

Примљено	29 SEP 2015	
Орг. јед.	Број	Тачка
01-47	107	

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ  
ФАКУЛТЕТ ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ  
ФАКУЛТЕТА ЗАШТИТЕ НА РАДУ У НИШУ**

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под називом: „Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења“, кандидата мр Дарка Н. Зигара, дипломираног инжењера заштите животне средине.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета заштите на раду у Нишу, бр.03-369/5 од 25.09.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану урађене докторске дисертације под називом: „Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења“, кандидата мр Дарка Н. Зигара, дипломираног инжењера заштите животне средине.

На основу прегледа урађене докторске дисертације, Комисија у саставу:

- Др Љиљана Живковић, редовни професор Факултета заштите на раду у Нишу, председник;
- Др Горан Ристић, редовни професор Електронског факултета у Нишу, члан;
- Др Јовица Јовановић, редовни професор Медицинског факултета у Нишу, члан;
- Др Душица Пешић, ванредни професор Факултета заштите на раду у Нишу, члан;
- Др Дејан Крстић, ванредни професор Факултета заштите на раду у Нишу, члан;

подноси Наставно-научном већу Факултета заштите на раду у Нишу следећи:

## ИЗВЕШТАЈ

о оцени урађене докторске дисертације кандидата мр Дарка Н. Зигара,  
дипломираног инжењера заштите животне средине

### ПРИКАЗ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација под називом: „Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења“ изложена је на 228 страна формата А4. Текст докторске дисертације илустрован је са 123 слике, садржи 31 табелу и 394 једначине. У списку литературе докторске дисертације наведено је 123 референци. Целокупна материја докторске дисертације изложена је у седам поглавља. Докторска дисертација садржи резиме на српском и енглеском језику, биографију кандидата, списак изабраних радова из области докторске дисертације и три прилога (изјаве).

У уводном делу представљени су предмет истраживања, тј. теоријски елементи топлотног зрачења као узрока појаве опекотина при пожару; циљ истраживања, тј. добијање новог метода за одређивање безбедног растојања људи од топлотног зрачења пожара; хипотезе, као и методи истраживања.

У првом поглављу *Пренос топлотног зрачења и дејство на материју*, приказане су основе преноса топлотног зрачења полазећи у теоријском објашњењу од електромагнетног спектра топлотног зрачења и дуалне природе топлотног зрачења. Анализирајући теоријске законе апсолутно црног тела приказан је модел пожара као извора топлотног зрачења. Апроксимирајући зрачење пожара као зрачење апсолутно црног тела, детаљно су анализирани типови извора топлотног зрачења и параметри топлотног зрачења. Посебан акценат дат је анализи зрачења пожара као зрачења гасова и пара. У овом поглављу наглашена је и основна хипотеза истраживања у разматрању преноса топлотне енергије од пожара до пријемника, тј. човека на неком растојању, а то је да, што је растојање топлотног извора до пријемника веће, то је удео енергије која се преноси електромагнетним зрачењем већи у односу на удео који се преноси кондукцијом или конвекцијом. Део енергије који се преноси зрачењем је већи због чињенице што највећи део загрејаних гасовитих продуката сагоревања образује конвективну струју пожара која се креће навише, тако да конвекција продуката пожара нема великог утицаја на човека.

У другом поглављу под називом *Максвелова теорија простирања електромагнетних таласа*, дате су основне величине електричног и магнетног поља и

теорија простирања електромагнетних таласа. Простирање електромагнетног таласа у топлотном опсегу је дефинисано као и простирање електромагнетних таласа било које фреквенције потпуним скупом Максвелових једначина у интегралном облику. Са аспекта постављеног циља докторске дисертације тј. анализе опекотина код човека, посебно је анализиран теоријски модел простирања раванског таласа у материјалним срединама. Приликом простирања раванског таласа разликована је зона индукције и зона зрачења. Због таласне дужине у свим случајевима извор се налази у зони зрачења тј. у далеком пољу па је у наставку поглавља анализирано простирање топлотног електромагнетног раванског таласа. При доласку таласа до биолошког објекта долази до продирања таласа у биолошко ткиво. Биолошки објекти се по својој анатомској структури могу анализирати као вишеслојни, па је због тога аутор правилно сагледао потребу за постављањем аналитичког модела простирања таласа у вишеслојној средини. Значај правилног сагледавања биолошких средина као полупроводних средина у електромагнетном смислу је сагледана и објашњена у деловима овог поглавља под називима *Полупроводни материјали* и *Продирање и апсорпција топлотног зрачења*.

Биолошки материјали су веома сложени јер се састоје од више различитих врста ћелија, које су саме по себи нехомогене у функционалном, структурном и електромагнетном смислу. У смислу простирања топлотног електромагнетног таласа овакве средине се сврставају у групу полупроводних средина које су са становишта простирања електромагнетних таласа претходно описане. Због тога су у трећем поглављу *Ефекти топлотног зрачења пожара и биолошки материјали* дате биолошке основе грађе коже и поткожног ткива, као и ефекти топлотног зрачења на кожу који су описани у низу експеримената спроведених у свету. Акцент је стављен на опекотине као доминантан облик термичког оштећења ткива коже. Да би се правилно могла да схвати интеракција биолошког ткива са енергијом зрачења доспелом на њу, тј. да би се дефинисао степен термичког оштећења коже, односно степен опекотина, мора се добро познавати анатомија коже. Најчешће су се у научној јавности термичка оштећења углавном објашњавала као резултат кондукционог преноса топлоте у ткиву. Код правилног тумачења патологије опекотина, кожа се мора посматрати као један сложени орган у коме су процеси преноса топлоте спојени са физиолошким процесима који укључују циркулацију крви, знојење, метаболичко стварање топлотне енергије. Топлотне карактеристике коже су нехомогене због присуства крвних судова. Управо овај сплет крвних судова има значајну улогу у загревању и хлађењу коже. Експерименти и модели за дефинисање степена термичких повреда коже, приказани у овом поглављу, су углавном третирали кожу као хомогену структуру, не узимајући у обзир биозагревање, апсорпцију и рефлексију коже. Такође је у овом поглављу дат и

приказ актуелних стандарда топлотне изложености заснованих на многобројним експерименталним истраживањима.

У четвртом поглављу под називом *Нумеричке методе прорачуна топлотног зрачења* описане су најзначајније нумеричке методе и извршена њихова анализа и систематизација. Такође је дат и историјски преглед полуемпиријских метода за прорачун топлотног зрачења. За ове методе карактеристично је да су садржале три основна корака при моделирању утицаја топлотног флукса пожара и то: 1) одређивање геометријских карактеристика, брзине сагоревања и димензије пожара базиране на временски усредњеним вредностима; 2) одређивање карактеристичних особина топлотног зрачења пожара, као што је просечна емисиона моћ пламена пожара и 3) одређивање инцидентног радијативног топлотног флукса на циљаној локацији. Развој нумеричких техника, адекватног хардвера и софтвера омогућио је дељење простора на велики број ћелија нумеричке мреже за прорачунавање и детаљно сагледавање расподела термодинамичких и електромагнетних величина у ткиву. Аутор је у овом поглављу анализирајући полуемпиријске методе указао и на недостатке који се огледају у немогућности универзалне примене резултата и на потребу примене нумеричких симулационих поступака заснованих на моделу поља. Симулациони поступци су приказани кроз програмске пакете Fire Dynamics Simulator (FDS) и CST Studio Suite. Ови софтверски пакети омогућавају прецизније решавање расподеле поља и величина (температура, топлотни флуке, јачина поља, густина апсорбоване енергије и сл.) за произвољну геометрију емисије извора и за различите карактеристике материјалне средине (нехомогеност, вишеслојност, дисперзивност, нелинеарност).

У петом поглављу под називом *Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара*, предложен је нови метод за прорачун утицаја топлотног зрачења пожара на кожу човека. Изведени су нумерички експерименти применом програмских пакета FDS и CST Studio Suite. Креиран је симулациони 3Д модел човека, са придодатим термичким особинама, који је претходно у програму PiroSim прилагођен за нумерички прорачун у FDS-у. На овом моделу постављени су сензори температуре и радијативног топлотног флукса на стомаку, врху носа и прстима руке. За потребе симулације посматран је пожар угљоводоничног горива из горионика. Количина ослобођене топлоте током пожара мењана је путем промене димензија жаришта пожара (1x1m, 2x2m и 3x3m). 3Д модел човека, постављан је на растојању од 1, 2 и 3m од извора топлотног зрачења пожара. На основу девет алгоритамских корака и резултата прорачуна добијених применом програмских пакета FDS и CST Studio Suite предложен је нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара.

У последњем поглављу дата је систематизација постављених хипотеза, начин на који се дошло до циља докторске дисертације, допринос докторске дисертације, као и

начини практичне примене резултата дисертације и могући даљи правци развоја предложеног метода.

