

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Александра М. Чабаркапа

**УПОРЕЂИВАЊЕ КВАЛИТЕТА  
АМБИЈЕНТАЛНОГ ОСВЕТЉЕЊА ИЗВЕДЕНОГ  
ПРИМЕНОМ МЕТАЛ-ХАЛОГЕНИХ И  
LED ИЗВОРА СВЕТЛОСТИ**

докторска дисертација

Београд, 2015.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF ARCHITECTURE

Aleksandra M. Čabarkapa

**COMPARISON OF THE QUALITY OF AMBIENT  
LIGHTING REALIZED BY METAL-HALIDE AND  
LED LIGHT SOURCES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2015.

**Ментор:**

др Лидија Ђокић, редовни професор  
Архитектонског факултета Универзитета у Београду

**Чланови комисије:**

др Ана Никезић, доцент  
Архитектонског факултета Универзитета у Београду

др Владан Ђокић, редовни професор  
Архитектонског факултета Универзитета у Београду

др Драган Драмлић, научни саветник  
Института за физику у Београду

др Сретен Вујовић, редовни професор  
Филозофског факултета Универзитета у Београду

Датум одбране докторске дисертације:

---

## **УПОРЕЂИВАЊЕ КВАЛИТЕТА АМБИЈЕНТАЛНОГ ОСВЕТЉЕЊА ИЗВЕДЕНОГ ПРИМЕНОМ МЕТАЛ-ХАЛОГЕНИХ И LED ИЗВОРА СВЕТЛОСТИ**

### **РЕЗИМЕ**

Осветљење пресудно утиче на доживљај амбијента у ноћним сатима. До недавно, квалитетно амбијентално осветљење подразумевало је употребу метал-халогених извора светлости са керамичким гориоником, јер су њихове суштинске предности у односу на остале класичне изворе светлости који се користе у урбаном осветљењу (топло-бела боја светлости и одлична репродукција боја) доприносиле адекватном приказу (истицању) карактеристика амбијента и стварању пријатне атмосфере. Последњих година, као идеално решење за амбијентално осветљење промовишу се светиљке са LED изворима светлости. Њихове мале димензије, усмерени светлосни снопови и могућност промене интензитета и боје светлости чине их изузетно погодним за архитектонско осветљење. Међутим, поставило се питање да ли су LED светиљке погодне за амбијентално осветљење, имајући у виду карактеристике урбаних амбијената које је неопходно истаћи и ефекте које је потребно постићи. Док се провера фотометријских, енергетских и економских показатеља примене LED светиљки може извршити мерењима или прорачунима, остале релевантне карактеристике LED светиљки, попут боје светлости, способности репродукције боја, субјективног доживљаја бљештања, осећаја безбедности, осећаја опуштености у осветљеном простору и могућности истицања елемената и детаља у простору, могу се проверити само уз помоћ субјективног суда испитаника о сваком од наведених аспеката осветљења. Због тога ова докторска дисертација обухвата не само проверу објективних (енергетских, фотометријских и економских), него и субјективних показатеља квалитета амбијенталног осветљења, уз напомену да је провера субјективних показатеља извршена у оквиру пилот пројекта реализованог на шеталишној стази у једном од београдских паркова.

У раду су представљени не само фактори квалитета амбијенталног осветљења, него и карактеристике урбаних амбијената које треба истаћи осветљењем. Уз то, на основу анализираних примера изведених амбијенталних осветљења тргова, паркова и шеталишта, дефинисане су смернице за амбијентално осветљење.

Анализом резултата истраживања спроведених на скоро свим континентима, у оквиру којих је са разних аспеката вршено поређење конвенционалних и LED извора светлости, дефинисани су општи услови за извођење пилот пројеката у оквиру којих се врши поређење различитих типова амбијенталног осветљења.

У складу са тим, реализован је пилот пројекат у оквиру кога је (уз помоћ анкете у којој је учествовало 112 испитаника) извршено поређење субјективних доживљаја испитаника по питању релевантних карактеристика амбијенталног осветљења изведеног помоћу LED и метал-халогених светиљки. Резултати анкете су показали да су испитаници сматрали да је инсталација са светиљкама са конвенционалним метал-халогеним изворима светлости боља по свим аспектима. Вероватно објашњење добијених резултата садржано је у чињеници да се, и поред сталног унапређења карактеристика LED чипова, у њиховом спектру и даље издваја зрачење великог интензитета у подручју плаве боје, због чега се применом метал-халогених извора светлости (које карактерише приближно континуалан спектар) постижу бољи резултати који се односе на боју светлости и репродукцију боја, односно на угодност амбијента. Напомињемо да су за осветљење простора у којима се људи дуже задржавају кључни фактори квалитета адекватна боја светлости, веома добра репродукција боја и низак степен бљештања.

Статистичком обрадом података применом t-теста за једнакост средњих вредности који важи за случај зависних узорака, установљено је да резултати који се односе на сва питања из анкетног упитника (све аспекте

амбијенталног осветљења) могу да се сматрају статистички врло значајним или статистички значајним. Извршена је и обрада резултата анкете уз уважавање тежинских фактора, која је показала да је у посматраном случају утицај тежинских фактора био занемарљив.

У циљу упоређивања објективних (енергетских и економских) показатеља квалитета амбијенталних осветљења изведених помоћу LED и метал-халогених светиљки, извршени су фотометријски прорачуни који су се односили на осветљење шеталишних стаза разних светлотехничких класа (свако од анализираних светлотехничких решења испунило је све фотометријске захтеве који се односе на одговарајућу светлотехничку класу). Поређењем енергетске ефикасности осветљења разматраних шеталишних стаза (укупне инсталисане снаге, односно утрошене електричне енергије), констатовано је да се применом LED уместо метал-халогених светиљки могу постићи уштеде електричне енергије до 35.5%, али и да постоје ситуације код којих је повећана потрошња електричне енергије (до 31.5%). Уз то, применом опште прихваћене методе актуелизације трошкова, извршено је економско поређење фотометријски упоредивих инсталација осветљења шеталишних стаза. Анализа је показала да су поједина LED светлотехничка решења била до 29.2% јефтинија, али и да су преовладала скупља LED светлотехничка решења (процентуална разлика између њихове укупне актуелизоване цене и укупне актуелизоване цене упоредивих метал-халогених светлотехничких решења износила је до 45.9%).

Имајући у виду технологију производње светлости од стране LED чипова и чињеницу да брз развој LED технологије са аспекта енергетске ефикасности није праћен значајним побољшањима спектра емитоване светлости, не очекује се да у скорој будућности LED технологија достигне квалитет спектра који карактерише метал-халогене изворе светлости. Због тога сматрамо да ће примена метал-халогених извора светлости још дуго бити оправдана у амбијенталном осветљењу.

**Кључне речи:** урбани амбијенти; амбијентално осветљење; LED извори светлости; метал-халогени извори светлости; субјективни доживљај осветљења; пилот пројекат; објективни показатељи квалитета осветљења.

**Научна област:** Архитектура и урбанизам

**Ужа научна област:** Технологије у архитектури и менаџмент и биоклиматска и еколошка архитектура

**УДК број:** 628.971 (043.3)

# **COMPARISON OF THE QUALITY OF AMBIENT LIGHTING REALIZED BY METAL-HALIDE AND LED LIGHT SOURCES**

## **SUMMARY**

Lighting has the crucial influence on the impression of ambience during the night. Until recently, high-quality ambient lighting was realized by the use of metal-halide lamps with a ceramic discharge tube, because their essential advantages (warm-white colour of light and excellent colour rendering) compared to other conventional light sources used in urban lighting contribute to adequate presentation of ambient characteristics and create pleasant atmosphere. During the last few years, LED lamps are promoted as the ideal solution for ambient lighting. Their small size, controlled light beam and the possibility of changing both the intensity and colour of light make them particularly suitable for architectural lighting. However, the question was raised whether LED lamps are also appropriate for ambient lighting, taking into account the characteristics of urban ambiances which should be emphasized and the effects to be achieved. While photometric, energy and economic indicators of the use of LED luminaires can be evaluated performing measurements or calculations, their other relevant characteristics, like colour appearance, colour rendering, subjective impression of glare, the sense of security and feeling of relaxation in an illuminated space, as well as the possibility of emphasizing elements and details, can only be assessed through an analysis of subjective impressions given by a number of respondents on each of these lighting aspects. Taking the above into account, the doctoral dissertation includes not only the verification of the objective (photometric, energy and economic) aspects, but also the evaluation of the subjective indicators regarding the quality of ambient lighting. The assessment of the subjective indicators was carried out through a pilot project realized on a pedestrian lane in a Belgrade park.

In the dissertation, not only the ambient lighting quality factors, but also the characteristics of urban ambiances which should be emphasized by lighting, are



presented. In addition, guidelines for ambient lighting are determined, based on the analyzed examples of the lighting solutions of squares, parks and pedestrian lanes.

The analysis of the results of recent studies conducted on different continents, in which conventional and LED lighting installations were compared regarding various aspects of ambient lighting, helped to define a set of general requirements for such pilot projects.

Accordingly, a pilot project, which involved 112 participants, dealt with the comparison of the subjective impressions of the respondents regarding the relevant characteristics of ambient lighting installations realized with LED and metal-halide luminaires. The results showed that the respondents found the conventional lighting installation better regarding all of the analyzed aspects. A possible explanation of the obtained results is that the LED spectrum, although continuously improving, still possesses an intensive radiation in the blue region, causing the use of metal-halide lamps (characterized by a practically continuous spectrum) more appropriate regarding both the colour appearance and colour rendering. Note that these lighting aspects, together with the elimination of glare, represent the key quality factors for the illumination of spaces where people stay for long periods of time.

By statistical analysis of the obtained data, performed using the t-test for equality of means related to the case of dependent samples, it was concluded that the results for all of the questions from the survey could be considered statistically very significant or statistically significant. Also, an analysis of the survey results which included weighting factors showed that their effect is negligible in this case.

In order to compare the objective (energy and economic) indicators of the quality of ambient lighting installations realized by LED and metal-halide luminaires, photometric calculations regarding the illumination of pedestrian lanes of various lighting classes were carried out (each of the analyzed lighting solutions fulfilled all

photometric requirements imposed by the corresponding lighting class). Comparing the energy efficiency of the pedestrian lane lighting (the total installed power, i.e. the consumed electricity), as the objective indicator, it was concluded that energy savings of up to 35.5% could be achieved installing LED instead of metal-halide luminaires, as well as that there are situations in which electricity consumption was increased (up to 31.5%). In addition, by applying the generally accepted cost-discount method, the comparable lighting installations were economically evaluated. The analysis showed that some LED lighting solutions were up to 29.2% cheaper, but that expensive LED lighting solutions prevailed (the difference between the total actualized costs of the comparable LED and metal-halide lighting installations amounted up to 45.9%).

Due to the technology of LED light production, as well as the fact that the fast development of the LED technology in terms of energy efficiency is not accompanied by significant improvements of the light spectrum, it is not expected that the LED technology will reach the spectrum quality of metal-halide lamps in the near future. Therefore, we believe that the application of metal-halide light sources will be justified in ambient lighting for years.

**Key words:** urban ambiances; ambient lighting; LEDs; metal-halide lamps; subjective impression of lighting; pilot project; objective indicators of lighting quality.

**Scientific field:** Architecture and urbanism

**Area of expertise:** Technology in architecture and management and bioclimatic and ecological architecture

**UDK number:** 628.971 (043.3)

## САДРЖАЈ

1. Увод.....	1
1.1 Уводне напомене о теми.....	1
1.2. Претходна анализа информација о предмету истраживања...	2
1.3. Циљеви и задаци истраживања.....	11
1.4. Полазне хипотезе.....	12
1.5. Научне методе истраживања.....	13
1.6. Генерална структура докторске дисертације.....	15
1.7. Остварени резултати и њихова практична примена.....	16
2. Амбијентално осветљење.....	18
2.1. Урбани амбијенти.....	18
2.1.1. Карактеристике урбаних амбијената које могу да утичу на амбијентално осветљење.....	22
2.1.1.1. Физичка структура урбаног амбијента – границе, капије и фокус.....	22
2.1.1.2. Садржај урбаног амбијента.....	25
2.1.1.3. Актери и активности у урбаном амбијенту...	26
2.1.2. Типични представници урбаних амбијената.....	28
2.1.2.1. Трг.....	29
2.1.2.2. Парк.....	31
2.1.2.3. Шеталиште.....	32
2.2. Амбијенталне целине.....	35
2.3. Квалитет амбијенталног осветљења.....	36
2.3.1. Фактори квалитета амбијенталног осветљења.....	37
2.3.1.1. Ниво (хоризонталне) осветљености.....	38
2.3.1.2. Полуцилиндрична осветљеност.....	38

2.3.1.3. Равномерност осветљености.....	38
2.3.1.4. Боја светлости.....	38
2.3.1.5. Репродукција боја.....	39
2.3.1.6. Расподела сјајности.....	40
2.3.1.7. Ограничење бљештања (директног и рефлектованог) и рефлектованих одраза.....	40
2.3.1.8. Смер упада светлости и сенке.....	41
2.3.1.9. Изглед светиљке и њена компатибилност са окружењем.....	42
2.3.2. Аспекти амбијенталног осветљења који утичу на његов квалитет.....	43
2.3.2.1. Здравствени аспект.....	43
2.3.2.2. Еколошки аспект.....	45
2.3.2.3. Енергетска ефикасност.....	45
2.3.2.4. Економски аспект.....	46
2.3.2.5. Светлосно загађење.....	46
2.3.3. Извори светлости погодни за амбијентално осветљење.....	48
2.3.3.1. Метал-халогени (метал-халогенидни) извори светлости.....	48
2.3.3.2. LED извори светлости.....	51
2.3.3.3. Ласери.....	55
2.4. Анализа изведеног амбијенталног осветљења на примеру трга, парка и шеталишта.....	56
2.4.1. Трг Gordon у Woolwich-у.....	56
2.4.2. Парк „Ташмајдан“ у Београду.....	60
2.4.2.1. Претходно решење осветљења парка „Ташмајдан“ у Београду.....	60
2.4.2.2. Ново решење осветљења парка	

„Ташмајдан“ (после реконструкције 2010. године)..	63
2.4.2.2.1. Анализа новог светлотехничког решења.....	66
2.4.2.3. Поређење претходног и новог решења осветљења парка „Ташмајдан“ .....	71
2.4.3. Кнез Михаилова улица у Београду.....	74
2.4.4. Табеларни приказ примера са карактеристикама и ефектима изведених решења амбијенталног осветљења...	75
2.5. Смернице за амбијентално осветљење.....	85
2.5.1. Смернице за осветљење урбаних амбијената.....	86
2.5.2. Смернице за осветљење амбијенталних целина.....	89
2.5.3. Хармонија у оквиру амбијенталног осветљења.....	91
3. Пилот пројекат – субјективни доживљаји испитаника по питању релевантних параметара амбијенталног осветљења изведеног помоћу метал-халогених, односно LED светиљки.....	93
3.1. Услови за извођење пилот пројекта којим се утврђују субјективни показатељи инсталације амбијенталног осветљења.....	95
3.2. Дефинисање пилот инсталације.....	96
3.3. Избор методе истраживања.....	100
3.4. Дефинисање анкете за субјективну оцену релевантних параметара анализираних типова амбијенталног осветљења.....	102
3.5. Уводно предавање за испитанике који немају предзнања из области осветљења.....	109
3.6. Спровођење анкете.....	111
4. Компаративна анализа конвенционалног и LED амбијенталног осветљења.....	116
4.1. Субјективни показатељи.....	116
4.1.1. Резултати анкете.....	116
4.1.2. Статистичка анализа резултата добијених анкетом.....	142

4.1.3. Обрада резултата анкете уважавањем тежинских фактора.....	146
4.2. Објективни показатељи.....	153
4.2.1. Фотометријски показатељи.....	154
4.2.2. Економски показатељи.....	159
5. Закључци.....	169
ЛИТЕРАТУРА.....	179
ПРИЛОГ А: Прорачун нивоа осветљености за главно шеталиште.....	186
ПРИЛОГ Б: Коначна верзија анкетног упитника.....	188
ПРИЛОГ В: Иницијална верзија анкетног упитника.....	193
ПРИЛОГ Г: Фотографије са спровођења анкете.....	196
ПРИЛОГ Д: Коментари испитаника у вези са избором најбољих карактеристика типа осветљења 1 (МН).....	201
ПРИЛОГ Ђ: Коментари испитаника у вези са избором најбољих карактеристика типа осветљења 2 (LED).....	206
ПРИЛОГ Е: Општи коментари испитаника.....	209
ПРИЛОГ Ж: Актуелизовани трошкови инсталација амбијенталног осветљења изведених помоћу светиљки са метал-халогеним изворима светлости, дати у зависности од стопе актуелизације и цене електричне енергије.....	212
ПРИЛОГ З: Актуелизовани трошкови инсталација амбијенталног осветљења изведених помоћу LED светиљки, дати у зависности од стопе актуелизације и цене електричне енергије.....	219
БИОГРАФИЈА АУТОРА.....	226
Прилог 1: Изјава о ауторству.....	231
Прилог 2: Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада.....	232
Прилог 3: Изјава о коришћењу.....	233

## **1. Увод**

### **1.1. Уводне напомене о теми**

Предметно истраживање се односи на амбијентално осветљење, односно осветљење урбаних амбијената – сегмената отворених јавних градских простора специфичних карактеристика, који су пре свега намењени пешацима, уз могуће одвијање спорог моторног саобраћаја. Типични представници урбаних амбијената су амбијенти пешачких улица (шеталишта), тргова (простори за окупљање и простори за седење) и паркова (баште, игралишта).

Осветљење пресудно утиче на доживљај амбијента у ноћним сатима. До недавно, квалитетно амбијентално осветљење подразумевало је употребу метал-халогених извора светлости са керамичким гориоником, јер су њихове суштинске предности у односу на остале класичне изворе светлости који се користе у урбаном осветљењу (топло-бела боја светлости и одлична репродукција боја) доприносиле адекватном приказу (истицању) карактеристика амбијента и стварању пријатне атмосфере. Последњих година, као идеално решење за амбијентално осветљење промовишу се светиљке са LED изворима светлости. Њихове мале димензије, усмерени светлосни снопови и могућност промене интензитета и боје светлости чине их изузетно погодним за архитектонско осветљење. Међутим, поставља се питање да ли су LED светиљке погодне за амбијентално осветљење, имајући у виду карактеристике урбаних амбијената које је неопходно истаћи и ефекте које је потребно постићи. Независне студије показују да су енергетски показатељи LED инсталација значајно неповољнији од оних које декларишу произвођачи LED опреме. Уз то, ефекти употребе LED извора светлости у амбијенталном осветљењу нису довољно испитани, па се поставља питање да ли су они адекватни за употребу у урбаним амбијентима. Док се провера фотометријских, енергетских и економских показатеља примене LED светиљки може извршити мерењима или прорачунима, остале релевантне

карактеристике LED светиљки, попут боје светлости, способности репродукције боја, субјективног доживљаја бљештања, осећаја безбедности, осећаја опуштености у осветљеном простору и могућности истицања елемената и детаља у простору, могу се проверити само уз помоћ субјективног суда испитаника о сваком од наведених аспеката осветљења. Због тога је предвиђено истраживање које обухвата не само проверу објективних, него и субјективних показатеља квалитета амбијенталног осветљења, уз напомену да је провера субјективних показатеља извршена у оквиру пилот пројекта реализованог на шеталишној стази у једном од београдских паркова.

Предмет истраживања представља и дефинисање фактора квалитета амбијенталног осветљења и смерница за постизање адекватних ефеката.

Пошто се амбијентално осветљење може реализовати како применом конвенционалних извора светлости (најчешће метал-халогених извора са керамичким гориоником), тако и употребом LED технологије, извршиће се њихово упоређивање са аспекта субјективних и објективних (енергетских, фотометријских и економских) показатеља.

Дакле, предмет истраживања може да се подели на три главне целине:

1. дефинисање смерница за амбијентално осветљење,
2. испитивање субјективних показатеља примене метал-халогених и LED извора светлости у амбијенталном осветљењу, и
3. испитивање фотометријских, енергетских и економских показатеља употребе обе технологије у амбијенталном осветљењу.

## **1.2. Претходна анализа информација о предмету истраживања**

Предмет истраживања је квалитет амбијенталног осветљења, превасходно заснован на стварању безбедне, угодне и привлачне ноћне атмосфере.



Још 1952. године је Ричард Кели (Kelly, 1952) издвојио три основна услова неопходна за пројектовање осветљења (игру светлошћу, како га је он назвао):

1. искуство у идентификовању вредности простора који се осветљава и издвајању елемената тог простора које треба истаћи осветљењем, као и у дефинисању хијерархије издвојених елемената,
2. познавање физичке природе светлости (њених спектралних карактеристика), рефлексије и карактеристика извора светлости и светиљки, и
3. познавање психолошких ефеката светлости на људе, којима се обезбеђује жељена атмосфера у осветљеном простору, а са циљем да се корисници простора осећају пријатно.

Наведени услови и данас представљају премису за бављење осветљењем, било да се ради о архитектонском или амбијенталном осветљењу. Посматрано у односу на предмет истраживања — квалитет амбијенталног осветљења, јасно је да се први услов односи на елементе и карактеристике урбаних амбијената, док се друга два услова односе на амбијентално осветљење, и то како на карактеристике извора светлости и светиљки, тако и на ефекте које осветљењем треба постићи.

Због тога се претходно истраживање одвијало на два поља:

- кроз анализу теоријског оквира који се односи на елементе и карактеристике урбаних амбијената, и
- кроз анализу теоријског оквира који се односи на домен урбаног, а посебно амбијенталног осветљења, као и на карактеристике извора светлости и светиљки погодних за осветљење урбаних амбијената.

## Теоријски оквир истраживања

### *Идентификација елемената и карактеристика урбаних амбијената*

Последњих година се нарочита пажња посвећује градским просторима који су намењени пешацима, а посебно урбаним амбијентима. Под урбаним амбијентима се подразумевају отворени јавни градски простори у којима грађани проводе слободно време и у којима се одвијају активности које представљају предах од свакодневних обавезних активности наметнутих урбаним животом. Типични представници таквих простора су тргови, паркови и шеталишта.

Урбане амбијенте одликују специфична физичка структура, садржаји и активности. Пошто се ради о отвореним градским просторима, њихову важну карактеристику представљају границе, „капије” и фокус. На местима пресека праваца прилаза и границе урбаног амбијента, коју могу да одређују изграђена структура, улица, водена површина, зелена површина итд., налазе се капије амбијента. Капија, као позиција са које се доживљава прва визура амбијента, представља место на коме се изражава добродошлица и са кога се урбани амбијент иницијално сагледава и разуме. Наглашавање њене уочљивости је важно како би се јасно наговестио простор другачијег квалитета. У оквиру урбаног амбијента постоје целине које се разликују по карактеру и функцији. Целина која представља тежиште урбаног амбијента, односно простор који доминира у односу на остатак амбијента, представља фокус. Он је најчешће у виду физичке структуре (грађене или природне). Осветљењем је могуће нагласити дневни фокус, али га је могуће и променити, истицањем друге, такође значајне, физичке структуре.

Садржаји урбаних амбијената условљавају активности које квалитетан градски амбијент треба да омогући. То су различито мотивисана задржавања, контакти, одмор, шетња, игра и забава. У њему се људи крећу, седе, разговарају, уживају,... Притом, морамо имати у виду да се сценографска

пону да градских простора оживљава кроз спонтано одвијање „представа“ само уколико код актера успе да изазове одговарајуће емоције или асоцијације. (Базик, 1993)

Кристијан Норберг-Шулц (Norberg-Schulz, 1965) прави дистинкцију између простора и места, при чему место дефинише као простор који поседује дух (genius loci) и чију важну карактеристику представља присутност, односно активност људи.

Да би се остварио дух места, неопходно је постићи симбиозу супротстављених елемената у простору, које могу да представљају како елементи физичке структуре, тако и активности. За то је неопходно присуство медијума („посредничког простора“), који не мора да постоји као материјални елемент, већ може да буде привремен или динамичан. (Kurokawa, 1994) Тај медијум може да буде представљен активношћу која се одвија у посматраном простору, али и осветљењем.

Током XX века бројни теоретичари архитектуре су усмерили пажњу на анализу квалитета градских простора, првенствено кроз дефинисање доминантних фактора квалитета.

Фактори квалитета градске форме које је дефинисао Кевин Линч (Lynch, 1960), а који се односе и на урбане амбијенте, су:

- Јединственост слике — оштрина граница и контраст у односу на непосредно окружење или досадашње искуство посматрача, кроз присуство урбаних елемената који су препознатљиви и дају идентитет простору,
- Једноставност форме — јасне и једноставне форме у геометријском смислу које код посматрача (корисника простора) формирају јасну градску слику (Кевин Линч истиче да је у људској природи да

- приликом визуелног доживљаја комплексне облике разлаже на једноставне),
- Континуитет и склад линијских и површинских елемената — ритмично понављање елемената којим се олакшава перцепција сложене физичке реалности,
  - Доминантност једног елемента у односу на целину — груписање елемената око оног који је доминантан у смислу величине, интензитета или утицаја (важности),
  - Јасноћа споја различитих урбаних елемената и целина — јасноћа чворишта и места пресека праваца кретања, као важних тачака које треба да буду јасно уочљиве,
  - Разноликост — квалитет простора може да се оствари разноликошћу кроз асиметрију, нагиб терена, диспозицију елемената, итд., при чему треба да буде обезбеђена не само разноликост форме, већ и садржаја и активности,
  - Визуелни обухват — величина сагледивог простора, било стварног или симболичног, који може да се оствари захваљујући транспарентности, преклапању или визурама, и
  - Осећај безбедног кретања — осећај сигурности који је неопходан за адекватан визуелни доживљај простора.

Велики број теоретичара архитектуре дефинише осећај сигурности као битну карактеристику простора. Кевин Линч износи став да јасне, опште менталне мапе града стварају осећај сигурности код корисника простора, као и да се добрим комбиновањем елемената<sup>1</sup> град може учинити разумљивим и читљивим. Џејн Џејкобс (Jacobs, 1962) издваја сигурност и могућност остваривања контаката као два најзначајнија фактора квалитета урбаних амбијената. Поред физичких карактеристика простора (величине, форме и материјализације), изузетно значајну улогу у обезбеђивању квалитета урбаних простора има светлост. Помоћу ње је могуће истаћи елементе

---

<sup>1</sup> У књизи “The Image of the city“ Кевин Линч издваја пет основних елемената простора – стазе, ивице, зоне, чворишта и репере.

урбаног амбијента који утичу на осећај сигурности. С обзиром на то да је често немогуће (или изузетно компликовано) мењати физичку структуру и на тај начин утицати на осећај сигурности корисника простора, у највећем броју случајева такав осећај се може постићи адекватним осветљењем.

Доживљај архитектуре је у теорији често дефинисан разлагањем на више елемената. Тако Бернارد Чуми (Tschumi, 1994) архитектуру посматра кроз простор, догађај и покрет, без одређивања њихове хијерархије, и наводи да само упечатљив однос између ових елемената формира потпун доживљај архитектуре. С друге стране, Јухани Палазма (Pallasmaa, 2005) архитектуру посматра кроз чулни доживљај. Без обзира на то што се чулом вида формира око 80% свих доживљаја, доживљај амбијента представља комплексан суд о карактеру простора реализован кроз перцепцију, која укључује учешће свих чула, искуства и имагинације.

Све карактеристике урбаног амбијента заједно доприносе атмосфери простора која у великој мери зависи од светлости, и то како током дана, тако и током ноћи. У спољном простору дневна светлост најчешће производи мале контрасте (нема много потпуно тамних делова простора). Применом вештачког осветљења, често се формирају значајно израженији контрасти, чиме се креира посебна атмосфера, која не мора да одговара дневној атмосфери у урбаном амбијенту.

*Анализа квалитета амбијенталног осветљења и карактеристика извора светлости и светиљки значајних за осветљење урбаних амбијента*

Теорија осветљења је углавном фокусирана на увођење дневне светлости у објекте, јер је тај аспект у непосредној вези са формом објеката, због чега је област амбијенталног осветљења слабо истражена.

Током XX века спољашње осветљење се скоро искључиво прилагођавало моторном саобраћају. Међутим, последњих деценија пажња се посвећује и пешацима у граду, које је Питер Келторп (Calthorpe, 1993) већ крајем XX века

дефинисао као основни квалитет урбаног простора. Због тога је од изузетне важности омогућити пешацима коришћење урбаних простора и дању и ноћу.

