

АПСТРАКТ

Рад има за циљ да скрене пажњу на важност појаве светлосног загађења као битног, а занемареног фактора који утиче на животну средину, али и да стави акценат на главне узрочнике и последице истог, које могу бити широких размера. Један од важних узрочника пораста нивоа светлосног загађења је економски развој градова. У циљу појашњења досадашњих покушаја да се установи на који начин пораст популације и животног стандарда утичу на количину светлосног загађења, издвајају се два научна истраживања у којима се анализира овај однос. Јединствен допринос овог рада је чињеница да је за анализу међусобне повезаности економских параметара који указују на ниво животног стандарда у држави и нивоа светлосног загађења коришћен Пирсонов коефицијент корелације. По први пут се за утврђивање ове корелације користе мерења светлосног зрачења врло прецизним *VIIRS* уређајима о којима ће речи бити касније. У изнетим студијама случаја су обухваћене земље афричког континента, као најсиромашнијег дела света и европског континента, као једног од богатијих континента. У раду се истиче потреба за неопходном и коренимом променом у приступу градске управе решавању проблема светлосног загађења, подизањем свести грађана и увођењем појма зонирања у домену планираног осветљења јавних градских простора.

Кључне речи: светлосно загађење, економски параметри, Пирсонов коефицијент корелације, урбано планирање градова, зонирање и осветљење јавних простора

ABSTRACT

The purpose of this paper is to raise the awareness of the importance of light pollution as an essential, but neglected factor that impacts the living and the built environment. One of the main causes of light pollution is the continual economic growth of the cities. Two studies have been presented with an aim of clarifying the attempts made so far in establishing the way population growth and living standards affect light pollution. The unique contribution of this paper is that the correlation between the economic parameters that imply a certain living standard of a country to the level of its light pollution is analysed using the Pearson Correlation Coefficient. For the first time a very accurate *VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite)* is used for the measurements of light radiation in order to determine such a correlation. The analysis takes into account the African continent as one of the poorest parts of the world, and Europe, as one of the richest continents. The consequences of light pollution and some ways of reducing and minimizing it have been explained through case studies. The paper highlights the need for change in local authorities' approach to solving the problem of light pollution, raising citizens' awareness of the issue, as well as proposing zoning parameters in lighting design of public spaces.

Key words: light pollution, economic parameters, Pearson Correlation Coefficient, urban planning of the cities, zoning and lighting design of public areas

УВОД

Економски развој градова директно утиче на појаву нових градских зона велике густине насељености, на потребу за повећањем капацитета инфраструктуре, јавних услуга и садржаја који чине живот становника у граду потпуним. Град као физичка структура је пред великим изазовом на који начин ће помирити свој потенцијал са надоласећим потребама које диктира пораст густине популације. Доводи се у питање стање животне средине уколико се не уведу нови модели уређења градова. У раду је обрађен специфичан аспект светлосног загађења као једног вида еколошког угрожавања животне средине, који као феномен мора бити укључен у разматрање у оквиру студије

1 Рад је настао као део истраживања у оквиру научних пројеката ТР 36036: *Одрживи развој Подунавља у Србији* и ТР 36035: *Просторни, еколошки, енергетски и друштвени аспекти развоја насеља и климатске промене – међусобни утицаји*, које финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

* Катарина Мајхеншек, дипл. инж. арх., спољни сарадник, Институт за архитектуру и урбанизам Србије, k_majhensek@yahoo.com

** др Бошко Јосимовић, дипл. простор. план., виши научни сарадник, Институт за архитектуру и урбанизам Србије, bosko@iaus.ac.rs

*** др Божидар Манић, дипл. инж. арх., научни сарадник, Институт за архитектуру и урбанизам Србије, bozard@iaus.ac.rs

глобалних промена (Cinzano et al., 2001). Презентована су два истраживања. Прво истраживање је рад америчких стручњака предвођених Терелом Галавејем (Terrel Gallaway), у ком се у оквиру студије *Економија глобалног светлосног загађења* (*The economics of global light pollution*) уз примену логистичког регресионог модела анализирају економски фактори глобалног светлосног загађења. Друго истраживање је рад тима стручњака на челу са Фабиом Фалкијем (Fabio Falchi) са Института за науку и технологију светлосног загађења, из италијанског места Тијене (Istituto di Scienza e Tecnologia dell'Inquinamento Luminoso (ISTIL), Thiene, Italy), који се бавио анализом утицаја густине популације на интензитет светлосног загађења и видљивост ноћног неба. Даље у оквиру рада биће изнети недостаци, али и препоруке које се могу извести из наведених студија случаја, као допринос изналажењу решења за смањење светлосног загађења. Увођењем методолошког приступа у рад који ће обухватити анализу засновану на коришћењу Пирсоновог коефицијента корелације ради утврђивања односа два економска фактора и нивоа светлосног загађења изнад два континента, Африке и Европе, биће утврђена међусобна зависност економске развијености/животног стандарда становника једне државе и количине светлосног загађења коју та држава емитује. Успостављена корелација ће водити у правцу дефинисања реалних захтева којима се треба руководити у циљу заштите животне средине. Биће утврђени неки од принципа које би требало узети у разматрање, а које би градске власти могле да размотре у свом будућем дефинисању регулативе у урбаном планирању и планирању осветљења јавног простора.

СВЕТЛОСНО ЗАГАЂЕЊЕ – ПОЈАМ, УЗРОЦИ И ПОСЛЕДИЦЕ

У великом броју дефиниција светлосног загађења, најобухватнија би била она која одређује светлосно загађење као свако осветљење ноћног неба које је изазвано ометањем вештачким светлом (Kivi, 2009). У том контексту, светлосно загађење је свака сувишна и некорисна емисија вештачке светлости, која је погрешно усмерена.

Постоји неколико узрочника светлосног загађења: безбедносно осветљење, рефлекторско осветљење објеката, споменика и отворених места за забаву; осветљење улица и путева; светлеће рекламе и огласне табле; осветљење индустријских објеката и фасада; отворени продајни простори, паркинг простори, железничке станице; осветљење аеродрома, индустријских парцела, градилишта и стакленика и осветљење спортских терена (Ђокић, 2007).

