

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата
Тамаре С. Бајц, дипл. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком број 491/3 од 02.03.2017. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације под насловом

„УТИЦАЈ ЛОКАЛНОГ СТАЊА ТОПЛОТНОГ КОМФОРА НА СМАЊЕЊЕ РАДНЕ СПОСОБНОСТИ У НЕСТАМБЕНИМ ЗГРАДАМА“

(„THE LOCAL THERMAL COMFORT IMPACT ON WORKING PRODUCTIVITY LOSS IN NON-RESIDENTIAL BUILDINGS“)

кандидата Тамаре С. Бајц, дипл. инж. маш., студента докторских студија.

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, као и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Тамара С. Бајц, студент докторских студија, уписала је прву годину докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду школске 2009/2010. године. На докторске студије је уписана по наставном плану који је Сенат Универзитета прихватио 2007. године на основу Закона о високом образовању из 2005. године, а по којем докторске студије не могу трајати дуже од 6 година. У току трајања студија, кандидат Тамара С. Бајц, је у школској 2014/2015. године користила право на мировање права и обавеза. По овим правилима, Тамара С. Бајц је имала обавезу да дисертацију одбрани до 30. септембра 2016. године.

На молбу кандидата Тамаре С. Бајц, Решењем број 1951/1 од 08.09.2016. године, сагласно одредбама Статута Универзитета у Београду, рок за одбрану дисертације је продужен за два семестра – до 30. септембра 2017. године.

По захтеву кандидата Тамаре С. Бајц број 2498/1 од 02.12.2015. године, предлога проф. др Милоша Бањца, као и сагласности Катедре за термомеханику, бр. 2489/2 од 21.12.2015. године, да јој се одобри пријава теме докторске дисертације и именује Комисија

за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је Одлуку број 2498/3 од 24.12.2015. године којом се прихвата тема докторске дисертације и именује ментор проф. др Милош Бањац и именује Комисија за оцену испуњености услова кандидата и научне заснованости теме докторске дисертације у саставу:

- др Милош Бањац, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Маја Тодоровић, ванр.проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Жарко Стевановић, научни саветник, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке Винча

На основу извештаја Комисије бр. 94/1 од 15.01.2016. године и одлуке ННВ бр. 94/2 од 21.01.2016. године, поднет је захтев Машинског факултета Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, које је на седници одржаној 08.02.2016. године донело Одлуку бр. 61206-394/2-16, да се Тамари С. Бајц, дипл.инж.маш., студента докторских студија, даје сагласност на предлог теме докторске дисертације **„Утицај локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама“** (“**The local thermal comfort impact on working productivity loss in non-residential buildings**”), а под менторством проф. др Милоша Бањца.

На основу обавештења проф. др Милоша Бањца, ментора, да је докторанд Тамара С. Бајц, дипл. инж. маш. завршила докторску дисертацију, као и предлога Катедре за термомеханику, Наставно-научно веће Машинског факултета донело је Одлуку број 491/3 од 02.03.2017. године о именовану Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Милош Бањац, ред. проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Маја Тодоровић, ванр.проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Милан Гојак, ванр.проф., Универзитет у Београду, Машински факултет
- др Агис Пападопулос, ред. проф. Машински факултет Универзитета Аристотел у Солуну, Грчка
- др Жана Стевановић, научни сарадник, Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке Винча

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Тамаре С. Бајц, под насловом **„Утицај локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама“** (“**The local thermal comfort impact on working productivity loss in non-residential buildings**”), припада области техничких наука – машинство, ужа научна област термомеханика, за коју је матичан Машински факултет Универзитета у Београду.

Израдом докторске дисертације руководио је др Милош Бањац, редовни професор групе предмета везаних за термомеханику и шеф Катедре за термомеханику Машинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кандидат Тамара С. Бајц, дипл. инж. маш., студент докторских студија, рођена је у Београду 12.03.1984., Република Србија. Основну школу "Марко Орешковић" завршила је са одличним успехом, стеченом "Буковом дипломом" и именовањем за Бака генерације. Средњу школу, "Земунску гимназију" је похађала у Земуну и завршила такође са одличним успехом. Машински факултет Универзитета у Београду уписала је школске 2003/2004. године и завршила 26.02.2009. са просеком 8,72 на смеру Термотехника и оценом 10,00 на дипломском раду из предмета Климатизација, на тему: " Енергетске потребе пасивне куће са Тромбеовим зидом за климатско подручје Београда", код ментора проф. др Маје Тодоровић.

У периоду од маја 2009. године до краја децембра 2010. године радила је као пројектант термотехничких инсталација у фирми "Аерпројект". Учествовала је у изради више од двадесет машинских пројеката за грађевинску дозволу и пројеката за извођење, на пројектовању термотехничких инсталација за стамбене, пословне зграде, хотеле, штампарије, гараже итд.

Школске 2009/2010. Тамара је уписала Докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, а јануара 2011. године се запослила на Машинском факултету у Београду, као истраживач-сарадник на истраживачком пројекту, који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја, ев. бр. ТР33047.

Године 2012. Тамара С. Бајц је учествовала на међународном студентском такмичењу „International ASHRAE student design competition 2012” предводивши тим Београдског Универзитета. У оквиру категорије “Integrated sustainable building design” освојила је треће место на овом престижном светском такмичењу.

На основу одлуке Изборног већа број 188/5 од 07.04.2016. и Решења број 188/6 од 08.04.2016. именована је у звање Асистент за ужу научну област Термотехника на Машинском факултету у Београду.

