

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Машински факултет

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Андрије А. Петровића

Одлуком 1189/2 од 04.07.2019 године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Андрије А. Петровића под насловом

**ПРОЦЕСНЕ ПЕРФОРМАНСЕ СУПЕРСОНИЧНОГ ГАСНОГ ЕЈЕКТОРА СА
КОНВЕРГЕНТНО-ДИВЕРГЕНТНОМ МЛАЗНИЦОМ ПРОМЕНЉИВОГ
ПОПРЕЧНОГ ПРЕСЕКА**

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Андрија Петровић, маг. инж. маш.– мастер инжењер машинста, маг. екон. – мастер економије, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2015/2016. године. Кандидат је поднео захтев за одобрење теме докторске дисертације број 3034/1 од. 23.11.2017 године на Катедри за Процесну технику Машинског факултета Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Србислава Генића, редовног професора Машинског факултета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа број 242/2 од 08.02.2018 године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „**Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека**“ кандидата Андрије Петровића, и за ментора је именован др Србислав Генић, редовни професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду донело је Одлуку број 61206-1050/2-18 од 26.03.2018 године којом се даје сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата Андрије Петровића, под насловом: „**Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека**“. На основу обавештења проф. др Србислава Генића број 1184/1 од

24.06.2019 да је кандидат Андрија Петровић, завршио докторску дисертацију под насловом: „**Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека**“. Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 04.07.2019 године Одлуку број 1189/2 о именовану Комисије за оцену подобности теме и кандидата за израду докторске дисертације и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Србислав Генић, редовни професор (ментор), Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Милош Бањац, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду
- dr. ing. Dorin Lelea, full-time professor, University Politehnica Timisoara, Facultatea de Mecanica
- др Мирјана Стаменић, доцент, Машински факултет, Универзитет у Београду
- др Угљеша Бугарић, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација под насловом „**Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека**“ припада области техничких наука – Процесна техника, ужој научној области – процесни апарати, за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан. Ментор др Србислав Генић је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публиковао 36 радова на SCI листи.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Андрија Петровић рођен је у Београду 23.08.1991. Основну школу „Љуба Ненадовић“ завршио је 2006. године у Београду, као носилац Вукове дипломе и ђак године. Средњу школу „13. београдску гимназију“ завршио је 2010. године у Београду и награђен је за изузетан успех током школовања. Основне студије на Машинском факултету Универзитета у Београду уписао је 2010. године и завршио 2013. године са просечном оценом 9,91. Мастер студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, смер Процесна техника и заштита животне средине, уписао је 2013. године и завршио 2015. године са просечном оценом 9,90. Мастер рад је одбранио са оценом 10 на тему „Концептуално решење и економска процена рада система за производњу електричне енергије на бази органског ранкиновог циклуса“. Дипломирао је на Факултету за Пословну економију Универзитета Сингидунум 2014. године, смер финансије и банкарство, са просечном оценом 9,45. Мастер студије на модулу Пословна економија завршио је 2016. године са просечном оценом 10,00. Мастер рад је одбранио са оценом 10 на тему „Динамика промене вредности емисионих дозвола и рентабилност инвестиције тригенеративног постројења“.

Тренутно је студент треће године докторских студија на Факултету организационих наука Универзитета у Београду, где је положио све испите на докторским студијама и студент је треће године докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду. Докторске студије на Факултету организационих наука кандидат је уписао школске године 2015/16. Докторске студије на Машинском факултету кандидате је уписао школске године 2015/16.

Награђиван је за изузетан успех током студија на Машинском факултету 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14, 2014/15 године. Награђен је као најбољи студент на основним генерације уписане 2010/11 године, као најбољи студент на мастер академским студијама генерације уписане 2013/14 године и као најбољи студент генерације уписане 2010/11 године. Добитник награде за најбољи мастер рад на конгресу Процесинг 2016.

Био је стипендиста града Београда за 2011/12 годину, стипендиста Републике Србије за 2013/14 годину, стипендиста Фонда за младе таленте“ за 2012/13 и 2014/15 годину, стипендиста „Термоелектране Никола Тесла“ за годину 2012/13, стипендиста фирме „Ејектоинжењеринг Београд“ за 2012/13, 2013/14 и 2014/15 годину.

