

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

208/6

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука

(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)

04.04.2024.

(Датум)

ЗАХТЕВ**за давање сагласности на одлуку о прихватању теме докторске дисертације и
о одређивању ментора**

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду ("Гласник Универзитета", број 186/15-пречишћени текст и 189/16), дате сагласност на одлуку о прихватању теме докторске дисертације:

**„АНАЛИЗА УТИЦАЈА ПАРАМЕТАРА ПРОЦЕСА ИЗРАДЕ НА ПАРАМЕТРЕ ПРОЈЕКТОВАЊА
ДЕЛОВА КОЈИ СЕ ПРОИЗВОДЕ АДИТИВНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА“**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ

Производно машинство

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
ИВАНА (МИОДРАГ) ЈЕВТИЋ
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Машински факултет Београд
3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2020.
4. Година уписа на докторске студије: 2020.
5. Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора:

Горан Младеновић

Звање:

ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Jevtić I., Mladenović G., Milovanović A., Trajković I., Đurković M., Korolija N., Milošević M.: THE INFLUENCE OF PRINTING ORIENTATION ON THE FLEXURAL STRENGTH OF PA12 SPECIMENS PRODUCED BY SLS, *Science of Sintering*, 56(1), 2024. DOI: 10.2298/SOS230508031J.
2. Isaak Trajković, Aleksandra Dragičević, Ivana Medojević, Goran Mladenović, Miloš Milošević, THE INFLUENCE OF MATERIAL INFILL ON ABS-X FLEXURAL STRENGTH, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 37, No. 11, pp. 5577–5581, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-023-2310-8>, 2023.
3. Jevtić Ivana, Golubović Zorana, Mladenović Goran, Berto Filippo, Sedmak Aleksandar, Milovanović Aleksa, Milošević Miloš, PRINTING ORIENTATION INFLUENCE ON TENSILE STRENGTH OF PA12 SPECIMENS OBTAINED BY SLS, *Journal of Mechanical and Technology*, Vol. 37, No. 11, pp. 5549–5554, doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-023-2306-4>, 2023.
4. Libor Nozka, Giulio Avoni, Elzbieta Banas, Andrew Brandt, Karel Cerny, Paul M. Davis, Serge Duarte Pinto, Vjaceslav Georgiev, Miroslav Hrabovsky, Tomas Komarek, Krzysztof Korcyl, Ivan Lopez-Paz, Marko Milovanovic, Goran Mladenovic, Dmitry A. Orlov, Michael Rijssenbeek, Petr Schovaneck, Tomas Sykora, Maciej Trzebinski, Vladimir Urbasek, and Jan Zich, UPGRADED CHERENKOV TIME-OF-FLIGHT DETECTOR FOR THE AFP PROJECT, *Optics Express*, Vol. 31, Issue 3, pp. 3998–4014, doi: 10.1364/OE.480624, 2023.
5. Popovic Mihajlo D, Pjevic Milos, Milovanovic Aleksa, Mladenovic Goran, Milosevic Milos, PRINTING PARAMETER OPTIMIZATION OF PLA MATERIAL CONCERNING GEOMETRICAL ACCURACY AND TENSILE PROPERTIES RELATIVE TO FDM PROCESS PRODUCTIVITY, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 37, No. 2, pp. 697–706, doi: 10.1007/s12206-023-0113-6, 2023.
6. Miloš Milošević, Isaak Trajkovic, Zorana Golubovic, Toni Ivanov, Goran Mladenovic, Aleksa Milovanovic, Nenad Mitrovic, DEVELOPMENT OF METHODOLOGIES FOR EXPERIMENTAL ANALYSIS OF NECK DEFORMATIONS CAUSED BY IMPACT FORCES IN MARTIAL ARTS, *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 14, Issue 8, pp. 1–14, doi: 10.1177/16878132221121515, 2022.
7. Srdan D. Poštić, Miloš Milošević, Taško Maneski, Goran M. Mladenović, Snežana Brković, Branka Trifković, OPTICAL STEREOMETRIC ANALYSIS OF AN EXPERIMENTAL PARTIALLY-EDENTULOUS MANDIBLE, *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 14, Issue 6, pp. 1–9, doi: 10.1177/16878132221106648, 2022.
8. Isaak Trajković, Miloš Milošević, Milan Travica, Marko Rakin, Goran Mladenović, Ljudmila Kudrjavceva, Bojan Medjo, NOVEL METHOD FOR MEASUREMENT OF PIPELINE MATERIALS FRACTURE RESISTANCE-EXAMINATION ON SELECTIVE LASER SINTERED CYLINDRICAL SPECIMENS, *Science of Sintering*, Vol. 54, Issue 3, pp. 373–386, doi: 10.2298/SOS2203373T, 2022.
9. Mihailovic Vladislava, Miric - Milosavljevic Mira, Djurkovic Marija, Mladenovic Goran, Milosevic Milos, Trajkovic Isaak, LOADING RATE EFFECTS ON MOE AND MOR DISTRIBUTIONS IN TESTING OF SMALL CLEAR BEECH WOOD SPECIMENS, *Bioresources*, vol. 17 issue 1, pp. 1818–1835, doi: 10.15376/biores.17.1.1818-1835, 2022
10. Milosevic, N., Sedmak, A., Bakić, G. Lazić, V., Milosevic, M., Mladenovic, G., Maslarevic, A., DETERMINATION OF THE ACTUAL STRESS–STRAIN DIAGRAM FOR UNDERMATCHING WELDED JOINT USING DIC AND FEM, *Materials*, ISSN 1996-1944, Vol.14, No.16, 4691, doi: 10.3390/ma14164691, 2021.
11. D. Arsić, V. Lazic, A. Sedmak, S. Aleksandrovic, J. Zivkovic, M. Djordjevic, G. Mladenovic, EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON MECHANICAL PROPERTIES OF ULTRA HIGH STRENGTH HOT WORK TOOL STEEL H11, *Transactions of FAMENA*, ISSN 1333-1124, Vol. 44, No. 2, pp.71-82, doi: 10.21278/TOF.44207, 2020.
12. Tihomir Kovačević, Jelena Rusmirovic, Nataša Tomic, Goran Mladenovic, Milos Milosevic, Nenad Mitrovic, Aleksandar Marinkovic, EFFECTS OF OXIDIZED/TREATED NON-METALLIC FILLERS OBTAINED FROM WASTE PRINTED CIRCUIT BOARDS ON MECHANICAL PROPERTIES AND SHRINKAGE OF UNSATURATED POLYESTER-BASED COMPOSITES, *Polymer Composites*, ISSN 0272-8397, Vol.40, No.3, pp. 1070-1186, doi: 10.1002/pc.24827, 2019.
13. Marija Đurković, Goran Mladenović, Ljubodrag Tanović, Gradimir Danon, IMPACT OF FEED RATE, MILLING DEPTH AND TOOL RAKE ANGLE IN PERIPHERAL MILLING OF OAK WOOD ON THE CUTTING FORCE, *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, ISSN 0717-3644, Vol.20, No.1, pp. 25-34, doi: 10.4067/S0718-221X2018005001301, 2018.
14. Milos Pjevic, Ljubodrag Tanovic, Goran Mladenovic, Biljana Markovic, EXPERIMENTAL EXAMINATION OF THE IMPACT OF TOOL RADIUS ON SPECIFIC ENERGY IN MICROCUTTING OF GRANITE, *Journal of Engineering Materials and Technology*, ISSN 0094-4289, Vol.139, No.4, pp. 041004-1-041004-7, doi: 10.1115/1.4036585, 2017.
15. Mladenovic G., Bojanic P., Tanovic Lj., Klimenko S., EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MICROCUTTING MECHANISMS IN OXIDE CERAMIC CM332 GRINDING, *Journal of Manufacturing Science and Engineering–Transactions Of The Asme*, ISSN 1087-1357, Vol.137, No.3, pp. 034502-034502-5, doi: 10.1115/1.4029564, 2015.

