

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Оцена научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Бранислава Јеремића

Одлуком бр. 888/14 од 12.05.2026. године донетој на 929. седници Изборног и Наставног-научног већа Универзитета у Београду - Електротехничког факултета, именовани смо за чланове Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Бранислава Јеремића, под насловом: „Мултиваријабилно предиктивно управљање вентилационим системом каскаде чистих соба“ (енг. *Multivariable Predictive Control of the Ventilation System of a Cleanroom Cascade*).

На основу материјала приложеног уз захтев кандидата, Комисија подноси следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Бранислав Јеремић рођен је 10. августа 1981. године у Београду, где је завршио основну школу „Иван Горан Ковачић“ и Електротехничку школу „Никола Тесла“. Током школовања показивао је изражен интерес за техничке науке, посебно електротехнику и електронику, учествујући на такмичењима из ових области и освајајући награде. У том периоду похађао је и школу младих математичара „Архимедес“, као и музичку школу „Јован Бандур“ у Панчеву, где је свирао класичну гитару.

Електротехнички факултет Универзитета у Београду уписао је 2000. године, а дипломирао 2006. године на смеру електроника/аутоматика. Године 2012. примљен је на докторске студије на San Diego State University (САД), али се определио да даљи професионални развој гради кроз интензиван рад на индустријским пројектима, што је касније усмерило и његов истраживачки рад. Докторске студије из области управљања и обраде сигнала уписао је 2018. године на Електротехничком факултету Универзитета у Београду.

Професионалну каријеру започео је у области истраживања и развоја у компанији Uno-Lux, где је радио на развоју система за аквизицију и обраду података, укључујући софтверска решења за потребе Шумарског и Медицинског факултета, као и Војнотехничког института.

Након тога прелази у београдску компанију Термоинжењеринг, где током десет година развија комплексне алгоритме и функционална решења за PLC/SCADA и DCS системе у фармацеутској индустрији, у оквиру HVAC/BMS окружења. Његов рад обухвата моделовање процеса, развој управљачких стратегија и имплементацију регулационих функција у системима са израженом динамиком и међусобно спрегнутим променљивама. На пројектима чистих соба посебно се бави управљањем процесима кроз развој и оптимизацију PID и мултиваријабилних регулационих структура. Рад на оваквим технички захтевним, мултиваријабилним проблемима отворио је низ истраживачких питања која превазилазе постојећу инжењерску праксу и усмерио га ка докторским студијама, где се овим проблемима бави применом научних метода и њиховим даљим унапређењем.

Од 2018. године ангажован је у компанији Comita d.o.o. (Словенија) на пројектима у области нафтне и гасне индустрије, где је обављао улоге водећег инжењера за интегрисане системе управљања (ICSS), менаџера функционалне безбедности и техничког руководиоца на пројекту гасовода TurkStream. Његов рад обухвата пројектовање и интеграцију BPCS и SIS система, SCADA и DCS платформи, као и управљање сложеним ИТ/ОТ инфраструктурама и вишеслојним индустријским системима. У каснијој фази каријере преузима и улоге на нивоу техничког и пројектног руководства, укључујући позиције заменика техничког директора и директора пројекта.

Његова стручна област обухвата индустријску аутоматизацију, напредне методе управљања процесима, функционалну безбедност (IEC 61508/61511), као и интеграцију сложених техничких система. Посебан фокус у раду има на повезивању процесне технологије, управљања, енергетике и ИТ система у јединствене оперативне целине. Током каријере радио је на пројектима у више земаља, укључујући Србију, Русију, Словенију, Турску, Белгију и Холандију, сарађујући са међународним компанијама из области енергетике, фармације и индустрије.

Поред професионалног ангажмана, активно се бави спортом, посебно скијањем и ватерполом. Поседује дугогодишње искуство у Горској служби спасавања Србије, чији је члан од 2000. године. Течно говори енглески и руски језик, а словеначки користи на радном нивоу.

