

Факултет МАШИНСКИ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

591/4  
(Број захтева)Већу научних области техничких наука  
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно  
Члану 6. и чл. 7 став 1. овог Правилника)02.06.2016.  
(Датум)

**З А Х Т Е В**  
**за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације**

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

**БИОМИМИКРИЈА КАО МЕТОД АЕРОДИНАМИЧКОГ ДИЗАЈНИРАЊА ВОЗА  
ВЕЛИКИХ БРЗИНА**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ Шинска возила

## ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног родитеља и презиме кандидата: СУЗАНА (ЉУБИША) ЛЕНИЋ2. Назив и седиште Факултета на коме је стекао високо образовање: Машински факултет Београд3. Година дипломирања: 1989.

4. Назив магистарске тезе кандидата: \_\_\_\_\_

5. Назив Факултета на коме је магистарска теза одбрањена: \_\_\_\_\_

6. Година одбране магистарске тезе: \_\_\_\_\_

7. Назив Факултета на коме је кандидат уписао докторске студије: Машински факултет Београд

Одсек, смер или група: \_\_\_\_\_

Година уписа докторских студија: 2010.Обавештавамо Вас да је \_\_\_\_\_  
Наставно-научно веће Факултета  
(назив надлежног тела Факултета)на седници одржаној 02.06.2016  
размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

\_\_\_\_\_  
проф. др Радивоје Митровић

## Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем.

2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -  
Број: 591/4  
Датум: 02.06.2016. године  
Београд, Краљице Марије 16

На основу захтева студента **Сузанае Линић**, дипл. маш. инж., бр. 2671/1 од 21.12.2015. године да јој се одобри израда докторске дисертације, реферата Комисије у саставу: др Војкан Лучанин, ред.проф., ментор, др Мирко Козић, научни саветник, ВТИ, ментор, др Слободан Ступар, ред. проф., др Александар Бенгин, ред. проф. и др Јован Танасковић, доц., број 591/3 од 31.05.2016. године, а на основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 63. Статута Машинског факултета (број 1876/1 од 04.10.2013. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 02.06.2016. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Прихвата се научна заснованост теме докторске дисертације и констатује да студент **СУЗАНА ЛИНИЋ**, дипл. маш. инж. испуњава услове за израду докторске дисертације **«БИОМИМИКРИЈА КАО МЕТОД АЕРОДИНАМИЧКОГ ДИЗАЈНИРАЊА ВОЗА ВЕЛИКИХ БРЗИНА»**.

За менторе студенту **Сузани Линић**, именују се др Војкан Лучанин, ред. проф. и др Мирко Козић, научни саветник, ВТИ

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

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

## **ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Подобност теме и кандидата Сузана Линић, дипл. маш. инж. студента докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду за израду докторске дисертације

Одлуком 591/2 бр. од 17.03.2016. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата Сузана Љ. Линић, дипл. маш. инж., студента докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду, бр. индекса Д25/10, за израду докторске дисертације и научне заснованости теме „БИОМИМИКРИЈА КАО МЕТОД АЕРОДИНАМИЧКОГ ДИЗАЈНИРАЊА ВОЗА ВЕЛИКИХ БРЗИНА“.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, дел.број 2671/1, од 21.12.2015., Комисија подноси

### **РЕФЕРАТ**

#### **1. Подаци о кандидату**

##### **1.1. Биографски подаци**

Кандидат Сузана Линић, рођ. Шумоња, рођена је 14.10.1963. у Земуну. Основну школу „Лазар Саватић“ је завршила 1978. у Земуну, награда „Стеван Мокрањац“ за сликарство. Потом је наставила двогодишње школовање у Земунској гимназији, на природно-математичком смеру. Средњу техничку школу, тада под називом „Петар Драпшин“ завршава 1982. године на смеру ваздухопловно саобраћајни техничар. У том периоду се активно бави авио-моделарством у АК „Фрањо Клуз“, Земун. Професионалну праксу обављала, по програму, у: ЈАТ-у Обласна контрола лета, Авиогенекс – техничка служба одржавања авиона, а у додатном волонтерском термину у Ваздухопловнотехичком институту у Жаркову, у секторима Експерименталне и Теоријске аеродинамике, као и Конструкције ваздухоплова. Школовање наставља на Машинском факултету Универзитета у Београду, на смеру Аерокосмотехника, као „Утвин“ стипендиста, а усавршавање наставља кроз професионалну праксу, такође у Ваздухопловнотехичком институту. Неколико година је била студент-волонтер на конгресима Југословенског ваздухопловног друштва. Дипломирала је на Машинском факултету, јануара 1989., са темом из области аеродинамике ветрогенератора. Непосредно након дипломирања примљена је у стални радни однос у Ваздухопловно-технички институт. У периоду од 1989. до 2005. у Сектору Експерименталне аеродинамике, Одсек Подзвучна аеродинамика, руководила је 6 пројеката из ваздухопловног програма (М G-4, моторизовани модел, НА са прострујавањем, Ласта, Корунд, Јастреб). Радни век је започела као самостални истраживач, а након 5 година унапређена је у вишег самосталног истраживача. Објавила је

неколико радова у Научно-техничком прегледу и учествовала на конгресима Југословенског ваздухопловног друштва.

Запошљавањем у Институту Гоша наставља научноистраживачки рад. Од 2009. ради у Центру за инжењерски софтвер, где 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 пројекте МПНТР РС: ТР 35045 и ТР 14018 (0 истраживач / месеци), касније на ТР 34028 (од 2013. са 12 истраживач / месеци). Осим на националним, учествовала је и на међународним пројектима од којих је најзначајнији двогодишњи пројекат W-tech (2011-2013., носилац пројекта Институт Гоша) финансиран од стране Делегације Европске уније. Ангажована је у деловима презентације и промоције науке, резултата истраживања пројеката у којима је учесник, као и едукацији према привреди за коришћење инжењерских софтвера и унапређење система за учење на даљину у заваривању. Кроз овај пројекат интензивно сарађује са колегама из HIST – Технолошког факултета Универзитета из Трондрхајма, Норвешка, ISIM – Националног института за заваривање из Румуније. Одличну сарадњу одржава са провајдерима за инжењерске софтвере: SimТес, Грчка, TeamCAD, CAD CAM Data и CPS CAD Professional Systems, Србија.

Докторске студије уписује школске 2010./2011. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. Године 2014. је реизабрана у звање истраживач сарадник. Током докторских студија и ангажовања у пројектима МПНТР РС, кандидаткиња је континуално усавршавала неопходна знања и вештине у областима нумеричког моделирања (PRO/Engineer, CATIA), прорачунске динамике флуида (ANSYS Fluent), као и других програма потребних за обраду података, и експерименталних (хирдо- и аеродинамичких) истраживања, из којих су проистекли тема и грађа докторске дисертације.

У периоду од 2010. до 2015. је укупно коауторски објављено 1 M14, 3 M23, 1 M24, 1 M32, 9 M33, 3 M34, 3 M51, 2 M52 и 1 M64.

У слободно време се бави хуманитарним радом, а кроз сарадњу са Општинама Савски венац, Звездара и Асоцијацијом за промовисање инклузије Србије учествовала је у 7 ЕУ пројеката на промоцији научних резултата из области заштите особа са инвалидитетом.