Осветљење тргова, паркова, пешачких зона и осталих простора у којима се људи окупљају и задржавају треба да обезбеди да се на таквим местима људи добро осећају. Због тога је осветљење важна карактеристика урбаних амбијената у ноћним сатима. Поред добре видљивости, циљ амбијенталног осветљења је да се постигне и задовољавајући видни комфор, односно да се креира пријатна атмосфера и изазову емоције. (Костић et al., 2010) Ипак, значајније од свега наведеног је добро осветљење људи, а посебно њихових лица, које је кључно за осећај сигурности. Ипак, осећај сигурности не зависи само од интензитета светлости којом је неки простор осветљен, већ и од квалитета осветљења. Испуњење наведеног циља зависи од бројних фактора квалитета осветљења. Од посебног значаја је постизање довољне вертикалне осветљености. Такође је неопходно обезбедити пријатну (топло-белу или неутралну белу) боју светлости, као и верну репродукцију боја<sup>2</sup>. Да би се људи добро осећали, светлосне карактеристике светиљки треба да су такве да се избегне појава бљештања.

Ричард Кели је дефинисао доминантне карактеристике осветљења о којима треба водити рачуна приликом пројектовања:

- интензитет и сјајност,
- дифузност,
- спектар,
- усмереност ка одређеним површинама, којом се ствара одређена атмосфера и шаље одређена порука, и
- динамичност светлости.

---

<sup>2</sup> Репродукција боја показује како одређена светлост приказује боје у простору.

За амбијентално осветљење су од доминантног значаја две карактеристике спектра — боја светлости и репродукција боја. Већина доступних извора светлости није адекватна за осветљење урбаних амбијената. Иако их карактеришу пријатна боја светлости и одлична репродукција боја, инкандесцентни<sup>3</sup> извори светлости се не користе у амбијенталном осветљењу, јер су изузетно енергетски неефикасни и имају веома кратак век трајања (само 1000 сати), због чега би требало да се мењају чак четири пута годишње. Живини извори високог притиска су такође неадекватни, јер их карактеришу скромна енергетска ефикасност и лоша репродукција боја. Осим боје светлости, репродукције боја и енергетске ефикасности, критеријуми за избор извора светлости адекватних за амбијентално осветљење су и њихов облик и величина. Због чињенице да представљају дугачке линеарне изворе светлости, флуо цеви се веома ретко употребљавају за осветљење спољних простора. Компактни флуо извори светлости такође се ретко користе у амбијенталном осветљењу, јер се израђују за мале снаге и поседују скромну енергетску ефикасност.

У амбијенталном осветљењу су и даље најзаступљенији метал-халогени и натријумови извори светлости високог притиска, од којих су први адекватни, а други (због веома лоше репродукције боја) неадекватни за осветљење урбаних амбијената. Последњих година се и LED извори светлости користе за амбијентално осветљење.

Најзначајније карактеристике метал-халогених извора светлости са керамичким гориоником које их чине адекватним за амбијентално осветљење представљају одлична репродукција боја и топла нијанса беле светлости, која стимулише опуштање. Њих такође карактерише задовољавајућа енергетска ефикасност. Међутим, век трајања метал-халогених извора светлости је само 8000 h, због чега морају да се мењају сваке друге године. Такође, због малих димензија цевчица у којима се врши

---

<sup>3</sup> Инкандесцентни су они извори светлости чији се рад заснива на топлотном зрачењу ужарене нити (због тога се називају и извори светлости са ужареном нити).

електрично пражњење, односно производи светлост, метал-халогени извори изазивају бљештање, које треба да се елиминише адекватном конструкцијом светиљке.

За разлику од метал-халогених извора светлости, LED извори су засновани на полупроводничкој технологији. У амбијенталном осветљењу се углавном примењују LED извори који емитују светлост беле боје, одличне репродукције боја. Светлост у боји и динамично осветљење представљају додатне могућности примене LED технологије. Међутим, њихова употреба није адекватна у свим приликама и за све просторе.

Значајну предност LED светиљки представља њихов веома дуг век трајања (произвођачи га декларишу на чак 50000 h, што је око 6 пута дуже од 8000 h, колико износи век трајања метал-халогених извора). Самим тим, одржавање инсталације је лакше, јер су ређе интервенције. Међутим, треба истаћи да тако дуг век трајања LED светиљки још увек није потврђен у пракси, као и чињеницу да он зависи од температуре амбијента.

Поред предности LED технологије, које се пре свега огледају у изузетно дугом животном веку LED извора и чињеници да они имају већу светлосну искористивост од метал-халогених извора светлости (која се, уз то, сваке године повећава), LED технологија поседује и одређене недостатке. Веома мале димензије LED чипова узрок су физиолошког бљештања. Уз то, LED извор светлости представља групу LED чипова који се виде појединачно, што најчешће не изазива пријатан визуелни утисак. Наведени недостаци једино могу да се реше употребом мат дифузора, који, међутим, значајно редукују количину емитоване светлости.

Прорачуни показују да у појединим ситуацијама LED светиљке производе недовољне вредности вертикалних осветљености, које, на пример, онемогућавају јасно распознавање људских лица, које је изузетно важно за амбијентално осветљење. Независно од тога да ли су топло-беле или



неутралне беле боје светлости, LED извори садрже пик у области плаве боје, због чега је њихова светлост хладнијег тона од тона светлости коју производе метал-халогени извори.

На основу напред реченог може да се закључи да квалитетно осветљење урбаног амбијента може да се постигне избором типа извора светлости који је адекватних карактеристика за тај урбани амбијент, као и правилним избором типа, локације и оријентације светиљки.

### **1.3. Циљеви и задаци истраживања**

#### Циљеви истраживања

Циљеви предметног истраживања на општем нивоу су да се дефинишу:

- фактори квалитета амбијенталног осветљења, и
- смернице за осветљење урбаних амбијената.

Циљеви на нивоу конкретног су да се на основу резултата упоредних анализа објективних и субјективних показатеља квалитета оба типа осветљења:

- одговори на питање да ли је LED технологија, на садашњем степену развоја, погоднија за амбијентално осветљење од конвенционалних решења, и
- уколико није, да се специфицирају карактеристике LED чипова и светиљки које LED технологију чине недовољно адекватном за амбијентално осветљење и да се дају предлози за њихова побољшања, а у циљу масовније примене LED извора светлости у амбијенталном осветљењу, и
- да се специфицирају апликације у амбијенталном осветљењу за које је погоднија примена LED технологије, као и оне за које су погоднија класична решења.

## Задаци истраживања

1. Дефинисати смернице за амбијентално осветљење, које ће се добити као резултат изучавања различитих амбијената, њихових елемената и карактеристика.
2. Упоредивањем инсталација осветљења пешачких стаза изведених помоћу метал-халогених и LED извора светлости, установити показатеље њихове енергетске ефикасности, фотометријских карактеристика и економских параметара (упоређивање ће се извршити за пешачке стазе релевантних светлотехничких класа дефинисаних у међународним стандардима).
3. У оквиру пилот пројекта упоредити како објективне показатеље квалитета осветљења пешачке стазе изведеног помоћу метал-халогених и LED светиљки (равномерност осветљености и расподелу вертикалне осветљености), тако и све релевантне субјективне показатеље (пријатност боје светлости, способност верног приказа боја у простору, доживљај бљештања, лакоћу уочавања пешака, осећај безбедности и осећај угодности, као и утисак о интензитету осветљења, равномерности осветљености, интензитету и квалитету осветљења људског лица).
4. Установити могућности и ограничења за употребу оба типа осветљења у различитим урбаним амбијентима.

### **1.4. Полазне хипотезе**

1. Инсталације амбијенталног осветљења изведеног применом LED извора светлости у одређеним урбаним амбијентима имају предности у односу на инсталације осветљења са метал-халогеним изворима светлости када се узму у обзир смернице за осветљење урбаних амбијената.

2.1. Упоредивањем енергетских показатеља инсталација осветљења урбаних амбијената (оригинални допринос истраживања), показаће се да су

инсталације са LED изворима светлости енергетски ефикасније од инсталација са конвенционалним (метал-халогеним) изворима светлости.

2.2. Упоредивањем економских показатеља инсталација осветљења урбаних амбијената (оригинални допринос истраживања), показаће се да су инсталације са метал-халогеним изворима светлости економичније од инсталација са LED изворима светлости.

3. Могуће је дефинисати опште услове за извођење пилот пројеката за испитивање субјективног доживљаја испитаника по питању релевантних параметара амбијенталног осветљења.

4. Пријатнији је боравак у амбијенту осветљеном применом метал-халогених извора светлости него у амбијенту осветљеном применом LED извора светлости, зато што метал-халогени извори имају квалитетији спектар и зато што њихове светиљке карактеришу шири светлосни сноп и боља вертикална осветљеност на лицима пролазника.

## **1.5. Научне методе истраживања**

У теоријском делу рада је формирана информациона основа применом **методе анализе садржаја** научно-стручне литературе. У овом делу истраживања примењен је поступак критичке анализе, селекције и систематизације. Приликом дефинисања урбаних амбијената коришћена је **метода класификације**.

Оперативни део рада обухвата следеће методолошки значајне активности:

- На основу карактеристика урбаних амбијената издвојених у теоријском делу, као и анализом примера изведених инсталација осветљења карактеристичних урбаних амбијената, дефинисане су смернице за квалитетно осветљење сваког од издвојених амбијената;
- Извршена је провера могућности употребе LED извора светлости у урбаним амбијентима, водећи рачуна о дефинисаним смерницама и факторима квалитета. Уз помоћ доступних програмских пакета, за

неколико пешачких стаза и стандардима дефинисаних светлотехничких класа урађени су фотометријски прорачуни осветљења, и то како применом метал-халогених извора светлости са керамичким гориоником, тако и LED чипова, јер су они најпогоднији за амбијентално осветљење. На основу добијених резултата фотометријских прорачуна урађена је техно-економска анализа, у оквиру које је, применом **методе компаративне анализе** и опште прихваћене **методе актуелизације трошкова**, извршено упоређивање енергетских и економских показатеља инсталација са конвенционалним (метал-халогеним) и LED светиљкама. Метода актуелизације трошкова узима у обзир не само почетне (инвестиционе) трошкове, него и трошкове за утрошену електричну енергију и одржавање инсталације осветљења током њеног животног века (око 25 година);

- У оквиру пилот пројекта реализованог у једном београдском парку извршено је упоређивање субјективних показатеља квалитета обе инсталације осветљења (применом методе компаративне анализе). За добијање података одабрана је **анкета** као облик методе прикупљања података, која омогућава да се у кратком временском периоду прикупе подаци од великог броја испитаника. Рад са фокус групом се одвијао у виду **интервјуа** (као још једног облика методе прикупљања података), помоћу кога је, пре спровођења анкете, дефинисан коначни садржај анкетног упитника. У оквиру анкете испитаници су одговарали на низ питања која се односе на њихов субјективни доживљај појединих аспеката амбијенталног осветљења. Иако се анкета односила на осветљење парковске стазе, поједини закључци који имају општи значај (они који се односе на боју светлости и способност репродукције боја извора светлости, осећај сигурности, итд.) моћи ће, применом **методе индукције**, да се примене и на друге урбане просторе;
- За обраду података добијених спровођењем анкете коришћена је **статистичка метода** (t-тест за једнакост средњих вредности у случају

зависних узорака), којом се за сваки аспект осветљења одређује статистичка значајност разлике просечних оцена које су испитаници дали сваком типу осветљења. Обрада података добијених спровођењем анкете укључиће и тежинске факторе;

- У завршној фази истраживања, на основу резултата појединачних истраживања, **методом синтезе** су изведени закључци који дају одговоре на све постављене хипотезе.

## 1.6. Генерална структура докторске дисертације

Рад је подељен на пет целина: Увод, Амбијентално осветљење, Пилот пројекат, Компаративна анализа конвенционалног и LED амбијенталног осветљења и Закључци.

У уводу је обрађена тема предметног истраживања, његов значај, циљеви, задаци, хипотезе и научне методе које су коришћене у раду, уз приказ његове структуре и остварених резултата.

Суштински део рада садржи три целине. Прва целина, која се односи на амбијентално осветљење, садржи пет потцелина у којима су редом:

- дефинисани и анализирани урбани амбијенти, уз издвајање њихових карактеристика које су релевантне за амбијентално осветљење,
- дефинисане амбијенталне целине,
- дефинисани фактори квалитета и представљени општи подаци о амбијенталном осветљењу, као и подаци о препорученим изворима светлости, уз истицање оних перформанси метал-халогених и LED извора светлости које доминантно утичу на амбијентално осветљење,
- анализирани примери изведених амбијенталних осветљења тргова, паркова и шеталишта, и
- дефинисане смернице за амбијентално осветљење.

У оквиру друге целине представљен је пилот пројекат помоћу кога су испитивани субјективни доживљаји учесника анкете по питању релевантних карактеристика амбијенталног осветљења изведеног помоћу LED и метал-халогених светиљки (интензитета осветљења, равномерности осветљености, интензитета и квалитета осветљења људског лица, лакоће уочавања пешака, пријатности боје светлости, способности верног приказа боја у простору, доживљаја бљештања, осећаја безбедности и осећаја угодности).

Трећа целина садржи:

- компаративну анализу субјективних показатеља конвенционалног и LED амбијенталног осветљења у оквиру које је посебна пажња посвећена статистичкој анализи добијених података, као и анализи података која ће укључити тежинске факторе, и
- компаративну анализу објективних показатеља конвенционалног и LED амбијенталног осветљења са енергетског, фотометријског и економског аспекта.

У закључном делу рада представљени су сумирани резултати истраживања, као и очекивани трендови у развоју амбијенталног осветљења у будућности.

### **1.7. Остварени резултати и њихова практична примена**

Научни допринос предметног истраживања представља дефинисање карактеристика урбаних амбијената које осветљењем треба да се истакну, као и формирање смерница за квалитетно осветљење тргова, паркова и пешачких стаза.

Значајан научни допринос истраживања представљају и закључци који су резултат упоређивања конвенционалних и LED инсталација амбијенталног осветљења, која су обављена узимањем у обзир следећих аспеката:

- субјективних показатеља квалитета,
- енергетске ефикасности,
- фотометријских параметара, и
- економских показатеља.

Научне доприносе представљају и дефинисање општих услова за извођење пилот пројекта за утврђивање субјективних показатеља инсталације амбијенталног осветљења, као и развој оригиналне методе за обраду података добијених у оквиру пилот пројекта уважавањем тежинских фактора.

Практична примена резултата се пре свега очекује у употреби наведених смерница приликом пројектовања амбијенталног осветљења, као и у утицају резултата истраживања на доношење одлуке о избору оптималног извора светлости за сваку ситуацију.

## 2. Амбијентално осветљење

Амбијентално осветљење представља осветљење урбаних амбијената и амбијенталних целина. Оно укључује осветљење комерцијалних зона, тргова, пешачких зона, природних структура (брда, речних обала,...) и уређених зелених зона, какве су паркови, баште и дрвореди. У амбијентално осветљење спада и осветљење простора забаве или спектакла (као што су фестивалско осветљење или светлосни (и звучни) програми).

### 2.1. Урбани амбијенти

Градови, а у оквиру њих приватни и јавни простори, највећи су артефакт начињен људском руком. Историја градова је историја односа приватних и јавних простора. (Пушић, 2007) Све што се у граду налази са спољне стране регулационе линије представља јавни градски простор. Шири појам од појма јавног градског простора представља појам градског пејзажа. Р. Радовић (Радовић, 2005) га дефинише као „укупни систем функција и форми градске физичке структуре“ (стр. 98). У приручнику за урбани дизајн (*Urban Design Compendium*, 2008) наведено је да градски пејзаж укључује „отворене просторе, воду, саобраћајне токове и приступне саобраћајнице, паркове, тргове, улице, урбани мобилијар – дакле, и чврсто и меко урбано ткиво“ (стр. 53).

Јавне градске просторе Б. Миленковић (Миленковић, 1991) дефинише као „празне просторе између кућа“ (стр. 52). То су простори који нису у приватном власништву и који су отворени за све – где свако може да дође и да се слободно креће. Основне карактеристике таквих простора су велика концентрација људи и разноликост активности и садржаја, које се једном речју могу представити као урбаност. (*Urban Design Compendium*, 2008) Да би град могао да обезбеди да се у јавним просторима одвијају активности које људи очекују или које су им потребне, неопходно је да, са својим материјалним обличјем, свакодневно издржава тестове савременог доба, без



обзира на временски оквир у коме је град, или део града, настао. (Пушић, 2007) Простори морају стално да се прилагођавају околностима, односно да подржавају активности грађана и посетилаца.

Под урбаним амбијентима се подразумевају отворени јавни градски простори у којима грађани проводе слободно време и у којима се одвијају активности које није могуће спроводити у другим градским просторима. У зборнику „Урбани спектакл“ (Драгићевић-Шешић, 2000) урбани амбијент је описан као „творац напетости“ између елемената костура који може да се представи не само као простор комуникације (размене, сучељавања, сусрета, кретања,...), него и као простор за представљање вредности, симбола и знакова урбане културе. Урбани амбијенти понекад представљају симболичке просторе града. Њихове честе функције су обезбеђивање више светлости и ваздуха, прекидање монотоније мноштва објеката, отварање бољег видика и истицање неког архитектонски или историјски значајног објекта. (Зите, 2011) Градски амбијенти представљају места на којима се физичка структура простора доживљава на специфичан начин. Пролази, улице, улична проширења, паркови, платои и тргови познати су и као урбанистичка и као социјална обележја. Међутим, само њихово постојање недовољно говори о граду – за то је потребно доживети њихову атмосферу коју чине људи и начин на који они користе простор. Градске сцене су непрекидно измењиве и непоновљиве: седење на клупама, покрети, кретање,... По речима Љ. Пушића (Пушић, 2007), „све оно што се доживљава из визуре ходајућих очију представља живот града“ (стр. 213), а у градским амбијентима дешавања се најчешће доживљавају баш из те визуре.

Као што је већ поменуто, градски простор без људи не испуњава свој основни циљ. Да би добио обележје градског амбијента, он мора својим постојањем да допринесе свакодневном животу грађана. (Базик, 1995) У урбане амбијенте могу да се сврстају места за неометано одвијање спонтаних градских призора и места у којима се често одиграва већи део јавног живота. Често се каже да у

граду време брзо пролази. Места у којима се то време „успорава“ су управо урбани амбијенти, јер су они пре свега намењени предаху и уживању.

У публикацији „Понуда градске сцене“ (Базик, 1993), град, а самим тим и градски амбијент, пореди се са позорницом, а они који се баве обликовањем града и интервенцијама у простору називају се сценографима. При томе, сцена је описана као део представе, призор, заустављени тренутак који обједињује физички оквир позорнице и активност актера.

„Сценограф позорнице града разматра могућност обједињавања и уклапања конфликтних токова, отварања полигона за одвијање спонтаних „представа“, подржавања јавности или приватности простора, микроклиматских услова и интензитета коришћења“ (стр. 9).

Градске амбијенте би пре свега требало посматрати као позорнице, јер се управо у тим просторима одигравају представе у којима су учесници, проводећи слободно време, најчешће потпуно природни, опуштени и растерећени. Они активно учествују у догађајима који се одвијају у оживљеним просторима. (Драгићевић-Шешић, 2000) Физичка структура као оквир позорнице и отворени простор као центар дешавања заједно чине амбијент.

Градске амбијенте најчешће одликује мала посећеност, сем у случајевима организованих окупљања и великих сценских и других догађања. Изграђеност је најчешће мала, јер урбане амбијенте и амбијенталне целине у већини случајева карактеришу отворени простори. Такође се, као што је већ речено, у таквим просторима налазе културно-историјски споменици. Нису непознате иницијативе да се таква места у граду обележе значајним грађевинама, као и да се њима уоквирени простори украсе фонтанама, споменицима, статуама и другим уметничким делима и знамењима

историјске славе. (Зите, 2011) У квалитетном урбаном амбијенту мора да буде обезбеђена разноврсност понуде, при чему физички оквир и активности које се у оквиру њега одвијају представљају идентитет тог амбијента. Пошто је могућност избора једна од најзначајнијих предности одређене средине, она се мора појавити као основни захтев који урбани амбијент треба да испуни. А предуслов за могућност избора је управо разноврсност понуде. (Ђокић, 2004) Управо они простори који могу да испуне различите захтеве најширег круга корисника или друштвених група представљају стимулативна и угодна места у граду. (Urban Design Compendium, 2008)

Сценографија градских простора, као скуп активности за њихово уређење, садржи уметничке и стручне, односно креативне и техничке елементе. (Базик, 1993) Уколико се пројектовање градских простора врши без обзира на контекст, настају места без идентитета. Из тог разлога је пожељно налажење инспирације у аутентичном карактеру одређеног простора, јер то јача локални идентитет. Нове интервенције треба да обогате постојећи градски простор. То подразумева одвијање специфичних активности које настају као одговор на подстицаје из окружења и комплементарне су са њим. (Urban Design Compendium, 2008) При томе, постигнута решења неће бити ни трајна ни потпуна уколико не одговарају потребама савременог доба. (Зите, 2011)

У урбаним амбијентима је уређеност кретања и понашања значајно мања него у улицама, због чега урбани амбијенти представљају места на којима има мање конфликта. Квалитети урбаног амбијента су значајно мања изложеност моторном саобраћају, углавном неометана шетња и пријатно провођење слободног времена.

Једну од важних одлика урбаног амбијента представља његов обухват. Обухват просторне целине може да се одреди применом разних инструмената за мерење. Међутим, када је градска просторна целина у питању, мерење често може да се обави одока, полазећи од једне тачке која

постаје центар, одређујући границу на основу тога докле допире поглед. (Занини, 2002) Простор може да се мери и временом које је потребно да би се он обишао. Како П. Занини објашњава (Занини, 2002), „познавати димензије простора значи знати докле можемо мирно да одемо, а да не изађемо из реда“ (стр. 43). Дакле, за обухват урбаног амбијента важнија је улога коју амбијент има у граду од његове величине.

Корисници доживљавају простор у зависности од онога што могу да сагледају у истом тренутку. Док се крећу, амбијенти могу да мењају карактер и изазивају нове утиске и асоцијације. С обзиром на то да периферијско виђење има пресудну улогу у процесу креативног мишљења и маште (Pallasmaa, 2005), овакви простори изазивају мноштво емоција због чињенице да се, кретањем кроз урбани амбијент, непрекидно мењају „слике“ које су резултат периферијског виђења.

### **2.1.1. Карактеристике урбаних амбијената које могу да утичу на амбијентално осветљење**

Већину елемената градског простора није могуће издвојити из друштвеног, географског или било ког другог контекста. (Ђокић, 2004) Ипак, Р. Радовић (Радовић, 1972) издваја физичку структуру, садржај и активности као основне карактеристике урбаног простора. При томе треба нагласити да су управо оне релевантне и за амбијентално осветљење.

#### **2.1.1.1. Физичка структура урбаног амбијента – границе, капије и фокус**

У публикацији „Сценарио живота у граду“ (Базик, 1995) градски простор је дефинисан као „простор омеђен објектима у граду, на различите начине обликован и геометријски дефинисан“ (стр. 1). Наведена дефиниција се односи и на урбане амбијенте као специфичне представнике отворених јавних градских простора.

Суштина грађених структура и отворених простора, чија се интерпретација врши кроз класификацију облика, утврђивање идентитета и односа времена и простора, представља предмет урбане морфологије. (Ђокић, 2004)

Морфологија урбаних амбијената (линеарни простори, отварање и затварање) усмерава токове и дефинише могућности за одвијање активности. Однос маса формира физички оквир позорнице. С друге стране, секундарна пластика волумена и опрема екстеријера (склоп детаља) утичу на формирање значења и идентитета појединих делова градских амбијената. (Базик, 1993)

Као што је наглашено у поглављу 1.2, важне одлике урбаног амбијента су границе, капије и фокус. Границе, као и капије и фокус урбаног амбијента, најчешће су у облику изграђене структуре. Иако је изграђеност урбаних амбијената најчешће мала, у таквим просторима се често налазе културно-историјски споменици. Урбани амбијент може да буде формиран око неког споменика, који у том случају најчешће представља фокус амбијента. Неретко, културно-историјски споменици у виду тврђава и архитектонских објеката представљају и границе урбаног амбијента.

### Границе

Да би се дефинисао градски амбијент, потребно је одредити његове границе. П. Занини је покушао да објасни значења просторних граница. (Занини, 2002) Он наводи да је граница „простор који се налази између ствари, простор који спајајући раздваја, или можда раздвајајући спаја, људе, ствари, културе, идентитете, просторе који се међусобно разликују“ (стр. 9). С обзиром на то да је граница дефинисана као простор, не треба је посматрати као линију, већ као појас, као место које има неку своју меру, димензију. Тај гранични појас има особину да буде у релацији са околним просторима, али на такав начин да укида и неутралише све што нема карактеристике целине којој припада.

П. Занини пише да претварањем границе у неки „други простор“ могу да се умање њена строгост и моћ. (Занини, 2002)

Да би се дефинисале границе просторне целине, могу да помогну још неки појмови, попут међе и фронта, обода и ивице. По речима П. Занинија, док граница представља крај нечега, односно крај територије, међа означава заједничку линију разграничења, односно раздвајања суседних простора. Италијанска реч *frontiera* (као и шпанска *frontera*, француска *frontiere*, енглеска *frontier*) садржи у себи именицу „фронт“, а граница представља фронт према нечему. Она је окренута ка нечему (против нечега), ка некоме (против некога). (Занини, 2002)

Ограничавање простора повлачењем границе представља покушај да се смањи могућност да се у његовој унутрашњости догоди нешто што не желимо, нешто непредвиђено. Треба га учинити ако не баш немогућим, онда барем мало вероватним. (Занини, 2002) Управо ограничавање неког простора може у одређеној мери да пружи безбедност и комфор – најзначајније одлике урбаних амбијената.

### Капије

Важну карактеристику амбијента такође представљају капије. Капија је место на коме се изражава добродошлица и са кога се урбани амбијент иницијално сагледава, схвата и доживљава. Најважнија места саобраћајних преседања или чворишта често служе као капије града или градског центра. Раскрснице, пешачке стазе, паркинзи, железничке и аутобуске станице – све су то места прилаза. (Urban Design Compendium, 2008) Управо на пресецима граница урбаног амбијента и праваца прилаза налазе се капије амбијента. Број капија одлучујуће утиче на приступачност амбијенту. Наглашавање њихове уочљивости је важно како би се јасно наговестио простор другачијег (вишег) квалитета. Капије одлучујуће одређују и токове у оквиру амбијента,

које К. Линч (Линч, 1960) издваја као важну карактеристику градских простора.

### Фокус

Фокус урбаног амбијента представља тежиште простора, централно место које, захваљујући специфичним обележјима (Линч, 1960), привлачи поглед и окупља највећи број корисника. То место се разликује у односу на мирне зоне намењене одмору и пасивном учешћу у активностима које доминирају у амбијенту. (Urban Design Compendium, 2008) Иако је фокус амбијента најчешће специфична физичка структура (изграђена или природна), он може да буде одређен и активношћу која се одвија у простору амбијента.

#### **2.1.1.2. Садржај урбаног амбијента**

Д. Базик (Базик, 1993) примећује да „стимулишући и усмеравајући активности људи, градски екстеријер надживљава генерације, као и трајност многих објеката“ (стр. 1). Треба бити опрезан са интервенцијама у животном окружењу људи, јер свака промена има за последицу промену броја и састава корисника, као и њихових активности, доживљаја и утисака. Интервенције треба да буду такве да се задржи постојећи или креира нов идентитет простора, који ће га учинити препознатљивим, уз истицање његове употребне и обликовне вредности. (Базик, 1995)

Како Д. Базик (Базик, 1995) наводи,

„визуелна перцепција окружења представља формирање личних „просторних представа“ и зависи од узраста, нивоа културе и образовања, опажајних способности, мотивације и заинтересованости сваког појединца. У том смислу, приликом конципирања морфологије појединих простора, нарочито у

реконструкцији градског ткива с „наслеђем“, драгоцен је поступак упоређивања пројектантског виђења перцептивне структуре простора са „сазнајним“ („когнитивним“) мапама староседелаца обрађиваног градског ткива“ (стр. 68).

Под појмом „примерен градски простор“, Д. Базик подразумева простор који корисницима нуди максималну могућност избора за задовољавање потреба и одвијање активности. Степен приступачности и разноврсност садржаја добијају на снази уколико су праћени лакоћом оријентације и сналажења у простору, као и читљивим асоцијативним формама. (Базик, 1995)

Д. Базик такође примећује да екстеријер објекта може да се упореди са ентеријером стамбене јединице. Тако се улица може упоредити са ходником, трг са дневном собом, игралиште са дечјом собом,... (Базик, 1993) Мобилијар и елементи урбаних амбијената могу да се упореде са опремом ентеријера куће – клупа може да се упореди са каучом, трава са тепихом, а вртови, групе дрвећа, жбуње и озелењене жардињере са саксијама за цвеће. (Зите, 2011.)