До неекономичног коришћења вештачког осветљења горепомнутих узрочника долази углавном због:

- лошег дизајна и непланског осветљења,
- погрешног избора светиљки који није усклађен ни са наменом простора који се осветљава као ни са наменом простора који је у непосредном окружењу,

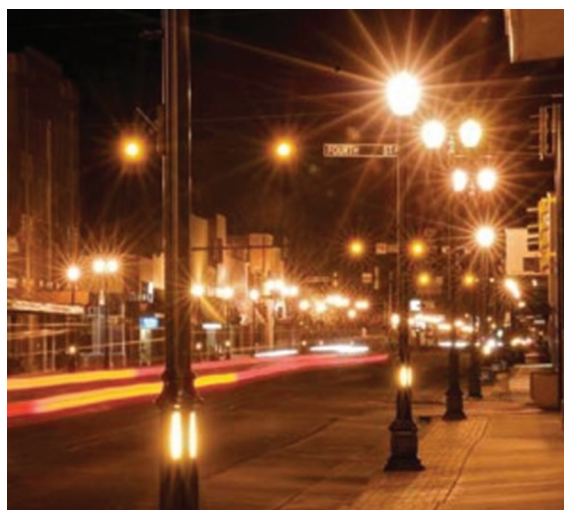
- нетачног прорачуна потребног нивоа осветљења у виду превеликог или премалог растојања између светиљки или пак у односу на висину на којој се извор светла налази.

У већини случајева ниво осветљености је већи од потребног за активност која се обавља у простору. Услед дејства горенаведених узрочника светлосног загађења долази до промена које су видљиве и које директно утичу на комфор приликом коришћења одређеног простора. У том смислу, видови испољавања светлосног загађења су:

Бљештање – потиче из извора велике сјајности. Оно може директно да утиче на смањење способности процене удаљености и брзине возила у саобраћају и повећава ризик од саобраћајних несрећа (Сл. 1).

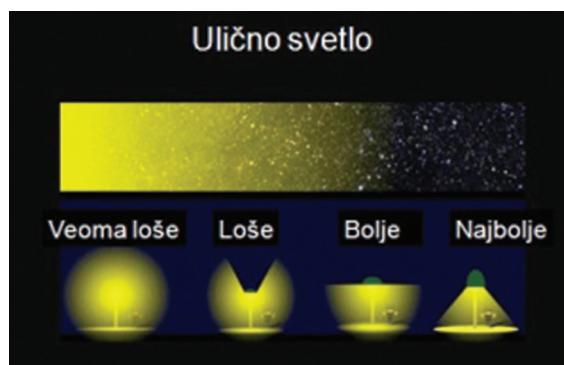
Сјај неба – резултат вештачке светлости која се пројектује навише, а затим као таква, расута у атмосфери, спречава могућност видљивости звезда (Сл. 2). Јасно се уочава на који начин избор типа уличног светла директно утиче на степен видљивости сјаја неба: од веома лошег, са снопом светлости који није усмерен на корисну површину, до нивоа најбољег избора, са јасно контролисаним углом емитовања осветљења (корисна светлост).

Сувишна светлост – вид светлосног загађења у виду емитовања светлости која продире до приватних посуда који се граниче са јавним простором – улицом, тротоаром, пешачком стазом. Овакав вид светлости омета ноћне активности становника у њиховим домовима (Сл. 3).



Сл. 1. Бљесак од јаким светлостима, без штитника, која заправо смањују сигурност, Извор: <http://www.darksky.org/light-pollution/lighting-crime-and-safety/>

Fig. 1. Glare from bright, unshielded lights actually decreases safety, Source: <http://www.darksky.org/light-pollution/lighting-crime-and-safety/>



Сл. 2. Употреба уличног светла са различитим опсегом снопа светлости, Извор: <https://svefefizika.wordpress.com/2015/02/13/svetlosno-zagadenje/>

Fig. 2. The use of street lights with different range of the light beam, Source: <https://svefefizika.wordpress.com/2015/02/13/svetlosno-zagadenje/>

Сл. 3. Приказ сувишне светлости, Извор: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/lightTrespass.asp>

Fig 3. Light trespass, Source: <http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/lightTrespass.asp>



Последице светлосног загађења су широких размера и имају утицај на:

- човека и његов билошки ритам, на квалитет сна, што има за последицу поремећаје у менталном здрављу и повећан ризик од карцинома (De la Paz Gómez et al., 2010). Човек је вештачки продужио дан, скратио је себи време квалитетног сна и тиме директно угрозио ментално и физичко стање организма;
- екосистем, што значајно утиче на физиолошки развој вегетације и на промену ритма миграције птица, репродукцију и ланац исхране (De la Paz Gómez et al., 2010).

ПРИКАЗ АНАЛИЗИРАНИХ ИСТРАЖИВАЊА

У наставку су приказана два истраживања еминентних стручњака из области светлосног загађења, која се издвајају у приступу и анализи овог проблема:

Истраживање 1 – Утицај економских фактора на ниво светлосног загађења

Прво истраживање је извршио тим америчких стручњака у оквиру студије *Економија глобалног светлосног загађења* на челу са Терелом Галавејем (Terrel Gallaway) који је покушао да утврди колики утицај економски фактори имају на ниво светлосног загађења (Gallaway et al., 2009). За добијање података о интензитету светлосног зрачења коришћене су вредности добијене мерењем уз помоћ метеоролошког сателита америчког ваздухопловства програмом *DMSP (The Defense Meteorological Satellite Program) – OLS* системом (*Operational Linescan System*). Лоша страна овог мерења је та што вредности светлосног зрачења које су добијене коришћењем *DMSP – OLS* нису прецизне јер региструју широк спектар светлосног зрачења (Elvidge et al., 2013). На основу мерења утврђено је да је интензитет светлосног зрачења увећан за вредности емитованог вештачког светла мерене као последица одбљеска од површина које су под снегом, али и светлости која је последица топлотног зрачења и светлости од гасова који се емитују са нафтних платформи. Те вредности су умногоме утицале на добијање непрецизних вредности интензитета светлосног зрачења (Cinzano et al., 2001). За земље у којима је густина насељености велика, али не и равномерно распоређена,

приликом мерења су добијени резултати који одступају од праве вредности, јер подаци за поједине области нису били доступни (Gallaway et al., 2009:660). У поменутом истраживању акценат је стављен на три економска параметра који имају утицај на вредности светлосног загађења:

1. проценат популације једне државе који живи у градовима,
2. ниво економске развијености у 184 државе света приказан кроз износ бруто друштвеног производа (БДП),
3. процентуални износ површина обрадиве земље у односу на укупну површину са нивоом светлосног загађења (Gallaway et al., 2009).

Истраживање 2 – Утицај густине популације на ниво светлосног загађења

Друго истраживање извршио је тим научника на челу са Фабиом Фалкијем (Fabio Falchi) који 2016. год. објављује студију *Нови светски атлас вештачког ноћног осветљења (The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness)*, у којој се по први пут у последњих 15 година приказује утицај загађења вештачким ноћним светлом на светску популацију (Falchi et al., 2016). У свом раду износи податке сателитског мерења светлосног зрачења изнад свих континената планете Земље коришћењем напредног *VIIRS* уређаја (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) (Falchi et al., 2016).