Учествовао је у раду летње школе организоване под покровитељством NTNU (Norwegian University of Science and Technology) у оквиру пројекта „Herd energy project - quality improvement of masters programs in sustainable energy and environment“. Био је практикант фирме „Про-инг Београд“ у периоду јун-август 2011 године. Похађао је више курсева организованих од стране фирме „Merit Plan“. У оквиру Erasmus+ програма размене студената похађао је 2. семестар прве године докторских студија школске 2015./16. на Машинском факултету Универзитета Политехника Темишвар. Стипендиран је од компаније Сага д.о.о од маја 2018 на пројекту развоја алгоритама за машинско учење заједно са професорима са Факултета организационих наука.

Запослен је од 2018. године као асистент на катедри за Индустријско инжењерство на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Поседује сертификат FCE– B2 познавање енглеског језика. Служи се руским језиком. Активно користи програмерске софтвере Visual Basic, MatLab, Python, Fortran, Delphi, Eviews, Ansys - Fluent, AMPL, SQL. Зна да употребљава софтверске пакете за обраду текста MS OFFICE (Word, Excell, Power point) и Latex, софтвере за техничко цртање AutoCAD и Solid Works. Поседује возачку дозволу Б категорије. Објавио је до сада 7 радова на SCI листи од тога четири M21a категорије, један M21 категорије и два M22 категорије.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Андрије Петровића, маг. инж. маш., маг. екон. под насловом „**Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека**“ је документ формата А4, штампан једнострано, написан на српском језику, ћириличним

писмом. Написана је на укупно 142 нумерисаних страна укључујући и Литературу која садржи 110 референци. Илустрована је са 45 слика и дијаграма, садржи 135 нумерисаних израза, и 25 табела.

Докторска дисертација садржи следећа Поглавља:

1. Увод;
2. Преглед литературе и приказ постојећих истраживања у области суперсоничних гасних ејектора са конвергентном-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека;
3. Примена суперсоничног гасног ејектора на примеру постројења за десалинизацију из геотермалних извора;
4. Суперсонични гасни ејектора са млазницом променљивог попречног пресека;
5. Евалуација рада суперсоничног гасног ејектора са млазницом променљивог попречног пресека једнодимензионим моделима;
6. Закључак;

Осим наведеног, докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У *првом* поглављу дисертације дат је опоглед на област која је истраживана у дисертацији. Представљен је начин рада ејектора, заједно са елементима од кога се исти састоји. Детаљно су описани процесни феномени који се дешавају приликом рада суперсоничног гасног ејектора. Представљена су основна ограничења настала при раду суперсоничног гасног ејектора са константном геометријом и дат је предлог како се недостаци истог могу решити коришћењем конвергентно-дивергентне млазнице променљивог попречног пресека. Поред тога, дат је поглед на методе научно-истраживачког рада, циљеве истраживања, опште и посебне хипотезе и значај истраживања. На самом крају представљена је структура рада.

У *другом* поглављу дисертације приказана је примена суперсоничног гасног ејектора са константим геометријским карактеристикама у расхладном процесу при десалинизацији воде. У овом делу дисертације су представљене основне мане суперсоничног гасног ејектора са геометријом константног пресека и појашњени мотиви који се тичу предности примене суперсоничног гасног ејектора са млазницом променљивог попречног пресека. Вишекритеријумском оптимизацијом и моделима вишекритеријумског одлучивања одређене су геометријске карактеристике постројења за десалинизацију воде из геотермалних извора и ејекторског расхладног уређаја. За постројење које је оптимално са становништва критеријума одлучивања, приказани су укупни ексергетски губици постројења, заједно са уделом губитака суперсоничног гасног ејектора у истим. У случају промене параметара рада постројења детаљно је представљен мотив зашто би суперсонични гасни ејектор са конвергентно-

дивергентном млазницом променљивог попречног пресека знатно побољшао перформансе рада постројења.

У *трећем* поглављу дисертације анализирани су процесни параметри ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека. Конвергентно-дивергентна млазница анализирана у овој дисертацији се састоји од шиљка и цилиндра. Геометрија шиљка је изведена тако да у што могуће већој мери умањи неповратности изазване појавом ударних таласа. У складу са основним законима одржања супстанције, енергије и количине кретања при изентропском истицању гаса из млазнице представљена је функција која дефинише геометрију шиљка. Карактеристике новог типа конвергентно-дивергентне млазнице са променљивим попречним пресеком су приказане на суперсоничном гасном ејектору у оквиру експерименталног постројења за индустријску намену. Поред тога карактеристике струјне слике ејектора су детаљно анализирани посредством нумеричких симулација. За различите положаје шиљка, геометријске карактеристике и различите вредности улазних и излазних величина широк дијапазон рада ејектора је добијен. Резултати нумеричких симулација су поређени са експерименталним подацима добијеним аналитичким моделима, без модификованих фактора који утичу на дисипативне ефекте унутар ејектора. На основу добијених симулација и експерименталних података детаљно су анализирани предности и недостаци коришћења ејектора са новим типом конвергентно-дивергентне млазнице са променљивим попречним пресеком.