### **2.1.1.3. Актери и активности у урбаном амбијенту**

Град се оживљава кроз активности људи, тако да у многоне зависи од њихове спремности да утичу на формирање градске атмосфере. (Пушић, 2007) Што су градски простори усклађенији са активностима људи, то ће градска атмосфера бити израженија. Градски амбијенти одражавају живот људи у граду.

Људи користе урбани простор на разне начине, различито га читају и доживљавају. Активности које квалитетан градски амбијент треба да омогући су различито мотивисана задржавања, контакти, одмор, шетња, игра и забава. У њему се људи крећу, пију, гледају, радују, живе. Притом, морамо имати у виду да се сценографска понуда градских простора



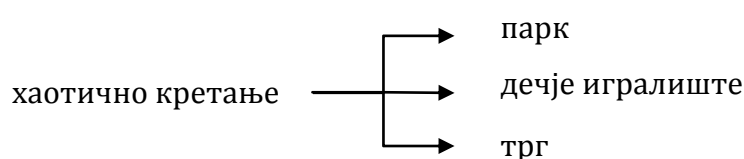
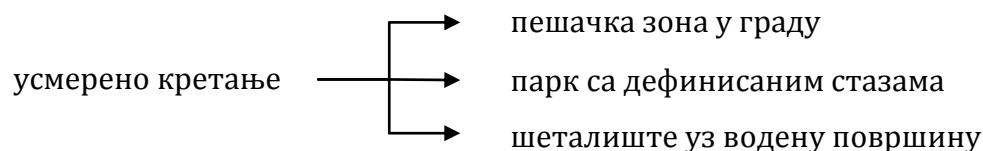
оживљава кроз спонтано одвијање представа само уколико код актера изазове одговарајуће емоције или асоцијације. (Базик, 1993)

Део градске целине може бити: приватан или јаван, активан или пасиван, динамичан или статичан, сагледив или заклоњен, осунчан или осенчен,... (Базик, 1993) При томе, одређени амбијент не мора да има јединствен карактер (на пример, активног или пасивног, динамичног или статичног градског простора), већ такве конфликтне целине могу да се преплићу у оквиру амбијента, чинећи га разноврсним. Током ноћи, поред постојеће морфологије терена и изграђене физичке структуре, управо је осветљење заслужно за карактер амбијента.

П. Занини сматра да је један од најважнијих задатака које урбанизам себи треба да постави управо обезбеђивање повратка градског простора деци, којој треба омогућити да користе град кроз откривање и измишљање места. Проблем простора за игру већ је много година један од главних проблема у градовима. И сама деца снажно истичу своје право да имају неки отворен простор у коме ће моћи да се састају без опасности и забрана. Игралиште је, у ствари, место које сваки пут може да се претвори у нешто друго, да се увек изнова замисли и креира. (Занини, 2002) Међутим, да би простор за игру деце био адекватан, најважније је да га карактерише безбедност, а да би простор био безбедан, он мора да буде тако позициониран и обликован да у што већој мери изолује непожељне ефекте окружења. Безбедност је условљена положајем и обликовањем, материјализацијом и опремљеношћу простора, а током ноћи и осветљењем.

Још једна од важних улога урбаних амбијената је што они представљају просторе за шетњу кућних љубимаца којима су простори без моторног саобраћаја једина места у граду у којима могу слободно да се крећу.

У оквиру урбаних амбијената могуће је уочити две категорије простора – оне у којима се одвија усмерено (уређено) кретање људи и оне у којима се одвија њихово хаотично кретање.



Како Љ. Пушић (Пушић, 2007) наводи, „иницијатива људи да формирају специфичну атмосферу у неком простору нарочито је важна у оним срединама које не садрже такве материјалне и духовне артефакте који су довољни да не дозволе градовима да дремају“ (стр. 194). Урбани амбијенти представљају најподесније просторе за одвијање уличне уметности (улични свирачи, фестивали, представе, спектакли,...). Уметност улице се игра изненађењима и маштом и упада у време и простор свакодневног живота. Како један од аутора зборника „Урбани спектакл“ (Драгићевић-Шешић, 2000) наводи, „уређени живот без изненађења има потребу за упадицама, хаосом, лудилом и сном“ (стр. 95).

### 2.1.2. Типични представници урбаних амбијената

Типични представници урбаних амбијената су тргови, паркови и шеталишта.

### 2.1.2.1. Трг

У зборнику „Урбани спектакл“ (Драгићевић-Шешић, 2000) трг је дефинисан као „слободан простор окружен кућама у који се уобичајено стиче више улица“ (стр. 42).

На месту трга се улица шири и редукује густина саобраћаја. (Драгићевић-Шешић, 2000) Трг представља простор у коме је грађанин учесник догађања, са потпуном слободом избора да буде активан или пасиван. (Ђокић, 2004)

У нашем језику се појављује појам сквера, који се углавном односи на отворени градски простор мање величине. (Ђокић, 2004) Међутим, пошто је реч сквер директно преузета од енглеске речи *square*, односно латинске речи *exquarda*, што јасно и недвосмислено означава појам трга, у даљем тексту ће се користити само термин трг.

Једна од вредности коју би трг требало да поседује је изражајност. Трг је простор који се издваја у односу на окружење по просторности, изграђености, начину функционисања, опремљености,... Често су тргови смештени око архитектонски значајних објеката – верских грађевина, административних објеката или споменика културе, што им појачава изражајност. (Драгићевић-Шешић, 2000)

Кретање и комуникација представљају важне карактеристике трга. То се види из чињенице да је трг место сусрета и размене информација. Оријентација и приступачност су за трг од пресудног значаја, а на изванредан начин су у вези са системом кретања. Оријентација представља основну релацију коју корисник простора успоставља са непосредним окружењем, а тиче се његовог положаја, као и могућности да се упути ка другом месту, чиме је на одређени начин оријентација повезана са комуницирањем. Оријентисање се може постићи на разне начине, а у зависности од карактера (понуде, опремљености) простора у коме се корисник налази. Градски трг је

простор који захтева одређени ниво приступачности ради адекватног функционисања. Добра приступачност простору трга омогућава активностима које се на њему одвијају да буду на прави начин одабране и ефикасно испољене. (Ђокић, 2004)

Вредност урбаног простора зависи и од начина и интензитета којим је прихваћен од стране корисника. У вези са тим, К. Линч (Lynch, 1981) сматра да „трг може бити задовољство за туристе, а фрустрација за локално становништво“ (стр. 160). Јасно је да интереси одређених група које користе простор трга могу да буду у конфликту, што отежава посао креатору трга. Међутим, уколико се конфликти успешно помире, добија се простор који има потребну разноврсност и употребну вредност. (Ђокић, 2004)

Према В. Ђокићу (Ђокић, 2004),

„Ако се простор градског трга посматра у релацији са различитим интересним групама које имају своје захтеве, потребе и уверења, онда се могу издвојити три групе актера, које различито условљавају конфликтне ситуације. То су:

1. становници – групација која је стално настањена у окружењу градског трга и која највише зависи од тог окружења
2. корисници – групација са посебним интересима у оквиру дела простора трга, која делимично зависи од датог окружења (трговци, угоститељи, организатори приредби и културних догађаја)
3. посетиоци – групација која повремено посећује простор трга и која не зависи од његовог окружења (породице, туристи, грађани, ученици)“ (стр. 285).

Извесно је да простор градског трга треба да поседује одређену дозу флексибилности и прилагодљивости. То се пре свега односи на просторно-физички оквир градског трга, који треба да буде прилагодљив трансформацијама функције. (Ђокић, 2004)

Једна од значајних карактеристика трга треба да буде и изазивање узбуђења, што се често постиже организовањем разних скупова, музичких и сценских спектакала, уличних представа и других врста дружења. Простор у коме се одвијају таква догађања, која често улепшавају дан онима који им присуствују, представља простор посебне атмосфере и с правом спада у урбане амбијенте.

#### **2.1.2.2. Парк**

Градски паркови, као врста отворених градских простора, једнако су стари као и отворени простори које препознајемо као тргове. Потреба људи да се окупљају својствена је свим историјским епохама. На социјалној мапи града, мање или више озелењени простори једнако су важни као и остали урбани амбијенти. Они се сматрају нарочито значајним социјалним просторима. Отворени простори парковских карактеристика равноправни су делови не само урбано-морфолошког, већ и социјалног мозаика града. Паркови, заједно са осталим зеленим градским фондом, део су урбанистичког инвентара и, иако се значајно разликују од окружења, представљају пожељне градске просторе. (Пушић, 2007)

Аутор књиге „Уметничко обликовање градова“ (Зите, 2011) наводи да су градски становници људи кућних блокова, док су наши преци били шумски људи. Зеленило у оквиру сивила града представља одмор за очи, место бега од стварности затворених простора и пребрзог градског живота. Овај став К. Зите објашњава на следећи начин:

„Тиме се може објаснити нагонска жеља и потреба грађана великих градова да напусте прашњави град и оду у зеленило, у слободну природу; тиме се објашњава зашто је том градском човеку свето свако дрво, сваки, и најмањи травњак и свака саксија са цвећем. Због тога је потребно да се то зеленило приближи грађанима и омогући његова употреба и уживање у погледу на њега“ (стр. 203).

Тврђаве и историјске градске целине могу да спадају у урбане амбијенте уколико су формиране као простор за уживање и провођење слободног времена. Оне се понекад налазе у оквиру зеленила и парковских површина, када најчешће заједно чине амбијенталну целину. Тврђаве представљају градску архитектуру која се у данашње време користи као сценографија у амбијенталном позоришту.

Прави резервоар ваздуха у великом граду чине неизграђене површине засађене зеленилом и претворене у паркове, са базенима и водоскоцима. Оне се с правом називају плућима града. (Зите, 2011)

### **2.1.2.3. Шеталиште**

Уколико границу посматрамо као део целине, као што наводи П. Занини (Занини, 2002), онда улице које се користе за моторни саобраћај не могу да представљају границе урбаних амбијената, већ границе простора који их окружују. Границе градских амбијената могу да буду шеталишта, објекти који припадају урбаном амбијенту, ограде, зидови, водене површине, зеленило, денивелација терена, саобраћајни токови,...

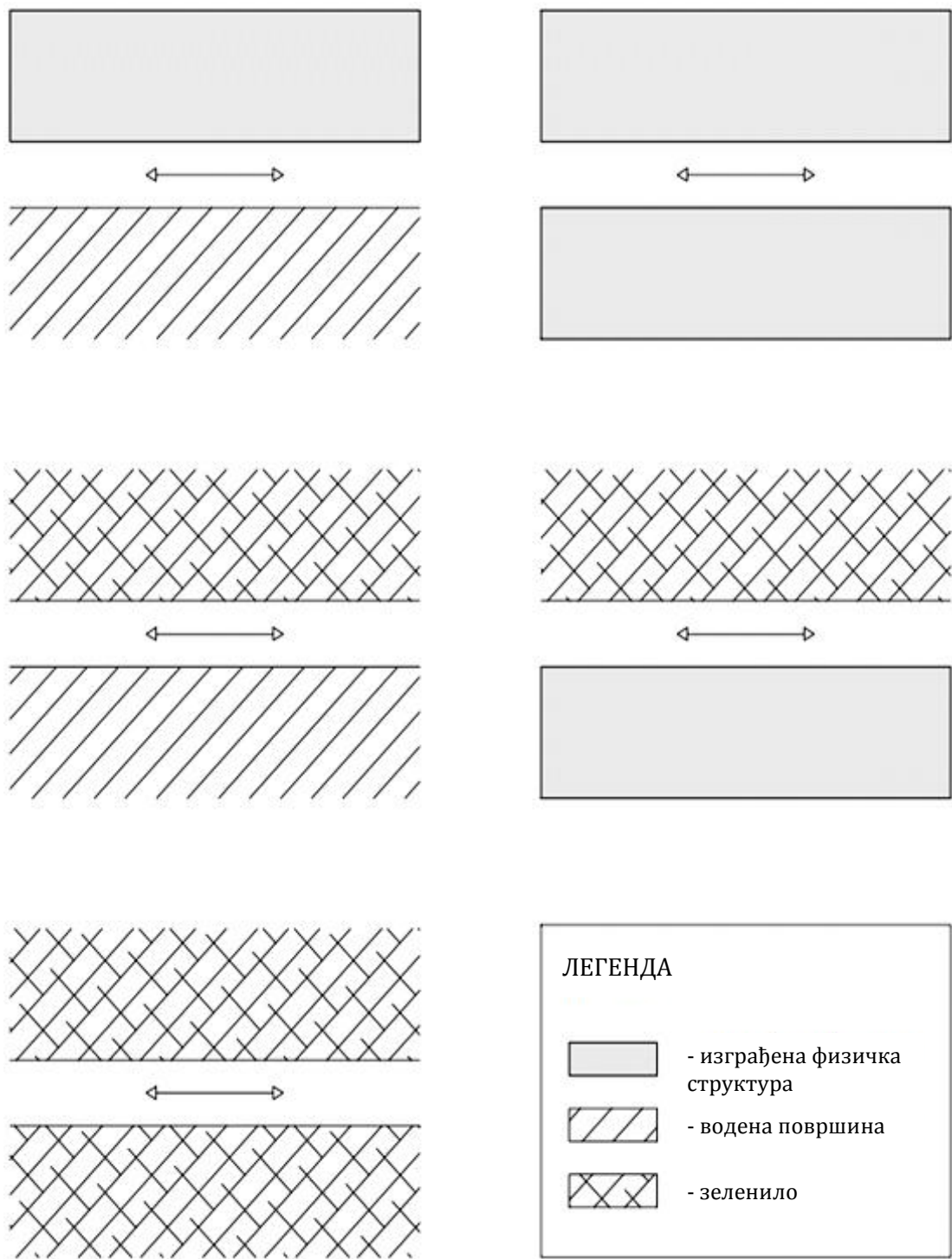
Шеталишта се најчешће налазе у оквиру паркова, уз водену површину (најчешће реку) или у оквиру градских пешачких улица.

Како наводи К. Зите, вода је важан саставни део природног предела кога урбаниста не сме да се одрекне уколико жели да оживи визуру града. Помиње се чак и појам „декоративна вода“, који се односи на мотив воде у урбаном амбијенту. (Зите, 2011)

У књизи „Призори улице“ (Фајф, 2002) аутор истиче шетњу као инвентиван процес у коме пешак конструише причу крећући се и посматрајући разне просторне слике. Тако, упркос свођењу улице на дисциплинован простор, пешак уводи извесну контролу над материјалним и симболичким простором, бежећи у сећање и машту.

Улице, а самим тим и шеталишта, представљају комуникационе коридоре који, осим функционалних, треба да обезбеде и амбијентални квалитет. Оне представљају линије кретања са којих свакодневно велики број људи доживљава град и на којима се налазе чворишта која представљају капије или улазно подручје за сваки правац. (Костић, 2010)

Шеталиште представља посебан градски амбијент, чија атмосфера у многоме зависи од физичке структуре окружења (слика 1). Оно што окружује и ограничава шеталиште може да се мења, чиме дуж шеталишта могу да се формирају различити амбијенти.



**Слика 1.** Појавни облици шеталишта у граду  
(лична документација аутора)



## 2.2. Амбијенталне целине

Амбијенталне целине се састоје од једног или више урбаних амбијената, при чему је физичка структура та која им најчешће даје специфичност и повезује их у целину (просторне културно-историјске целине, археолошка налазишта и др.).

У најширем смислу, амбијенталне целине обухватају просторе са историјским, етнолошким, археолошким или природним садржајем, стара језгра градова и насеља, градитељске целине са историјским и архитектонским вредностима и спомен обележја. Знаменита места (као простори који се односе на догађаје од посебног историјског значаја), затим јединствене целине са израженим елементима природних и радом створених вредности, као и гробља и меморијална обележја (подигнута ради трајног очувања успомене на значајне догађаје, личности и места из националне историје) такође представљају амбијенталне целине. (Закон о културним добрима, 2011)

Функционална повезаност и усаглашеност физичке средине и садржаја представља основну вредност амбијента. Зграде не морају имати посебну архитектонску вредност, али постављене у одређени однос могу да граде композиције које поседују амбијенталне вредности. Управо физичка структура врло често представља границу амбијенталне целине, што је случај и код утврђења, која су типични представници амбијенталних целина.

У оквиру амбијенталних целина могуће је увођење моторног саобраћаја, чак је то чест случај. Како је наведено у Приручнику за урбано планирање (Urban Design Compendium, 2008), посебну пажњу је потребно посветити кретањима пешака, бициклиста и моторног саобраћаја – баш тим редом. Управо због тога, у њима је потребно ускладити активности пешака и возача, а самим тим и амбијентално и функционално осветљење.

Постојање историјских елемената у оквиру амбијенталне целине представља посебну вредност, јер се њиховим оживљавањем пружа могућност за обogaћивање отворених простора. (Urban Design Compendium, 2008)

Многе амбијенталне целине су под заштитом државе, при чему мере заштите подразумевају не само радове на конзервацији, рестаурацији, реконструкцији и ревитализацији, него и на презентацији културних добара за коју је значајно осветљење. (Закон о културним добрима, 2011)

### **2.3. Квалитет амбијенталног осветљења**

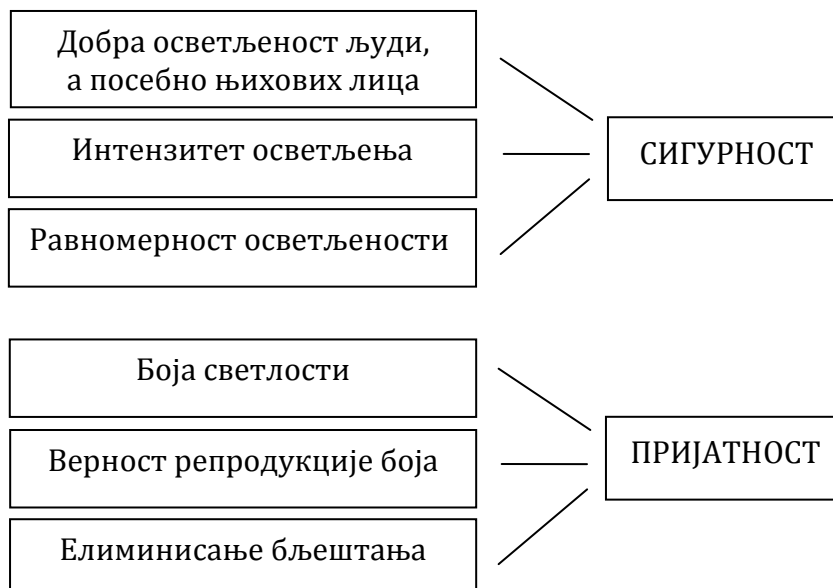
Квалитет амбијенталног осветљења зависи од избора елемената урбаног амбијента који се осветљавају, начина њиховог осветљавања (локације и оријентације светиљки) и типова примењених извора светлости и светиљки.

Пошто су урбани амбијенти пре свега намењени пешацима, од изузетне је важности да им се омогући коришћење урбаних амбијената, и то не само дању, него и ноћу. За ноћно коришћење урбаних амбијената од пресудног значаја је амбијентално осветљење. Поред добре видљивости, квалитетно амбијентално осветљење подразумева креирање пријатне атмосфере и допадљивог амбијента, као и изазивање емоција. Да би се постигао допадљив амбијент, потребно је обезбедити одличан видни комфор и адекватно истаћи амбијенталне вредности. (Костић, 2010)

У Приручнику за урбани дизајн (Urban Design Compendium, 2008) наведено је да су сигурност, пријатност, атрактивност и разноврсност садржаја основне карактеристике које простори намењени окупљању и задржавању људи треба да поседују.

На основу изложеног у поглављу 2.1, а имајући у виду чињеницу да су за амбијентално осветљење од доминантног значаја две карактеристике

спектра извора светлости — боја светлости и репродукција боја, могу да се успоставе следеће зависности:



Док на атрактивност простора у ноћним сатима може да се утиче светлосним ефектима, на разноврсност садржаја урбаних амбијената није могуће непосредно утицати осветљењем. Међутим, квалитетним осветљењем је могуће истаћи одређене садржаје и тиме им дати на значају.

### 2.3.1. Фактори квалитета амбијенталног осветљења (Костић, 2010)

Фактори квалитета који имају пресудан утицај на доживљај амбијенталног осветљења су: ниво (хоризонталне) осветљености, полуцилиндрична осветљеност, равномерност осветљености, боја светлости, репродукција боја, расподела сјајности, ограничење бљештања и рефлектованих одраза, смер упада светлости и сенке, као и изглед светиљке и њено уклапање са окружењем. На квалитет осветљења утичу и здравствени, еколошки, енергетски и економски аспект осветљења, као и светлосно загађење.

#### **2.3.1.1. Ниво (хоризонталне) осветљености**

Ниво хоризонталне осветљености представља средњу осветљеност у релевантним тачкама посматране хоризонталне површине. У урбаном осветљењу одређује се на стазама и површинама по којима се људи крећу. Ради се о веома важном фактору, јер доминантно утиче на добру видљивост.

#### **2.3.1.2. Полуцилиндрична осветљеност**

Полуцилиндрична осветљеност представља средњу осветљеност вертикалног полуцилиндра којим се апроксимује људско лице. Она је важна за амбијенте, јер од ње зависи способност распознавања људских лица, која је пресудна за осећај сигурности.

#### **2.3.1.3. Равномерност осветљености**

На основу важеће CIE<sup>4</sup> препоруке (CIE 115-2010, 2010), равномерност осветљености се исказује преко минималне хоризонталне осветљености у тачкама посматране површине. Она показује да ли је избегнуто појављивање тамних (веома лоше осветљених) делова површине, чије присуство може да изазове осећај несигурности. На равномерност осветљености доминантно утичу светлотехничка карактеристика светиљке, усмереност светлосног снопа, висина светиљке и распоред светиљки у простору.

#### **2.3.1.4. Боја светлости**

Само светлост чији спектар садржи таласне дужине које осветљене површине рефлектују може верно да прикаже боје. У случају примене погрешног извора светлости корекције су немогуће, јер никакви додаци извору (у смислу филтера или пригушивача) неће „поправити” боју.

---

<sup>4</sup> CIE: Commission Internationale de l'Éclairage (Међународна комисија за осветљење)

Бела светлост, која се користи за опште осветљење урбаних амбијената, може имати нижу температуру боје, када боље приказује топле тонове, или вишу температуру боје, када, богатија зеленим и плавим делом спектра, боље приказује хладније тонове.

За посебне ефекте у спољном осветљењу користи се ласерска техника, помоћу које се производи светлост изузетно уског снопа и веома јаког интензитета, као и LED технологија, која може да обезбеди како монохроматску светлост било које боје, тако и динамично осветљење.

### **2.3.1.5. Репродукција боја**

Квалитет извора светлости се описује и помоћу индекса репродукције боја ( $R_a$ ), који је показатељ способности извора светлости да верно приказује (репродукује) боје предмета. Извори светлости блиских температура боје могу имати потпуно различит спектрални састав и, због тога, веома различите индексе репродукције боја. Када кажемо да је репродукција боја неког извора светлости добра или лоша, свесно или подсвесно изглед предмета поредимо са његовим изгледом у условима природне (дневне) светлости. Иако се температура боје дневне светлости непрекидно мења у току дана, при чему разлике износе и по неколико хиљада келвина, промене боја предмета осветљених дневном светлошћу једва се примећују, због способности хроматске адаптације ока посматрача.

Предмете и површине код којих преовлађују топли тонови пожељно је осветљавати применом извора светлости топле боје, док је површине хладних боја пожељно осветљавати светлошћу виших температура боје. Разлог је у томе што извори топле боје емитују светлост богатијег спектра у опсегу већих таласних дужина (црвене, жуте и жуто-зелене боје), док су у спектру извора хладне боје више заступљена зрачења зелене, зелено-плаве и плаве боје.

### **2.3.1.6. Расподела сјајности**

Сјајност је једина фотометријска величина коју око непосредно осећа, због чега представља мерило светлосног утиска.

Расподела сјајности у видном пољу један је од најважнијих фактора квалитета осветљења. За приближно исте осветљености, разлике у сјајности резултат су разлика у рефлексионим карактеристикама осветљених површина.

Расподела сјајности у простору треба да одговара хијерархији вредности коју имају површине или предмети који се осветљавају. У спољном осветљењу, а у циљу постизања одговарајућих контраста, неопходне сјајности осветљених површина зависе и од сјајности непосредног окружења (околних објеката или просторне целине у оквиру које се објекат налази).

У зависности од типа извора светлости, као и од конструкције светиљке, расподела светлости коју светиљка емитује може бити различита (усмерена, дифузна, полудифузна). Усмереном светлошћу се наглашавају тачке од интереса и стварају контрасти, док дифузна (полудифузна) светлост има улогу уједначавања сјајности и ублажавања сенки.

### **2.3.1.7. Ограничење бљештања (директног и рефлектованог) и рефлектованих одраза**

Бљештање изазива појава извора светлости у видном пољу чија је сјајност много већа од сјајности на коју је око било адаптирано.

Директно бљештање је резултат директне светлости светиљки која стиже до ока. Ограничење директног бљештања од светиљке подразумева ограничење њене сјајности у правцу очију посматрача. Ипак, негативан ефекат који изазива бљештање светиљке не зависи само од њене сјајности, већ и од

сјајности непосредног окружења (ефекат је утолико мањи, уколико је она већа).

Једна од важних улога светилке је да смањи бљештање извора. На ограничење бљештања пре свега утиче повећана површина кроз коју се емитује светлост извора, а затим и делови светилке који на разне начине усмеравају светлост (рефрактори, дифузори, штитници,...). Адекватним позиционирањем светилке такође се може постићи да бљештање буде смањено или елиминисано у видном пољу посматрача.

Рефлектовано бљештање настаје рефлексijом светлости од површине коју карактерише усмерена рефлексija. Највеће рефлектовано бљештање у амбијентима изазива рефлексija светлости од металних или стаклених фасада објеката или урбаних елемената.

Приликом осветљавања објеката са прозорима или другим усмерено рефлектујућим површинама, светилке треба тако позиционирати да не дође до појаве њихових рефлектованих одраза.

### **2.3.1.8. Смер упада светлости и сенке**

На истицање објеката и површина у великој мери утичу смер упада светлости и сенке које зависе од положаја и карактеристика светилки. Природна светлост стиже одозго и, састављена од дифузне и усмерене компоненте, ствара идеалне сенке које омогућавају да јасно видимо и разликујемо предмете у окружењу. Ситуација са осветљењем фасада битно је другачија, јер је светлост рефлектора концентрисана и најчешће усмерена навише. У амбијенталном осветљењу посебну пажњу треба посветити поништавању или ублажавању естетски неприхватљивих сенки.

### 2.3.1.9. Изглед светиљке и њена компатибилност са окружењем

Утисак о неком простору стиче се на основу облика, материјализације и распореда елемената који се у њему налазе (канделабри, светиљке, скулптуре и др.), као и на основу њихових међусобних односа. Сваки елемент може да представља визуелни знак који олакшава оријентацију у простору. Важно је да су светиљке у складу са амбијентом и атмосфером која се жели постићи. Светиљке могу представљати и сметњу у видном пољу, посебно када непотребно одвлаче пажњу.

Изглед светиљки је посебно значајан током обданице. Осим облика и величине, значајна је и боја њихових видљивих делова. Колико год да је бесмислено бирати светиљке искључиво на основу њиховог изгледа, једнако је бесмислено занемарити ефекат који ће њихов изглед произвести.

На сликама 2 и 3 приказане су две светиљке које се код нас примењују за осветљење амбијената.



**Слика 2.** Метал-халогена светиљка за амбијентално осветљење (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))



**Слика 3.** LED светиљка за амбијентално осветљење (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))



### **2.3.2. Аспекти амбијенталног осветљења који утичу на његов квалитет**

За разлику од светлосног загађења, здравствени, еколошки, енергетски и економски аспект амбијенталног осветљења не утичу непосредно на субјективни доживљај амбијента. Међутим, наведене аспекте је неопходно узети у обзир при оцени квалитета амбијенталног осветљења.

#### **2.3.2.1. Здравствени аспект**

Превелико излагање ока светлости са изразитом компонентом плаве боје изазива фотохемијске лезије, које настају услед интеракције “плаве светлости” са ћелијама пигмента епителијума (дела жуте мрље). Резултат тих интеракција је производња великих количина токсичних слободних радикала, који повећавају ризик од тзв. оксидационог стреса (уништава ћелије жуте мрље која је одговорна за централно виђење). Овакви негативни ефекти су много вероватнији код деце, јер су код њих оба заштитна механизма која поседује око одрасле особе значајно ослабљена: очно сочиво детета, које још увек није добило жуту нијансу, не успева да апсорбује зрачење у области плаве боје, а ни жута мрља не поседује довољно пигмената за апсорпцију плаве светлости. Плава светлост може појачати и такозвану старачку дегенерацију жуте мрље, која се уобичајено јавља код особа старијих од 50 година (обично се испољава као неспособност да се чита и препознају лица).

