

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

25/2

(Број захтева)

Веће научних области техничких наука(Назив већа научне области коме се захтев
упућује)16.01.2025.

(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:

**НАПРЕДНО МОДЕЛИРАЊЕ ВИБРАЦИОНИХ ТРАНСПОРТЕРА ПРИМЕНОМ РОДРИГОВОГ
ПРИСТУПА**

(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: Машинско инжењерство (ужа научна област: Механика)

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

- Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:
УРОШ (ЉУБИША) ИЛИЋ
- Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35
- Година завршетка претходног нивоа студија: 2021.
- Година уписа на докторске студије: 2021.
- Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Михаило Лазаревић

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. N. Rosić, D. Karličić, M. Cajić, S. Adhikari and M. Lazarević, (2024), Wave propagation in tailored metastructures consisting of elastic beams and rigid bodies, Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol.382, Iss.2279, pp.1-14, Sept.2024. DOI:<https://doi.org/10.1098/rsta.2023.0362>, IF 2022: 5.0, M21
2. Nešić N., Cajić M., Karličić D., Lazarević M., Adhikari S., (2023). Vibration and stability of a nonlinear nonlocal strain-gradient FG beam on a visco-Pasternak foundation, Facta Universitatis Series: Mechanical Engineering, pp.1-25, 2023, DOI:10.22190/FUME230419022N, IF 2022:7.9 M21a
3. P.Mandić, T.Šekara, M.Lazarević, M.Bošković, (2017), Dominant pole placement with fractional order PID controllers: D-decomposition approach, ISA Transactions, Vol.67, March 2017, pp. 76-86., 2017. DOI: 10.1016/j.isatra.2016.11.013 IF 2016: 3.4 M21a
4. M. Cajić, D. Karličić, M. Lazarević, (2017). Damped vibration of a nonlocal nanobeam resting on viscoelastic foundation: fractional derivative model with two retardation times and fractional parameters, Meccanica, vol.52, Issue 1-2, pp. 363-382, 2017, DOI: 10.1007/s11012-016-0417-z IF 2016: 2.196 M21
5. Lazarević, M., (2015). Elements of mathematical phenomenology of self-organization nonlinear dynamical systems: Synergetics and fractional calculus approach, International Journal of Non-Linear Mechanics, 73, 31-42, 2015, DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2014.11.011 IF 2014: 1.977 M21
6. D. Radojević, M. P. Lazarević, (2022). Further Results on Finite-Time Stability of Neutral Nonlinear Multi-Term Fractional Order Time-Varying Delay Systems, Filomat 36:5 (2022), 1775–1787 <https://doi.org/10.2298/FIL2205775R>, IF 2021: 0.988 M22
7. M Cajić, M.P.Lazarević, (2014). Fractional order spring/spring-pot/actuator element in a multibody system: Application of an expansion formula, Mechanics Research Communications 62 (2014) pp.44– 56. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2014.08.009> IF 2013: 1.495 M22
8. M. P Lazarević, P. D Mandić, S.Ostojić, (2021), Further results on advanced robust iterative learning control and modeling of robotic systems, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, November 3, <https://doi.org/10.1177/0954406220965996>, Volume 235 Issue 20, October 2021, accepted 2020, IF 2020: 1.762 M23

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Емил Веџ

Звање: ванредни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Milovancevic M., Nikolic V., Petkovic D., Vracar Lj., **Veg E.**, Tomic N., Jovic S.: *Vibration analyzing in horizontal pumping aggregate by soft computing*, Measurement, vol. 125, 2018, pp. 454 - 462, doi:10.1016/j.measurement.2018.04.100, **ISSN 0263-2241 (IF=2.826)**
2. Markovic I., Markovic D., Ilic J., Simonovic V., **Veg E.**, Sinikovic G., Gubeljak N.: *Application of Statistical Indicators for Digital Image Analysis and Segmentation in Sorting of Agriculture Products*, - Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, vol. 25, br. 6, 2018, pp. 1739 - 1745, doi:10.17559/TV-20171129091703, **ISSN 1330-3651 (IF=0.644)**
3. Flajs Z., **Veg E.**, Gubeljak N., Šinikovic G.: *Deflection Calculation for Beam-type Structures from Measured Strain Data*, - Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, vol. 27, br. 2, 2020, pp. 665-670, doi:10.17559/TV-20200123124502, **ISSN 1330-3651 (IF=0.644)**
4. Medojević I., **Veg E.**, Joksimović A., Ilić J.: *Promotion of Color Sorting in Industrial Systems Using a Deep Learning Algorithm*, Applied Sciences, Vol. 12, No. 24, ISSN 2076-3417, 2022, doi: 10.3390/app122412817, **(IF=2.838)**
5. Šiniković G., Gubeljak N., **Veg E.**, Regodić M., Jagarinec D., Marković I., Jeli Z.: *Rolling Bearing Fault Detection in the Range of Ultrasound*, Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette, vol. 30, No. 3, 2023, pp.830-836, doi: 10.17559/TV-20220919121221, **ISSN 1330-3651 (IF=0.864)**

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 16.01.2025. 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: 25/2
Датум: 16.01.2025. 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 16.01.2025. 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 **УРОША ИЛИЋА**, маг. инж. маш. под насловом „**НАПРЕДНО МОДЕЛИРАЊЕ ВИБРАЦИОНИХ ТРАНСПОРТЕРА ПРИМЕНОМ РОДРИГОВОГ ПРИСТУПА**“.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Александар Обрадовић, ред. проф., др Немања Зорић, ред. проф., др Бранислав Попконстантиновић, ред. проф., др Петар Мандић, ванр. проф. и др Жељко Деспотовић, научни саветник, Универзитет у Београду – Институт Михајло Пупин.