Ово истраживање износи следећа запажања:

1. мерења светлосног зрачења емитованог у атмосфери која су извршена у близини нафтних поља, изнад вулкана и изнад области покривених снегом, захваљујући *VIIRS* уређају нису ушла у прорачун вредности светлосног зрачења (Falchi et al., 2016). Стога се закључује да добијени подаци о интензитету светлосног зрачења *VIIRS* уређајем могу бити релевантни за даља истраживања.
2. Градови и насеља у којима су већ постављене сијалице са ЛЕД диодама, које емитују спектар плавичасте светлости, не могу бити детектовани као извори светлосног зрачења од стране *VIIRS* уређаја, док ће субјективан осећај код људи бити сасвим супротан (Falchi et al., 2016). То даље има за последицу добијање нетачних података о вредности интензитета светлосног зрачења у земљама у којима се тренутно ради на замени ЛЕД светиљкама. Додатну бојазан представља податак да управо та плавичаста боја спектра ЛЕД светиљке има штетан утицај на вид људи (Đuketić, 2010).
3. Светлосно загађење узрокује глобалне еколошке последице, доводи у питање квалитет здравља људи, као и утрошак енергије и новца, што указује на комплексност проблема који је неопходно освестити (Falchi et al., 2016).

МЕТОДОЛОШКИ ПРИСТУП УТВРЂИВАЊУ КОРЕЛАЦИЈЕ ЕКОНОМСКИХ ФАКТОРА СА НИВООМ СВЕЛОСНОГ ЗАГАЂЕЊА

Методолошки приступ који је примењен у овом раду је произашао из анализе претходна два истраживања. У првом од наведена два истраживања је методом логистичког регресионог модела утврђена корелација економских фактора са нивоом светлосног загађења. Мерења коришћена у том раду нису у потпуности прецизна јер је метеоролошки сателит коришћен за мерења регистровао превише широк опсег светлосног зрачења. Друго поменуто истраживање нуди податке о односу густине популације и нивоа светлосног загађења, мереног помоћу прецизнијег *VIIIRS* уређаја.

У овом раду, уз коришћење Пирсоновог коефицијента корелације, биће извршена анализа међусобне повезаности два економска параметра, који указују на ниво животног стандарда у држави, са нивоом светлосног загађења. Пирсонов коефицијент корелације мери статистичку везу или однос између две континуалне променљиве. Познат је као најбољи метод мерења корелације/односа између променљивих које се узимају у разматрање (*Statistics Solutions*, 2017, 22. јул). Пирсонов коефицијент је број у интервалу $[-1, 1]$. Вредност -1 указује на савршену негативну повезаност, што значи да док једна променљива расте, друга опада. Вредности Пирсоновог коефицијента нула (0) и мале вредности блиске нули указују да не постоји повезаност између две врсте података. Вредности Пирсоновог коефицијента $+1$ и вредности блиске $+1$ указују на постојање јаке позитивне повезаности, тј. са порастом једне од променљивих, расте и друга.

За мерење нивоа светлосног зрачења коришћен је модеран *VIIIRS* уређај, тако дизајниран да може много боље да врши снимање при слабој светлости него што је то могао *DMSP-OLS* програм коришћен у претходно поменутом истраживању. *M10* је један од спектралних опсега *VIIIRS* уређаја у којем се користе кратке таласне дужине да би се вршило снимање ноћу. Коришћењем *M10* спектралног опсега омогућено је разликовање топлотних извора светлости од електричног осветљења, а самим тим је и утврђивање вредности светлосног загађења прецизније (*Elvidge et al.*, 2013). За мерење светлосног зрачења за површине над којима су одређене вредности, коришћен је сајт *Light Pollution Map* (2017, 22. јул). Подаци који су узети у обзир обухватају земље Африке, као најсиромашнијег континента, и Европе, као једног од богатијих континената на земљи. У поређењу са осталим континентима, Европа и Африка имају највећи број држава, а то је био додатни разлог да за истраживање буду изабране земље та два континента. Разматран је и Азијски континент, као најгушће насељен, са 60% укупне светске популације (*Countries Of The World*, 2017, 22. јул), али је постојала бојазан да ће овако велика

густина насељености утицати на асиметричност података, што би директно утицало на резултате истраживања. Рад се базира на дефинисању јачине везе између БДП-а по становнику и БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи изражене у валути амерички долар [\$], као економским параметрима с једне и интензитета светлосног загађења с друге стране.

За анализе које су овде приказане коришћени су следећи сајтови:

- за извор демографских података: *World Bank* (2017, 22. јул),
- за извор информација везаних за економију земаља: *Trading Economics* (2017, 22. јул),
- за статистичку обраду података: *Vassar Stats* (2017, 22. јул).

Студија случаја 1 - Африка

Однос бруто друштвеног производа (БДП-а) по глави становника и вредности светлосног зрачења

У Табели 1 су приказане упоредне вредности БДП-а по глави становника и вредности светлосног зрачења у 25 главних градова, од укупно 54 колико има афричких земаља. Случајан узорак од 25 земаља је довољно велики да релативно објективно прикаже каква је корелација БДП-а по становнику и вредности светлосног зрачења у Афричким градовима. Највећи степен светлосног загађења је примењен у пределима са великом густином насељености, док у огромним пустињским областима нема емитовања светлосне радијације. Због тога су резултати читани само за главне градове, који су у Африци по правилу и највећи. Да би се добило што прецизније мерење количине светлосног зрачења, приликом одређивања површине праћене су контуре града. Водило се рачуна да обухваћена површина што више одговара површини града (Сл. 4).

Подаци из Табеле 1 су унети у веб калкулатор (*Vassar Stats*, 2017, 23. јул) (Таб. 2) и добијена је вредност Пирсоновог коефицијента линеарне корелације $r = 0.517$ (Таб. 3). То је довољно висока вредност да укаже на јаку повезаност ове две променљиве.

Позитиван коефицијент повезаности указује на чињеницу да се са порастом БДП-а по становнику повећава и вредност светлосног зрачења у главним градовима Африке. Стандардно одступање, које је мера дисперзије променљиве, велико је и за БДП по становнику и за вредности светлосног зрачења. Просечна вредност бруто друштвеног производа по становнику је \$2649.12, док је стандардно одступање \$2213.80 (Таб. 3). Просечна вредност светлосног зрачења је $25.794 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, а стандардно одступање је чак $18.16 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$ (Таб. 3). То значи да обе променљиве јако варирају у различитим главним градовима Африке.