Европска норма EN 62471 (CEN, 2008), која се бави фотобиолошким (термичким и фотохемијским) ефектима извора светлости, дефинише максимална дозвољена излагања зрачењима која производе конвенционални извори светлости. Према фотобиолошком ризику који изазивају, исти стандард изворе светлости сврстава у четири групе:

- групу ризика 0 (не изазивају фотобиолошки ризик),

- групу ризика 1 – мали ризик (не достижу се максимално дозвољена излагања),
- групу ризика 2 – средњи ризик (не изазивају ефекте који су последица веома великих сјајности извора светлости или термичких деловања), и
- групу ризика 3 – велики ризик (могући су сви негативни ефекти, чак и при тренутним или краткотрајним излагањима ока светлости таквих извора).

Употреба LED пакета беле боје, због присуства компоненте плаве боје велике емисионе моћи у њиховом спектру, као и због велике сјајности LED пакета (који се, због веома малих димензија, називају и тачкасти извори светлости), може да представља ризик по здравље људи. Спектар LED пакета беле боје простире се од плавог до жутог подручја, али са значајним процентом компоненте плаве светлости, који не постоји код конвенционалних извора светлости. Сјајности појединачних LED пакета, које су реда  $10^7 \text{cd/m}^2$ , најмање су хиљаду пута веће од оних које се срећу код конвенционалних извора.

Ако се узме у обзир чињеница да како LED, тако и метал-халогени извори светлости (код којих такође постоји приметна компонента плаве светлости) припадају групи ризика 2, може да се закључи да садашњи производи LED технологије који се користе у јавном осветљењу углавном не представљају повећани ризик од појаве фотобиолошких ефеката. Међутим, свакако треба пратити развој LED технологије и не дозволити да се производи који се сврставају у групу ризика 3 појаве на нашем тржишту. Чињеница да су LED пакети хладно-беле боје, иако енергетски најефикаснији од свих LED пакета беле боје, најнеповољнији са аспекта фотобиолошког ризика, представља додатни разлог да овакве изворе светлости не треба примењивати у јавном осветљењу (основни разлог је њихова неприхватљива, хладна боја светлости).

### **2.3.2.2. Еколошки аспект**

Еколошки аспект се односи како на хемијски садржај извора светлости и материјала од којих су израђене светиљке, тако и на енергетску ефикасност светиљки, од које зависи потрошња електричне енергије, за чију производњу, не само у Србији, електране које користе фосилна горива учествују са око 70% (сваки уштеђени kWh тако произведене електричне енергије у Европи значи око 0.46 kg мање емитованог угљен-диоксида).

Чињеница да не садрже живу заиста представља предност LED извора светлости, иако јој се придаје већа пажња него што заслужује (количина живе у свакој класичној сијалици која се користи у урбаном осветљењу по правилу је мања од 10 mg). Неки LED чипови садрже арсен, који је такође токсичан, али опет у количинама које су занемарљиве. Метали који се могу наћи у LED чиповима и светиљкама (цинк, германијум, бакар,...) такође не представљају посебну опасност, јер су LED светиљке, као и остала електронска опрема, погодне за рециклирање. Материјали који доминантно учествују у маси LED светиљки (алуминијум и стакло) такође се лако рециклирају. Сви водећи произвођачи LED технологије истичу да њихови производи испуњавају захтеве ROHS директиве (ROHS, 2011), што потврђују извештаји овлашћених лабораторија.

Посебно треба истаћи да висока енергетска ефикасност LED светиљки, као и чињеница да њихова светлост може да се пригушује оптимално и енергетски ефикасно, представљају значајне предности LED технологије са еколошког аспекта.

### **2.3.2.3. Енергетска ефикасност**

Глобално загревање планете довело је до тога да и у амбијенталном осветљењу треба водити рачуна о енергетској ефикасности, која подразумева употребу енергетски ефикасних извора светлости, као и

светиљки са оптимално конструисаним оптичким деловима и високим степеном механичке заштите (најмање IP65). Треба размотрити и употребу уређаја за регулацију светлости, као и искључивање инсталације осветљења у касним ноћним сатима.

#### **2.3.2.4. Економски аспект**

Почетна цена инсталације осветљења често није адекватан показатељ њене исплативости. Из тог разлога се користи метода актуелизације трошкова, која узима у обзир не само почетне (инвестиционе) трошкове, него и трошкове за утрошену електричну енергију и одржавање инсталације осветљења током њеног животног века (видети поглавље 4.2.2).

#### **2.3.2.5. Светлосно загађење**

Постоје три компоненте светлосног загађења – сијање неба, светлосно прекорачење и бљештање, које се по правилу наводе тим редом. Међутим, треба истаћи да је ефекат бљештања у амбијенталном осветљењу најзначајнији.

**Сијање (сјај) неба изазивају зрачења** која припадају и видљивом и невидљивом делу спектра која се после рефлексије од честица атмосфере усмеравају према површини Земље. Разликују се:

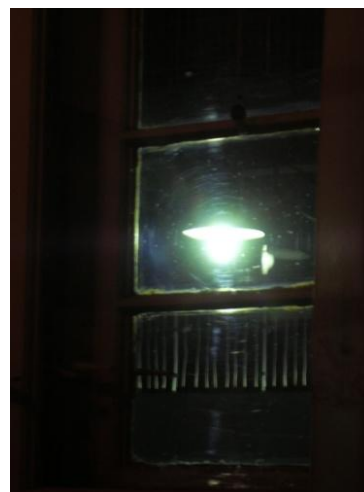
- природни сјај неба – компонента сјаја неба која потиче од исијавања небеских тела и луминисцентних процеса у горњем делу Земљине атмосфере, и
- вештачки сјај неба – компонента сјаја неба која потиче од вештачких извора исијавања (какви су, на пример, светиљке јавног осветљења које емитују светлост изнад хоризонтале, али и површина Земље која рефлектује светлост светиљки усмерену према њој).

Сијање неба се обично манифестује помоћу наранџасте светлости на небу (слика 4), која се може видети изнад многих градова. Оно не представља само локалну појаву, већ се може видети и са растојања од неколико десетина километара, често досежући до мрачних руралних крајева. Наранџаста боја на небу најчешће потиче од светлости натријумових сијалица.



Слика 4. Пример сијања неба изнад града (LRC, [www.lrc.rpi.edu](http://www.lrc.rpi.edu))

Светлосно прекорачење је појава код које светлост коју емитују светиљке прелази границе области за коју је светлосна инсталација пројектована (као на слици 5). Оваква појава се назива и „расипање светлости“. Основни извор расипања светлости је спољашње (јавно) осветљење. Процена светлосног прекорачења је увек субјективна, зато што се различито дефинише где, када и колико је светлости непожељно.



Слика 5. Драстичан пример светлосног прекорачења: улична светиљка снимана из стана (лична документација аутора)

Бљештање је објашњено у напред изложеном поглављу 2.3.1.7. као један од фактора квалитета амбијенталног осветљења.

### **2.3.3. Извори светлости погодни за амбијентално осветљење**

За амбијентално осветљење, од доминантног значаја су две карактеристике спектра извора – боја светлости и репродукција боја. Већина доступних извора светлости није адекватна за осветљење урбаних амбијената. Иако их карактеришу пријатна боја светлости и одлична репродукција боја, инкандесцентни извори светлости се не користе у амбијенталном осветљењу, јер су изузетно енергетски неефикасни и имају веома кратак век трајања (само 1000 сати, због чега би их требало мењати чак четири пута годишње). Живини извори високог притиска су такође неадекватни, јер их карактеришу скромна енергетска ефикасност и лоша репродукција боја. Осим боје светлости, репродукције боја и енергетске ефикасности, критеријуми за избор извора светлости адекватних за амбијентално осветљење су и њихов облик и величина. Због чињенице да представљају дугачке линеарне изворе светлости, флуо цеви се веома ретко употребљавају за осветљење спољних простора. Компактни флуо извори светлости такође се ретко користе у амбијенталном осветљењу, јер се израђују за мале снаге.

За опште амбијентално осветљење и даље се најчешће користе метал-халогени и натријумови извори светлости високог притиска, од којих су први адекватни, а други (због веома лоше репродукције боја) неадекватни за осветљење урбаних амбијената. Последњих година, LED извори светлости се све више користе за опште амбијентално осветљење.

Поред LED технологије, за посебне ефекте у спољном осветљењу користи се и ласерска техника.

#### **2.3.3.1. Метал-халогени (метал-халогенидни) извори светлости**

Вишегодишњи покушаји да се побољшају својства репродукције боја и повећа светлосна искористивост живиних извора високог притиска довели су до конструкције метал-халогених извора. Код њих је реализована идеја да

се спектар живиних извора употпуни додатним линијама. У том циљу су у горионик, који је доста краћи од горионика живиних извора, поред аргона и живе убачени халогениди (најчешће јодиди) различитих метала, који по успостављању пуне радне температуре горионика прелазе у гасовито стање. У врелом централном делу горионика долази до разлагања халогенида на метале и халогени елемент, при чему се јонизација преноси на атоме метала.

Неки метали, као што су натријум, талијум и индијум, производе по једну спектралну линију (редом таласних дужина 589, 535 и 435 nm), док други, као што су скандијум и диспрозијум, производе већи број спектралних линија. Има и оних који производе континуалан део спектра (на пример, калај). Различитим комбиновањем халогенида наведених метала могу се добити различити спектри (разних температура боје), значајно бољих особина репродукције боја од оних које карактеришу живине изворе, у односу на које поседују и значајно већу светлосну искористивост (90 – 100 lm/W).

Метал-халогени извори се израђују као извори светлости неутралне беле боје ( $T = 4000 - 4500 \text{ K}$ ) и боје дневне светлости ( $T \approx 6000 \text{ K}$ ). Њихови индекси репродукције боја износе од 65 до 80. Постоје и метал-халогени извори степена репродукције боја<sup>5</sup> 1А ( $R_a > 90$ ), који се најчешће користе за осветљење спортских терена на којима се врше ТВ снимања.

За стартовање и нормалан рад метал-халогених извора неопходан је предспојни уређај, чији део представља игнитор који производи серију веома краткотрајних високонапонских импулса (600 – 700 V), који омогућавају стартовање извора. Време њиховог паљења износи око 3 минута, а време поновног паљења 5 – 10 минута (као код живиних извора). Због тога су развијени и специјални игнитори (са високонапонским импулсима до 60 kV),

---

<sup>5</sup> Степен репродукције боја је величина која зависи од индекса репродукције боја. За амбијентално осветљење су најпогоднији извори светлости степена репродукције боја 1А ( $R_a \geq 90$ ) или 1Б ( $80 < R_a < 90$ ), које карактерише одлична, односно веома добра, репродукција боја.

који обезбеђују скоро тренутно (поновно) стартовање (најчешће се примењују за осветљење значајних спортских објеката).



(a)

(б)

Животни век метал-халогених извора износи око 8000 h. Израђују се за снаге до чак 3500 W, са спољним балоном у облику елипсоида (са флуоресцентним слојем) или, што је чешћи случај, у облику провидне цеви (слика б).

**Слика 6.** Различите верзије метал-халогених извора (у облику елипсоида (а) и провидне цеви (б)) (Костић, 2000)

Пре двадесетак година конструисани су метал-халогени извори са керамичким гориоником, топло-беле и неутралне беле боје светлости. У поређењу са класичним метал-халогеним изворима (са гориоником од кварцног стакла), они поседују следеће предности:

- имају 5 – 10% већу светлосну искористивост,
- карактерише их боља репродукција боја (степен 1Б), и
- током целог животног века карактерише их стабилна боја светлости (док температура боје класичних метал-халогених извора током експлоатације може да одступа  $\pm 600$  K од декларисане вредности (због чега може да доминира розе или зелена нијанса боје), њено одступање у случају метал-халогених извора са керамичким гориоником износи само  $\pm 150$  K).

Напоменимо да се метал-халогени извори са керамичким гориоником израђују за релативно мале снаге (35 – 250 W), тако да представљају врсту



компактних метал-халогених извора. Пошто могу да раде и са предспојним уређајима конструисаним за натријумове изворе високог притиска, све се више користе као њихова замена у постојећим светиљкама (тима значајно може да се побољша квалитет амбијенталног осветљења, претходно неадекватно изведеног помоћу натријумових извора, које карактерише лоша репродукција боја).

### **2.3.3.2. LED извори светлости (Костић, 2012)**

Кристал који се састоји од полупроводног материјала р-типа и полупроводног материјала n-типа који имају заједничку додирну површину назива се диода. Још је 1907. године примећено да поједине диоде емитују светлост ако се прикључе на извор једносмерне струје (тзв. Light Emitting Diodes – LEDs).

Полупроводни р-п спој (диода, LED чип) увек се поставља у пластичну капсулу, чиме се образује LED пакет. Један од значајних параметара LED чипа је максимална дозвољена радна температура, јер при температурама већим од максималне долази до разарања пластичне капсуле, а тиме и LED пакета. Пластична капсула може да буде дифузна, када обезбеђује емисију светлости у свим правцима, а може да буде и провидна, када се усмеравање светлости врши уз помоћ сочива које окружује капсулу, односно LED пакет (сочива представљају тзв. секундарну оптику светиљке). Да би се обезбедила заштита светиљке од продора чврстих честица и воде, сем секундарне оптике (сочива) на појединим светиљкама се изводи и тзв. терцијарна оптика, коју представља протектор израђен од стакла или провидне пластике отпорне на сунчево ултраљубичасто зрачење.

Иако су истраживања са LED чиповима започета још пре пола века, тек 1990. године учињен је одлучујући напредак који је омогућио масовнију примену LED технологије у јавном осветљењу. Тада је конструисан LED чип плаве боје (blue – B), који је, са до тада развијеним чиповима црвене (red – R) и зелене

боје (green – G), употпунио скуп три основне боје чијом се комбинацијом могу добити скоро све боје спектра. Комбинацијом та три чипа (RGB) добијена је бела боја, која је била неопходна за реализацију циља да LED технологија доминира у области осветљења. Уз то, LED чип плаве боје представљао је основни елемент за добијање LED пакета беле боје, коме се од почетка тежило. Наиме, премазом унутрашње стране капсуле са LED чипом плаве боје специјалним луминисцентним супстанцама које обезбеђују добијање преосталих боја спектра, произведен је LED пакет беле боје, веома добре репродукције боја. У почетку га је карактерисала висока температура боје (LED пакет хладне боје). Међутим, убрзо су реализовани и LED пакети неутралне беле и топло-беле боје, погодни и за примену у јавном осветљењу.

Водећи произвођачи LED чипова генерално декларишу животни век чипа (50 – 60 хиљада сати) као време за које његов светлосни флуks опадне на 80% почетне вредности.

Недавно су водећи произвођачи LED пакета објавили да комерцијално расположиви LED пакети неутралне беле боје најновије генерације обезбеђују светлосну искористивост од око 125 lm/W (у последње две године она је повећана чак 25%), док код LED пакета топло-беле боје она износи око 100 lm/W. Ако се настави постојећи тренд драматичног повећања светлосне искористивости LED пакета беле боје, очекује се да ће се ускоро достићи 260 – 300 lm/W, колико износи процена максимума који се може „извући“ из полупроводничке технологије.

Иако се највећа светлосна искористивост постиже са LED пакетима хладне боје, они нису адекватни за осветљење улица и пешачких стаза.

Обавезан део сваке LED светиљке представља LED драјвер чија је улога слична улози електронских баласта који се користе код класичних светиљки са натријумовим или метал-халогеним изворима светлости. Животни век квалитетног LED драјвера износи 3 – 5 година, због чега је неопходно да се он

неколико пута замени у току експлоатационог века LED светиљке. Потрошња драјвера износи око 10% укупне потрошње светиљке.

LED извори светлости представљају скоро идеално решење у инсталацијама са честим укључењима (искључењима) и променама светлосног флукса светиљки. Честа укључења (искључења) не утичу неповољно на њихов животни век, а номиналан светлосни флукс достижу за мање од једне милисекунде.

Пракса је показала да, за разлику од осталих типова извора светлости, способност LED пакета да верно репродукују боје предмета не може довољно добро да се представи помоћу индекса репродукције боја. Он се, у недостатку адекватнијег бројног показатеља, ипак користи, уз напомену да се трага за новом методом за оцену квалитета LED извора светлости са аспекта верности репродукције боја, која ће њима бити боље прилагођена.

Иако произвођачи LED пакета тврде да њихову светлост, због живих, засићених боја, карактерише одлична репродукција боја, то треба узети са резервом. Тако један од водећих произвођача LED пакета (Cree, [www.cree.com](http://www.cree.com)) објављује да типични LED пакети беле боје намењени уличном осветљењу ( $T = 4000 - 5300 \text{ K}$ ) имају индекс репродукције боја од само 75. Иако се израђују LED пакети са побољшаним особинама репродукције боја, треба нагласити да свако побољшање репродукције боја смањује светлосну искористивост LED пакета.

Здравствени и еколошки аспекти употребе LED светиљки обрађени су у поглављима 2.3.2.1. и 2.3.2.2, респективно.

Треба нагласити да је регулација светлосног флукса у случају LED светиљки енергетски ефикаснија него у случају класичних светиљки, зато што светлосни флукс и снага LED светиљке опадају за приближно исти проценат (у случају натријумових и метал-халогених светиљки већи је проценат

редукције светлосног флуksа од процента редукције снаге светиљке). Наглашава се да се редукцијом светлосног флуksа не мења боја светлости LED извора (боја светлости натријумових извора постаје све ближа наранџастој боји).

Пошто је могућа редукција светлосног флуksа сваког LED пакета, могућа је и редукција његовог светлосног интензитета, која се врши за исти проценат. Дакле, промена светлосног интензитета RGB LED светиљки, без промене боје светлости, врши се тако што се светлосни флуks сваког LED пакета смањи за исти проценат. Различитим редукцијама светлосног флуksа LED чипова црвене, зелене и плаве боје (RGB) могуће је постићи бесконачно много различитих боја светлости RGB LED светиљки.

Захваљујући бројним предностима у односу на конвенционалне светиљке (релативно мале димензије и усмерени светлосни снопови LED рефлектора, широк дијапазон температуре боје и веома добра репродукција боја LED извора светлости, могућност производње светлости било које боје и динамично осветљење), LED светиљке постају незаменљиве у архитектонском урбаном осветљењу.

Монохроматска LED светлост оставља ефектан утисак само ако се примењује за осветљавање неутралних површина без значајних архитектонских вредности. Адекватна је и за осветљавање мањих површина, и то као акценат.

LED извори пружају најбоље могућности за креирање динамичних светлосних ефеката. При томе треба имати у виду да динамично осветљење углавном смета људима у непосредном окружењу, због чега га, ако је дуготрајно, треба примењивати на изолованим објектима. Међутим, уколико динамично осветљење карактеришу споре промене боје или интензитета светлости, оно може да буде прихватљиво и у гушће насељеним срединама.

Скоро је потпуно извесно да ће се у уличном осветљењу LED технологија масовно примењивати већ у скорој будућности, јер се готово свакодневно, применом нових технолошких и техничких решења, значајно поправљају све релевантне карактеристике LED извора светлости (светлосна искористивост, животни век, боја светлости, верност приказа боја,...). Уз то, приметан је и тренд опадања цене LED светиљки.

### **2.3.3.3. Ласери**

Ласер се састоји из три основна дела:

- цевчице са гасом који емитује светлост,
- пројектора који формира веома узак сноп светлости, и
- компјутера којим се контролише перформанса.

Ласерска цевчица испуњена аргоном емитује светлост у деловима спектра плаве и зелене боје, док цевчица са криптоном емитује светлост црвене боје.

Ласере треба примењивати само у посебним и ретким приликама спектакла, независно од тога да ли се користе за пројектовање одређених слика или порука, или за производњу уских светлосних снопова који се, усмерени према небу, крећу кроз простор.

Пошто енергија сконцентрисана у веома уском снопу светлости може да оштети мрежњачу ока, неопходно је да минимална растојања између снопа светлости и људи износе:

- 3 m вертикално, и
- 2,5 m хоризонтално.

## **2.4. Анализа изведеног амбијенталног осветљења на примеру трга, парка и шеталишта**

### **2.4.1. Трг Gordon у Woolwich-у (Lines of light, [www.lighting.co.uk](http://www.lighting.co.uk))**

Пројекат осветљења трга Gordon у Woolwich-у (Велика Британија) имао је за циљ да од трга који је био запуштен, ретко посећиван и од стране корисника оцењиван као небезбедан, креира трг који ће становници радо користити на разне начине. Решење осветљења је требало да испуни како захтеве простора трга, тако и специфичне захтеве којима би се остварила његова мултифункционалност.

Пре реконструкције, док је трг био запуштен, због страха од криминала градске власти су повећале ниво осветљености ивичних улица трга, који је на тротоару достигао чак 120 lx, при чему је простор слабо осветљеног трга у тим условима изгледао изузетно непривлачно и небезбедно.

Новопројектовани трг (слика 7) садржи два дела, од којих један има одлике парка, јер у њему доминирају зелене површине између којих су формиране стазе ширине 2 m, на чијим се ивицама налазе клупе за седење. У централном делу трга формиран је простор у виду амфитеатра који се спушта ка најнижем делу трга предвиђеном за окупљања и организовање специјалних догађања и спектакала.



Слика 7. Ново урбанистичко решење трга (Woolwich squares, [www.volkerhighways.co.uk](http://www.volkerhighways.co.uk))

Ново решење осветљења трга подразумевало је комбинацију два основна елемента – рефлекторског осветљења са стубова висине 15 m и линеарних светиљки смештених испод камених клупа, које су ограничавале зелене површине и дефинисале путање кретања. Изабрана је LED инсталација осветљења, при чему су на стубовима инсталирани извори светлости температуре боје 5000 K, а под клупама извори нешто топлије боје ( $T = 4000 \text{ K}$ ).

Циљ високо постављених рефлектора био је да се поред општег осветљења креирају и сенке дрвећа на стазама, којима се остварује ефекат драме.

Линеарне LED светиљке постављене су дуж свих разделних ивица између зеленила и стаза између којих постоји висинска разлика. На тим местима су формиране клупе испод којих су у изведеним улегнућима постављене светиљке (на тај начин се светиљке штите од вандализма). Ово је било могуће због чињенице да је пројекат осветљења рађен истовремено са реконструкцијом трга. Оваквим решењем су обезбеђени лако одржавање светиљки и једноставна замена извора светлости. Светиљке су усмерене на горе, тако да на стазу стиже рефлектована светлост. Међутим, пошто су клупе ниске, рефлектована светлост допире само до тачака које се налазе близу ивице стазе (слика 8).



Слика 8. Линеарно осветљење (Lines of light, [www.lighting.co.uk](http://www.lighting.co.uk))

Линеарне светиљке су постављене и на местима денивелације централног дела трга. Тиме је денивелација постала лако уочљива, али је и наглашена у естетском смислу, чиме је истакнута идеја формирања дела трга у виду амфитеатра.

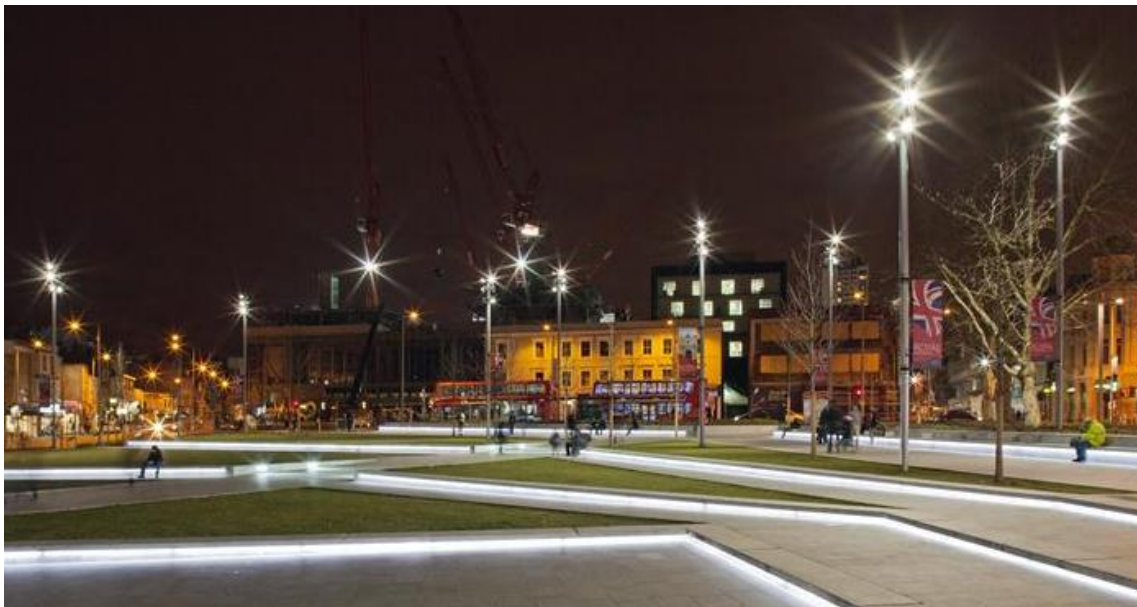
На стази која води ка најнижем, главном делу трга, а која је уочена као најважнија, постављене су светиљке у вертикалним зидићима, са обе стране стазе. Оне на три места образују по две јаке осветљене линије које се простиру целом дужином стазе, чиме се она издваја од осталих стаза.

Слике 8 и 9 показују да је равномерност осветљености добра. Она је на стазама остварена помоћу великог броја рефлектора (чак 6 рефлектора по стубу), који су, уз то, постављени на великој висини и различито усмерени. Иако равномерност осветљености стаза ремете сенке дрвећа, оне нису изражене због чињенице да је већи део стаза осветљен са више страна, тако да су добијене благе сенке које стварају пријатан ефекат.

Вођено је рачуна и о вертикалној осветљености која је постигнута рефлекторима, тако да је распознавање лица на стазама лако, што код корисника трга ствара осећај сигурности. Томе доприноси и чињеница да



осветљење није локализовано само на стазе, већ су осветљене и зелене површине.



Слика 9. Мешање беле и жуте светлости (Lines of light, [www.lighting.co.uk](http://www.lighting.co.uk))

Пошто се ради о рефлекторима који су постављени на великој висини, морали су да садрже изворе великих снага како би се постигао задовољавајући ниво осветљености. Уз то, одабрани су рефлектори са LED чиповима који дају усмерену светлост, тако да је скоро сигурно да постоје делови трга у којима је бљештање неприхватљиво (слика 9), што је карактеристика решења осветљења трга са малог броја позиција.

Осветљење великих површина са велике висине представља енергетски ефикасно решење, а LED светиљке имају како енергетску, тако и еколошку предност у односу на светиљке са конвенционалним изворима светлости.

Пројектанти решења новог осветљења трга успели су да убеди градске власти да постојеће, вероватно живине или натријумове, изворе светлости у окружењу трга замене метал-халогеним изворима и да смање ниво осветљености околних тротоара са 120 lx на само 10 lx. Ово се показало као

добар потез, јер је трг дошао до изражаја у ноћним сатима, а безбедност и сигурност на тротоарима нису нарушене.

Већина објеката који окружују трг осветљена је помоћу натријумових извора, који емитују светлост жуте боје. Ово неповољно утиче на доживљај трга на коме преовлађује неутрална бела боја светлости, јер мешање са позадином изразито жуте боје не обезбеђује леп утисак. Низ од неколико суседних околних објеката осветљен је неутралном белом бојом светлости, због чега је и визура са трга ка тим објектима изузетно привлачна током ноћи (слика 9). Међутим, одсуство хармоније умањује привлачност трга као целине.

Изворе светлости инсталиране на тргу карактерише добра репродукција боја, што је од изузетног значаја због чињенице да је трг место на коме се очекује окупљање великог броја људи, као и да садржи зеленило. За таква места се препоручују извори топло-беле или неутралне беле боје. Због чињенице да је температура боје LED извора светлости у рефлекторима чак 5000 К, што је близу границе хладне боје, описана инсталација се не може сматрати прикладном за осветљење оваквог простора.