За менторе докторске дисертације именују се др Михаило Лазаревић, редовни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета и др Емил Вег, ванредни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Владимир Поповић

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ**

ВЕЋУ ЗА ДОКТОРСКЕ СТУДИЈЕ

Београд, 31. децембар 2024. године

**ИЗВЕШТАЈ О НАУЧНОЈ ЗАСНОВАНОСТИ ТЕМЕ
ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета бр. 1999/3 од 24.12.2024. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Уроша Илића, магист.инж.маш., под насловом:

**НАПРЕДНО МОДЕЛИРАЊЕ ВИБРАЦИОНИХ ТРАНСПОРТЕРА
ПРИМЕНОМ РОДРИГОВОГ ПРИСТУПА**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Име и презиме:	Урош Љ. Илић
Датум рођења:	29. септембар 1997.
Место рођења:	Ужице, Република Србија
Адреса:	Универзитет у Београду – Машински факултет Институт Михајло Пупин Волгина 15, 11060 Београд
Контакт телефон:	064/3358006
email:	uros.ilic@pupin.rs

Основни подаци

2012. Завршио Прву основну школу краља Петра Другог у Ужицу са одличним успехом
2016. Завршио Ужичку гимназију са одличним успехом
- 2016-2019. Студент Основних академских студија, Универзитет у Београду, Машински факултет. Укупна просечна оцена током студија 9,69 (девет и 69/100)
- 2019-2021. Студент Мастер академских студија, модул Производно машинство. Укупна просечна оцена током студија износи 9,85 (девет и 85/100). Дипломирао је са оценом 10 (десет) одбранивши Мастер рад на тему „Дворучни манипулатор за монтажу комплексних објеката“ из предмета Мехатроника, под менторством ванр. проф. Емила Вега.
- 2021-... Уписане Докторске академске студије на Универзитету у Београду, Машински факултет. Број индекса Д13/21.
- 2022-2024. Студент Мастер академских студија на Универзитету у Београду Електротехничком факултету, на модулу Информационо комуникационе технологије. Положио је све неопходне допунске предмете предвиђене услед разлике положених предмета на ОАС, а предмете предвиђене курикулумом на МАС је положио са просечном оценом 10 (десет).

Похвале, награде и достигнућа

- 2017-2021. Похвале поводом Дана Машинског факултета У Београду за одличан успех постигнут током претходне школске године. Похвале добијене за сваку школску годину током школовања.
2019. Доситеја: Стипендиста Фонда за младе таленте Републике Србије за последњу годину основних академских студија (школска 2018-2019).
2021. Доситеја: Стипендиста Фонда за младе таленте Републике Србије за последњу годину мастер академских студија (школска 2020-2021).
2021. Стипендија Министарства Просвете за изузетно надарене ученике и студенте (школска 2020-2021).
2021. Награда „Професор Тодор Пантелић“ за најбољи Мастер рад, коју додељује Фонд за развој теорије машина и механизма.

Радно искуство

- јан-мај 2022. Погонски инжењер на пословима одржавања, запослен у ваљаоници алуминијума Импол Севал АД у Севојну.
- мај 2022-... Кандидат је од маја 2022. године запослен на Институту Михајло Пупин у оквиру Центра за роботiku у својству истраживача-приправника. Запослен је у оквиру петог Јавног позива талентованим младим истраживачима – студентима докторских академских студија за укључивање у научноистраживачки рад у акредитованим НИО.

Истраживачке области

- Роботски и мехатронички системи, Вибрациони транспорт, Моделирање динамичких система, Електромагнетни вибрациони актуатори.

Познавање страних језика

- Енглески језик – напредни ниво.
- Немачки језик – средњи ниво.
- Руски језик – основни ниво.

Познавање рада на рачунар.

- Напредно познавање софтверског пакета *Microsoft Office (Word, Excel, Power Point)* и *Adobe Photoshop* софтвера. Активно се служи CAD софтверским алатима *SolidWorks, AutoCAD* и *EmWorks*, као и програмским језицима *MATLAB, C, C++* и *Python*.