Током Докторских студија, положила је све испите предвиђене Статутом факултета, са просечном оценом 10,00, као и два Стручна испита у Инжењерској комори Србије и носилац је две пројектантске лиценце.

У оквиру научно-истраживачке делатности и рада на пројекту Тамара Бајц је као аутор или коаутор објавила 2 рада у међународним научним часописима, од тога 1 у категорији М21 и 1 у категорији М23. Поред тога је као аутор или коаутор објавила 1 рад у националном часопису од међународног значаја, у категорији М24, као и 4 рада у часописима националног значаја, од тога 3 рада у категорији М51 и 1 рад у категорији М52, као и саопштеила 11 научних радова на међународним научним скуповима који су штампаних у целини.

Кандидат течно говори енглески језик и служи се немачким и руским језиком на основном нивоу. У свакодневном раду користи програмске пакете за обраду текста (MSOffice), графике (AutoCAD, Inventor, Corel Draw, Adobe Photoshop), за нумеричку механику флуида (Phoenics Flair), као и програмеке пакете за математичке прорачуне, пројектовање и термотехничке прорачуне MATLAB, Origin, HEVA Comp, Carrier HAP E-II,20, AirCalc, Design Builder, итд.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Тамаре С. Бајц, дипл. инж. маш., под називом: „**Утицај локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама**“ (“**The local thermal comfort impact on working productivity loss in non-residential buildings**”), написана је на енглеском језику, латиничним писмом, при чему је написан проширени резиме и на српском језику, ћириличним писмом. Садржи 174 стране формата А4, 76 слика, 69 табела, 63 нумерисана израза и списак литературе на 10 страна.

Дисертација садржи следећа поглавља:

1. Увод;
2. Квалитет унутрашње средине и топлотни комфор – преглед литературе;
3. Губитак радне способности– преглед литературе ;
4. Експериментална истраживања;
5. Статистичка истраживања;
6. Нумеричка истраживања;
7. Синтеза експерименталних, статистичких и нумеричких резултата;
8. Закључци и предлог смерница за будући рад;
Литература.

Осим наведеног, дисертација садржи проширени резиме на српском и енглеском језику, садржај, номенклатуру, прилог, као и биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратки приказ појединих поглавља

У првом поглављу је наглашен утицај здравог и енергетски ефикасног окружења у зградама у којима људи бораве, на њихово здравље, продуктивност и смањење загађења. Приказани су, до сада најзначајнији, објављени резултати из области топлотног комфора као и њихов утицај на радну продуктивност корисника. У оквиру разматрања предмета истраживања, истакнуто је да је истраживање фокусирано на квантификацију процента незадовољних и смањења продуктивности корисника у нестамбеним зградама у функцији одступања вредности локалних физичких параметара стања околине од средњих вредности.

Затим су дефинисани предмет, научне методе и циљеви истраживања, који обухватају примену савремених експерименталних, нумеричких и статистичких метода истраживања за квантификовање утицаја локалних параметара стања унутрашње средине (температура ваздуха, радијантна температура, релативна влажност ваздуха, брзина ваздуха и интензитет турбуленције) на ниво топлотног комфора унутрашњег простора нестамбене зграде.

Посебни циљ израде ове докторске дисертације је било успостављање корелационих односа између стања топлотног комфора и губитка радне способности људи.

Практични циљ израде ове докторске дисертације је био да се на основу добијених резултата истраживања предложи техничка упутства и смернице пројектантима, како би се обезбедио свеобухватан интердисциплинарни приступ у пројектовању, а услови квалитетног топлотног комфора разматрали у најранијој фази пројектовања.

Приказане су коришћене научне методе истраживања које су подељене у три групе: експерименталне, нумеричке и статистичке методе. Експерименталне методе су коришћене за компаративну анализу неуниформности поља физичких параметара унутрашње средине. Извршена су одговарајућа мерења температуре и релативне влажности ваздуха, радијантне температуре, брзине струјања ваздуха и интензитета турбуленције у карактеристичним мерним тачкама и дефинисаним временским периодима.

Нумеричке симулације физичких параметара и индикатора топлотног комфора изабраног модела простора, у оквиру дефинисаних сценарија, коришћене су за оцену и квантификацију тачности модела преношења топлоте и одређивање физичких параметра ваздуха у тачкама простора где није било могуће вршити експериментална мерења.

У оквиру израде докторске дисертације, коришћене су и статистичке методе. Анкетирањем људи који бораве у посматраним просторима, обезбеђени су подаци, чијом статистичком обрадом су изведени значајни закључци и, синтезом са резултатима експерименталне и нумеричке анализе, успостављене су емпиријске корелације за одређивање индикатора топлотног комфора и интензитета губљења радне способности људи.

Такође је дат катарак приказ структуре дисертације по поглављима.

У другом поглављу се детаљније разматрају резултати истраживања остваривања топлотног комфора и квалитета унуташње средине, који су објављени у скорије време, а у оквиру многобројне светске, европске и српске литературе и законодавства из ове области. Приказује се преглед најважнијих стандарда и прописа у оквиру области истраживања услова топлотног комфора и квалитета унуташње средине. Детаљно су приказани индикатори топлотног комфора, дефинисани у оквиру постојеће светске регулативе, са максимално дозвољеним вредностима за постизање жељених услова комфора у зградама.