Сл. 4. Алжир, престоница Алжира, афрички град са највећом количином светлосног зрачења, Извор: Light Pollution Map (2017, 22. јул)

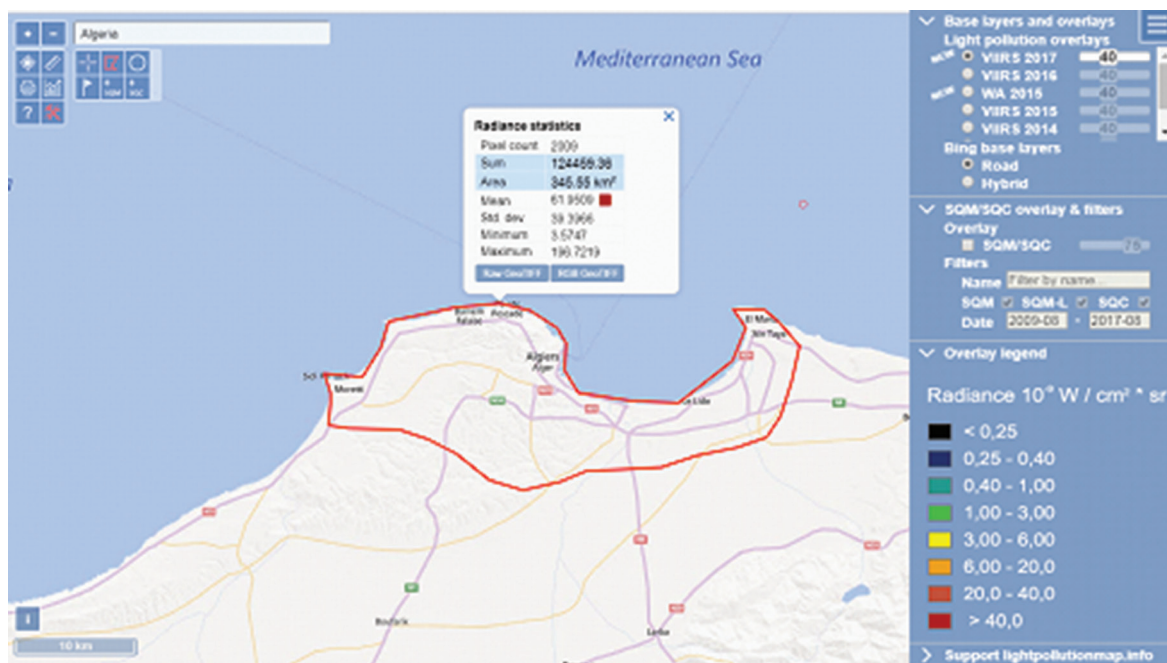


Fig 4. Algiers, the capital of Algeria, an African city with the highest amount of light radiation, Source: Light Pollution Map (2017, 22. July)

Таб. 1. Приказ упоредних вредности БДП-а по глави становника и вредности светлосног зрачења, Извори: Trading Economics (2017, 22. јул); Light Pollution Map (2017, 22. јул)

	Афричка земља (Главни град)	Бруто друштвени производ (БДП) по становнику [€]	Главни град вредност зрачења [$\times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$]
1.	Алжир (Алжир)	4846	62
2.	Ангола (Луанда)	3606	45.05
3.	Гана (Акра)	1708	25.69
4.	Египат (Каиро)	2724	51.3
5.	Јужноафричка Република	7504	31.3
6.	Мароко (Рабат)	3196	49.1
7.	Мауританија (Нуакшот)	1296	9.07
8.	Нигерија (Абуја)	2458	18
9.	Тунис (Тунис)	4265	48.6
10.	Намибија (Виндхоук)	6021	21.36
11.	Свазиленд (Мбабане)	3911	15.51
12.	Капе Верде (Праиа)	2738	19.24
13.	Боцвана (Габороне)	7383	20.71
14.	Сомалија (Могадиш)	187	4.77
15.	Зимбабве (Хараре)	909	5.08
16.	Танзанија (Додома)	867	3.55
17.	Кенија (Наироби)	1143	18.7
18.	Руанда (Кигали)	739	14.24
19.	Етиопија (Адис Абеба)	511	23.34
20.	Замбија (Лусака)	1622	22.73
21.	Малави (Лилонгве)	482	7.23
22.	Либија (Триполи)	5449	58.66
23.	Судан (Картум)	1923	46.8
24.	Либериа (Монровиа)	353	4.07
25.	Конго Република (Бразавил)	387	18.75

Tab. 1. Comparative values of Gross Domestic Product (GDP) per capita and the value of light pollution, Sources: Trading Economics (2017, 22. July); Light Pollution Map (2017, 22. July)

Однос бруто друштвеног производа (БДП-а) по запосленом према паритету куповне моћи и вредности светлосног зрачења

БДП по глави становника указује на апсолутну снагу, величину домаће економије, али не говори много о стандарду живота у једној земљи. Подаци из Табеле 4 показују у ком односу стоје БДП по запосленом према паритету куповне моћи и вредност светлосног зрачења у главним градовима Африке. Паритет куповне моћи указује на квалитет живота људи унутар једне државе, стога је корисно испитати да ли постоји и каква је веза између

БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи и количине светлосног зрачења које емитује главни град. Подаци су унети у табелу за прорачун на интернет страници *Vassarts Stats* (2017, 22. јул). Овог пута, резултати су нешто другачији у односу на везу која је проучавана између БДП-а по глави становника и емитованог светлосног зрачења.

Пирсонов коефицијент корелације БДП-а по запосленом према стандарду куповне моћи и вредности светлосног зрачења у Афричким градовима је 0.671 што указује на јачу повезаност ове две променљиве. Са порастом економског стандарда расте и вредност светлосног загађења. На

Data Entry

Pairs	Data Cells		Residuals
	X	Y	
1	4846	62	26.881
2	3606	45.05	15.194
3	1708	25.69	3.891
4	2724	51.3	25.188
5	7504	31.3	-15.101
6	3196	49.1	20.985
7	1296	9.07	-10.981
8	2458	18	-6.983
9	4265	48.6	15.947
10	6021	21.36	-18.746
11	3911	15.51	-15.64
12	2738	19.24	-6.931
13	7383	20.71	-25.177
14	187	4.77	-10.573
15	909	5.08	-13.328
16	867	3.55	-14.68
17	1143	18.7	-0.701
18	739	14.24	-3.446
19	511	23.34	6.621
20	1622	22.73	1.296
21	482	7.23	-9.365
22	5449	58.66	20.982
23	1923	46.8	24.088
24	353	4.07	-11.978
25	387	18.75	2.558

Reload Reset Calculate

Tab. 2. Приказ података из Табеле 1 унетих у веб калкулатор где последња колона показује такозвана резидуална одступања, Извор: Vassar Stats, (2017, 23. јул)