## **1.2. Списак радова и пројеката и вези са темом докторске дисертације**

### **Рад у тематском зборнику међународног значаја M14=4**

1. *Milorad Davidović, Marina Kutin, Suzana Linić, Ubavka Mioč, Zoran Nedić, Svjetlana Sredić, Aleksandra Nikolić, Dušan Jovanović and Polycarpus Pissis, Nanocomposites Based on Natural Materials, Advances in Diverse Industrial Application of Nanocomposites, 2011., ISBN 978-953-307-202-9, InTech, <http://www.intechopen.com/books/advances-in-diverse-industrial-applications-of-nanocomposites/nanocomposite-based-on-natural-materials>*

### **Рад у међународном часопису – M23=3**

1. Mirjana Puharić Ph.D, Suzana Linić M.Sc., Dušan Matić M.Sc., Vojkan Lučanin Ph.D, *Determination of Braking Force of Aerodynamic Brakes for High Speed Trains*, Transactions of Famena, oktobar 2011., Vol.XXXV, No.3, pp. 57-66.
2. Lucanin Vojkan J, Puharic Mirjana A, Milkovic Dragan D, Golubovic Snezana D, Linić Suzana Lj, *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, 2012., Vol. 19, No. 3, pp. 299-313, ISSN (printed): 1744-232X. ISSN (electronic): 1741-5152, <http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=47918>.

### **Рад у часопису међународног значаја верификованог посебном одлуком - M24=3**

1. Mirjana Puharic, Dusan Matic, Suzana Linić, Slavica Ristic, Vojkan Lucanin, *Determination of Braking Force on the Aerodynamic Brake by Numerical Simulations*, FME Transactions, 2014., Vol. 42, No. 2, pp.106-111, doi:10.5937/fmet1402106P, [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)

### **Предавање по позиву са међународног скупа штампано у изводу – M32=1,5**

1. Slavica Ristic, Suzana Linić, Marija Samardzic, *Presentation of the Facilities, Methods and Results of Turbulence Investigation in the VTI's Wind Tunnels*, Turbulence Workshop – International Symposium, Faculty of Mechanical Engineering, 31<sup>st</sup> – 2<sup>nd</sup> September 2015., pp 14, [http://turbulenceworkshop.mes.bg.ac.rs/first\\_day](http://turbulenceworkshop.mes.bg.ac.rs/first_day)

### **Саопштење са међународног скупа штампано у целини – M33=1**

1. S.Linić, D.Matić, M.Puharić, S.Ristić, *Efficiency determination of the aerodynamic brakes for different train's speeds*, Proceedings of the Third Serbian (28<sup>th</sup> Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake 5-8 july 2011, Serbia.
2. Mirjana Puharić, Vojkan Lučanin, Suzana Linić, Dušan Matić, *Research Some Aerodynamic Phenomenon of High Speed Trains in Low Speed Wind Tunnel*, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Scientific and Professional Conference CORRIDOR 10 - a sustainable way of integrations, Belgrade October 25<sup>th</sup>, 2012, Serbia.
3. Suzana Linić, Bosko Rasuo, Mirko Kozic, Vojkan Lucanin, Mirjana Puharić, *Comparison of numerically obtained 2D flow fields for the bionic high speed train concept designs inspired with aquatic and flying animals*, Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2014, pp 44-49, The Military Technical Institute, ISBN 978-86-81123-71-3, UDC: COBISS.SR1ID 210344204
4. Suzana Linić, Bosko Rasuo, Mirko Kozic, Vojkan Lucanin, Aleksandar Bengin, *Drag-Coefficient Behavior of the Bio-Inspired High Speed Train Design*, 5<sup>th</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, Arandjelovac June 15-17, 2015, Serbia.

### **Рад у врхунском часопису националног значаја M51=2**

1. Ivana Vasović; Mirko Maksimović; Mirjana Puharić; Dušan Matić; Suzana Linić, *Structural Analysis of Aerodynamic Brake of High-Speed Train*, Scientific Technical Review, Vojnotehnički institut, Belgrade, 2011, Vol.61, No.2, pp.10-15, <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad2011/2-11/2/2.pdf>
2. Suzana Linic, Slavica Ristic, Zoran Stefanovic, Mirko Kozic, Goran Ocokoljic, *Experimental and Numerical Study of Super-Critical Flow Around the Rough Sphere*, Scientific Technical Review, 2015, Vol.65, No.2, pp.11-19, <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/index.htm>

### **Рад у часопису националног значаја M52=1.5**

1. др Мирјана Пухарић, др Војкан Лучанин, др Славица Ристић, Сузана Линић, *Примена аеродинамичких кочница на возове*, Истраживања и пројектовања у привреди, 2010., Вол. 8. Бр.1,

### **Некатегорисани радови:**

1. Customer Stories – Institute Gosa (преглед пројеката у којима је коришћен ANSYS Fluent у Институту Гоша), *SimTec 10 Years*, Aniversary Book, SimTec Software and Services, pp. 78-80, <http://simtec-10-years.s3-external-3.amazonaws.com/index.html>

### **1.3. Пројекти финансирани од Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије**

1. Истраживање и оптимизација технолошких и функционалних перформанси вентилационог млина термоелектране Костолац Б, бр. ТР – 34028 / 2011. – 2015. год.(од 2013. са 12 истраживач/месеци)
2. Научно-технолошка подршка унапређењу безбедности специјалних друмских и шинских возила, бр. ТР 35045 / 2011.-2015.год., (0 истраживач / месеци)
3. Истраживање и развој носеће структуре и процена материјала елемената пасивне сигурности шинских возила, ев.бр. ТР 14018 (0 истраживач / месеци)

#### 1.4. Активности на докторским студијама

У циљу реализације програма усавршавања, кандидаткиња Сузана Линић, дипл.маш. инж, је положила следеће обавезне и изборне предмете:

| Ред . бр. | Назив предмета                                    | Предметни<br>Наставник    | Година студија и ЕСПБ |            |             |            | Оцена<br>испита |
|-----------|---------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|------------|-------------|------------|-----------------|
|           |                                                   |                           | 1. Година             |            | 2. Година   |            |                 |
|           |                                                   |                           | I<br>(30)             | II<br>(30) | III<br>(30) | IV<br>(30) |                 |
| 1.        | ОМНИР и комуникација                              | проф. др Милош Недељковић | 5                     |            |             |            | 10<br>(десет)   |
| 2.        | Виши курс математике                              | проф. др Стојан Раденовић | 5                     |            |             |            | 10<br>(десет)   |
| 3.        | Одабрана поглавља из механике                     | проф. др Јосиф Вуковић    |                       | 5          |             |            | 10<br>(десет)   |
| 4.        | Нумеричке методе                                  | проф. др Миодраг Спалевић | 5                     |            |             |            | 10<br>(десет)   |
| 5.        | Бионика                                           | проф. др Бошко Рашуо      | 5                     |            |             |            | 10<br>(десет)   |
| 6.        | Изабрана поглавља из аеродинамике                 | проф. др Бошко Рашуо      |                       |            | 5           |            | 10<br>(десет)   |
| 7.        | Управљање и оптимизација преноса снаге локомотиве | проф. др Војкан Лучанин   |                       | 5          |             |            | 10<br>(десет)   |
| 8.        | Оптимизација аеродинамичких облика                | проф. др Бошко Рашуо      |                       |            | 5           |            | 10<br>(десет)   |
| 9.        | Посебна поглавља из аеродинамике                  | проф. др Зоран Стефановић |                       | 5          |             |            | 10<br>(десет)   |
| 10.       | Истраживање и публикавање I                       | проф. др Војкан Лучанин   | 10                    |            |             |            | 10<br>(десет)   |
| 11.       | Истраживање и публикавање II                      | проф. др Војкан Лучанин   |                       | 15         |             |            | 10<br>(десет)   |
| 12.       | Истраживање и публикавање III                     | проф. др Војкан Лучанин   |                       |            | 20          |            | 10<br>(десет)   |
| 13.       | Истраживање и публикавање IV                      | проф. др Војкан Лучанин   |                       |            |             | 8          | 10<br>(десет)   |
| 14.       | Пројекат идеје докторске дисертације              |                           |                       |            |             | 22         | 10<br>(десет)   |

#### Напомена:

Кандидаткиња је положила свих 9 предмета предвиђених програмом Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду. Рад на истраживањима је обавила

у Институту Гоша и Војнотехничком институту у Београду на крају, одбранила је пројекат идеје докторске дисертације. Укупно је стекла 120 бодова, те тиме и услов за пријаву докторске дисертације.