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 04.04.2024. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације јер садржи оригиналну идеју и да је од значаја за развој науке, примену њених резултата, односно развој научне мисли уопште.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Прилог:

1. Одлука Наставно-научног већа о прихватању теме и одређивању ментора
2. Извештај Комисије о оцени научне заснованости теме докторске дисертације

Напомена: Факултет доставља Универзитету захтев са прилозима у електронској форми и једном писаном примерку за архиву Универзитета

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ -
Број: 208/5
Датум: 04.04.2024. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017, 73/2018, 27/2018 – др. закон 67/2019, 6/2020 – др. закони, 11/2021 – аутентично тумачење, 67/2021, 67/2021 – др. закон и 76/2023), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године), Одлуке о изменама и допунама Статута број 239/6 од 17.02.2023. године и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 04.04.2024. године донело је:

О Д Л У К У
о прихватању Извештаја Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације

Прихвата се Извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата **ИВАНЕ ЈЕВТИЋ, маг. инж. маш.** под насловом **„ПАРАМЕТАРСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ ДЕЛОВА КОЈИ СЕ ИЗРАЂУЈУ АДИТИВНИМ ПРОИЗВОДНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА“**

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Живана Јаковљевић, ред. проф., др Саша Живановић, ред. проф., др Михаило Поповић ванр. проф., др Милош Пјевић, доцент, др Дејан Моврин, ванр. проф. Универзитет у Новом Саду Факултет техничких наука.

За ментора докторске дисертације именује се др Горан Младеновић, ванредни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду, кандидату, ментору и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Извештај о научној заснованости теме докторске дисертације кандидаткиње **Иване Јевтић, маг. инж. маш.**

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Машинског факултета бр. 208/3 од 07.03.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације под називом „**Параметарско пројектовање делова који се израђују адитивним производним технологијама**“ кандидаткиње **Иване Јевтић, маг. инж. маш.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Ивана (Миодраг) Јевтић, маг. инж. маш., рођена је 03. априла 1996. године у Ваљеву, Република Србија. Завршила је Основну школу Десанка Максимовић у Ваљеву и Ваљевску гимназију – смер обдарени ученици у математичкој гимназији, у којој је матурирала 2015. године. Основно и средње образовање завршава са одличним успехом у свим школским годинама.

На Универзитет у Београду - Машински факултет уписала се школске 2015/2016. године. Основне академске студије – Машинско инжењерство завршила је 2018. године, одбравивши завршни рад (BSc) са оценом 10 (десет) из предмета Мерења у аутоматском управљању и просечном оценом током основних академских студија 9,52 (девет и 52/100). Школске 2018/2019. године уписала је Мастер академске студије – Машинско инжењерство, модул аутоматско управљање, а завршила их је 2020. године са просечном оценом током мастер академских студија 9,70 (девет и 70/100) одбравивши са оценом 10 (десет) мастер рад (MSc) на тему *Ветрогенератори* из предмета Електричне машине под менторством проф. др Добриле Шкатарић.

Добитница је похвала за одличан успех поводом Дана факултета сваке школске године током основних и мастер академских студија. Током треће године основних академских студија била је стипендиста Министарства омладине и спорта Републике Србије. Током осталих година студија била је стипендиста Града Ваљева.

У школској 2020/2021. години уписала је Докторске студије – Машинско инжењерство на Универзитету у Београду - Машинском факултету (број индекса Д16/20). Током првог семестра Докторских студија утврђени су правци њеног научноистраживачког рада, да би Одлуком број 601/1 од 29.03.2021. године био озваничен и Програм усавршавања, који се реализује под руководством потенцијалног ментора ванр. проф. др Горана Младеновића. Кандидаткиња је положила све испите на Докторским студијама и тренутно је студент VI семестра.

У марту 2021. године ступа у радни однос у Иновационом центру Машинског факултета у Београду као истраживач приправник и ангажована је на пројекту надлежних министарстава Владе Републике Срби на основу Уговора о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2021. години (евиденциони број 451-03-9/2021-14/ 200213 од 5.2.2021. године, руководилац: проф. др Александар Седмак), у 2022. години, (евиденциони број 451-03-68/2022-14/ 200213 од 04.02.2022. године, руководилац: проф. др Ненад Зрнић) и у 2023. години (евиденциони број 451-03-47/2023-01/ 200213 од 03.02.2023. године, руководилац: проф. др Ненад Зрнић). Од почетка рада у Иновационом центру Машинског факултета у Београду кандидаткиња учествује на домаћим и међународним конференцијама, а члан је Организационог одбора међународне конференције *CNNTech*.

Као студент Докторских студија, школске 2021/22. и 2022/23. године учествовала је у извођењу вежби из предмета CAD/CAM системи на Основним академским студијама - Машинско инжењерство на Универзитету у Београду - Машинском факултету. При студентском вредновању педагошког рада наставника у зимском семестру школске 2021/22. године остварила је оцену 5,00 од 5,00, а школске 2022/23. године 4,95 од 5,00.

Кандидаткиња поседује знања и вештине за рад у програмском пакету *Microsoft Office*, као и инжењерским програмима *SolidWorks*, *AutoCAD*, *CreoParametric*, *MatLab*, *GOMInspect*. Вешто се служи адитивним технологијама, упозната је са радом FDM и SLA 3D штампача, као и поступцима реверзног инжењерства коришћењем 3D скенера.

Област истраживања Иване Јевфић обухвата CAD/CAM системе, реверзни инжењеринг, адитивне производне технологије, испитивање материјала, метод коначних елемената.

