

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

903/4

(Број захтева)

09.07.2026.

(Датум)

Веће научних области техничких наука
(Назив већа научне области коме се захтев упућује)**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:

Мултидисциплинарни приступ оптимизацији система за термичку регулацију наносателита
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: Машинство (ужа научна област: Ваздухопловство)

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата: ИГОР (Зоран) ПЛАЊАНИН
2. Претходно образовање (назив и седиште факултета, студијски програм):
Универзитет у Београду - Машински факултет, Краљице Марије 16, 11120 Београд 35
3. Година завршетка претходног нивоа студија: 2021.
4. Година уписа на докторске студије: 2023.
5. Назив студијског програма докторских студија: Машинско инжењерство

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Јелена Сворцан

Звање: редовни професор

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Nenadić I., Svorcan J.: Comparative Numerical Investigation of Gravitational and Impulse Store Separation in Highly Subsonic Flow, - Aerospace, Vol 13(4), 2026, 336. ISSN: 2226-4310, IF2025=2.5, M21, DOI: 10.3390/aerospace13040336
2. Milić M., Svorcan J., Ivanov T., Atanasovska I., Momčilović D., Flajs Ž., Rašuo B.: Structural Optimization and Experimental Validation of a Composite Engine Mount Designed for VTOL UAV, - Aerospace, Vol 12(3), 2025, 178. ISSN: 2226-4310, IF2025=2.5, M21, DOI: 10.3390/aerospace12030178
3. Svorcan J., Wang J.M., Griffin K.P.: Current state and future trends in boundary layer control on lifting surfaces, - Advances in Mechanical Engineering, Vol 14(7), 2022, pp. 1-23. ISSN: 1687-8132, IF2022=2.1, M22, DOI: 10.1177/16878132221112161
4. Hasan M.S., Svorcan J., Simonović A., Mirkov N., Kostić O.: Optimal airfoil design and wing analysis for solar-powered high-altitude platform station, - Thermal Science, Vol 26(3A), 2022, pp. 2163-2175. ISSN: 0354-9836, IF2022=1.7, M22, DOI: 10.2298/TSCI210419241S
5. Kovačević A., Svorcan J., Hasan M.S., Ivanov T., Jovanović, M.: Optimal propeller blade design, computation, manufacturing and experimental testing, - Aircraft Engineering and Aerospace Technology, Vol 93(8), 2021, pp. 1323-1332. ISSN: 1748-8842, IF2021=1.478, M22, DOI: 10.1108/AEAT-03-2021-0091

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ:

Име и презиме ментора: Милан Стојановић

Звање: научни сарадник

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Pylypenko, U., ..., Stojanovic M., et al.: Constraining lens masses in moderately to highly magnified microlensing events from Gaia, - Astronomy & Astrophysics, Vol 705, 2026, A24-A24. ISSN: 0004-6361, IF2025=6.1, M21a, DOI: 10.1051/0004-6361/202554935
2. Otero, Santos J., ..., Stojanovic M., et al.: Multi-wavelength picture of the misaligned BL Lac object 3C 371, - Astronomy & Astrophysics, Vol 693, 2025, A196-A196. ISSN: 0004-6361, M21a, IF2025=6.1, DOI: 10.1051/0004-6361/202451418
3. Vince, O., ..., Stojanovic M., et al.: Multiband optical variability on diverse timescales of the blazar Ton 599 from 2011 to 2023, - Astronomy & Astrophysics, Vol 703, 2025, A259-A259. ISSN: 0004-6361, IF2025=6.1, M21a, DOI: 10.1051/0004-6361/202555986
4. Raiteri, C.M., ..., Stojanovic M., et al.: A wiggling filamentary jet at the origin of the blazar multi-wavelength behaviour, - Astronomy & Astrophysics, Vol 692, 2024, A48-A48. ISSN: 0004-6361, IF2024=6.1, M21a, DOI: 10.1051/0004-6361/202452311
5. Abe, H., ..., Stojanovic M., et al.: Multi-year characterisation of the broad-band emission from the intermittent extreme BL Lac 1ES 2344+514, - Astronomy & Astrophysics, Vol 682, 2024, A114-A114. ISSN: 0004-6361, IF2024=6.1, M21a, DOI: 10.1051/0004-6361/202347845