У трећем поглављу је дат преглед објављених резултата утицаја квалитета унутрашње средине и топлотног комфора на радну способност људи. Приказане су постојеће корелације индикатора топлотног комфора PMV и губитка радне способности, уз коментаре о могућим правцима даљег истраживања.

У четвртном поглављу пажња је посвећена експерименталним истраживањима која су обављена. Описано је климатско подручје у коме се налази зграда која је предмет истраживања и дате су основне климатске карактеристике за подручје Београда, за претходних педест година, а на основу подата објављених од стране Републичког хидрометеоролошког завода. Поред тога, приказане су измерене локалне вредности спољашње температуре и релативне влажности ваздуха, чија мерења су вршена током укупног периода експерименталних истраживања.

Дефинисан је физички модел и одабрана је зграда, односно просторија - учионица у којој су вршена мерења. Детаљно су описане и приказане карактеристике термичког омотача просторије, димензије, оријентација и постојећи систем централног грејања.

Следи детаљан опис процедура мерења која су извршена током експерименталног дела истраживања. Протоколом мерења су дефинисане, а затим и измерене следеће величине: температуре унутрашњих површина, температуре и релативне влажности ваздуха у више од тридесет тачака у учионици, радијантна температура, брзине струјања ваздуха, концентрације угљен-диоксида и температуре површине коже корисника. Постављена су четири различита сценарија, у смислу постизања различитих термичких параметара

унутрашње средине, а како би се квантификовали утицаји тих различитости на индикаторе топлотног комфора и радну способност људи. Такође су приказане карактеристике мерних уређаја, који су коришћени током истраживања, као и тачне позиције инструмената током спровођења четири, унапред дефинисана, сценарија.

Након тога су приказани и коментарисани резултати мерења физичких величина, локално, за сваку позицију седења, као и просечне вредности за сваки сценарио. Приказани су резултати вредности индикатора топлотног комфора и губитка радне способности добијени на основу измерених физичких величина, као и на основу прорачуна, који базирају на методологији препорученој стандардима и постојећом литературом. Посебна пажња посвећена је локалним параметрима топлотног комфора. На основу дефиниција и методологије прорачуна препоручених стандардом ISO 7730:2005 и измерених физичких величина у простору, израчунате су вредности индикатора локалног топлотног дискомфора, као што су: вертикална температурска разлика, проценат незадовољних температуром пода, утицај промаје и радијантна асиметрија.

Утицај стања локалног топлотног комфора на температуру површине коже људи, који бораве у посматраној учионици, такође је приказан на основу резултата мерења, а која су извршена у периоду од четири седмице, на значајном броју испитаника. Такође су приказане корелације између температуре површине коже корисника простора и њиховог гласања о топлотним карактеристикама посматраног простора.

На крају овог поглавља су приказани резултати снимања термовизијском камером, како термичког омотача посматране учионице, тако и површине одеће корисника. Резултати добијени снимањем термовизијском камером коришћени су само као контролно мерење у оквиру сваког од сценарија.

У петом поглављу се приказују методологија и резултати статистичког истраживања које је спроведено у учионици. Приказани су нови упитници који су развијени у оквиру овог истраживања, а у складу са препорукама важеће светске регулативе и коришћени за статистичко прикупљање података, са описом делова упитника и питањима. У оквиру истраживања коришћене су две врсте упитника: општи, који се састојао од питања везаних за старосну доб, пол, физичко стање и одевеност популације која је испитивана, затим за евалуацију стања топлотног комфора, као и локалних параметара који утичу на топлотни дискомфорт и евалуацију квалитета параметара унутрашње средине, као и субјективни осећај корисника о утицају ових параметара на радну способност, концентрацију и здравствено стање корисника; и посебни упитник, који је обухватао тест концентрације. Значајан број тестова концентрације извршен је у периоду од четири седмице. Тестирања су вршена сваки дан и на основу њих је утврђен ниво радне способности, односно њен губитак.

На дијаграмима и у табелама су приказани обрађени статистички подаци за евалуацију стања квалитета унутрашње средине и незадовољства локалним условима топлотног комфора, на основу чега су коментарисани резултати и изведени важни закључци о субјективном осећају корисника. Утврђено је да се субјективни осећај корисника о квалитету унутрашњег ваздуха углавном поклапа са резултатима мерења. Показало се да су испитаници најосетљивији на повишене температуре у простору (радијантну и температуру ваздуха), вертикалну температурску разлику, високе концентрације угљен-диоксида и лошу вентилацију. Уочен је негативан утицај услова унутрашње средине на здравље корисника, јер су се у оквиру Сценарија 3 и Сценарија 4 корисници жалили на појаву главобоље и смањења продуктивности и концентрације проузроковане боравком у учионици. У оквиру

истраживања развијен је нови индекс за субјективну евалуацију процентуалног утицаја топлотног комфора на смањење концентрације и радне способности корисника „TIP“. Индекс „TIP“ изражава се у процентима (од 0 до 100%) и представља квантификовану субјективну оцену утицаја топлотног комфора на смањење концентрације и радне способности корисника простора. Показало се да је Сценарио 2 оцењен као сценарио са најповољнијим радним условима, који просечно око 14% утичу на смањење радне способности корисника, док је Сценарио 4 оцењен као најлошији, са скоро 30% вредности TIP индекса. Испитаници су, такође, оценили и локалне индикаторе топлотног комфора, на основу чега се показало да су се сви корисници у Сценариу 2 изјаснили да је интензитет промаје у учионици 0%, да је проценат незадовољних температуром пода такође био 0%. Најмањи проценат незадовољних радијантном асимеријом и вертикалном температурском разликом, у односу на сва четири сценарија, такође је запажен током Сценарија 2.

