

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ  
НАУКА  
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА  
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 02. 07. 2020 (број одлуке: 01-1 / 1913-10) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 15. 07. 2020. (број одлуке: IV-04-472/17) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

**РАЗВОЈ И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОРОЗНИХ СТРУКТУРА ОД АЛУМИНИЈУМА**

у научној области **машинско инжењерство** кандидата **Варуна Шарме, маг. инж. маш.**  
На основу података којима располажемо достављамо следећи

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА  
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ИЗВЕШТАЈ

Бр. 01-1 2426

6 08 - 20 2 год.  
КРАГУЈЕВАЦ

**1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада**

У предложеном нацрту докторске дисертације кандидат је образложио предмет истраживања наводећи актуелности и значај предложене теме у области развоја и карактеризације порозних структура од алуминијума.

Истраживање на пољу порозних структура је веома актуелна област истраживања, посебно с аспекта практичне примене таквих структура. Контролисана порозност материјала омогућава значајне предности у практичним применама, али је производња таквих структура још увек суочена са више изазова у односу на постизање дефинисане порозности и структуре пора, као и жељених механичких карактеристика. Алуминијске пене су постале предмет истраживања током последњих година због својих јединствених физичких и механичких својстава у поређењу са пуним металним материјалима. Међутим, постизање оптималног дизајна структуре према дефинисаним захтевима представља комплексан задатак.

Кандидат је предложио програм истраживања у наведеним областима који су у складу са савременим научним методама истраживања. Истраживачки метод је заснован на прикупљању квантитативних и квалитативних података, кроз теоријске, експерименталне и нумеричке методе, кроз систематска посматрања, мерења и експерименте, као и формулације, тестирања и постављања хипотеза које се проверавају кроз све прикупљене податке. Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, приказани нацрт докторске дисертације садржи све елементе који су потребни, да би се у изради докторске дисертације дао научни допринос, значајан

за даљи развој научних истраживања у области развоја и карактеризације порозних структура од алуминијума.

#### Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама може се закључити да је кандидат Варун Шарма реализовао значајна истраживања везана за развој и карактеризацију порозних структура од алуминијума. Рад у оквиру ове дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду, што поред стручног усавршавања кандидата има за циљ и унапређење развоја и карактеризације порозних структура од алуминијума.

Предстојећа истраживања кандидата настављају истраживања у којима је кандидат учествовао до сада, према листи наведених радова, као и радове других аутора, а ослањала би се на публиковане радове следећих аутора:

(Sharma, V.; Zivic, F.; Grujovic, N.; Babcsan, N.; Babcsan, J. 2019)<sup>1</sup> су се бавили експерименталним и нумеричким истраживањем алуминијумских пена са затвореним порама. Анализирано је притисно оптерећење и понашање пене. Компјутерска томографија (ЦТ снимци) тродимензионалне унутрашње структуре експерименталних узорака примењена је за анализу елемената за симулацију и креирање запреминског модела.

(Sharma, V.; Grujovic, N.; Zivic, F.; Slavkovic, V. 2019)<sup>2</sup> су проучавали примену Voronoi tessellation (VT) методе у моделирању алуминијумске пене са отвореним порама. Коначни елементи засновани на VT методи омогућавају креирање неправилних порозних структура са отвореним порама, чиме је омогућено реалистично моделирање и симулација понашања порозне структуре с аспекта примењеног оптерећења. Анализирано је оптерећење на притисак.

(Shunmugasamy, V.C.; Mansoor, B., 2018)<sup>3</sup> су се у свом раду бавили утицајем порозности на механичко понашање при притиску код пене од алуминијума класе 6101. Анализирано је механичко понашање материјала у квазистатичким условима и при високим деформацијама, код широког распона деформација. Резултати указују да се класичним ваљањем може на једноставан начин утицати на структуру ливене порозне алуминијумске пене, а тиме и на њено механичко понашање.

---

<sup>1</sup> Sharma, V.; Zivic, F.; Grujovic, N.; Babcsan, N.; Babcsan, J. Numerical Modeling and Experimental Behavior of Closed-Cell Aluminum Foam Fabricated by the Gas Blowing Method under Compressive Loading. *Materials* 2019, 12, 1582.

<sup>2</sup> Sharma, V.; Grujovic, N.; Zivic, F.; Slavkovic, V. Influence of Porosity on the Mechanical Behavior during uniaxial Compressive Testing on Voronoi-Based Open-Cell Aluminium Foam. *Materials* 2019, 12, 1041.

