем бр. 2114/1 од 26.09.2016 године одобрило продужетак рока за завршетак докторских судија за два семестра у школској 2016./2017. години.

Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је решењем бр. 1817/2 од 31.08.2017. године одобрило продужетак рока за завршетак докторских судија до 30.09.2018. године.

На основу обавештења ментора др Војкана Лучанина, ред. проф. (бр. 1407/1 од 19.06.2017.год.) да је кандидат Сузана Линић, маг.инж.маш. завршила докторску дисертацију „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“, и предлога Катедре за шинска возила, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду је на седници одржаној 22.06.2017.год. донело је Одлуку (број 1407/2 од 22.06.2017.) о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу др Војкан Лучанин, ред.проф., др Мирко Козић, научни саветник, ВТИ, др Александар Бенгин, ред.проф., др Марко Милош, ван.проф. и др Јован Танасковић, доц.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“ припада научној области техничких наука, област машинство, ужа научна област Шинска возила, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидаткиња Сузана Линић, рођ. Шумоња, рођена је 14.10.1963. у Земуну. Основну школу је завршила 1978. у Земуну. Земунску гимназију и потом СШ „Петар Драпшин“ похађа до 1982.год. Бавила се авио-моделарством у АК „Фрањо Клуз“, Земун. Укупно четири године од 1980. у редовном и додатном термину похађа стручну праксу у Ваздухопловнотехичком институту (Експериментална и Теоријска аеродинамика, Конструкција ваздухоплова) где стиче основна знања и

искуства из области аеродинамичких истраживања и ваздухопловних конструкција. Школовање наставља 1982. на Универзитету у Београду, Машинском факултету, на смеру Аерокосмотехника. Дипломирала је 1989. са темом из области аеродинамике ветрогенератора.

У ВТИ-у је запослена од 1989. до 2005. у Сектору Експерименталне аеродинамике, Одсеку Подзвучне аеродинамике, с почетка у звању самосталног, а после 5 година вишег, самосталног истраживача. Руководила је тимом за аеротунелска испитивања у 6 пројеката новог, унапређених или модификованих ваздухоплова (М G-4, моторизовани модел, НА са прострујавањем, Ласта, Корунд, Јастреб) из националног ваздухопловног програма као и за стране клијенте. Учествовала је на унапређењу аеротунелске мерне опреме (статичка лабораторија за калибрацију протока, калибрације мерних уређаја и др). Објавила је неколико радова у Научно-техничком прегледу, учествовала на конгресима Југословенског ваздухопловног друштва и аутор је три интерне скрипте из области дизајнирања и испитивања у аеротунелима. У оквиру активности водила је и професионалну практичну наставу за студенте.

Запошљавањем у Институту Гоша д.о.о., од 2009., наставља научноистраживачки рад у Центру за инжењерски софтвер, где с почетка, поред послова везаних за обуке полазника из привреде у инжењерским софтверима, ИТ подршке, развија вебсајт Института и прву Виртуелну школу образовања у заваривању у Србији. Од 2011. год. је укључена на пројектима МПНТР РС ТР 14018 и ТР 35045, (0 истраживач / месеци), а од 2013. на ТР 34028 (12 истраживач / месеци). Осим на националним, учествовала је и на двогодишњем међународном пројекту W-tech (2011-2013) финансиран од стране Делегације Европске уније. Ангажована је у деловима презентације и промоције науке, резултата истраживања пројеката и едукацији према привреди за коришћење инжењерских софтвера и унапређење система за учење на даљину у заваривању. Кроз овај пројекат интензивно сарађује са колегама са HIST – Технолошког факултета Универзитета из Трондрхајма, Норвешка, ISIM – Националног института за заваривање из Румуније. Одличну сарадњу одржавала са провајдерима за инжењерске софтвере: SimTec, Грчка, TeamCAD, CAD CAM Data и CPS CAD Professional Systems, Србија.

Од 2017. је запослена у Иновационом центру Машинског факултета и укључена је на пројекте МПНТР.

Докторске студије уписује школске 2010/2011 године на Универзитету у Београду, Машински факултет. Основна интересовања су из области механике флуида и подзвучне аеродинамике ваздухоплова и возова, прорачунске динамике флуида (ANSYS Fluent 12 - сертификат за уводни курс, 2010.), експерименталних метода (аеротунелских, хидродинамичких, термографија – сертификат за уводни курс, 2016., микроскопија, и др.), нумеричког моделирања (PRO/Engineer WF4-сертификат од 2011., WF5, CREO, CATIA - почетно), као и бионике.

Прва ИТ искуства је стекла на Машинском факултету 1988. и у ВТИ ВС, на системима за прикупљање и обраду аеротунелских података VAX, PDP. Влада великим бројем програма за нумеричко моделирање и реконструкцију, обраду, дигитализацију, анализу и презентацију резултата истраживања (Blender, MeshLab, MathCad, PlotDigitizer, PicoLay, Adobe пакет, Corel пакет, LATEX, MS Office,

PaintNet) као и развој система учења на даљину (Moodle, PHP, HTML, CSS i dr). Од страних језика говори енглески језик.