Tab. 2. Data entry of all the values from Table 1 into the web calculator, the last column showing the residuals, Source: Vassar Stats, (2017, 23. July)

	X	Y
N	25	
Mean	2649.12	25.794
Std.Dev.	2213.8009	18.1581
r	0.517	0.268
r ²	0.004	
Slope	0.004	

Tab. 3. Приказ добијених резултата за 25 афричких земаља: у колони X – средња вредност и стандардно одступање БДП-а по становнику, у колони Y – средња вредност и стандардно одступање светлосног зрачења и Пирсонов коефицијент корелације, r

Tab. 3. Results obtained for 25 African countries: in the X column – the mean value of Gross Domestic Product (GDP) per capita and the mean of light pollution, in the Y column – standard deviations for both variables and the Person Correlation Coefficient, r

Афричка земља (Главни град)	БДП по запосленом према паритету куповне моћи (\$)	Главни град вредност зрачења [x10 ⁻⁹ W/cm ² x sr]
1. Алжир (Алжир)	13974	62
2. Ангола (Луанда)	6024	45.05
3. Гана (Акра)	3980	25.69
4. Египат (Каиро)	10319	51.3
5. Јужноафричка Република	12260	31.3
6. Мароко (Рабат)	7265	49.1
7. Мауританија (Нуакшот)	3572	9.07
8. Нигерија (Абуја)	5439	18
9. Тунис (Тунис)	10752	48.6
10. Намибија (Виндхоук)	9812	21.36
11. Свазиленд (Мбабане)	7733	15.51
12. Капе Верде (Праиа)	6075	19.24
13. Боцвана (Габороне)	15513	20.71
14. Сомалија (Могадис)	547	4.77
15. Зимбабве (Хараре)	1860	5.08
16. Танзанија (Додома)	2583	3.55
17. Кенија (Наироби)	2926	18.7
18. Руанда (Кигали)	1774	14.24
19. Етиопија (Адис Абеба)	1608	23.34
20. Замбија (Лусака)	3636	22.73
21. Малави (Лилонгве)	1084	7.23
22. Либија (Триполи)	13320	58.66
23. Судан (Картум)	4385	46.8
24. Либерија (Монровиа)	753	4.07
25. Конго Република (Бразавил)	742	18.75

Tab. 4. Приказ упоредних вредности БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи и вредности светлосног зрачења – Африка, Извори: Trading Economics (2017, 22. јул); Light Pollution Map (2017, 22. јул)

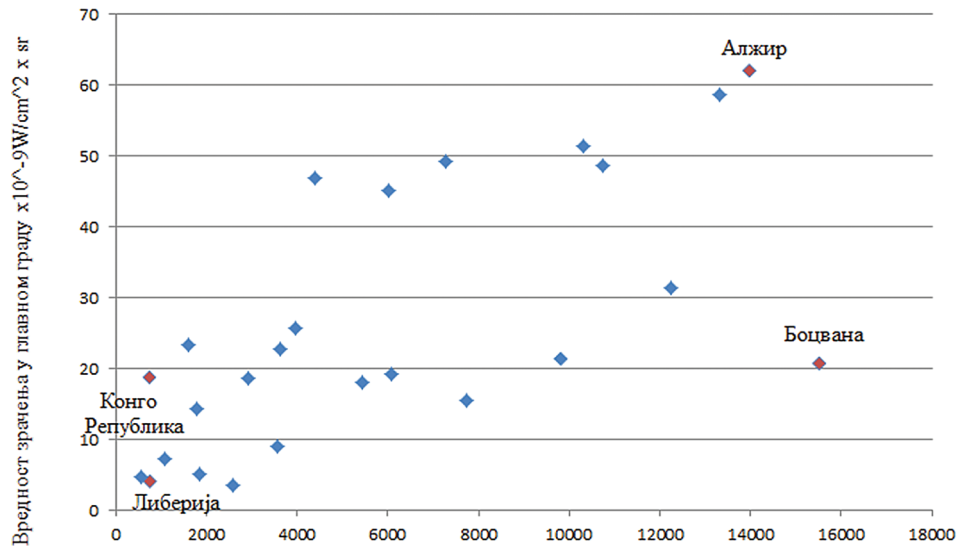
Tab. 4. Comparative values of Gross Domestic Product per person employed based on Purchasing Power Parity (GDP PPP) and the value of light radiation – Africa, Sources: Trading Economics (2017, 22. July); Light Pollution Map (2017, 22. July)

основу добијених вредности, долази се до запажања (Сл. 5) да главни градови у Либерији и Конго Републици са приближно истим, јако ниским, вредностима економског параметра, имају измерене вредности светлосног зрачења са великим одступањем: 18.75x10⁻⁹ W/cm² x sr у Конгу и свега

4.07x10⁻⁹ W/cm² x sr у Либерији. Чини се да врста индустрије која доминира у једној земљи може бити један од разлога за овакво одступање. Република Конго располаже значајним резервама нафте и природног плина који је нуспродукт црпљења нафте. Главни ресурси Либерије

Сл. 5. Тачкасти дијаграм као приказ података из Таб. 4 добијен коришћењем Excel програма, функцијом Scatter

Fig. 5. Scatter graph as a visual presentation of the values from the Tab. 4, produced by using the Excel spreadsheet and the Scatter function



Бруто Друштвени Производ (БДП) по запосленом према паритету куповне моћи у [\$]

су гума, дрво и гвоздена руда. С друге стране, можемо упоредити економски стандард у главним градовима Алжира и Боцване са приближно истим, релативно високим вредностима економског параметра и скоро дуплом разликом у мерењу светлосног зрачења: у Алжиру је светлосно зрачење $62 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, а у Боцвани $20.71 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$. Ово иде у прилог чињеници да висок економски стандард не подразумева и веће улагање у смањење светлосног зрачења. И у овом случају, као и на примеру Републике Конго и Либерије, земља која има изворе нафте и гаса узрокује веће светлосно загађење. Алжир је четврти на свету по извозу природног гаса и шеснаести по резервама нафте. Боцвана се ослања на извоз дијаманата. Долази се до запажања да грана привреде која чини основ економског стандарда диктира и ниво неопходне осветљености града или земље у којој тај вид привреде доминира.