## **2.4.2. Парк „Ташмајдан“ у Београду (Ђокић, 2012)**

### **2.4.2.1. Претходно решење осветљења парка „Ташмајдан“ у Београду**

Прво осветљење парка “Ташмајдан” изведено је педесетих година прошлог века помоћу светиљки са сијалицама са ужареним влакном. Карактерисале су га слаба видљивост и изразита енергетска неефикасност, због чега је крајем седамдесетих година извршена реконструкција. (Главни пројекат реконструкције јавног осветљења парка „Ташмајдан“, 1978) Постојеће светиљке су замењене светиљкама са живиним извором високог притиска (HgVP) снаге 125 W. Иако су тада већ постојали натријумови извори високог притиска, значајно ефикаснији од живиних, они се нису примењивали у Србији, тако да је парк “Ташмајдан” осветљен применом живиних сијалица,

које су и по боји светлости и по репродукцији боја боље од натријумових. Пошто су београдски паркови касније по правилу осветљавани помоћу натријумових сијалица, парк “Ташмајдан” је деценијама био један од најлепше осветљених паркова у граду.

Изабране светиљке су биле лоптасте, са опалним пластичним протектором. Пошто су биле великих димензија и дифузно емитовале светлост, бљештање је било потпуно елиминисано, што је представљало важну позитивну карактеристику тог решења. Пречник светиљки је износио 440 mm, због чега су оне биле визуелно упадљиве током обданице. Њихов облик и величина неповољно су утицали на свеукупан утисак, поготову на стубовима на којима су биле инсталиране две (слика 10) или три светиљке.



**Слика 10.** Главно шеталиште парка Ташмајдан (претходно светлотехничко решење)  
(Ташмајдан, [www.casopisgrad.com](http://www.casopisgrad.com))

Изразито неповољну карактеристику тог светлотехничког решења представљала је чињеница да је чак 50% светлости светиљки било усмерено навише. Не само да је енергетска ефикасност тиме била значајно погоршана, него је и светлосно загађење било неприхватљиво. Насупрот овим важним недостацима, може се рећи да су “светлеће кугле” формирале пријатан

визуелни доживљај. Он би био још израженији да су димензије светиљки биле барем за трећину мање.

Неутрална бела боја светлости HgVP сијалица ( $T = 4000\text{ K}$ ) била је мање прихватљива од изузетно пријатне топло-беле боје светлости првобитно инсталираних сијалица са ужареним влакном ( $T \approx 2700\text{ K}$ ). Озбиљан недостатак HgVP сијалица била је и оскудна репродукција боја ( $R_a \approx 40$ ). (Костић, 2000)

Светиљке са HgVP изворима светлости инсталиране су не само на постојећим стубовима, који су задржани, него и на новим стубовима који су пратили постојеће шеталишне стазе.

Укупан број стубова са једном светиљком износио је 121, док је оних са две светиљке било 46, а оних са три светиљке само два.

Само на главној пешачкој стази и на неколико бочних стаза које су се у њу уливале био је примењен двострани наспрамни или цик-цак распоред. На свим осталим стазама стубови су били инсталирани само са једне стране стазе.

Пошто доступан примерак пројекта осветљења парка “Ташмајдан” (Главни пројекат реконструкције јавног осветљења парка „Ташмајдан“, 1978) не садржи фотометријске прорачуне, не постоје квантитативни показатељи о нивоу осветљености појединих стаза. Оно што се може рећи по сећању је да су нивои осветљености били задовољавајући.

Закључак о равномерности осветљености извешће се посредно. Наиме, опште је познато да се у циљу добре равномерности осветљености за светлотехничка решења са HgVP сијалицама захтева да однос растојања између стубова и њихове висине ( $s/H$ ) буде око 3. (Костић, 2000) Пошто су

сви стубови били висине 4 – 4.5 m, и пошто је њихово растојање на главној стази износило 16 – 20 m, равномерност осветљености је у мањој или већој мери била незадовољавајућа (однос s/H износио је 3.5 – 5.0). Још је већа неравномерност осветљености карактерисала неке споредне стазе, код којих је растојање између стубова износило 20 – 26 m (s/H = 5.0 – 6.5).

Значајну предност описаног решења представљала је чињеница да су ротационо-симетричне светиљке омогућавале веома добру осветљеност зелених површина око стаза, због чега је био побољшан осећај сигурности корисника парка.

Није било посебног осветљења дрвећа, споменика и зграде Сеизмолошког завода.

Пошто век трајања HgVP сијалица износи 4000 h, морале су да се мењају сваке године, када су морале и да се чисте светиљке, јер је њихов степен механичке заштите износио само IP54. Дакле, правилно одржавање је било веома захтевно. Пошто пластични протектори светиљки нису поседовали посебна механичка својства, оне су трпеле и последице вандалског деловања.

Укупна инсталисана снага осветљења парка “Ташмајдан” износила је:

$$(125 + 17) W \cdot (121 + 2 \cdot 46 + 3 \cdot 2) = 31098 W \approx 31 kW.$$

#### **2.4.2.2. Ново решење осветљења парка „Ташмајдан” (после реконструкције 2010. године)**

За ново осветљење парка „Ташмајдан” (Главни пројекат за инвестиционо одржавање парка „Ташмајдан” у Београду, 2010) издвојени су следећи значајни критеријуми:

- истицање његове амбијенталне вредности у ноћним условима,
- праћење хијерархије вредности парковских елемената,

- ограничење бљештања,
- ограничење светлосног загађења,
- енергетска ефикасност,
- изглед простора у дневним условима,
- одржавање инсталације осветљења, и
- редукација штетних ефеката могућег вандалског деловања.

Осветљење главне променаде парка изведено је тако да су постигнути већи ниво и равномерност осветљености од оних који карактеришу остале парковске стазе. Клупе у парку су тако распоређене да може да се изабере осветљено место или оно у сенци. Осветљење дрвећа доприноси квалитету ноћног амбијента, и то не само дрвећа на потезу главне променаде, него и оног у тамнијим деловима парка.

Због очувања амбијенталних вредности, за осветљење парковских стаза одабране су светиљке *Modullum* инсталиране у оквиру стуба (слика 11). Пошто светлост треба да остави пријатан утисак на пролазнике, предвиђени су метал-халогени извори са керамичким гориоником (снаге 70 W), топло-беле боје светлости (3000 K), одличне репродукције боја и стабилне температуре боје. Стубови на главној променади су висине 5 m, док су на осталим стазама парка висине 4 m (укупна висина са модулима). На врху стуба се налази модул истог пречника као стуб (168 mm). Укупан број стубова за осветљење главне променаде и осталих стаза у парку износи 139.

Дечја игралишта и простор за спортске активности – теретана на отвореном осветљени су помоћу 10 стубова, од којих 4 садрже по две светиљке, а 6 по једну светиљку (све светиљке су такође типа *Modullum*, а свака садржи оптички блок у коме се налази метал-халогена сијалица снаге 70 W, са керамичким гориоником). Светиљке у оквиру истог стуба су различито усмерене, под међусобним углом од 60° у хоризонталној равни, тако да светлост покрива целу површину којој је намењена.



**Слика 11.** Изглед нове светиљке (*Modullum*) интегрисане у стуб (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))

Иако је простор за псе првобитно био изван оквира предвиђених за интервенцију, у оквиру њега су постављена два стуба са по две светиљке типа *Citea*, свака са метал-халогеним извором светлости са керамичким гориоником снаге 100 W (слика 12).



**Слика 12.** Светиљка *Citea* (Minel Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))

Уз Булевар краља Александра инсталирано је 11 светиљки које су намењене осветљењу тротоара. Оне су типа *Citea Mini* (уклапају се у постојеће улично осветљење). И оне су са метал-халогеним сијалицама снаге 70 W, са керамичким гориоником. Стубови за те светиљке су висине 5 m, истог типа и попречног пресека као стубови *Modullum*.

Изабрано дрвеће у парку осветљава се светиљкама типа *Terra Maxi* (њихове светлеће површине су у равни терена), које су усмерене ка крошњама (њихов укупан број износи 54). Светиљке које садрже метал-халогене сијалице снаге 70 W намењене су осветљењу вишег дрвећа, док су светиљке са сијалицом снаге 35 W намењене осветљењу сребрних јела које су засађене иза два споменика. Осветљење сребрних јела представља позадину за споменике, који су такође осветљени и са зеленилом у позадини остварују контраст у боји.

Осветљење споменика је предвиђено са терена, помоћу 4 рефлекторске светиљке типа *Focal* и 5 светиљки типа *Terra Maxi*. За ову сврху су предвиђени метал-халогени извори светлости различитих снага (70 и 35 W), због бољег моделовања скулптура.

Све светиљке у парку садрже изворе светлости топло-беле боје (3000 K) и одличне репродукције боја.

Микролокација светиљки које су намењене осветљењу дрвећа и скулптура одређена је на лицу места. Боја свих стубова и светиљки је *RAL Agzo grey 900 sanded*, а изабрана је због своје неупадљивости.

#### **2.4.2.2.1. Анализа новог светлотехничког решења (Ђокић, 2007)**

У намери да светиљке буду што мање приметне у дневним условима, конструисани су стубови са оптичким блоком при врху, код којих светиљка не излази изван габарита стуба (слика 11). Пројектанти осветљења парка “Ташмајдан” определили су се за овакво решење, које је први пут примењено у Србији. Пошто је постојање оптичког блока у оквиру стуба условило повећање пресека стуба, постоје и мишљења да је класично решење са светиљком одвојеном од стуба естетски прихватљивије.



На првим пробама је закључено да је бљештање превелико, због чега је од произвођача стуба захтевано да изврши пескирање протектора и спусти сијалицу у оквиру оптичког блока. Тиме је бљештање редуковано на прихватљив ниво (слика 13). Међутим, негативну страну конструктивних прилагођавања представља смањење доприноса сваке светиљке нивоу и равномерности осветљености пешачких стаза, чија је последица редуција енергетске ефикасности решења.



**Слика 13.** Приказ низа светиљки са прихватљивим, иако приметним бљештањем  
(Beobuild/forum, [www.beobuild.rs](http://www.beobuild.rs))

Прорачуни показују да је равномерност осветљености задовољавајућа, што је могло и да се очекује пошто су задржане позиције стубова (висине 4 – 5 m) и пошто уобичајен однос  $s/H$  за светиљке са метал-халогеним изворима износи 5. (Костић, 2000)

Главно шеталиште карактерише добра равномерност осветљености, што не важи за све споредне стазе. Неки делови појединих стаза (поготову на местима њиховог укрштања) веома су слабо осветљени. Најчешћи разлог представља чињеница да су на местима укрштања постављени стубови са по

једном светиљком, која је оријентисана у односу на само једну стазу. Иако због спорог кретања у парку није неопходно да стазе буду равномерно осветљене, важно је да због осећаја сигурности нема мрачних делова стаза.

Прилог А садржи резултате фотометријских прорачуна за главно шеталиште. Пошто његов ниво осветљености износи 17 lx, а минимална хоризонтална осветљеност 3 lx, испуњени су захтеви светлотехничке класе Р2 (ниво осветљености 10 lx и минимална хоризонтална осветљеност 3 lx). (Костић, 2000) Светлотехничка класа Р2 је одговарајућа за парк “Ташмајдан” с обзиром на велики број пешака који се истовремено могу наћи на главном шеталишту.

Примењени метал-халогени извори са керамичким гориоником емитују светлост топлог тона која креира изузетно пријатан амбијент. Овоме треба додати и да те изворе карактерише одлична репродукција боја, која их такође препоручује за парковско осветљење.

Светлост оптичких модула је усмерена на површине стаза, због чега је њихово окружење у мраку или је, као у случају двостраног распореда стубова на главној променади, слабо осветљено. Тиме се постиже извесна драматика, која је прихватљива за градске паркове. Уз то, штеди се енергија и обезбеђују мрачне оазе погодне за живи свет чије је станиште парк. Међутим, с обзиром на то да је већи део зелених површина у мраку, парк изгледа помало суморно и сиво.

Да би се разбила монотонија већих мрачних површина са вегетацијом, као и да би се истакло посебно интересантно дрвеће, издвојено је неколико усамљених дрвета велике висине, као и неколико група дрвећа, који су посебно истакнути осветљењем. Атрактиван ефекат је постигнут осветљењем различитих врста дрвећа, па су тако поред великих платана са зеленим листовима осветљене и шљиве са лишћем црвене боје, као и сребрне

јеле, црни борови и липе (слика 14). Овде долази до изражаја одлична репродукција боја примењеног осветљења.

Пројектом реконструкције парка била су предвиђена само два дечја игралишта (велико и мало) и теретана на отвореном. Међутим, касније је направљено још једно игралиште, које је изведено насупрот малом дечјем игралишту. Сва три игралишта су осветљена помоћу светиљки у стубовима лоцираним по ободу игралишта, од којих сваки садржи једну или две светиљке. Док је ниво осветљености великог дечјег игралишта задовољавајући, нивои осветљености преостала два игралишта и теретане не могу се сматрати одговарајућим.



**Слика 14.** Осветљење одабраног платана (лична документација аутора)

Простор за псе је окружен улицом Булевар краља Александра и окретницом трамваја, који су осветљени светиљкама типа *Citea mini*, тако да је избор светиљки типа *Citea* за осветљење простора за псе потпуно оправдан. С обзиром на то да је ивична зона посматраног простора осветљена расутом светлошћу светиљки које су намењене осветљењу тротоара Булевара и окретнице, постављањем два стуба са по две светиљке у централном делу овог простора постигнут је прихватљив ниво осветљености и остварен склад са окружењем.

Осветљење споменика Десанки Максимовић изведено је са терена, помоћу три светиљке типа *Terra*. Позиција светиљки је одређена током зимског периода, док није било растиња. Пошто споменик окружује површина предвиђена за озелењавање, током пролећа је засађено цвеће, које једним делом заклања светиљке и смањује ефекат који је осветљење требало да оствари. Иако је осветљење са терена било једино могуће на овом простору,

изостала је сарадња са Градским зеленилом, чиме је делом деградирано замишљено решење.

Осветљење споменика Дон Кихоту изведено је помоћу две светиљке типа *Terra*, са бочних страна споменика. Постигнут је задовољавајући ефекат.

Остали споменици су осветљени помоћу рефлекторских светиљки типа *Focal*, али проблем представља чињеница да њихово усмерење није добро фиксирано. Промене усмерења рефлектора, које врше и корисници парка, у већој или мањој мери деградирају иницијална (пројектна) решења.

Током реконструкције, у парку је осветљен само један објекат – Сеизмолошки завод (слика 15). Његово осветљење је изведено помоћу 6 рефлектора типа *Corus* (са метал-халогеним изворима снаге 70 W). По два рефлектора су лоцирана са предње и задње стране објекта, а по један са



Слика 15. Осветљење зграде Сеизмолошког завода (лична документација аутора)

бочних страна. Пошто се између шеталишта и објекта налази зелени појас, рефлектори су постављени на њему и довољно далеко од објекта, тако да је фасада скоро равномерно осветљена. Ово је могло да се оствари, јер између објекта и рефлектора није предвиђен пролазак посетилаца.

Иако светлосно загађење које потиче од директне светлости светиљки усмерене навише није у потпуности елиминисано, оно је неупоредиво мање него у случају претходног решења осветљења парка.

Одржавање јавног осветљења парка “Ташмајдан” подразумева групну замену извора светлости сваке друге године, када је неопходно и да се оперу

светиљке, иако је њихов степен механичке заштите IP66 (чак IP67 за светиљке укопане у тло које осветљавају дрвеће). Наравно, неопходна је и појединачна замена извора светлости прегорелих између две узастопне групне замене.

Пошто су протектори израђени од каљеног, термички и механички ојачаног стакла, и пошто су њихове димензије много мање од оних које су карактерисале HgVP светиљке, очекују се много мање штете од вандалских активности него у случају претходног осветљења парка.

Укупна инсталисана снага светиљки које осветљавају парковске стазе износи 13.2 kW, што је око 2.3 пута мање него у претходном решењу.

#### **2.4.2.3. Поређење претходног и новог решења осветљења парка „Ташмајдан“**

Квалитетно осветљење парка треба да формира угодан ноћни амбијент. Да би то било могуће, неопходно је да следеће карактеристике осветљења буду свакако задовољене: минималан ниво осветљености, прихватљиво бљештање, пријатна боја светлости и добра репродукција боја. С обзиром на то да су претходно решење осветљења карактерисале неадекватна боја светлости и лоша репродукција боја, оно свакако није представљало адекватно решење осветљења за парк. Ново решење испуњава основне захтеве за квалитетним осветљењем, а уз то је детаљима, попут осветљења споменика и дрвећа, ноћни изглед парка учињен пријатним и занимљивим.

У табели 1 је дат упоредни приказ релевантних карактеристика анализираних решења осветљења парка „Ташмајдан“.

**Табела 1.** Упоредни приказ карактеристика два анализирана решења осветљења парка „Ташмајдан“

Карактеристика осветљења	Претходно решење осветљења	Ново решење осветљења
Тип извора светлости	Живине сијалице високог притиска	Метал-халогене сијалице са керамичким гориоником
Ниво осветљености стаза	Задовољавајући	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Задовољавајући на главној стази</li> <li>• Незадовољавајући на појединим споредним стазама</li> </ul>
Равномерност осветљености стаза	Незадовољавајућа	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Задовољавајућа на главној стази</li> <li>• Незадовољавајућа на појединим споредним стазама</li> </ul>
Боја светлости	Неадекватна – неутрална бела	Адекватна – топло-бела
Репродукција боја	Лоша	Одлична
Бљештање	Неприметно	Мало, али приметно
Енергетска ефикасност	Лоша	Добра
Светлосно загађење	Велико	Знатно редуковано
Еколошки аспект	Сијалице садрже живу	Сијалице садрже живу
Изглед светиљки	Естетски прихватљиве, али због превеликог пречника превише упадљиве	Светиљке су неприметне
Изглед стуба	Неупадљив, класичан	Упадљив, савремен
Групна замена сијалица	Сваке године	Сваке друге године
Могућност вандалских активности над светиљкама	Велика	Сведена на минимум

Слике 16 и 17 показују квалитативну промену ноћног изгледа осветљеног парка „Ташмајдан“.



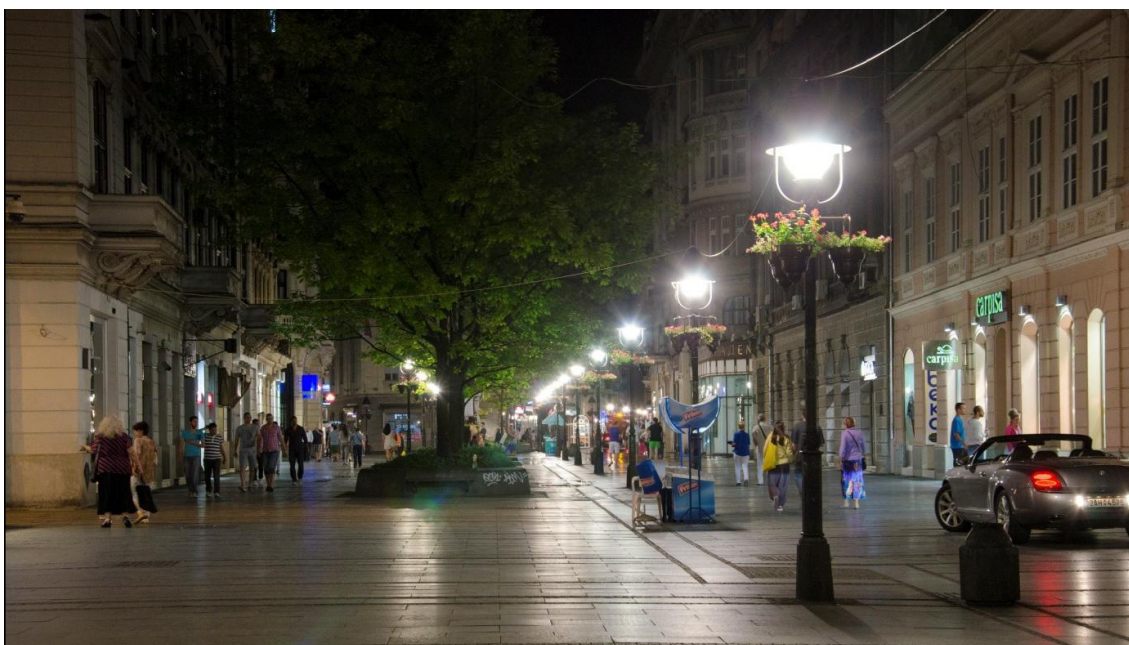
**Слика 16.** Пређашњи ноћни изглед осветљеног парка „Ташмајдан“ (Парк „Ташмајдан“, [www.dipity.com](http://www.dipity.com))



**Слика 17.** Садашњи ноћни изглед осветљеног парка „Ташмајдан“ (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))

### 2.4.3. Кнез Михаилова улица у Београду

Кнез Михаилова улица представља један од најпознатијих амбијената у Београду. Ова пешачка зона и дању и ноћу окупља велики број људи. Осветљење је решено тако што је на средини улице постављен низ декоративних канделабера на међусобном растојању 13 m (слика 18). Канделабер „Кнез Михаилова“ стекао је статус аутентичног градског симбола и заштићеног архитектонског елемента урбане опреме. Својим изгледом, канделабер је употпунио концепт рустичног изгледа пешачке зоне Кнез Михаилове и улепшао једну од најзначајнијих улица у Београду.



Слика 18. Изглед Кнез Михаилове улице током ноћи (документација ЈКП „Јавно осветљење“, Београд)

Канделабер чине гранитни постамент, декоративни канделаберски стуб и декоративна светиљка. У канделабре су најпре били постављени живини извори високог притиска, који су, због енергетске неефикасности и лоше репродукције боја, замењени метал-халогеним изворима снаге 150 W. Међутим, ни ово решење није било задовољавајуће, јер су фотометријска мерења показала недовољни ниво осветљености. Урађена је репарација светиљки где год је то било могуће и уграђене су метал-халогене сијалице



снаге 250 W. На тај начин је добијен ниво осветљености који задовољава потребе интензивног пешачког саобраћаја у најпознатијој београдској улици.

Пошто светиљке не емитују светлост изнад хоризонталне равни, светлосно загађење је занемарљиво. Положај и висина стубова, као и светлосна карактеристика светиљки, обезбеђују да расута светлост осветљава само приземне делове околних зграда, у којима се налазе комерцијални садржаји, што је у складу са препорученим начином осветљавања тргова и пешачких зона. (Костић, 2010)

#### **2.4.4. Табеларни приказ примера са карактеристикама и ефектима изведених решења амбијенталног осветљења**

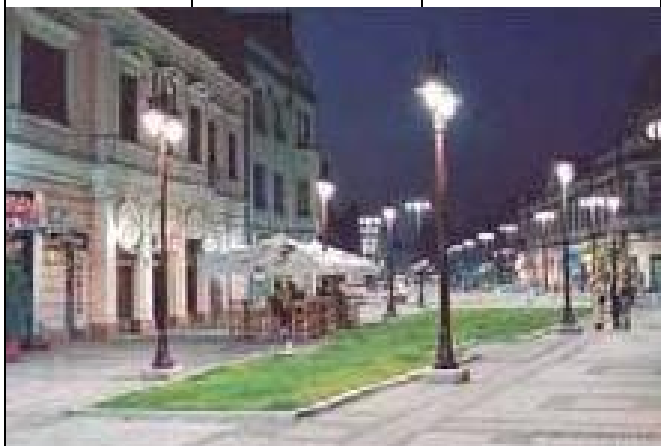
У циљу истицања позитивних и негативних ефеката који се могу јавити у амбијенталном осветљењу, израђене су табеле 2 – 4 у којима су представљени примери осветљења трга, парка и шеталишта, са карактеристикама и ефектима изведених решења.

Табела 2. Примери осветљења трга

Тип урбаног амбијента	Назив и место урбаног амбијента	Примењен тип извора светлости	Опште карактеристике реализованог амбијенталног осветљења	Позитивни и негативни ефекти
ТРГ	Трг Николе Пашића, Београд	метал-халогени (МН) извори са и без керамичког горионика и LED извори у боји	<p>Поред светиљке на врху стуба, са извором снаге 150 W, у сваки стуб су инсталиране још две додатне светиљке са извором снаге 70 W (сви извори са керамичким гориоником).</p> <p>Споменик Николи Пашићу осветљен је помоћу МН светиљки са керамичким гориоником које су у нивоу терена. Фонтана је осветљена помоћу светиљки са МН изворима без керамичког горионика и LED светиљки.</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• добра равномерност осветљености</li> <li>• елиминисано бљештање применом мат протектора</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• уклопљеност светиљки и стубова у амбијент</li> </ul> <p>Негативни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• светиљке у нивоу терена не осветљавају адекватно споменик, јер сноп светлости не допире до горњих делова споменика, па је наглашенији постамент од самог споменика</li> <li>• динамично осветљење фонтане деградира укупан утисак о амбијенту</li> <li>• промена спектра МН извора без керамичког горионика током експлоатације</li> </ul>



<p><b>ТРГ</b></p>	<p>Трг младих, Брчко</p>	<p>метал-халогени (МН) извори са керамичким гориоником</p>	<p>Сваки стуб садржи по две светиљке.</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• добра равномерност осветљености</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• дизајн светиљке је такав да се не повећава сјајност неба</li> <li>• рустични изглед светиљке и стуба уклопљен у историјски амбијент трга</li> </ul> <p>Негативни ефекат:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• због провидног протектора светиљке бљештање је веће од прихватљивог, што је нарочито негативно због чињенице да је трг окружен стамбеним објектима</li> </ul>
-------------------	------------------------------	--	---	---



<p><b>ТРГ</b></p>	<p>Ђачки трг, Крагујевац</p>	<p>натријумови извори високог притиска (NaVP) и метал-халогени (МН) извори са керамичким гориоником</p>	<p>Опште осветљење изведено помоћу светиљки са NaVP изворима (једна или две светиљке по стубу). Осветљење споменика изведено помоћу светиљки са МН изворима у нивоу терена. Фасада објекта испред кога је формиран трг осветљена комбинацијом оба типа извора светлости.</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• задовољавајућа равномерност осветљености</li> <li>• елиминисано бљештање применом мат протектора</li> <li>• рустични изглед светиљке и стуба уклопљен у амбијент трга</li> <li>• добро изабран тип извора светлости (МН), добра позиција и оријентација светиљки за осветљење споменика</li> </ul> <p>Негативни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• превелики ниво осветљености трга због велике снаге NaVP извора</li> <li>• неадекватна (жута) боја светлости NaVP извора</li> <li>• веома лоша репродукција боја делова трга осветљених помоћу NaVP извора</li> <li>• недовољан број стубова на тргу</li> <li>• мешање беле и жуте светлости (пре свега на фасади објекта)</li> </ul>
-------------------	----------------------------------	---	--	---



Табела 3. Примери осветљења парка

Тип урбаног амбијента	Назив и место урбаног амбијента	Примењен тип извора светлости	Опште карактеристике реализованог амбијенталног осветљења	Позитивни и негативни ефекти
ПАРК	Парк Јеловац, Београд	метал-халогени (МН) извори са керамичким гориоником	<p data-bbox="878 820 1196 927">Висок, витак стуб са светиљком са равним протектором</p> 	<p data-bbox="1274 596 1559 624">Позитивни ефекти:</p> <ul data-bbox="1323 639 2007 1015" style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• добра равномерност осветљености</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• неупадљивост светиљки и стубова</li> <li>• дизајн светиљке је такав да се не повећава сјајност неба</li> </ul> <p data-bbox="1274 1023 1552 1050">Негативни ефекат:</p> <ul data-bbox="1323 1066 1912 1129" style="list-style-type: none"> <li>• постојање директног бљештања због провидног протектора</li> </ul>


<p><b>ПАРК</b></p>	<p>Централни парк, Сремска Митровица</p>	<p>метал-халогени (МН) извори са керамичким гориоником</p>	<p>Светиљка интегрисана у стуб.</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• добра равномерност осветљености</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• одлично осветљење дрвећа и споменика, због дифузне светлости</li> <li>• елеминисано бљештање због примене мат протектора</li> </ul> <p>Негативни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• изразито упадљиве светиљке</li> <li>• светлосно загађење</li> </ul>
--------------------	--	--	-------------------------------------	---




<p><b>ПАРК</b></p>	<p>Лимански парк, Нови Сад</p>	<p>метал-халогени (МН) извори са керамичким гориоником</p>	<p>Сваки стуб садржи три различито усмерене светиљке.</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• одлично осветљење дрвећа и споменика, због дифузне светлости</li> <li>• прихватљиво светлосно загађење</li> </ul> <p>Негативни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• лоша равномерност осветљености због усмерених светлосних снопова</li> <li>• велики контрасти, уз присуство тамних површина</li> <li>• веома лоше осветљење дрвећа (светлост усмерена искључиво на пешачке стазе)</li> <li>• изразито упадљиве светиљке</li> </ul>
--------------------	--------------------------------	--	---	--



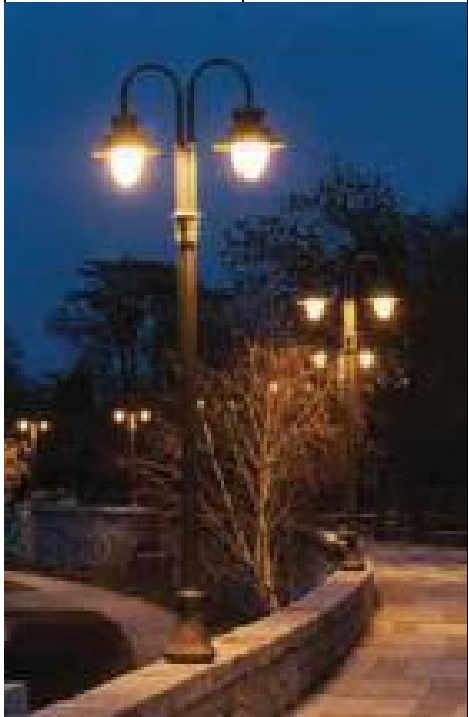
Табела 4. Примери осветљења шеталишта

Тип урбаног амбијента	Назив и место урбаног амбијента	Примењен тип извора светлости	Опште карактеристике реализованог амбијенталног осветљења	Позитивни и негативни ефекти
<p><b>ШЕТАЛИШТЕ</b></p> 	<p>Пешачка зона, Шабац</p>	<p>метал-халогени (МН) извори са керамичким гориоником</p>	<p>Стилизован, висок двокраки стуб са две специјално дизајниране светиљке</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• добра равномерност осветљености</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• добар естетски ефекат стубова и светиљки</li> </ul> <p>Негативни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• присутно бљештање, појачано због малих димензија протектора</li> <li>• лоше осветљење дрвећа (светлост доминантно усмерена на пешачке стазе)</li> </ul>



<b>ШЕТАЛИШТЕ</b>	Шеталиште, Мостар	метал- халгени (МН) извори са керамичким гориоником	<p>Стуб са специјално дизајнираном светиљком</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• добар ниво осветљености</li> <li>• прихватљива равномерност осветљености</li> <li>• адекватна (бела) боја светлости</li> <li>• непроменљивост боје светлости МН извора са керамичким гориоником током експлоатације</li> <li>• одлична репродукција боја</li> <li>• добар естетски ефекат светиљки</li> <li>• неупадљивост стубова</li> <li>• добро осветљење дрвећа</li> </ul> <p>Негативни ефекат:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• присутно бљештање, због провидног протектора и асиметричног дизајна светиљке</li> </ul>
				

<p><b>ШЕТАЛИШТЕ</b></p>	<p>Keј поред Нишаве, Ниш</p>	<p>натријумови извори високог притиска (NaVP)</p>	<p>Стуб са специјално дизајнираном светиљком</p>	<p>Позитивни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• задовољавајући ниво осветљености</li> <li>• задовољавајућа равномерност осветљености</li> <li>• елиминисано бљештање применом мат протектора</li> <li>• рустични изглед светиљке и стуба уклопљен у амбијент</li> <li>• дизајн светиљке је такав да се не повећава сјајност неба</li> </ul> <p>Негативни ефекти:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• неадекватна (жута) боја светлости NaVP извора</li> <li>• веома лоша репродукција боја</li> </ul>
-------------------------	----------------------------------	---	--	--



## 2.5. Смернице за амбијентално осветљење

Као што је већ речено, под амбијенталним осветљењем се подразумева осветљење урбаних амбијената који се налазе у оквиру неког отвореног јавног градског простора (при томе, амбијент може да буде један његов сегмент, а може и да заузима цео простор). Амбијентално осветљење обухвата и осветљење амбијенталних целина.