<sup>3</sup> Shunmugasamy, V.C.; Mansoor, B. Compressive behavior of rolled open-cell aluminium foam. *Materials Science and Engineering: A*, 2018, 715, 281–294.

(Sun, Y.; Zhang, X.; Shao, Z.; Li, Q.M., 2017)<sup>4</sup> су у овом раду представили корелацију између структуре на мезо нивоу и деформација, код порозних материјала са затвореним порима. Тродимензионална структура је креирана применом компјутерске томографије код алуминијумске пене, а моделирање вршено методом коначних елемената. Истраживање указује да је од суштинске важности одређивање локалних структурних особина у појединим зонама порозног материјала, с аспекта стабилности алуминијумске пене при напрезању, јер одређују места иницијације пукотина.

(Zhang, H.; Peng, Y.; Tian, G.; Wang, D.; Xie, P. 2017)<sup>5</sup> се у свом раду бави методама избора материјала уз поштовање аспекта одрживости, јер је такав приступ суштински важан за савремену индустрију. Примењен је вишекритеријумски модел избора у одлучивању (MCDM), који је примењен као основа за развој хибридног модела одлучивања и процене. Комбинацијом модела MCDM, DEMATEL, ANP, GRA и TOPSIS вршен је избор оптималног одрживог материјала, с аспекта захтева производа.

## **2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке**

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет ове докторске дисертације је истраживање могућности производње порозних структура према претходно дефинисаној порозности, уз примену нумеричког моделирања за дизајн геометрије, и одређивање утицаја нивоа и облика порозности на механичке карактеристике елемента, са фокусом на металну пену од алуминијума и легура алуминијума, односно систематско истраживање могућности дефинисаног дизајна алуминијумске пене за структурне примене, за практичну примену код елемената вагона.

Истраживачки рад има за циљ да се дефинише производна технологија алуминијумске пене за структурне примене, развије нумерички модел за симулацију отворене и затворене целуларне структуре од алуминијума, да се експериментално проуче произведени узорци за валидацију нумеричког модела и одабере најбољи материјал за специфичну реалну примену код лаких вагона. Најважније предности примене алуминијума су његова мала тежина и расположивост материјала, као и цена и могућности рециклаже. Алуминијум се не налази на листи дефицитарних материјала коју је дефинисала Европска Комисија. Докторски рад је део пројекта "SELECTA" у оквиру Marie Skłodowska-Curie Innovative Training Network, EU Horizon 2020, и сходно фокусу пројекта базира се на одрживом и еколошком приступу. Током извођења истраживачког рада узимају се у обзир различити економски, социјални и еколошки аспекти.

<sup>4</sup> Sun, Y.; Zhang, X.; Shao, Z.; Li, Q.M. Image-based correlation between the mesoscale structure and deformation of closed-cell foam. *Materials Science and Engineering* 2017, 688, 27–39.

<sup>5</sup> Zhang, H.; Peng, Y.; Tian, G.; Wang, D.; Xie, P. Green material selection for sustainability: A hybrid MCDM approach. *PLoS ONE* 2017, 12, e0177578.

Генерални циљ истраживања је унапређење метода развоја и карактеризације порозних структура од алуминијума, применом нумеричких модела који треба да подрже и скрате време дизајнирања дефинисаних материјалних структура са жељеним механичким карактеристикама, с аспекта финалне практичне примене (замена пуних материјала порозним структурама са фокусом на добијање елемената вагона са мањом тежином). Истраживачки рад има за циљ да симултаним експерименталним и нумеричким методама унапреди постојеће методе дизајна порозних материјала, као и да анализира методе структурне карактеризације порозних структура код којих још увек нису дефинисане стандардне методе експерименталне карактеризације материјалне структуре. Циљ истраживања је и да применом постојећих метода за избор материјала скрати време експерименталних истраживања за усвајање оптималних материјала у практичној примени код лаких вагона.