Кандидаткиња говори енглески језик (ниво B1) и немачки језик (ниво A1). Поседује возачку дозволу Б категорије.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидаткиња Ивана Јевтић, маст. инж. маш. уписала је Докторске академске студије на Универзитету у Београду - Машинском факултету школске 2020/2021. године. У циљу реализације Програма усавршавања, положила је следеће обавезне и изборне предмете:

Први семестар Докторских академских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
<i>Виши курс математике (о*)</i>	Проф. др Слободан Радојевић	5	10 (десет)
<i>Нумеричке методе (о*)</i>	Проф. др Миодраг Спалевић	5	9 (девет)
<i>ОМНИР (организација и методе научно - истраживачког рада) и комуникација (о*)</i>	Проф. др Милош Недељковић	5	9 (девет)

<i>Мерења деформација и напона (и*)</i>	Проф. др Милорад Милованчевић	5	10 (десет)
<i>Истраживање и публикавање – I</i>	Проф. др Горан Младеновић	10	10 (десет)

Други семестар Докторских академских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
<i>Одабрана поглавља из механике (о*)</i>	Проф. др Зоран Митровић	5	10 (десет)
<i>Аналитичке методе у инжењерском пројектовању (и*)</i>	Проф. др Бојан Бабић	5	10 (десет)
<i>Интегритет и век конструкција (и*)</i>	Проф. др Зоран Радаковић	5	10 (десет)
<i>Истраживање и публикавање - II</i>	Проф. др Горан Младеновић	15	10 (десет)

Трећи семестар Докторских академских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
<i>Планирање и управљање производњом (и*)</i>	Проф. др Радован Пузовић	5	10 (десет)
<i>Теорија и симулација процеса обраде (и*)</i>	Проф. др Михајло Поповић	5	10 (десет)
<i>Истраживање и публикавање - III</i>	Проф. др Горан Младеновић	20	10 (десет)

Четврти семестар Докторских академских студија

Назив предмета	Предметни наставник	ЕСПБ	Оцена
<i>Истраживање и публикавање - IV</i>	Проф. др Горан Младеновић	8	10 (десет)
<i>Пројекат идеје докторске дисертације</i>	Проф. др Горан Младеновић Проф. др Михајло Поповић Доц. др Милош Пјевић	22	10 (десет)

Напомена: о* - обавезни предмет; и* - изборни предмет.

Ивана Јевтић је на Докторским студијама – Машинско инжењерство на Универзитету у Београду - Машинском факултету положила 4 (четири) обавезна и 5 (пет) изборних предмета (сваки вреди по 5 ЕСПБ бодова), чиме је остварила укупно 45 ЕСПБ бодова. Резултати научноистраживачког рада Иване Јевтић на Универзитету у Београду - Машинском факултету, реализовани су кроз експериментални рад у Центру за брзи развој прототипова Иновационог центра Машинског факултета у Београду и Лабораторији за CAD/CAM на Катедри за производно машинство Универзитета у Београду - Машинског факултета (Истраживање и публикавање I-IV). Резултати су верификовани објављивањем радова што указује на то да је кандидаткиња остварила још 53 ЕСПБ бода. Кандидаткиња је успешно написала и одбранила Пројекат идеје докторске дисертације што је Комисија у саставу проф. др Горан Младеновић, проф. др Михајло Поповић и доц. др Милош Пјевић потврдила оценом 10 (десет) чиме је кандидаткиња стекла још 22 ЕСПБ бода. Дакле, кандидаткиња је остварила укупно 120 ЕСПБ бодова чиме је у складу са чланом 21 Правилника о Докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету стекла

услов да упише трећу годину студија и самим тим у складу са чланом 33 наведеног Правилника испунила основни услов да пријави докторску дисертацију.

Кандидаткиња има објављен један научни рад у **истакнутом међународном часопису** са *SCI* листе (**M22**), два научна рада у **часопису међународног значаја** са *SCI* листе (**M23**) и два научна рада у **националном часопису међународног значаја** (**M24**). У наставку је дат списак објављених научних радова и других релевантних резултата и активности које опредељују афинитет кандидаткиње за рад на предложеној теми.

Радови објављени у истакнутом међународном часопису (M22)

- [1] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milovanović A., Trajković I., Đurković M., Korolija N., Milošević M.: The influence of printing orientation on the flexural strength of PA12 specimens produced by SLS, *Science of Sintering*, 56 (1), 2024. DOI: 10.2298/SOS230508031J. IF(2023): 1.725

Радови објављени у међународном часопису (M23)

- [2] **Jevtić I.**, Golubović Z., Mladenović G., Berto F., Sedmak A., Milovanović A., Milošević M.: Printing orientation influence on tensile strength of PA12 specimens obtained by SLS, *Journal of Mechanical and Technology*, 37 (11), str. 5549-5554, 2023. DOI: 10.1007/s12206-023-2306-4. IF(2023): 1.81
- [3] Travica M., Mitrović N., Petrović A., **Jevtić I.**, Milošević M., 2023: Stress-strain analysis of steel S235JRH pipe ring tensile specimens using 3D optical methods, *Measurement and Control*. DOI: 10.1177/00202940231212888. IF(2023): 2.0

Радови у националном часопису међународног значаја (M24)

- [4] **Jevtić I.**, Stojanović J., Milovanović A., Trajković I., Milošević M., Mladenović G., 2024: Printing orientation and place influencing the compressive strength of polyamide 12 specimens obtained by SLS technology. *Structural Integrity and Life* 24 (1), стр. 3-7.
- [5] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Milovanović A., Trajković I., Travica M., 2022: Dimensional accuracy of parts obtained by SLS technology. *Structural Integrity and Life* 22 (3), стр. 288-292.

Радови саопштени на скуповима међународног значаја, штампани у целини (M33)

- [6] Milošević M., **Jevtić I.**, Trajković I., Zlatanović I., Mladenović G., Korolija N., 2024: Determination of Compression Response for Various Dried Vegetables. *International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Proceedings*. ISBN: 978-3-031-46432-4. DOI: 10.1007/978-3-031-46432-4_8.
- [7] **Jevtić I.**, Trajković I., Milošević M., Zlatanović I., Mladenović G., Korolija N., 2024: The Possibility of Applying a Universal Testing Machine for Evaluating Food Textures. *International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Proceedings*. ISBN: 978-3-031-46432-4. DOI: 10.1007/978-3-031-46432-4_8
- [8] **Jevtić I.**, Milošević M., Milovanović A., Travica M., Trajković I., Mladenović G., 2024: Dimensional Accuracy of Compressive Specimens Obtained by SLS Technology. *International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies, Proceedings*. ISBN: 978-3-031-46432-4. DOI: 10.1007/978-3-031-46432-4_8
- [9] Bojović B., Golubović Z., **Jevtić I.**, Mišković Ž., Sedmak A., 2023: Mechanical properties variation due to building orientation of ABS resin material. *39th International Conference on Production Engineering of Serbia – ICPES 2023, Proceedings*. ISBN 978-86-6022-610-7.