Допринос осветљења урбаној средини реализује се кроз:

- субјективан осећај сигурности и заштићености, који доприноси ведрој атмосфери и животу у граду (јер смањује страх од криминала и вандализма),
- истицање градских репера и важних саобраћајница, које побољшава оријентацију и безбедност у граду,
- наглашавање идентитета града или његовог одређеног дела, како би се потенцирали одређени квалитети урбаног простора (природне структуре, историјско и архитектонско наслеђе, и колорит),
- ефектне, узбудљиве или префињене светлосне креације које имају за циљ да привуку туристе или пословни свет (осветљење које ствара имиџ), јер се ради о успешном медијуму за промоцију и рекламирање,
- откривање лепоте ноћног амбијента и стварање ефеката који су најчешће различити од дневних доживљаја,
- креирање светлосних инсталација и/или спектакла, који привлаче туристе или истичу културни живот града,
- мотивисаност власника да боље одржавају и чешће чисте фасаде осветљених објеката,
- стварање пријатног амбијента који утиче на грађане, јер генерише осећај добродошлице, топлине, интимности, итд., и
- креирање атмосфере која поспешује социјализацију и људске интеракције. (CIE, 2007)

### 2.5.1. Смернице за осветљење урбаних амбијената

Осветљењем амбијената треба да се формира дух места, наглашавањем постојећег или формирањем новог идентитета. Да би се неки амбијент атрактивно осветлио, неопходно је утврдити елементе локалне специфичности, и то како структуре места, тако и начина на које се оно користи.

Оживљавање градова је термин који се користи за покушаје да се градови учине атрактивним местима за људе који немају другог избора него да у њима обитавају. (Пушић, 2007) Значајну улогу у томе може да има осветљење, чији је циљ да простор учини узбудљивим и пожељним за боравак или пролазак кроз њега у ноћним сатима. Да би градски амбијент могао да живи током ноћи, неопходно је да се адекватним осветљењем омогући одвијање већине активности које се у датом простору одвијају током дана, али и неких специфичних које се одвијају ноћу. Као што је за одвијање позоришне представе неопходно осветљење сцене, тако је и за одвијање активности у градском амбијенту неопходно квалитетно осветљење које треба да подржи активности корисника.

Поред субјективних моћи опажања, постоје и објективни параметри који доприносе формирању асоцијација о простору. (Базик, 1993) Тако је познато да се људи значајно више окупљају у просторима у којима се осећају сигурно. Пошто, дакле, сигурност представља један од основних предуслова за формирање квалитетног простора за провођење слободног времена, обезбеђивање сигурности, уз омогућавање лаког оријентисања и приступа амбијенту, представља један од главних циљева амбијенталног осветљења.

На трговима свакако треба осветлити структуре и објекте који су сагледиви из главних приступних праваца или доминантних визура. (Костић, 2010) Важно је да постоји хармонија свих елемената урбаног мобилијара на тргу, у које спадају и светиљке и стубови, који су на тргу још уочљивији него на

улици. Иако се пешаци највише крећу уз објекте који уоквирују трг, потребно је да се цела површина трга тако осветли да се омогући сигурно и комфортно кретање и задржавање становника и туриста. Проблем осветљења тргова састоји се у конфликту између потребе да се осветли што већи део површине трга и чињенице да то захтева постављање стубова који нарушавају изглед слободног простора. Због тога је приликом пројектовања осветљења трга потребно размотрити употребу веома ниских стубова, светиљки у оквиру поплочања трга и светиљки сакривених у оквиру елемената мобилијара. Уколико се на тргу налазе скулптуре, споменици, чесме, фонтане и зелена острва, њихово осветљење може да допринесе општем утиску.

Потребно је осветлити најниже делове фасада објеката који уоквирују трг, јер се тиме обезбеђује утисак тродимензионалности. Уз то, стаклене фасаде омогућавају да поглед продре унутар објеката, чиме се визуелно проширују границе спољног простора. Због осећаја сигурности и безбедности, као и из естетских разлога, важно је осветлити мрачне делове објеката који оивичују трг, као што су повучени улази, нише или колонаде.

Што се тиче зеленила и паркова, да би се остварио најважнији ефекат који њихово осветљење треба да постигне, а то је одмор очију и опуштеност које зеленило обезбеђује, неопходно је изабрати адекватне изворе светлости који имају топлу боју и добру репродукцију боја (тиме се постиже да боја зеленила током ноћи буде најприближнија боји коју оно има при дневној светлости). Неосветљени, паркови се ноћу претварају у мрачна острва окружена осветљеним улицама. Због тога паркове треба осветлити, и то не само пешачке стазе, него и поједине природне и вештачке структуре у њима.

Уколико се дрворед налази поред пешачке стазе у урбаном амбијенту, постоје два начина за наглашавање дрвећа осветљењем. Први, значајно скупљи, састоји се у томе да се осветли свако дрво, уз осветљавање стазе минималним нивоом осветљености, чиме се остварује ефекат линеарности. Из економских разлога, овакво атрактивно решење препоручује се за

осветљавање краћих стаза. Други начин је осветљавање стазе помоћу светиљки које осветљавају и околно дрвеће, чиме се спречава да непосредно окружење стазе остане у мраку. Не би било пожељно осветлити само неколико дрвећа у низу, уз напомену да осветљење неког специфичног дрвета, већег, лепшег, разгранатијег од осталих, може да изгледа веома атрактивно. Такође, драматичан ефекат, као последица оствареног контраста, може да се постигне осветљењем усамљеног дрвета које се налази у тамном окружењу.

Треба нагласити да у одређеним просторима, као што су велики паркови, ботаничке баште или шуме, пројектант мора да буде рестриктиван по питању осветљења. Не треба осветљавати просторе у којима се људи ноћу не крећу, а поготово не просторе који представљају станиште за биљни и животињски свет. (Костић, 2010)

Реке (а и друге веће водене површине) треба искористити за постизање интересантних и атрактивних ефеката који могу да настану када се осветљени објекти или пејзажни елементи огледају у тамној и (релативно) мирној воденој површини, што свакако доприноси амбијенталној вредности урбаног простора. Ако се уз речне обале налази простор који представља место јавних окупљања, у оквиру њега се могу постављати привремене светлосне инсталације које симболишу разлог окупљања. Уз речне обале се најчешће налазе шеталишта која имају посебно функционално осветљење, чија адекватна реализација у великој мери може да повећа број корисника шеталишта. Оно треба да буде такво да се што мање осветљава водена површина и да стубови и светиљке не ометају погледе пролазника на реку и градску силуету. (Костић, 2010)

Шеталишта (пешачки токови) представљају комуникационе коридоре који, осим испуњења функционалних захтева, треба да обезбеде и амбијентални квалитет. Она представљају линије кретања са којих свакодневно велики број људи доживљава град. С обзиром на то да шеталиште са бочним

фасадама представља целину, значајно је сагледати утицај осветљења на његов попречни пресек.

Уколико у оквиру урбаног амбијента постоје степенице или друга места на којима је остварена денивелација, из разлога безбедности (наглашавања разлике у висини) она треба да буду јасно уочљива током ноћи, при чему се њиховим наглашавањем помоћу осветљења често могу остварити пријатни ефекти.

Наглашава се да се најбољи ефекти могу постићи уколико се истовремено са пројектом новог урбаног амбијента, односно са пројектом реконструкције постојећег, израђује и пројекат његовог осветљења.

### **2.5.2. Смернице за осветљење амбијенталних целина**

Осветљење амбијенталне целине свакако мора да задовољи функционалне захтеве простора (оријентација, безбедност и сигурност учесника у саобраћају), али и захтеве које поставља амбијентална целина. Како би се истакле вредности амбијенталне целине, потребно је ускладити простор са обликом, бојом и величином светиљки и стубова, бојом светлости, њеним интензитетом и контрастима. Амбијентална целина може да садржи (и најчешће садржи) неколико амбијената, који могу да захтевају различит приступ по питању осветљења. У таквим случајевима посебно мора да се води рачуна о томе да се појединачни амбијенти довољно истакну, а да истовремено амбијентално осветљење целине буде хармонично. Нарочито је важно ускладити боје светлости појединачних амбијената, као и објеката који се налазе у оквиру амбијента или га ограничавају, јер мешање боја светлости може значајно да деградира утисак о простору.

Амбијентална целина углавном садржи и објекте који захтевају архитектонско осветљење, који такође морају да буду довољно истакнути,

али и у складу са осветљењем целине. Треба тежити стварању визуелних веза између амбијената у оквиру амбијенталне целине.

Степеновање јавности простора је могуће остварити сценографским подухватима на градској позорници који се могу реализовати поделом на просторе различитих категорија, што се остварује како физичким баријерама, тако и светлосним ефектима (различито осветљени простори могу да се доживе као одвојене целине и да се користе на различите начине).

Уколико би се улице предвиђене за моторни саобраћај, које се налазе у оквиру амбијенталних целина, осветљавале по правилима која важе за функционално осветљење, врло је вероватно да би оно деградирало амбијенталну целину и негативно утицало на доживљај осветљених амбијената. Из тог разлога је неопходно да осветљење улица за моторни саобраћај буде усклађено са осветљењем окружења.

Осветљење амбијенталних целина и њихова презентација у ноћним сатима може, јер свакако на њих утиче, да се повеже са другим значајним градским функцијама, као што су туристичка, културна, педагошка, комерцијална или друге наменске привремене функције (простор за посебан догађај или спектакл).

Иако се очекује да се лака оријентација у простору, као и безбедност и сигурност, првенствено реализују кроз улично, а естетске вредности кроз архитектонско осветљење, треба увек имати на уму да важи и обрнуто. Утисак о амбијенталној целини увек је резултат заједничког доприноса функционалног, амбијенталног и архитектонског осветљења. Тако је, с обзиром на масовну заступљеност у урбаном простору, улично осветљење значајан фактор његове естетске вредности, због чега стратегија осветљења градских улица треба да буде део шире стратегије оживљавања града. Исто тако, оријентација у простору, безбедност и сигурност не би могле да се



постигну само уличним осветљењем, јер је битан и допринос осветљених објеката, као и амбијенталног осветљења. (Костић, 2010)

### **2.5.3. Хармонија у оквиру амбијенталног осветљења**

Хармонији ноћног урбаног амбијента или амбијенталне целине доприноси хијерархија успостављена између архитектонског осветљења истовремено сагледивих објеката. Критеријуми које треба узети у обзир приликом одређивања хијерархије таквих објеката обухватају њихов историјски, урбанистички, архитектонски, културни, функционални и симболички значај, као и визуре из којих се сагледавају и могућност постизања престижног решења. (Костић, 2010)

Хијерархија места може да се нагласи и истицањем угла двеју улица чије су осе усмерене на градске репере. (Urban Design Compendium, 2008) Наглашена места подстичу заустављање, а тиме и уочавање репера. Овај ефекат може да се постигне и у ноћним сатима помоћу атрактивног осветљења чворишта, чиме се истиче и осветљење репера на који је усмерен поглед са тог чворишта.

Иако применом савремених техника осветљавања може да се истакне и најбаналнији објекат, превише наглашених урбаних елемената умањује вредност сваког појединачног елемента. Такав утисак може да буде визуелно напоран, а уз то демонстрира неодговорно расипање енергије. Због тога, највећи део урбане структуре треба да представља позадину за осветљење неколико стварно посебних објеката и простора. Осветљењем треба нагласити само оне елементе урбаног простора или амбијенталне целине који имају већи значај и који остају у сећању. Интензивно осветљени објекти угрожавају префињено осветљење других објеката у њиховом непосредном окружењу и негативно утичу на доживљај амбијента као хармоничне целине. (Костић, 2010)

Наглашавање значајних објеката осветљењем, уз пригушено осветљење мање важних објеката, доприноси истицању издвојених тачака од интереса. Осветљавањем групе сродних објеката и простора који их повезују може да се створи утисак јединствене целине. Ако се, уз то, адекватно осветле улице и пејзажни елементи, даје се огроман допринос урбаној структури. Треба имати у виду да превише интензивно осветљен објекат или амбијент чини да његово непосредно окружење, иако довољно добро осветљено, аутоматски постаје визуелно тамније. (Костић, 2010)

### **3. Пилот пројекат – субјективни доживљаји испитаника по питању релевантних параметара амбијенталног осветљења изведеног помоћу метал-халогених, односно LED светиљки**

Последњих година произвођачи LED опреме препоручују LED светиљке за све области урбаног осветљења. Многобројни примери примене LED технологије у архитектонском осветљењу оправдавају њену употребу у овој области. Међутим, неопходно је додатно истражити ефекте њене примене у уличном и амбијенталном осветљењу, пошто су поједина независна истраживања довела у питање енергетску ефикасност LED светиљки декларисану од стране произвођача. (Kostic, 2013; Onaygil, 2011) Штавише, водећи произвођачи LED извора светлости увели су bin coding (Cree, [www.cree.com](http://www.cree.com)), јер су констатовали да постоје значајне разлике у светлосној искористивости и спектру LED чипова који би требало да поседују идентичне карактеристике. Уз то, декларисан животни век LED чипова (50 до 60 хиљада сати) још увек није потврђен у пракси.

Последњих година је било неколико истраживања у којима је вршено поређење субјективног доживљаја LED и конвенционалног осветљења. Тако часопис Build (Build, 2012) обавештава стручну јавност да су у сарадњи Климатске групе и Philips-а рађене анкете у Калкути, Лондону, Сиднеју и Торонту, где је спроведен двоипогодишњи пилот пројекат “LightSavers” (The Climate Group, 2012), које су показале да “грађани више воле LED осветљење и да између 68% и 90% испитаника подржава примену те технологије у целом граду.” Они су као њене предности означили побољшану видљивост, повећан осећај безбедности и бољи естетски ефекат у јавном простору. Међутим, поређење LED осветљења и осветљења изведеног помоћу натријумових извора високог притиска вршено је у урбаним просторима са честим задржавањем пешака, за које се примена натријумових извора светлости сматра неадекватном због лоше репродукције боја (у референцама City of Melbourne и Clinton Foundation наведено је да се натријумови извори високог притиска не препоручују за амбијентално осветљење због естетски

неприхватљиве светлости, док је у референци Boyse P. and Rea M. наведено да добра репродукција боја повећава осећај сигурности).

Недавно је вршено поређење шест инсталација уличног осветљења (три инсталације са LED, једне са индукционим, једне са метал-халогеним и једне са натријумовим изворима високог притиска) са аспекта фотометрије, економских показатеља и субјективног доживљаја осветљења (Royer, 2012). Међутим, на посматраним деоницама ниво осветљености се значајно разликовао (однос је достигао вредност од чак 2.1), што је представљало проблем за валидно поређење субјективних доживљаја анализираних инсталација осветљења. Иако је оцењиван осећај сигурности пешака, осветљеност њихових лица није била узета у обзир. Уз то, нису сва питања била у облику који би подразумевао да бољи квалитет буде оцењен већом оценом, што је онемогућило израчунавање свеобухватног субјективног доживљаја. Због тога су могли да буду поређени само појединачни аспекти посматраних инсталација осветљења, без могућности одређивања свеобухватне оцене њиховог квалитета.

Истраживање које су спровели Nagiwarra et al. имало је за циљ да провери да ли четири LED уличне инсталације осветљења одговарају стандардима који се тичу превенције криминала, а које је поставила Japan Security Systems Association. Том приликом је 44 учесника оцењивало видљивост и тон боје лица пешака, као и бљештање и осећај угодности у осветљеном простору. Резултати су показали да су сви аспекти који се тичу превенције криминала, са изузетком бљештања, у просеку вредновани оценом 5 (максимум је износио 7), потврђујући да LED осветљење може да задовољи захтеве који се тичу превенције криминала. Ипак, аутори су нагласили да су корисници простора осећали бљештање које су производиле све четири инсталације LED осветљења.

Да би се обезбедили предуслови за извођење општих закључака, одлучено је да се организује пилот пројекат у оквиру кога ће се испитати субјективни

доживљаји испитаника по питању релевантних карактеристика амбијенталног осветљења изведеног помоћу LED и МН светиљки.

### **3.1. Услови за извођење пилот пројекта којим се утврђују субјективни показатељи инсталације амбијенталног осветљења**

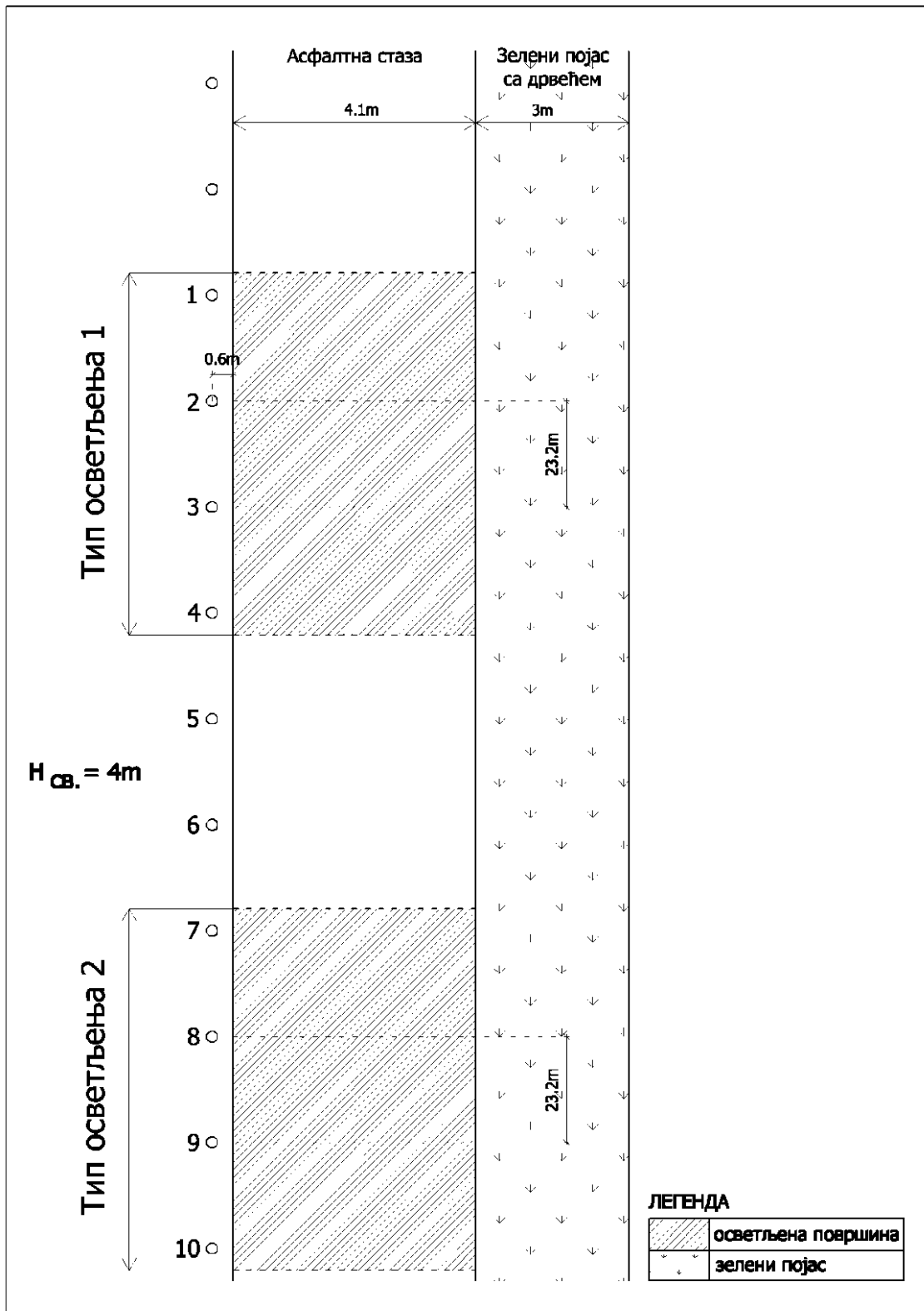
Да би поређење субјективних доживљаја два различита типа амбијенталног осветљења имало смисла, неопходно је испунити следеће услове:

- обе инсталације осветљења треба да испуне захтеве одговарајућег стандарда који се односе на релевантне фотометријске параметре,
- ниво осветљености (основни фотометријски параметар) треба да буде приближно исти за обе инсталације осветљења,
- обе инсталације осветљења треба да имају приближно исте карактеристике које се односе на боју светлости и репродукцију боја,
- пожељно је да светиљке помоћу којих се изводе обе инсталације осветљења буду што сличније, како њихов изглед не би утицао на доношење субјективних оцена,
- анкетни упитник треба да обухвати све аспекте који су релевантни за оцену субјективног доживљаја осветљења,
- питања треба да буду у облику који обезбеђује да бољем квалитету одговара већа оцена (тима се омогућава квантитативно поређење свеобухватних субјективних доживљаја),
- учесници у анкети морају да разумеју термине коришћене у упитнику и да буду оспособљени за адекватну (валидну) оцену инсталација осветљења, и
- учесници не треба да знају на којој деоници је изведен први, а на којој други тип осветљења.

### 3.2. Дефинисање пилот инсталације

После обиласка десет потенцијалних локација у Београду, изабрана је асфалтирана пешачка стаза у Хајд парку, окруженом улицама Булевар војводе Путника, Булевар кнеза Александра Карађорђевића и Топчидерски венац, која је била најповољнија јер се налази на средини парка, довољне је дужине и у њеној близини нема других светиљки јавног осветљења.

Шема пилот инсталације, изведене на постојећим стубовима јавног осветљења висине 3.8 m, са којих су претходно скинуте светиљке постојећег осветљења са натријумовим изворима високог притиска, приказана је на слици 19. Оптички центар светиљки помоћу којих је изведена пилот инсталација налазио се на висини од  $H_{\text{св.}} = 4 \text{ m}$ .

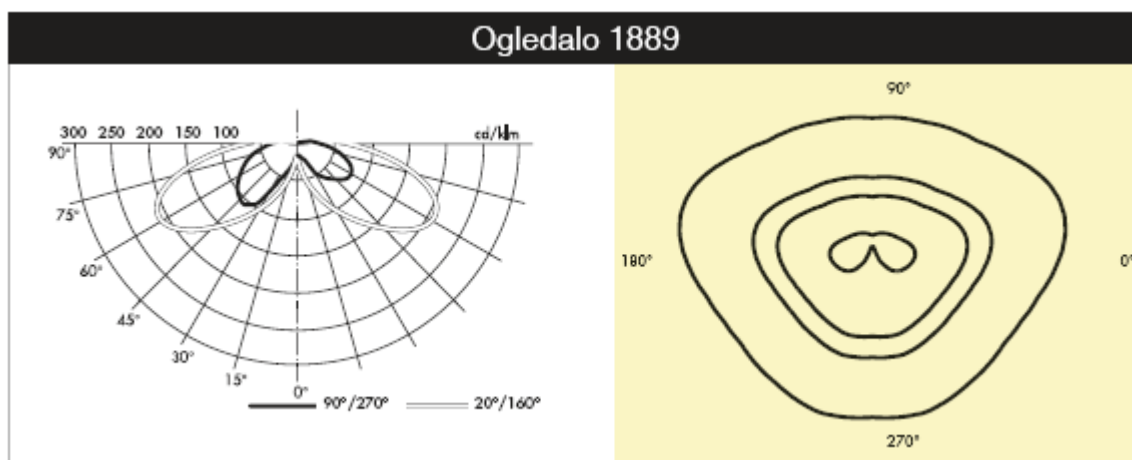


Слика 19. Шема изведене пилот инсталације  
(лична документација аутора)

Прве четири светиљке у низу (на слици 19 означене са 1 – 4) садржале су МН изворе са керамичким гориоником топло-беле боје светлости (3000 К), снаге 70 W (снага светиљке: 80 W). Четири светиљке другог низа (на слици 19 означене са 7 – 10) садржале су LED изворе светлости. Свака LED светиљка садржала је 32 диоде топло-беле боје светлости (3000 К), струје 500 mA (снага светиљке је износила 53 W, чиме је постигнута уштеда електричне енергије од 34%). На стубовима 5 и 6 нису инсталиране светиљке, чиме је практично елиминисан утицај једног типа осветљења на други. Светиљке оба типа су биле идентичног изгледа, а садржале су непровидни дифузор који је онемогућавао препознавање типа извора светлости (слика 20). Слика 21 приказује фотометријску карактеристику коришћене светиљке.



