

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**Машински факултет**  
Краљице Марије 16  
11120 Београд 35

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:**Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата **Алексе Ј. Миловановића, мастер инжењер машинства**

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Машинског факултета бр. 1296/2 од 09.07.2026. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Алексе Ј. Миловановића, мастер инжењер машинства** под насловом:

### **„УТИЦАЈ ПАРАМЕТАРА АДТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЛОМ ОРТОПЕДСКИХ ПЛОЧИЦА ОД PLA ПОЛИМЕРА”**

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

## **ИЗВЕШТАЈ**

### **1. УВОД**

#### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Алекса Ј. Миловановић – мастер инжењер машинства, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2016/17. године. На основу захтева студента Алексе Ј. Миловановића, мастер инжењер машинства, бр. 55/4 од 09.03.2023. године да му се одобри израда докторске дисертације и именује Комисија за подношење реферата (извештаја) о теми докторске дисертације, 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 64. Статута Машинског факултета (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 30. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 13.07.2023. године, донело је одлуку број 55/6 да се прихвата научна заснованост теме докторске дисертације и да студент **Алекса Ј. Миловановић**, мастер инжењер машинства, испуњава услове за израду докторске дисертације „УТИЦАЈ ПАРАМЕТАРА АДТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЛОМ ОРТОПЕДСКИХ ПЛОЧИЦА ОД PLA ПОЛИМЕРА”.

За ментора студенту **Алекси Ј. Миловановићу** наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду на седници одржаној 09.03.2023. године, донело је одлуку број 55/3, да се именује др Александар Седмак, проф. емеритус Машинског факултета Универзитета у Београду.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-2697/2-23 од 11.09.2023. године којом се даје сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Машинског факултета за прихватање теме докторске дисертације **Алексе Ј. Миловановића**, под називом „УТИЦАЈ ПАРАМЕТАРА АДТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЛОМ ОРТОПЕДСКИХ ПЛОЧИЦА ОД PLA ПОЛИМЕРА” и одређивању проф. др Александра Седмака за ментора.

На основу обавештења др Александра Седмака, проф. емеритуса, да је студент **Алекса Ј. Миловановић** завршио докторску дисертацију „УТИЦАЈ ПАРАМЕТАРА АДТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЛОМ ОРТОПЕДСКИХ ПЛОЧИЦА ОД PLA ПОЛИМЕРА” и предлога Колегијума наставника Катедре за технологију материјала, а сагласно члану 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 – др. закон, 76/2023 и 19/2025) и члану 43. Правилника о докторским студијама Машинског факултета – пречишћени текст, Наставно – научно веће Машинског факултета на седници одржаној дана 09.07.2026. године, донело је Одлуку број 1296/2 којом се именују чланови Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Ненад Милошевић, доцент, Машински факултет у Београду;
- др Михајло Поповић, редовни професор, Машински факултет у Београду;
- др Александар Грбовић, редовни професор, Машински факултет у Београду;
- др Александра Митровић, доцент, Криминалистичко – полицијски универзитет у Београду;
- др Александра Чаировић, доцент, Стоматолошки факултет у Београду.

Студент **Алекса Ј. Миловановић** имао је продужење статуса студента у школским 2022/2023., 2023/2024. и 2025/2026. години, као и статус мировања у школској 2024/2025. години. Статус мировања је благовремено захтеван и одобрен по основу болести у породици.

### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „УТИЦАЈ ПАРАМЕТАРА АДТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЛОМ ОРТОПЕДСКИХ ПЛОЧИЦА ОД PLA ПОЛИМЕРА”, припада области техничких наука – машинском инжењерству, ужој научној области ТЕХНОЛОГИЈА МАТЕРИЈАЛА, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

Ментор докторске дисертације је проф. др Александар Седмак, професор емеритус, који је радни век провео на Катедри за Технологију материјала, Машинског факултета у Београду, са богатим искуством у менторству више десетина успешно одбрањених докторских дисертација.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Алекса Ј. Миловановић рођен је . . . у , Република Србија. Завршио је основну школу „Лаза Костић“ на Новом Београду и Десету београдску гимназију „Михајло Пупин“, општи смер, у којој је матурирао 2010. године. Током целокупног основног и средњег школовања остварио је одличан успех.