У оквиру овог поглавља су на дијаграмима приказани и резултати укупно 240 тестова продуктивности студентата током четири седмице истраживања. Показало се да је највећа продуктивност, око 68% просечно, забележена у току Сценарија 2, док је у Сценарију 4 забележено значајано смањење продуктивности студената у односу на Сценарио 2, од око 20%.

У шестом поглављу су приказани резултати нумеричких симулација за услове у учионици дефинисане протоколима у оквиру четири сценарија. Дат је сажет преглед најзначајније литературе из ове области, са могућношћу примене различитих нумеричких модела, а који је претходио избору одговарајућег модела турбуленције за решавање комплексних проблема струјања ваздуха, као и оцене индикатора топлотног комфора у зградама. Приказан је детаљан математички модел који описује проблем природне конвекције користећи једначине одржања масе, количине кретања и енергије, заједно са допунским једначинама за затварање система једначина, као и модел зрачења који је коришћен.

У наставку је описан комерцијални софтверски пакет „Phoenics FLAIR“, који је коришћен за нумеричке симулације физичких параметара и услова општег и локалног топлотног комфора у посматраној учионици. Описано је моделирање геометрије унутрашњости простора и формирање мреже. Проверен је утицај мреже на резултате прорачуна. Модели су валидирани коришћењем процедура валидације, објашњених у овом поглављу, а поређено са резултатима мерења добијених експерименталним истраживањем. Приказани су резултати симулација за четири сценарија, који су валидирани, како за физичке параметре, тако и за индикаторе топлотног комфора. Показано је одлично слагање модела са измереним вредностима, са релативним одступањем до 5% за физичке параметре.

У седмом поглављу је приказана синтеза резултата добијених експериментално, статистички и симулацијама. Анализирани су најважнији резултати и успостављене корелације између продуктивности корисника и њиховог субјективног незадовољства утицајем топлотног комфора. Разматрана је веза новоуведеног индекса TIP са температуром површине коже испитаника и наглашен је субјективни осећај корисника о утицају услова топлотног комфора. На укупно 240 резултата тестова продуктивности утврђена је комплексна природа губитка радне способности, која, како је истакнуто, не зависи само од индекса топлотног комфора, већ и од концентрације угљен-диоксида у простору, као и од личних параметара, који су веома комплексне бихевиористичке природе. Успостављене су

нове корелационе једначине између топлотног комфора, концентрације угљен-диоксида у простору и радне способности.

У наставку је разматран научни допринос дисертације и потенцијалне примене утврђених корелационих једначина. Разматрана је до сада објављена веза топлотног комфора и радне способности у оквиру ранијих истраживања различитих аутора и упоређена са новодобијеним резултатима, на основу унапређених релација. Наглашена је потреба примене корелација базираних на локалним вредностима параметара топлотног комфора, у синтези са условима квалитета унутрашње средине и личним параметрима, које поједностављени глобални модели, до сада публиковани, не могу да опишу. Описује се значај изведене комплексне експерименталне, статистичке и нумеричке анализе, као и научни доприноси дисертације. Након тога су истакнути најважнији закључци добијени синтезом резултата истраживања.

У осмом поглављу дисертације дат је закључак о приказаним и анализираним резултатима, извршена је синтеза парцијалних закључака о резултатима истраживања у претходним поглављима дисертације. Изнети су детаљни закључци са критичком анализом остварених резултата истраживања. Наглашени су свеукупни утицаји локалног стања топлотног комфора и квалитета унутрашње средине на радну способност корисника у нестамбеним зградама. Указано је на правце будућег истраживања у циљу изналажења нових корелација које ближе квантификују личне параметре, који су нераздвојиви део анализе истраживања смањења продуктивности корисника. Истакнут је научни допринос дисертације као и могућност примене остварених резултата приликом решавања конкретних инжењерских проблема.

Након осмог поглавља налазе се Прилог и Литература. Уводу претходи Садржај и Номенклатура.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Анализа информација које су претходиле дефинисању предмета истраживања докторске дисертације кандидата Тамаре С. Бајц, студента докторских студија, се базира, пре свега, на анализи различитих видова публикација (официјелних докумената различитих светских, европских и домаћих институција, као што су Светска здравствена организација, Европска комисија, национална регулатива, итд.), као и великог броја публикованих радова из ове области у међународним часописима.

Основни закључак анализе је да одрживи развој у зградарству, односно здрава и енергетски ефикасна зграда, представља не само данашњи фокус, већ ултимативни захтев за будућим континуалним развојем научне мисли и применама резултата истраживања у практичним решењима, ради директног утицаја на побољшање радних услова, смањења ризика по здравље људи, енергетских уштеда и доприносу стратегија смањења емисија гасова стаклене баште.

Кључни закључци анализе тренутног стања научне мисли у овој области и достигнути резултати са фокусом на предмет истраживања, могу се сумирати у следећим ставовима:

- Досадашња истраживања указују да топлотни дискомфор може умањити радне способности за 5 до 15 процената (*Wargoocki, 2009, Wayon, 1996*).