У *четврто* поглављу дисертације примењени су оптимизационе методе и алгоритми машинског учења у циљу адаптације постојећих математичких модела суперсоничних гасних ејектора, на случајеве када се користи млазница променљивог попречног пресека. Основни аналитички изрази, различитих модела за димензионисање ејектора, прилагођени су подацима добијеним експерименталним истраживањима. Ефикасност сваког дела ејектора (млазнице, коморе за мешање, усисне коморе и дифузора) евалуирана је посредством изведених аналитичких израза за одговарајуће факторе у сваком аналитичком моделу. Одређивање фактора, при којима је добијена најмања квадратна разлика између аналитичких и експерименталних података, је спроведено коришћењем одабраних оптимизационих метода у зависности од изабраног аналитичких модела. У циљу даљег побољшања предиктивних перформанси аналитичких модела, коришћењем експерименталних резултата и посредством алгоритма машинског учења Мешавина експерата, формиран је комбиновани модел за предикцију перформанси рада ејектора. Анализирани су перформансе свих разматраних модела у различитим опсезима односа попречних пресека и притисака.

У *петом* поглављу дисертације су представљени закључци изведени на основу целокупног истраживања, њихов допринос, као и правци у којима би ово истраживање могло да се настави у будућности.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација под насловом „**Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека**“ кандидата Андрије Петровића, маг. инж. маш., маг. екон. представља наставак истраживања проблема моделовања суперсоничних гасних ејектора, који је датира из прве половине двадесетог века. У дисертацији се третирају суперсонични гасни ејектори са млазницом променљивог попречног пресека приликом чега се користе савремена нумеричка израчунавања и оптимизационе методе, чиме се постиже савременост ове дисертације. Оригиналност у приступу приликом решавања проблема анализе процесних перформанси суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека огледа се кроз ауторске и коауторске радове публиковане у међународним научним часописима изузетних вредности.. У дисертацији се користе аналитичке и нумерички методе за моделирање суперсоничног гасног ејектора и евалуацију рада истог у различитим радним режимима. С обзиром да је кандидат Андрија Петровић дао одговоре на питања која су од изузетног значаја приликом анализе рада суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека, то се предложена дисертација може оценити као изузетно успешна.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из различитих области, па су због изразито комплексног карактера теме докторске дисертације референтне области обухватале термодинамику, механику флуида, теорију вероватноће и статистике и компјутерске механике флуида. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за формирање прегледа постојећих истраживања везаних за област теорије рада ејектора, као и за припрему експеримената и модела. У другом поглављу докторске дисертације кандидат приказује хронолошки преглед релевантне научне литературе, чиме је дао критички осврт на најважније резултате релевантних аутора. Све референце коришћене у раду приказане су на крају рада, а кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у научним часописима високог ранга и конференцијама међународног значаја. Од наведених наслова коришћене литературе, доминирају оне млађе од десет година, као и оне из водећих међународних часописа.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Резултати приказани у овој докторској дисертацији добијени су применом следећих научних метода (теорија) добро познатих научној и стручној јавности:

- Механике флуида;
- Термодинамике
- Статистике;