Основне академске студије на Машинском факултету, Универзитета у Београду уписује 2010. године, које завршава 2013. године са оствареним просеком оцена 9,83 (девет и 83/100). Завршни испит основних студија брани из предмета Основе оптике, оптичких уређаја и

помагала на тему, „Микросочива произведена на слоју тотхеме, еозина и желатина“, који је рађен у Центру за фотонику, Института за физику у Земуну. Рад је одбрањен са оценом 10, чиме кандидат стиче стручно звање инжењер машинства- инж.маш. (енг., B.Sc.ME). Мастер академске студије уписује на Машинском факултету, Универзитета у Београду школске 2013/14., на смеру за биомедицинско инжењерство. У току мастер академских студија остварује просек оцена 9,85 (девет и 85/100). Завршни мастер рад брани из предмета Биоматеријали у медицини и стоматологији, код ментора проф. др Александра Седмака на тему, „Нумерички прорачун и анализа дизајна одабране протезе вештачког кука Zimmer VerSys® CRC“, одбрањен у септембру 2016. године са оценом 10. Тиме кандидат стиче стручно звање мастер инжењер машинства- маст. инж. маш. (енг., M.Sc.ME). За остварени успех током основних и мастер академских студија кандидат је био стипендиста Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

Школске 2016/17. године уписује докторске академске студије на Машинском факултету, Универзитета у Београду и ступа у радни однос у Иновационом центру Машинског факултета у Београду од 01.01.2017. године, као истраживач-приправник на пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја. Од почетка рада у Иновационом центру ангажован је у лабораторијском раду, пројектовању и нумеричком прорачуну биомедицинских конструкција, као и осмишљавању и реализацији патената од националног значаја. Учествоје у реализацији наставе на предмету Биоматеријали у медицини и стоматологији на Мастер академским студијама, од марта 2019. године до данас. Остварио је учешће на бројним домаћим и међународним конференцијама, од којих се истичу ECF22 (Београд, Србија), VECF1 (виртуелна конференција), ECF23 (Фуншал, острво Мадеира, Португал) и ECF24 (Загреб, Хрватска). Добитник је друге награде за младог истраживача на 24. Европској конференцији о механици лома (ECF24), коју заједнички додељују Европско удружење за интегритет конструкција (ESIS) и издавачка кућа *Elsevier*.

Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду је 11.09.2023. године дало сагласност на Одлуку Наставно-научног већа Машинског факултета о прихватању теме докторске дисертације под називом „Утицај параметара адитивне производње на отпорност на лом ортопедских плочица од PLA полимера“ и одређивању др Александра Седмака, професора емеритуса са Катедре за технологију материјала за ментора. Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета од 08.12.2023. изабран је у звање истраживач-сарадник, у којем се и данас налази.

Од октобра 2019. до марта 2023. био је ангажован на „Horizon 2020“ пројекту Европске Уније под називом „SIRAMM“ (H2020-WIDESPREAD-2018-03, број гранта: 857124). У оквиру овог пројекта остварио је научна усавршавања на Политехничком Универзитету у Темишвару (Румунија), Институту за физику материјала, при Чешкој академији наука, у Брну (Чешка Република) и Универзитету у Парми (Италија), у укупном трајању од шест календарских месеци.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата **Алексе Ј. Миловановића** под називом „Утицај параметара адитивне производње на отпорност на лом ортопедских плочица од PLA полимера“ садржи: 174 стране формата А4, 133 слике, 17 табела, 74 једначине и списак коришћене литературе који садржи 174 референце. Докторска дисертација садржи следећа поглавља:

#### 1. Увод и преглед литературе

2. Аналитичке основе и приступи испитивању отпорности на лом адитивно произведених делова
3. Експериментална и нумеричка методологија истраживања
4. Експериментални и нумерички резултати и дискусија
5. Закључак
6. Литература

Осим наведеног, докторска дисертација садржи захвалницу, сажетак на српском и енглеском језику, садржај, списак скраћеница и ознака, списак слика, списак табела, биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

### **Поглавље 1: Увод и преглед литературе**

У овом поглављу кандидат Алекса Љ. Миловановић (у даљем тексту кандидат) уводи у тему докторске дисертације и проблем који овај рад решава на основу прегледа доступне литературе. Ово поглавље дели се на следеће сегменте:

1. Адитивна производња, ортопедске плочице и примена PLA полимера у биомедицини
2. Механичке особине и структура PLA полимера у адитивној производњи
3. Механика лома у контексту адитивно произведених структура од PLA полимера
4. Нумеричке симулације са моделираним дефектом типа прслине
5. Статистичке методе при анализи резултата истраживања
6. Дефинисање проблема, предмет, научне хипотезе и циљеви истраживања

У првом сегменту поглавља описане су до сада доступне адитивне технологије и начин рада разматране FDM (енгл., *Fused Deposition Modelling*) технологије моделирања дела депоновањем топљеног материјала. У наставку су наглашени проблеми ортопедских плочица у експлоатационим условима, уз осврт на доступна сазнања о примени ортопедских плочица од полимерних материјала. Такође, наглашене су предности PLA полимера за овакве примене.

У другом сегменту описане су механичке особине и структура PLA полимера, са посебним нагласком на утицај параметара адитивне производње на механичке особине израђеног дела.

У трећем сегменту наглашава се значај механике лома и њених параметара за процену интегритета и преосталог радног века израђених делова, са посебним нагласком на примене ове научне дисциплине у опису понашања делова израђених од полимерних материјала. Такође, овде су наглашена доступна сазнања о процени интегритета адитивно произведених делова од полимерних материјала са аспекта механике лома, кроз њене предности и ограничења.

У четвртом сегменту наглашена су нумеричка решења за процену интегритета и преосталог радног века делова са укљученим дефектом типа прслине. На тај начин се својеврсно уводи у доступна сазнања о нумеричким симулацијама адитивно произведених делова, са коначним освртом на делове произведене од полимерних материјала.

У петом сегменту помињу се статистичке методе које су се показале валидним у процени утицаја параметара адитивне производње на механичке особине, као и на параметре механике лома.

Шести сегмент коначно дефинише проблем, односно предмет овог истраживања, уз дефинисање научних хипотеза и циљева истраживања.

**Поглавље 2:** Аналитичке основе и приступи испитивању отпорности на лом адитивно произведених делова

У овом поглављу кандидат приказује аналитичке основе линеарно-еластичне механике лома (ЛЕМЛ) и еласто-пластичне механике лома (ЕПМЛ), уз аналитички приказ доступних начина процене заморног раста прслине. Такође, овде су наведени одговарајући приступи који доприносе процени преосталог радног века изграђених делова са унетим дефектом.

Описане су 2Д и 3Д технике методе корелације дигиталних слика- DIC (*енгл., Digital Image Correlation*) које су коришћене у овом истраживању. Затим су кратко приказане аналитичке основе методе коначних елемената (МКЕ), као и аналитичке основе проширене методе за анализу структура са прслином. Поменута је и нова (комерцијална) техника нумеричке анализе, такозвана SMART (*енгл., Separating, Morphing, Adaptive, Remeshing Technology*). Такође, направљен је посебан осврт на конститутивне моделе материјала којима се описује вискоеластично-вископластично понашање полимерних материјала.

На крају овог сегмента, представљене су аналитичке основе коришћених статистичких метода.

**Поглавље 3:** Експериментална и нумеричка методологија истраживања

У овом поглављу кандидат представља методологију истраживања, односно разматране параметре адитивне производње (количину испуне и висину слоја), као и серије и типове коришћених епрувета за експериментална испитивања. Ово поглавље дели се на следеће сегменте:

1. Испитивање PLA епрувета на затезање
2. Испитивање жилавости лома према ЛЕМЛ
3. Испитивање жилавости лома према ЕПМЛ
4. Испитивање заморног раста прслине код PLA епрувета
5. Нумеричке симулације модела ортопедских плочица

У првом сегменту дат је приказ испитивања на затезање, чији су резултати неопходни за аналитички прорачун валидности испитивања жилавости лома према ЛЕМЛ. Такође, рађена су испитивања на затезање при различитим брзинама оптерећења, као и посебна испитивања релаксације материјала и узастопних циклуса оптерећења ради софтверске калибрације конститутивних модела материјала.