У периоду од 2010. до 2017. је била аутор је или коаутор шеснаест радова у часописима међународног и националног значаја (шест радова у часописима са импакт фактором), петнаест саопштења на скуповима међународног значаја и једне монографије националног значаја Учествовала је на три пројекта финансираних од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије и једном пројекту финансираном од стране Делегације Европске уније. Аутор је два система за учење на даљину. Виртуелну школу образовања Фармацеутске коморе Србије, акредитовану од стране Министарства здравља Републике Србије (први систем за учење на даљину у области здравства) чија је сврха образовање и стицање услова лиценце фармацеута, креирала је 2006.г. Овај систем је био у ужем избору пројеката на такмичењу „Дискоболос 2008“ Привредне коморе Србије и представљен је на Светском конгресу фармацеута у Базелу, 2008. Виртуелну школу образовања особља у заваривању, прву е-учионицу у области заваривања, са сврхом подршке Курсевима за међународне инжењере и технологе у заваривању, креирала је 2009. у Институту Гоша д.о.о.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### **2.1 Садржај дисертације**

Докторска дисертација кандидата Сузане Линић, маг.инж.маш. под насловом „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“ је документ А4 формата, са текстом на српском језику на 318 страна са 11 прилога. Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод
2. Генеза истраживања
3. Теоријске основе
4. Избор и испитивање биолошких узорака
5. Биомеханика водомара при маневру обрушавање – зарањање
6. Бионички 2D воз великих брзина
7. Комбинована метода за одређивање сличности струјања
8. Бионички 3D воз великих брзина
9. Закључци
10. Литература
11. Прилози

Дисертација садржи 93 слике, три табеле и наведене су 174 библиографске референце.

## 2.2 Кратак приказ појединачних поглавља

Први део даје образложење теме истраживања и описује научни проблем и предмет истраживања. У првом делу су дати општи циљеви рада и конкретни циљеви истраживања. На основу постављених циљева, за изабрани објект истраживања постављене су хипотезе. Након тога су наведене научне методе, чијом применом је научни проблем решаван, као и методологија истраживања. Такође, први део истиче значај истраживања у области шинског транспорта.

Други део представља генезу истраживања. Преглед и анализа истраживања из различитих области науке су полазна грађа, извор нових знања и информација примењених у овом истраживању на различите начине: као полазни подаци, основи метода, анализе, верификације и потврде резултата као и крајњег дизајна. На самом почетку дат је преглед досадашњих истраживања којима је дефинисан проблем кретања воза при великим брзинама и решења проблема кроз оптимизацију облика воза. Један од примењиваних метода оптимизације је анализа коефицијента отпора и расподеле притисака при кретању воза на отвореној прузи. Досадашња истраживања од реалних мерења на прузи до моделованих случајева су истакла проблем струјања ваздуха при кретању воза кроз железнички тунел као основни и критеријум за оптимизацију аеродинамичког облика. Проблем и последице комплексног струјања створеног проласком воза кроз тунел су приказани у кратком опису феномена са циљем да се прикажу основни правци решавања проблема и критеријуми који се примењују у поступку процене и оптимизације облика воза. Са сврхом оптимизације облика воза пажња је усмерена ка феноменима који се појављују током уласка носа воза у тунел. Струјни параметри, притисак и градијент притиска у тунелу, су издвојени као основни критеријуми за верификацију резултата истраживања и процену квалитета оптимизованог дизајна воза за велике брзине.

Како је истраживање мултидисциплинарног карактера, преглед и анализа истраживања су проширени ван оквира механике флуида и аеродинамике шинских возила, тако да су од интересовања области биологије, бродоградње, механике крутог тела, контроле квалитета облика и површина, архитектуре, херитологије, мониторинга рада система, и других. За потребе примене биомимикрије на воз обављен је преглед и анализа доступне грађе из области биомимикрије и биологије. Направљен је преглед описа и биолошких података за рибе и морске сисаре и птице, са посебним освртом на водомара. Из штуре биолошке грађе приказани су неки од основних података о облику, понашању и биомеханици животиња. За водомара је дат приказ понашања при лову са процењеним подацима из посматрања.

У наставку је представљен проблем удара брода о таласе, критичан случај за прорачун и обликовање конструкције брода. Пажња је посвећена и експерименталним, теоријским и нумеричким методама у бродоградњи. Истакнуте су нумеричке методе мултифазног струјања, које су у многоме допринеле унапређењу решавања проблема пада крутог тела у воду.

Проблем сличности струјања и једно од решења гасодинамике, хидрауличка аналогија, је приказана кроз резултате и верификације експерименталних испитивања изведених различитим методама.

У трећем делу су дате теоријске основе изабраних метода. Представљене су укратко основне метода за испитивање облика и квалитета површина из области општег машинства. Представљене су основне методе за дефинисање облика узорака из природе и то метода за контролу квалитета производа (3D ласерско скенирање и дигитализација), метода дефинисања природног облика помоћу блискодометне фотограметрије, реконструкција природног облика методом припреме за 3D штампу, микроскопска испитивања контроле квалитета површина (испитивања метролошким и електронским микроскопом) и мерења профилне храпавости површине узорка. Биомимикрија је укратко представљена као метода прилагодљива потребама и захтевима производа. У наставку су дати изводи из теорије механике флуида и основе за решавање проблема у струјању методом прорачунске динамике флуида. Основе прорачунске динамике флуида засноване на нумеричкој методи коначних запремина, из пакета програма ANSYS Fluent 12, се односи на просторну и временску дискретизацију, пакете за решавање једначина транспорта, моделовање турбулентног струјања помоћу HCF усредњених према Рејнолдсовом моделу, методу мултифазног струјања, модел запреминских удела фаза, клизне и динамичке мреже. Аеротунелска испитивања са визуелизацијом струјања, хидродинамичка и термографска испитивања су приказана по наособ.

Четврти део се односи на избор и испитивање биолошких облика. На основу штурних података из литературе направљен је избор биолошких узорака и то морских животиња (делфин, сабљарка, ајкула и баракуда), и птице водомара. Посебна пажња је посвећена водомару и он је детаљно испитан. Реконструисано је неколико нумеричких модела са различитим сврхама. Доступни узорци водомара из Природњачког музеја у Београду као и снимци из природе су визуелно прегледани, оформљена је фото–документација. На основу снимака из природе направљен је први реконструисан 2D облик водомара у маневру обрушавања – зарањања. За круто тело водомара дефинисани основни подаци који су касније употребљени као улазни подаци за нумеричке симулације. Потом је испитиван кљун водомара који је био основни узорак за биомимикрију облика воза налик водомару. Изведена су испитивања микроскопом, 3D ласерским скенером и фотограметријом. Приказани су основни геометријски параметри облика. Такође приказано је и мерење храпавости кљуна како би се дефинисали улазни подаци за нумеричке симулације.