### **1.5. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми**

Кроз досадашњи стручни и истраживачки рад, кандидаткиња је исказала квалитет, заинтересованост, иновативност и стручност за научни и истраживачки рад.

Изразити смисао за бављење експерименталним и теоријским истраживањима потврдила је публикованим радовима, у часописима, конференцијама, и учешћем на пројектима.

Досадашња дугогодишња истраживачка делатност и објављени научни радови су у директној и уској повезаности са научном облашћу којој је посвећена предложена тема докторске дисертације, и квалификују кандидаткињу за успешна теоријска и експериментална истраживања на предложеној теми.

На основу биографских и библиографских података, успеха на положеним испитима из програма Докторских студија, научних и стручних активности у истраживањима, Комисија сматра да је кандидаткиња подобна за рад на предложеној теми докторске дисертације

## **2. Предмет истраживања**

Брзи железнички саобраћај је релативно нова врста транспорта, која је осим великих предности у пракси показала и неке од својих недостатака. Рагхунатхана и др.[1] сумирају да су недостаци у експлоатацији возова за брзе пруге (ВВБ) последица недовољно истражених феномена који се јављају при великим брзинама кретања. Са сврхом да се системски смање на најмању меру недостаци које носи собом ВВБ, а на основу бројних истраживања и искустава, уведени су стандарди од којих јапански постављају најстроже критеријуме [2]. Стандарди дају приоритет безбедности и заштити здравља људи.

Ургентни проблеми аеродинамике и аероакустике ВВБ су:

- безбедност путника и средстава, Лучанин и др. [3]
- губитци услед струјања ваздуха око ВВБ, који нарушавају енергетску ефикасност, Пухарић и др. [4]
- проблеми заштите здравља и животне околине изазвани неприхватљивим нивоом буке, која је последица струјних појава при кретању воза кроз тунел, Рагхунатхана и др [1], Бакер и др. [5]

Уз чињеницу да остваривање великих погонских снага више није технолошки проблем, али њена ефикасна потрошња и даље јесте још увек, а под условом високог нивоа безбедности саобраћаја и очувања здравља, предмет ове дисертације представљају:

- успостављање методе аеродинамичке оптимизације применом биомимикрије (Рашуо [6]), прилагођење природних облика појединих животињских јединки и примена на дизајне ВВБ тзв. био-инспирисане дизајне (БВВБ). Први резултати истраживања дати су за 5 дизајна налик птици и животињама из мора, Линић и др. [7]

- анализа услова и унапређење аеродинамичких карактеристика HST у опсегу брзина до 500km/h, при вожњи на отвореној прузи и при проласку кроз железнички тунел
- прилагођавање принципа дизајнирања ваздухоплова за велике брзине потребама дизајнирања БВВБ.

Објекат представља конвенционални БВВБ чисте конфигурације, са занемареним детаљима, како би се резултати истраживања могли потенцијално применити и на друге категорије железничког саобраћаја.

Докторска дисертација је јединствена целина састављена од неколико фаза:

- преглед доступне литературе и података, активности анализе животињских облика, анализа карактеристика и праћење развоја возова за велике брзине
- Дефинисање параметара облика и генерисање CAD бионичког дизајна модела
- Дефинисање поступака експерименталних истраживања
- Дефинисање полазних података за нумеричко моделирање и извођење нумеричких симулација помоћу програма за прорачунску динамику флуида ANSYS Fluent
- Верификација нумеричких резултата помоћу експериментално добијених, и њихова анализа
- Успостављање методе хидро- и аеродинамичког дизајнирања и оптимизације применом облика из природе
- Постављање критеријума оправданости дизајна БВВБ
- Закључак и предлог за будућа истраживања

**Истраживања која ће обухватити ова докторска теза су део истраживања у оквиру пројеката из области технолошког развоја, финансираних од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије:**

- **„Научно-технолошка подршка унапређењу безбедности специјалних друмских и шинских возила“, евиденциони број ТР 35045 - 0 истраживач / месеци.**
- **„Истраживање и оптимизација технолошких и функционалних перформанси вентилационог млина термоелектране Костолац Б“, евиденциони број ТР 34028 - 12 истраживач / месеци од 2013.**
- **„Истраживање и развој носеће структуре и процена материјала елемената пасивне сигурности шинских возила“, евиденциони број ТР 14018 - 0 истраживач / месеци.**