- На основу резултата 24 истраживачких студија о утицају температуре ваздуха унутрашњег простора на административни рад у канцеларијама (*Seppanen at al., 2006*), сугерисана је груба корелација да се радне способности смањују за један проценат, на свако умањење температуре од 1°C у односу на температуру ваздуха за коју је достигнута топлотна равнотежа тела и околне средине.
- Када су у питању школске установе, студија над ученицима старосне доби од 10 и 12 година, указује на чињеницу да снижење температуре у интервалу од 24 - 25 °C на 20°C може унапредити говорну и способност рачунања ђака за 2 до 4 процената (*Wargocki and Wyon, 2006*).
- Треба напоменути да у приказаним оценама нису укључени резултати студија у којима су сами испитаници процењивали своје радне способности, већ су добијени подаци из студија које су се спроводиле у лабораторијским условима.
- Постоје и покушаји да се топлотни дискомфорт корелише са губитком радне способности преко индикатора топлотне угодности PMV, али до данас не постоје студије које би ове корелације експериментално потврдиле (*Roelofsen, 2002, Kosonen, 2004*).

Управо овај простор непостојања експерименталних потврда корелационих односа индикатора топлотне угодности и процента смањења радних способности у реалним условима, указао је на могућност оригиналног приступа и доприноса у реализацији ове докторске дисертације.

Тема истраживања дисертације обухвата развој нових корелационих односа између индекса топлотног комфора и смањења радне способности корисника. У оквиру дисертације развијен је нови индекс за субјективно оцењивање стања топлотног комфора и његовог процентуалног утицаја на смањење радне способности корисника. На основу експерименталних и статистичких резултата истраживања, успостављена је нова корелација индекса TPR са температуром површине коже испитаника и наглашен је утицај услова стања локалног топлотног комфора на субјективни осећај корисника. На укупно 240 резултата тестова продуктивности утврђена је комплексна природа губитка радне способности, која, како је истакнуто, не зависи само од индекса топлотног комфора, већ и од концентрације угљен-диоксида у простору, као и од личних параметара који су веома комплексне природе. Успостављене су нове корелационе једначине између топлотног комфора, концентрације угљен-диоксида у простору и радне способности. Након тога су истакнути најважнији закључци добијени синтезом резултата истраживања.

С обзиром на потребе у будућности за пројектовањем и изградњом нових зграда, као и реконструкцијом постојећих, а имајући у виду да су зграде један од највећих потрошача енергије, тема истраживања обрађена у дисертацији је савремена и значајна с аспекта интегралног пројектовања зграда при чему је потребно остварити одговарајуће услове комфора, као и здраво окружење за боравак и рад корисника. Истраживање управо пружа увид у један од праваца развоја и унапређења постојећих методологија прорачуна у оквиру стандарда који прописују препоручене вредности параметара топлотног комфора у зградама.

У оквиру дисертације кандидат је извршио различита експериментална, статистичка и нумеричка истраживања, на основу којих је развио и унапредио различите моделе прорачуна и ствара оригиналане, комплексане и обједињене математичке корелације између индикатора локалног стања топлотног комфора, квалитета унутрашње средине и радне способности корисника. Извршено је унапређење методологије мерења физичких параметара

стања средине у реалним условима и то на начин увођења детаљног континуалног мерења у великом броју тачака простора. Оваквим приступом омогућена је евалуација утицаја физичких параметара на стање локалног топлотног комфора за сваког појединачног корисника простора, у зависности од места боравка у просторији. Анализа добијених резултата експерименталних истраживања, у том смислу, представља важан допринос за квантификацију утицаја локалног топлотног комфора на здравље и радну способност корисника. У оквиру нумеричког истраживања, развијени су модели који су омогућили анализу и евалуацију параметара стања топлотног комфора и у тачкама у којима није било могуће извршити мерења. Валидација модела је извршена поређењем са добијеним детаљним експерименталним резултатима, при чему је остварено одлично слагање модела са измереним вредностима, са релативним одступањем до 5% за физичке параметре. Кандидат је анализирао утицај локалног стања топлотног комфора на радну способност корисника користећи и статистичке податке добијене у оквиру спроведеног истраживања. За потребе овог истраживања, развијени су нови упитници и тестови за евалуацију продуктивности корисника зграде. Прикупљени су вредни подаци, у реалним условима, у току текућег зимског семестра, за одрасле кориснике простора старости између 20 и 25 година. Досадашњи објављени резултати у доступној литератури су се углавном базирали на истраживањима спроведеним у лабораторијским условима, па спроведена истраживања у оквиру ове дисертације представљају значајан допринос разумевању корелација локалног стања топлотног комфора и опадања радне способности у реалним условима, у нестамбеним зградама. Потреба за оваквом анализом проистекла је из чињенице да је тешко предвидети смањење радне способности у нестамбеним зградама у реалним условима, те да корелације између стања топлотног комфора добијене у лабораторијским условима значајно одступају од резултата у реалним учионицама и зградама сличне намене, са великим бројем корисника. Анализиран је утицај брзине стјујања ваздуха, радијантне температуре, вертикалне разлике температуре ваздуха, температуре пода и концентрације угљен-диоксида на смањење радне способности људи. Анализама је показано да вредности индикатора локалног стања топлотног комфора значајно одступају од осредњених вредности и да то одступање представља један од узрока појаве смањења радне способности корисника. Други значајан фактор је концентрација угљен-диоксида, чије повећање изнад прописаних граница доводи до смањења концентрације, спаности и лошије продуктивности, док је трећи, такође доминантан фактор, скуп сложених личних параметара које је веома тешко квантификовати математички прецизно, а тиме и комплексно раздвојити ове утицаје. Добијене релације између индикатора стања топлотног комфора, концентрације угљен-диоксида и радне способности корисника је могуће користити у савременом процесу интегралног пројектовања зграда, за унапређење стандарда и препорука за постизање оптималних услова угодности у зградама, водећи рачуна о здрављу корисника.