У петом делу је приказан опис биомеханике водомара у маневру обрушавања – зарањања и математички модел, који су проистекли из биолошке грађе и доступних података. На основу биомеханичког модела направљен је бионички модел и поставка за нумеричке симулације мултифазног струјања.

Шести део приказује аеродинамичке карактеристике и описује струјна поља око 2D бионичких возова, креираних на основу биолошких описа и података за различите изабране узорке. Биомимикрија са изабраним узорцима је примењена на делу носа воза великих брзина. Резултати ових истраживања су примењени за сужавање избора биолошких узорака за даљу примену биомимикрије на 3D бионички воз. Избор је сужен на облике налик водомару и баракуди, уз истицање потребе за комбиновањем параметара код примене на 3D бионички воз. Изведена су испитивања бионичког воза налик водомару до брзина  $M = 0.9$  како би се лоцирали потенцијални недостатци у дизајну. Методом „Махове лупе“ је лоцирано

место на ком контуре 2D дизајна одступају од номиналних на основу анализе расподеле притисака.

Седми део приказује комбиновану методу за одређивање сличности струјања. Комбинована метода се састоји од експерименталних и нумеричких испитивања. Модел бионичког 2D водомара је испитан хидродинамичким тестовима и за срачунату брзину зарањања одређени су основни геометријски параметри креираних таласа при зарањању под углом и при вертикалном паду у воду. Приказане су нумеричке симулације мултифазног струјања са деформабилном мрежом и кориснички дефинисаном функцијом, за три брзине зарањања бионичког модела водомара. Резултати нумеричких симулација су верификовани са хидродинамичким испитивањима и сликама из природе. На основу анализе облика таласа добијених из нумеричких симулација, срачунати су Фрудови бројеви за врхове таласа и тачке одвајања таласа од кљуна, при свим брзинама кретања. Из зависности срачунатих Фрудових бројева од Рејнолдсових бројева и параметара дизајна потопљеног дела кљуна одређени су критеријуми за избор услова и димензија бионичког модела, и потом критеријуми за процену дизајна и избора дела дизајна са сврхом примене за биомимикрију на воз великих брзина. У овом делу је, на основу резултата симулација, дат опис формирања таласа воде око кљуна. На основу хидрауличке аналогије описана је сличност струјања око кљуна водомара у зарањању у воду и воза великих брзина налик водомару у слободном лету, вожњи отвореном пругом и при проласку кроз тунел. У недостатку потпуне сличности између модела зарањања водомара у воду и проласка воза кроз тунел, и потребе да се комбинованом методом дефинише дизајн погодан за даљи процес дизајнирања 3D бионичког воза, направљено је „премошћење“ сличности струјања. Поређење путања флуидних делића у дубини воде и изо-густинских линија око воза налик водомару у тунелу показало су велику сличност по облику и распореду у подкритичном режиму кретања.

Осми део је посвећен испитивању два 3D бионичка воза. На основу прелиминарних испитивања једног воза за велике брзине у вожњи отвореном пругом изабран је део улазних података за даље нумеричке симулације. Приказана су аеротунелска испитивања стандардног бионичког модела воза великих брзина, која су обухватила мерење отпора модела у присуству тла, мерење расподеле температура термографском камером и визуелизацију струјања. За исти модел и услове испитивања направљене су и нумеричке симулације. Према аеротунелским испитивањима обављена је верификација нумеричке методе која ће бити примењена на крајњи дизајн 3D бионичког воза. Приказана је верификација при једној брзини и то за коефицијент отпора, расподелу температура и струјних слика по површинама модела.

На основу резултата испитивања геометрије водомара, анализа 2D бионичког воза и комбиноване методе за одређивање сличности струјања креиран је 3D бионички воз. Након дизајнирања воза приступило се креирању два мрежна модела у домену око воза. У поставци нумеричких симулација уклопљене су мреже и дефинисан је за сваку понаособ начин кретања као и интерфејс. Нумеричке симулације нестационарног струјања се односе на конфигурацију модела при проласку кроз тунел у опсегу брзина од 200 km/h – 500 km/h, и временски интервал од почетка кретања до тренутка уласка носа воза у тунел. Направљене су анализе

расподеле максималних притисака и њихових градијената по времену при различитим брзинама кретања за случајеве вискозног и невискозног струјања. Такође, анализирана је и расподела густина по висини тунела, од површине воза до интерфејса мрежних модела, као и изо-густинских линија унутар тунела на местима која су блиска посматраним положајима таласа око кљуна водомара. Резултати испитивања су упоређени са подацима из мерења, из доступне литературе, и то поређењем вредности максималних притисака и градијената притисака при брзини 200 km/h, док је зависност промене притиска на целом опсегу изабраних брзина упоређена са теоријским вредностима из литературе. Поред тога постављена је метода провере контуре дизајна на основу анализе струјних параметара коефицијента трења и температуре по уздужној оси модела заснована на аеротунелским мерењима и нумеричким симулацијама.

У деветом делу су изложени преглед закључака из истраживања и општи закључак. У саставу закључног поглавља су наведене нове научне информације проистекле из овог истраживања, приказ отворених подручја истраживања и вредновање рада са критичким освртом на изведено истраживање.