### 3. Литература

- [1] Raghu S. Raghunathana, H.-D. Kimb, T. Setoguchi, *Aerodynamics of high-speed railway train*, Progress in Aerospace Sciences, 38, 2002, pp. 469–514.
- [2] *Technical Regulatory Standards on Japanese Railways*, Railway Bureau Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, March 31, 2012.
- [3] Mirjana Puharić Ph.D, Suzana Linić M.Sc., Dušan Matić M.Sc., Vojkan Lučanin Ph.D, *Determination of Braking Force of Aerodynamic Brakes for High Speed Trains*, Transactions of Famen, Vol.XXXV, No.3, oktobar 2011.pp. 57-66.
- [4] Lucanin Vojkan J, Puharic Mirjana A, Milkovic Dragan D, Golubovic Snezana D, Linic Suzana LJ , *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, Vol. 19 No. 3, 2012, pp. 299-313. <http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=47918>
- [5] Mirjana Puharic, Dusan Matic, Suzana Linic, Slavica Ristic, Vojkan Lucanin, *Determination of Braking Force on the Aerodynamic Brake by Numerical Simulations*, FME Transactions, Vol. 42, No. 2, 2014, pp.106-111, doi:10.5937/fmet1402106P, [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)
- [6] Mirjana Puharić, Vojkan Lučanin, Suzana Linić, Dušan Matić, *Research of Some Aerodynamic Phenomenon of High Speed Trains in Low Speed Wind Tunnel*, The 3<sup>rd</sup> International Scientific and Professional Conference CORRIDOR 10 - a sustainable way of integrations, Belgrade, Serbia, October 25<sup>th</sup>, 2012.
- [7] Baker, C, Gilbert, T & Quinn, A, *Aerodynamic pressures around high-speed trains: the transition from unconfined to enclosed spaces*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part F, Journal of Rail and Rapid Transit, Vol 227, No. 6, 2013, pp. 609-622., 10.1177/0954409713494947
- [8] S.Linić, D.Matić, M.Puharić, S.Ristić, *Efficiency determination of the aerodynamic brakes for different train's speeds*, Proceedings of the Third Serbian (28th Yu) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Vlasina lake 5-8 july 2011, Serbia.
- [9] Rašuo, B., *Bionika u dizajnu*, Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, el. Knjiga na CD-u, 2014.
- [10] Suzana Linic, Bosko Rasuo, Mirko Kozic, Vojkan Lucanin, Mirjana Puharić, *Comparison of numerically obtained 2D flow fields for the bionic high speed train concept designs inspired with aquatic and flying animals*, Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Scientific Conference on Defensive Technologies, OTEH 2014, pp. 44-49, The Military Technical Institute, ISBN 978-86-81123-71-3, UDC: COBISS.SR1ID 210344204
- [11] Suzana Linic, Bosko Rasuo, Mirko Kozic, Vojkan Lucanin, Aleksandar Bengin, *Drag-Coefficient Behavior of the Bio-Inspired High Speed Train Design*, 5<sup>th</sup> International Congress of Serbian Society of Mechanics, Arandjelovac, June 15-17, 2015, Serbia.
- [12] Yoseph Bar-Cohen, *Biomimetics - Biologically Inspired Technologies*, Taylor & Francis Group, 2006.
- [13] <http://www.mtm.or.jp/eng/railway/ec/500.html>
- [14] [http://labs.blogs.com/its\\_alive\\_in\\_the\\_lab/2012/04/biomimicry-japanese-train.html](http://labs.blogs.com/its_alive_in_the_lab/2012/04/biomimicry-japanese-train.html)
- [15] Shinkansen, (pristup 12.12.2014.) sa [http://en.wikipedia.org/wiki/Shinkansen#Passenger\\_trains](http://en.wikipedia.org/wiki/Shinkansen#Passenger_trains)
- [16] Maeda, *Protecting the Trackside Environment*, Railway Technology Today 9, Japan Railway & Transport Review No. 22, pp.48-57
- [17] High-speed rail, Wikipedia, (pristup 14.12.2014) sa [http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed\\_rail#Speed](http://en.wikipedia.org/wiki/High-speed_rail#Speed) Tatsuo
- [18] Tom McKeag, *How one engineer's birdwatching made Japan's bullet train better*, (pristup 12.12.2014.), sa <http://www.greenbiz.com/blog/2012/10/19/how-one-engineers-birdwatching-made-japans-bullet-train-better>
- [19] *"Shinkansen Train-Ask Nature"* The Biomimicry 3.8 Institute,(pristup 06.08.2013), sa <http://www.asknature.org/product/6273d963ef015b98f641fc2b67992a5e>.
- [20] Kobayashi, K., *"JFS Biomimicry Interview Series: No.6 "Shinkansen Technology Learned from an Owl?"-the Story of Eiji Nakatsu"* JFS Biomimicry Interview Series , Japan for Sustainability, (Pristup 2013), sa [http://www.japanfs.org/en/news/archives/news\\_id027795.html](http://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id027795.html)
- [21] Ivana Vasović; Mirko Maksimović; Mirjana Puharić; Dušan Matić; Suzana Linić, *Structural Analysis of Aerodynamic Brake of High-Speed Train*, Scientific Technical

- Review, Vojnotehnički institut, Belgrade, ,Vol.61,No.2, 2011, pp.10-15,  
<http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad2011/2-11/2/2.pdf>
- [22] Suzana Linic, Slavica Ristic, Zoran Stefanovic, Mirko Kozic, Goran Ocokoljic,  
*Experimental and Numerical Study of Super-Critical Flow Around the Rough Sphere*,  
 Scientific Technical Review, Vol.65, No.2, 2015, pp.11-19,  
<http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/index.htm>
- [23] Thompson, D.J., *Railway Noise and Vibration: Mechanisms, Modelling and Means of Control*, Elsevier, 2009, Oxford.
- [24] Alejandro Martínez, Enrique Vega, José Gaite and José Meseguer, Alejandro Martínez,  
 Enrique Vega, José Gaite and José Meseguer, *Pressure Measurements on Real High Speed  
 Trains Traveling Through Tunnels*, BBAA VI International Colloquium on: Bluff Bodies  
 Aerodynamics & Applications Milano, Italy, July, 20-24 2008
- [25] Luca Gori, Giovanni Pugi, Marco Tosi Cambini, Angelo G. Violi, *Acoustic  
 characterisation of high speed train ETR 500*, <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/138.pdf>
- [26] Pierre Ricco, Arturo Baron, Paolo Molteni, *Nature of pressure waves induced by a high-  
 speed train travelling through a tunnel*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., 26, March 2009, pp 3-  
 38, (pristup 07.01.2015.) sa [http://www.pierre-ricco.co.uk/ricco\\_pierre\\_publications\\_files/ricco\\_baron\\_molteni\\_jweia\\_2007.pdf](http://www.pierre-ricco.co.uk/ricco_pierre_publications_files/ricco_baron_molteni_jweia_2007.pdf)
- [27] S.W. Rienstra & A. Hirschberg, *An Introduction to Acoustics*, Eindhoven University of  
 Technology, January 2012. (<http://www.win.tue.nl/~sjoerdr/papers/boek.pdf>), upotreba u  
 edukativne svrhe
- [28] T.S. Yoon, S. Lee, D.H. Lee J.H. Hwang, *Prediction and Validation on the Sonic Boom by  
 a High Speed Train Entering a Tunnel*, J Sound, Vib 247, 2001, pp. 195–211 DOI:  
 10.1006/jsvi.2000.3482
- [29] Masahiro Suzuki, Atsushi Ido, Yutaka Sakuma and Hiroshi Kajiyama, *Full-Scale  
 Measurement and Numerical Simulation of Flow Around High-Speed Train in Tunnel*,  
 Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 3, 2008, pp  
 281-292, DOI: 10.1299/jmtl.1.281, (pristup 14.6.2013.) sa  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmtl/1/3/1\\_3\\_281/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmtl/1/3/1_3_281/_pdf)
- [30] Sanetoshi Saito, Masanobu Iida and Hiroshi Kajiyama, *Numerical Simulation of 1-D  
 Unsteady Compressible Flow in Railway Tunnels*, Journal of Environment and  
 Engineering, Vol. 6, No. 4, 2011.
- [31] John D. Anderson, *Modern Compressible Flow, With Historical Perspective*, McGraw-Hill  
 Book Company, 1982., ISBN 0-07-001654-2
- [32] Wolf- Heinrich Hucho, *Aerodynamics of Road Vehicles: From Fluid Mechanics to Vehicle  
 Engineering. 1. Motor Vehicles – Aerodynamics*, English translation, University Press,  
 Cambridge, 1990, ISBN 0-408-01422-9.
- [33] Chris Baker, *The Flow Around High Speed Trains*, BBAA VI International Colloquium on:  
 Bluff Bodies Aerodynamics & Applications, Milano, Italy, July, 20-24 2008
- [34] Alexander Orellano, Martin Schober, *Aerodynamic Performance of a Typical High-Speed  
 Train*, Proceedings of the 4<sup>th</sup> WSEAS International Conference on Fluid Mechanics and  
 Aerodynamics, Elounda, Greece, August 21-23, 2006, pp.18-25
- [35] Erik Bjerklund, Mikael Ohman, *Stability of High Speed Train under Aerodynamic  
 Excitations*, Master's Thesis in Solid and Fluid Mechanics, Chalmers University of  
 Technology, Goteborg, Sweden 2009, Master's Thesis
- [36] Meng-ge Yu, Ji-ye Zhang, Wei-hua Zhang, *Multi-objective optimization design method of  
 the high-speed train head*, Appl Phys & Eng, 2013., 14, 9, pp.631-641, ISSN 1673-565X