**Слика 20.** Светиљка K10 (са МН и LED изворима светлости) помоћу које је изведена пилот инсталација (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))

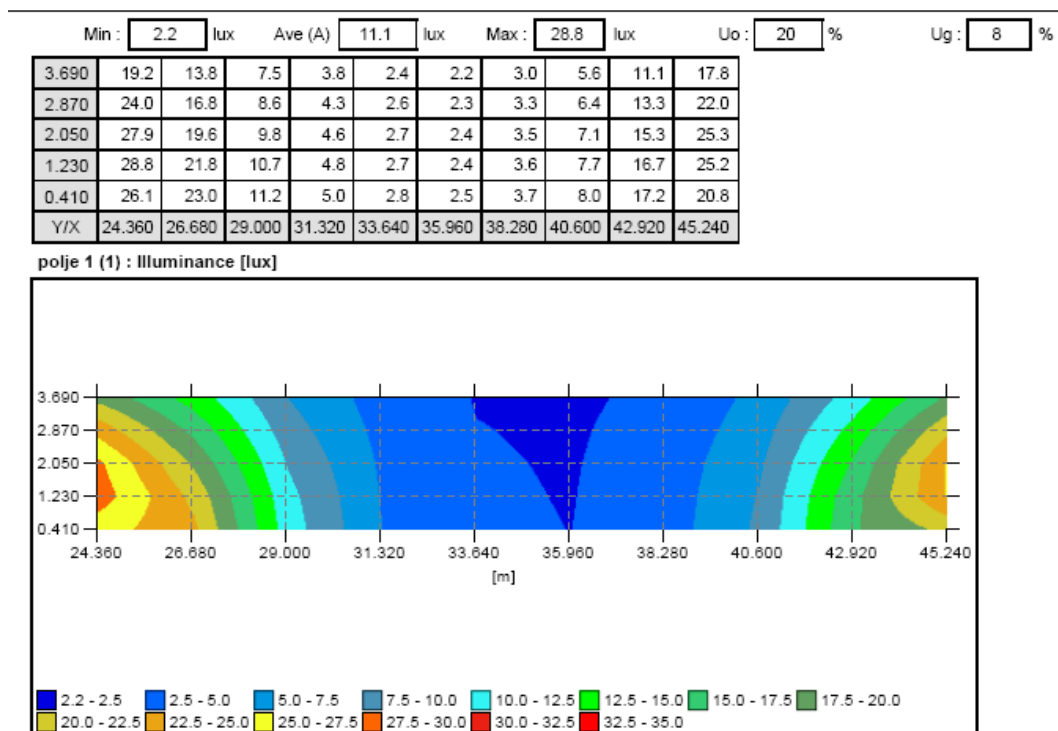


**Слика 21.** Фотометријска карактеристика светиљке K10 (произвођач: Minel-Schreder) (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))

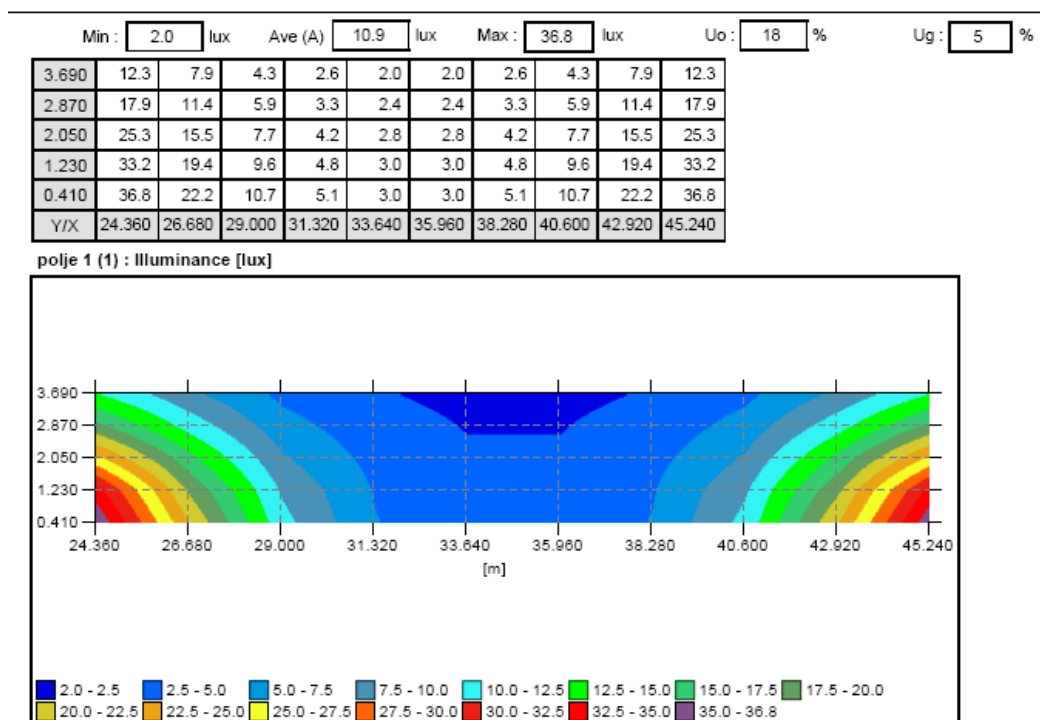


Дакле, оба типа осветљења су изведена помоћу извора топло-беле боје светлости (3000 K) и одличне репродукције боја (индекс репродукције боја  $R_a \approx 80$ ). Код оба типа светиљки опални дифузор је једнако утицао на редукцију физиолошког бљештања.

Да би поређење субјективних показатеља оба типа осветљења имало смисла, било је неопходно да основни фотометријски показатељ – ниво осветљености пешачке стазе између средњих стубова (стубова 2 и 3, односно 8 и 9) буде приближно исти у оба случаја. Слика 22 приказује резултате фотометријског прорачуна за тип осветљења 1 (МН), а слика 23 резултате фотометријског прорачуна за тип осветљења 2 (LED). У првом случају ниво осветљености је износио 11.1 lx, а у другом 10.9 lx (број LED чипова је изабран тако да ниво осветљености буде практично једнак са оним који карактерише тип осветљења 1). Приближна вредност фактора одржавања за обе инсталације износи 0.7, чиме су за сваку од њих били задовољени захтеви светлотехничке класе Р3 ( $E_{hsr} \geq 7.5$  lx).



Слика 22. Резултати фотометријског прорачуна за тип осветљења 1 (МН) (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))



Слика 23. Резултати фотометријског прорачуна за тип осветљења 2 (LED) (Minel-Schreder, [www.minel-schreder.rs](http://www.minel-schreder.rs))

### 3.3. Избор методе истраживања

Предметно истраживање првенствено је имало за циљ квантитативно оцењивање квалитативних параметара који описују поменуте типове осветљења. У методе које су могле да се користе спадају анкета, различити типови интервјуа и посматрање понашања и реакција људи на терену (са или без непосредног учешћа истраживача).

Анкета представља истраживачку методу помоћу које се у кратком временском периоду прибављају стандардизовани подаци од великог броја испитаника. Њен основни елемент је анкетни упитник, који представља образац помоћу кога се у писаној форми траже обавештења за која се сматра да могу бити од користи за истраживање. Анкетни упитник може да буде са унапред понуђеним одговорима (од којих се бира један или неколико) или отвореног типа, где испитаници сами смишљају одговоре.

Друга могућа метода је интервју, који представља свако прикупљање података путем разговора, обављено са циљем да се добијена обавештења употребе у научне сврхе. Разговор може да се води са једном или више особа у исто време. Постоје два разлога због којих примена интервјуа који би се обављао са сваким испитаником понаособ није адекватна за предметно истраживање:

- будући да научни разговор мора да води квалификовани истраживач, интервјуи би трајали данима, и
- пошто се истраживање изводи на отвореном простору, било би немогуће обезбедити исте временске услове за спровођење свих интервјуа.

Посматрање на терену представља методу помоћу које се неки феномен оцењује посматрањем. Посматрају се људи који су се затекли на локацији на којој се спроводи истраживање, односно њихове реакције на одређене услове и ситуације. С обзиром на то да је за обављање предметног **научног** истраживања било потребно да учесници буду високообразоване особе здравог вида, ова метода није била прикладна, независно од тога да ли би истраживач имао улогу откривеног или прикривеног посматрача.

Из напред изложеног може да се закључи да методе интервјуа и посматрања на терену нису биле адекватне за предметно истраживање, тако да су се жељени резултати могли добити само применом анкете. Иако је реализација анкетног испитивања најкомплекснија, оно омогућава укључивање релевантних испитаника и обезбеђивање репрезентативног узорка, чиме се добија реалнија општа слика феномена који се истражује. (Хараламбос, 2002)

Да би се испитао утицај предзнања испитаника из области осветљења на њихов субјективни доживљај карактеристика осветљеног простора, одлучено је да се анкета спроведе са две групе испитаника – са онима који поседују (њих 49) и са онима који не поседују предзнања из области

осветљења (њих 63). При томе су изабрани само испитаници са здравим видом и то, с обзиром на специфичност предмета испитивања, само они који се баве техником (углавном студенти Архитектонског и Електротехничког факултета Универзитета у Београду). Од укупно 112 испитаника, 62 особе су биле мушког, а 50 женског пола. Њихове године старости углавном су припадале опсегу 20 – 30 година (само 4 особе биле су старије од 30 година). Године старости 64 испитаника припадале су опсегу 23 – 26 година.

#### **3.4. Дефинисање анкете за субјективну оцену релевантних параметара анализираних типова амбијенталног осветљења**

Анкетни упитник, дат у Прилогу Б, чине четири листа, једнострано штампана. На првом листу се налазе питања која се односе на личне податке о испитанику, као и објашњења у вези са начином попуњавања анкетног упитника и значењем понуђених одговора. (Милић, 1996) Други и трећи лист садрже идентичне табеле са питањима, уз напомену да се оне односе на различите типове осветљења, што је јасно назначено на врху сваког листа. Да би се могућност забуне свела на минимум, та два листа била су различите боје (први жуте, а други розе боје). Уз то, на стубовима пилот инсталације која се односила на тип осветљења 1 биле су постављене табле жуте боје, на којима је писало ТИП ОСВЕТЉЕЊА 1, а на стубовима пилот инсталације која се односила на тип осветљења 2 табле розе боје, на којима је писало ТИП ОСВЕТЉЕЊА 2 (исто као на врху другог, односно трећег листа анкетног упитника). Табеле садрже по 13 питања (питања бр. 3 и 4 садрже по два потпитања), на која се одговара заокруживањем једног од понуђених бројева 1 – 5, при чему 1 представља апсолутну неприхватљивост, а 5 апсолутну прихватљивост, што је јасно назначено на првом листу анкетног упитника. Сва питања су дата у облику који обезбеђује да повољнијем утиску одговара већа оцена. Као што може да се види из Прилога Б, сва питања су дата у облику који пружа слободу избора, не сугеришући одговор. Такође, анкета је била тако организована да је било могуће одговорити на сва питања посматрајући одговарајуће светлосне ефекте, што није увек случај (на

пример, од студената који су учествовали у истраживању спроведеном у згради Sheffield у Лондону тражено је да се изјасне о томе да ли сматрају да је посматрано LED осветљење енергетски ефикасно). (ABS Consulting, 2010) Свако од првих 12 питања из табеле односи се на појединачни аспект осветљења, док се тринаесто питање односи на свеукупан утисак о примењеном типу осветљења. Анкетни упитник је обухватио све аспекте релевантне за субјективну оцену осветљења пешачке стазе у парку, чему су допринели радови Воусе-а и Моранте-а (Воусе, 1998; Моранте, 2008). Испод табеле на трећем листу налази се низ од 12 кућица (квадратића) у које је било потребно уписати редне бројеве првих 12 питања, поређане у низ према значају питања (од најзначајнијег ка најмање значајном). Након тога је било потребно уписати однос значаја најзначајнијег и најмање значајног од тих 12 питања, и то на скали од 1 до 2, са кораком од 0.1, при чему је уписивање одговора 1 означавало да су сва питања подједнако значајна, а уписивање одговора 2 да је разлика у значају појединачних питања огромна.

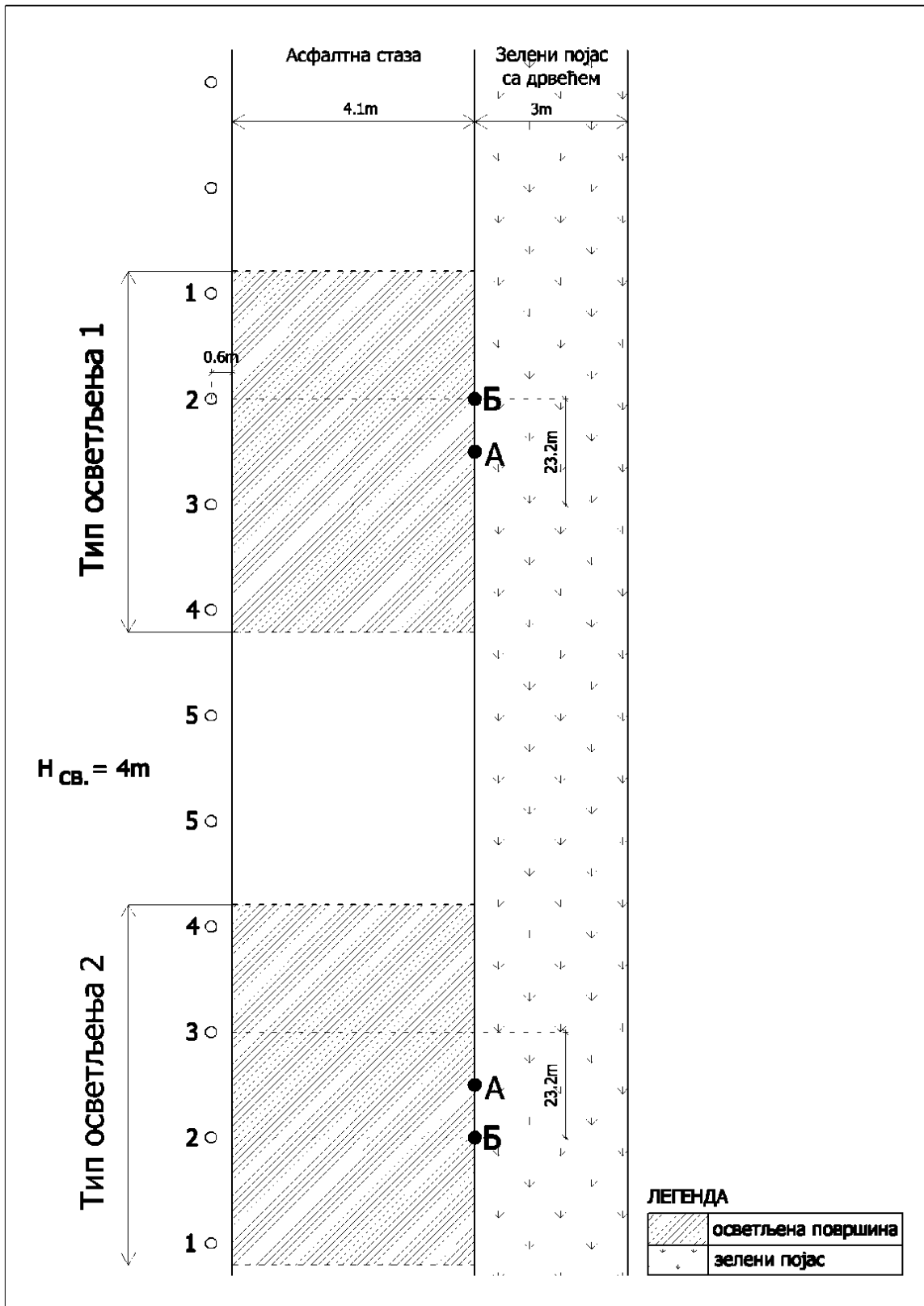
На крају другог (трећег) листа налази се простор за описни одговор на питање шта је најбоље код приказаног типа осветљења, као и простор за коментаре.

Четврти лист анкетног упитника чине 3 питања, при чему се одговором на прво питање испитаник опредељује за тип осветљења који му се више свиђа. Ово питање је непотребно у случају да су за посматране типове осветљења дати различити одговори на тринаесто питање, али је важно ако је дат исти одговор. Такође, ово питање служи као контролно за сваког испитаника који је дао различите одговоре на тринаесто питање. У последња два питања се од испитаника тражи да заокружи или допише највише три разлога због којих сматра да је тип осветљења који му се више свиђа бољи од другог, као и да, уколико сматра да тип осветљења који му се мање свиђа има предности у односу на онај други, заокружи или допише највише три разлога због којих то сматра. Притом, понуђено је 9 параметара осветљења, а остављен је и простор за могуће дописивање 3 разлога.

Анкетни упитник је добијен тако што су организатори анкете израдили иницијалан анкетни упитник (Прилог В), који је, у складу са процедуром предложеном у референцама Swenson et al. и Krueger, финализован уз помоћ фокус групе. Фокус група је била образована од девет студената који су слушали предмет Осветљење у архитектури (изборни предмет на петој години Архитектонског факултета у Београду) и четири студента који су слушали предмет Електрично осветљење (изборни предмет на четвртој години Електротехничког факултета у Београду). Састанак организатора анкете са фокус групом одржан је 11.06.2012. на Електротехничком факултету (слика 24). На почетку састанка члановима фокус групе су објашњени значај и циљ истраживања, као и на који начин је планирано да истраживање буде спроведено (студенти су пред собом имали шему приказану на слици 25). Ни једног тренутка није речено који тип осветљења је изведен помоћу метал-халогених, а који помоћу LED извора светлости. Затим су члановима фокус групе подељени иницијални анкетни упитници.



**Слика 24.** Фотографија са састанка организатора анкете са фокус групом (лична документација аутора)



Слика 25. Шема пилот инсталације израђена за потребе разговора са фокус групом (лична документација аутора)

Анализирано је свако питање, при чему се дискутовало о томе да ли је оно неопходно, да ли је јасно и да ли има термина који могу да изазову забуну код испитаника. На основу резултата дискусије израђена је коначна верзија анкетног упитника (Прилог Б).

У вези са првим питањем чланови фокус групе су предложили да се реч интензитет замени или додатно објасни појмом јачина. Након дискусије је закључено да се уз реч интензитет дода јачина, у загради.

За друго питање је речено да је јасно и добро формулисано, али да треба прецизирати да се равномерност осветљености посматра на пољу које је по карактеристикама најприближније ситуацији у којој би цела стаза била осветљена истим типом осветљења. На основу тога је закључено да треба додати да се равномерност осветљености посматра на делу стазе између стубова 2 и 3.

Анализом питања бр. 3 – 6 закључено је да питања треба груписати у односу на карактеристике осветљења, а не у односу на особе које се посматрају, јер је једноставније да испитаници прво посматрају интензитет осветљења оба лица, а затим квалитет њиховог осветљења, него да посматрају две различите карактеристике осветљења на истој особи. У питањима која су се односила на интензитет осветљења људских лица, уз реч интензитет у загради је додата реч јачина.

За седмо питање је закључено да уместо *лица* треба да се напише *пешаци који се крећу*, да испитаници не би помислили да се термин лица односи на лица А и Б која стоје непомично. Такође, додатно је да је потребно посматрати пешаке на делу стазе између стубова 2 и 3.

За осмо питање је дат коментар да је непотребно да пише *Ваш доживљај способности*, односно да треба избацити речи *Ваш доживљај*.



У вези са једанаестим питањем дискутовано је о томе на шта се односи природност вегетације. Закључено је да треба третирати само природност боје осветљене вегетације. Ово питање је уврштено у анкетни упитник због значаја изгледа вегетације за квалитет амбијента и осећај сигурности, што је потврђено кроз истраживање спроведено у Шведској у коме је закључено да осветљење дрвећа може да има већи значај на осећај сигурности него додавање светиљки на стази или улици. (Lindh, 2011)

На дванаесто питање је дата примедба да, с обзиром на то да је бљештање негативан ефекат, може да дође до забуне у вези са значењем одговора на скали од 1 до 5. Закључено је да је потребно описно дефинисати значења одговора, па је, у складу са тим, дефинисана скала:

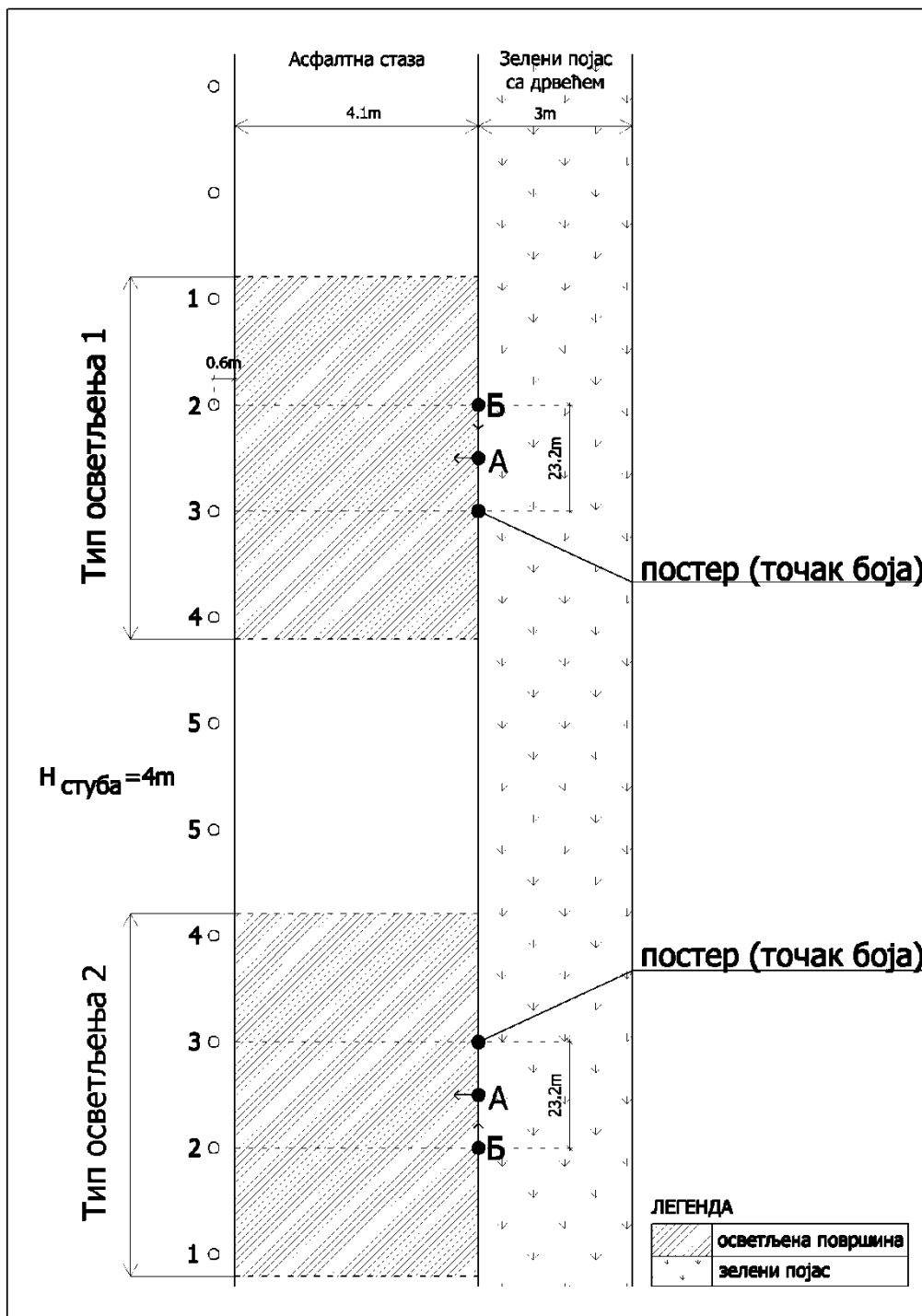
- 1 - изузетно интензивно бљештање,
- 2 - интензивно бљештање,
- 3 - умерено бљештање,
- 4 - једва приметно бљештање, и
- 5 - неприметно бљештање.

У вези са четрнаестим питањем дискутовано је о томе да ли је термин *удобан простор* адекватан за опис удобности која је постигнута осветљењем простора. Закључено је да је адекватнији термин *угодан простор* и да је потребно нагласити да се ово питање односи на то у којој мери осветљен простор представља угодан амбијент.

Петнаесто питање је тако преформулисано да се односи на свеукупну оцену посматраног типа осветљења.

Чланови фокус групе нису имали предлоге нових питања, нити примедбе на начин на који је планирано да анкета буде спроведена. Једино су приметили да би било добро да особе А и Б, код којих се оцењују интензитет и квалитет осветљења лица, буду тако оријентисане да испитаници приликом шетње

пешачком стазом једној особи гледају анфас, а другој профил, односно да стоје ротиране за 90 степени једна у односу на другу. Из тог разлога је извршена корекција шеме приказане на слици 25, чиме је добијена важећа шема (слика 26).



Слика 26. Коначна шема пилот инсталације, са приказаним положајем и оријентацијом лица А и Б (лична документација аутора)

Чланови фокус групе су затим замољени да поређају редне бројеве питања по значају сваког од њих (од најзначајнијег ка најмање значајном питању). У вези са тим, чланови фокус групе су дали предлог да питања бр. 3 – 6 буду представљена као два питања која ће се односити на различите параметре осветљења (интензитет и квалитет осветљења лица), од којих ће свако имати по два потпитања која се односе на особе А и Б.

### **3.5. Уводно предавање за испитанике који немају предзнања из области осветљења**

Већина питања из анкетног упитника садржи термине који су непознати особама које немају предзнања из области осветљења. Пошто је закључено да би било непрактично да се у анкетном упитнику пре сваког таквог питања појаве уводна објашњења, одлучено је да се дан пре спровођења анкете организује уводно предавање на коме би се таквим испитаницима објаснили значај истраживања и начин спровођења анкете, као и они термини из анкетног упитника за које се претпостављало да испитаницима нису познати или могу да буду погрешно схваћени.

У вечерњим сатима 12.06.2012. у амфитеатру Архитектонског факултета у Београду одржано је уводно предавање за све учеснике у испитивању (њих 63) који немају предзнања из области осветљења (слика 27). На предавању је учесницима најпре објашњен значај истраживања, уз наглашавање чињенице да ће резултати анкете представљати део студије која треба да помогне да у будућности београдски паркови буду још лепши и пријатнији за боравак у ноћним сатима. Ово је урађено са циљем да се испитаници мотивишу да дају што искреније одговоре и да буду концентрисани приликом оцењивања аспеката осветљења. Поред инструкција како да дођу до локације на којој су изведене пилот инсталације парковског осветљења које се оцењује, учесници су добили и шему приказану на слици 26 која им је помогла да разумеју објашњења у вези са спровођењем анкете. Објашњено им је да ће различитим бојама бити означени не само листови анкетног упитника који се односе на

типове осветљења 1 и 2, него и листови са редним бројевима стубова на којима су постављене светиљке та два типа осветљења, како не би дошло до забуне приликом попуњавања анкетног упитника. Наглашено је да не треба да одговарају на одређено питање док не оцене оба типа осветљења са аспекта на који се то питање односи (дакле, док не обиђу оба типа осветљења оцењујући тај аспект) и да би било најбоље да дају одговоре тек пошто се врате на део стазе осветљен типом осветљења који су прво оценили. Иако је ово значило продужавање времена за попуњавање анкете, учесницима је јасно стављено до знања да ће им компарација помоћи да на најбољи начин изврше оцењивање. Учесници су такође замољени да док бораве у простору чије осветљење оцењују не анализирају истовремено више од два аспекта, да не би грешком заокруживали одговоре који заправо не представљају њихов став или да не би побркали одговоре.



**Слика 27.** Фотографија са скупа на коме је одржано уводно предавање за испитанике који немају предзнања из области осветљења (лична документација аутора)

Ова група испитаника није видела питања, нити су им она читана. Једино су им објашњени појмови за које су организатори анкете сматрали да би могли да им буду нејасни. Из анкетног упитника су издвојени термини који су захтевали додатна објашњења. Испитаницима је објашњено:

- да се под интензитетом осветљења подразумева јачина осветљења, односно у којој мери је оно што се посматра интензивно осветљено,
- да квалитет осветљења људских лица подразумева природност изгледа лица,
- да при оцени способности осветљења да верно прикаже боје заправо треба оценити у којој су мери боје под примењеним осветљењем сличне одговарајућим бојама при дневној светлости,
- да при оцени бљештања које производе светиљке не треба да гледају у саме светиљке, већ да треба да оцене у којој мери при нормалном ходу стазом осећају бљештање,
- да хладна боја светлости има плавичасти тон, док топла боја светлости има жућкасти тон (као пример светлости хладне боје наведена је светлост фарова неких нових аутомобила, док је као пример за светлост топле боје поменута светлост сијалица са ужареним влакном).