Дести део представља листу коришћене литературе која се састоји од научних радова у часописима са импакт фактором и часописима од националног значаја, затим књига и монографија, конференцијских радова, извештаја међународних организација и легислативе из области интересовања, приказа софтвера отвореног кода и отворене библиотеке слика и видео материјала.

Једанаести део сачињавају следећи прилози: радови који чине целину са садржајем дисертације (седам радова), спецификација уређаја, одобрење за коришћење уметничких фотографија водомара из природе и Изјава о поштовању права животиња и брзи о њиховом животу, здрављу и животној средини.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

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

Докторска дисертација „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“ даје методологију која представља оригинални приступ решавања проблема аеродинамичког дизајнирања, проистекао из мултидисциплинарног истраживања.

Полазиште кандидата је била идеја да се кроз комбинацију експерименталних и нумеричких метода из различитих области, оствари бољи увид и разумевање физичких феномена, сматрајући да резултати анализа могу представљати нов приступ проблему аеродинамичког дизајнирања возова за велике брзине. У настојању да се новим приступом допринесе уштедама у времену и трошковима у процесу аеродинамичког дизајнирања прототипова, у раним фазама пројекта, примењене су научне методе из различитих области: шинских возила, теоријске и прорачунске механике флуида, аеродинамике, хидродинамике, термодинамике, општег машинства, биологије, оптике, архитектуре и херитологије.

Оригиналност и савременост приступа се огледа у новом приступу посматрању биолошких узорака, њиховог облика и понашања са сврхом примене кроз методу биомимикрије на возове за велике брзине. Експериментално и



нумерички одређени биолошки облици представљају организоване податке који се могу користити и са другом наменом.

Оригиналност се огледа у постављању комбиноване методу за одређивање сличности струјања између два модела – водомара у маневру обрушавања – зарањање и ваздуха око бионичког воза. Метода је заснована на примени хидрауличке аналогије, али са новим приступом и сврхом која није пронађена у досадашњим истраживањима. Један од елемената комбиноване методе, поред хидродинамичких и нумеричких тестова модела, је постављање критеријума за дефинисање параметара и услова испитивања модела и процену квалитета примењеног дизајна у најранијој фази развоја прототипа. Такође, оригиналан приступ је направљен и код анализе непотпуне сличности струјања између водомара у обрушавању и воза који се креће кроз бесконачан тунел. Анализа феномена струјања код непотпуне сличности, је у резултату дала нови приступ анализи и одређивању сличности струјања код два физичка модела. Стандардне методе аеродинамичког дизајнирања, које се користе у пракси, засноване су на великом броју нумеричких прорачуна и статистичкој анализи по геометријским и струјним параметрима, у складу са техничко – технолошким захтевима, што резултира великим трошковима и временом развоја прототипа, као и потребом за захтевним ИТ ресурсима. Научна оправданост методе из ове докторске дисертације је у томе што проблем аеродинамичког дизајнирања и метода за његово решавање до сада нису разматрани на представљен начин. Приказана комбинована метода за одређивање сличности струјања је практична за примену, изводљива на доступним ресурсима. У крајњем резултату овог истраживања, комбинована метода је дефинисала дизајн који се може употребити за даљу оптимизацију понављањем приказаног поступка (уз унапређења модела, мерних метода и поступка обраде података) или неком од других нумеричких метода које су данас у примени.

Нумеричка метода удела запреминских фаза код двофазног струјања – VOF је у овом истраживању примењена по први пут у истраживањима из области биомеханике, за одређивање параметара кретања тела и реакције у виду таласа створених зарањањем тела у воду. Анализа облика таласа је показала детаље који су недостајали код хидродинамичких испитивања. Синтеза различитих метода испитивања је показала неопходност њихове употребе кроз мултидисциплинарна истраживања.

Један од доприноса је и дизајнирање референтног бионичког модела за аеродинамичка испитивања, чијим истраживањима са измењеним параметрима се очекују нови доприноси у области аеродинамичке оптимизације облика.

Кроз истраживања из ове дисертације је уведена је нова метода за истраживање струјања по површинама модела, помоћу инфрацрвене термографије, примењена у аеродинамичким експериментима у подзвучном аеротунелу Војнотехничког института у Београду. У пракси метода се користи у областима високо подзвучних и надзвучних струјања. Метода је значајно смањила трошкове испитивања и време потребно за карактеризацију струјног поља по површинама модела. Комбинована са визуелизацијом струјања и верификованим нумеричким симулацијама дала је нови приступ испитивању струјања у граничном слоју при подзвучним брзинама. Метода је применљива на испитивања и других аеротунелских модела у подзвучној области брзина.

Нумеричка метода са клизним мрежама је примењена за решавање комплексног струјања вискозног и невискозног флуида при кретању воза кроз тунел, при чему су анализе указале на неопходност примене вискозног струјања и нови приступ анализи параметара струјног поља са сврхом процене аеродинамичких карактеристика примењеног дизајна.

Допринос истраживања се огледа и у новом приступу контроле квалитета дизајна анализирањем параметара струјања, за разлику од уобичајено коришћених метода доступних кроз CAD/CAM пакете. С обзиром да се возова великих брзина у данашње време крећу кроз тунеле у условима блиским критичним, где свако одступање од номиналног облика може довести до појаве додатних флукуација притисака у тунелу, и тако утицати на путнике, од велике је важности провера квалитета изведеног дизајна. Утврђене су три методе контроле квалитета и лоцирања грешака на контури, односно, површини праћењем параметара струјања. Прва метода је названа „Маховом лупом“ у којој је бионички воз постављен у имагинарни слободни лет при високим подзвучним и надзвучним брзинама. Друга метода се односи на анализу и лоцирање одступања контуре од номиналног облика анализом струјних параметара, статичке температуре и коефицијента трења, и трећа метода се односи на праћење расподеле изо-густинских линија око воза, при локалним високоподзвучним или околзвучним брзина, којом се лако дефинише одступање облика контуре од номиналног у равни посматрања. Комбинована са претходном даје прецизну информацију о положају дисконтинуитета на контури.