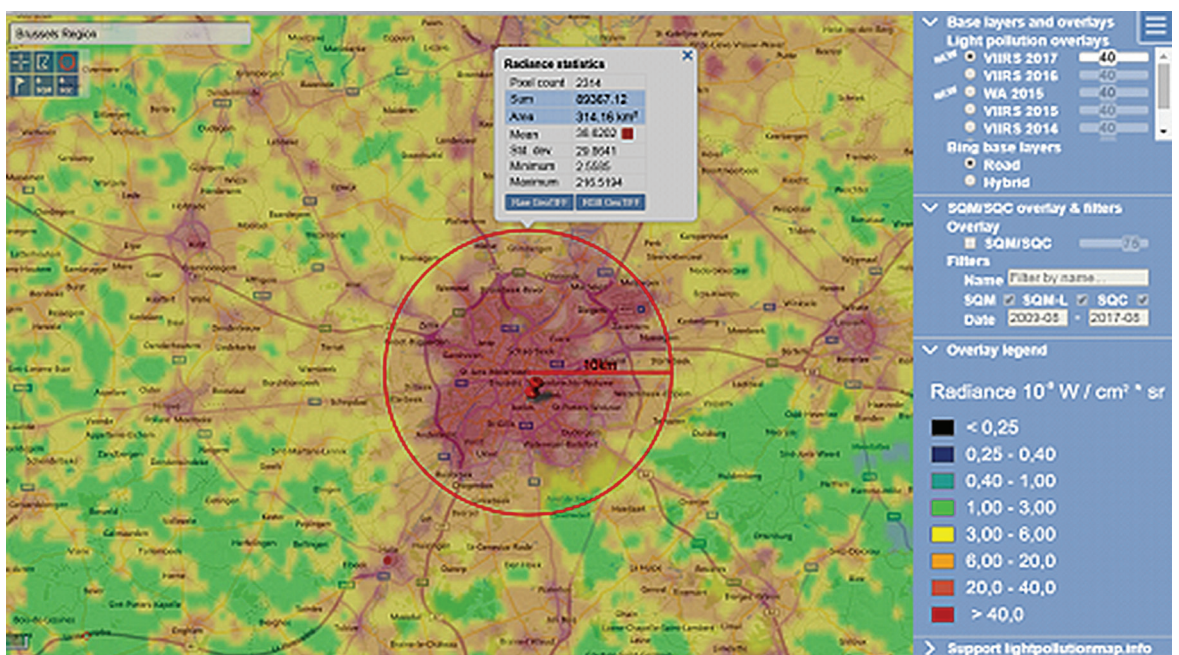
Студија случаја 2 - Европа

Однос бруто друштвеног производа (БДП-а) по запосленом према паритету куповне моћи и вредности зрачења

Слична мерења су затим извршена над престоницама Европе. За разлику од начина мерења количине светлосног зрачења у градовима Африке, који је подразумевао праћење контуре града полигоналне форме, за добијање вредности светлосног зрачења у Европи описан је круг са центром у центру главног града и пречником довољно великим да се обухвати центар и најближа периферија града (Сл. 6). Због разлике у начину мерења светлосног зрачења у Европи и Африци не би било могуће комбиновати резултате из Табеле 4 и Табеле 5.

Сл. 6. Приказ интензитета светлосног зрачења за главни град Белгије, Брисел, Извор: Light Pollution Map (2017, 22. јун)

Fig. 6. Measurement of the intensity of light radiance for the capital city of Belgium, Brussels, Source: Light Pollution Map (2017, 22. July)



Европска земља (Главни град)	БДП по запосленом према паритету куповне моћи [\$]	Главни град вредност зрачења [x10 ⁻⁹ W/cm ² x sr]
1 Албанија (Тирана)	11,424.00	10.11
2 Аустрија (Беч)	44,144.00	14.85
3 Белгија (Брисел)	41,946.00	38.62
4 Бугарска (Софија)	17,709.00	21.99
5 Кипар (Никозија)	31,195.00	13.10
6 Данска (Копенхаген)	45,686.00	23.27
7 Француска (Париз)	38,059.00	45.11
8 Финска (Хелсинки)	39,423.00	43.34
9 Немачка (Берлин)	44,072.00	16.29
10 Мађарска (Будимпешта)	25,381.00	19.16
11 Ирска (Даблин)	62,828.00	28.76
12 Италија (Рим)	34,620.00	32.40
13 Летонија (Рига)	23,712.00	7.26
14 Литванија (Вилњус)	27,904.00	13.09
15 Македонија (Скопље)	13,054.00	14.14
16 Холандија (Амстердам)	47,128.00	17.72
17 Пољска (Варшава)	26,003.00	26.21
18 Румунија (Букурешт)	21,647.00	20.33
19 Србија (Београд)	13,720.00	34.07
20 Словенија (Љубљана)	29,803.00	23.25
21 Шведска (Стокхолм)	46,441.00	47.95
22 Турска (Истанбул)	23,679.00	40.76
23 Вел. Британија (Лондон)	38,901.00	43.67

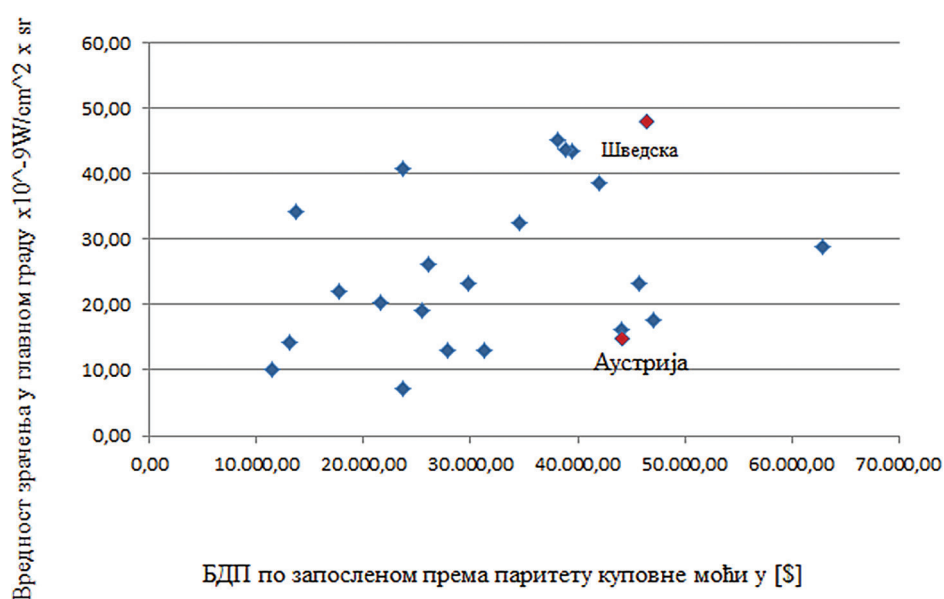
Таб. 5. Приказ упоредних вредности БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи и вредности светлосног зрачења – Европа, Извори: Trading Economics (2017, 22. јул); Light Pollution Map (2017, 22. јул)

Таб. 5. Comparative values of Gross Domestic Product per person employed based on Purchasing Power Parity (GDP PPP) and the value of light radiation – Europe, Sources: Trading Economics (2017, 22. July); Light Pollution Map (2017, 22. July)

Запажено је да у земљама Европе постоји знатно већа корелација између БДП-а по становнику и БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи. Стога је израчунавање Пирсоновог коефицијента извршено само за одређивање јачине везе између БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи и вредности зрачења (Таб. 5).

