

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ
НАУКА
ВЕЋУ ЗА ТЕХНИЧКО-ТЕХНОЛОШКЕ НАУКЕ УНИВЕРЗИТЕТА
У КРАГУЈЕВЦУ

На седници Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу одржаној 22.09.2022. (број одлуке: 01-1/3070-19) и на седници Већа за техничко-технолошке науке одржаној 12.10.2022 (број одлуке: IV-04-752/17) којом смо одређени као чланови Комисије за подношење извештаја за оцену научне заснованости теме и испуњености услова кандидата за израду докторске дисертације:

Интеграција ГИС-а и вишекритеријумске анализе за унапређење енергетске ефикасности јавног осветљења

у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област: Енергетика и процесна техника, кандидата **Зоран Ковачевић, дипл. електротехнички инж.**

На основу података којима располажемо достављамо следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. Научни приступ проблему предложеног нацрта докторске дисертације и процена научног доприноса крајњег исхода рада

У предложеној пријави докторске дисертације, кандидат је образложио предмет истраживања, наводећи актуелности и значај истраживања у области унапређења енергетске ефикасности јавног осветљења.

Постојање јавног осветљења представља значајну потребу савременог друштва неопходну за обављање животних активности у периоду дана када је смањена количина природне светлости. Јавно осветљење омогућава осећај сигурности и комфора при коришћењу јавних површина (улице, пешачке стазе, паркови, паркинзи), као и обављање редовних пословних и других активности.

Јавно осветљење може довести до значајне потрошње електричне енергије услед коришћења неефикасне опреме и лошег управљања. Ова потрошња, на годишњем нивоу, заузима значајно место у укупном енергетском и економском билансу великог броја држава, региона и градова у свету. Ниво потрошње електричне енергије за потребе јавног осветљења зависи од окружења, животних навика и нивоа економског развоја друштва. Према доступним подацима јавно осветљење учествује са око 2,3 - 4% у глобалној потрошњи енергије, од чега највећи део одлази на осветљавање саобраћајница. Тренутни ниво развоја друштва доводи до повећања потрошње енергије за потребе јавног осветљења на нивоу од 3,6% годишње. Такође, спроведене студије показују да је удео јавног осветљења око 12% у укупној потрошњи електричне енергије у јавном сектору у Италији, око 3% укупне потрошње енергије у Хрватској и 1,1% у Србији. У градовима Латинске Америке јавно осветљење има удео 3,5 - 4% у укупној потрошњи електричне енергије у градовима. У Израелу 47% потрошње електричне енергије одлази за спољашње осветљење.

Трошкови на јавно осветљење могу износити до 60% укупних трошкова енергије у општинама, што је посебно изражено у умерено топлијим климатским подручјима. Трошкови јавног осветљења у Немачкој и у многим другим развијеним западним земљама имају значајан удео (скоро трећину) у општинском енергетском буџету.

Системи јавног осветљења у ЕУ почетком 21. века заснивали су се на светиљкама са натријумовим сијалицама високог притиска (*high-pressure sodium* - HPS) са уделом од 48,5%, затим, са живиним сијалицама високог притиска (*high-pressure mercury* - HPM) са уделом од 38,2%, са натријумовим сијалицама ниског притиска (*low-pressure sodium* - LPS) са уделом од 8,6%, флуоресцентним сијалицама (FL) око 7,7% и метал халогеним сијалицама (*metal halide* - MH) са 2,5%. Како би се створила основа за смањење потрошње у системима јавног осветљења, Европска комисија је донела уредбу бр. 245/2009 којом су успостављени виши захтеви у погледу енергетске ефикасности ових система. Уредбом је предвиђено да се удео неефикасних светиљки значајно смањи (превасходно HPM светиљки). Виши захтеви резултирали су тиме да су HPM сијалице у априлу 2015. године потиснуте са тржишта ЕУ.

Смањење потрошње електричне енергије у системима јавног осветљења представља један од важних задатака. Локалне самоуправе имају важну улогу у имплементацији програма и пројеката енергетске ефикасности и климатских политика јер су активне на енергетском тржишту и као потрошачи и као снабдевачи. Програми/пројекти унапређења енергетске ефикасности јавног осветљења су веома значајни, јер у одређеним случајевима уштеде у потрошњи енергије могу бити веће од 30%, у неким случајевима и преко 50%. Остварене уштеде, али и економски параметри програма/пројекта зависе од тренутног стања и од планираних мера. Пројекти енергетске ефикасности подразумевају, углавном, замену неефикасних извора осветљења, уз евентуалну уградњу система за регулацију. Као алтернатива HPM светиљкама најчешће се инсталирају ефикасније HPS светиљке и последњих година LED светиљке, које се уграђују као алтернативе и HPM и HPS светиљкама и које нуде одличне могућности за имплементацију „паметних“ система. Међутим, локалне самоуправе, посебно у слабије развијеним земљама, често имају ограничене буџете и због тога се суочавају са многим препрекама у управљању и имплементацији ових програма/пројеката. Препреке се најчешће огледају у високим инвестиционим трошковима и компликованим организационим питањима.

Сходно наведеном, може се закључити да постоје потребе за дефинисањем свеобухватног метода за анализу имплементације мера енергетске ефикасности у системима јавног осветљења и одабир адекватног решења, који је заснован на интеграцији ГИС технологија и вишекритеријумске анализе.

Имајући у виду приказ проблема истраживања, полазне хипотезе и предложене научне методе истраживања, предложен предлог докторске дисертације садржи елементе који су потребни да би се дао значајан научни допринос у области истраживања.

Очекивани резултати предложене дисертације су:

- преглед стања и систематизација резултата у подручју досадашњих истраживања;
- дефинисање свеобухватног метода за одабир адекватног решења за унапређење енергетске ефикасности јавног осветљења који се може применити на било којој локацији (град, село, општина);

- идентификовање и дефинисање свих атрибута елемената јавног осветљења који представљају основ за предлог мера за унапређење енергетске ефикасности;
- дефинисање мера за унапређење енергетске ефикасности и дефинисање тежинских фактора, на основу одабраног модела вишекритеријумске анализе, а који омогућавају одабир одрживог решења.

Резултати рада на дисертацији биће од помоћи доносиоцима одлука на различитим нивоима при дефинисању адекватних мера енергетске ефикасности јавног осветљења.

Веза са досадашњим истраживањима

Увидом у објављене радове у научним и стручним часописима, као и радове објављене на међународним конференцијама и стручним скуповима, може се закључити да је кандидат Зоран Ковачевић спроводио истраживања у области унапређења енергетске ефикасности јавног осветљења у оквиру уже научне области Енергетика и процесна техника. Рад у оквиру предложене дисертације омогућава кандидату да оствари континуитет у свом истраживачком раду и даље стручно/професионално усавршавање.

Кандидат је прикупио и анализирао велики број публикација представљених у међународним часописима и на конференцијама. Истраживања кандидата у оквиру израде докторске дисертације ослањала би се на следећу литературу:

Рационално коришћење енергије и енергетски ефикасно јавно улично осветљење су важна тема. Значају ове теме доприносе истраживања која наводе да програми и пројекти унапређења енергетске ефикасности система јавног осветљења у одређеним случајевима могу допринети уштедама у потрошњи енергије које могу бити веће од 30%, у неким случајевима и преко 50% (Lobao et al, 2015¹, Valentova et al, 2015²). Valentova et al, 2015 анализирали су 106 студија случаја у 17 европских земаља које су се односиле на унапређење енергетске ефикасности осветљења са фокусом на примени LED светиљки. Аутори су закључили да ови пројекти доносе многе предности, укључујући ниже трошкове одржавања, побољшане карактеристике осветљења или бољи амбијент.

Локалне самоуправе широм света имплементирају програме/пројекте енергетске ефикасности који се односе на улично осветљење. Остварене уштеде, али и економски параметри ових програма и пројеката зависе од тренутног стања и од планираних мера (Kostic and Djokic, 2009³; Vamisile et al, 2016⁴). (Kostic and Djokic, 2009) су у раду представили скуп најважнијих препорука у вези са релевантним факторима који имају утицај на уштеду енергије уличног осветљења, а до којих су дошли на основу спроведених оригиналних истраживања. Поред рога у раду су представљене и препоруке које произилазе из потреба корисника у погледу квалитета осветљења. Узимање у обзир свих ових препорука омогућава побољшање квалитета уличног осветљења као и уштеду енергије и трошкова.

¹ Lobao J.A., Devezas T., Catalao J.P.S., *Energy efficiency of lighting installations: Software application and experimental validation. Energy Reports. 1* (2015), 110–115.

² Valentova M., Quicheron M., Bertoldi P., *LED Projects and Economic Test Cases in Europe. International Journal of Green Energy 12*(2015), 843–851.

³ Kostic M., Djokic L., *Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting, Energy, 34* (2009) 1565-1572

⁴ Vamisile O.O., Dagbasi M., Abbasoglu S., *Economic feasibility of replacing sodium vapor and high pressure mercury vapor bulbs with LEDs for street lighting, Energy and Policy Research, 3*(1) (2016) 27-31

(Bamisile et al, 2016) су спровели истраживање са циљем да се испита изводљивост програма енергетске ревизије система уличног осветљења. Коришћен је пример замене HPS и HPM светиљки, које се користе у систему јавног осветљења Турске, LED светиљкама. Показано је да спровођење енергетске ревизије и имплементација оваквих пројеката може допринети значајним уштедама, што има посебан значај када се узме у обзир да се преко 44% фосилних горива увози за потребе генерисања електричне енергије.

Међутим, висока инвестициона средства, посебно у слабије развијеним земљама, често представљају препреку за општине и градове са ограниченим буџетима. (Polzin et al, 2016⁵) су навели да унапређење енергетске ефикасности јавног осветљења често наилази на препреке које се јављају у виду високих инвестиционих ризика, дугих периода отплате и недостатка адекватног кадра. На локалном нивоу ови проблеми су посебно изражени јер спровођење, имплементација и управљање пројектима унапређења енергетске ефикасности могу премашити постојеће капацитете локалних управа. Наводи се да се технолошке, економске, институционалне и кадровске препреке рефлектују на трошкове.

Истраживање које су спровели (Campisi et al. 2018⁶) разматра могућности инвестирања у више фаза што би олакшало спровођење планираних мера, без обзира на потребне инвестиционе трошкове. У раду је био фокус на имплементацији LED осветљења кроз замену конвенционалних светиљки у Риму. Истиче се да су почетни трошкови LED светиљки знатно већи од трошкова других технологија и да инвестициони трошкови могу бити препрека имплементацији. У истраживању је коришћен приступ анализе реалних опција.

(Polzin et al. 2018⁷) предложили су начине за финансирање пројектата енергетске ефикасности у системима јавног осветљења како би се превазишле могуће препреке и неизвесности. Они су анализирали питања везана за примену LED уличне расвете у Немачкој и у оквиру спроведених истраживања закључено је да постоји више тржишних решења која могу олакшати набавку иновативних технологија за унапређење енергетске ефикасности.

Радуловић, Скок и Киричић (Radulovic et al, 2011⁸) анализирали су постојање управљања енергетском ефикасношћу у системима јавног осветљења. Циљ спроведеног истраживања је утврђивање повезаности либерализације енергетског тржишта и одрживог развоја у урбаним подручјима. Анализа је спроведена кроз студију случаја унапређења енергетске ефикасности уличног осветљења у граду Ријека. Закључили су да постојање адекватног управљања представља предуслов за успешно спровођење пројектата унапређења енергетске ефикасности.

⁵ Polzin F., von Flotow P., Nolden, C., *Modes of governance for municipal energy efficiency services – the case of LED street lighting in Germany*, *Journal of Cleaner Production*, 139 (2016), 133-145

⁶ Campisi D., Gitto S., Morea D., *Economic feasibility of energy efficiency improvements in street lighting systems in Rome*, *Journal of Cleaner Production*, 175 (2018) 190-198

⁷ Polzin F., Nolden C., von Flotow P., *Drivers and barriers for municipal retrofitting activities – Evidence from a large-scale survey of German local authorities*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2018) 99-108

⁸ Radulovic D., Skok S., Kirincic V., *Energy efficiency public lighting management in the cities*, *Energy*, 36 (2011) 1908-1915

(Beccali et al. 2015⁹) су у свом раду предложили методологију за процену мера за унапређење енергетске ефикасности уличног осветљења која се састоји од осам корака. Применом методологије анализирани су пројекти за репрезентативне студије случаја. Детаљна студија случаја урађена је на систему јавног осветљења у граду Комису. Студија случаја је омогућила да се представе тренутне перформансе и атрибути као што су инсталирана снага, интензитет осветљења, потрошња електричне енергије, распореди укључивања и димовања. Израђен је пројекат надоградње система. Да би се то постигло, извршене су многе симулације осветљења, енергетске и економске процене у три сценарија. Добијени резултати показују да се могу предвидети висока побољшања квалитета осветљења уз велику енергетску и економску уштеду.

Поред наведене кандидат ће користити и следећу полазну литературу из области истраживања :

1. Rossi F., Bonamente E., Nicolini A., Anderin E., Contana F., A carbon footprint and energy consumption assessment methodology for UHI-affected lighting systems in built areas, *Energy and Buildings*, 114 (2016) 96-103
2. Tähkämö L., Halonen, L., Life cycle assessment of road lighting luminaires - Comparison of lighting-emitting diode and high pressure sodium technologies, *Journal of Cleaner Production*, 93 (2015) 234-242
3. Coelho S., Russ, M., Oliveira R., Monteiro A., Myriam L., Borrego C., Sustainable energy action plans at city level: A Portuguese experience and perception, *Journal of Cleaner Production*, 176 (2018) 1223-1230
4. Leccese F., Salvadori G., Rocca M., Critical analysis of the energy performance indicators for road lighting systems in historical towns of central Italy, *Energy*, 138 (2017) 616-628
5. Santos L., Soares I., Mendes C., Ferreira P., Real options versus traditional methods to assess renewable energy projects, *Renewable Energy*, 68 (2014) 588-594
6. Huaguo Zhou, Fatih Pirinccioglu, Peter Hsu., A new roadway lighting measurement system, *Transportation Research Part C* 17 (2009) 274-284
7. De Almeida A., Santos B., Paolo B, Quicheron M. Solid state lighting review—Potential and challenges in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 34 (2014) 30-48.

Управљање системом јавног осветљења и пројектима унапређења енергетске ефикасности система јавног осветљења представља један од предуслова за успешно спровођење пројеката енергетске ефикасности. Да би се успешно управљало јавним осветљењем неопходно је познавати све његове атрибуте. Прегледом референтне литературе, уочено је да ГИС (географски информациони систем) заузима важну улогу у проучавањима и анализама смањења потрошње енергије и смањењу емисије CO₂. Такође, ГИС представља један од главних алата приликом планирања и спровођења програма и пројеката енергетске ефикасности у системима јавног осветљења (Radulovic et al, 2011). Значајан број истраживања бавио се употребом ГИС-а у пројектима и програмима унапређења енергетске ефикасности. Примери радова где је коришћен ГИС у научним истраживањима су:

⁹ Beccali M., Bonomolo M., Ciulla G., Galatioto A., Lo Brano V., *Improvement of energy efficiency and quality of street lighting in South Italy as an action of Sustainable Energy Action Plans, The case study of Comiso (RG)*, *Energy*, 92(2015) 394-408

(Elsahragtya and Jin-Lee, 2015¹⁰) у свом раду су приказали како је уз помоћ ГИС платформе креиран модел за одређивање нивоа светлосног загађења (прекомерног осветљења). Прекомерно осветљење, доводи до непотребно више потрошње електричне енергије и може се смањити правилним избором енергетски ефикасних светиљки, смањењем висине стубова на којима су оне постављене, као и повећањем растојања између њих. За ове потребе коришћен је ГИС модел креиран помоћу софтвера ArcGIS. За мапирање вредности ноћне светлости користе се сателитски снимци направљени у *DMSP* - сателитском метеоролошком програму. *DMSP* подаци у комбинацији са ГИС подацима се обрађују помоћу ArcGIS софтвера што омогућава одређивање области са прекомерним осветљењем.

(Kovacs, et al, 2016¹¹) су у свом раду користили ГИС технологије за дефинисање потребних параметара и атрибута на сваком појединачном делу опреме у оквиру разгранате мреже јавног осветљења. Основа рада је истраживање примене соларне енергије у јавном осветљењу применом (централног) контролера са циљем постизања енергетски ефикасног решења и позитивног енергетског биланса. Овај контролер се може користити за „паметне“ градове преко *WEB* корисничког графичког интерфејса који омогућава визуелизацију тренутног стања и историје оперативних података који су пресудни за ефикасан рад и одржавање целокупног система.

(Lee Hill and Curtin, 2011¹²) у свом раду су се бавили коришћењем ГИС алата и просторних анализа на подручју Камбоџе према различитим критеријумима на основу којих је могуће изабрати погодне локације на којима би се изградило јавно осветљење засновано на LED светиљкама за које није потребно постојање дистрибутивне мреже. Главни циљ овог истраживања је стварање методе-шаблона за коришћење ГИС-а и просторних анализа за одређивање дистрибуције LED објеката.

Полазна литература из области примене ГИС технологија у пројектима и програмима унапређења енергетске ефикасности, која ће се поред наведене користити у истраживању је:

1. Sedziwy A., Kotulski L., Multi-agent system supporting automated GIS-based photometric computations, *Procedia Computer Science*, 80 (2016) 824–833
2. Barentine J.C., Kundracik F., Kocifaj M., Sanders J.C., Esquerdo G.A., Dalton A.M., Foott B., Grauer A., Tucker S., Kyba C.C.M., Recovering the city street lighting fraction from skyglow measurements in a large-scale municipal dimming experiment, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 253 (2020) 107120
3. de Miguel A.S., Zamorano J., Castaño J.G., Pascual S., Evolution of the energy consumed by street lighting in Spain estimated with DMSP-OLS data, *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 139 (2014)109–117
4. Bissiri M., Moura P., Figueiredo N.C., da Silva P.P, A geospatial approach towards defining cost-optimal electrification pathways in West Africa, *Energy*, 200 (2020) 117471

¹⁰ Elsahragtya M., Jin-Lee K., *Assessment and Strategies to Reduce Light Pollution using Geographic Information Systems*, *Procedia Engineering*, 118 (2015) 479 – 488.

¹¹ Kovacs A., Batai R., Csaji B.C., Dudas P., Hay B., Pedone G., Revesz T., Vancza J., *Intelligent control for energy-positive street lighting*, *Energy*, 114 (2016) 40-5.

¹² Lee Hill R., Curtin K.M, *Solar powered light emitting diode distribution in developing countries: An assessment of potential distribution sites in rural Cambodia using network analyses*, *Socio-Economic Planning Sciences*, 45 (2011) 48-57.

5. Tyralisa H., Mamassisa N., Photisb Y.N., Spatial analysis of the electrical energy demand in Greece, *Energy Policy*, 102 (2017) 340–352
6. Corigliano S., Carnovali T., Edeme D., Merlo M., Holistic geospatial data-based procedure for electric network design and least-cost energy strategy, *Energy for Sustainable Development*, 58 (2020) 1–15
7. Mentis D., Welsch M., Nerini F.F., Broad O., Howells M., Bazilian M., Rogner H., A GIS-based approach for electrification planning—A case study on Nigeria, *Energy for Sustainable Development*, 29 (2015) 142–150
8. Chuanwen Luo C., Zhua Q., Panga B., Wang J., Research of the 3d GIS based on OpenGL_ES for Earthquak Engineering, *Systems Engineering Procedia*, 1 (2011) 93–98
9. Sanchez-Lozano J.M., Garcia-Cascales M.S., Lamata M.T., Comparative TOPSIS-ELECTRE TRI methods for optimal sites for photovoltaic solar farms. Case study in Spain, *Journal of Cleaner Production*, 127 (2016) 387-398
10. Yousefi-Sahzabi A., Sasaki K., Yousefi H., Pirasteh S., Sugai Y., GIS aided prediction of CO2 emission dispersion from geothermal electricity production, *Journal of Cleaner Production*, 19 (2011) 1982 -1993
11. Hua Y., Göçer Ö., Göçer K., Spatial mapping of occupant satisfaction and indoor environment quality in a LEED platinum campus building, *Building and Environment*, 79 (2014) 124-137

Мере за унапређење енергетске ефикасности могу бити различите и у зависности од локације на којој се спроводи одређени програм или пројекат може бити развијено више сценарија. Међутим, као што је већ речено, локалне самоуправе често имају ограничене буџете и потешкоће у реализацији пројеката, које нису само економске природе. Због тога је потребно предложене мере рангирати и одабрати одговарајуће одрживо решење. Додатни критеријуми (енергетски, економски, еколошки и социјални) требало би да буду укључени у разматрање предложених мера за унапређење енергетске ефикасности. Значај (вредност) наведених критеријума може зависити од више фактора, а један од њих је ниво развијености земље. У развијеним земљама еколошки критеријуми се више вреднују од економских, док се у неразвијеним земљама већи акценат ставља на економске критеријуме (Akhanova et al. 2020).

Различити модели вишекритеријумске анализе се примењују у оквиру пројеката и програма енергетске ефикасности. Примери примене вишекритеријумске анализе у пројектима унапређења енергетске ефикасности су:

(Salvia et al. 2019¹³), истраживали су водеће светске примере унапређења енергетске ефикасности у системима урбаног јавног осветљења и могућности примене приступа аналитичких хијерархијских процеса (Analytic Hierarchy Process – *AHP*). *AHP* приступ коришћен је за одабир адекватних примера унапређења енергетске ефикасности, који се могу применити на примеру јавног осветљења одређених бразилских градова.

¹³ Salvia, A.L., Brandli L.L., Filho W.L., Kalil R.M.L., *An analysis of the applications of Analytic Hierarchy Process (AHP) for selection of energy efficiency practices in public lighting in a sample of Brazilian cities*, *Energy Policy*, 132 (2019) 854–864.

Главни атрибути који одређују на који начин се врши избор одговарајућих мера за унапређење енергетске ефикасности приказани су раду (Huang et al. 2013¹⁴). Потребни атрибути дефинисани су на основу упитника који је спроведен кроз студију случаја у Кини. Добијени резултати представљају добру основу за доношење одлука у процесу одабира и спровођења одређених мера енергетске ефикасности.

(Kaya et al., 2018¹⁵) разматрали су различите modele вишекритеријумске анализе за решавање проблема енергетске политике и доношења одлука коришћењем различитих техничких, економских, еколошких и друштвених критеријума. У раду су систематизовани и анализирани објављени радови који користе традиционалне методе вишекритеријумске анализе за решавање енергетских проблема. Циљ рада је да се истраживачима прикажу методе вишекритеријумске анализе које се користе у енергетским студијама. Такође, спроведене су и одређене статистичке анализе како би се добила веза између временског периода и тада коришћених метода.

Поред наведене полазна литература из области примене вишекритеријумске анализе у пројектима и програмима унапређења енергетске ефикасности обухвата и:

1. San Cristóbal Mateo, J. R. (2012), *Multi-criteria analysis in the renewable energy industry*, Springer
2. Opricovic, S., Tzeng, G.-H. Compromise solution by MCDM methods, A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS, *European Journal of Operational Research*, 156 (2) (2004) 445-455
3. Pohekar, S.D., Ramachandran, M., Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 8 (4) (2004) 365-381

2. Образложење предмета, метода и циља који уверљиво упућују да је предложена тема од значаја за развој науке

Предмет, циљеви и хипотезе ове дисертације обухватају следеће

Предмет рада докторске дисертације је дефинисање свеобухватног метода за анализу имплементације мера енергетске ефикасности на системе јавног осветљења и одабир адекватног решења, који је заснован на интеграцији ГИС технологија и вишекритеријумске анализе. Да би се дефинисало адекватно решење неопходно је првенствено извршити идентификацију и систематизацију атрибута система јавног осветљења. Након дефинисања атрибута потребно је предложити и анализирати потенцијалне мере за унапређење енергетске ефикасности уз формирање модела за процену њихових техно-економских параметара. Применом предложених мера могуће је смањити потрошњу електричне енергије и тиме смањити укупне трошкове у буџету локалних самоуправа. Како би се

¹⁴ Huang, Z., Jiang, D., & Huang, Y., *Attributes affecting the application of energy saving measures*. In 2013 IEEE 12th International Conference on Cognitive Informatics and Cognitive Computing (2013) (pp. 446–453). Presented at the 2013 12th IEEE International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI*CC), New York, NY, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCICC.2013.6622281>

¹⁵ Kaya, İ., Çolak, M., & Terzi, F., *Use of MCDM techniques for energy policy and decision-making problems: A review*, *International Journal of Energy Research*, 42(7) (2018) 2344-2372

одабрале мере које су адекватне за одређену локалну самоуправу, неопходно је спровести одговарајућу вишекритеријумску анализу.

Основни научни циљ докторске дисертације је формирање метода за дефинисање мера енергетске ефикасности у циљу смењена потрошње електричне енергије за потребе јавног осветљења и избор адекватног решења на основу вишекритеријумске анализе.

Хипотезе докторске дисертације од којих се полази на основу постављеног научног циља су:

- Адекватна идентификација атрибута јавног осветљења представља основу која утиче на дефинисање мера за унапређење енергетске ефикасности система јавног осветљења.
- За процену предложених мера енергетске ефикасности могу да се користе математички модели формиран на основу прикупљених и систематизованих техно-економских параметара тржишно доступних извора осветљења.
- Применом вишекритеријумске анализе може се дефинисати одрживо решење за унапређење енергетске ефикасности
- *LED corn* светлосни извори су адекватно решење за унапређене енергетске ефикасности у најширем опсегу инсталираних снага светлосних извора.

Методе истраживања

Како би се остварио постављени научни циљ докторске дисертације, неопходно је прво прикупљањем података на терену и коришћењем постојећих прописа (стандарда) извршити идентификацију атрибута система јавног осветљења. Идентификоване атрибуте, затим је потребно систематизовати коришћењем ГИС софтвера, што ће представљати основу за даља истраживања. На основу досадашњих истраживања, искустава, примера добре праксе, методологија и метода из референтне литературе, уз неопходне модификације и прилагођавања биће предложене одговарајуће мере за унапређење енергетске ефикасности. Истовремено, прикупљени подаци о тржишно доступним моделима извора осветљења биће систематизовани и из њих ће бити формиране адекватне математичке зависности. Дефинисане математичке зависности биће коришћене при техно-економској анализи предложених мера уз унапређење енергетске ефикасности. Након техно-економске анализе, предложене мере ће бити рангиране применом вишекритеријумске анализе у циљу добијања одрживог решења. Модел вишекритеријумске анализе биће одабран на основу искустава и примера из референтне литературе уз дефинисање одговарајућих тежинских фактора односно критеријума.

Оквирни садржај докторске дисертације

1. Увод
2. Уводна разматрања у области технологија система јавног осветљења
3. Преглед актуелних истраживања у области унапређења енергетске ефикасности система јавног осветљења
4. Преглед примене ГИС технологија и вишекритеријумске анализе
5. Прикупљање и систематизација података о системима јавног осветљења и њиховим атрибутима
6. Математичке зависности атрибута система јавног осветљења

7. Дефинисање мера за унапређење енергетске ефикасности и техноекономска анализа
8. Анализа доступних модела вишекритеријумске анализе
9. Дефинисање критеријума и примена одговарајућег модела вишекритеријумске анализе
10. Закључна разматрања
11. Литература

3. Образложење теме за израду докторске дисертације које омогућава закључак да је у питању оригинална идеја или оригиналан начин анализирања проблема

На основу пријаве теме докторске дисертације Комисија закључује да постоји потреба за формирањем метода за дефинисање мера енергетске ефикасности система јавног осветљења и одабир адекватног решења, који је заснован на интеграцији ГИС технологија и вишекритеријумске анализе. Практична примена развијеног метода ће доносиоцима одлука на локалном нивоу помоћи при идентификацији и одабиру адекватног решења за унапређење енергетске ефикасности јавног осветљења, што чини значајан научни допринос.

Комисија закључује да је предложена тема докторске дисертације „Интеграција ГИС-а и вишекритеријумске анализе за унапређење енергетске ефикасности јавног осветљења“ кандидата Зорана Ковачевића, са образложеним предметом рада, научним циљевима, научним доприносима и очекиваним резултатима, насталим досадашњим самосталним истраживањима и детаљном анализом доступних научних радова, у научном и стручном смислу оригинална идеја.

4. Усклађеност дефиниције предмета истраживања, основних појмова, предложене хипотезе, извора података, метода анализе са критеријумима науке уз поштовање научних принципа у изради коначне верзије докторске дисертације

Кандидат Зоран Ковачевић ће у својој дисертацији обухватити све елементе савременог научно-истраживачког начина рада поштујући основне критеријуме науке, научних циљева и метода анализе, имплементацијом постојећих и развијањем оригиналних идеја научног истраживања.

Кандидат ће детаљно проверавати полазне хипотезе, теоријски (анализом обимне литературе) и експериментално (на студији случаја).

У достављеној пријави теме, кандидат је користио одговарајућу терминологију из области, која је предмет рада. Дефиниција предмета истраживања је усклађена са основним појмовима, предложеним хипотезама и методама истраживања. Предмет истраживања, предложене хипотезе, као и методе истраживања дефинисани су уз поштовање научних принципа. На основу приказа савремене доступне литературе, може се рећи да је кандидат показао способност анализе научних радова и утврђивања претпоставки за даља научна истраживања.

С обзиром на то да су циљеви проистекли из запажене чињенице да тренутно не постоји адекватан метод за дефинисање мера за унапређење енергетске ефикасности система јавног

осветљења и одабир адекватног решења, који је заснован на интеграцији ГИС технологија и вишекритеријумске анализе, добијени резултати представљали би оригинални допринос истраживачкој области.

5. Преглед научно-истраживачког рада кандидата

а. Кратка биографија кандидата

Зоран Ковачевић је Основну школу „Светозар Марковић“ у Крагујевцу завршио са одличним успехом, а школовање потом наставио као ђак „Прве техничке школе“ у Крагујевцу, коју је успешно завршио са одличним успехом 1983. године.

Електротехнички факултет у трајању од пет година у Београду уписао је 1983. године. Дана, 24.01.1990. године завршио је факултет на Енергетском одсеку и стекао звање дипломираног електротехничког инжењера.

Докторске академске студије, у трајању од три године према плану и програму, на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, научна област Енергетика и процесна техника, уписао је 23.11.2017. године. У току студија положио је све испите предвиђене планом и програмом, са просечном оценом 10.

Професионалну каријеру започео је у „Првој техничкој школи,“ у Крагујевцу где је радио као професор на стручним предметима на електро одсеку. Након тога запошљава се у „ЈП Електрошумадија“ Крагујевац где прво ради као Инжењер одржавања објеката 110 и 35 kV, а након тога постаје Руководилац службе за високи напон, релејну заштиту и испитивање где руководи пословима одржавања ЕЕО 110 и 35 kV. У овој служби проводи 10 година и након тога прелази у Службу за одржавање и ревизију мреже на радно место руководилац службе. Након реструктурирања предузећа прелази у ЈП „Електропривреда“ Србије огранак ЕД „Електрошумадија“ Крагујевац где обавља функцију Руководиоца одржавања трафостаница, водова 10-1kV, изградње објеката и јавног осветљења, при чему се бави одржавањем ових објеката. У овој служби проводи 10 година и након тога прелази на функцију Директора сектора пословница и руководим свим пословима електродистрибутивног карактера на територији пословница Рача, Баточина, Лапово и Кнић. Реструктурирањем ЈП „ЕПС“ запошљава се у „Електродистрибуција Србије д.о.о. Београд“ где обавља посао Руководиоца сектора одржавања ЕЕО и ММ и руководи одржавањем трафостаница 10/0,4 kV, водовима 10-1kV и водовима јавног осветљења.

Служи се енглеским језиком. Добар је познавалац рада на рачунару и користи програме: MSO Word, MSO Excel, MSO PowerPoint, MSO Access, EnergyPlus, AutoCAD, MatLab, SolidWorks, CorelDraw, Adobe Photoshop, и добро се служи интернетом.

Учествовао је у изради Програма енергетске ефикасности града Крагујевца за период 2018-2020 година (2017/2018).

б. Научно-истраживачки рад

Као аутор или коаутор кандидат је објавио 4 рада у научно-стручним часописима и на конференцијама.

Рад у истакнутом међународном часопису [M22]

1. Gordić D., Vukašinić V., Kovačević Z., Josijević M., Živković D., Assessing the Techno-Economic Effect of Replacing Energy-Inefficient Street Lighting with LED Corn Bulbs, *Energies* 14 (2021), 3755, ISSN 1996-1073.

Рад у часопису националног значаја [M51]

1. Kovačević Z., Vukašinić V., Gordić D., Piecewise Techno-Economic Analysis of LED Corn Bulbs for Street Lighting, *Applied Engineering Letters: Journal of Engineering and Applied Sciences* 7-2 (2022), 74-80, ISSN 2466-4677.