Испитивања жилавости лома према ЛЕМЛ спроведена су према одговарајућем стандарду, а испитивања жилавости лома према ЕПМЛ урађена су према осмишљеној методологији која се ослања на доступне технике и допуњује их коришћењем 3Д DIC технике, нумеричких метода и одговарајућих статистичких алата. Постављена хибридна метода процене критичних вредности параметара ЕПМЛ представља један од научних доприноса истраживања.

Затим је приказан начин испитивања заморног раста прслине на одговарајућем уређају (пулзатору), уз коришћење 2Д DIC технике. Циљ овог дела истраживања је добијање адекватних Парисових коефицијената ради спровођења нумеричких симулација на моделима ортопедских плочица.

На крају овог поглавља приказана је методологија конструкције нумеричких модела ортопедских плочица, као и начин њихових симулација уз одговарајуће услове оптерећења и граничне услове.

#### **Поглавље 4: Експериментални и нумерички резултати и дискусија**

У овом поглављу кандидат показује и дискутује резултате научно-истраживачког рада према сегментима дефинисаним у методологији истраживања. Приказани су резултати експерименталног испитивања на затезање и детаљно је проанализиран утицај разматраних параметара адитивне производње на основне механичке особине PLA полимера. Такође, приказани су резултати софтверске калибрације конститутивних модела материјала, као и резултати посебних испитивања спроведених за потребе овог поступка.

У наставку су приказани резултати процене жилавости лома применом линеарно-еластичне механике лома (ЛЕМЛ) и наглашене су серије епрувета код којих није била могућа валидна процена према принципима ЛЕМЛ. Серије код којих није била могућа валидна процена према принципима ЛЕМЛ испитане су применом нове методологије која се ослања на аналитичке поставке еластично-пластичне механике лома (ЕПМЛ), уз коришћење тродимензионалне оптичке методе корелације слика (3Д DIC), нумеричких симулација статичког раста прслине и статистичких алата за процену утицаја узајамних параметара (вишеструка линеарна регресија). Предложена методологија је верификована на серијама епрувета које су делимично испуниле критеријуме стандарда за процену жилавости лома према ЛЕМЛ. Потом је предложени приступ искоришћен за прорачун жилавости лома према ЕПМЛ на преосталим серијама епрувета које нису могле да се процене путем принципа ЛЕМЛ, а чије су вредности затим аналитички прерачунате у одговарајући параметар који повезује ЛЕМЛ и ЕПМЛ принципе, чиме је омогућено једнозначно поређење свих разматраних серија епрувета са различитим количинама испуне и висинама слоја.

Жилавост лома представља кључни параметар за процену носивости и интегритета конструкција са присутним дефектом типа прслине. Истраживање је показало да количина испуне (степен попуњености), поред утицаја на коначне вредности жилавости лома, директно утиче и на промену напонског стања у околини врха прслине, због чега се основни принципи ЛЕМЛ нису могли применити за тачну процену код епрувета са мањим количинама испуне. На свим испитаним висинама слоја добијени су идентични закључци, чиме је искључена могућност експерименталне случајности.

Резултати испитивања заморног раста прслине показали су да висина слоја не утиче само на коначни заморни век, већ да код већих висина слоја (грубљи параметри адитивне производње) долази до скретања правца простирања прслине, што добијене резултате чини невалидним према стандарду. Ради увођења напонског ограничења у околини врха прслине и спречавања скретања, на таквим епруветама су примењени бочни зарези. Међутим, том приликом је уочено да се раст прслине одвија испод адитивно произведених слојева бочног зареза. Упркос томе, и у овом сегменту су изведени значајни закључци који представљају изворни научни допринос. Резултати добијени за најмању висину слоја искоришћени су као улазни параметри за нумеричке симулације заморног раста прслине на моделима ортопедских плочица.

Резултати нумеричких симулација заморног раста прслине на моделима ортопедских плочица анализирани су на десет конструисаних геометријских модела са различитим количинама испуне. Свеобухватно је анализирана насумичност добијених резултата, при чему је применом одговарајућих статистичких метода (ANOVA и корелациона анализа) установљен квантитативни утицај површине попречног пресека и локалне запремине материјала на резултате симулација. Као додатна потврда изнетих закључака, искоришћени су и резултати анализе расподеле фактора интензитета напона дуж фронта прслине за све разматране нумеричке моделе.