Обавештавамо вас да је Наставно – научно веће на седници одржаној 09.07.2026. 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: 903/5
Датум: 09.07.2026. 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 76/2023 и 19/2025), члана 64. Статута Универзитета у Београду – Машинског факултета – пречишћен текст, арх. бр. 667/4 од 31.03.2026. године. и члана 38. Правилника о докторским студијама на Универзитету у Београду - Машинском факултету – пречишћени текст, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници од 09.07.2026. 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 **Игора Плањанина**, маг. инж. маш. под насловом **„Мултидисциплинарни приступ оптимизацији система за термичку регулацију наносателита“**.

Извештај је поднела Комисија у саставу: др Неџад Рудоња, ред. проф., др Јелена Сворцан, ред. проф., др Тони Иванов, ванр. проф., др Лука Поповић, научни саветник, Астрономска опсерваторија Београд, ред. проф., Универзитет у Београду – Математички факултет и др Милан Стојановић, научни сарадник, Астрономска опсерваторија Београд.

За **менторе** докторске дисертације именују се **др Јелена Сворцан, ред. проф. и др Милан Стојановић, научни сарадник са Астрономске опсерваторије Београд.**

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 кандидата **Игора Плањанина, маг.инж.маш.**

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду - Машинског факултета бр. **903/3** од **11.06.2026.** године, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације **„Мултидисциплинарни приступ оптимизацији система за термичку регулацију наносателита”** кандидата **Игора Плањанина, маг.инж.маш.**

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Кандидат Игор Плањанин рођен је 20. октобра 1997. године у Краљеву. Завршио је средњу школу „Гимназија Врњачка Бања“ на смеру за информатику и рачунарство са просечном оценом 4,95 (четири и 95/100). Основне академске студије на Универзитету у Београду – Машинском факултету започео је 2016. године, а завршио 2019. године са просечном оценом 8,72 (осам и 72/100). Наслов завршног рада на ОАС био је „Термички параметри средине и модели размене топлоте са околином“. Мастер академске студије (МАС) завршава 2021. године при Катедри за термотехнику са просечном оценом 9,00 одбранивши мастер рад из области Механике флуида под називом „Анализа и нумерички прорачун конвективног преношења топлоте применом теорије граничног слоја“. Године 2023. уписује и Докторске студије (ДС) на Машинском факултету у Београду. Све време студија показује склоност ка научноистраживачком раду као и велику самосталност у истраживању.

У новембру 2021. године кандидат Игор Плањанин запослен је као машински инжењер у фирми ASMEC Consultants у Београду. Током тог периода радио је на пројектима као што су Belgrade Waterfront Plot 23, Belgrade Waterfront Plot 25, Salem Forskola у Шведској, La Gare Hotel у Етиопији, Wellport IV Belgrade, Куир Звездара Београд. На овим пројектима, радио је на дизајну и прорачунима HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) система. Од фебруара 2024. године, као истраживач приправник, кандидат Игор Плањанин запослен је на Астрономској опсерваторији у Београду, у новооснованој јединици за Космичка истраживања и технологије.

Течно говори енглески језик, а успешно се служи следећим инжењерским софтверима и алатима: SOLIDWORKS, MATLAB, ANSYS, ADOBE Photoshop, AUTOCAD, REVIT, FUSION, итд. као и програмским језиком Python.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат Игор Плањанин је на Докторским студијама Машинског факултета у Београду положио следеће испите: Виши курс математике (оцена 8), Нумеричке методе (оцена 10), ОМНИР и комуникација (оцена 10), Мерење у турбулентним струјањима (оцена 10), Истраживање и публиковање I (оцена 10), Одабрана поглавља из механике флуида (оцена 10), Адаптивне структуре (оцена 10), Истраживање и публиковање II (оцена 10), Одабрана поглавља из интеракције флуида и структуре (оцена 10) и Истраживање и публиковање III (оцена 10). Такође је, у складу са Правилником о мобилности студената и преношењу ЕСПБ бодова на Универзитету у Београду, кандидат успешно положио максималан број испита дозвољен да се пренесе на други факултет, у овом случају два испита на Математичком факултету у Београду, при Катедри за астрономију, и то: Теорију кретања земљиних вештачких сателита (оцена 10) и Физику Сунца (оцена 10) што се води као признати испит. Како је успешно одбранио и Пројекат идеје докторске дисертације, његова просечна оцена на ДС износи 9,92 (девет и 92/100).