Основне хипотезе докторске дисертације које су постављене:

- Различите производне технологије могу да се примене за производњу пена на бази алуминијума и омогуће варијације процесних параметара за добијање оптималне порозности и жељене геометрије распореда пора. Различити процесни параметри омогућавају производњу затворене или отворене порозности са различитим обликом геометрије пора и варијацијом процесних параметара биће омогућено добијање оптималне порозности и жељене геометрије распореда пора.
- Различите геометрије елемената у оквиру нумеричког моделирања порозних структура дају одређене сагласности са реалним геометријама структуре, у оквиру примене појединих метода структурног моделирања порозне структуре и тиме омогућавају ефикасно дизајнирање материјалне структуре, као иницијалне фазе у њиховој производњи. Метода Voronoi Tessellation може омогућити ефикасно моделирање неправилних порозних структура на бази алуминијума са отвореним порима, приближно геометрији реалних материјала.
- Постоји директан утицај облика, величине и дистрибуције пора на механичке карактеристике материјала, односно контролом порозности може се директно управљати механичким особинама финалног елемента, чиме се омогућава ефикасни дизајн материјала применом метода нумеричког моделирања геометрије структуре и њеног механичког понашања.
- Постојеће методе избора материјала омогућавају поређење различитих материјала према њиховој финалној примени у реалној пракси, као и према жељеним својствима, омогућавајући тако одређивање оптималног материјала за специфичне примене.
- Постојеће експерименталне методе омогућавају прецизно одређивање структуре материјала по запремини, као и механичких особина материјала, чиме је омогућена валидација развијеног нумеричког модела. Развој компјутерске томографије (ЦТ скенирање) омогућио је прецизну структурну карактеризацију материјала по запремини, без разарања узорака.

## Методе истраживања

Истраживања планирана у оквиру докторске дисертације биће теоријског, експерименталног и нумеричког карактера. Методе које ће се у раду користити су:

- Експерименталне методе
- Нумеричко моделирање
- Статистичке корелације

Ниво порозности, облик, величина и дистрибуција празнина (пора, ћелија) унутар порозне структуре имају најзначајнији утицај на механичко понашање добијеног материјала. Експериментална студија производног процеса за отворене и затворене порозне структуре на бази алуминијума ће се користити за производњу различитих узорака. Експериментални узорци ће бити додатно подвргнути различитим анализама које се односе на структурна, физичка и механичка својства, као и за поређење са нумеричким моделима за њихову валидацију. Израда узорака већ је реализована у компанији ALUINVENT у Мађарској.

Нумеричке методе и анализа су веома ефикасни алати у дизајнирању материјала, његове карактеризације и предвиђању особина при функционисању у планираном систему. Њихова примена за порозне структуре започела је у последњој деценији, али се још увек развијају нумерички модели. Експерименталне технике ће се користити за одређивање структурних својстава материјала, као што је компјутерска томографија (ЦТ). ЦТ слике добијене скенирањем реалног експерименталног узорка користиће се за моделирање коначним елементима (ФЕМ) порозне структуре на бази алуминијума, са затвореним порима. Нумеричко моделирање користиће се и за моделирање неправилних порозних структура са отвореним порима, слично као права геометрија структуре материјала направљеног од легура на бази алуминијума. Метода Voronoi Tessellation (VT) омогућава различите варијације распореда шупљина, дебљине ћелијског зида, нивоа порозности и густине.

Експериментално испитивање механичких својстава материјала ће пружити експерименталне податке. Нумерички резултати ће се упоредити са експериментално добијеним резултатима за напоне и деформације и анализирати. Триболошко понашање развијених материјала пружиће увид у механизме хабања и утицаје хабања који ће одредити његово понашање у симулираним условима сличним стварним применама. Експериментална студија ће такође омогућити дефинисање оптималних експерименталних метода за карактеризацију порозне структуре алуминијумске пене. Методе карактеризације макро и микро порозних структура су још увек у фази развоја, а посебно на нано и микро нивоима, услед утицаја порозности на локалне појаве у ограниченим запреминским зонама који значајно утичу на резултате мерења и њихову поузданост и поновљивост.

На основу нумеричких и експерименталних резултата примениће се методе избора материјала за специфичне примене, за различите материјале базиране на алуминијуму. Користиће се вишекритеријумски алати за доношење одлука (MCDM) како би се омогућио избор оптималног материјала и његове структуре за специфичну примену. Користиће се статистичке корелације применом VIKOR, PROMETHEE, TOPSIS и пондерских метода процене производа како би се указало на могућност примене порозних материјала на бази алуминијума као материјала за смањење тежине вагона, односно израде појединих елемената вагона од лакших материјала.

#### Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Дизајн порозне структуре
3. Експериментално испитивање
4. Избор материјала за лаке вагоне
5. Анализа резултата
6. Закључна разматрања
7. Литература

### **3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема**

На основу пријаве теме докторске дисертације Комисија закључује да постоји потреба за развојем и карактеризацијом порозних структура од алуминијума, чиме ће се унапредити могућности дефинисаног дизајна алуминијумске пене за структурне примене. Значајан научни допринос се огледа у практичној примени истраживачких резултата, јер је докторска дисертација усмерена на реалну примену развијених материјала код елемената вагона.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације, са образложеним предметом и циљевима рада, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим досадашњим самосталним истраживањима и детаљном анализом доступних научних радова у научном и стручном смислу, оригинална идеја.

#### **4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације**

Кандидат Варун Шарма ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке и научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

У достављеној пријави теме, кандидат се служио одговарајућом терминологијом из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Кандидат је показао способност да реализује производњу узорака алуминијумских пена, као и да може да планира и реализује нумеричке симулације и експерименте уз коришћење савремене мерне опреме и селекцију и анализу литературних извора.

Циљеви истраживања су проистекли из уочене неистражености тачне корелације између структурних и физичких карактеристика порозних структура алуминијума и финалних механичких карактеристика, као и недовољне истражености утицаја процесних параметара у производњи порозних структура на финалне функционалне карактеристике елемента. Циљеви су дефинисани и према реалној индустријској потреби за лаким структурним материјалима.

С обзиром да ће кандидат користити савремену опрему за експериментална истраживања и креирати нове нумеричке моделе симулације порозних структура, добијени резултати ће представљати оригиналан допринос истраживачкој области.

#### **5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата**

##### **Кратка биографија кандидата**

Варун Шарма је средњошколско образовање стекао у Индији 2006. године. Завршио је основне студије на Машинском факултету Punjab Technical University, Jalandhar (Индија) од 2006-2010. Током основних студија, 6 месеци био је на обавезној пракси у индустрији у компанији TATA Steel (бивши Bhushan Power and Steel Limited, Индија), у оквиру одељења за топло и хладно ваљање. Након завршених основних студија, радио је као инжењер машинства у Индијској служби војне технике у оквиру Nitasha Constructions у постројењу за пречишћавање воде.

2011. године уписао је Мастер студије на Ернст Абе Универзитету примењених наука (Ernst Abbe University of applied science, Scientific Instrumentation), Јена, Немачка. Током мастер студија провео је шестомесечно истраживачко стажирање у TATA Steel

(Холандија) од јула 2013. до децембра 2013. Тема практичног мастер рада била је „Распрострањеност величине поре и ефекта инфилтрације врућег метала на ватросталну циглу у високој пећи” и реализована је у оквиру заједничког пројекта између RHI AG и Универзитета Леобен (University of Leoben), Аустрија, од јануара 2014. до јуна 2014. године. Примао је OEAD стипендију током израде мастер рада. Задатак рада је био експериментално тестирање и FEM/FEA анализа како би се утврдио утицај облика узорка на понашање узорка под притиском приликом испитивања на хладно. Мастер студије завршио је у јулу 2014. године, са просечном оценом 2.2.

Од октобра 2015. до октобра 2018. године, радио је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, као истраживач у оквиру SELECTA пројекта, грант бр. 642642 - SELECTA - H2020-MSCA-ITN-2014, који је финансиран од стране Европске комисије из програма Horizon 2020, фондације Marie Sklodowska-Curie. Докторске академске студије (ДАС) је уписао школске 2015/16. године на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Успешно је положио све испите предвиђене наставним планом и програмом. Део експерименталних испитивања и производње узорака, реализована су код партнера из индустрије - компанија ALUINVENT, Мађарска. У склопу реализованих активности прикупљена је литература и реализован је део истраживања из области теме докторске дисертације, на основу којих су публиковани радови.

### **Научно-истраживачки рад**

Као аутор или коаутор до сада је објавио 10 научних и стручних радова у домаћим и међународним часописима, као и на међународним скуповима.