- (Print); ISSN 1862-1775 (Online), (приступ 12.2014.) sa [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmtl/1/3/1\\_3\\_281/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jmtl/1/3/1_3_281/_pdf)
- [37] Paul Sawyer, <http://goo.gl/Mo4XxT> i <http://goo.gl/B14OKP>, писмено одобрење за уметничке фотографије
  - [38] Odd M. Faltinsen, *Hydrodynamics of High Speed Marine Vehicles*, Cambridge University Pres, 2005.
  - [39] Tadd T. Truscott, Brenden P. Epps, and Jesse Belden, *Water Entry of Projectiles*, Annu. Rev. Fluid Mech., 2014.
  - [40] Thomas Fletcher, John Altringham, Jeffrey Peakall, Paul Wignall, and Robert Dorrell, *Hydrodynamics of fossil fishes*, Proc. R. Soc. B 281: 20140703, 2015, pp 1-9
  - [41] Asress Mulugeta Biadgo, Aleksandar Simonovic, Jelena Svorcan, Slobodan Stupar, *Aerodynamic Characteristics of High Speed Train under Turbulent Cross Winds: a Numerical Investigation using Unsteady-RANS Method*, FME Transactions, Vol. 42, 2014, pp 10-18
  - [42] *Technical Regulatory Standards on Japanese Railways*, As of March.31.2012, Railway Bureau Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
  - [43] Bogdan CARP, *Design aspects regarding the relationships between the function, the form and the use of high speed trains*, V.8, I.1, June 2013, pp 1-8
  - [44] Chao Xia, Xizhuang Shan, Zhigang Yang, *Wall interference effect on the aerodynamics of a high - speed train*, Procedia Engineering, 126, 2015, pp527 – 531, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815036309>
  - [45] Tae-Kyung Kim, Kyu-HongKim, Hyeok-BinKwon, *Aerodynamic characteristics of a tube train*, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 99, 2011, pp. 1187–1196
  - [46] Adelya Khayrullina,, Bert Blocken, , Wendy Janssen, Jochem Straathof, *CFD simulation of train aerodynamics: train-induced wind conditions at an underground railroad passenger platform*, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 139, 2015, pp100–110
  - [47] J. Munoz-Paniagua, J. García, A. Crespo and F. Laspougeas, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 8, No. 3, 2015, pp. 601- 612,
  - [48] Samane Faramehr, *Aerodynamic of the Trains in Tunnels*, 2014, PhD Thesis, University of Birmingham, College of Engineering, School of Civil Engineering
  - [49] Yanfeng Zhu, Xiangyun Liu, Zhanlin Cui, *Numerical Simulation of Air Flow Properties around High Speed Train in Very Long Tunnel*, Journal of Computers, Academy Publisher, Vol.. 6, No. 3, 2011, pp 578-585
  - [50] Graham Doig, Shibo Wang, John Young, and Harald Kleine, "Aerodynamics of Transonic and Supersonic Projectiles in Ground Effect" Progress in Aerospace Sciences 69 , 52<sup>nd</sup> Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech, 2014, (AIAA 2014-0214)
  - [51] Golubović Snežana D., Rašuo Boško P., Lučanin Vojkan J., *Savremeni trendovi u dizajnu vozova velikih brzina*, Tehnika, vol. 70, br. 3, 2015, str. 455-462
  - [52] Sun-Joong Kim, *Bio-information Based Parametric Modeling Methodology Research to Support Biomimetic Design of High Speed Trains*, Master Thesis, 2012, Graduate School of Culture Technology, Faculty of Kaist, Korea
  - [53] Sun-Joong Kim, Ji-Hyun Lee, *How Biomimetic Approach Enlarges Morphological Solution Space in A Streamlined High-speed Train Design?*, SIGRADI 2012, Forma in Formacao, pp 538-542
  - [54] Sun-Joong Kim, Ji-Hyun Lee, *Parametric shape modification and application in a morphological biomimetic design*, Advanced Engineering Informatics, Vol. 29, Iss.1, 2015, pp 76–86

- [55] Sun-Joong Kim, Ji-Hyun Lee, *The Evolutionary Changes of the Streamlined High-speed Locomotives*, SIGRADI 2014, Blucher Design Proceedings, pp 57-61
- [56] Baker C., *A review of train aerodynamics Part 1 – Fundamentals*, The Aeronautical Journal, Vol. 118, No.1201, pp. 1-41, 2014,
- [57] Veerstedt, H.K. and Malalasekera, W., *An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method*, 1995, Longman.
- [58] Theory, Userguide and Tutorials of the ANSYS Fluent Documentation
- [59] Internet Open-source image library

#### 4. Циљ истраживања

Истраживања из ове дисертације имају за научни циљ да:

1. Пруже анализу животињских облика и нова сазнања из области примене биомимикрије, односно, био-инспирисаних дизајна на БВВБ. Анализа дизајна различитих животиња са аспекта прилагођености облика тела животној околини, даје основну скицу био-инспирисаних дизајна описаних параметрима,
2. Успоставе методу за креирање дизајна БВВБ биомимикријом и унапреде постојеће методе дизајнирања и оптимизације,
3. Успоставе методу експерименталног и нумеричког истраживања облика БВВБ
4. Дају упоредну анализу различитих био-инспирисаних дизајна,
5. Процене оправданост БВВБ дизајна

Основни критеријум процене оправданости се у оквиру ове дисертације односе пре свега на критеријуме процене аеродинамичких карактеристика за различите конфигурације БВВБ - тунел. Процена оправданости за употребу дизајна има за циљ сужавање избора дизајна са сврхом скраћивања времена дизајнирања БВВБ.

Посебна пажња у дисертацији је усмерена на нумеричко моделирање нестационарног струјног поља у циљу одређивања расподеле притисака по површинама и у простору око БВВБ, у условима кретања БВВБ кроз тунел и карактеризација критичних параметара дизајна и струјања.

У научни циљ истраживања такође спада и примена метода које подржавају решавање аеродинамичких и хидродинамичких проблема БВВБ и модела:

- нумеричко моделирање дизајна БВВБ по угледу на облике из природе
- нумеричко одређивање карактеристика струјања око и по површинама БВВБ, применом нумеричких метода, односно, прорачунска динамике флуида (CFD).

Очекује се да анализа резултата и закључци добијени разрађеном методом дају и практично применљиве информације како за дизајнирање конвенционалних, исто тако и неконвенционалних дизајна БВВБ.

#### 5. Значај истраживања

У складу са модерним тенденцијама у развоју науке, смањења потрошње енергије за погон, развој и производњу, као и заштите животне околине развијена је нова дисциплина у начину решавања поменутих проблема, бионика. Бионика, како је описује Бар-Цохен [8] је научна дисциплина која се појављује у свим научним областима, од физике, електронике, хемије све до психологије, а односи се на проучавање и адаптирање

посматраних система или природних процеса и појава за употребу или организацију у свакодневном животу. Кључни догађај у процесу развоја једног производа, од проучавања до практичне примене, је разумевање функционисања система, процеса или појава, на основу ког се може направити ваљана анализа, избор и пројекција детаља који могу допринети човековом бољитку или смањењу утрошене енергије.

Б. Рашуо [6] је приказао изведене примене био-инспирисаних дизајна, из који се види неопходност мултидисциплинарног прилаза сваком од проблема, са циљем његовог разумевања и касније практичне примене. Историјски посматрано могло би се рећи да су први описани био-инспирисани дизајни примењивани за летеће направе, потом у ваздухопловној индустрији, да би се у данашње време примењивали и у брзом железничком саобраћају. Заједнички именитељ свим овим дизајнима је свакако објекат који је опструјаван ваздухом, а феномени који стварају аеродинамичке проблеме код HST узроковани су повећањем брзине и то са квадратом или кубом њеног интензитета.