### 3.2 Осврт на референтну и коришћену литературу

У посебном поглављу је дат списак литературе коришћене у докторској дисертацији. Закључено је да је кандидат располагала у довољној мери савременим изворима из области шинских возила, теоријске и прорачунске механике флуида, експерименталне аеродинамике и хидродинамике, бродоградње, општег машинства, биологије, балистике, архитектуре и херитологије, као и савремених метода инфрацрвене термографије, ласерског скенирања, микроскопије и других. Литература из области биологије и биомимикрије која је поуздан извор информација за потребе овог истраживања је врло оскудна, док на српском језику постоји само један уџбеник посвећен бионици. Литература на српском из других области (теоријска механика флуида, прорачунска динамика флуида, примене различитих експерименталних метода од аеротунелских до херитологије) је заступљена у довољној мери и квалитету кроз научне монографије и уџбеник. У референтној литератури су наведени међународни научни часописи, научне монографије и стручни уџбеници, зборници са међународних скупова, технички извештаји, упутства за коришћење програма, документа легислативе, информативни материјали, и отворена библиотека слика, модела и видео материјала.

Прегледом доступне литературе нису пронађени примери примене сличне методологије која је предложена у дисертацији за аеродинамичко дизајнирање воза великих брзина.

### 3.3 Опис и адекватност примењених научних метода

Метода биомимикрије дизајнирања објеката у примени је активност мултидисциплинарног карактера, која у себи комбинује методе из области биологије, машинства, индустријског дизајна и других зависно од полазних техничко – технолошко – естетских захтева. У доступној литератури су наведени примери неколико био-инспирисаних дизајна возова великих брзина без детаљног приказа методологије развоја и критеријума одлучивања. На основу доступних резултата, претходних знања из области теоријске и прорачунске механике флуида, експерименталне аеродинамике, као и новостечених знања и вештина, метода дизајнирања је подељена на засебне целине, које чине систематску методологију за аеродинамичко дизајнирање воза великих брзина методом биомимикрије.

За постизање научних резултата из истраживања коришћене су три основне групације научних метода које стоје у спрези и допуњавају се током истраживања, и то су: логичке, теоријске и практичне или експерименталне методе истраживања.

Логичке методе, као најопштији приступ сагледавању проблема, су у овом истраживању засноване на примени парцијалне аналитичке методе и синтезе.

Парцијална анализа се односи на оквире у којима су проблем и предмет истраживања посматрани у просторном и временском окружењу. Примењене функционална анализа, компаративна и факторска анализа у истим окружењима. Функционална анализа је примењена да би се спознале активности и односи унутар предмета истраживања. Компаративна анализа је примењена како би се стекла сазнања о сличностима, односно, разликама појединачних елемената у предмету истраживања, као и њихове функције, везе и зависности, кретање и промене. У компаративној анализи су укључене квалитативне и квантитативне особине предмета истраживања. У оквиру компаративне анализе укључени су и резултати, анализа и закључци из досадашњих истраживања других аутора. Факторска анализа је примењена у смислу сагледавања међусобних веза и интеракције фактора – параметара у истраживању. Дескриптивна анализа се односи на описивање појава природних догађаја, односно, понашања животињских јединки у природном окружењу, која је послужила за даљу конкретизацију и детаљније схватање феномена кроз експлицитну методу анализе. Метода специјализације је примењена са сврхом рашчлањавања и/или упрошћавања проблема истраживања на делове који сваки за себе чине целине и понаособ постају елементи истраживања (3D у 2D).

Синтезом су доведени у однос елементи предмета истраживања претходно анализирани као мање засебне целине. Метода конкретизације кроз експериментална испитивања и нумеричке симулације је примењена за деловање на елементе предмета истраживања – различите моделе и прототип.

Методом индукције су стечена сазнања о емпиријским и конкретним особинама и понашању посматраних система.

Теоријска и методолошка разматрања у оквиру научних метода истраживања се односе на методе креирања нумеричких модела – нумеричких модела тела и прорачунске динамике флуида, статистичке и компаративне методе. Теоријске методе истраживања имају циљ да пруже довољан број информација, како би се на основу њих оформили математички модели којима се могу описати природне

појаве. Метода моделирања физичких процеса је примењена ради разумевања самих појава, примене и поједностављена комплексних проблема. У овом раду је коришћен развијен систем за прорачунски механику флуида, који представља индустријски стандард, верификован експериментима, те се примена нумеричких метода као једне врсте моделирања динамичког система (биомеханика водомара, комплексна струјања при проласку боза кроз тунел и др.) фокусира на нови начин приступа и примене новом сврхом и кроз нове приступе. Моделирање система се врши према хијерархији од једноставнијих ка комплекснијим моделима. Циљ моделовања са оваквом хијерархијом је да се у најранијој фази добију прве информације о посматраном проблему или пронађу слабе тачке модела. Статистичка метода се односи на статистичку обраду података и анализу резултата из експерименталних и нумеричких испитивања. Упоредна анализа је примењена ради верификације експерименталних резултата са природним догађајима и нумерички добијених резултата са експерименталним, као и процене крајњег дизајна у односу на досадашња истраживања.

У основу теоријско–методолошке методе је уграђен позитивизам са жељом да се допринесе наставку истраживања у смислу стицања нових сазнања и унапређења квалитета живота људи.