- [10] Mladenović G., Puzović R., Stojanović J., **Jevtić I.**, Popović M., Pjević M., 2023: An approach for automatic free form surface milling machining technology design. 39th International Conference on Production Engineering of Serbia – ICPEs 2023, Proceedings. ISBN 978-86-6022-610-7.
- [11] **Jevtić I.**, Drakulović O., Mladenović G., Milošević M., 2023: Types of bee drinkers. International Scientific and Professional Conference Politehnika 2023. ISBN 978-86-7498-110-8.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

- [12] **Jevtić I.**, Milovanović A., Trajković I., Travica M., Sedmak A., Grbović A., Milošević M., 2021: Notch dimension discrepancy on SENB specimens fabricated from PLA and advanced PLA-X material. The book of abstracts from "20th International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals", Wroclaw, Poland, ISBN: 978-83-7493-179-3, str. 152-153.
- [13] Trajković I., Milovanović A., **Jevtić I.**, Travica M., Marsavina L., Medjo B., Nahlik L., 2021: Monitoring of fracture mechanics parameters on single edge notched tension specimens made of PLA material. The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", Zlatibor, Srbija, ISBN: 978-86-6060-077-8, str. 18.
- [14] Mladenović G., Tanović Lj., Puzović R., Pjević M., Popović M., **Jevtić I.**, 2021: Rough milling with end mill cutter in application for free form surfaces machining. The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", Zlatibor, Srbija, ISBN: 978-86-6060-077-8, str. 54.
- [15] Milošević M., **Jevtić I.**, Trajković I., Mišković Ž., Ćuzović T., Milovanović A., Travica M., 2021: Surface properties analysis of metallic additive manufacturing materials. The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", Zlatibor, Srbija, ISBN: 978-86-6060-077-8, str. 17.
- [16] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Trajković I., Travica M., Milovanović A., Analysis of the materials usability in additive production technologies, The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", pp. 56-56, Zlatibor, Serbia, 2021, ISBN: 978-86-6060-077-8.
- [17] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Trajković I., Travica M., Milovanović A., Additive technology design for 3D printing and application to fast product development, The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", pp. 57-57, Zlatibor, Serbia, 2021, ISBN: 978-86-6060-077-8.
- [18] **Jevtić I.**, Milovanović A., Trajković I., Travica M., Sedmak A., Grbović A., Berto F., Influence of printing parameters on dimensional stability of SENB specimens made from PLA and PLA-X materials, The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", pp. 15-15, Zlatibor, Serbia, 2021, ISBN: 978-86-6060-077-8.
- [19] Mladenović G., Puzović R., Pjević M., Popović M., **Jevtić I.**, Strategies development for rough milling in free form surfaces machining, The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", pp. 54-54, Zlatibor, Serbia, 2022, ISBN: 978-86-6060-120-1.
- [20] Kostić A., **Jevtić I.**, Miličić B., Dzodan U., Šljivak M., Scanning of the characteristic dimensions of the control pattern for checking the railway wheel tread profile using a 3D scanner Atos Core 200, The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", pp. 12-12, Zlatibor, Serbia, 2022, ISBN: 978-86-6060-120-1.
- [21] **Jevtić I.**, Milovanović A., Mladenović G., Milošević M., Trajković I., Low-cycle fatigue testing

setup for additively manufactured 316L stainless steel material, The book of abstracts from "International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies", pp. 5-5, Zlatibor, Serbia, 2022, ISBN: 978-86-6060-120-1.

- [22] Trajković I., Milošević M., Travica M., Rakin M., **Jevtić I.**, Sedmak A., Međo B., Laser sintered polyamide specimens – fabrication and tensile testing conditions on different geometries, The book of abstracts from "Advanced Ceramic and Application Conference X", pp. 80-80, Belgrade, Serbia, 2022, ISBN 978-86-915627-9-3.
- [23] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Milovanović A., Trajković I., Travica M., Deviation measurement of SLS PA material regarding location and orientation of printing, The book of abstracts from "Advanced Ceramic and Application Conference X", pp. 76-76, Belgrade, Serbia, 2022, ISBN 978-86-915627-9-3.
- [24] Kolesar S., **Jevtić I.**, Laser Metal 3D Printing – a disruptive directed energy deposition technology by Meltio, The book of abstracts “3rd International Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials RdAMM22”, pp. 14-14, Belgrade, Serbia, 2022, ISBN 978-86-6060-140-9.
- [25] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Milovanović A., Trajković I., Travica M., Mechanical characteristics of parts obtained by SLS printing technology, The book of abstracts “3rd International Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials RdAMM22”, pp. 51-51, Belgrade, Serbia, 2022, ISBN 978-86-6060-140-9.
- [26] Trajković I., Milošević M., Travica M., Rakin M., **Jevtić I.**, Sedmak A., Međo B., Determining fracture mechanics parameters using the digital image correlation method on cylindrical samples produced by different additive manufacturing techniques, The book of abstracts “3rd International Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials RdAMM22”, pp. 28-28, Belgrade, Serbia, 2022, ISBN 978-86-6060-140-9.
- [27] Milovanović A., Golubović Z., Kirin S., **Jevtić I.**, Smoljanić T., Analysis of printing parameter influence on FDM polypropylene tensile properties, The book of abstracts “3rd International Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials RdAMM22”, pp. 17-17, Belgrade, Serbia, 2022, ISBN 978-86-6060-140-9.
- [28] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Milovanović A., Mechanical characteristics of compressive specimens obtained by SLS technology, The book of abstracts “2nd International Symposium on Risk Analysis and Safety of Complex Structures and Components” (IRAS 2023), pp. 104-104, Belgrade, Serbia, 2023, ISBN: 978-86-900686-1-6.
- [29] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Trajković I., Milovanović A., Deviations measurements of SLS PA material at compressive specimens, The book of abstracts “International Conference of Experimental and Numerical Investigations and New Technologies”, pp.8-8, Zlatibor, 4-7th July, 2023, ISBN 978-86-6060-155-3.
- [30] **Jevtić I.**, Mladenović G., Milošević M., Milovanović A., Trajković I., The influence of print orientation and print location on the mechanical characteristics of specimens obtained by SLS technology, The book of abstracts “Advanced Ceramic and Application Conference XI”, pp: 82-82, Belgrade, Serbia, 2023, ISBN: 978-86-905714-0-6.

Радови саопштени на скуповима националног значаја, штампани у целини (M63)

- [31] **Jevtić I.**, Popović M., Mladenović G., Pjević, M., Milošević M., Milovanović A., Generativni dizajn i primena aditivnih tehnologija u okruženju Creo Parametric, 43. JUPITER konferencija, 30. simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, ISBN 978-86-6060-137-9, s.2.35-2.38, Mašinski fakultet Beograd, Beograd, 4-5 oktobra, 2022.

Учешће у научноистраживачким, стручним и образовно-развојним пројектима

- [1] Пројекат надлежних министарстава Владе Републике Србије на основу Уговора о реализацији и финансирању научноистраживачког рада НИО у 2021. години (евиденциони број 451-03-9/2021-14/ 200213 од 5.2.2021. године, руководиоца: проф. др Александар Седмак), у 2022. години, (евиденциони број 451-03-68/2022-14/ 200213 од 04.02.2022. године, руководиоца: проф. др Ненад Зрнић) и у 2023. години (евиденциони број 451-03-47/2023-01/ 200213 од 03.02.2023. године, руководиоца: проф. др Ненад Зрнић).
- [2] Програм за истраживање и иновације Европске уније, H2020-WIDESPREAD2018, Structural Integrity and Reliability of Advanced Materials obtained through additive Manufacturing (SIRAMM), према уговору 857124.
- [3] GIZ пројекат - Digitalization of SMEs in metal processing sector (DigiMet), (главни апликант: Универзитет у Мостару), 2023-2024.