Остало

- Поседује возачку дозволу Б категорије.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

Кандидат Урош Илић, магистар машиничког инжењерства, уписао је Докторске академске студије на Универзитету у Београду, Машинском факултету школске 2021/2022. године. У циљу реализације Програма усавања, на Докторским студијама Машинског факултета положио је следеће обавезне и изборне предмете: Виши курс математике (оцена 8), Изабрана поглавља из механике робота (оцена 10), Интегрисани технички системи-актуатори (оцена 10), Истраживање и публикавање 1 (оцена 10), Истраживање и публикавање 2 (оцена 10), Истраживање и публикавање 3 (оцена 10), Истраживање и публикавање 4 (оцена 10), Напредна роботика – изабрана поглавља (оцена 10), Нумеричке методе (оцена 10), Одабрана поглавља из механике флуида (оцена 8), ОМНИР и комуникација (оцена 9), Пројекат идеје докторске дисертације (Оцена 10), Пројектовање мехатроничких система (оцена 10) и Синтеза механизма (оцена 10). У складу са чланом 21. Правилника о Докторским студијама Универзитета у Београду, Машинског факултета, кандидат Урош Илић је остварио укупно 120 ЕСПБ, чиме је испунио основни услов да пријави тему докторске дисертације. Поред бављења научноистраживачким (нумеричким и експерименталним) радом, на Институту Михајло Пупин учествује у реализацији текућих послова за привреду у оквиру Центра за роботiku. Показује афинитет ка темама из области роботике (математичко моделовање и симулација роботских система) и мехатронике (електромагнетни вибрациони актуатори, транспорт материјала побудом вибрационе природе), што се може закључити и по списку објављених научних радова и других релевантних резултата и активности приказаном у наставку.

Зборници међународних научних скупова (М30)

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (М33)

- [1] Илић У., Šumarac J., Stevanović I., Rodić A. (2021) *Interface development dedicated to connecting CAD tools for 3D modelling of complex objects and industrial robot's controller*, RO11.2, pp. 562-567 In Proceedings of the IcETran2021, Stanišići, Bosnia and Herzegovina, August, 2021. Available from https://www.etrans.rs/2021/zbornik/Proceedings/Zbornik_Proceedings.pdf

- [2] Nenadovic M., **Ilić U.**, Rodić A. (2021) *Fusion of Camera-Acquired Data and CAD 3D Models of Objects in Forming a Visual Feedback Loop for Industrial Robots*, ROII.5, pp. 579-583 In Proceedings of the IcETran2022, Stanišići, Bosnia and Herzegovina, August, 2021. Available from: https://www.etrans.rs/2021/zbornik/Proceedings/Zbornik_Proceedings.pdf
- [3] Šumarac, J., **Ilić U.**, Rodić, A., Xu, X. (2022). *Intelligent Robotic Knowledge-Supported Visual Recognition of Handled Objects in Conditions of Acquiring Incomplete Information*. In: Müller, A., Brandstötter, M. (eds) *Advances in Service and Industrial Robotics*. RAAD 2022. Mechanisms and Machine Science, pp.122-132, vol 120. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04870-8_15
- [4] **Ilić U.**, Đurović M., Joksimović A., Veg E. (2022) *A Design of a Two-Armed Robot for Complex Objects Assembly* In: Proceedings of 8th International conference on Industrial engineering – SIE 2022 pp.:78-81. https://hdl.handle.net/21.15107/rcub_machinery_6104
- [5] Đurović M., **Ilić U.**, Joksimovic A. , Veg E. (2022) *The Principle of Designing the Filling of an Open Rapid Sand Filter by The Method of Prescribing the Minimum Mass of an Individual Layer of Filling*, In: Proceedings of 8th International conference on Industrial engineering – SIE 2022. pp. 346-348. https://hdl.handle.net/21.15107/rcub_machinery_6104
- [6] Radmilović M., **Ilić U.**, Despotović Ž., Kljajić J., Šumarac J., Pavlović A., Đešnić P. (2023) *Sustainable and Automated Production Process of Seedlings Using Robotic Systems*, In: Proceedings of SYNERGY2023, pp. 112-115. Belgrade, September 2023
- [7] Stevanović I., **Ilić U.**, Rodić A. (2023). *Prototyping of Robot Harvester for Plum Farmyards– Mechanical Design*. (2023) In: Petrič, T., Ude, A., Žlajpah, L. (eds) *Advances in Service and Industrial Robotics*. RAAD 2023. Mechanisms and Machine Science, pp. 470-477, vol 135. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-32606-6_55
- [8] Despotović Ž., Radmilović M., Kljajić J., **Ilić U.**, (2024) *Robotics in Agriculture 4.0: An Automated Seedling Production and Pest Detection, at International Multidisciplinary Conference, Challenges of Contemporary Higher Education* - CCHE 2024, vol. 1, pp. 569-573. Kopaonik, Serbia
- [9] Rodić, A., **Ilić U.**, Stevanović, I. (2024). *AI-Based Multi-criteria Path Planning of Cartesian Robot with Telescopic Arm for Tree Fruit Picking*. In: Pislá, D., Carbone, G., Condurache, D., Vaida, C. (eds) *Advances in Service and Industrial Robotics*. RAAD 2024. Mechanisms and Machine Science, pp. 451-461, vol 157. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59257-7_45

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

- [1] Trajković I., Joksimović A., **Ilić U.**, Djurović M., Lukić T., Lazarević J., Milošević M., (2022) *Experimental determination of flexural strength on cylindrical and plate samples produced by additive manufacturing from ABSX material*, pp 21. in Book of Abstracts: 3rd International Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials – RdAMM2 Belgrade, Serbia, 4th –6th October 2022, Available from: <https://machinery.mas.bg.ac.rs/handle/123456789/5928>
- [2] Đurović, M., Joksimović, A., **Ilić U.**, Veg, E., Trajković, I. (2022). *Significance of designing the filling of an open rapid sand filter when removing impurities from water*. pp. 71 in Book of Abstracts: 3rd International Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials – RdAMM2. in https://www.siramm.unipr.it/2_Events/3rdWorkshop/RdAMM22_programme_.pdf
- [3] **Ilić U.**, Joksimović A., Đurović M., Veg E., Trajković I. (2022) *Development and design of a two-armed robot from the aspect of mechatronics*, pp. 68. in Book of Abstracts of 3rd International

Workshop on Reliability and Design of Additively Manufactured Materials – RdAMM2, Available from: https://www.siramm.unipr.it/2_Events/3rdWorkshop/RdAMM22_programme_.pdf

- [4] **Илић У.**, Despotović Ž., (2024) *Modeliranje Uticaja Magnetnog Zasićenja Na Elektromagnetnu Silu Vibracionog Aktuatora*, In: Proceedings from ENERGETIKA 2024, pp 36, Zlatibor, Srbija, Jun 2024.
- [5] **Илић У.**, Veg E., (2024) *Various Lissajous Figures and Their Implication in Vibratory Technology*, In: Proceedings of 2nd International Conference on Mathematical Modelling in Mechanics and Engineering, pp. 75-76, Mathematical Institute SANU, Sep. 2024.
- [6] **Илић У.**, Lazarević M. (2024) *Applying Rodrigues' Formula for Kinematic Modeling of Vibratory Conveyors*, In: Proceedings of 2nd International Conference on Mathematical Modelling in Mechanics and Engineering, pp.59-60, Mathematical Institute SANU, Sep. 2024.
- [7] **Илић У.**, Lazarević, M.; Veg, E.; Despotović, *The electromagnetic vibratory actuator load during the transport of a rigid body on a vibratory conveyor*, in Proceedings of the 2nd International Electronic Conference on Actuator Technology, pp. 29, 4–6 November 2024, MDPI: Basel, Switzerland

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (M63)

- [1] М. Radmilović, **У. Илић**, Ž. Despotović, J. Kljajić, J. Šumarac, A. Pavlović, and P. Đešnić, (2023) *Robotizovani i automatizovani sistem za proizvodnju sadnica i otkrivanje parazita*, in Zbornik radova XI Savetovanje Energetska Efikasnost i Obnovljivi Izvori Energije, Požarevac, Serbia, Sep. 2023, pp. 63–70, ISBN: 978-86-905702-0-1.

Објављени патенти на националном нивоу (M94)

- [1] Родић А., Стевановић И., **Илић У.**, Шумарац Ј., Кљајић Ј., Деспотовић Ж., Радмиловић М., (2024) *Робот-комбајн за машинско брање, класификацију квалитета и паковање конзумних шљива непосредно у воћњацима са помоћним системом за аутоматско одлагање напуњене амбалаже*, Објављен у Заводу за интелектуалну својину Републике Србије, Број пријаве П-2023/0293
- [2] Радмиловић М., Кљајић Ј., **Илић У.**, Деспотовић Ж., Павовић А., Ђешнић П., Шумарац Ј., Стевановић И., Родић А., (2024) *Систем за производњу расада применом робота и машинског учења и поступак аутоматизоване производње и неге расада*, Објављен у Заводу за интелектуалну својину Републике Србије, Број пријаве П-2023/0268

Учешће на научно-истраживачким, стручним и развојним пројектима

- [1] Фонд за Иновациону делатност Републике Србије: *Израда студије изводљивости и идејног решења манипулативног робота за брање конзумних шљива*, Иновациони ваучер бр. 2021/124
- [2] Фонд за Иновациону делатност Републике Србије: *Машинско конструисање и израда манипулативног робота за брање конзумних шљива*, Иновациони ваучер бр. 2021/125
- [3] Фонд за Иновациону делатност Републике Србије: *Интеграција демонстрационог прототипа манипулативног робота за брање шљива и доказ концепта*, Иновациони ваучер бр. 2021/126
- [4] Радмиловић М., Кљајић Ј., **Илић У.**, Деспотовић Ж., *Традиција и иновације у служби циркуларне пољопривреде*, Пројекат је био финансиран у оквиру Пројеката Смањење угљеничног отиска локалних заједница применом принципа циркуларне економије у Републици Србији – Циркуларне заједнице, Министарства заштите животне средине и Програма Уједињених нација за развој (УНДП), 2023. година