1.2. Стечено научноистраживачко искуство

Кандидат је током докторских академских студија на Електротехничком факултету Унивезитета у Београду (модул Управљање системима и обрада сигнала) активно учествовао у научним истраживањима, која су била део задатих наставних активности и финално су резултовала полагањем следећих испита:

Шифра	Назив предмета	Наставник	Оцена	ЕСПБ
19Д081НА	Нумеричка анализа	Јешић Синиша	10	9
19Д091ЕЈ	Енглески језик	Ђурић Милош	10	6
19Д051НМ	Неуралне мреже	Квашчев Горан	10	9
13Д051НМС	Нелинеарни мултиваријабилни системи	Стипановић Душан	10	9
13Д051СДМУ	Системи за дистрибуирано мерење и управљање	Ракић Александар	10	9
13Д051ОАС	Оптимални и адаптивни стохастички системи	Ковачевић Бранко	10	9
13Д051ПРО	Примењена робусна оптимизација	Ракић Александар	10	9
13Д051ТРС	Теорија роботских система	Јовановић Коста	10	9
13Д051УСС	Управљање сложеним системима	Квашчев Горан	10	9
13Д081ММФ	Математичко моделовање физичко-техничких процеса	Иричанин Братислав	10	9

Кандидат је испунио све обавезе предвиђене наставним планом и програмом докторских студија:

Назив обавезе	ЕСП
Научно стручни рад	3
Студијски истраживачки рад I	15
Студијски истраживачки рад II	15

У току досадашњег научноистраживачког рада кандидат је био први аутор једног рада, објављеног у научном часопису међународног значаја на *JCR* листи са *impact* фактором, као и два рада у зборницима међународних научних скупова:

Категорија M20 - Радови објављени у научним часописима међународног значаја:

M20.1. **B. M. Jeremić, A. Ž. Rakić**, "Multivariable Model Predictive Control of Cleanroom Pressure Cascades", *Electronics* (ISSN: 2079-9292, **IF: 2.6, M22**), vol. 14, no. 16, pp. 3296.1-29, Aug. 2025. doi:[10.3390/electronics14163296](https://doi.org/10.3390/electronics14163296)

Категорија M30 – Зборници међународних научних скупова:

M30.1. **B. M. Jeremić, A. Ž. Rakić**, "Cleanrooms pressure cascade: standard PID-based solutions and step forward to MIMO control," in *2022 XIV International Symposium on Industrial Electronics and Applications (INDEL)*, Banja Luka, Republic of Srpska - Bosnia and Herzegovina, Nov. 9–11, 2022, pp. 1-6. doi:[10.1109/INDEL55690.2022.9965542](https://doi.org/10.1109/INDEL55690.2022.9965542)

M30.2. **B. M. Jeremić, A. Ž. Rakić**, "Explicit MPC for Cleanroom Pressure Cascades: From Optimal Control to Industrial Implementation," in *13th Int. Conf. Electrical, Electronic and Computing Engineering (icETRAN 2026)*, Srebrno Jezero, Serbia, Jun. 8-11, 2026, pp. 1-6.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

Дана 11.06.2026. године, кандидат Бранислав Јеремић је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду имао јавни усмени испит о подобности теме докторске дисертације, пред Комисијом у саставу:

- др Александра Крстић, ванредни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет,
- др Саша Милић, научни саветник, Универзитет у Београду – Електротехнички институт „Никола Тесла“,
- др Иван Поповић, редовни професор, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет.

Комисија је излагање кандидата оценила оценом **задовољно**.

На основу приказа резултата досадашњег рада кандидата на докторском испиту, и узимајући у обзир целокупну поднету документацију, Комисија сматра да је кандидат стекао неопходно искуство за научно-истраживачки рад, као и да је способан за самосталан рад на изради докторске дисертације и остваривање резултата који могу бити вредновани од стране међународне научне заједнице. На основу претходно наведеног, **комисија сматра да је кандидат подобан за рад на предложеној теми.**

2. Предмет и циљ истраживања

Чисте собе представљају кључни технолошки сегмент у индустријама са високим захтевима у вези са контролом контаминације, као што су производња полупроводника, фармацевтска индустрија, биотехнологија и здравствени системи. Основни циљ ових система је одржавање строго дефинисаних параметара квалитета ваздуха (честице нечистоћа, притисак, проток), што се остварује комплексним вентилационим системима и одговарајућим стратегијама управљања [1], [2].