Резултат истраживања је и развој корелација између субјективног доживљаја стања топлотног комфора и стварне продуктивности корисника. Резултати експерименталног, нумеричког и статистичког истраживања су допринели бољем разумевању процеса губитка радне способности у нестамбеним зградама који је последица локалног стања топлотног комфора, али и других фактора који до сада нису разматрани као нераздвојиви део комплексне везе утицаја околине и личних параметара. Формирањем модела и валидацијом нумеричких метода помоћу експерименталних резултата указало се на значај и могућност коришћења нумеричких симулација приликом планирања и пројектовања зграда, као и при одлучивању о системима грејања, хлађења и климатизације, који значајно утичу на постизање оптималних услова за боравак и рад корисника.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Списак литературе која је коришћена приликом израде дисертације дат је у посебном одељку рада. Литература обухвата радове, законску регулативу и књиге које се односе на термодинамику и феномене преношења топлоте, механике флуида, нумеричку механику флуида, топлотни комфор, квалитет унутрашње средине, радну способност људи, психолошке и субјективне утицаје, задовољство корисника условима средине, итд. Прегледом листе коришћених радова закључује се да је кандидат имао на располагању и проучио доступну референтну литературу. Она је била полазна основа за приказ постојећег стања у области истраживања, али и темељ за избор начина оцене параметара стања топлотног комфора и формирање нових корелација за савремено, интегрално и одрживо пројектовање зграда. У дисертацији је коришћено укупно 103 референце, које су највећим делом савремени радови објављени у водећим међународним часописима или фундаментални радови, који су дали добар основ савременом решавању проблема.

У оквиру дисертације кандидат се позива на анализе, резултате и закључке објављене у референтним докторским дисертацијама, стручним књигама, радовима у међународним часописима и релевантним важећим стандардима из области топлотног комфора, квалитета унутрашње средине и радне способности људи. Кандидат је коректно проучио и цитирао наведене изворе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Методе које су коришћене у току реализације истраживања обухватају:

- Систематски приступ и класификацију доступне литературе кроз критичку анализу и међусобно поређење различитих приступа моделирања и анализе утицајних параметара топлотног комфора;
- Експерименталне методе: У изабраном простору извршена су одговарајућа мерења температуре и релативне влажности ваздуха, радијантне температуре, брзине струјања ваздуха и интензитета турбуленције у карактеристичним мерним тачкама и дефинисаним временским периодима. Резултати ових мерења коришћени су за компаративну анализу неуниформности поља физичких параметара унутрашње средине, као и за валидацију нумеричког модела;
- Нумеричке методе: Нумеричким симулацијама изабраног простора и дефинисаних сценарија, квантификована је тачност модела преноса топлоте, и одређени су физички параметри ваздуха у тачкама простора где није било могуће вршити експериментална мерења. Извршена је валидација симулационог нумеричког модела поређењем са резултатима мерења. На бази одговарајућих модела одређивања локалних индикатора топлотног комфора и процента смањења радне способности људи, приказан је међусобни утицај ових величина и значајно одступање локалних од средњих вредности.
- Статистичке методе: У оквиру докторске дисертације, анкетањем људи, који бораве и уче у посматраном простору, обезбеђени су вредни подаци чијом статистичком обрадом су добијене емпиријске корелације за одређивање интензитета губљења радне способности људи у функцији од индикатора топлотног комфора и концентрације угљен-диоксида у простору.

3.4. Применљивост остварених резултата

Добијени резултати истраживања у оквиру докторске дисертације кандидата Тамаре С. Бајц, дипл.инж.маш., студента докторских студија су нове и унапређене препоруке и смернице за интердисциплинарно пројектовање здравих и енергетски ефикасних зграда у најранијој фази пројектовања, као и укључивање концепта здравих зграда у процесу пројектовања. Развијени нови корелациони изрази за утицај локалних индикатора топлотног комфора на проценат губљења радне способности су применљиви како у фази интегралног пројектовања нових зграда, тако и приликом унапређења постојећих перформанси зграда и термотехничких система.

Примењеним моделима изведена је опсежна нумеричка студија могућности коришћења нумеричких симулација за предвиђање услова топлотног комфора у зградама, као и утицаја стања локалног топлотног комфора на смањење радне способности код људи, као и очекивани проценат незадовољних. Добијени резултати се могу употребити при одлучивању о правцима будућег одабира и пројектовања како самих зграда, тако и термотехничких система. Доношењем нове законске регулативе у Републици Србији 2011. године, а која се односи на процес енергетске сертификације зграда, уведена је и обавеза доказивања постизања услова топлотног комфора, кроз израду Елабората енергетске ефикасности за зграду.

Развијени су нови упитници за статистичко прикупљање података о вредновању услова комфора у нестамбеним зградама, који су опште применљиви у зградама са великим бројем корисника, као што су зграде намењене образовању, управне и административне зграде, пословне зграде итд. Ово је од посебног значаја имајући у виду утицај услова топлотног комфора и квалитета унутрашње средине на здравље и продуктивност корисника, а што је показано у оквиру дисертације. На основу развијених упитника, могу се утврдити неправилности у раду термотехничких система, а отуда и могућности за унапређење како система, тако и саме зграде. Постизањем одговарајућих параметара комфора у зградама, значајно се утиче на здравље и продуктивност корисника.