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Својим досадашњим научно-истраживачким активностима кандидат Урош Илић је испољио заинтересованост, квалитет и стручност за научно-истраживачки рад. Поред положених испита, одслушаних предавања и одбрањеног Пројекта идеје докторске дисертације, у протеклом периоду спровео је различита нумеричка и експериментална истраживања, учествовао у реализацији више научно-истраживачких и стручних пројеката и публиковао значајан број научних радова из области којој припада предложена тема. Досадашњи објављени радови и истраживачка делатност кандидата су суштински повезани са научном облашћу којој припада тема предложене докторске дисертације и квалификују кандидата за успешан и ефикасан теоријски и експерименталан рад на предложеној теми. Комисија сматра да је кандидат Урош Илић испунио све потребне услове за пријаву теме докторске дисертације и да је способан за самостални рад на предложеној теми Докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања докторске дисертације са датим насловом је напредно кинематичко и динамичко моделирање вибрационих транспортера (енг. *Vibratory conveyors*), односно динамика вибрационог транспорта материјала помоћу вибрационих машина. Вибрациони транспортер је машина, чији су примарни делови непокретна масивна основа, која је повезана са радним делом, тј. вибрационим коритом помоћу система еластичних лиснатих опруга. Транспортовани материјал на радном делу се доводи у кретање путем вибрационог актуатора, који може бити механички или електромагнетни.

Структура материјала дефинише два подскупа транспортованог медијума, који се, сходно томе, може сврстати у две категорије и то крут, тј. коадни и прашкаст, односно гранулирани материјал. У зависности од интензитета вертикалне компоненте убрзања вибрационог актуатора, вибрациони режими могу бити са одвајањем материјала од подлоге (енг. *hopping motion*) и без одвајања материјала од подлоге (енг. *no-hopping motion*) радног дела вибрационог транспортера [1].

Већ крајем прошлог века су постављени концепти вибрационог транспорта [2]. Иако се у скорије време развијају нови вибрациони транспортери [2], [3], уочава се недостатак одговарајуће литературе са практичном применом наведених теоријских оквира саме динамике вибрационог транспорта. Такође, досадашњи механички модели вибрационих транспортера, који садрже експерименталну валидацију предложеног модела поседују одређене недостатке у виду недовољно дефинисане динамике радног дела [4] или им примарни правац истраживања није динамика вибрационог транспорта [5], [6]. Са друге стране постоји мноштво савремене литературе о динамичком моделирању роботских система датих у виду серијских кинематских ланаца [7], [8], [9]. Претпоставка је да се применом Родригових трансформационих матрица [10] може извести софистицирани механички модел једне вибрационе машине. Могуће је дефинисати међусобну кинематску зависност подсистема вибрационог транспортера на основу кинематичког модела истог и то применом Родригових матрица трансформације [11]. Добијањем израза за кинетичку и потенцијалну енергију система, преко Лагранжевих једначина друге врсте у коваријантном облику могуће је добити диференцијалне једначине кретања система вибрационог транспортера израженог помоћу генералисаних координата. С обзиром да се рад вибрационог транспортера може свести искључиво на вертикалну раван, генералисане координате дефинишу равно кретање базе, као и релативни померај вибрационог корита у односу на базу, тј. основу [5].

Модификацијом параметара новодобијеног модела могуће је реализовати различите изведбе вибрационих машина, сходно конкретним потребама радног задатка. Код конвенционалних вибрационих транспортера радни део врши транслаторно вибрационо кретање, односно путања његовог центра инерције је, заправо, дуж, чија је дужина једнака двострукој амплитуди осциловања. Уколико је актуаторски подсистем изведен помоћу два међусобно ортогонална вибрациона актуатора, вибрационо корито почиње да врши равно кретање [12]. Центар маса вибрационог корита ће, под две међусобно независне ортогоналне побуде вибрационих карактеристика описивати различите Лисажуове фигуре. Варијацијом амплитуда, фреквенција и међусобне фазне разлике генеришу се различите путање центра масе радног дела вибрационог транспортера [13].

Уколико се ради о вибрационом транспорту комадног материјала без одвајања од површине вибрационог корита, главни утицај на динамику релативног кретања има интеракција материјала са површином вибрационог корита [14]. Већина аутора која се бави проблемом вибрационог транспорта материјала посматра кретање искључиво са аспекта апсолутног координатног система. Са друге стране, аутори су у [15] поставили исправне једначине кретања тела у релативном координатном систему под утицајем вибрационе побуде, али нису извршили извођење до нивоа диференцијалних једначина кретања. Уколико се посматра кретање материјала у локалном координатном систему, осим преносне инерцијалне силе, у извесној мери утиче и сила трења клизања. Неопходно је извршити оптималан одабир одговарајућег модела силе трења клизања. На пример, једноставнији модели као што су Кулонов или Штрибеков [16] представљају простије аналитичке изразе, али не дефинишу шта се дешава са силом трења уколико нема релативног померања између површи. Другим речима, функције силе трења могу се представити одговарајућим одскочним функцијама. Са друге стране, аутори Бенгису и Акај [17] уводе и разматрају модел силе трења која је дефинисан преко бијективне функције. Такође, у циљу максимизације брзине транспорта материјала, односно повећања протока транспортованог материјала на вибрационом кориту, није довољно вршити једноставне хармонијске осцилације вибрационог актуатора. Фино подешавање путање радног дела вибрационог транспортера захтева комплексније функције убрзања вибрационог актуатора [18]. Раније изведбе су претежно поседовале вибрациони актуатор механичке природе (ексцентар или кривајни механизам) [2], [4], који није у могућности да обезбеди комплексне облике функције помераја, брзине и убрзања радног дела без обимних конструктивних модификација механичког, односно преносног подсистема. Из тог разлога, у последње време тежи се реализацији вибрационих транспортера са електромагнетним вибрационим актуаторима. Коришћењем овог вида актуатора, могуће је остварити разне функције убрзања радног дела транспортера варијацијом таласног облика побудне струје посредством електроенергетског претварача са имплементираном амплитудском и фреквентном контролом [5].

Са друге стране, познато је да електромагнетни вибрациони актуатор представља један електромеханички претварач енергије (енг. *Electromechanical Energy Transducer*). Превођење електромагнетне у механичку енергију своди се на корелацију Максвелових једначина магнетног кола, са једне стране, и диференцијалне динамичке једначине кретања котве побуђивача, са друге стране [19]. Практично посматрано, ове две стране се доводе у спрегу преко електромагнетне побудне силе која настаје у процепу магнетног кола електромагнетног вибрационог актуатора током експлоатације вибрационог транспортера [5]. При томе, магнетно коло вибрационог актуатора састоји се од ваздушног процепа и остатка кола, кога чине гвоздени лимови одређене магнетне пермеабилности [20]. Кретање котве електромагнета узрокује контра електромоторну силу, која се индиректно може мерити преко индуковане струје, тј. јачине струје у намотајима калема електромагнета [21]. На тај начин могуће је естимирати померај, па и брзину радног дела

вибрационог транспортера, који је круто везан за котву електромагнета, индиректно, мерењем јачине струје побудног намотаја вибрационог актуатора.

Главни циљ овог истраживања јесте успешна верификација предложеног динамичког модела вибрационог транспортера, који је добијен применом Родриговог приступа. Такође, биће извршена и компаративна анализа постојећих модела силе трења и допунском претрагом литературе одредити одговарајући модел силе трења клизања.

Као иницијални кораци биће извршена одговарајућа CAD (*Computer Aided Design*) моделирања и пратеће симулације. Валидација механичког модела, као и решавање диференцијалних једначина кретања система биће реализоване у софтверском пакету *Python*. За потребе валидације динамичког модела, најпре ће се извршити симулације рада различитих вибрационих режима у софтверу *Solidworks*[®]. У циљу верификације интензитета електромагнетне побудне силе користиће се додатак *EMWorks*[®], који представља софистициран софтверски пакет за симулацију електромагнетних поља. Користиће се новодобијени механички модел вибрационог транспортера за добијање Лангранжевих електромеханичких једначина, путем којих ће се есимиран утицај динамике радног дела вибрационог транспортера на побудну струју вибрационог електромагнетног актуатора.

Последњи корак наведеног истраживања биће валидација предложеног динамичког модела на лабораторијском функционалном прототипу вибрационог транспортера. У циљу верификације добијених експерименталних вредности, користиће се уобичајена мерна опрема, која се користи у раду са вибрационим транспортерима [4], [5]. Убрзање радног дела вибрационог транспортера, тј. његовог вибрационог корита ће се пратити помоћу адекватно одабраног акцелерометара са високом учестаношћу узорковања, док ће се помераји мерити индуктивним сензором који ће бити постављен на радни део вибрационог транспортера.

Референце

- [1] A. H. Redford and G. Boothroyd, "Vibratory Feeding," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 182, no. 1, pp. 135–152, Jun. 1967, doi: 10.1243/PIME_PROC_1967_182_017_02.
- [2] I. F. Goncharevich, K. V. Frolov, and E. I. Rivin, *Theory of Vibratory Technology*, 2nd ed. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1990.
- [3] P. U. Frei, "Theory, design and implementation of a novel vibratory conveyor," Doctoral Thesis, ETH Zurich, Zürich, 2002. doi: 10.3929/ethz-a-004304818.
- [4] M. Buzzoni, M. Battarra, E. Mucchi, and G. Dalpiaz, "Motion analysis of a linear vibratory feeder: Dynamic modeling and experimental verification," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 114, pp. 98–110, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2017.04.006.
- [5] Ž. V. Despotović, D. Urukalo, M. R. Lečić, and A. Čosić, "Mathematical modeling of resonant linear vibratory conveyor with electromagnetic excitation: simulations and experimental results," *Applied Mathematical Modelling*, vol. 41, pp. 1–24, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.apm.2016.09.010.
- [6] L. Han and S. K. Tso, "Mechatronic design of a flexible vibratory feeding system," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 217, no. 6, pp. 837–842, Jun. 2003, doi: 10.1243/09544050360673206.
- [7] M. Elsamanty, E. M. Faidallah, Y. H. Hossameldin, S. M. Abd Rabbo, and S. A. Maged, "Design, simulation, and kinematics of 9-DOF Serial-Parallel Hybrid Manipulator Robot," in *2021 3rd Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 2021, pp. 370–375. doi: 10.1109/NILES53778.2021.9600537.