Саопштење са међународног скупа штампано у целини [M33]

1. Despotović M., Kovačević Z., Radulović J., Analysis of Optimal Wiring of PV Panels by Means of Nonlinear Integer Programming, 11th International Conference on Accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, DEMI 2013, Banja Luka, 2013, 30 May - 01 June, ISBN 978-99938-39-36-1

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини [M63]

1. Ковачевић З., Младеновић М., Анализа изводљивости јавног осветљења града Крагујевца применом различитих светлосних извора, XXXV Међународно саветовање Енергетика 2020, Златибор 2020. 21-24 јун, ISBN 978-86-86199-02-7

6. Предлог за ментора са његовим референцама којима се доказује испуњеност услова за менторство

Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде др Владимир Вукашиновић ванредни професор Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

▪ Референце којима се доказује испуњеност услова за менторство:

1. **Vukasinovic V.**, and Gordic D., Optimization and GIS-based combined approach for the determination of the most cost-effective investments in biomass sector, *Applied Energy*, Vol.2016, No.178, pp. 250-259, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.037>, 2016 [M21a]
2. **Vukasinovic V.**, Gordic D., Zivkovic M., Koncalovic D., Zivkovic D., Long-term planning methodology for improving wood biomass utilization, *Energy*, Vol.175, No.May 2019, pp. 818-829, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.105>, 2019 [M21a]
3. Nikolić J., Gordić D., Jurišević N., **Vukašinić V.**, Milovanović D., Energy auditing of indoor swimming facility with multi-criteria decision analysis for ranking the proposed energy savings measures, *Energy Efficiency*, Vol.14, No.36, pp. 11, ISSN 1570-6478, <https://doi.org/10.1007/s12053-021-09949-w>, 2021 [M22]
4. Gordic D., **Vukasinovic V.**, Kovacevic Z., Josijevic M., Zivkovic D., Assessing the Techno-Economic Effects of Replacing Energy-Inefficient Street Lighting with LED Corn Bulbs, *Energies*, Vol.14, No.13, pp. 3755, ISSN 1996-1073, <https://doi.org/10.3390/en14133755>, 2021 [M22]
5. Gordić D., Nikolić J., **Vukašinić V.**, Influence of global warming on primary energy consumption for heating and cooling in public buildings, *Thermal Science*, Vol.23, No.S5, pp. S1719-S1726, ISSN 0354-9836, <https://doi.org/10.2298/TSCI190527383G>, 2019 [M23]

На основу свега наведеног у претходним тачкама овог извештаја Комисија доноси следећи

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ КОМИСИЈЕ

Зоран Ковачевић, дипломирани електротехнички инжењер, испунио је све предвиђене услове за одобрење израде докторске дисертације.

Предложена тема докторске дисертације је оригинална и има научну заснованост, а методологија израде докторске дисертације је у складу са научним принципима. Очекивани резултати докторске дисертације треба да представљају научни допринос у области унапређења енергетске ефикасности јавног осветљења у оквиру уже научне области Енергетика и процесна техника.

Комисија предлаже Наставно-научном већу Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Већу за техничко-технолошке науке Универзитета у Крагујевцу да наведена предложена тему за докторску дисертацију:

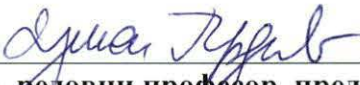
„ИНТЕГРАЦИЈА ГИС-А И ВИШЕКРИТЕРИЈУМСКЕ АНАЛИЗЕ ЗА УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ЈАВНОГ ОСВЕТЉЕЊА“

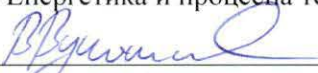
која припада научној области Машинско инжењерство, ужа научна област: Енергетика и процесна техника, прихвати и одобри њену израду кандидату **Зорану Ковачевићу**, дипломираном електротехничком инжењеру.

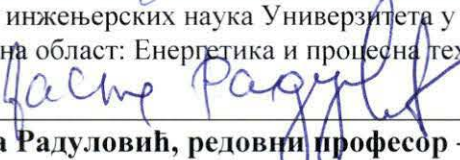
Комисија предлаже да ментор ове докторске дисертације буде **др Владимир Вукашиновић**, ванредни професор, Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

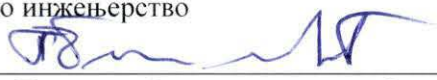
У Крагујевцу и Новом Саду, 07.11.2022.


КОМИСИЈА:


Др Душан Гордић, редовни професор, председник комисије
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника


Др Владимир Вукашиновић, ванредни професор – члан
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника


Др Јасна Радуловић, редовни професор – члан
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Аутоматика и мехатроника, Примењена информатика и рачунарско инжењерство


Др Горан Бошковић, ванредни професор – члан
Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника


Др Филип Кулић, редовни професор – члан
Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду
Ужа научна област: Аутоматика и управљање системима