## **Поглавље 5: Закључак**

У овом поглављу кандидат је детаљно и систематски сумирао закључке целокупне докторске дисертације на основу остварених експериментално-нумеричких резултата, примењених статистичких метода обраде података, као и критичке анализе спроведене у претходном поглављу. Поред тога, кандидат је дао пажљиво формулисан осврт на отворена научна питања која су проистекла из приказаног истраживања, као и на могућности даље примене дефинисане методологије испитивања за процену интегритета адитивно произведених полимерних структура са дефектима.

## **Поглавље 6: Литература**

Ово поглавље садржи списак литературе која је коришћена у изради ове докторске дисертације.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

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

Истраживања утицаја параметара адитивне производње на отпорност на лом израђених делова налазе се у самом врху савремених научних приоритета. Иако су основне механичке особине адитивно произведених делова од полимерних материјала релативно добро проучене, карактеризација жилавости лома и заморног раста прслине код анизотропних и нехомогених полимерних материјала (попут PLA) и даље представљају отворено научно питање. Савременост ове дисертације огледа се у развоју интегралног експериментално-аналитичко-нумеричко-статистичког приступа, који методолошки прати најновије трендове у области механике лома и адитивне производње.

Оригиналност рада огледа се у превазилажењу ограничавајућих услова линеарно-еластичне механике лома (ЛЕМЛ) за епрувете са мањом количином испуне, кроз формулисање нове методологије засноване на принципима ЕПМЛ, 3Д DIC методи, нумеричким симулацијама и статистичким алатима. Поред експерименталне идентификације специфичних феномена код заморног раста прслине (скретање прслине и ефекти бочних зареза), кандидат је на оригиналан начин повезао нумеричке симулације, анализу фактора интензитета напона и статистичке алате (ANOVA, корелациона анализа). Тиме су прецизно разјашњени узроци насумичности резултата и дефинисана је квантитативна веза између локалне геометрије и заморног века адитивно произведених ортопедских плочица, што даје директан научни и практични допринос у биомедицинском инжењерству.

#### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

У овој докторској дисертацији коришћена је обимна и савремена литература из различитих научних области која је у директној вези са предметом и темом истраживања. Услед комплексности саме теме, кандидат је обухватио литературу посвећену утицају параметара адитивне производње на основне механичке особине полимерних материјала, као и на параметре механике лома.

Приказани су и проанализирани стандардизовани и савремени поступци испитивања адитивно произведених епрувета, са посебним акцентом на експерименталне методе за процену жилавости лома и заморног раста прслине. Поред експерименталних истраживања, обухваћена је релевантна литература из области нумеричке анализе (метода коначних

елемената и проширена метода) и статистичких алата примењених за процену утицаја параметара адитивне производње.

Наведена литература послужила је кандидату као сигурна полазна основа за формирање детаљног прегледа стања у овој научној области. Референце коришћене у раду систематски су наведене на крају докторске дисертације, при чему се кандидат примарно ослањао на резултате, анализе и закључке објављене у водећим међународним научним часописима високог ранга, као и у зборницима радова са еминентних међународних конференција.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У истраживању су примењене одговарајуће експерименталне, нумеричке и статистичке методе, у складу са постављеним предметом, циљевима и научним хипотезама истраживања. Експериментални део обухватио је испитивања затезних особина PLA полимера, испитивања жилавости лома према принципима линеарно-еластичне и еласто-пластичне механике лома, као и испитивања заморног раста прслине. За мерење деформација и праћење отварања прслине примењена је метода корелације дигиталних слика (DIC), док су за нумеричку анализу и симулацију раста прслине коришћене методе засноване на методи коначних елемената (MKE) и SMART технологији.

Посебан значај има примена хибридне методологије за процену параметара еласто-пластичне механике лома, којом су комбиновани експериментални резултати, аналитички прорачуни, нумеричке симулације и статистичка обрада података. На овај начин омогућена је процена параметара механике лома и код серија епрувета код којих није било могуће применити стандардизоване поступке у целости.