Поред свог редовног запослења на Астрономској опсерваторији у јединици за Космичка истраживања и технологије, све време Докторских студија успешно се бави научноистраживачким (нумеричким и експерименталним) радом, учествује у реализацији научноистраживачких пројеката као што је билатерални пројекат са HP Кином под називом „Conceptual design of the first scientific CubeSAT in Serbia for Sun observations“, и показује велики афинитет ка најсавременијим темама из области космичких истраживања и технологија (као што су пројектовање микросателита за одређену намену, симулације њихових подсистема, савремени измењивачи топлоте, инжењерске симулације, оптимизација космичко-ваздухопловних структура, и сл.), што се може закључити и по списку публикација приказаном у наставку.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини – **M33**

1. **Planjanin I.**, Stojanović M., Tan, T., Marčeta D., Svorcan J., Zheng Q., Jia X., Gavrilović M., Stamatović S., Li J.: *Preliminary Mission Specifications of MOSAIC Satellite*, – Proceedings of the International Symposium on Sustainable Aviation (ISSA 2024), Belgrade 2024. DOI: 10.1007/978-3-032-00618-9_34

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу – **M34**

2. **Planjanin I.**, Stojanović M., Čantrak Đ., Svorcan J., Marčeta D., Gavrilović M., Popović L., Kokić I.: *Testing of X-ray detection in turbulent flow for space applications using silicon drift detector*, – Booklet of Abstracts of the 10th International Congress of the Serbian Society of Mechanics (ICSSM 2025), Niš 2025, pp. 318. DOI: 10.46793/ICSSM25

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Комисија сматра да је кандидат Игор Плањанин испунио све потребне услове за пријаву теме докторске дисертације и да је способан за самостални истраживачки рад на предложеној теми. Поред одслушаних предавања, положених испита и одбрањеног Пројекта идеје докторске дисертације, у протеклом периоду кандидат је вршио различита нумеричка и експериментална истраживања, учествовао у реализацији научноистраживачких и стручних пројеката из области којој припада предложена тема, учествовао у реализацији научних

скупова и сл. што га све квалификује за пријаву докторске дисертације под наведеним насловом.

2. Предмет и циљ истраживања

Сателити су сложени системи који се крећу по орбитама небеских тела које су дефинисане законима небеске механике. Сваки сателит се састоји из два дела – платформе и корисног терета (eng. payload) сателита. Платформа сателита обезбеђује енергију за функционисање, оријентацију у простору и комуникацију са земаљском станицом док корисни терет зависи од типа мисије (инструменти попут камера, различитих сензора или антена). Постоји велики број различитих конфигурација, величина, материјала, намена, специфичних радних услова, где сваки од њих захтева индивидуални инжењерски приступ.

Са развојем ових софистицираних летелица порасла је и њихова примена, тако да данас, поред научних мисија и војних сателита, њихова комерцијална употреба је у великој експанзији [1]. Ово доводи до захтева за смањење цене њихове израде и одржавања. Као решење овог проблема проистиче посебан тип сателита – CubeSat из групе наносателита (маса од 1 до 10 kg) [2]. У питању су сателити чија се платформа састоји из једне (1U) или више јединица облика коцке, димензије страница 10 cm. Главне предности ових сателита су брзина израде, цена, једноставност дизајна и једноставност технологије [2]. Међутим, треба имати у виду да њихове мале димензије представљају главни ограничавајући фактор и инжењерски изазов.