- Вероватноће;
- Нумеричких метода;
- Математичког програмирања;
- Елементарна линеарна алгебра;
- Компјутерске механике флуида;
- Парцијалних диференцијалних једначина.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати у оквиру докторске дисертације поред научне вредности имају и широку инжењерску примену. Пре свега показано је да суперсонични гасни ејектори са млазницом променљивог попречног пресека имају шири дијапазон рада у поређењу са ејекторима са константном геометријом. Стога, се закључује да ће новиразвијени тип конвергентно-дивергентне млазнице са променљивим попречним пресеком имати широку употребу у циљу регулације рада суперсоничног гасног ејектора. На овај начин избећи ће се избегавање коришћења додатних вентила при регулацији рада ејектора или додавање још једног степена слободе рада ејектора при коришћењу регулационог вентила на излазу. Наведено је у дисертацији и доказано самим тим што су сви извршени експерименти урађени на индустријској инсталацији. Поред тога у докторској дисертацији је представљен нови комбиновани модел којим се може оценити рад суперсоничних гасних ејектора са млазницом променљивог попречног пресека и изабрати онај тип који задовољава инвеститора.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Током израде докторске дисертације кандидат је показао способност за самостални научни рад, као и да решава научне проблеме, односно, да има изузетно знање у оквиру области процесне технике, термодинамике, механике флуида, математичког програмирања, вероватноће и статистике као и савремених метода коришћених у примењеној и нумеричкој математици потребних за даљи научно-истраживачки рад. То је потврђено како бројним испитима које је кандидат положио на докторским студијама, тако и бројним коауторским радовима.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1 Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос докторске дисертације кандидата Андрије Петровића под називом „Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека“ се огледа у следећем:

1. Представљен је преглед литературе који се односи на суперсоничне гасне ејекторе са млазницом променљивог попречног пресека и **дат је критички осврт на исту - допринос је представљен у радовима [1] и [2].**

2. Развијен је нови гасодинамички модел конвергентно-дивергентне млазнице променљивог попречног пресека – допринос је представљен у раду [2].
3. Извршена је експериментална и нумеричка анализа рада новоразвијеног типа суперсоничних гасних ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека – допринос је представљен у раду [2].
4. Резултати добијени експериментима су анализирани за различите положаје шиљка и различите вредности притиска на излазу из ејектора – допринос је представљен у радовима [1] и [2].
5. Развијене су нове корелационе једначине ефикасности компонената ејектора и нови аналитички модел заснован на комбинацији постојећих модела за анализу рада суперсоничних гасних ејектора – допринос је представљен у раду [1].

Поред тога у дисертацији остварени су и следећи инжењерски доприноси:

1. Новиразвијени тип конвергентно-дивергентне млазнице са променљивим попречним пресеком ће имати широку употребу у циљу регулације рада суперсоничног гасног ејектора. На овај начин избећи ће се избегавање коришћења додатних вентила при регулацији рада ејектора или додавање још једног степена слободе рада ејектора при коришћењу регулационог вентила на излазу – допринос је представљен у радовима [1] и [2].
2. Новоразвијени тип суперсоничних гасних ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека, услед врло једноставне конструкције и ниске производне цене може да буде примењена на различитим доменима – допринос је представљен у раду [2].
3. Показано је да се развијени нумерички и аналитички модели могу са задовољавајућом тачношћу примењивати у пракси. – допринос је представљен у радовима [1] и [2].

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

На основу прегледа релевантне научне литературе и сагледавања постојећих решења из области ове докторске дисертације, комисија констатује да су приказани резултати истраживања изузетно значајни и научно утемељени. Истовремено, на основу увида у задате циљеве истраживања и резултате представљене у докторској дисертацији, констатујемо да су пружени одговори на сва релевантна питања и да су решени сви проблеми са којима се кандидат сусрео у току истраживања.

4.3. Верификација научних доприноса

Научни доприноси кандидата Андрије Петровића, наведени у тачки 4.1 овог Реферата, верификовани су следећим чланцима:

- [1] Petrovic, A., Jovanovic, M. Z., Genic, S., Bugaric, U., & Delibasic, B. (2018). Evaluating performances of 1-D models to predict variable area supersonic gas ejector performances. *Energy*, 163, 270-289. **M21a**

[2] Petrovic, A., Svorcan, J., Pejcev, A., Radenkovic, D., & Petrovic, A. (2018). Comparison of novel variable area convergent-divergent nozzle performances obtained by analytic, computational and experimental methods. Applied Mathematical Modelling, 57, 206-225. M21

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да се докторска дисертација под називом „Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека“ кандидата Андрије Петровића, маг. инж. маш., маг. екон. прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат Андрија Петровић, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања, а да је докторска дисертација под називом „Процесне перформансе суперсоничног гасног ејектора са конвергентно-дивергентном млазницом променљивог попречног пресека“ представља оригиналан научни рад са научним доприносима у области процесне технике, ужа научна област процесни апарати.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

др Србислав Генић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Милош Бањац, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

dr. ing. Dorin Lelea, full-time professor
University Politehnica Timisoara, Facultatea de Mecanica

др Мирјана Стаменић, доцент
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Угљеша Бугарић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет