

**ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Михаила Васића, магист. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 776/3 од 20.05.2021. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Михаила Васића, магистера инжењера машинства**, под насловом

**„Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације“**

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

**РЕФЕРАТ**

**1. УВОД**

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат **Михаило Васић**, студент докторских студија, уписао је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2013/14. године. Током студија положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских академских студија.

Кандидат Михаило Васић магист. инж. маш., поднео је захтев за одобрење теме докторске дисертације број 1053/1 од 17.07.2020. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. Кандидат је за менторе предложио др Владимира Стевановића, редовног професора Машинског факултета Универзитета у Београду и др Александру Сретеновић, доцента Машинског факултета Универзитета у Београду .

Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку бр. 1270/4 од 19.11.2020. године којом је прихваћена тема докторске дисертације под називом „Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације“, именовани су ментори проф. др Владимир Стевановић и доцент Александра Сретеновић. Веће научних области техничких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Михаила Васића, магист. инж. маш. одлуком број 61206-4083/2-20 од 01.12.20.г.

На основу обавештења проф. др Владимира Стевановића и доцента др Александре Сретеновић да је кандидат Михаило Васић завршио докторску дисертацију под насловом „Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације“, и предлога Катедре за термотехнику, Наставно-научно веће Машинског факултета Универзитета у Београду донело је Одлуку број 776/3 од 20.05.2021. године о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Владимир Стевановић, ментор, редовни професор Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Александра Сретеновић, доцент Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Бранислав Живковић, редовни професор у пензији Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Тамара Бајц, доцент Машинског факултета Универзитета у Београду,
- др Милица Илић, научни сарадник Иновационог центра Машинског факултета у Београду, Универзитета у Београду.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Михаила Васића, под насловом „Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације“ припада области техничких наука - машинство, ужа научна област термотехника, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Ментор др Владимир Стевановић је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувао 37 радова на SCI листи. Ментор др Александра Сретеновић је доцент на Машинском факултету Универзитета у Београду. Као аутор или коаутор до сада је публикувала 11 радова на SCI листи.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Михаило Васић рођен је 14.3.1988. године у Лозници. Основну школу „Јован Цвијић“ завршио је са одличним успехом, по чијем завршетку је награђен дипломом „Вук Караџић“, а због бројних диплома освојених на такмичењима, као и због спортског ангажовања, понео је још пет посебних диплома. Током овог периода нарочито је заинтересован за кошарку, прошао је кроз све млађе клупске селекције у родном граду, редовно учествовао на летњим кошаркашким камповима. Године 2003., након успешно положеног посебног пријемног испита, школовање наставља у, београдској Математичкој гимназији, где се, између осталог, интензивно бави програмирањем. Студије на Машинском факултету у Београду започиње 2007. Године. Основне академске студије завршава са просечном оценом 9,73, а две године Мастер академских студија наставља на модулу за термотехнику. Мастер академске студије завршава 2012. године са просечном оценом 9,55, одбранивши мастер рад под насловом „Елементи и процеси у клима коморама“, у оквиру кога је самостално развио први и за сада једини домаћи софтвер за избор и прорачун клима комора. У свакој години студија био је награђиван поводом Дана факултета, а у последњој години и добитник стипендије „Доситеја“ за хиљаду најбољих студената у Републици Србији.

Са студентским тимом „Strawberry energy“ учествовао је у развоју и производњи „Strawberry дрвета“, за који су добили прву награду на глобалном такмичењу у оквиру Недеље одрживог развоја у Бриселу априла 2011. године. По повратку из Белгије, на пријему у Ректорату Универзитета у Београду бива награђен од министра просвете и ректора, а у истом периоду у Скупштини града Београда прима и Награду града Београда за стваралаштво младих.

По завршетку студија враћа се у Лозницу, где наставља професионални рад у породичном предузећу које се бави производњом термотехничке опреме и уградњом термотехничких инсталација. Интензивно се бави развојем, конструкцијом и производњом компоненти за вентилационе системе (клима коморе, дистрибутивни и регулациони елементи, конвектори, програм апсолутне филтрације), често проводећи доста времена непосредно у производњи.

Докторске академске студије уписује такође на Машинском факултету Универзитета у Београду 2013. године. Ужа област интересовања током докторских студија су турбулентна струјања ваздуха на дистрибутивним елементима у системима вентилације и климатизације. Први је аутор једног рада објављеног у часопису међународног значаја са SCI листе, као и два техничка решења.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Михаила Васића, под називом „Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације“ садржи: 217 страна формата А4, 79 слика, 19 табела и списак коришћене литературе који садржи 109 референци.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Уводна разматрања
2. Физичко-математичко моделирање турбулентних струјања
3. Турбулентни млаз у техници собног ваздуха
4. Нумеричке анализе
5. Експериментална испитивања
6. Поређење нумеричких и експерименталних резултата
7. Закључак

Литература

Додатак: Подаци о мерењу брзине у слободном млазу на зидној решетки

Поред наведеног, дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, садржај, списак ознака, као и биографију аутора, изјаву о ауторству, изјаву о истовестности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У уводном поглављу 1 је приказан задатак истраживања у оквиру докторске дисертације са становишта обезбеђења контролисаног довода одговарајуће количине свежег припремљеног ваздуха у затворен простор, како би се обезбедио највећи могући степен угодности за особе које у том простору бораве. Посебно је истакнут значај дистрибуције ваздуха у техници климатизације, односно утицај брзине струјања и интензитета турбуленције ваздуха на параметре топлотне угодности. Образложен је значај методе нумеричке механике флуида која је примењена у докторског дисертацији за предвиђање распрострањања ваздушног млаза и одређивање оптималне геометрија дистрибутивних елемената како би се достигао задовољавајући ниво топлотног комфора. Такође је образложен значај експерименталног истраживања које је спроведено у оквиру докторске дисертације у циљу валидације нумерички добијених резултата. Ваздух се у просторију уводи локализовано и то релативно великим брзинама, а опште је прихваћен став да тако настали млаз поседује одговарајућу симетрију и униформност који су последица извесне симетрије завршних елемената за дистрибуцију ваздуха, те да искључиво они утичу на његово ширење. Међутим, делови каналске мреже и различита припадајућа опрема за усмеравање и регулацију доприноси да на улазном грлу елемената за увођење ваздуха у просторију буде неравномерно поље брзине, што се даље одражава на млаз у просторији. Спроведена истраживања посвећена су проблематици асиметрије и неравномерне расподеле протока на дистрибутивним елементима који су у широкој примени код ваздушних КГХ

система. На основу изложеног проблема који је потребно решити, постојећих инжењерских и научних метода за решавање проблема, кандидат је у поглављу 1 дефинисао задатак који се решава у оквиру докторске дисертације, циљ истраживања и значај спроведеног истраживања.

У поглављу 2 је приказан поступак нумеричке механике флуида који је примењен у истраживању у оквиру докторске дисертације. Приказана је Навије-Стоксова једначина вискозног турбулентног струјања нестишљивог флуида, која је осредњена Рејнолдсовим поступком. Образложена је примена Бусинескове хипотезе за одређивање турбулентне вискозности и примена стандардног  $k$ - $\epsilon$  модела турбуленције за одређивање кинетичке енергија и дисипације турбуленције.

У поглављу 3 су на основу прегледа у литератури доступних резултата теоријских и експерименталних истраживања, приказане карактеристике турбулентних млазева који се примењују у техници климатизације. Изложени су својства и структура слободних млазева карактеристичне геометрије, као што су равански, осносиметрични и радијални млаз. Приказане су и дискутоване карактеристике слободних млазева: интензитет турбуленције и степен мешања, профил брзине, зоне струјања и карактеристични пад брзине, домет млаза, контракција и дивергенција млаза, температурни профили у неизотермном млазу, те запремина ваздуха покренута млазом, односно индукција. Такође су размотрене карактеристике млаза у ограниченом простору, као што су својства и структура припојених млазева („Coanda ефекат“), утицај геометрије просторије на развој млаза и међусобна интеракција млаза.

У поглављу 4 је укратко приказан нумерички поступак решавања математичког модела струјања ваздуха на дистрибутивним елементима сложене геометрије и детаљно су приказани резултати нумеричких симулација које су спроведене у оквиру истраживања докторске дисертације кандидата. Приказана је примена SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) нумеричког алгоритма решавања у оквиру ANSYS комерцијалног програма, дефинисани су гранични услови и параметри прорачуна примењеног турбулентног модела. Спроведене нумеричке симулације и приказани и дискутовани резултати обухватају: (а) утицај регулатора протока са супротносмерним лопатицама на карактеристике млаза код вентилационих решетки, (б) утицај прикључне кутије са бочним прикључком на расподелу млаза код плафонских дифузора, (в) утицај регулационе клапне у кутији са бочним прикључком на експанзију млаза код линијских дифузора. Нумерички резултати садрже и анализу осетљивости резултата на број контролних запремина које су примењене за дискретизацију струјног простора.

У поглављу 5 су приказана експериментална истраживања у оквиру докторске дисертације. Поглавље обухвата: (а) приказ и образложење избора мерне опреме и принципа мерења, (б) мерну инструментацију и неодређеност измерених параметара, (в) експерименталне инсталације које је кандидат сам изградио и на којима су спроведена мерења, (г) поступак мерења, и (д) резултате експерименталних мерења.

Поглавље 6 обухвата валидацију нумеричких резултата поређењем са експерименталним мерењима. Поређење нумеричких и експерименталних резултата обухвата: (а) брзине у слободном млазу формираном на зидној решетки, (б) расподелу протока на четвоространом плафонском анемостату, (в) расподелу протока на отвору линијског дифузора.

У поглављу 7 су збирно приказани остварени резултати у оквиру израде докторске дисертације са посебним нагласком на научне доприносе и могућу примену остварених резултата у инжењерској пракси.

### 3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Истраживање утицаја геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације је савремена тема истраживања. Условљена је како недовољним познавањем утицаја сложених геометрија различитих елемената за усмеравање и контролу протока на млаз ваздуха који се шири у вентилираној просторији, тако и високим захтевима за топлотном угодности у просторијама са механичком вентилацијом. Савремена истраживања у овој области термотехнике дају детаљан увид у струјно поље ваздуха унутар вентилиране просторије, што је омогућено и развојем компјутерске технике и ефикасних метода нумеричке механике флуида. Добијени резултати су подлога за конструисање и примену различитих елемената који се користе у системима механичке вентилације и омогућавају остваривање потребног нивоа топлотне угодности у савременим објектима нестандарних и нових архитектонских решења. Савременост истраживања се огледа и у већем броју радова који се објављују у водећим међународним часописима на тему расподеле ваздуха у просторији и свеобухватног утицаја на топлотни комфор, те оптимизације геометрије различитих дистрибутера којима се задовољавајућа угодност може и достићи.

Истраживање применом нумеричких симулација и експерименталних мерења, које је кандидат спровео у докторској дисертацији је оригинално. До сада нису публиковани резултати који у потпуности обухватају утицај различитих геометрија неизбежних периферних елемената на дистрибуцију ваздуха у просторији. У односу на до сада позната решења, кандидат је дао оригинална решења прикључне кутије за плафонске дифузоре са бочним доводом ваздуха, која знатно повећава униформност дистрибуције ваздуха у вентилираној просторији. Такође, кандидат је осмислио, пројектовао и изградио сопствену експерименталну инсталацију која омогућава испитивање утицаја геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације. Експериментални резултати добијени на овој инсталацији су оригинални и представљају тест резултате за валидацију резултата нумеричких прорачуна.

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

Списак литературе која је коришћена у дисертацији је дат као посебна целина, где су литерални наводи дати према абecedном реду, а у тексту се наводе презименом првог аутора и годином публикавања. Прегледом цитиране литературе, може се закључити да је кандидат Михаило Васић при изради дисертације користио актуелну и референтну литературу.

На основу цитиране литературе кандидат је приказао тренутно стање у области истраживања дистрибуције ваздуха у вентилираним просторијама, указао је на нерешене проблеме и поставио је циљеве истраживања у оквиру дисертације. У дисертацији је коришћено 109 референци. Кандидат је коректно проучио и цитирао наведене изворе.

#### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је користио следеће научне методе:

- систематско проучавање и класификација литературе са становишта анализе и поређења различитих метода и остварених резултата;
- математичко моделирање вискозног турбулентног струјања нестишљивог њутновског флуида, засновано на једначини континуитета, Навије-Стоксовим једначинама, које су осредњене по времену поступком Рејнолдса, такозване RANS једначине (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) и одговарајућем двоједначинском моделу турбуленције;

- решавање модела струјања применом нумеричке механике флуида (CFD-Computational Fluid Dynamics), засноване на методи коначних запремина и SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) алгоритму;
- експериментално истраживање које обухвата мерење поља брзина и протока на излазу из елемената за дистрибуцију ваздуха у просторији, коришћењем анемометара са ужареним влакном и пропелером, протокомера, као и мерењем пада притиска на дифузору помоћу диференцијалног манометра;
- валидација резултата поређењем нумеричких и експерименталних резултата и оцена грешке мерења;
- закључак о примењивости добијених резултата у инжењерској пракси са становишта предвиђања турбулентних струјања при реалним утицајим.

Примењене научне методе су адекватне и у потпуности обезбеђују остваривање научних доприноса, валидацију резултата и показују могућност њихове примене.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Развијени математички модел за нумеричке симулације струјања на дистрибутивним елементима при реалним утицајима, као и изграђена експериментална инсталација, могу се користити за оптимизацију геометрије наведене опреме у циљу постизања повољније дистрибуције ваздуха у просторији. Такође, остварени резултати нумеричких симулација, који су приказани у поглављу 4-Нумеричке анализе, јесу подлога за конструкцију и оптимизацију рада регулатора протока са супротносмерним лопатицама код вентилационих решетки, прикључне кутије са бочним прикључком код плафонског дифузора и регулационе клапне у кутији са бочним прикључком код линијског дифузора.

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

Чланови Комисије сматрају да је кандидат Михаило Васић током израде докторске дисертације показао стручност, знање и способност да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, да користи расположиву литературу и примењује савремене теоријске, нумеричке и експерименталне методе. Остварени резултати докторске дисертације показују способност кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни допринос кандидата је тај што су по први пут нумерички и експериментално одређене струјне слике ваздуха у прикључним кутијама са бочним прикључком код плафонских дифузора система за вентилацију просторија, на основу којих је дефинисана геометрија унутрашњих елемената за усмеравање ваздушне струје која омогућава равномерну расподелу ваздуха у просторији. Наведени научни допринос је приказан у потпоглављу 4.3 дисертације и објављен је у раду:

M. Vasic, V.D. Stevanovic, B. Zivkovic, Uniformity of air flow from the ceiling diffuser by an advanced design of the equalizing element in the plenum box with side entry, Science and Technology for the Built Environment, 26:5, (2020) 676-686, ISSN: 2374-4731, DOI: 10.1080/23744731.2020.1730124, категорија часописа M23 (рад је доступан на адреси <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/23744731.2020.1730124?journalCode=uuhvc21> ).

Поред наведеног резултата, кандидат је остварио научни допринос у истраживању утицаја регулатора протока са супротносмерним лопатицама на карактеристике млаза код вентилационих решетки (резултати приказани у потпоглављу 4.2), као и научни допринос у истраживању утицаја регулационе клапне у кутији са бочним прикључком на експанзију

млаза код линијских дифузора (резултати приказани у подпоглављу 4.4). У току је припрема радова за објављивање са резултатима из подпоглавља 4.2 и 4.4.

На основу спроведених истраживања одређена је геометрија елемента за усмеравање струје ваздуха у прикључним кутијама са бочним прикључком, која обезбеђује равномерну дистрибуцију ваздуха на излазу из дифузора, што знатно побољшава карактеристике ваздушног млаза са становишта термичке угодности.

#### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Истраживање у оквиру приказане докторске дисертације кандидата Михаила Васића обухвата сложене процесе турбулентног струјања у тродимензионалном простору при релативно сложеним геометријама дистрибутивних елемената, који су истраживани применом савремених научних метода нумеричке механике флуида и експерименталним мерењима. Задатак који је кандидат решавао је дефинисан потребом решавања инжењерских проблема у термотехничким инсталацијама за вентилацију затвореног простора. По свеобухватности разматраног проблема и сложености примењених истраживачких метода, остварени резултати су јединствени и представљају значајан научни допринос. Међутим, с обзиром на истакнуту сложеност како проблема који се решава, тако и примењених метода, сагледавају се даље могућности рада у овој области. Са становишта примењене методе нумеричке механике флуида поставља се питање осетљивости нумеричких резултата на предвиђање турбулентних напона, тако да би поред примене стандардног  $k-\epsilon$  модела, који је до сада успешно коришћен за разматране класе турбулентних струјања ваздуха и од стране других аутора, било корисно применити и друге двоједначинске моделе турбуленције или приступ са симулацијом великих вртлога. Такође, мерења брзине ваздуха у турбулентном млазу на растојању већем од неколико метара од дифузора показују знатне временске промене око средње вредности, што није уочено нумеричким симулацијама, с обзиром на то да је примењен SIMPLE метод за решавање стационарног струјања. У даљем раду би било сврсисходно да се примени алгоритам за решавање нестационарног струјања са имплицитним или семи-имплицитним решавањем временских промена струјних параметара, што је од значаја како са становишта веродостојног одређивања временски променљивих карактеристика флуидног млаза, тако и са становишта техничке праксе и утицаја нестационарних промена на осећај угодности у вентилираној просторији.

#### 4.3. Верификација научних доприноса

Резултати остварени у оквиру докторске дисертације кандидата Михаила Васића су објављени у раду:

##### Категорија M23:

1. M. Vasic, V.D. Stevanovic, B. Zivkovic, Uniformity of air flow from the ceiling diffuser by an advanced design of the equalizing element in the plenum box with side entry, *Science and Technology for the Built Environment*, 26:5, (2020) 676-686, ISSN: 2374-4731, DOI: 10.1080/23744731.2020.1730124 (импакт фактор 1,356 за 2019. годину)

Кандидат Михаило Васић је и први аутор два техничка решења које је кандидат остварио у току рада на докторској дисертацији, а која припадају научној и техничкој области у којој је рађена дисертација:

2. М. Васић, Д. Вељић, А. Петровић, М. Ракин, Н. Бајић. Кутија за мешање свежег и рециркулисаног ваздуха. Машински факултет, Београд, 2019. (категорија M83)
3. М. Васић, А. Петровић, М. Ракин, Д. Вељић, М. Мрдак, З. Радосављевић. Плафонско кућиште апсолутног филтера. Машински факултет, Београд, 2019. (категорија M83)

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу детаљног прегледа докторске дисертације, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је докторска дисертација под називом **”Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације”** кандидата **Михаила Васића**, маг. инж. маш., урађена према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању и да је у складу са Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду. На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији, Комисија констатује да је кандидат **Михаило Васић**, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања и да докторска дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносима у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Термотехника. Кандидат је дошао до оригиналних научних резултата који су успешно верификовани и који се могу применити у инжењерској пракси.

Имајући у виду све наведено, Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом **”Утицај геометрије елемената за дистрибуцију ваздуха на експанзију ваздушног млаза у системима мешајуће вентилације”** кандидата **Михаила Васића**, студента Докторских студија, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

У Београду, 02.06.2021. год

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....  
др Владимир Стевановић, ред. проф., ментор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....  
др Александра Сретеновић, доцент, ментор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....  
др Бранислав Живковић, ред. проф. у пензији  
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....  
др Тамара Бајц, доцент  
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....  
др Милица Илић, научни сарадник  
Универзитет у Београду, Иновациони центар Машинског факултета у Београду