1.3. Оцена подобности кандидаткиње за рад на предложеној теми

Кандидаткиња Ивана Јевтић, маг. инж. маш., својим досадашњим истраживачким активностима показала је посебну заинтересованост, квалитет и изражену способност за научноистраживачки рад. Публиковани научни радови у истакнутом међународном часопису, међународном часопису, националном часопису међународног значаја, као и у зборницима радова скупова међународног и националног значаја указују на изразит смисао кандидаткиње да се бави комплексним мултидисциплинарним теоријским и експерименталним научним истраживањима.

Биографски подаци, објављени научни радови, експериментална истраживања кроз ангажовање на пројекту технолошког развоја (ев. бр. 451-03-47/2023-01/200213), као и други набројани резултати Иване Јевтић, маг. инж. маш. суштински су повезани са научном облашћу којој припада предложена тема, што кандидаткињу, према мишљењу Комисије, квалификује за самосталан, успешан и ефикасан теоријски и експериментални научноистраживачки рад на предложеној докторској дисертацији.

2. Предмет и циљ истраживања

Адитивне производне технологије, познате под називом тродимензионална (3D) штампа, представљају групу технологија код којих се делови израђују додавањем материјала. Једна од најзначајнијих предности ових технологија у односу на традиционалне методе обраде базиране на уклањању или пластичном деформисању материјала је могућност израде делова изузетно комплексне геометрије без употребе сложених алата, прибора и технолошких поступака. Када се поред времена израде узме у обзир и време потребно за пројектовање и припрему процеса обраде укупно време израде значајно се скраћује употребом ових технологија. У складу са наведеним, најчешћа комерцијална примена адитивних производних технологија је у области брзе израде прототипова како у истраживачким центрима тако и у производним компанијама чиме је знатно скраћено време развоја нових производа. Међутим, са појавом парадигме масовне кастомизације производње која подразумева производњу производа по захтевима купаца, адитивне производне технологије се захваљујући својој брзој прилагодљивости и одсуству потребе за великим припремним временима све чешће примењују и у изради делова и готових производа. Оне представљају значајну технологију у оквиру концепта производње познатим под називом Индустрија 4.0.

Израда делова адитивним технологијама базира се на дигиталним CAD моделима који се могу креирати у комерцијалним CAD програмима или добити скенирањем постојећих делова, што омогућава ефикаснију, бржу и прилагодљивију производњу. Адитивне производне технологије користе различите врсте материјала, укључујући метале (нерђајући челик, титанијумске легуре и др.), полимере (полиамид, поликарбонат, полиметилметакрилат и др.), керамику, као и биолошке

материјале, бетон итд. Због наведених предности данас имају широку примену у различитим гранама индустрије, машинству, медицини, архитектури итд. [1].

У групу најчешће коришћених адитивних производних технологија спадају стереолитографија, селективно ласерско синтеровање, ламинирање и екструдирање (депоновање) материјала [1]. Иако од почетка 21. века долази до великог напретка у овој области, почеци развоја адитивних технологија сежу у шездесете године двадесетог века са првим покушајима формирања објекта слој по слој очвршћавањем фотополимера ласерским снопом. Почетком осамдесетих година објављени су први радови [2, 3] у којима су изложени принципи очвршћавања фотполимера помоћу ласерског зрака и постављени су основи процеса стереолитографије, да би 1984. формално настале адитивне технологије подношењем патента за прву комерцијално успешну технологију стереолитографије (енгл. *Stereolithography* – SLA). SLA технологија користи ласер за очвршћавање течног полимера слој по слој за стварање тродимензионалних објеката. Даље, током осамдесетих година следи развој и других адитивних технологија које укључују селективно ласерско синтеровање (енгл. *Selective Laser Sintering* – SLS), директно ласерско синтеровање метала (енгл. *Direct Metal Laser Sintering* – DMLS) и депоновање растопљеног материјала (енгл. *Fused Deposition Modeling* – FDM). Током деведесетих година адитивне производне технологије почињу да се комерцијализују и примењују у индустрији за израду прототипова, компоненти у авио индустрији, медицинских импланата. Почетком 21. века долази до великог напретка и експанзије, где су постигнути значајни помаци у брзини и тачности, као и у разноврсности коришћених материјала, тако да адитивне производне технологије све више улазе у водеће индустрије као што су већ поменуте авио, аутомобилска индустрија и медицина [4]. Данас ове технологије представљају једну од кључних области иновација у производњи омогућавајући брзу израду прототипова, производњу по захтеву уз израду сложених геометрија које је тешко или немогуће постићи традиционалним методама обраде [4].

Међутим, поред наведених значајних предности адитивних производних технологија у односу на традиционалне методе обраде резањем могу се уочити и одређени недостаци. Они се пре свега огледају у чињеници да параметри процеса израде делова коришћењем адитивних технологија (дебљина слоја, брзина штампе, правац наношења материјала, температура материјала и коморе и сл.) утичу на механичке карактеристике издатка значајно више него параметри процеса обраде резањем код којих су ове карактеристике у највећој мери одређене материјалом издатка [5]. Поред тога, код адитивних производних технологија, параметри процеса израде имају утицај и на коначне димензије издатка [6]. У складу са наведеним, већ током пројектовања делова који ће се изградити адитивним производним технологијама неопходно је узети у обзир и параметре процеса њихове израде што додатно усложњава процес пројектовања.

Током пројектовања делова, поставља се низ функционалних захтева који описују циљеве пројектовања које је потребно испунити одговарајућим параметрима пројектовања – обележјима објекта који се пројектује [7]. Параметри пројектовања се, даље, реализују одговарајућим параметрима процеса израде који у случају адитивних производних технологија имају наглашен утицај на испуњење функционалних захтева. Предмет истраживања ове дисертације ће бити анализа утицаја параметара процеса израде адитивним технологијама на одабране параметре пројектовања узимајући у обзир постављене функционалне захтеве. Разматраће се функционални захтеви који се односе на облик и опсег захтеваних димензија, дозвољене деформације дела под задатим оптерећењем, као и на групу материјала од којих се део израђује. Параметри пројектовања ће се пре свега односити на дефинисање димензија делова чија је топологија унапред задата и на одређивање материјала издатка узимајући у обзир параметре процеса израде дела. Као резултат пројектовања добиће се не само CAD модел дела већ и параметри његове израде адитивним технологијама.

Научни циљ дисертације је развој методологије и одговарајућих процедура које представљају полазне основе за добијање прилагођених димензија и материјала делова предвиђених за израду

адитивним производним технологијама узимајући у обзир оптерећења која се јављају у експлоатацији и простор параметара процеса израде делова¹ одабраном врстом адитивне производне технологије. Методологија чији се развој планира спада у класу метода познатих под називом генеративни дизајн која подразумева претраживање могућих решења у оквиру унапред дефинисаног простора са циљем да се дефинише оптимално решење из скупа могућих решења које задовољавају тражене перформансе [8]. Применом предложене методологије конструктор поставља топологију дела и граничне услове укључујући опсеге димензија дела, групу материјала, оптерећења, дозвољене деформације и врши избор одговарајућег производног процеса, а софтвер креиран на основу предложене методологије формира више решења у виду димензија и материјала дела и параметара процеса израде од којих се бира оно које задовољава постављене критеријуме.

Основни циљеви истраживања су:

- Експериментална идентификација утицаја материјала и параметара процеса (врста материјала, дебљина слоја, брзина штампе, правац наношења материјала, температура материјала и коморе итд.) одабране адитивне методе израде на механичке карактеристике које се добијају испитивањем чврстоће узорака²,
- Успостављање зависности између параметара процеса одабране адитивне технологије израде и механичких карактеристика које се добијају испитивањем чврстоће узорака (пре свега модула еластичности) коришћењем техника регресионе анализе на основу експериментално добијених података,
- Развој методологије за пројектовање одређене класе делова применом параметарског моделирања употребом комерцијалних CAD пакета чији ће излаз бити дизајн дела који је прилагођен за процесе израде адитивним производним технологијама и параметри процеса израде,
- Формирање експерименталне инсталације (развој потребних прибора) за испитивање остварености функционалних захтева (дозвољених деформација и димензија дела),
- Експериментална верификација остварености функционалних захтева (димензија и дозвољених деформација) делова пројектованих коришћењем развијене методологије.

Адитивни производни процеси датирају од осамдесетих година прошлог века, а до данашњег дана публикован је велики број научних радова на ову тему. Тематика радова је широка и бави се свим феноменима који се појављују у процесима адитивних технологија, од анализе употребљених материјала, процеса израде, па све до савремених начина пројектовања делова који су прилагођени адитивним производним процесима [1-6, 8-27, 30-31]. Претходно поменуте тврдње потичу из литературних извора на које се ослања предложена докторска дисертација, а који се анализирају у наставку.

2.1. Преглед и анализа литературе

- [1] T. D. Ngo, A. Kashani, G. Imbalzano, K. T. Q. Nguyen, D. Hui, Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges, Composites Part B: Engineering, vol. 143, pp. 172-196, (2018). DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.02.012
- [2] H. Kodama, Three-Dimensional Data Display by Automatic Preparation of a Three-Dimensional Model (1980).

¹ Осе простора параметара процеса израде су дефинисане параметрима израде адитивне технологије која се користи (дебљина слоја, брзина штампе, правац наношења материјала, температура материјала и коморе и сл.), а његове димензије опсегом вредности ових параметара

² Експериментално ће бити испитивани затезна/притисна/савојна чврстоћа, напони течења и модули еластичности, али ће се даља истраживања преваходно фокусирати на модуле еластичности узорака.

- [3] H. Kodama, Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer, *Rev. Sci. Instrum.* vol. 52, pp. 1770–1773 (1981). DOI: 10.1063/1.1136492
- [4] S. F. Iftekar, A. Aabid, A. Amir, M. Baig, Advancements and Limitations in 3D Printing Materials and Technologies: A Critical Review, *Polymers*, vol. 15, no. 11, pp. 2519, (2023). DOI: 10.3390/polym15112519
- [5] S. Rouf, A. Raina, M. I. Haq, N. Naveed, S. Jeganmohan, A. F. Kichloo, 3D printed parts and mechanical properties: Influencing parameters, sustainability aspects, global market scenario, challenges and applications, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 5, no. 3, pp. 143-158, (2022). DOI: 10.1016/j.aiepr.2022.02.001
- [6] M.R. Pratheesh Kumar, K. Saravanakumar, C. Arun Kumar, R. Saravanakumar, B. Abimanyu, Experimental investigation of the process parameters and print orientation on the dimensional accuracy of fused deposition modelling (FDM) processed carbon fiber reinforced ABS polymer parts, *Materials Today: Proceedings*, (2023). DOI: 10.1016/j.matpr.2023.10.062
- [7] N. Suh, Axiomatic Design Theory for Systems. *Res Eng Des*, vol. 10, pp. 189–209 (1998). DOI:10.1007/s001639870001
- [8] du Plessis Anton, Broeckhoven Chris, Yadroitsava Ina, Yadroitsev Igor, Hands Clive H., Kunju Ravi, Bhate Dhruv, Beautiful and Functional: A Review of Biomimetic Design in Additive Manufacturing, *Additive Manufacturing*, vol. 27, pp. 408–427, (2019). DOI: 10.1016/j.addma.2019.03.033
- [9] S. Garzon-Hernandes, D. Garcia Gonzalez, A. Jérusalem, A. Arias, Design of FDM 3D printed polymers: An experimental-modelling methodology for the prediction of mechanical properties, *Materials and Design*, vol. 188, pp. 108414, (2020). DOI: 10.1016/j.matdes.2019.108414
- [10] S. K. Selvamani, M. Samykano, S. R. Subramaniam, W. K. Ngui, K. Kadirgama, G. Kanagaraj, M. S. Idris, 3D printing: Overview of ABS evolvement, *AIP Conference Proceedings*, vol. 2059, pp. 020041, (2019). DOI: 10.1063/1.5085984
- [11] D. K. Yadav, R. Srivastava, S. Dev, Design & fabrication of ABS part by FDM for automobile application, *Materials Today: Proceedings*, vol. 26, pp. 2089-2093, (2020). DOI: 10.1016/j.matpr.2020.02.451
- [12] M. N. Ahmad, A. Yahya, Effects of 3D Printing Parameters on Mechanical Properties of ABS Samples, *Designs*, vol. 7, pp.136, (2023). DOI: 10.3390/designs7060136
- [13] G. C. Onwubolu, F. Rayegani, Characterization and Optimization of Mechanical Properties of ABS Parts Manufactured by the Fused Deposition Modelling Process, *International Journal of Manufacturing Engineering*, (2014). DOI: 10.1155/2014/598531
- [14] M. Samykano, S. K. Selvamani, K. Kadirgama, W. K. Ngui, G. Kanagaraj, K. Sudhakar, Mechanical property of FDM printed ABS: influence of printing parameters, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, pp. 2779-2796, (2019). DOI: 10.1007/s00170-019-03313-0
- [15] Anubhav, R. Kumar, S. K. Nandi, A. Agrawal, Influence of Build Orientation on Tensile and Flexural Strength of FDM Fabricated ABS Component, *Advances in Additive Manufacturing and Metal Joining*, pp. 177-187, (2023). DOI: 10.1007/978-981-19-7612-4_15
- [16] M. S. Uddin, M. F. R. Sidek, M. A. Faizal, Reza Ghomashchi, A. Pramanik, Evaluating Mechanical Properties and Failure Mechanisms of Fused Deposition Modeling Acrylonitrile Butadiene Styrene Parts, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 139(8), pp. 081018, (2017). DOI: 10.1115/1.4036713
- [17] M. Bembenek, Ł. Kowalski, A. Kosoń-Schab, Research on the Influence of Processing Parameters on the Specific Tensile Strength of FDM Additive Manufactured PET-G and PLA Materials, *Polymers*, vol. 14, pp. 2446, (2022). DOI: 10.3390/polym14122446