Вентилациони системи каскада чистих соба представљају сложене мултиваријабилне системе, у којима постоји значајна међузависност између физичких величина као што су проток ваздуха, брзина струјања и диференцијални притисци између зона. Ове међузависности произилазе из физичке повезаности просторија (канални, врата, пропусници), као и из заједничких ресурса система вентилације [3]–[5].

У индустријској пракси, управљање овим системима се најчешће реализује коришћењем више независних моноваријабилних петљи са ПИД регулаторима. Иако је овај приступ једноставан за имплементацију и широко прихваћен, он занемарује утицај унакрсних спрега између управљаних величина. Последице, међузависности се третирају као поремећаји, што може довести до субоптималних перформанси, везаних за прелазне режиме у условима присуства поремећаја [3], [4].

Са друге стране, мултиваријабилне стратегије управљања, засноване на моделима процеса, омогућавају експлицитно уважавање ових спрега. Међу њима, предиктивно управљање на бази модела (MPC - Model Predictive Control) представља један од најзначајнијих савремених приступа, који омогућава оптимизацију управљачких акција уз уважавање ограничења и динамике система [6]–[8]. MPC је већ показао значајан потенцијал у HVAC системима и управљању енергетском ефикасношћу објеката [9], али његова примена у системима каскаде чистих соба остаје недовољно истражена, посебно у реалним индустријским условима.

Упркос постојећим истраживањима у области управљања HVAC системима и контроле притиска у чистим собама, у литератури није довољно обрађен проблем систематске примене мултиваријабилних предиктивних метода управљања на каскадно повезане чисте собе, уз истовремено уважавање индустријских ограничења, архитектуре управљања и практичне имплементације. Посебно је уочен недостатак радова који обухватају интеграцију процеса моделовања, идентификације, синтезе MPC контролера и његове експерименталне верификације у реалном индустријском окружењу.

Предмет овог истраживања је развој, примена и верификација мултиваријабилне стратегије управљања вентилационим системом каскаде чистих соба, засноване на MPC приступу, са посебним освртом на моделовање система, идентификацију параметара, имплементацију у окружењу индустријских управљачких система [10], као и верификацију побољшања перформанси управљања у односу на конвенционалне децентрализоване ПИД структуре.

Циљ истраживања је формулисање научно заснованог оквира за остваривање управљања високих перформанси, кроз ефективну интеграцију примене напредних метода теорије управљања системима, како у постојећа технолошка решења за индустријске системе управљања (DCS – Distributed Control Systems), тако и у савремене концепте индустријских информационо-комуникационих система (IIoT – Industrial Internet of Things)..

Значај истраживања је двострук. Са научног аспекта, очекује се допринос развоју методологије примене MPC-а на сложене HVAC системе са израженим мултиваријабилним карактеристикама. Са практичног аспекта, истраживање би се ослањало на мерење и управљање у реалном индустријском окружењу фармацеутске производње, што би омогућило директну применљивост резултата и потенцијално унапређење постојећих индустријских решења.