Кандидат је резултате појединих фаза истраживања у оквиру рада на дисертацији представио стручној и научној јавности публиковањем 25 радова у међународним и националним часописима, као и у зборницима радова са међународних и националних конференција, од којих издвајамо:

- [1] D. Krstić, D. Zigar, D. Petković, D. Sokolović, B. Đinđić, N. Cvetković, J. Jovanović and N. Đinđić: Predicting The Biological Effects Of Mobile Phone Radiation: Absorbed Energy Linked To The Mri-Obtained Structure, *Arh Hig Rada Toksikol* 2013;64:159-168.
- [2] D. Krstić, D. Zigar, M. Dunjić, D. Kitić, B. Djindjić: Investigation Of Biological Effects Of Mobile Phone Radiation On Tooth With Amalgam Filings, *Acupuncture & Electro-Therapeutics Research International Journal of Integrated Medicine*, Vol.39, No 3-4, 2014.
- [3] D. Krstić, D. Zigar, M. Dunjić, M. D. Sokolović, N. Cvetković: Research in biological effects exposure of service technicians to electromagnetic field from base station antenna system, 6th European Congress for Integrative Medicine-ECIM-2013, 4-5 October, Berlin, 2013., *Forsch Komplementmed* 2013; 20(suppl 3):1–50.
- [4] D. Krstić, D. Zigar, D. Petković, D. Sokolović, B. Đinđić, B. Đorđević, M. Dunjić, G. Ristić: The Study of Biological Effects of Electromagnetic Mobile Phone Radiation on Experimental Animals by Combining Numerical Modelling and Experimental Research, *Microwave Review*, Vol. 18, No. 2, December 2012, pp 9-16.
- [5] D. Krstić, D. Zigar, D. Petković, N. Cvetković, V. Marković, N. Đinđić, B. Đinđić: Modeling of Penetrating Electromagnetic Fields of Mobile Phones in Experimental Animals, *Safety Engineering*, 93-97, Vol2, No2 (2012).
- [6] D. Krstić, D. Zigar, D. Petković, D. Sokolović: Calculation of absorbed electromagnetic energy in human head radiated by mobile phones, *International Journal of Emerging Sciences - IJES*, Vol. 1, No. 4, December 2011: Special Issue: Selected Best Papers of the PES 2011, pp. 526-534.
- [7] D. Zigar, D. Jovanović, M. Zdravković: Cfd Study Of Fire Protection Systems In Tunnel Fires, *Safety Engineering*, Vol. 1, No. 1, 2011, pp. 11-16, DOI:10.7562/SE2012.02.07, Niš, 2011.
- [8] D. Petković, D. Zigar, D. Jovanović: Results of the simulation of the flame thermal radiation propagation thorough room opennings, *Facta Universitatis*, Niš, 2007.
- [9] D. Pesic, D. Zigar, N. Zivkovic: Assessing the Risk Of Accidents in Natural Gas Metering-Regulating Stations, *The 14th Annual International Conference on CIVIL PROTECTION – DANGEROUS SUBSTANCES 2015*, pp124-128, February 4 – 5, Ostrava, 2015.

- [10] D. Krstić, D. Zigar, M. Dunjić, D. Petković, N. Cvetković, D. Sokolović: Electromagnetic Modeling Of Tooth With Dental Amalgam Fillings Exposed To Mobile Phone, RAD 2014, The Second International Conference on Radiation and Radiation Dosimetry in Various Fields of Research, Niš, 2014.
- [11] D. Pešić, D. Zigar, Lj. Živković, N. Živković, M. Blagojević: Separation Distance Between Buildings in Function of Fire Protection, Conferința științifică internațională Provocări și Strategii în Ordinea și Siguranța Publică / 15-16 mai 2014, București (invited paper).
- [12] D. Pešić, S. Bogdanov, D. Zigar: Methods for Testing Reinforced Concrete Structure after Fire Exposure, XXI mezdunarodni konference Pozarna Ochrana 2012, Ostrava 2012.
- [13] D. Pešić, Ž. Jovanović, N. Živković, D. Zigar, S. Pavić: Fire risk assessment in transformer stations, Sedma regionalna naučno-stručna konferencija o sistemu upravljanja zaštitom životne sredine u elektroprivredi i međusobno povezanim kompanijama „ELECTRA VII“, JP Elektroprivreda Srbije, Kopaonik, 13-16. novembar, 2012, ISBN 978-86-85013-11-9
- [14] D. Krstić, D. Zigar, D. Sokolović, B. Djindjić, M. Dunjić, S. Stanisic, V. Markovic, Influence long term microwave radiation (MW) from mobile phone on some tissue of rats, 4th European Congress of Integrative Medicine, October 7-8, 2011, Berlin, Abstract Proceedings 14.10.2011 M.Cree, p.195-196.
- [15] D. Krstić, D. Zigar, D. Peković, D. Sokolović: Calculation Of Absorbed Electromagnetic Energy In Human Head Radiated By Mobile Phones, IIEC 2011 Conference proceedings, 2011, P1-14 pp 1-4.
- [16] D. Zigar, M. Zdravković, D. Jovanović: Određivanje bezbednog požarnog rastojanja u ruralno-urbanoj sredini primenom CFD simulacije, 12. Međunarodna konferencija zaštite od požara i eksplozije, Novi Sad, 2010. pp 3-10.
- [17] D. Krstić, D. Zigar, D. Petković: Modeliranje apsorpcije zračenja mobilnog telefona u glavi čoveka, Biološki efekti veštačkih elektromagnetnih polja - Prvi simpozijum sa međunarodnim učešćem, No 21.1, str 5, Novi Sad, 29-30.05.2009.
- [18] D. Zigar, M. Zdravković, D. Jovanović: Results of the simulation of the effects of a sprinkler spray on a thermal radiation propagation through room openings, 18th International Symposium on FIRE PROTECTION 2009, Ostrava, 2009.
- [19] D. Zigar, M. Zdravković, D. Jovanović, Propagation of thermal radiation flame throughout the room openings, Konferenciji Bezpieczeństwo Pożarowe Budowl, Warszawa, 2008.
- [20] D. Zigar, M. Zdravković, D. Jovanović: Bezbedno rastojanje između objekata u funkciji zaštite od požara, 11. Međunarodna konferencija zaštite od požara i eksplozije, Novi Sad, 2008.

## ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Увидом у докторску дисертацију Комисија констатује да постоји већи број научних резултата који могу бити сврстани у више научних области, а сам рад је мултидисциплинарног карактера.

Поред великог броја већ познатих научних резултата о утицају топлотног зрачења, у тренутку дефинисања теме ове дисертације, нису били познати сви биолошки механизми којим топлотно зрачење оштећује ткиво. Одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења је значајано како са становишта теоријских разматрања јер обједињава више научних области, тако и са практичног становишта јер доприноси ефикаснијем и безбеднијем раду ватрогасно-спасилачких екипа приликом локализације и гашења пожара. При решавању проблема одређивања безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења кандидат је имао систематски и мултидисциплинарни приступ повезујући сазнања из науке о пожарима, термодинамике, електродинимике простирања таласа и медицине.

На основу анализе најсавременијих података из литературе кандидат долази до закључка да не постоје потпуна знања о утицају топлотног зрачења на кожу човека јер нису повезивани прорачуни простирања топлотног зрачења и биолошки механизми дејства на ткива. Због тога кандидат приступа нумеричком експерименту и прорачуну топлотних величина пожара, као што су топлотни флуксеви. Топлотним флуксевима придружује електромагнетне величине топлотног таласа, израчунава продрле компоненте електромагнетног таласа у ткиво и добија температурну расподелу поља у површинском слоју коже. На овај начин добијени резултати нумеричким симулационим поступцима потпуно су оригинални и први пут изведени у овој области.

Кандидат је кроз анализу дубине продирања топлотног зрачења у биолошко ткиво у зависности од фреквенције инфрацрвеног зрачења, указао на максимуме односа дубине продирања и таласне дужине кроз прорачунате уделе емитоване енергије по опсезима топлотног зрачења. Овакав приступ до сада није уочен у научној и стручној јавности.

На основу теоријских разматрања, аутор је синтезом и индукцијом дошао до новог метода за одређивање безбедног растојања који је изложен низом алгоритамских корака, који дефинишу следеће симулационе поступке, на које у кратким цртама указујемо:

1. Израчунавање вредности радијативног топлотног флукса и температуре на површини коже човека на основу задатих димензија топлотног извора (жаришта пожара) и ослобођене количине топлоте коришћењем програмског пакета FDS;
2. Израчунавање енергетских доприноса за све опсеге топлотног зрачења при вредности температуре у жаришту пожара, са ширином опсега од 1-2  $\mu\text{m}$ , усвојеног на основу литературних података о зрачењу црног тела;
3. На основу израчунатог радијативног топлотног флукса за један изабрани опсег, израчунава се њему одговарајући интензитет јачине електричног поља;
4. На основу података о грађи коже, термодинамичким и електромагнетним карактеристикама коже, формира се хомоген једнослојни модел коже;
5. Коришћењем нумеричког поступка и програмског пакета CST Studio Suite, израчунавају се компоненте електромагнетног поља у ткиву, сматрајући да је правац простирања раванског таласа нормалан на површину коже;
6. Површински слој коже са максималном дужином продирања енергије се посматра као секундарни извор топлотног зрачења;
7. Формира се нов топлотни извор и одређује његова запреминска густина снаге на основу претходно одређених енергетских доприноса свих опсега топлотног зрачења;
8. Овом слоју придружује се још један слој коже истих електромагнетних карактеристика и за овако новодобијени симулациони модел коже прорачунавају се компоненте електромагнетног поља, апсорбоване густине енергије и расподела температуре у моделу;
9. Анализирају се добијени резултати и одлучује да ли је у било којој тачки модела коже дошло до прекорачења температуре бола. У случају прекорачења, врши се повећање растојања човека од извора и поновно извршавање свих поступака дефинисаних корацима 1-8. У случају да максимална температура у моделу није достигла температуру прага бола ( $T_{bola} = 44^{\circ}\text{C}$ ) већ је блиска њој, може се сматрати да се човек налази на безбедном растојању од пожара. У случају да је прорачуната температура у моделу коже знатно мања од температуре прага бола, растојање између човека и извора зрачења се смањује и итеративни поступак се понавља до достизања вредности температуре блиске прагу бола.



Примењујући предложени метод и спроведећи поступке у методу, мр Дарко Н. Зигар долази до вредности брзине сагоревања, количине ослобођене топлоте, температуре, радијативног топлотног флукса у зависности од величине пожара и растојања човека од пожара, као и до резултата продрлих компоненти електромагнетног топлотног зрачења, тј. густине апсорбоване снаге и температуре у површинском слоју коже. На овај начин је тестиран предложени метод, а резултати који потврђују исправност и могућност примене метода су дати у облику графикана и слика које приказују просторну расподелу параметара топлотног зрачења пожара и продрлих компонената електромагнетног поља у кожу. На основу свих ових података долази се до вредности безбедног растојања човека од пожара.

Сагледавајући материју приказану у овој дисертацији, Комисији позната теоријска ограничења, као и досадашња истраживања, Комисија закључује да је кандидат предложио нови интегрални метод за одређивање безбедног растојања човека од пожара. Комисија сматра да анализирана докторска дисертација представља значајан научни и стручни допринос у области заштите од пожара, а да је извесна и практична примена предложеног метода.

## ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

На основу анализе докторске дисертације кандидата мр Дарка Н. Зигара, дипломираног инжењера заштите животне средине, под насловом

**„Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења“**

утврдили смо да су у докторској дисертацији остварени постављени циљеви и задаци и да су резултати истраживања значајни не само са теоријског становишта, већ и са аспекта њихове практичне примене.

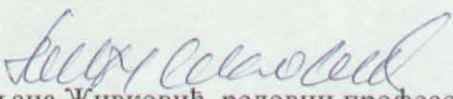
Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета заштите на раду у Нишу да прихвати Извештај о оцени урађене докторске дисертације под називом:

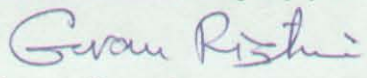
**„Нови метод за одређивање безбедног растојања људи од пожара као извора топлотног зрачења“,**

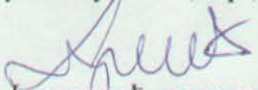
кандидата мр Дарка Н. Зигара, дипломираног инжењера заштите животне средине и одобри усмену јавну одбрану.

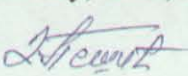
У Нишу, 29.09.2015. год.

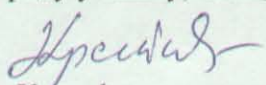
Чланови комисије:

  
Др Љиљана Живковић, редовни професор  
Факултета заштите на раду у Нишу, председник, с.р.,

  
Др Горан Ристић, редовни професор Електронског  
факултета у Нишу, члан, с.р.,

  
Др Јовица Јовановић, редовни професор Медицинског  
факултета у Нишу, члан, с.р.,

  
Др Душица Пешић, ванредни професор Факултета  
заштите на раду у Нишу, члан, с.р.,

  
Др Дејан Крстић, ванредни професор Факултета  
заштите на раду у Нишу, члан, с.р.