Посебно место међу возовима брзе железнице заузима воз Јапанске железнице Шинкансен серије 500 [9], у основи воз конвенционалног шинског транспорта (са електричним погоном), препознатљив по специфичном изгледу - концептуалном дизајну [9,10,11]. Конструктор Еиџи Накатсу [9] је применио принцип биомимикрије са водомаром у лову на дизајн носа воза давне 1989, да би 1997., Шинкансен серије 500 достигао рекордну брзину 320km/h и минимални ниво буке од 70dB, где Маеда [12] даје приказ развоја овог VHST у смислу решавања појединих проблема. Као најважнији резултат поређења са конвенционалним возовима, највише класе - оперативних брзина 320 km/h, француским TGV и немачким ICE 3 [13], Шинкансен серије 500 је показао највећи допринос смањењу аеродинамичке буке на излазу из тунела уз истовремено значајно повећању брзине (са 220km/h код “0-те серије” на 320km/h) уз одржавање нивоа буке од 70dB (захтеваног стандардима и легислативом у Јапану), смањила отпор ваздуха за 30%, утрошак снаге за 13% у односу на серију 300 и утрошак електричне енергије за 15% према подацима са сајтова који промовишу „зелене“ технологије – GreenBiz, AskNature i Japan for Sustainability[14-16].

При брзинама кретања возова већим од 200km/h аеродинамички отпор ваздуха постаје доминантан чинилац укупног отпора кретању система БВВБ (пored отпора услед трења, клизања, котрљања, вибрација и других губитака ) што је потврђено и бројним експерименталним истраживањима код нас и у свету, Пухарић и др. [17]. Аеродинамички отпор воза великих брзина, у различитим конфигурацијама БВВБ -околина, зависи од квадрата брзине кретања, површине попречног пресека и облика и димензија композиције. Такође, са порастом брзине кретања генерално повећава се и ниво аеродинамичке буке, тако важног фактора за очување животне околине, како при кретању на отвореној прузи, Томпсон [18] тако и још интензивније при кретању кроз тунел, Мартинез и др. [19]. Узрок аеродинамичке буке је постојање и интензиван развој турбуленције у струји ваздуха по оквашеним површинама ВВБ као и у околини воза (Гори и др. [20], Рико и др. [21]), што је аналогно принципима стварања буке услед механичке интеракције или кретања тела са трењем [22].

Значајан допринос дисертације се огледа се у истраживању различитих дизајна БВВБ, добијених биомимикријом животињских јединки које имају специфичан начин кретања или околину у којој живе, мотивисаног за сада јединим изведеним и у литератури наведеним примером из праксе – Шинкансен возом. У раду ће бити посвећена посебна пажња параметрима струјања – расподела притисака и аеродинамичким карактеристикама БВВБ, који директно утичу на механичке и акустичне појаве, како за конфигурацију воза на отвореној прузи тако и за интеракцију воз-тунел.

Значај истраживања је и у мултидисциплинарности, моделирању и анализи резултата из експерименталних и нумеричких истраживања.

Мултидисциплинарност је огледа у примени биолошких метода за карактеризацију облика појединих животињских метода, теоријских и експерименталних метода из области аеродинамике, хидродинамике, 3Д моделовања и програмирања.

У недостатку довољног броја биолошких података о појединим животињским врстама као и детаљних техничких података о изведеним концептуалним дизајнима произашла је прва идеја - формирање једне врсте систематизације дизајна брзих возова, засноване на биомимикрији са неким од животињских врста, односно, избора параметара дизајна за улазне податаке аеродинамичке оптимизације. Критеријуми за избор биолошких облика, који су послужили као био-инспирација, су подељени према групама карактеристичних понашања, односно, прилагођености животној околини и то: према ефикасности у лову – брзини, окретности и вештини при лову; специфичностима начина кретања кроз околину (ваздух/вода) са посебном пажњом на птице које понирући зарађају у воду за пленом, и оне врсте које се крећу у близини речних корита или морског дна.

Дизајнирање се врши употребом биолошких мерних метода за параметризацију, теорија аеродинамике и хидродинамике, као и нумеричке методе. За моделирање концептуалног био-инспирисаног дизајна се користе параметарски CAD/CAM пакети CATIA и PRO/Engineer, а за нумеричко моделирање струјног поља - прорачунска динамика флуида (CFD), односно, софтверски пакет ANSYS Fluent (Design / Mesh Application i Fluent). Истраживање изабраних природних понашања водомара и био-инспирисаних дизајна се обављају хидродинамичким експерименталним методама. На основу хидродинамичких резултата дизајнирају се различити БВВБ. За изабрани модел БВВБ и за изабране услове струјања, верификују се нумерички добијени резултати аеротунелским истраживањима, употребом визуелизација струјања и мерења сила. Надаље, се проширују нумеричка истраживања у различитим конфигурацијама БВВБ - околина, односно, са и без тунела, и одређују се карактеристике струјања. Применом принципа дизајнирања тела при кретању надзвучним брзинама извршиће се корекција облика БВВБ, на основу претпостављених услова за нестационарно струјање при великим брзинама кретања БВВБ кроз тунел.

Овако добијен БВВБ дизајн представља јединствено решење у области дизајнирања возова великих брзина и до сада у доступној литератури аутор није пронашао сличан предлог.

Предложена метода оставља простора за прилагођавања потребама у пракси као што су прилагођења различитим опсезима брзина; различитим категоријама железничког саобраћаја; различитим конфигурацијама терена, мостова, објеката у близини и железничких тунела; и др. Очекује се да време дизајнирања буде значајно скраћено, а тиме и трошкови израде прототипа. Такође, економски допринос се очекује и касније у експлоатацији кроз смањење утршка погонске снаге.

Истраживања аеродинамичке буке су ван оквира ове дисертације, међутим, због свог значаја биће представљена дискусија о турбуленцији у струји око различитих БВВБ, при различитим условима кретања.

С обзиром на велико и дугогодишње искуство у самој изради железничких средстава у Републици Србији и тежњу ка увођењу брзих пруга, препоруке ове врсте би биле од посебног значаја за оснаживање и модернизацију, као и конкурентност у области дизајна. Такође, на тај начин би се постигао и вид едукације нових генерација тимова који би, кроз мултидисциплинарни рад, могли произвести дизајне и производе од значаја, како у окружењу тако и на међународном нивоу. Оно што није била пракса до сада, у процес дизајнирања железничких средстава могла би бити укључена и нека од експерименталних,

аеротунелских и хидродинамичких истраживања. На међународном нивоу, посебне препоруке за дизајнирање железничких превозних средстава по принципима бионике, нису истакнуте. С обзиром да Међународна унија железнице истиче неопходност да се аеродинамици возова за велике брзине посвети посебна пажња, истраживања из ове дисертације могу имати практичну примену и на међународном нивоу.

## **6. Полазне хипотезе**

X1 – Природни облици тела животињских примерака примењени на БВВБ ће дати најоптималније аеродинамичке карактеристике тела БВВБ при кретању отвореном пругом или кроз железничке тунеле. Развојем истраживања у овој области сакупиће се довољно искустава и научних чињеница које ће довести до неопходности примене био-инспирисаних дизајна БВВБ у пракси.

X2 - Не постоји један и јединствен дизајн БВВБ који ће представљати идеално и оптимално решење које ће одговорити на економско-техничке захтеве у експлоатацији.

X3 - Не постоји јединствено и идеално тело животиње које је прилагодљиво свим условима преживљавања у природи, а по чијем моделу би се дизајнирао воз великих брзина, па тако један јединствен дизајн БВВБ није најоптималније решење за све услове кретања. Тело животиње је обликовано сходно компромису између бенефита дизајна и „губитака“ енергије утрошене на животне процесе.