Литература

- [1] A. Bhattacharya, M. S. N. Tak, S. Shoai-Naini, F. Betz, and E. Mousavi, "A systematic literature review of cleanroom ventilation and air distribution systems," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 23, Art. no. 220407, 2023. doi: 10.4209/aaqr.220407.
- [2] Y. Wang, Y. Li, and L. Zhou, "Pressure gradient control and energy-saving operation strategy study on a multi-zone cleanroom," *Procedia Eng.*, vol. 121, pp. 1998–2005, 2015. doi: 10.1016/j.proeng.2015.09.198.
- [3] A. H. T. M. van der Brink and A. W. M. van Schijndel, "Improved control of the pressure in a cleanroom environment," *Build. Simul.*, vol. 5, no. 1, pp. 61–72, 2012. doi: 10.1007/s12273-012-0065-8.
- [4] J. Liu, L. Zhang, J. Yang, Y. Chen, and X. Zhang, "Study on pressure control and energy saving of cleanroom in purification air conditioning system," *Energy Build.*, vol. 253, Art. no. 111502, 2021. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111502.
- [5] C. Zhuang, K. Shan, and S. Wang, "Coordinated demand-controlled ventilation strategy for energy-efficient operation in multi-zone cleanroom air-conditioning systems," *Build. Environ.*, vol. 191, Art. no. 107588, 2021. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.107588.
- [6] J. H. Lee, "Model predictive control: Review of the three decades of development," *Int. J. Control Autom. Syst.*, vol. 9, no. 3, pp. 415–424, 2011. doi: 10.1007/s12555-011-0300-6.
- [7] K. S. Holkar and L. M. Waghmare, "An overview of model predictive control," *Int. J. Control Autom.*, vol. 3, no. 4, pp. 47–63, 2010.
- [8] M. Schwenzer, M. Ay, T. Bergs, and D. Abel, "Review on model predictive control: An engineering perspective," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 117, pp. 1327–1349, 2021. doi: 10.1007/s00170-021-07682-3.
- [9] G. Serale, M. Fiorentini, A. Capozzoli, D. Bernardini, and A. Bemporad, "Model predictive control (MPC) for enhancing building and HVAC system energy efficiency: Problem formulation, applications and opportunities," *Energies*, vol. 11, no. 3, Art. no. 631, 2018. doi: 10.3390/en11030631.
- [10] M. G. Forbes, R. S. Patwardhan, H. Hamadah, and R. B. Gopaluni, "Model predictive control in industry: Challenges and opportunities," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 8, pp. 531–538, 2015. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.09.022.

3. Полазне хипотезе

- X1: Примена мултиваријабилног приступа управљању, заснованог на оптимизационим методама, доводи до унапређења перформанси у односу на класичан моноваријабилни приступ.
- X2: Адекватно моделовање процеса, у складу са принципима теорије управљања, омогућава синтезу алгоритма управљања високих перформанси при чему MPC архитектура обезбеђује експлицитно уважавање унакрсних спрега и ограничења система.
- X3: Предложена методологија управљања је применљива у савременим индустријским рачунарским архитектурама и ИИТ окружењима, при чему је могуће остварити ефикасну расподелу рачунарског оптерећења кроз хијерархијску организацију система управљања. Конкретно, алгоритми који захтевају оптимизацију у реалном времену (конвенционални MPC) могу се реализовати у вишим хијерархијским слојевима, док се предоптимизоване стратегије (експлицитни MPC) могу имплементирати у временски критичним доњим слојевима, без значајног губитка перформанси управљања.

4. Методе истраживања

Истраживање ће бити засновано на студији случаја реалног индустријског система каскаде чистих соба у фармацеутском окружењу, који ће бити технички прилагођен тако да омогући систематско тестирање постављених хипотеза (X1–X3). У том циљу биће развијена прототипска експериментална платформа која омогућава аквизицију података, имплементацију напредних алгоритама управљања и контролисано извођење експеримената. Методолошки приступ истраживања обухвата следеће кључне кораке:

- Моделовање процеса и системска идентификација: Развој динамичког модела система каскаде чистих соба, заснованог на комбинацији физички заснованог моделовања и експерименталне идентификације параметара. Верификација модела биће извршена поређењем симулационих и експерименталних резултата.
- Синтеза и имплементација MPC управљања: Развој мултиваријабилног MPC контролера који уважава унакрсне спреге и ограничења система. Контролер ће бити имплементиран у реалном времену на додатном рачунарском слоју, који ће бити интегрисан са постојећим индустријским PLC/DCS системом путем одговарајућих комуникационих протокола.
- Експериментална верификација и квантификација перформанси: Перформансе предложеног управљања биће оцењене кроз серију експеримената у реалним радним условима, уз поређење са постојећим ПИД управљањем, а у циљу директног тестирања хипотеза X1.
- Анализа архитектуре и индустријске применљивости: Биће испитана могућност интеграције предложене методологије у постојеће индустријске системе управљања, уз анализу ангажовања рачунарских ресурса и временских ограничења. У том контексту биће упоређени приступи засновани на оптимизацији у реалном времену и предоптимизацији (експлицитни MPC), са аспекта перформанси и захтева у погледу рачунарских ресурса, у циљу верификације хипотезе X3.