Статистичка анализа је показала да Пирсонов коефицијент корелације износи $r = 0.323$, што указује на позитивну корелацију између БДП-а одређеног према паритету куповне моћи становника и вредности светлосног зрачења у главном граду. Сматра се да вредност од 0.323 указује на слабу до осредњу повезаност, те се закључује да бољи

животни стандард у европским земљама не значи да ће и светлосно загађење бити много веће (Сл. 7). Са просечном вредношћу БДП-а у односу на паритет куповне моћи од \$32,542 и стандардном девијацијом од \$13,099 (Vassar Stats, 2017, 22. јул) стандард живота варира далеко мање у Европи него у Африци. Просечно светлосно зрачење у европским главним градовима је $25.884 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, са стандардном девијацијом $12.4773 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, што указује на то да су разлике у емитовању светлосног зрачења међу европским земљама знатне, али постоји мање контраста него у афричким земљама. На примеру главних градова Шведске и Аустрије увиђа се да сличан, висок ниво животног стандарда, који је у обе земље



Сл. 7. Тачкасти дијаграм као приказ података из Таб. 5 добијен коришћењем Excel програма, функцијом Scatter

Fig. 7. Scatter graph as a visual presentation of the values from the Tab. 5 produced by using the Excel spreadsheet and the Scatter function

међу скоро највишим у Европи, не подразумева блиске вредности светлосног загађења. У главном граду Шведске светлосно зрачење је $47.95 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, што је више него три пута веће него у главном граду Аустрије, $14.85 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, са приближно истим нивоом животног стандарда (Сл.7). Изјава Андерс Хедлунда (Anders Hedlund), стратега за осветљење града Стокхолма, потврђује да су градске власти свесне да је ниво уличног осветљења већи него у другим градовима (Totally Stockholm, 2017, 25. јул). То је поткрепљено чињеницом да од месеца новембра до почетка марта Стокхолм у просеку има око седам и по сати дневног светла. Због дужих дана лети, годишњи просек је дванаест сати дневно (Clima Temps, Stockholm, 2017, 25. јул). У истом периоду у Бечу просечна дужина дана је више од девет сати. Годишњи просек је исти као у Стокхолму, али су сати дневног светла равномерније распоређени током године (Clima Temps, Vienna, 2017, 25. јул).

ДИСКУСИЈА

Резултати истраживања утицаја економских параметара на ниво светлосног загађења произилазе из две студије случаја увођењем методологије коришћења Пирсоновог коефицијента корелације. У земљама Африке овом методологијом утврђен је однос два економска фактора: БДП-а по становнику у валути [\\$] и БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи у валути [\\$] и вредности светлосног зрачења. У Европи је, због значајно велике корелације између БДП-а по становнику и БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи, израчунат само Пирсонов коефицијент корелације између БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи и вредности светлосног зрачења. Вредности светлосног зрачења изнад та два континента мерене су помоћу *VIIIRS* уређаја (Сл. 4 и Сл. 6). За афрички континент вредност Пирсоновог коефицијента корелације између БДП-а по запосленом према паритету куповне моћи у валути [\\$] и вредности светлосног зрачења је 0.671. Тако висока вредност указује да у земљама Африке вредност светлосног зрачења расте пропорционално са порастом економског стандарда, као и да повећање економског стандарда у овим земљама не подразумева и веће улагање у смањење светлосног зрачења (Сл. 5).

Симултано су разматрани резултати за Републику Конго и Либерiju, као и за Боцвану и Алжир. У оба случаја радило се о земљама са врло сличним животним стандардом, али огромним разликама у очитаном светлосном зрачењу. Република Конго и Либерија су међу најсиромашнијим земљама у Африци. Вредност светлосног зрачења у главном граду Републике Конго је $18.75 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, што је готово пет пута већа вредност него у главном граду Либерије где износи $4.07 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$. С друге стране, Боцвана и Алжир су две најбогатије државе у датом узорку афричких земаља. Светлосно зрачење у Алжиру је $62 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$, а у Боцвани свега $20.71 \times 10^{-9} \text{ W/cm}^2 \times \text{sr}$. С обзиром на

богатство у нафти и природном гасу и Алжира и Републике Конго, претпоставка је да главна индустријска грана земље вероватно има утицаја на количину светлосног загађења.

Добијени резултати истраживања у главним градовима Европе указују на вредности светлосног зрачења које су осредње или слабо повезане са нивоом животног стандарда (Сл.7). На то указује вредност Пирсоновог коефицијента корелације који је релативно низак, свега 0.323. У Шведској, градске власти су у борби против недостатка дневног светла у периоду од три до шест месеци годишње биле приморане да, због безбедности грађана, осветле мрачне делове града, што је имало за последицу повећање нивоа светлосног зрачења (Totally Stockholm, 2017, 25. јул).

Чињеница је да светлосно загађење, као специфичан вид загађења животне средине, имплицира негативне утицаје на простор у целини, посебно у економски развијеним земљама (Сл. 7). Оно што је добро је финансијска могућност развијених земаља да различитим мерама предупреду или минимизирају ефекте светлосног загађења. С друге стране, може се констатовати да и у слабо развијеним земљама, тамо где постоји тенденција за економским развојем, вредности светлосног загађења нису занемарљиве.

ПРЕПОРУКЕ И ПРЕДЛОЗИ

Све наведено у раду указује на потребу за дефинисањем новог приступа у решавању проблема светлосног загађења. Такав план може да буде реалан и плански изводљив уколико се проблему светлосног загађења приступи са свешћу о томе да град, као урбана структура, мора бити плански осмишљен по питању нивоа осветљености. Важно је консултовати и укључити градске власти у циљу увођења планске регулативе из области осветљења на начин који би омогућио, како земљама које су економски стабилне, тако и земљама са нижим животним стандардом, здравију животну средину.

Као полазна основа за дефинисање зона користи се подела из Табеле 6 у којој су дате и препоруке за највећи дозвољени проценат светлосног флукса извора светилке – *ULOR* (*Upward Light Output Ratio*). За овај рад је битан приказ зонирања које подразумева поделу градског простора на четири зоне рангиране од Е1 до Е4 (Таб. 6). Рад се у овом тренутку неће бавити појмовима вредности за највећи дозвољени светлосни флукс извора светилки јер би то захтевало консултације и ангажовање експерата за осветљење.