- [8] W. Wang, H. Zhang, G. Zong, and J. Zhang, "Design and Realization of a Novel Reconfigurable Robot with Serial and Parallel Mechanisms," in *2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 2006, pp. 697–702. doi: 10.1109/ROBIO.2006.340291.
- [9] M. P. Lazarević, P. D. Mandić, and S. Ostojić, "Further results on advanced robust iterative learning control and modeling of robotic systems," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 235, no. 20, pp. 4719–4734, Oct. 2021, doi: 10.1177/0954406220965996.
- [10] V. Čović and M. Lazarević, *Mehanika robota*, 2. izd. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 2021.
- [11] U. Ilić and M. Lazarević, "Applying Rodrigues' Formula for Kinematic Modeling of Vibratory Conveyors," presented at the 2nd International Conference on Mathematical Modelling in Mechanics and Engineering, Mathematical Institute SANU, Sep. 2024, pp. 59–60.
- [12] I. Vrublevskiy, "The Phase Difference Between Components of Elliptical Oscillations of Vibratory Conveyor Providing Maximum Conveying Velocity," *UJMEMS*, vol. 1, no. 1, pp. 47–54, Sep. 2015.
- [13] U. Ilić and E. Veg, "Various Lissajous Figures and Their Implication in Vibratory Technology," presented at the 2nd International Conference on Mathematical Modelling in Mechanics and Engineering, Mathematical Institute SANU, Sep. 2024, pp. 75–76.
- [14] P. Flores, "Contact mechanics for dynamical systems: a comprehensive review," *Multibody Syst Dyn*, vol. 54, no. 2, pp. 127–177, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11044-021-09803-y.
- [15] M. Veljić, N. Mladenović, and D. Marković, "Optimization of Parameters of a Vibration System for Sorting and Calibrating Deep Frozen Berry Fruits," *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 2010.
- [16] D. A. Haessig and B. Friedland, "On the Modeling and Simulation of Friction," in *1990 American Control Conference*, San Diego, CA, USA: IEEE, May 1990, pp. 1256–1261. doi: 10.23919/ACC.1990.4790944.
- [17] F. Marques, P. Flores, J. C. Pimenta Claro, and H. M. Lankarani, "A survey and comparison of several friction force models for dynamic analysis of multibody mechanical systems," *Nonlinear Dyn*, vol. 86, no. 3, pp. 1407–1443, Nov. 2016, doi: 10.1007/s11071-016-2999-3.
- [18] S. Okabe, Y. Kamiya, K. Tsujikado, and Y. Yokoyama, "Vibratory Feeding by Nonsinusoidal Vibration—Optimum Wave Form," *Journal of Vibration and Acoustics*, vol. 107, no. 2, pp. 188–195, Apr. 1985, doi: 10.1115/1.3269243.
- [19] V. Gourishankar and D. H. Kelly, *Electromechanical Energy Conversion*. in Intertext books. New York: Intext Educational Publishers, 1973.
- [20] U. Ilić and Ž. V. Despotović, "Modeliranje uticaja magnetnog zasićenja na elektromagnetnu silu vibracionog aktuatora," presented at the ENERGETIKA2024, Zlatibor, Jun. 2024, p. 36.
- [21] P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Pekarek, "Electromechanical Energy Conversion," in *Electromechanical Motion Devices*, 2012, pp. 49–95. doi: 10.1002/9781118316887.ch2.

3. Полазне хипотезе

На основу изучавања литературе и досадашњих истраживања у овој области постављене су следеће хипотезе:

- Дати механички системи се могу разматрати као системи крутих тела са коначним бројем степени слободе кретања који се могу моделирати у виду отвореног кинематичког ланца са гранањем.
- Дефинисањем одговарајућих математичких модела вибрационог транспортера применом Родриговог приступа и решавањем система једначина аналитичким и нумеричким методама могуће је одредити тачно и апроксимативно понашање разматраних система на кинематичком тако и на динамичком нивоу.
- Коришћењем механичког модела вибрационог транспортера могуће је естимирати јачину електричне струје која протиче у намотајима калема електромагнетног вибрационог актуатора.

4. Научне методе истраживања

Током реализације циљева наведеног истраживања користиће се следеће научне методе (теорије):

- Методе аналитичке механике (са акцентом на примену Родригове матрице трансформације)
- Теорија моделовања контактних храпавих површи и интеракције два тела током релативног кретања
- Теорија магнетних кола
- Методе компаративне анализе
- Стандардне методе експерименталног приступа

5. Очекивани научни допринос

Очекује се да ће кроз ову дисертацију успешном реализацијом циљева истраживања и применом поменутих научних метода и поступака, бити остварени следећи научни доприноси:

- Формирање напредног динамичког модела вибрационих транспортера коришћењем Родриговог приступа
- Процена утицаја динамике радног дела вибрационог транспортера на побудну струју електромагнетног актуатора

6. План истраживања и структура рада

План истраживања у оквиру теме докторске дисертације састоји се од следећих фаза:

1. Преглед и анализа одговарајуће литературе која се односи на динамику вибрационих транспортера, као и динамику тела (система тела) под утицајем екстерне силе вибрационог карактера. У склопу тога биће обрађене и литература из области динамике роботских система као и моделовање силе трења и осталих отопра при кретању. Такође, биће обрађена литература из области електромеханичких претвараача енергије и њихове примене на вибрационе транспортере.