У истраживање су укључене различите експерименталне методе мерења изведене испитивањима помоћу посматрања и студија случајева код којих су употребљена истраживачка (лабораторијским) и индустријска средства. Примењене технике, кроз које су прикупљени подаци о облику узорака и понашању објеката или система, се у пракси примењују у различитим областима науке и инжењерства: механике флуида и аеродинамике, термодинамике, оптике, контроле квалитета производа, архитектуре и очувања културне баштине и др. Експерименталне методе су примењене са сврхом испитивања облика, понашања и особина издвојених узорка или модела, и ради верификације резултата из нумеричких симулација.

Експерименталне и теоријско-методолошке методама дале су овом истраживању мултидисциплинарни карактер.

На основу прикупљених података извршена је квантитативна и квалитативна анализа, верификација хипотеза и резултата на основу којих су донети закључци и смернице за наставак и проширење дизајна експеримената, као и самог истраживања са сврхом примене биомимикрије као методе аеродинамичког дизајнирања воза за велике брзине. Верификација је изведена на два начина и то поређењем експерименталних резултата са резултатима посматрања, нумеричких и експерименталних резултата, и на крају поређењем резултата из овог истраживања са доступним резултатима претходно изведених истраживања.

### 3.4 Применљивост остварених резултата

Истраживања из ове дисертације су добра основа за даљи рад са циљем проширења мултидисциплинарних истраживања ради постизања још прецизнијих резултата који ће помоћи у доношењу нових закључака.

Проширена знања и сазнања из различитих области и вештина примене различитих метода, развијана у пракси независно, комбинована су у једну методу

са циљем оптимизације процеса дизајнирања који значајно доприноси продуктивности и економској исплативости превозног средства уз истовремено испуњење техничко – технолошких захтева. Проширење мултидисциплинарних испитивања ради стицања нових сазнања, бољег разумевања природних феномена, као и проширење базе података за биолошке узорке могу бити основа и за друга истраживања.

Практична и употребна вредност резултата се односи на развијен флексибилан метод који омогућава примену у научним и индустријским оквирима, зависно од могућности, захтева и потреба. Развијена методологија предвиђа дефинисање концептуалног дизајна већ у најранијој фази развоја прототипа, која је у пракси уједно и најскупљи део процеса израде прототипа. Очекује се да у практичној примени метода да значајан допринос у смањењу укупних трошкова, енергетској ефикасности истраживања, кроз нови приступ решавању проблема аеродинамичког дизајнирања, уз једнак или бољи квалитет добијених резултата.

Резултати проистекли из рада на овој докторској дисертацији су значајни, имају трајну научну вредност и применљивост у области аеродинамичког дизајнирања возова за велике брзине конвенционалног и неконвенционалног типа, као и широј области истраживања са циљем дизајнирања других објеката код којих је дизајн од приоритетног значаја за аеродинамичке карактеристике.

Обзиром да је крајњи дизајн бионичког воза комплексан, очекује се ће у процесу производње прототипа бити неопходна примена ваздухопловних конструкцијских и производних решења, ваздухопловних материјала, као и примена превлака од наноматеријала за смањење отпора трења

### 3.5 Оцена достигнутих способности кандидата за самосталан научни рад

Чланови комисије сматрају да је кандидат показала способности за самосталан, систематски научноистраживачки рад на решавању инжењерских и научних проблема, успешно влада савременим истраживачким методама и доступном литературом. Кандидат поседује широка теоријска знања и практична искуства потребна за даљи научно истраживачки рад.

## 4. ОСТВАРЕН НАУЧНИ ДОПРИНОС

### 4.1 Приказ остварених научних доприноса

Ова дисертација је проширила постојећа знања и остварила научни допринос у области аеродинамичког дизајнирања возова великих брзина и других објеката.

Остварени су следећи научни доприноси:

- нови приступ дефинисању биолошких облика мултидисциплинарним методом, ради прикупљања прецизних података и креирања параметарских модела биолошких облика, као и критеријума за избор узорака за примену биомимикрије
- створена је база података која описује различите биолошке узорке са сврхом примене биомимикрије, као и параметарски модел крутог тела водомара у маневру обрушавања – зарањање

- описана је биомеханика кретања и моделовано је кретање водомара за потребе нумеричких симулација мултифазног струјања

- уведена је мултидисциплинарна метода за одређивање критеријума сличности струјања и избора дизајна у раној фази развоја прототипа – комбинована метода за одређивање сличности струјања. У оквиру ове методе примењена је комбинација експеримената и нумеричких симулација. Хидродинамичка испитивања зарањања бионичког модела у воду су примењена са новом сврхом и приступом, за разлику од досадашњих истраживања у бродоградњи и балистици. Нумеричка метода коначних запремина за решавање проблема мултифазног струјања са динамичком мрежом је заснована на методи запреминских удела фаза, при дејству гравитације, са укљученим моделима шест-степени-слободе и кориснички дефинисане функције за описивање кретања при маневру, као нестандарног извора података који се користи у итеративном поступку. Нумеричке симулације мултифазног струјања су изведене са новом сврхом и новим приступом за потребе дефинисања облика интерфејса између фаза и струјања у дубини воде.

- допринос се огледа у креирању референтног или стандардног бионичког модела за аеротунелска испитивања. Једноставан облик модела омогућава лаку примену и у другим аеротунелима, а промене параметара дизајна, кроз будућа истраживања, ће омогућити праћење утицаја промена геометријских параметара дизајна на струјне параметре око модела

- у аеротунелску праксу Војнотехничког института уведена је метода испитивања струјања по површинама модела заснована на одређивању расподеле температура. Ова савремена метода представља нови приступ у истраживањима граничног слоја, а примери из праксе су приказани само за области великих брзина. Термографска испитивања су комбинована са визуелизацијом струјања уљаном емулзијом и нумеричким симулацијама, након чега је извршена и верификација. Метода је успешно примењена за квалификацију струјања и дефинисање зоне преображаја на површинама модела при подзвучним брзинама. Метода мерења расподеле површина значајно је скратила време истраживања и трошкове граничног слоја у раној фази развоја прототипа, допринела је енергетски ефикаснијем поступку испитивања. Поред тога, допринос чини и метода кориговања мерених вредности.