У раду је изнет *предлог* да та подела према зонама може да иде даље у својој потподели, и то у следећем правцу:

1. Плански дефинисати подзоне у подручјима за које би се утврдио потребан ниво осветљења, али у односу на намену простора који се посматра, независно од удаљености од центра града или насеља. То значи да би за индустријске комплексе, спортске јавне

Ограничење светлосног загађења од спољног осветљења				
Зона	Опис	Светлосни флуks извора светиљке [максимални %]	Осветљеност у равни прозора E [lux]	Средња сјајност објеката L [C D / m ²]
E1	Национални паркови, простори изузетне природне лепоте	0	2	0
E2	Простори мање сјајности, ванградски простори	5	5	5
E3	Урбани простори умерене сјајности	15	10	10
E4	Градски центри велике сјајности са бројним ноћним активностима	25	25	25

Таб. 6. Препоруке за ограничење светлосног загађења које потиче од спољног осветљења (Đokić, 2007:129)

Таб. 6. Recommended limiting values of light pollution from external lighting (Đokić, 2007:129)

површине и објекте у ванградским урбаним зонама у близини насеља постојали посебни услови у планирању нивоа осветљења у складу са наменом и временом коришћења.

- Утврдити разлике у степену коришћења простора за градску зону у којој се врши процена потребног нивоа осветљења, а у складу са планираном и постојећом наменом површина, капацитетом инфраструктурних објеката и категоријом постојећих и планираних путева који чине мрежу саобраћајница. Све се то доводи у директну корелацију са нивоом осветљења које треба планирати, редизајнирати или уклонити. То је само један од начина којим се може избећи неекономично осветљење јавних и приватних простора, а самим тим и светлосно загађење. Битно је истаћи да и поред тога што у граду може бити више урбаних потцелина са заступљеношћу истих намена површина, није увек могуће свести их под исту категорију приликом планирања нивоа осветљења.

На крају се долази до закључка да је неопходно утврдити потребне нивое осветљености према:

- намени и времену коришћења јавног простора,
- узрасту или старосној структури корисника простора и активностима које у одређеном временском периоду обављају у непосредном окружењу тј. у близини других садржаја у простору,
- категорији саобраћајница у једном граду или насељу.

Овакав приступ би омогућио фазно планирање и реализацију планова осветљења у граду, што би створило могућност економичнијег и планског финансирања, а уз неопходну помоћ експерата за утврђивање и прорачуне минималних нивоа осветљења по зонама.

ЗАКЉУЧАК

У циљу побољшања услова за здравији и безбеднији живот, смањења светлосног загађења и економичнијег коришћења светлосне енергије, мора се преваходно повећати свест градских власти, која би у сарадњи са експертима из области дизајна осветљења требало да, увођењем одређених правилника, спроведе регулативу у планирању којом би се, поред урбаних параметара, правила грађења и уређења, дефинисали и параметри нивоа осветљења у јасно дефинисаним градским зонама. На тај

начин би се избегле све могуће последице које непланским и неадекватним избором осветљења могу произаћи.

На основу до сада поменутих чињеница и препорука долази се до закључка да је светлосно загађење комплексна појава широког спектра могућих узрочника и последица које могу бити ублажене озбиљним приступом и сагледавањем проблема у простору. Овако комплексан проблем се мора сагледати из више углова и потребно је изнаћи решење у чијој реализацији би учествовао већи број актера чијим залагањем се може умањити утицај светлосног загађења.

ЛИТЕРАТУРА

- Cinzano P., Falchi and C. D. Elvidge (2001) *The first World Atlas of the artificial night sky brightness*, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **328**, pp. 689–707. <http://advances.sciencemag.org/content/advances/2/6/e1600377.full.pdf>, приступљено 12.07.2017.
- De la Paz Gómez, F., P. Sanhueza, J. Diaz Castro (2010) *Practical Guide for Outdoor Lighting*, Tenerife, Spain, *Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC)/Quality Protection Technical Office (OTPC)*
- Đokić, L. (2007) *Osvetljenje u arhitekturi – zahtevi i smernice za projektovanje*, Beograd, *Arhitektonski fakultet*
- Đuketić, A. (2010) *Istine i zablude o LED tehnologiji*, Minel Schreder, Osvetljenje 2010, Beograd http://www.minel-schreder.rs/sr/tehnika_osvetljenja/LEDGeneracija/IstineizabludeoLED.html, приступљено 18.08.2017.
- Elvidge, C. D., K. E. Baugh, M. Zhizhin, F.-C. Hsu (2013) *Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights*, *Proc. Asia-Pac. Adv. Network* **35**, p. 62.
- Falchi, F., P. Cinzano, D. Duriscoe, C. C. M. Kyba, C. D. Elvidge, K. Baugh, B. Portnov, N. A. Rybnikova, R. Furgoni (2016) *The new world atlas of artificial night sky brightness*, *Sci. Adv.* 2016; **2** : e1600377 <http://advances.sciencemag.org/content/2/6/e1600377.full>, приступљено 12.07.2017.
- Galloway, T., R. N. Olsen, D. M. Mitchell (2010) *The economics of global light pollution*, *Ecol. Econ.* **69**, pp. 658–665.
- Kivi, P. edited by: N. Fears (updated: 3/30/2009) *Light Pollution: the Causes of Light Pollution* <http://www.brighthub.com/environment/science-environmental/articles/33508.aspx>, приступљено 18.08.2017.
- Lyytimäki, J., P. Tapio, T. Assmuth (2012) *Unawareness in environmental protection: The case of light pollution from traffic*, *Land Use Policy* **29**, pp. 598–604.

Интернет странице

- Clima Temps, Stockholm, (приступљено 2017, 25. јун), <http://www.stockholm.climateps.com/sunlight.php>
- Clima Temps, Vienna, (приступљено 2017, 25. јун), <http://www.vienna.climateps.com/sunlight.php>
- Countries of the World, (приступљено 2017, 22. јун), <https://www.countries-of-the-world.com/continents-of-the-world.html>
- Light Pollution Map, (приступљено 2017, 22. јун), <https://www.lightpollutionmap.info/>
- Statistics Solutions-Advancement Through Clarity, (приступљено 2017, 22. јун), <http://www.statisticssolutions.com/pearsons-correlation-coefficient/>
- Totally Stockholm, (приступљено 2017, 25. јун), <http://totallystockholm.se/more/lights-stockholm-versus-darkness/>
- Trading Economics, (приступљено 2017, 22. јун), <https://tradingeconomics.com/VassarStats>
- Vassar Stats, (приступљено 2017, 22. јун), <http://www.vassarstats.net/>
- World Bank, (приступљено 2017, 22. јун), <http://www.worldbank.org/>