Развијен је нови индекс ТИР за субјективну евалуацију утицаја параметара средине на радну способност људи и смањење концентрације. Коришћењем овог индекса, у оквиру упитника за статистичко прикупљање података, могуће је детектовати постојање фактора који утичу на смањење топлотног комфора у зградама, а самим тим и одклонити ове узроке, чиме се доприноси развоју и унапређењу концепта здравих зграда.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови комисије сматрају да је кандидат показао да има смисао и знање неопходно да самостално препозна и систематски решава инжењерске и научне проблеме, примењујући савремене методе теоријског, експерименталног, нумеричког и статистичког карактера, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама. Резултати докторске дисертације доказ су способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру рада на дисертацији потврђена су и проширена постојећа знања и као таква дисертација представља научни допринос у области термомеханике и термотехнике. Корелациони односи између утицаја локалног стања топлотног комфора и квалитета унутрашње средине на смањење радне способности људи се ретко срећу у литератури. Већина расположивих радова у области се односи на модел општег топлотног комфора, а резултати су добијени углавном у лабораторијским условима, на малом броју испитаника. У докторату се користе сопствени резултати добијени експерименталном, нумеричком и статистичком анализом, на основу којих су развијени нови корелациони односи локалног стања топлотног комфора и продуктивности корисника, добијени у оквиру истраживања у реалним условима, на већем узорку испитаника. Остварени научни допринос докторске дисертације огледа се у следећем:

- унапређена методологија мерења физичких параметара стања средине у реалним условима на начин увођења детаљног континуалног мерења у великом броју тачака простора;
- квантификација утицаја локалне нехомогености физичких параметара стања ваздуха у унутрашњем простору на опште и локалне индикаторе топлотног комфора, коришћењем експерименталних метода;
- модели за комплексну нумеричку анализу параметара локалног топлотног комфора у свим тачкама посматраног простора;
- нови упитници за статистичко прикупљање података и субјективно вредновање параметара општег и локалног топлотног комфора;
- нови тестови за евалуацију степена продуктивности корисника;
- нови индекс ТПР за субјективну процентуалну квантификацију утицаја општег и локалног стања топлотног комфора на продуктивност људи.
- нови корелациони однос између локалних индикатора топлотног комфора и нивоа губљења радне способности људи који бораве у том простору;
- нови корелациони однос између продуктивности и ТПР индекса;
- препоруке и смернице за интердисциплинарно пројектовање нових, здравих зграда у најранијој фази пројектовања, као и укључивање концепта здравих зграда у процесу унапређења постојећих зграда и термотехничких система.
- подигнут ниво знања и разматрања комплексних утицаја стања општег и локалног топлотног комфора, као и квалитета унутрашње средине на здравље и продуктивност људи који бораве и раде у нестамбеним зградама, са великим бројем корисника.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Критичка анализа резултата докторске дисертације постигнута је кроз примену различитих научних метода истраживања, а које су потврђене у међународним публикацијама. Одабир метода у раду извршен је веома пажљиво, како би одговарао проблематици која се обрађује у дисертацији, чиме се обезбеђује релевантност и општа применљивост резултата. Коришћењем три потпуно различите научне методе постигнута је

релевантност и валидност резултата, имајући у виду да је у дисертацији коришћен иновативни приступ у одређивању локалних вредности параметара унутрашње средине.

Разматрање и анализа објављених резултата из области топлотног комфора су коришћени као основа за одабир методологије и научних метода истраживања. Одабране научне методе представљају добар начин истраживања параметара унутрашње средине у реалним условима и дају репрезентативне резултате о стварним величинама како опшних, тако и локалних параметара топлотног комфора.

Развој нумеричких модела допринео је познавању индикатора топлотног комфора, у свим тачкама посматраног простора, чак и у оним у којим мерења нису била могућа, што је значајно допринело разумевању локалних вредности параметара, односно смањења продуктивности локално, сваког корисника понаособ. Постигнута су добра слагања резултата на нумеричким моделима за сва четири сценарија, са подацима из обављених експеримената. Резултати добијени симулацијама, представљају одличну полазну подлогу за детаљне анализе у комбинацији са мерењима на постојећим зградама и могу представљати важан алат при пројектовању нових, односно ревитализацији и управљању термотехничких система у постојећим нестамбеним зградама.

Добијени резултати прикупљени статистичким истраживањем, коришћењем нових упитника који су развијени у оквиру овог истраживања, представљају значајан допринос разумевању субјективних перцепција о стању топлотног комфора у зградама. Поређењем са експерименталним, нумеричким резултатима, као и до сада објављеним резултатима, утврђено је да постоје одређена одступања резултата приликом субјективног вредновања од стране корисника. У оквиру истраживања, спроведених у дисертацији, показано је да је могуће имати 0% незадовољних локалним параметрима топлотног комфора, ако су сви остали параметри у жељеним опсезима (показано за температуру пода у Сценарију 2, када је општа вредност PMV=0.29).

Показано је да оптимално решење увек представља компромис између различитих захтева и да умногоме зависи од концентрације угљен-диоксида у простору, односно од квалитета унутрашњег ваздуха и вентилације простора.