Као главни извор енергије током кретања у орбити, наносателити користе енергију Сунчевог зрачења путем соларних панела, коју, у зависности од потребе, директно троше или складиште у батеријама. Услед малог степена искоришћења соларних панела и њихове мале површине, као препрека се јавља ограничење у расположивој енергији коју сателит користи за напајање својих подсистема. Један од кључних подсистема сателита, одговоран за остваривање термалних услова у којима све компоненте могу несметано да раде, је систем за термичко управљање који треба да обезбеди и грејање и хлађење компоненти. Ови системи се могу поделити на пасивне – који не користе додатну енергију и активне – код којих је неопходно обезбедити енергију за њихово функционисање. Пасивни системи (термалне траке, изолација, расклопиви радијатори, итд) су углавном јефтинији, мањи, лакши и поузданији, што их чини идеалним за сателите са ограниченом масом, запремином и енергијом. Међутим, код мисија где су услови одржавања температуре појединих компоненти ригорознији, што је чест случај у астрономским или другим научним мисијама, као и код мисија где су потребни већи топлотни капацитети, активни системи (електрични грејачи, термоелектрични хладњаци, кругови са флуидима као радном материјом, итд) су неопходни [3-5]. Активни системи су још увек неприлагођени за наносателите, њихове димензије су превелике за интеграцију у платформу CubeSat-a, а њихова потрошња углавном не одговара расположивој енергији коју сателит поседује из ког разлога представљају актуелну/савремену област истраживања [6-9]. Било да се ради о пасивним или активним системима, ограничена размена топлоте у свемиру (услед одсуства конвекције), као и изражени температурни градијенти између различитих компоненти летелице, представљају један од кључних изазова у пројектовању сателита, а све у зависности од орбите и врсте терета који носи.

Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој и оптимизација конфигурације система за термичко управљање код наносателита (класе CubeSat) као и утврђивање утицаја карактеристика путањских елемената (орбите) и околних (астрономских) услова на његове излазне параметре (превасходно ефикасност). Истраживање ће нарочито обухватити следеће

аспекте који значајно утичу на проналажење ефикасних решења за одржавање стабилних температурних опсега унутар платформе сателита намењеног за научне мисије, величине 3U до 8U:

1. утицај путањских елемената сателита, с обзиром на то да сателит може функционисати при различитим путањским елементима који утичу на расположиви енергетски буџет,
2. утицај астрономских услова, т.ј. флуksа зрачења Сунца на одређеној путањи сателита и промена флуksа зрачења услед променљиве Сунчеве активности,
3. утицај корисног терета (његових енергетских потреба и специфичног топлотног оптерећења) као и његове интеракције са осталим компонентама сателита.

С обзиром на то да кретање сателита, претходно дефинисано његовом орбитом, значајно утиче на термофизичка својства и енергетски биланс сателита, као први корак неопходно је разумети и испитати различите типове орбита: ниске Земљине орбите, геостационарне, квазиполарне, високоекцентричне, цислунарне орбите и слично. Унутар сваке од подгрупа различитих орбиталних параметара, могу се разматрати различити начини за одржавање радне температуре појединих компонената корисног терета сателита. Ово је од највеће важности код научних мисија, које због прецизности мерења и термалног шума, захтевају не само одређену радну температуру, већ и врло стабилно термичко окружење. Део истраживања ће се одвијати у смеру астрономских снимања са сателита као и посматрања и снимања Земље, применом или модификацијом постојећих технологија које се примењују на Земљи за хлађење камера. Следећи кораци, пројектовања, анализе и оптимизације система сателита су из области машинског инжењерства што ову тему истраживања чини мултидисциплинарном. Почеће се од формирања одговарајућег геометријског модела, који ће служити као основа за даље нумеричке анализе феномена преношења топлоте у условима свемирског вакуума (које ће бити пропраћене одговарајућим прорачунима струјања и/или одзива структуре). У ту сврху, биће потребно формирати и одговарајуће прорачунске моделе/мреже, дефинисати граничне услове и спровести бројне нумеричке експерименте. Овај корак омогућава прецизно мапирање температурних поља унутар структуре сателита под утицајем екстремних циклуса грејања (директно Сунчево зрачење, алbedo Земље) и хлађења у сенци планете. На крају, на основу спроведених прорачуна извршиће се евалуација примене напредних термалних решења – од оптимизације пасивних компоненти до испитивања оправданости интеграције минијатуризованих активних елемената.