2. Формулисање динамичког модела вибрационог транспортера помоћу Родриговог приступа. Извођење диференцијалних једначина кретања система помоћу Лагранжевих једначина друге врсте у коваријантном облику. Свођење утицаја система лиснатих опруга на генералисане реституционе силе, као и опис утицаја ослонаца преко дисипативних генералисаних сила.
3. Разматрање могућих видова вибрационих машина (мешача, сита, дозера, млинова итд.) са другачијом диспозицијом подистема од оних који се користе у индустрији. Опис транспортера са различитим видовима равног кретања вибрационог корита помоћу новоформираног кинематског модела.
4. Опис динамике кретања крутог тела под утицајем екстерне силе вибрационог карактера. Поређење постојећих модела утицаја силе трења и одабир оптималног модела за случај транспорта крутог материјала без одвајања од подлоге. Одређивање оптерећења вибрационог актуатора, које настаје током експлоатације вибрационог транспортера.
5. Извођење једначина електромеханичког претварања енергије за случај вибрационог транспортера са електромагнетним актуатором. Довођење у корелацију динамичке једначине кретања вибрационог корита и електромагнетне једначине магнетног кола електромагнетног актуатора преко силе која настаје у зазору котве електромагнета. Процена утицаја помераја и брзине вибрационог корита, тј. котве електромагнета на јачину струје у намотајима калема електромагнета.
6. Верификација предложених модела помоћу рачунарских алата за CAD моделирање. Рад у софтверу за моделирање електромагнетних поља. Валидација динамичког модела вибрационог транспортера на функционалном лабораторијском прототипу помоћу сензора убрзања и индуктивних сензора помака. Израда лабораторијског окружења за потребе експеримената из области електромеханичког претварања енергије. Користиће се развојне платформе као што су *Arduino* или *Raspberry Pi* са одговарајућим пратећим периферијама и сензорима. Валидација утицаја помака и брзине котве на струју у намотајима електромагнета на новоформираном лабораторијском окружењу.

Предвиђено је да докторска дисертација поседује следећу структуру:

- 1) Увод
- 2) Преглед доступне литературе и досадашњих релевантних истраживања
- 3) Напредно кинематичко и динамичко моделирање вибрационог транспортера
- 4) Разматрање могућих примена модела на разноврсне типове вибрационих машина
- 5) Динамика релативног кретања материјала побуђеног вибрационим кретањем и његово оптерећење на електромагнетни актуатор вибрационог транспортера
- 6) Имплементација новодобијеног механичког модела током електромеханичког претварања енергије унутар електромагнетног вибрационог актуатора
- 7) Валидација модела на постојећем електромагнетном вибрационом транспортеру у лабораторијском окружењу
- 8) Закључак и дискусија
- 9) Литература

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве за израду докторске дисертације кандидата Уроша Илића, магист.инж.маш., архивираних под бројем 1999/1 од 20.11.2024. године и уз сагласност Катедре за механику архивираних под бројем 1999/2 од 2.12.2024. године, Комисија сматра да је предложена тема јасно дефинисана, научно утемељена и актуелна, те да је као таква подобра за израду докторске дисертације и да се њеним изучавањем може остварити значајан научни допринос. Комисија такође закључује да је кандидат испунио све потребне услове за пријаву теме докторске дисертације, прописане Законом о високом образовању и Статутом Машинског факултета који га квалификују за рад на предметној докторској дисертацији као и да поседује истраживачке способности за рад на докторској дисертацији. Имајући у виду наведено, Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да се кандидату **Урошу Илићу, магист. инж. маш.** одобри израда докторске дисертације под називом

„Напредно моделирање вибрационих транспортера применом Родриговог приступа“

која припада научној области **Машинско инжењерство**, и ужој научној области **Механика**, а за коју је матичан Универзитет у Београду - Машински факултет.

На основу Одлуке Наставно-научног већа, број 1999/3 од 24.12.2024. године за менторе кандидата Уроша Илића, магист. инж. маш., током рада на предметној докторској дисертацији, Комисија предлаже да буду именовани **др Михаило Лазаревић**, редовни професор Универзитета у Београду - Машинског факултета и **др Емил Вег**, ванредни професор Универзитета у Београду Машинског факултета, који задовољавају услове члана 28, став 9, Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду – Машинском факултету (Образац 3.) и то у домену машинског инжењерства – механике, дакле имају све неопходне компетенције у оквиру научне области којој припада тема докторске дисертације, са чиме је Комисија у потпуности сагласна.

С поштовањем,

У Београду, 31. децембар 2024

Чланови комисије

др Александар Обрадовић, редовни професор
Универзитет у Београду-Машински факултет

др Немања Зорић, редовни професор
Универзитет у Београду-Машински факултет

др Бранислав Попконстантиновић, редовни професор
Универзитет у Београду-Машински факултет

др Петар Мандић, ванредни професор
Универзитет у Београду-Машински факултет

др Жељко Деспотовић, научни саветник
Универзитет у Београду - Институт Михајло Пупин