5. Очекивани научни доприноси

1. Развој адекватног динамичког модела мултиваријабилног система вентилације чистих соба, који обухвата унакрсне спреге између протока ваздуха и диференцијалних притисака, уз експерименталну верификацију у реалним индустријским условима.
2. Дефинисање методологије за синтезу и подешавање мултиваријабилног MPC управљања за системе каскаде чистих соба, која омогућава експлицитно уважавање ограничења и међусобних утицаја између управљаних величина.
3. Квантитативна анализа унапређења перформанси управљања кроз систематско поређење предложеног MPC управљања са конвенционалним ПИД структурама.
4. Дефинисање и верификација архитектуре система управљања, која омогућава ефективну интеграцију MPC алгоритама у постојеће индустријске системе (PLC/DCS) и напредна ПоТ окружења, укључујући анализу приступа заснованих на оптимизацији у реалном времену и предоптимизацији.

6. План истраживања

Истраживање ће бити реализовано кроз више логички повезаних фаза, које обухватају теоријску анализу, развој модела, синтезу управљања и експерименталну верификацију у реалном индустријском окружењу.

У почетној фази биће извршен детаљан преглед релевантне научне и стручне литературе у области управљања HVAC системима, контроле чистих соба и примене MPC метода, са циљем идентификације ограничења постојећих приступа и прецизног дефинисања научног проблема. Након тога, биће спроведена техничка припрема индустријског система каскаде чистих соба за потребе истраживања, која обухвата конфигурацију сензорско-актуаторске инфраструктуре, организацију аквизиције података и интеграцију додатног рачунарског слоја за имплементацију напредних алгоритама управљања.

У наставку истраживања биће развијен динамички модел система, уз примену метода системске идентификације, при чему ће валидација модела бити извршена кроз поређење симулационих и експерименталних резултата. На основу добијеног модела биће спроведена синтеза мултиваријабилног MPC контролера, као и његова анализа, са циљем избора одговарајуће структуре и параметара управљања.

Предложени алгоритам управљања биће затим имплементиран на експерименталној платформи и тестиран у реалним радним условима, уз систематско поређење са постојећим ПИД управљањем. Посебна пажња биће посвећена анализи перформанси у погледу праћења референтних вредности, транзијентног одзива, потискивања поремећаја и робусности система.

У завршној фази истраживања биће испитана могућност интеграције MPC управљања у постојеће индустријске системе, уз анализу различитих приступа заснованих на оптимизацији у реалном времену и предоптимизацији, са аспекта перформанси и захтева у погледу рачунарских ресурса. На основу добијених резултата биће извршена верификација постављених хипотеза, квантификација научних доприноса и формулисање препорука за практичну примену.

7. Закључак и предлог

На основу приложене документације и непосредног увида у досадашњи научни рад кандидата Бранислава Јеремића, дипломираног инжењера електротехнике и рачунарства, Комисија закључује следеће:

- Кандидат испуњава све формалне и суштинске услове прописане законом о високом образовању, Статутом Универзитета у Београду и Статутом Електротехничког факултета Универзитета у Београду, за израду докторске дисертације.
- Предложена тема „Мултиваријабилно предиктивно управљање вентилационим системом каскаде чистих соба“ (енг. *Multivariable Predictive Control of the Ventilation System of a Cleanroom Cascade*) научно је заснована и резултати до којих ће се доћи током израде ове дисертације представљаће значајан и оригинални допринос. Тема припада ужој научној области Аутоматика.

На основу претходно изложеног, комисија предлаже Наставно-научном већу Електротехничког факултета Универзитета у Београду да кандидату Браниславу Јеремићу одобри израду докторске дисертације под насловом: „Мултиваријабилно предиктивно управљање вентилационим системом каскаде чистих соба“ (енг. *Multivariable Predictive Control of the Ventilation System of a Cleanroom Cascade*), а за ментора се предлаже проф. др Александар Ракић, редовни професор Електротехничког факултета у Београду.

У Београду 12.06.2026. године

Чланови комисије



др Александра Крстић, ванредни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет



др Саша Милић, научни саветник
Универзитет у Београду – Електротехнички институт „Никола Тесла“



др Иван Поповић, редовни професор
Универзитет у Београду - Електротехнички факултет