2.1. Релевантни библиографски извори

Списак релевантних библиографских извора који приказују тренутно стање науке и технике у области пројектовања, израде и тестирања микросателита као и њихових подсистема дат је у наставку:

1. Bryce and Space Technology. SmallSat by the Numbers, 2024. https://brycetek.com/reports/report-documents/Bryce_SmallSats_2024.pdf
2. NASA/TP-20260003140. State-of-the-Art Small Spacecraft Technology, 2026. <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2026/05/soa-2026.pdf?emrc=12c9ca>
3. Yang K, Glazer S, Thomson S, Feinberg L, Burt W, Comber B, Ousley W, Franck R. Thermal Model Performance for the James Webb Space Telescope OTIS Cryo-Vacuum Test. 48th International Conference on Environmental Systems, 8-12 July 2018, Albuquerque, New Mexico. ICES-2018-35.
4. Werner M, Lowrance P, Roellig T, Gorjian V, Hunt J, Bradford C, Krick J. On-orbit performance of the Spitzer Space Telescope: science meets engineering. *Journal of*

Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems. 2022; 8(1): 014002.
<https://doi.org/10.1117/1.JATIS.8.1.014002>

5. Pilbratt GL, Riedinger JR, Passvogel T, Crone G, Doyle D, Gageur U, Heras AM, Jewell C, Metcalfe L, Ott S, et al. Herschel Space Observatory - An ESA facility for far-infrared and submillimetre astronomy. *Astronomy & Astrophysics.* 2010; 518: L1.
<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201014759>
6. Smith M, Donner A, Knapp M, Pong C, Smith C, Luu J, Di Pasquale P, Bocchino R Jr, Campuzano B, Loveland J, et al. On-Orbit Results and Lessons Learned from the ASTERIA Space Telescope Mission. 32nd Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, 4-9 August 2018, Logan, Utah. SSC18-I-08.
7. Knapp M, Seager S, Demory B-O, Krishnamurthy A, Smith M, Pong C, Bailey V, Donner A, Di Pasquale P, Campuzano B, et al. Demonstrating High-precision Photometry with a CubeSat: ASTERIA Observations of 55 Cancri e. *The Astronomical Journal.* 2020; 160: 23.
<https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab8bcc>
8. Peyrou-Lauga R, Bruno G. An overview of CHEOPS Instrument thermal design and analysis. 28th European Space Thermal Analysis Workshop, 14-15 October 2014, Noordwijk, Netherlands.
9. Elhefnawy A, Elmaihy A, Elweteedy, A. Passive thermal control design and analysis of a university-class satellite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* 2022; 147: 13633-13651. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11542-x>
10. Balega Y, Bolshakov O, Chernikov A, Gunbina A, Edelman V, Efimova M, Eliseev A, Krasilnikov A, Lapkin I, Lesnov I, et al. Development of Cryogenic Systems for Astronomical Research. *Photonics.* 2024; 11(3): 257. <https://doi.org/10.3390/photonics11030257>
11. Carter BD, Ashley MCB. A Peltier-cooled CCD Camera. *Publications of the Astronomical Society of Australia.* 1991; 9(1): 158-159. <https://doi.org/10.1017/S132335800002539X>
12. Apergis I, Bayliss D, Asimakoulas L, Chote P, McCormac J, Mitchell MA, Gill S, Steen PG, Wheatley PJ. High-precision photometry with a scientific CMOS camera: I lab testing of the Marana camera. *RAS Techniques and Instruments.* 2025; 4: rzaf049.
<https://doi.org/10.1093/rasti/rzaf049>
13. Komiyama Y, Obuchi Y, Nakaya H, Kamata Y, Kawanomoto S, Utsumi Y, Miyazaki S, Uruguchi F, Furusawa H, Morokuma T, et al. Hyper Suprime-Cam: Camera dewar design. *Publications of the Astronomical Society of Japan.* 2018; 70(SP1): S2.
<https://doi.org/10.1093/pasj/psx069>
14. Hart ST, Awald C, Lightsey EG, Romero-Calvo A. Magnetohydrodynamically pumped liquid metal loops for CubeSat thermal control. *International Journal of Heat and Mass Transfer.* 2025; 239: 126552. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126552>
15. Bennett NS, Hawchar A, Cowley A. Thermal Control of CubeSat Electronics Using Thermoelectrics. *Applied Sciences.* 2023; 13(11):6480. <https://doi.org/10.3390/app13116480>
16. Seyedzadeh A, Okasha M, Alblooshi A, Aizat WF, Jallad AH, Sulaeman E. Thermal analysis and experimental validation of the thermal subsystem of AlAinSat-1. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences.* 2025; 28(2): 185-204.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2025.03.002>
17. Cannon JR, Havey KN, Housley NS, Mulford RB, Iverson BD. Internally stowed, radially deployed radiator panels for passive CubeSat thermal control. *Applied Thermal Engineering.* 2025; 270: 126281. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.126281>