- допринос се огледа и у специфичној примени нумеричких метода нестационарног струјања са клизним мрежама при проласку воза кроз тунел и анализи резултата на начин примењен код комбиноване методе за одређивање сличности струјања. Анализа резултата се односи на анализу расподеле густина по висини тунела као и расподелу изо-густинских линија у равни симетрије,

- такође, допринос се огледа кроз успостављање метода за контролу квалитета дизајна анализом струјних параметара. Успостављена је метода праћења и детекције одступања контура од номиналних на основу испитивања воза у имагинарним условима слободног лета при великим брзинама. Друга метода контроле квалитета површина модела је успостављена помоћу термографских и нумеричких испитивања у аеротунелу, а заснована је на анализи расподеле коефицијента трења и температуре по површинама модел. Трећа метода је заснована на анализи изо-густинских линија, за грубо дефинисање зона у којима је дошло до одступања од номиналних вредности, а за прецизно дефинисање позиције

накнадно је примењена друга метода, анализа расподеле коефицијента трења и температуре. Методе су се показале ефикасним и неопходним у случајевима комплексног бионичког дизајна воза великих брзина, поред стандардних контрола квалитета облика у оквиру специјализованих програма. Успостављене методе контроле квалитета засноване на анализи струјних параметара се могу применити и на друге објекте, постављене у било ком окружењу (аеротунелу, слободном лету, под утицајем тла и др.)

Остварени научни доприноси се заснивају на оригиналном приступу експерименталним и нумеричким истраживањима, обради и анализи добијених резултата, дефинисању биолошких облика за примену биомимикрије, успостављању комбиноване методе за одређивање сличности струјања, одређивању критеријума за услове и избор најпогоднијих дизајна и примени нумеричке методе за анализу струјања око финалног дизајна са клизним мрежама.

#### 4.2 Критичка анализа резултата

На адекватан начин је извршена систематизација знања и избор метода за решавање проблема из области аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина.

Научни доприноси представљају унапређење научних знања у односу на постојећа из разлога што је кроз мултидисциплинарно истраживање по први пут изведено истраживање сличности струјања око два непотпуно геометријски слична модела и успостављен је метод којим се у раној фази испитивања једноставним експериментима и поузданом методом може доћи до поједностављених модела концептуалног дизајна.

Истраживања приказана кроз ову дисертацију су се бавила побољшањем методе аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина применом биомимикрије са биолошким узорцима.

Даљи рад у области би могао бити усмерен на детаљнија истраживања изабраних али и других биолошких узорака, њиховог облика, маневра обрушавања – зарањање у природи и симулацијама, како водомара тако и сличних врста. Такође, примена других савремених метода (брзих камера, PIV, LDA и др.) допринела би квантитету података у бази и квалитативном унапређењу методе одређивања топографије слободне површине, а тиме и прецизнијим крајњим резултатима. Предлаже се проширивање експерименталних и нумеричких истраживања уз унапређење ресурса који би могли да одговоре на захтеве комплексних прорачуна параметара струјног поља око бионичког модела у симулираном маневру водомара и бионичког воза у проласку кроз тунел. Могући правци у даљем раду су такође усмерени и на истраживања у микроканалима.

#### 4.3 Верификација научних доприноса

M23 Рад у међународном часопису

1. **Linić, S.**, Ocokoljić, G., Ristić, S., Lučanin, V., Kozić, M., Rašuo, B., Jegdić, B., 2017 Boundary Layer Transition Detection by Thermography and Numerical

- Method Around Bionic Train Model in Wind Tunnel Test, *Thermal Science*, Online First (00), 302-302, doi: 10.2298/TSCI170619302L
2. Ristić, S., **Linić, S.**, Samardžić, M., 2017 Turbulence Investigation in the VTI's Experimental Aerodynamics Laboratory, *Thermal Science* (21) Suppl. 3, pp. S629-S647, doi: 10.2298/TSCI160130187R,
  3. Lucanin, V.J., Mirjana P.A., Milkovic D.D., Golubovic S.D., **Linic S.Lj.** 2012 Determining the influence of an air wave caused by a passing train on the passengers standing at the platform, *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, **19** (3), 299-313
  4. Puharić, M., **Linić, S.**, Matić, D., Lučanin, V. 2011 Determination of Braking Force of Aerodynamic Brakes for High Speed Trains, *Transactions of Famen* **XXXV** (3), 57-66

M24 Рад у националном часопису међународног значаја

1. Puharic, M., Matić, D., **Linic, S.**, Ristic, S., Lučanin, V. 2014 Determination of Braking Force on the Aerodynamic Brake by Numerical Simulations, *FME Transactions*, **42**, (2), 106-111, [http://www.mas.bg.ac.rs/\\_media/istrazivanje/fme/vol42/2/02\\_mpuharic.pdf](http://www.mas.bg.ac.rs/_media/istrazivanje/fme/vol42/2/02_mpuharic.pdf)

M32 Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу

1. Ristić, S., **Linić, S.**, Samardžić, M. 2015 Presentation of the Facilities, Methods and Results of Turbulence Investigation in the VTI's Wind Tunnels, (Eds. Čantrak, Đ., Lečić M., Čočić, A.) The book of Abstracts on Turbulence Workshop – International Symposium, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade, Serbia, 31<sup>st</sup> – 2<sup>nd</sup> September, pp 14