Примењене методе су адекватне за решавање постављеног научног проблема, јер омогућавају свеобухватно испитивање утицаја параметара адитивне производње на механичко понашање и отпорност на лом конструкција од PLA полимера. Комбиновањем експерименталних испитивања са нумеричким симулацијама омогућена је анализа понашања делова са дефектом типа прслине, као и процена њиховог преосталог радног века. Примена статистичких метода додатно је омогућила квантитативну анализу утицаја појединачних параметара и формирање предиктивних модела.

На основу приказаних метода и начина њихове примене може се закључити да су одабране научне методе одговарајуће постављеном предмету и циљевима истраживања и да пружају адекватну основу за проверу постављених научних хипотеза и извођење релевантних закључака.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати остварени у оквиру ове докторске дисертације, поред несумњиве научне вредности и фундаменталног доприноса области механике лома и адитивне производње, поседују и изражену практичну и апликативну примењивост, посебно у биомедицинском инжењерству.

Главни правци практичне примене остварених резултата обухватају:

- Смернице за дизајн и адитивну производњу ортопедских плочица: Формулисане су егзактне препоруке за избор оптималних параметара адитивне производње (количине испуне и висине слоја) при изради PLA ортопедских плочица, чиме се обезбеђује максимална отпорност на лом и продужен заморни век конструкције.
- Процена интегритета полимерних конструкција са дефектима: Развијен је експериментално-нумеричко-статистички методолошки оквир који омогућава

инжењерима у пракси да поуздано процене носивост адитивно произведених полимерних елемената уколико током производње или експлоатације дође до појаве дефеката типа прслине.

- Ефикаснија експериментална карактеризација: Нова методологија за процену жилавости лома заснована на ЕПМЛ-у, 3Д DIC методи, нумеричким симулацијама и статистичким алатима омогућава поуздано дефинисање параметара лома за анизотропне адитивно произведене конструкције уз значајно смањење броја потребних узорака, чиме се драстично смањују време и трошкови испитивања.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације, кандидат је показао високу научну зрелост и пуну оспособљеност за самосталан и системски научно-истраживачки рад. Кроз анализу комплексних феномена механике лома и адитивне производње, кандидат је демонстрирао изузетну способност формулисања и решавања захтевних научних проблема, као и аналитички приступ у критичкој интерпретацији добијених резултата. Висок ниво знања кандидата у областима науке о материјалима, експерименталне механике лома и нумеричког моделирања потврђен је успешним полагањем свих испита на докторским студијама, али пре свега кроз објављивање радова у врхунским међународним научним часописима, чиме је доказао да у потпуности поседује компетенције за самостално вођење сложених научних истраживања.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

На основу спроведених експерименталних, нумеричких и статистичких истраживања приказаних у дисертацији, кандидат је формулисао следеће научне доприносе:

- Доказано је да степен попуњености (количина испуне) критично утиче на напонско стање у околини врха прслине, тако да нижи степени попуњености узрокују изражене локалне деформације, због чега се принципи линеарно-еластичне механике лома (ЛЕМЛ) не могу применити.
- Дефинисана је и успешно верификована нова методологија за процену жилавости лома према принципима еластично-пластичне механике лома (ЕПМЛ), која омогућава поуздану анализу без потребе за обимним серијама узорака или сложеним аналитичким поступцима карактеристичним за постојеће методе. Интеграцијом аналитичких поставки ЕПМЛ-а, 3Д DIC методе, нумеричких симулација и статистичких алата, омогућена је квалитетна процена жилавости лома и њено једнозначно поређење са серијама узорака које су испуниле услове линеарно-еластичне механике лома (ЛЕМЛ).
- При испитивању заморног раста прслине доказан је пресудан утицај висине слоја на валидност резултата. Утврђено је да веће висине слоја доводе до скретања правца простирања прслине, док примена бочних зареза, уведених ради напонског ограничења у околини врха прслине, узрокује специфичан механизам раста испод самих слојева зареза. Самим тим, показано је да само најмање висине слоја (најфинија резолуција) омогућавају стабилан и правилан раст прслине у складу са захтевима релевантног стандарда.
- Применом нумеричких симулација заморног раста прслине на десет геометријских модела ортопедских плочица, уз статистичку обраду података (ANOVA и корелациона анализа) и детаљан преглед расподеле фактора

интензитета напона дуж фронта прслине, дефинисана је тачна квантитативна веза и утврђен је утицај параметара количине испуне на преостали заморни век модела ортопедских плочица.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Прегледом релевантне научне литературе и постојећих решења из области које обухватају тему ове докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати, примењени експериментални, нумерички и статистички поступци, као и развијена методологија анализе резултата, изузетно значајни и научно у потпуности утемељени. Увидом у постављене циљеве истраживања и резултате представљене у овој свеобухватној студији, Комисија констатује да су пружени егзактни одговори на сва дефинисана научно-истраживачка питања.