Поред претходно споменутих публикација [1-9] које пружају увид у тренутно стање технике различитих класа сателита, а нарочито у њихове термичке подсистеме, у раду [10] направљен је преглед система за хлађење на различитим температурним нивоима (од 0.1 K до 230 K) који се користе у астрономији. Детаљно су размотрене карактеристике различитих нивоа хлађења и захтеви за пројектовање система хлађења, као и приступ пројектовању интерфејса за хлађење пријемника: вакуумских, криогених, електричних, механичких, оптичких и других, који су неопходни за ефикасан рад пријемника. Један од ефеката коришћен за хлађење је Peltier-ов ефекат чија је детаљнија примена за хлађење CCD камере описана у раду [11]. Лабораторијско испитивање CMOS камере приказано је у [12] где су представљена мерења шума и струје мрака (који се могу смањити на само пар електрона по пикселу коришћењем термоелектричних или криогених хладњака). Детаљни дизајн CCD камере чија се електроника хлади на -100°C представљен је у [13]. У раду [14] представљен је дизајн магнетнохидродинамичке пумпе са течним металом као радним флуидом за термичку регулацију наносателита. Могућност коришћења термоелектричног ефекта за хлађење компонената наносателита описана је у раду [15]. Термичка анализа применом методе коначних елемената у циљу предвиђања перформанси сателита у најгорим, топлим и хладним, условима приказана је у раду [16]. Пасивни систем за термичку регулацију наносателита, типа радијатора, са радијално расклопивом конфигурацијом ребара која је смештена унутар сателита приказан је у раду [17].

2.2. Научни циљ дисертације

Мисије наносателита класе CubeSat са великим енергетским захтевима сусрећу се са изазовом одржавања температурних опсега – са једне стране постојећи активни системи нису довољно минијатуризовани да би се извршила њихова интеграција, док је са друге стране неопходно обезбедити довољно енергије да се задовољи подсистем за термичку контролу као и сви остали подсистеми и корисни терет сателита. Крајњи исход овог истраживања биће дефинисање, развој и детаљно испитивање оптималног хибридног (полуемпиријског, нумеричког и експерименталног) модела, способног да обухвати различите утицаје од значаја (нпр. орбиту, Сунчеву активност, унутрашњу конфигурацију, и сл) и квантификује их, а који притом обезбеђује максималну термалну поузданост сателита уз минимално нарушавање његовог енергетског и масеног биланса што ће бити мерљиво кроз смањену масу система за термичку регулацију наносателита, уз повећање његове ефикасности и поузданости.

Овај крајњи научни циљ (савремене и мултидисциплинарне) дисертације биће остварен кроз неколико појединачних циљева:

1. дефинисање намене наносателита, његове путање, орбиталних параметара и радних услова,
2. дефинисање упрошћеног модела наносателита, и његових основних компоненти,
3. спровођење бројних нумеричких истраживања система за термичку регулацију наносателита (различитим методама, од једноставнијих до напреднијих),
4. валидацију нумеричких симулација (кроз поређење са доступним експерименталним подацима),
5. мултидисциплинарну (вишекритеријумску) оптимизацију основних компоненти система за термичку регулацију наносателита,
6. извођење закључака и давање препорука за пројектовање система за термичку регулацију и других (већих) сателита.