Претпоставка је да се брзи воз креће подзвучном брзином, у условима стандардне атмосфере и на нивоу мора. Воз се креће у мирном ваздуху, у лонгитудиналном правцу. Доњи део тела воза је отворен и ваздух се слободно креће у простору.

Посматрано тело БВВБ се сматра идеално крутим, те се из анализе изузимају различите аеродинамичке појаве који су последица еластичности конструкције, вибрација услед турбулентних струјања или друго.

Оквашене површине БВВБ су аеродинамички глатке и кроз истраживања у овој дисертацији се неће анализирати утицај квалитета завршне обраде модела нити врста материјала од ког су израђене, односно, утицај храпавости и квашљивости површина БВВБ.

## **7. Методе истраживања**

Научне методе примењене у циљу добијања података и анализу резултата засноване су:

- на параметарском дизајнирању нумеричког модела,
- прорачунској динамици флуида, CFD,
- аналитичким методама и
- експерименталним испитивањима.

За моделирање облика и процеса се користе савремена софтверска решења као и одговарајуће теорије аеро- и хидродинамике.

Параметарско дизајнирање нумеричког модела се примењује за дизајнирање био-инспирисаних модела изабраних животињских јединки, дизајнирање и корекцију изабраних био-инспирисаних дизајна БВВБ. За моделирање концептуалног био-инспирисаног дизајна се користе параметарски CAD/CAM пакети CATIA и PRO/Engineer.

Нумерички модел БВВБ се истражује у две конфигурације: на отвореној прузи и при проласку кроз тунел.

Око нумеричког модела БВВБ се креира нумеричка мрежа. Како су од интереса критични услови струјања око БВВБ, с аспекта највећег поремећаја притиска, за потребе нумеричких симулација у истраживању, зависно од текуће фазе истраживања и потреба анализе, биће укључене методе рада са:

- а) стационарним моделима мрежа и мрежним телом од утицаја,
- б) са непокретним и покретним клизним мрежама у домену око нумеричког модела ВНСТ.

Струјно поље око нумеричког модела ВНСТ се представља математичким моделом, Навије-Стоксовим једначинама. Решавање система парцијалних диференцијалних једначина (једначине промене количине кретања, једначина континуитета, једначина енергије и једначина стања идеалног гаса) се врши итеративним путем нумеричким методама са коначним запреминама. За моделирање струјног поља и нумеричко решавање користи се CFD софтверски пакет ANSYS Fluent (Design / Mesh Application i Fluent).

Метода за аеродинамичку оптимизацију БВВБ се базира на методама које се примењује за оптимизацију облика ваздухоплова, а иста метода се може применити и на друга средства узимајући у обзир специфичности кретања самих средстава и околине.

Алгоритам метода истраживања се састоји од следећих кључних корака:

- Избор природних дизајна за моделирање БВВБ
- Шеми-параметарско моделирање БВВБ и нумеричке мреже (са фиксираним појединим габаритним диманзијама нумеричког модела)
- Хидродинамичко истраживање понашања струјања флуида (вода/ваздух) око модела био-инспирираног облика
- Дефинисању услова струјања у појединим фазама истраживања, за различите конфигурације БВВБ -околина, а са посебном пажњом за нестационарна струјања
- Нумеричке симулације струјања ваздуха око БВВБ
- Анализа резултата и корекције
- Аеротунелска истраживања једне изабране конфигурације БВВБ
- Поређење резултата и корекције
- Успостављање аналитичких израза

Истраживања представљена у дисертацији су посвећена процесу анализе резултата нумеричких испитивања био-инспирираног облика брзог воза, у стационарним и нестационарним условима, при кретању на отвореној прузи и при проласку кроз тунел.

За полазну основу, при избору модела и услова испитивања у овом истраживању, биће употребљени и упоређени прикази других аутора са критичким освртом на објављене и доступне резултате истраживања.

## **8. Очекивани научни доприноси**

Научни допринос ове дисертације се очекује у:

- виду стварања базе података параметара природних облика животиња који су употребљени у сврху биомимикрије, као и критеријума по којима је селекција извршена.
- по први пут уведеној методи хидродинамичких експеримената на истраживање струјања око природних облика, специфичног тест модела, укључујући и методу којом је тест-модел креиран. На основу хидродинамичких и истраживања узорака из природе креирана је метода нумеричке симулације струјања, употребом

- коначних запремина, и то методом слободне површине (Volume of Fluid) око природног облика, која по први пут детаљно описује струјно поље за различите услове струјања, а верификована је хидродинамичким експериментом.
- сасвим новој методи дизајнирања облика носа воза за велике брзине, употребом нумеричког модела са двофазним струјањем, при коме се један флуид убризгава у струју другог, излазећи из био-инспирисаног објекта, при чему граница између два флуида представља заправо природну контуру воза, при варираним условима струјања.
  - Надаље, научни допринос је дат и у специфичној примени нумеричких метода за детаљно описивање струјне слике око воза за велике брзине, у различитим конфигурацијама и различитим условима струјања, при проласку воза кроз тунел. Наиме, за ову сврху употребљена је нумеричка метода која укључује клизне мреже око нумеричког модела воза за брзе пруге са сврхом да се испрати понашање компресионих и експанзионих таласа створених изменом геометрије воза. У сврху верификације и истраживања предвиђена су и аеротунелска истраживања.
  - дефинисање стандардног нумеричког и субсоничног аеротунелског модела воза за велике брзине, за потребе истраживања и верификацију резултата, који до сада није установљен. Ово је значајно и због тога што је тиме омогућено формирање нових стандарда и поређење резултата на међународном нивоу, у складу са тренутним потребама у области развоја шинских возила и индустрије.
  - Нова метода дизајнирања воза за велике брзине дефинише редослед и начин примене експерименталних и нумеричких испитивања којима ће се доћи за најкраће време и уз најмања средства до концептуалног дизајна који треба да одговори на постављене захтеве. Примењене нумеричке методе за одређивање аеродинамичких и хидродинамичких карактеристика дизајна воза за велике брзине, код нестационарног струјања, су: динамичке и клизне мреже, модел слободних површина (Volume of Fluid) и модел дискретних фаза (Discrete Phase Model-DPM).
  - Методе експерименталне аеродинамике и хидродинамике у овој дисертацији добијају потпуно нов начин примене и представљају део методе, при чему уједно служе и за верификацију резултата нумеричких симулација.

## 9. План истраживања

Фазе истраживања су дате следећим редоследом:

- Истраживање, систематизација и избор доступних података о:
  - методама аеродинамичког дизајнирања и оптимизације,
  - методама параметризације дизајна са становишта значаја за аеродинамичку оптимизацију,
  - методама нумеричког решавања и препорука за њихову примену,
  - методама хидродинамичких и аеротунелских испитивања
- Дефинисање и примена нове методе дизајнирања БВВБ за различите конфигурације БВВБ -околина.
- Дефинисање услова за нумерички експеримент и нумеричко решавања постављених проблема
- Анализа и поређење изабраних резултата нумеричких истраживања помоћу појединачних експерименталних истраживања .
- Дефинисање критеријума оправданости дизајна
- Корекције и понављање процеса до добијања жељеног квалитета

- Успостављање аналитичких изрази зависности карактеристика струјања од параметара дизајна, добијених применом CFD метода.
- Закључак

План истраживања је сведен на обим који могу подржати текући ресурси за истраживање (расположиви ИТ ресурси, услови лиценци софтвера и аеротунелски ресурси), но свакако за практичну примену истраживања иста метода је применљива уз проширења ресурса и плана истраживања.