Кандидат је применом савремених научних метода дао суштински допринос разумевању сложених феномена лома и замора адитивно произведених полимерних структура. Изведени закључци и развијени експериментално-нумеричко-статистички методолошки оквир имају висок научни и практични потенцијал, те могу послужити као поуздана основа за даља истраживања интегритета биомедицинских имплантата и оптимизацију процеса адитивне производње конструкционих елемената са присуством дефеката.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси доктората верификовани су следећим радовима:

##### Категорија M21:

1. **Milovanović, A.**, Sedmak, S., Sedmak, A., Vučetić, F., Monkova, K.: Influence of Infill Density on the Fatigue Performance of FDM-Manufactured Orthopaedic Plates, *Materials*, vol. 19, no. 4, pp. 1-20, 2026 (**IF=3.7**) (ISSN 1996-1944). DOI: 10.3390/ma19040816

##### Категорија M22:

1. **Milovanović, A.**, Sedmak, A., Paunić, M., Mitrović, A., Popović, M., Milošević, M.: Tensile properties of pure PLA polymer dedicated for additive manufacturing, *Structural Integrity and Life*, vol. 24, no. 3, pp. 263-268, 2024 (**IF=0.9**) (ISSN 1820-7863). DOI: 10.69644/ivk-2024-03-0263

##### Категорија M33:

1. **Milovanović, A.**, Babinský, T., Sedmak, A., Filipović, I., Milošević, M.: The effect of infill density on fracture toughness results of PLA material. *Procedia Structural Integrity*, vol. 68, pp. 922-928, 2025.
2. **Milovanović, A.**, Poduška, J., Trávníček, L., Náhlík, L., Sedmak, A., Milošević, M., Berto, F.: Side-groove effect on fracture mechanical fatigue testing of PLA material, *Procedia Structural Integrity*, vol. 42, pp. 847-856, 2022.
3. **Milovanović, A.**, Milošević, M., Trajković, I., Sedmak, A., Razavi, N., Berto, F.: Crack path direction in plane-strain fracture toughness assessment tests of quasi-brittle PLA polymer and ductile PLA-X composite, *Procedia Structural Integrity*, vol. 42, pp. 1376-1381, 2022.
4. **Milovanović, A.**, Golubović, Z., Trajković, I., Sedmak, A., Milošević, M., Václavík, E., Marsavina, L.: Influence of printing parameters on the eligibility of plane-strain fracture toughness results for PLA polymer, *Procedia Structural Integrity*, vol. 41, pp. 290-297, 2022.
5. **Milovanović, A.**, Sedmak, A., Grbović, A., Golubović, Z., Milošević, M., 2021. Influence of second phase particles on fracture behavior of PLA and advanced PLA X material. *Procedia Structural Integrity* 31, str. 122-126. DOI: 10.1016/j.prostr.2021.03.020

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом „УТИЦАЈ ПАРАМЕТАРА АДИТИВНЕ ПРОИЗВОДЊЕ НА ОТПОРНОСТ НА ЛОМ ОРТОПЕДСКИХ ПЛОЧИЦА ОД PLA ПОЛИМЕРА” кандидата Алекса Љ. Миловановића, маг. инж. маш., прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Алекса Љ. Миловановић, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да докторска дисертација представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области машинског инжењерства, ужа научна област Технологија материјала.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
доц. др Ненад Милошевић  
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....  
Проф. др Михајло Поповић  
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....  
Проф. др Александар Грбовић  
Универзитет у Београду - Машински факултет

.....  
доц. др Александра Митровић  
Криминалистичко – полицијски универзитет у  
Београду

.....  
доц. др Александра Чаировић  
Универзитет у Београду - Стоматолошки факултет