3. Полазне хипотезе

Детаљни, затворени процес дефинисања полазних захтева (и параметара радног окружења), моделирања, нумеричке анализе, оптимизације и експерименталног испитивања система за термичку регулацију наносателита који је предмет истраживања подразумева различите нумеричке моделе и прорачуне (методом коначних разлика, запремина и елемената), различите методе оптимизације (еволутивне нпр. генетски алгоритам) и мерења температурног поља (класичним и оптичким методама), што заправо подразумева и њихове математичке хипотезе. Додатне полазне хипотезе на којима је истраживање кандидата Игора Плањанина засновано дате су у наставку:

1. за детаљан математички прорачун и модел орбите сателита око Земље потребно је прво кренути од Кеплеровских елемената, тј. идеалне орбите сателита око Земље, а затим прећи на реалну орбиту око Земље која укључује спљоштеност Земље, атмосферу, притисак зрачења, небеска тела и остале релевантне параметре. Код прорачуна реалне орбите сателита користе се различити модели, а кандидат ће користити две групе модела. Прва група заснована је на TLE (Two-Line Element set) где се користе модели попут SGP4 (поједностављени општи модел пертурбација, верзија 4), SDP4, SGP8. Ова група модела даје одличне резултате за пропагацију орбите користећи TLE параметре који се објављују и доступни су свакодневно, а предност је брзина рачунања. Насупрот овим моделима кандидат ће користити и високо прецизне нумеричке интеграторе, односно пропагаторе орбита, користећи Рунге Кута 4, DSST (Draper Semi-analytical Satellite Theory) и друге. Код ових модела проблем је дужина трајања интеграције односно потребног процесорског времена, али је основна предност што дају већу прецизност,
2. притисак Сунчевог зрачења изазива мерљиво пертурбационо убрзање CubeSat сателита у задатој орбити, а његов утицај је израженији код сателита са већим односом површине и масе. Самим тим потребни су алати за израчунавање и обраду података. Међу најбитнијим параметрима које кандидат мора да одреди јесте притисак Сунчевог зрачења у задатој орбити, што представља додатно пертурбационо убрзање сателита. Ово се може урадити коришћењем модела као што су GMAT (General Mission Analysis Tool) и Orekit,
3. најчешће коришћене нумеричке методе (коначних разлика, запремина и/или елемената) у инжењерским симулацијама могу са довољном тачношћу описати феномене преношења топлоте унутар наносателита,
4. упоредна експериментална истраживања могу се користити за валидацију формираних упрошћених нумеричких модела.

4. Научне методе истраживања

Ради остваривања постављених циљева у току израде ове дисертације, потребно је користити одређене научне методе истраживања. Кренуће се од прегледа постојеће литературе и остварених резултата, а затим дефинисати оквир сопственог истраживања. Најпре је потребно одредити параметре орбите који зависе од мисије. Потребно је урадити нумеричке анализе за различите типове орбита и различите висине на којој се налази сателит. Према захтевима одређене мисије и амбијенталним условима у којима се налази сателит потребно је одредити радне услове сателита. Поступак нумеричког истраживања потребно је поделити на више подсистема и њих појединачно решити изабраним методама. Нумеричке поставке биће проверене компаративним методама са експерименталним подацима (добитим класичним и иновативним методама). Сви прорачуни ће бити спроведени помоћу сопствених кодова или

коришћењем софтверских пакета за инжењерске симулације: ANSYS (Ansys Simulation Software), Python и Matlab.

5. Очекивани научни допринос

Како је у питању изузетно савремена и мултидисциплинарна научноистраживачка тема, која се може подвести под неколико различитих истраживачких области, а односи се на наносателите који су све више у употреби и у научне и у комерцијалне сврхе, могуће је формулисати следећи очекивани основни научни допринос ове дисертације:

1. Дефинисање одговарајућег, експериментално валидираног прорачунског модела неопходног за анализу и оптимизацију система за термичку регулацију наносателита предвиђеног за научну мисију, а који обухвата и правилно квантификује различите спољашње (путања, радно окружење) и унутрашње (корисни терет) утицаје.

Током израде дисертације остварени научни допринос биће верификован у квалитативном и квантитативном смислу у релевантним домаћим и међународним публикацијама.