- [18] A. Pandzic, D. Hodzic, Tensile Mechanical Properties Comparison of PETG, ASA and PLA-Strongman FDM Printed Materials With and Without Infill Structure, Proceedings of the 33rd International DAAAM Symposium 2022, (2022). DOI: 10.2507/33rd.daaam.proceedings.031
- [19] A. G. Rodríguez, E. E. Mora, M. A. Velasco, C. A. N. Tovar, Mechanical properties of polyamide 12 manufactured by means of SLS: Influence of wall thickness and build direction, Materials Research Express, vol. 10, (2023). DOI: 10.1088/2053-1591/acf6f7
- [20] S. Pande, D. Mauchline, Dj. D. Beer, Effect of Orientation on Tensile Strength of parts laser sintered with PA 12 powder, International Conference on Additive Manufacturing and 3D printing, (2015).
- [21] G. V. Salmoria, J. L. Leite, L. F. Vieira, A. T. N. Pires, C. R. M. Roesler, Mechanical properties of PA6/PA12 blend specimens prepared by selective laser sintering, Polymer Testing, vol. 31, pp. 411-416, (2012). DOI: 10.1016/j.polymertesting.2011.12.006
- [22] R. J. Wang, L. Wang, L. Zhao, Z. Liu, Influence of process parameters on part shrinkage in SLS, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 33 (5), pp. 498-504, (2007). DOI: 10.1007/s00170-006-0490-x
- [23] M. K. Razaviye, R. A. Tafti, M. Khajehmohammadi, An investigation on mechanical properties of PA12 parts produced by a SLS 3D printer: an experimental approach, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 38, pp. 760-768, (2022). DOI: 10.1016/j.cirpj.2022.06.016
- [24] H. Zarringhalam, N. Hopkinson, N. F. Kamperman, J. J. de Vlieger, Effects of processing on microstructure and properties of SLS Nylon 12, Material Science Engineering: A, vol. 435-436, pp.172- 180, (2006). DOI: 10.1016/j.msea.2006.07.084
- [25] B. Caulfield, P. E. McHugh, S. Lohfeld, Dependence of mechanical properties of polyamide components on build parameters in the SLS process, Journal of Materials Processing Technology, vol. 182, pp. 477-488, (2007). DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2006.09. 007
- [26] A. Gadelmoula, S. A. Aldahash, Effects of Fabrication Parameters on the Properties of Parts Manufactured with Selective Laser Sintering: Application on Cement-Filled PA12, Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2019, (2019). DOI: 10.1155/2019/8404857
- [27] S. K. Tiwari, S. Pande, S. Agrawal, S. M. Bobade, Selection of selective laser sintering materials for different applications, Rapid Prototyping Journal, vol. 21, (2015). DOI: 10.1108/RPJ-03-2013-0027
- [28] P. R. Shrestha, D. Timalisina, S. Bista, B. P. Shrestha, T. M. Shakya, Generative design approach for product development, AIP Conference Proceedings, vol. 2397, (2021). DOI: 10.1063/5.0065031
- [29] R. Jaisawal, V. Agrawal, Generative Design Method (GDM) – A State of Art, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, (2021). DOI: 10.1088/1757-899X/1104/1/012036
- [30] T. Briard, F. Segonds, N. Zamariola, G DfAM: a methodological proposal of generative design for additive manufacturing in the automotive industry, International Journal on Interactive Design and Manufacturing, vol. 14, pp. 875-886, (2020). DOI: 10.1007/s12008-020-00669-6
- [31] S. Junk, L. Burkart, Comparison of CAD systems for generative design for use with additive manufacturing, Procedia CIRP, vol. 100, pp. 577-582, (2021). DOI: 10.1016/j.procir.2021.05.126

Једна од првих доступних адитивних технологија је моделирање депоновањем топљеног материјала (енгл. *Fused Deposition Modeling*- FDM). FDM технологија је данас у широкој употреби од индустријске и лабораторијске примене, где се користе професионалне, софистициране машине, до кућне употребе захваљујући повољно доступним машинама. Ова технологија је прво коришћена у изради прототипова и постепено је имплементирана у изради функционалних

структура од којих се очекује постојаност у одговарајућој средини и ношење одређених оптерећења. Неки од коришћених материјала у адитивној технологији моделирања депоновањем топлог материјала су ABS, ABS CF, PET-G, ASA, PLA [6, 9-18].

Најчешће коришћени материјал у FDM технологији је ABS који, као термопласт, омогућава флексибилност и широку примену. Неки од главних циљева истраживања овог материјала односили су се на испитивање утицаја параметара процеса израде на механичке карактеристике израђених узорака [9-13]. Осим тога, не само да параметри процеса имају утицај на механичке карактеристике израђених узорака, већ је такође значајно и њихово деловање на димензиону тачност. У истраживањима [6, 14] анализирани су ефекти процесних параметара, као што су густина испуне, брзина штампања и дебљина слоја на димензиону тачност делова који су израђени од ABS и ABS CF материјала.

У процесу штампања, оријентација делова представља значајан фактор који утиче на различите аспекте производње. У истраживањима [15, 16], фокус је стављен на процену затезне, савојне и притисне чврстоће узорака, што ће допринети бољем разумевању перформанси и квалитета делова израђених помоћу FDM технологије. Као што је већ напоменуто, поред ABS-а користе се и други материјали у FDM технологији. Како би се боље разумело понашање материјала PET-G, ASA и PLA Strongman под различитим оптерећењима, вршена су испитивања механичких својстава ових материјала са циљем њихове примене у инжењерству [17, 18].

Поред FDM технологије, метода SLS привукла је бројне научнике и различите компаније да штампају делове из свог производног програма. Ова технологија постаје све више заступљена за израду комплексних делова добијених од полимерних и металних прахова. Најчешће коришћени полимер је PA12, а у неким студијама коришћене су и полимерне мешавине [21]. У циљу дубљег разумевања процеса SLS, вршена је пажљива анализа различитих експеримената уз узимање у обзир утицаја разноврсних параметара штампе, укључујући температуру, снагу и брзину ласера [19, 20, 23]. Такође, густина енергије контролисана снагом ласера, као и растојање између линија скенирања преко слоја праха имају велики утицај на густину и механичке карактеристике делова [25-27]. Сви ови параметри имају кључну улогу у формирању механичких својстава штампаних делова, а њихово правилно подешавање може значајно утицати на квалитет и перформансе производа. Осим што значајно утичу на механичке карактеристике, параметри штампе, попут дебљине слоја, размака између шрафура, снаге ласера, брзине скенирања и температуре радног окружења, играју кључну улогу у постизању прецизности димензионалних карактеристика штампаних делова [22, 24]. Проучавањем утицаја ових параметара на димензионалну тачност, отвара се простор за оптимизацију процеса штампе. Правилно подешавање дебљине слоја може значајно побољшати тачност финалних производа, док одређивање оптималног размака између испуне може минимизирати потенцијалне грешке у геометрији штампаних делова.