### **M21 (Рад у међународном часопису)**

1. Sharma, V.; Zivic, F.; Grujovic, N.; Babcsan, N.; Babcsan, J. Numerical Modeling and Experimental Behavior of Closed-Cell Aluminum Foam Fabricated by the Gas Blowing Method under Compressive Loading. *Materials* **2019**, 12, 1582, ISSN: 1996-1944
2. Sharma, V.; Grujovic, N.; Zivic, F.; Slavkovic, V. Influence of Porosity on the Mechanical Behavior during uniaxial Compressive Testing on Voronoi-Based Open-Cell Aluminium Foam. *Materials* **2019**, 12, 1041, ISSN: 1996-1944

### **M33 (Саопштење са међународног скупа штампано у целини)**

1. Sharma, V.; Zivic, F.; Grujovic, N.; Jovanovic, Z. Computer Aided Geometric Design in modelling of 3D Composites. *SERBIATRIB*, Kragujevac, Serbia **2019.**, Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May 2019., pp. 133-139, ISSN: 2620-2832



2. Slavkovic, V.; Palic, N.; Sharma, V.; Grujovic, N.; Zivic, F.; Mori – Tanaka Method in characterization of composite structures. *SERBIATRIB*, Kragujevac, Serbia **2019.**, Kragujevac, Serbia, 15 – 17 May 2019., pp. 84-89, ISSN: 2620-2832
3. Sharma, V.; Palic, N.; Zivic, F.; Grujovic, N. Production of Metallic foam and its mechanical Properties. *SPMS - ICPE-S, 37th International Conference on Production Engineering*, Serbia **2018.**, 26. october 2018, Kragujevac, Srbija, pp. 302-306, ISBN 978-86-6335-057-1
4. Palic, N.; Sharma, V.; Zivic, F. Tribology study of aluminium based foam. *13th international scientific conference MMA – Flexible technology 2018*, 13th International Scientific Conference, Novi Sad, Serbia, September 28 - 29, 2018., pp. 149-152, ISBN 978-86-6022-094-5
5. Lekovic, K.; Sharma, V.; Grujovic, N.; Adamovic, D.; Mitrovic, S.; Zivic, F. High Friction Coefficient Material. *SERBIATRIB, 15th International Conference on Tribology*, Kragujevac, Serbia, 17 – 19 May 2017, pp. 128-135, **2017.**, ISBN 978-86-6335-041-0
6. Palic, N.; Sharma, V.; Grujovic, N.; Mitrovic, S.; Zivic, F. Friction factor of the fluid flow through porous media. *SERBIATRIB, 15th International Conference on Tribology*, Kragujevac, Serbia, 17 – 19 May 2017, pp.42-50, **2017**, ISBN 978-86-6335-041-0
7. Zivic, F.; Grujovic, N.; Sharma, V.; Bukvic, L. Tribo corrosion - Corrosion in the presence of mechanical loading. *XVI YUCORR International Conference 2016.*, 12 - 15 april, Tara, 2016, ISBN 978-86-82343-24-0

#### **M34 (Саопштење са међународног скупа штампано у изводу)**

1. 1. Sharma, V.; Grujovic, N.; Zivic, F.; Adamovic D., Vasiljevic B., Numerical modeling of porous PMMA bone cement under compressive loading, International Conference on Biomaterials, BioEngineering & BioTheranostics, BioMET 2018, 24th - 28th July 2018, Vellore, India, p. 173, 2018, online eProceedings, <http://www.vit.ac.in/files/Biomet2018/index.html>

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

**Варун Шарма, маг. инж. маш.**, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост. Предложена методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације требало би да представљају оригинални научни допринос методама развоја и карактеризације порозних структура од алуминијума.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведену предложену тему за докторску дисертацију:

### РАЗВОЈ И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОРОЗНИХ СТРУКТУРА ОД АЛУМИНИЈУМА

прихвати и одобри њену израду кандидату **Варуну Шарми маг. инж. маш.**


Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Фатима Живић, доцент Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

У Крагујевцу,

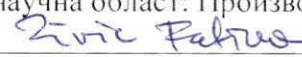
Датум: 30. 07. 2020. год.

КОМИСИЈА

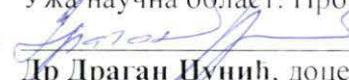
1.

  
Др Петар Голоровић, редовни професор - председник Комисије  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Производно машинство


2.

  
Др Фатима Живић, доцент - члан  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Производно машинство


3.

  
Др Драган Цунић, доцент - члан  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Производно машинство

4.

  
Др Владимир Дунић, доцент - члан  
Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу  
Ужа научна област: Примењена механика

5.

  
Др Душан Петковић, доцент - члан  
Машински факултет, Универзитет у Нишу  
Ужа научна област: Производни системи и технологије