Додатни очекивани научни и стручни резултати ове дисертације могу се такође извести из свега претходно наведеног:

1. разматрање и упоредна анализа могућих инжењерских решења (пасивних и активних) система за термичку регулацију применљивих на наносателите према предодређеним или дефинисаним орбитама,
2. реализација комплетног циклуса пројектовања (моделирања, анализе и оптимизације) иновативних система за термичку регулацију наносателита уз детаљно и прецизно дефинисање веома специфичних радних услова који зависе од орбите, инклинације и положаја сателита у орбити око Земље,
3. одабир одговарајуће методологије анализе и прорачуна система за термичку регулацију наносателита,
4. спровођење бројних нумеричких прорачуна различитих могућих решења и детаљну анализу добијених резултата,
5. валидацију и верификацију предложених решења,
6. оптимизацију главних компоненти за термичку регулацију наносателита.

6. План истраживања и структура рада

Након детаљне анализе расположивих библиографских јединица које су референтне за предметну област истраживања савремених наносателита за научну сврху, биће извршена систематизација аналитичких, нумеричких и експерименталних приступа и резултата који су до сада остварени уз класификацију предочених смерница за будућа истраживања.

Даљи план истраживања током израде докторске дисертације може се разврстати у следеће главне активности:

- Преглед и систематизација постојеће научне литературе на тему термичке регулације наносателита;
- Анализа и систематизација постојећих система за термичку регулацију сателита (наносателита, али и сателита већих димензија);

- Одабир и развој одговарајућих прорачунских модела (погодних за употребу у астрономији и машинству);
- Спровођење нумеричких анализа;
- Дефинисање (мултидисциплинарних) оптимизационих проблема, развој, имплементација и спровођење оптимизационих поступака;
- Спровођење експерименталних истраживања;
- Упоредна анализа нумеричких и експерименталних резултата;
- Дискусија са извођењем закључака и препорукама за будућа истраживања.

Предвиђено је да докторска дисертација има следећу структуру:

1. Увод
2. Преглед доступне литературе и досадашњих релевантних истраживања
3. Преглед система за термичку регулацију код сателита свих величина
4. Опис наносателита чија се термичка регулација детаљно проучава
5. Преглед, одабир и употреба одговарајућих нумеричких и оптимизационих метода
6. Преглед и спровођење експерименталних испитивања
7. Упоређивање добијених нумеричких и експерименталних резултата
8. Закључак и дискусија
9. Литература

7. Закључак и предлог

На основу анализе пријаве теме докторске дисертације кандидата **Игора Плањанина, маг. инж. маш.**, архивиране под евиденционим бројем 903/1 од 08.05.2026. године, а сходно сагласности Колегијума наставника Катедре за ваздухопловство број 903/2 од 27.05.2026. године, као и Одлуци Наставно-научног већа број 903/3 од 11.06.2026. године, Комисија за подношење извештаја о научној заснованости теме докторске дисертације закључује да је предложена тема научно утемељена и адекватна за израду докторске дисертације, којом се може остварити значајан научни допринос, као и да кандидат 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

Игору Плањанину, маг. инж. маш.

одобри израду докторске дисертације под називом

**„Мултидисциплинарни приступ оптимизацији система за термичку регулацију
наносателита”**

која припада научној области: машинско инжењерство и ужим научним областима ваздухопловство и термомеханика, а за које је матичан Универзитет у Београду – Машински факултет. Комисија предлаже Наставно-научном већу Универзитета у Београду – Машинског факултета да се за за менторе наведене докторске дисертације кандидата Игора Плањанина, маг. инж. маш., именује **др Јелена Сворцан**, редовни професор Универзитета у Београду – Машинског факултета и **др Милан Стојановић**, научни сарадник при Астрономској опсерваторији у Београду који испуњавају све услове у складу са чланом 28. Правилника о Докторским студијама на Универзитету у Београду – Машинском факултету.

Београд, 22.06.2026. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Неџад Рудоња,
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....
Проф. др Јелена Сворцан,
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....
Ван. проф. др Тони Иванов,
Универзитет у Београду – Машински факултет

.....
Проф. др Лука Поповић,
Научни саветник, Астрономска опсерваторија у Београду
Универзитет у Београду – Математички факултет

.....
Др Милан Стојановић,
Научни сарадник, Астрономска опсерваторија у Београду