Кроз примену адитивне производње, постиже се израда делова са минималним трошковима, а додатно смањење тих трошкова постиже се уз помоћ генеративног дизајна. У оквиру генеративног дизајна, конструктор поставља различите параметре и граничне услове који дефинишу карактеристике будућег дела [8, 28-31]. Ови параметри обухватају избор материјала, жељену геометрију, предвиђена оптерећења и одабир одговарајућег производног процеса. Овај процес омогућава конструкторима да истраже широк спектар иновативних облика и конфигурација које би било тешко или немогуће постићи традиционалним методама конструисања [28, 31]. Додатно, генеративни дизајн омогућава стварање ефикаснијих структура које оптимизују употребу материјала и истовремено смањују трошкове производње.

3. Полазне хипотезе

Имајући у виду све претходно наведено, изабране су три хипотезе са којима се започиње истраживање у овој докторској дисертацији:

Прва хипотеза: Коришћењем регресионе анализе могуће је развити модел који ће успоставити функционалну зависност између параметара процеса израде одабраним адитивним технологијама и механичких карактеристика које се добијају испитивањем чврстоће узорака, пре свега модула еластичности.

Друга хипотеза: Могуће је у оквиру CAD система, за дефинисану топологију настанка модела дела, развити методологију за његово параметарско пројектовање која ће узети у обзир функционалне захтеве и параметре адитивног производног процеса којим ће се део изградити.

Трећа хипотеза: Делови пројектовани коришћењем развијене методологије и израђени одабраним адитивним производним процесом (параметри процеса су одређени коришћењем развијене методологије) ће испунити задате функционалне захтеве (димензије и дозвољене деформације).

4. Научне методе истраживања

Имајући у виду свеобухватност и комплексност тематске области, у овој докторској дисертацији планира се коришћење следећих метода:

1. Методе планирања експеримената, аквизиције и дигиталне обраде сигнала уз употребу савремене опреме за испитивање материјала и делова,
2. Статистичке методе за регресиону анализу експерименталних података базиране на полиномалној регресији,
3. Методе за параметарско пројектовање делова применом комерцијалних CAD пакета,
4. Аналитичке методе за конверзију дигиталног геометријског модела дела у модел погодан за анализу примене формираних процедура,
5. Методе за софтверску имплементацију (програмирање) предложене методологије у оквиру одабраног комерцијалног CAD пакета,
6. Методе за тродимензионо скенирање делова,
7. Методе за испитивање чврстоће делова коришћењем универзалне машине за испитивање материјала.

5. Очекивани научни допринос

Научни допринос предложене дисертације припада ужој научној области производно машинство и доменима адитивних производних технологија, CAD системима и компјутерске графике. На бази полазних хипотеза и уз примену наведених метода очекивани научни резултати у оквиру предложене дисертације подразумевају:

- Успостављање функционалне зависности између параметара адитивног процеса израде и механичких карактеристика узорака које се добијају испитивањем чврстоће, пре свега модула еластичности.
- Нову методологију и пратеће процедуре за параметарско пројектовање делова прилагођених за израду адитивним производним технологијама на бази почетних функционалних захтева, групе материјала издатка и врсте адитивног процеса израде дела.

На основу функционалних захтева у погледу облика, опсега димензија и дозвољених деформација дела за задато оптерећење, као и групе материјала, биће омогућено аутоматско генерисање његовог CAD модела који ће бити прилагођен адитивним производним процесима што ће повољно утицати на време развоја и квалитет нових производа.

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру предложене докторске дисертације садржи реализацију следећих фаза:

1. Анализа адитивних производних технологија и CAD система са посебним освртом на методе конструисања делова за 3D штампу,
2. Преглед и анализа технологија адитивне производње и материјала који се користе у овој производњи,
3. Експериментална идентификација и моделирање механичких карактеристика које се добијају испитивањем чврстоће, пре свега модула еластичности узорака израђених одабраним адитивним производним технологијама коришћењем различитих материјала и параметара процеса израде,
4. Дефинисање топологија настанка CAD модела које ће се користити у процесу параметарског пројектовања делова прилагођених за израду адитивним производним технологијама,
5. Развој методологије за параметарско пројектовање делова прилагођених за израду адитивним производним технологијама на бази почетних функционалних захтева, групе материјала издатка и врсте адитивног процеса израде дела,
6. Развој компјутерског система за генерисање CAD модела дела који ће се израђивати адитивним производним процесима,
7. Експериментална верификација развијене методологије за параметарско пројектовање делова прилагођених адитивним производним технологијама,
8. Анализа добијених резултата и дискусија о будућим правцима истраживања.

Основна структура предложене дисертација обухвата следеће:

1. Увод
2. Примена адитивних производних технологија
 - а. Врсте адитивних производних технологија
 - б. Препоручени материјали
 - с. Пројектовање технологије
 - д. CAD системи за подршку конструисању делова за адитивну производњу
3. Испитивање и моделирање механичких карактеристика узорака добијених адитивним производним технологијама
4. Развој методологије за параметарско пројектовање делова прилагођених адитивним производним процесима
5. Софтверска имплементација развијене методологије
6. Експериментална верификација развијеног софтверског решења
7. Закључак
8. Литература
9. Прилози

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације кандидаткиње Иване Јевтић, маг. инж. маш. архивирани под евиденцијом бројем 208/1 од 02.02.2024. године, а сходно сагласности Колегијума наставника Катедре за производно машинство број 208/2 од 22.02.2024. године, као и Одлуци Наставно-научног већа број 208/3 од 07.03.2024. године, Комисија за подношење извештаја о научној заснованости теме докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације високог ранга којом се може остварити значајан научни допринос, као и да кандидаткиња испуњава законске и друге услове за рад на предметној докторској дисертацији, тако да Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Машинског факултета да се

Ивани Јевтић, маг. инж. маш.

одобри израду докторске дисертације под називом

Параметарско пројектовање делова који се израђују адитивним производним технологијама

која припада научној области **машинско инжењерство** и ужој научној области **производно машинство**, а за коју је матичан Универзитет у Београду - Машински факултет. Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду - Машинског факултета да се за **ментора** наведене докторске дисертације кандидаткиње Иване Јевтић, маг. инж. маш. именује **др Горан Младеновић**, ванредни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета који испуњава све услове у складу са чланом 28. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду – Машинском факултету.

Београд, 01.04.2024. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

Проф. др Живана Јаковљевић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Проф. др Саша Живановић, редовни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

Проф. др Михајло Поповић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Машински факултет

др Милош Пјевић, доцент
Универзитет у Београду - Машински факултет

Проф. др Дејан Моврин, ванредни професор
Универзитет у Новом Саду – Факултет техничких наука