У резултатима је надаље приметно да постоји значајан утицај личних параметара на продуктивност корисника. Досадашња истраживања су разматрала само утицаје топлотног комфора на човека, међутим у дисертацији је показано да радна продуктивност људи није само функција стања топлотног комфора, већ да умногоме зависи и од личних параметара корисника, који су стохастичка величина и веома их је тешко квантификовати математички прецизно. За њихову квантификацију предложена су мултидисциплинарна истраживања која обухватају и неуро-бихевиористичке тестове, као и медицинска истраживања испитаника.

Развијене корелације које обједињују утицајне параметре стања топлотног комфора и квалитета унутрашње средине, приказане у дисертацији, омогућиле су боље разумевање и прецизније квантификовање смањења продуктивности корисника нестамбених зграда. Комбиновањем развијених нових упитника и корелација, заједно са једноставнијим мерењима квалитета ваздуха у постојећим зградама, могуће је значајније утицати на смањење опадања продуктивности људи и побољшање свакодневних услова за рад и боравак, као развој концепта здравих зграда у фази интегралног пројектовања.

4.3. Верификација научних доприноса

Део доприноса докторске дисертације верификован је радовима које је кандидат публиковао у међународним часописима на SCI листи, радовима у којем је примењена

нумеричка и експериментална анализа параметара топлотног комфора и њиховог утицаја на здравље и продуктивност људи у нестамбеним зградама, као и неколико радова у домаћим часописима, као и у више радова саопштених на скуповима од међународног значаја:

Категорија M21

1. **Бајц, Т.**, Todorović, M., Svorcan, J., *CFD analyses for passive house with Trombe wall and impact to energy demand*, Energy and Buildings, 2015, VOL.98, ISSN 0378-7788, doi:[10.1016/j.enbuild.2014.11.018](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.018), Elsevier, pp. 39-44. (M21, IF 2014 (2015): 2.884)

Категорија M23

2. **Бајц, Т.**, Todorović M., Papadopoulos, A., *Indoor Environmental Quality in Non-residential Buildings – experimental investigation*, Thermal science, 2016, VOL.20, Supplement 5, ISSN 0354-9836, doi: [10.2298/TSCI16S5521B](https://doi.org/10.2298/TSCI16S5521B), Vinča Institute of Nuclear Sciences, pp. S1521-S1529 (M23, IF 2015: 0.939)

Категорија M24

3. Todorović, M., Ristanović, M., Lazić, D., Galić, R., **Бајц, Т.**, *A novel laboratory set-up for investigation of intelligent automatic control in complex HVAC systems*, FME Transactions, 2015/3, VOL.43, ISSN 1451-2092, Faculty of Mechanical Engineering University of Belgrade, pp. 243-248. (M24)

Категорија M33

4. **Бајц, Т.**, Todorović M., Papadopoulos, A., *Indoor Air Quality in Office Buildings – experimental investigation*, 17th International symposium on Thermal science and engineering of Serbia, 20-23.10.2015., Sokobanja, Serbia, ISBN 978-86-6055-077-6, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering in Niš, Proceedings on <http://simterm.masfak.ni.ac.rs>. (M33)
5. **Бајц, Т.**, Todorović M., Stevanović, Žarko, Stevanović, Žana, Banjac, M., *Local thermal comfort indices impact on productivity loss in classroom*, The 1st international conference on buildings, energy, systems and technology, 2.-4.11.2016., Belgrade, Serbia, Society of thermal engineers of Serbia, Proceedings on <http://www.best2016-conference.com/papers-presentations.php>. (M33)

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа и детаљне анализе докторске дисертације под називом „Утицај локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама“ (“**The local thermal comfort impact on working productivity loss in non-residential buildings**”) кандидата Тамаре С. Бајц, дипл. инж. маш., студента докторских студија, Комисија за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научно-истраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду.

На основу резултата и закључака приказаних у докторској дисертацији и чињенице да је анализирана тематика значајна и актуелна у стручној и научној јавности, констатује се да је кандидат Тамара С. Бајц, дипл. инж. маш., студент докторских студија, успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима истраживања. Кандидат је остварио оригиналне резултате везане за моделирање и анализу утицаја локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама, користећи при том расположиву литературу и резултате експерименталних, статистичких и нумеричких истраживања. Резултати истраживања су систематично обрађени

и на основу њих изведени су вредни закључци о утицајима локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама. Изведена анализа и развијене корелације представљају користан алат за решавање конкретних инжењерских проблема. Научна и стручна јавност је упозната са резултатима истраживања публикавањем два рада у међународним часописима (1 рад категорије M21 и 1 рад категорија M23), један рад у националном часопису међународног значаја (1 рад категорија M24), као и 2 рада саопштена на скуповима од међународног значаја и штампана у целини (2 рада категорије M33).

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације закључила је да дисертација представља оригинални научни рад са научним доприносом у области техничких наука, ужа научна област Термомеханика и Термотехника, па сагласно томе предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета Универзитета у Београду да прихвати Реферат Комисије и упути га Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду на усвајање, а дисертацију „**Утицај локалног стања топлотног комфора на смањење радне способности у нестамбеним зградама**“ (“**The local thermal comfort impact on working productivity loss in non-residential buildings**”) кандидата Тамаре С. Бајц, дипл. инж. маш., студента докторских студија, стави на увид јавности.

У Београду, 05.04.2017. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

др Маја Тодоровић, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Милан Гојак, ванредни професор
Универзитет у Београду – Машински факултет

др Агис Пападопулос, редовни професор
Универзитет Аристотел у Солуну – Машински факултет

др Жана Стевановић, научни сарадник
Универзитет у Београду – Институт за нуклеарне науке Винча