## **10. Општа структура рада предложене дисертације:**

- 1. Уводна разматрања*
- 2. Преглед литературе из области истраживања*
- 3. Нумеричке симулације струјања*
- 4. Експериментална истраживања*
- 6. Анализа резултата и дискусија*
- 7. Закључак*
- 8. Литература*

## 11. Закључак и предлог

Разматрањем података из пријаве кандидаткиње **Сузанае Љ. Линић**, дипл.инг. Комисија закључује да је предложена тема подобна за израду докторске дисертације и актуелна, а такође и да кандидаткиња испуњава све законом предвиђене услове и истраживачке способности за рад на докторској дисертацији.

Према свему претходно наведеном, Комисија предлаже Наставно – научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да кандидату

**Сузани Љ. Линић, дипл.маш.инж.**

Одобри израду докторске дисертације под називом

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

У научној области техничких наука, гране машинство - ужа научна област шинска возила, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

За менторе докторске дисертације се предлажу  
проф. др. Војкан Лучанин, редовни професор на Катедри за шинска возила Машинског факултета Универзитета у Београду и  
др Мирко Козић, научни саветник, Војнотехнички институт, Београд.

У Београду,  
30.05.2016.

### Чланови комисије

---

др. Војкан Лучанин, ред. проф., ментор  
Универзитет у Београду - Машински факултет

---

др. Мирко Козић, научни саветник, ментор  
Војнотехнички институт, Београд

---

др. Слободан Ступар, ред. проф.  
Универзитет у Београду - Машински факултет

---

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

---

др. Јован Танасковић, доцент  
Универзитет у Београду - Машински факултет

Додатак уз образац 1.

### ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: Др **Војкан Лучанин**

Звање: Редовни професор

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. V. Lučanin, M. Puharić, D. Milković, S. Golubović, S. Linić, Determining the influence of an air wave caused by a passing train on the passengers standing at the platform, Int. J. Heavy Vehicle Systems, 2012, Vol.19, No.3, pp.299-313, DOI: 10.1504/IJHVS.2012.047918
2. Tanaskovic J., Lučanin V., Milković D., Simić G., Miloš M., Experimental Research of Characteristics of Modified Tube Absorbers of Kinetic Collision Energy of Passenger Coaches, Journal of Experimental Techniques, Volume 38, Issue 3, page 37-44, 2014., Online od 16.12.2011., DOI: 10.1111/j.1747-1567.2011.00800.x
3. Puharić M., Linić S., Matić D., Lučanin V., Determination of Braking Force of Aerodynamic Brakes for High Speed Trains, Transactions of FAMENA, issue 3, volume 35, Zagreb, 2011
4. D. Milković, G. Simić, Ž. Jakovljević, J. Tanasković, V. Lučanin, *Wayside system for wheel-rail contact forces measurements*, Measurement, Volume 46, Issue 9, pp. 3308–3318, 2013.
5. Bogojević, N., Lučanin, V., The proposal of validation metrics for the assessment of the quality of simulations of the dynamic behaviour of railway vehicles, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit ISSN 0954-4097, February 2016; vol. 230, 2: pp. 585-597

*(навести најмање један рад у случају менторства дисертације која се пријављује до 31.12.2008. године, односно најмање три рада у случају менторства дисертације која се пријављује у периоду од 1.01.2009. до 31.12.2009. године, односно најмање пет радова у случају менторства дисертације која се пријављује почев од 1.01.2010. године)*

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

---

Додатак уз образац 1.

## ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

Име и презиме: др. Мирко Козић

Звање: Научни саветник

Списак радова објављених у научним часописима са Science Citation Index (SCI) листе који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Kozić M., Ristić S., Katavić B., Puharić M. : “Redesign of impact plates of ventilation mill based on 3D numerical simulation of multiphase flow around grinding wheel“, *Fuel Processing Technology*, (ISSN 0378-3820), 2013, 106():555-568, (IF=3.019 za 2013, 18/133, petogodišnji IF=3.707, 12/133, Engineering, Chemical).  
**M21**
2. Kozić M., Ristić S. : “Capability of two-dimensional Reynolds-averaged Navier-Stokes simulations for two-dimensional thrust vectoring nozzle“, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 2010, Vol. 224, No.8, pp. 905-910, (IF=0.773 za 2009, 7/27 Engineering, Aerospace, petogodišnji IF=0.504, 14/28).  
**M21**
3. Kozić M., Ristić S., Štetić-Kozić S., Polić-Radovanović S. : "A numerical study for the assesment of pollutant dispersion from Kostolac B power plant to Viminacium at different atmospheric conditions", *ThSci2013.016: Thermal Science*, 2013, DOI:10.2298/TSCI30115158K, (ISSN 0354-9836), (IF=0.962 za 2013, 27/55 Thermodynamics, petogodišnji IF=0.931, 30/55).  
**M22**
4. Maksimović S., Kozić M., Štetić-Kozić S., Maksimović K., Vasović I., Maksimović M. : “Determination of load distributions on main helicopter rotor blades and strength analysis of its structural components“, *Journal of Aerospace Engineering*, Vol. 27, Number 6, November/December 2014, (IF=0.926 za 2013, 6/27, petogodišnji IF=1.013, 7/27, Engineering. Aerospace).  
**M21**
5. Kozić M., Ristić S., Puharić M., Katavić B. : "Numerical simulation of multiphase flow in ventilation mill and channel with louvers and centrifugal separator", *Thermal Science*, 2011, Vol 15, No 3, pp. 677-689, (IF=0.779 za 2011, 34/52, Thermodynamics, petogodišnji IF=0.872, 34/55 za 2012).  
**M23**
6. Ristic S, Kozic M., Puharic M: “Experimental and numerical investigation of flow separation in a supersonic nozzle“, *Journal of Russian Laser Research*, (ISSN 1071-2836), Vol 29, No 4, pp. 377-391, (IF = 0.628, 45/64, Optics, 2008, petogodišnji IF=0.479, 50/64).  
**M23**

7. Kozić M., Sredojević D: "Development of unstructured grids for solving unsteady two-dimensional Euler equations", *The Aeronautical Journal*, (ISSN 0001-9240), 1998, Vol 102, No 1014, pp. 195-200, (IF = 0.148, 18/28, Engineering, Aerospace 1998).  
**M23**
8. Kozić M., Ristić S., Puharić M., Katavić B. : "Possibilities of redesigning louvre separator in air mixing duct of thermal plant using numerical simulation", *Progress in Computational Fluid Dynamics*, 2014, Vol 14, No 3, pp. 151-165, (IF=0.427 za 2013. 124/138, Mechanics, petogodišnji IF=0.476, 120/138).  
**M23**
9. Kozić M., Ristić S., Puharić M., Linić S. : "CFD analysis of centrifugal separator geometry modification on pulverized coal distribution at the burners", *Transactions of FAMENA*, 2014, Vol 38, No 1, pp. 25-36, (IF=0.233 za 2013., 120/126, Engineering, Mechanical, petogodišnji IF=0.215, 121/126).]  
**M23**
10. Puharić M., Kozić M., Kutin M., Ristić S. : " Hidroturbina u Venturijevoj cevi", *Strojarstvo*, 2009, Vol 51, No 5, pp. 441-448, (IF=0.048 114/116 za 2009., petogodišnji IF=0.160, 97/116, Engineering, Mechanical).]  
**M23**

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

---