M33 Саопштење са међународног скупа штампано у целини

1. **Linić, S.**, Rašuo, B., Kozić, M., Lučanin, V., Bengin, A. 2016 Aerodynamics of the High Speed Train Bio-inspired by a Kingfisher, Proceedings of the 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2016, Military Technical Institute, 6-7 October, Belgrade, Serbia, 41-46, ISBN 978-86-81123-82-9
2. Ristić, S., **Linić, S.**, Ocokoljić, G., Rašuo, B., Lučanin, V. 2016 A High Speed Train Model Testing in T-32 Wind Tunnel by Infrared Thermography and Standard Methods, Proceedings of the 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2016 Military Technical Institute, 6-7 October, Belgrade, Serbia, 35-40, ISBN 978-86-81123-82-9
3. **Linić, S.**, Rašuo, B., Kozić, M., Lučanin, V., Puharić, M. 2014 Comparison of numerically obtained 2D flow fields for the bionic high speed train concept designs inspired with aquatic and flying animals, Proceedings of the 6th International Scientific Conference on Defensive Technologies – OTEH 2014, Military Technical Institute, 9-10 October, Belgrade, Serbia, 44-49, ISBN 978-86-81123-71-3



4. **Linic, S.**, Rasuo, B., Kozic, M., Lucanin, V., Bengin, A. 2015 Drag-Coefficient Behavior of the Bio-Inspired High Speed Train Design, Proceedings of 5th International Congress of Serbian Society of Mechanics, June 15-17, Arandjelovac, Serbia, G3d, 1-10, ISBN 978-86-7892-715-7
5. Puharić, M., Lučanin, V., **Linić, S.**, Matic, D. 2012 Research of Some Aerodynamic Phenomenon of High Speed Trains in Low Speed Wind Tunnel , The 3rd International Scientific and Professional Conference CORRIDOR 10 – A sustainable Way of Integrations, October 25th , Belgrade, Serbia, 220-226
6. **Linić, S.**, Matic, D., Puharić, M., Ristic, S. 2011 Efficiency determination of the aerodynamic brakes for different train's speeds, proceedings of the Third Serbian (28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, B-09, 5-8 July, Vlasina Lake, Serbia, 304-311,

M34 Саопштење са међународног скупа штампано у изводу

1. **Linić, S.**, Aleksić, M., Polić, S., Ristic, S., Radojković, B., Raković, M. 2017 Photogrammetric Determination of the Shape and Surface Texture of the Kingfisher Beak, Book of Abstracts – International Scientific Conference “Objectives of Sustainable Development in the Third Millennium”, ECOLOGICA, Belgrade, Serbia, 20 – 22 April, 71

M42 Монографија националног значаја

1. **Linic, S.**, Mrkalj, N., 2017 *Wind Tunnel Design and Testing: Low-Speed*, Institute Gosa, Belgrade, Serbia ISBN 978-86-86917-23-2

M51 Рад у врхунском часопису националног значаја

1. **Linić, S.**, Ristic, S., Stefanović, Z., Kozić, M., Ocokoljić, G. 2015, Experimental and Numerical Study of Super-Critical Flow Around the Rough Sphere, *Scientific Technical Review* 65 (2), 11-19
2. Vasović; I., Maksimović; M., Puharić; M., Matic; D., **Linić, S.** 2011 Structural Analysis of Aerodynamic Brake of High-Speed Train, *Scientific Technical Review*, **61** (2), pp.10-15

M52 Рад у часопису националног значаја

1. Пухарић, М., Лучанин, В., Ристић, С., **Линић, С.** 2010 Примена аеродинамичких кочница на возове, *Истраживања и пројектовања у привреди*, **8** (1), 13-21

Некатегорисани радови:

1. Davidović, M., Kutin, M., **Linić, S.**, Mioč, U., Nedić, Z., Sredić, S., Nikolić, A., Jovanović D., and Pissis, P. 2011 Nanocomposites Based on Natural Materials In *Advances in Diverse Industrial Application of Nanocomposites*, (Ed. Reddy, B.) 37-56, InTech ISBN 978-953-307-202-9, doi: 10.5771/14865

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Прегледом докторске дисертације кандидата Сузанае Линић, магистар инжењерских наука, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључује следеће:

- Теза представља оригинални научни рад са научним доприносом у области машинства - аеродинамике шинских возила, дизајнирања методом биомимикрије са сврхом дефинисања концептуалног дизајна уз смањење утрошене енергије, трошкова и времена за истраживања у раним фазама развоја прототипа

- Тема и остварени резултати су од значаја за развој метода дизајнирања возова великих брзина. Методологија аеродинамичког дизајнирања методом биомимикрије је применљива на конвенционалне и неконвенционалне возове великих брзина, као и на друге објекте код којих је потребна примена аеродинамичке оптимизације облика.

- У истраживању су примењене савремене методе и стандардна стручна методологија. Структура дисертације и методологија излагања су у складу са универзитетским нормама.

- Обављеним истраживањима кандидат је показала широко знање и искуство по свим елементима аеродинамичког дизајнирања облика, у које спадају моделовање биолошких процеса и облика, анализа физичких принципа природних феномена, анализа и верификација експерименталних и нумеричких резултата истраживања и сличности струјања два модела у различитим конфигурацијама.

На основу изложеног Комисија констатује да је докторска дисертација кандидата Сузанае Линић, магистар инжењерских наука, под називом „Биомимикрија као метод аеродинамичког дизајнирања воза великих брзина“ израђена према стандардима научноистраживачког рада и испуњава услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и стандардима Машинског факултета Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета да прихвати реферат, дисертацију стави на увид јавности и упути Извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду а након тога да се кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду, 31.01.2018.

Чланови Комисије за оцену и одбрану:

---

др Војкан Лучанин, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Машински факултет

---

др Мирко Козић, научни саветник,  
Војнотехнички институт - Београд

---

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

---

др Марко Милош, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

---

др Јован Танасковић, доцент  
Универзитет у Београду, Машински факултет