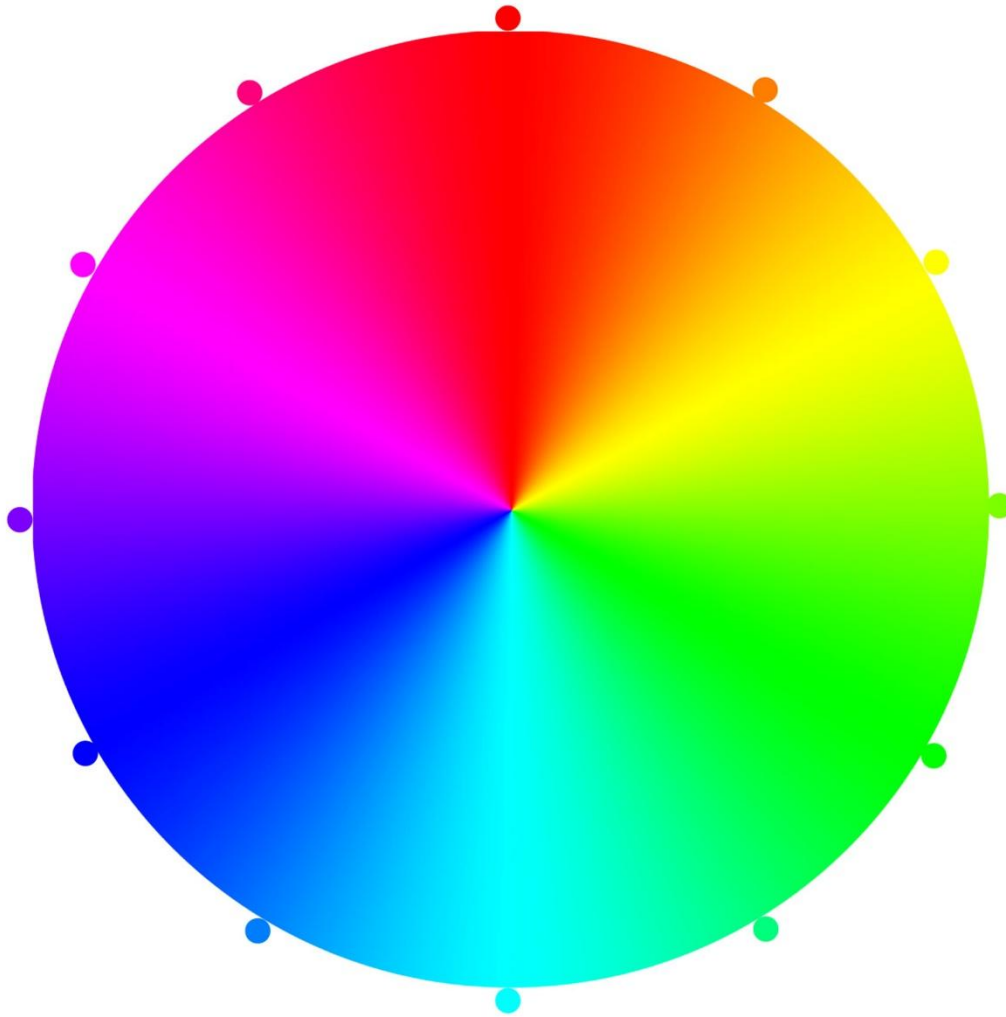
### **3.6. Спровођење анкете**

Анкетирање је спроведено две узастопне вечери, 13. и 14. јуна 2012. године, с тим што је прве вечери анкетирана група испитаника који нису имали предзнања из области осветљења, да би се у највећој мери елиминисала могућност заборављања онога што им је у оквиру уводног предавања објашњено претходне вечери. Обе вечери, пошто су подељени анкетни упитници и пошто су испитаници попунили прву страну упитника, укратко је објашњено свако питање, као и начин на који треба да се одговара на питања. Испитаници су замољени да уз пуну концентрацију самостално одговарају на питања, да не проверавају одговоре са осталим испитаницима, као и да ни на једно питање не одговарају пре него што виде оба типа осветљења. Ово је било битно да би се спречило да испитаници, видевши један тип осветљења, заокруже, на пример, највећу оцену, а затим, видевши други тип осветљења, схвате да је он значајно бољи. У том случају не би могли да направе потребну разлику у оценама између два примењена типа

осветљења. Испитаници су замољени да у простору осветљеном типом осветљења 1 прочитају питање и запамте утисак у вези са аспектом осветљења на који се питање односи, затим да прошетају до дела стазе осветљеног типом осветљења 2 и да и њега оцене по истом питању. Такође су замољени да се онда врате до дела стазе осветљеног помоћу типа осветљења 1 и да тек ту заокруже одговоре на то питање који се односе на оба типа осветљења.

Вођено је рачуна да се одаберу две вечери без падавина, како би истраживање било што релевантније (при сувој стази, јер се парк у највећој мери користи по сувом времену) и како би обе групе испитаника под приближно истим условима попуњавале анкетне упитнике.

На оба дела стазе био је постављен по један од два идентична постера (60 cm × 60 cm) са сликом точка боја, на коме су, у виду спектра, биле приказане све боје (слика 28). Испитаници су били позвани да дођу на анкетање у 20:15, док је још било дневне светлости. Тада су замољени да се потруде да запамте како боје на постерима изгледају при дневној светлости, како би могли да их упореде са бојама на постерима осветљеним уз помоћ два примењена типа осветљења.



**Слика 28.** Точак боја приказан на постерима (Hexadecimal color wheel, [www.wallend.yvision.kz](http://www.wallend.yvision.kz))

Око 20:45 подељени су анкетни упитници. Пошто су испитаници попунили први лист упитника (унели личне податке), окупили су се око анкетара, од којих су, поред напред наведених инструкција, добили неопходна стручна појашњења.

Наглашено је да равномерност осветљености треба да се посматра како по дужини, тако и по ширини пешачке стазе.

Испитаницима је објашњено да се под појмом квалитета осветљења људских лица подразумева природност изгледа (у којој мери су сенке на лицима

природне, у којој мери боја лица изгледа природно,...). Лице А је на грудима имало папир са ознаком А, а лице Б папир са ознаком Б. Од испитаника је захтевано да оцену интензитета и квалитета осветљења људских лица (питања бр. 3 и 4) изврше са растојања од отприлике 5 m, јер се оно сматра удаљеношћу са које треба препознати лице да би се, у случају потребе, могла предузети правовремена одбрамбена акција. (Костић, 2000)

Учесницима анкете је објашњено да способност осветљења да верно прикаже (репродукује) боје заправо значи у којој мери под примењеним осветљењем оне изгледају као боје које се доживљавају при дневној светлости.

Испитаницима је демонстрирано како треба да се крећу док оцењују доживљај бљештања (средином стазе, гледајући хоризонтално и право испред себе). Такође, с обзиром на то да се од испитаника тражило да се при оцењивању бљештања крећу од стуба 5 ка стубу 1, скренута им је пажња да процену бљештања не врше док су на неосветљеном или слабије осветљеном делу стазе, јер ће тада свакако имати осећај да је бљештање интензивније него што би било да се налазе на средини дела стазе који је осветљен посматраним типом осветљења.

Учесницима анкете је наглашено да редне бројеве питања треба да поређају у низ од најзначајнијег ка најмање значајном, јер је скала за одговоре на питања из табела имала супротну оријентацију – од најнеприхватљивијег ка најприхватљивијем. Такође је објашњено шта се подразумева под односом који треба уписати поред низа кућица са редним бројевима питања: да се ради о односу важности најзначајнијег и најмање значајног питања, с тим што је захтевано да вредност односа буде између 1 и 2, са кораком од 0.1, при чему 1 означава да је важност свих питања подједнака, док 2 означава да је однос значаја најзначајнијег и најмање значајног питања веома велики.



Испитаницима је речено да све време спровођења анкете могу да постављају питања анкетарима. Наглашава се да је само неколико испитаника поставило по једно питање.

Сви испитаници су крајње озбиљно и одговорно приступили попуњавању анкетних упитника. Време које им је било потребно да попуне анкетни упитник износило је 60 до 75 минута, јер су десетак пута морали да пређу путању између делова стазе осветљених различитим типовима осветљења, и то у оба смера (укупно око 3000 m).

У Прилогу Г приказане су фотографије снимљене током спровођења анкете.

## 4. Компаративна анализа конвенционалног и LED амбијенталног осветљења

### 4.1. Субјективни показатељи

#### 4.1.1. Резултати анкете

Као што је напред речено, прву групу су чинила 49 испитаника који поседују предзнања из области осветљења, док су другу групу чинила 63 испитаника без предзнања из области осветљења.

Табела 5 садржи резултате анкете спроведене са првом групом испитаника, а табела 6 резултате анкете у којој су учествовали испитаници из друге групе. На по једно питање које се односи на тип осветљења 1 није одговорило 5 испитаника из прве и 4 испитаника из друге групе, а на по једно питање које се односи на тип осветљења 2 није одговорило 6 испитаника из прве и два испитаника из друге групе.

**Табела 5.** Бројеви испитаника из прве групе који су на свако од 13 питања из анкетног упитника дали оцену 1, 2, 3, 4 и 5 (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	Оцена				
	1	2	3	4	5
1	0	2	5	25	17
	0	6	25	16	2
2	0	1	4	20	23
	0	12	25	10	2

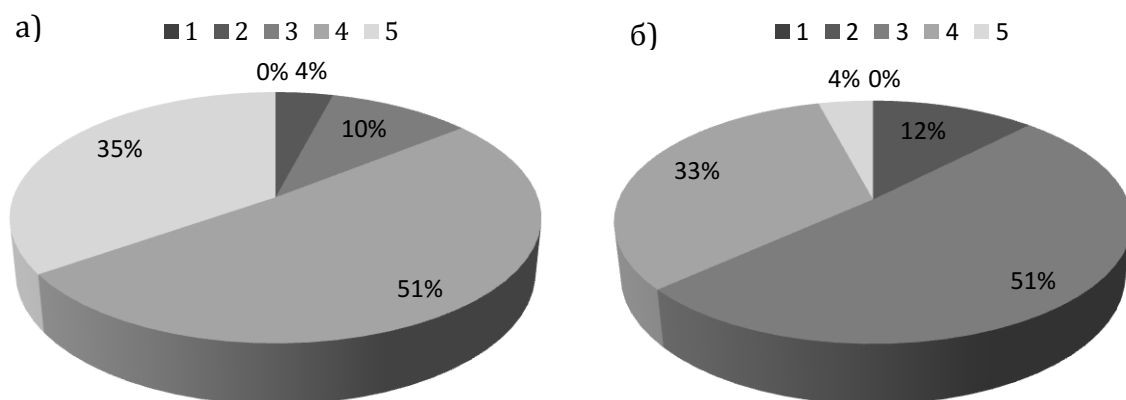
3	a	2	3	19	22	3	
		4	25	18	2	0	
	б	0	1	7	26	15	
		0	3	11	21	14	
4	a	1	2	14	19	13	
		6	12	16	15	0	
	б	0	2	10	19	18	
		0	12	14	20	3	
5			0	1	1	21	25
			0	5	19	19	6
6			0	3	2	12	31
			3	6	19	14	6
7			0	1	5	7	36
			7	0	34	0	7
8			0	0	4	23	22
			0	3	19	19	8
9			0	0	8	29	12
			0	8	18	18	4
10			0	6	20	18	4
			0	9	18	16	5
11			0	5	6	17	21
			0	10	16	18	5
12			0	1	8	15	25
			1	9	22	10	6
13			0	0	5	26	17
			0	6	25	16	1

**Табела 6.** Бројеви испитаника из друге групе који су на свако од 13 питања из анкетног упитника дали оцјену 1, 2, 3, 4 и 5 (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

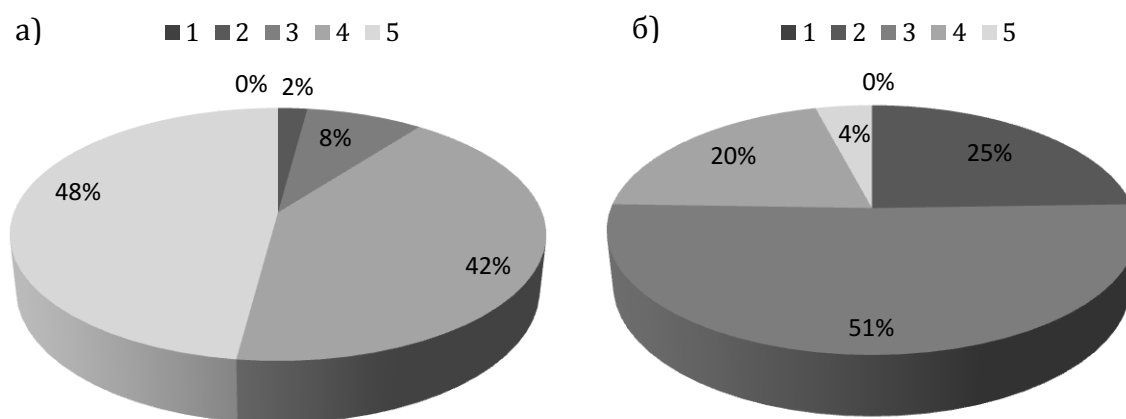
Редни број питања		Оцена				
		1	2	3	4	5
1		0	1	13	31	17
		0	8	31	15	9
2		0	5	6	34	16
		1	14	25	15	8
3	а	1	5	22	29	6
		4	21	27	9	2
	б	0	4	15	32	12
		0	9	25	20	9
4	а	1	6	13	30	13
		5	17	23	15	3
	б	0	3	20	33	7
		4	15	20	14	10
5		1	2	7	34	19
		1	8	32	18	4
6		1	3	11	22	25
		2	13	19	14	14
7		0	2	3	22	36
		9	0	32	3	19
8		2	5	10	22	24
		0	9	19	27	8
9		0	9	19	27	8
		2	20	24	12	5

10	0	8	35	14	6
	0	12	22	20	9
11	1	5	11	25	21
	5	8	32	12	5
12	0	1	10	34	18
	2	12	28	14	7
13	0	1	10	39	13
	0	12	34	16	1

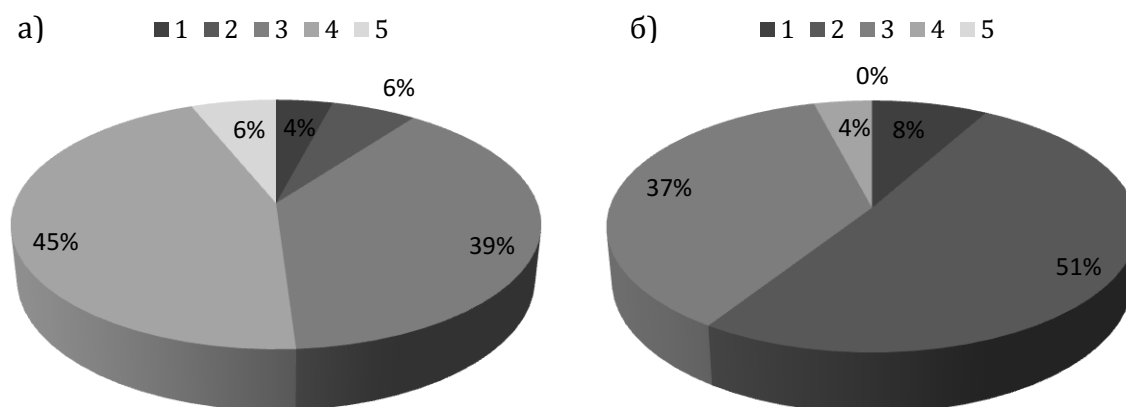
На сликама 29 – 58 (лична документација аутора) графички су приказани проценти испитаника који су на свако од питања дали једну од оцена 1 – 5, при чему је под а) приказан тип осветљења 1, а под б) тип осветљења 2.



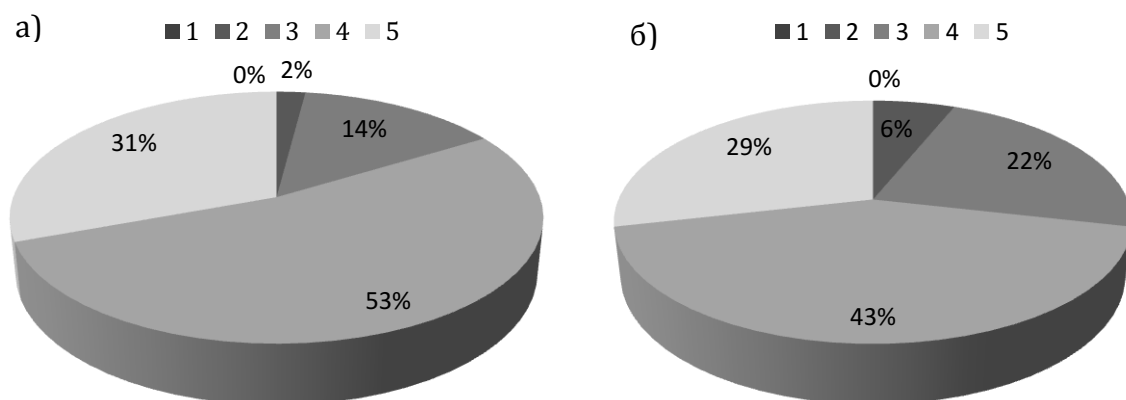
**Слика 29.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 1 дали оцене 1 – 5



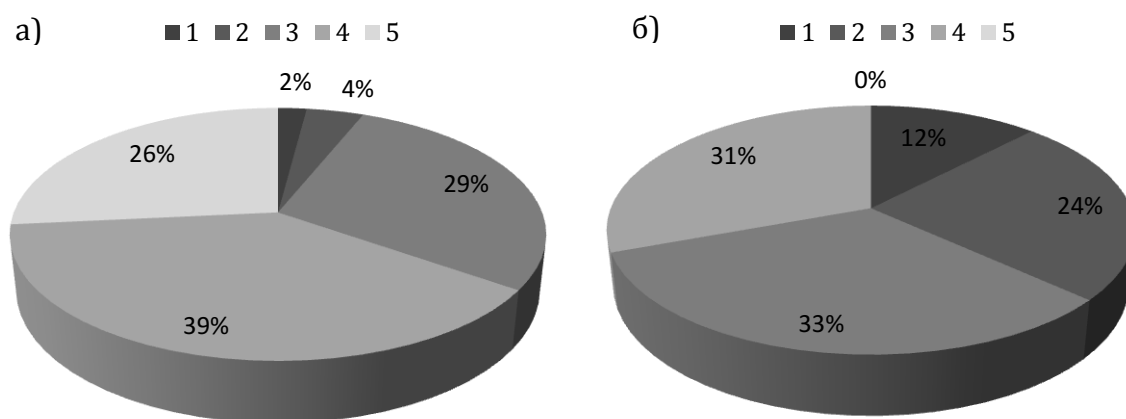
**Слика 30.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 2 дали оцене 1 – 5



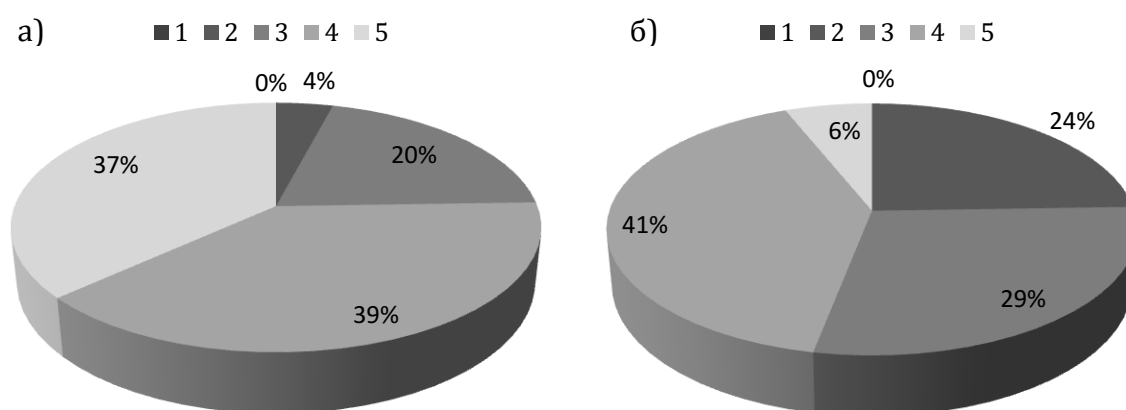
**Слика 31.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 3а дали оцене 1 – 5



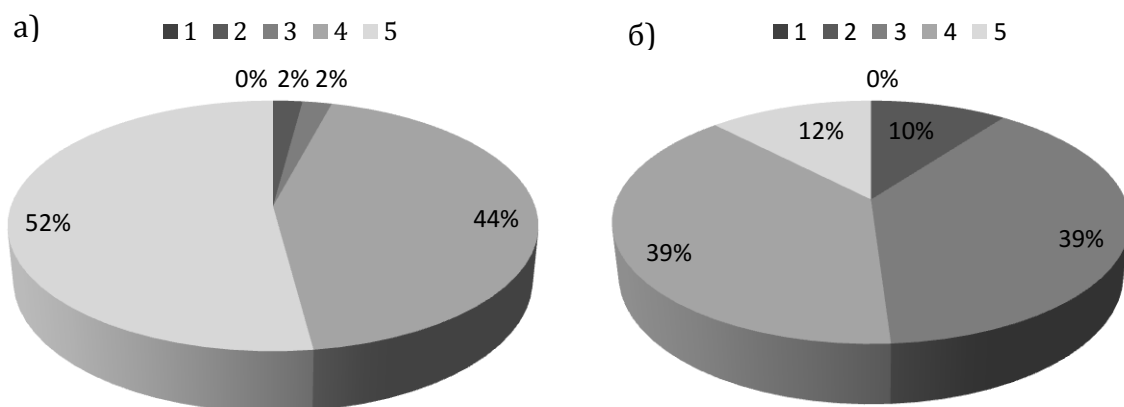
**Слика 32.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 36 дали оцене 1 – 5



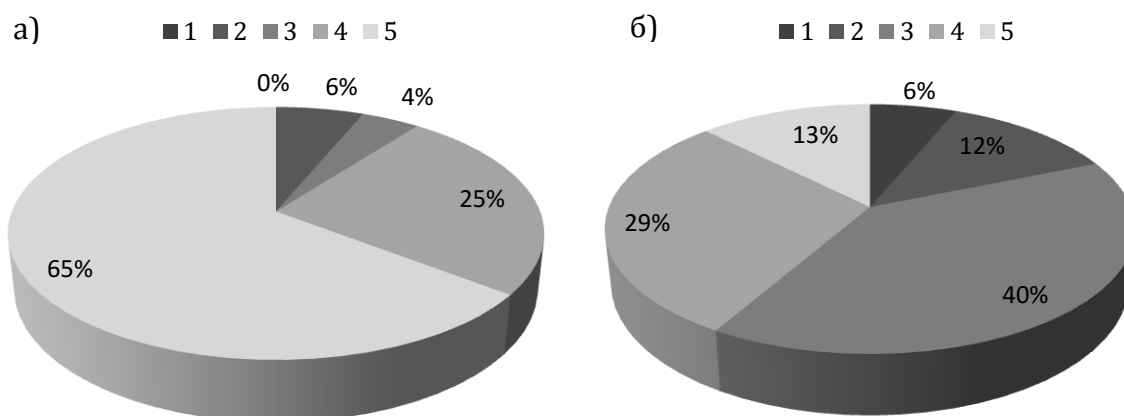
**Слика 33.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 4a дали оцене 1 – 5



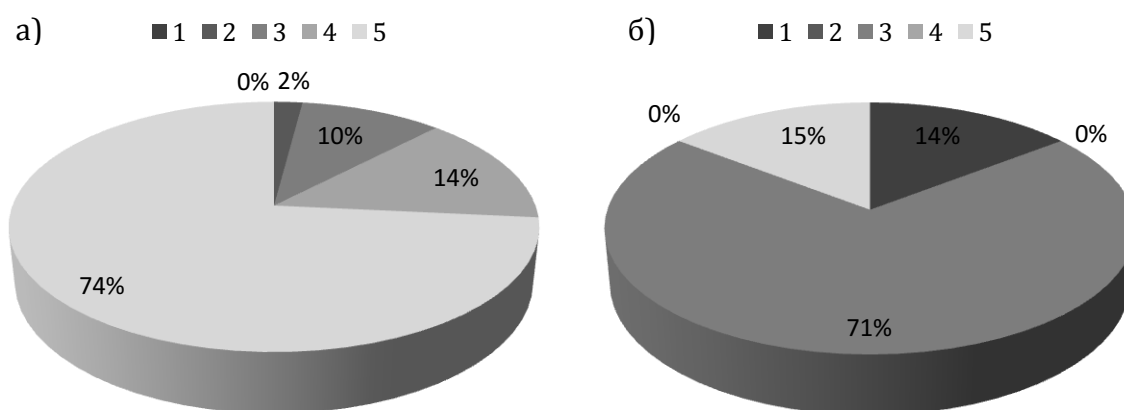
**Слика 34.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 4b дали оцене 1 – 5



**Слика 35.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 5 дали оцене 1 – 5

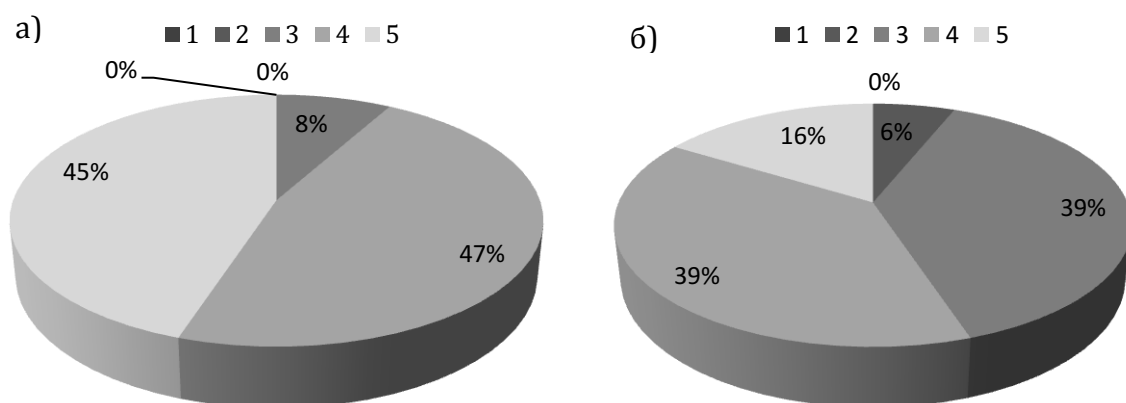


**Слика 36.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 6 дали оцене 1 – 5

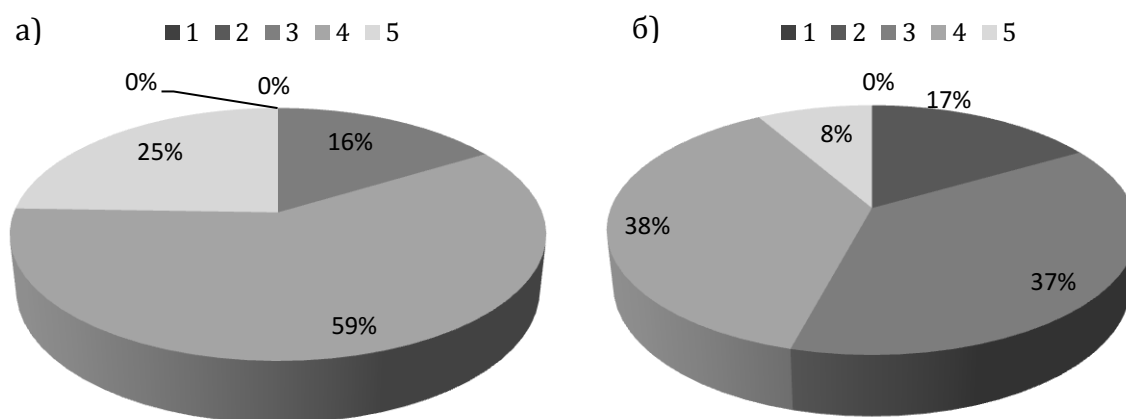


**Слика 37.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 7 дали оцене 1 – 5

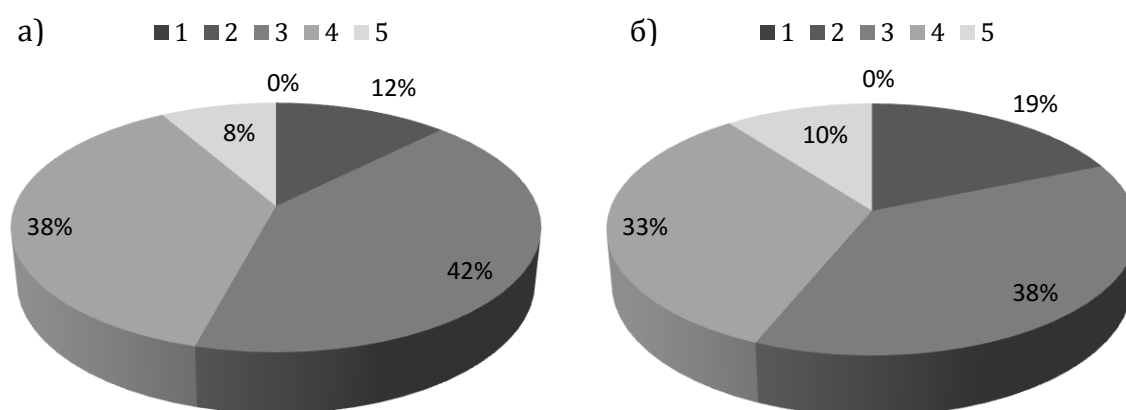




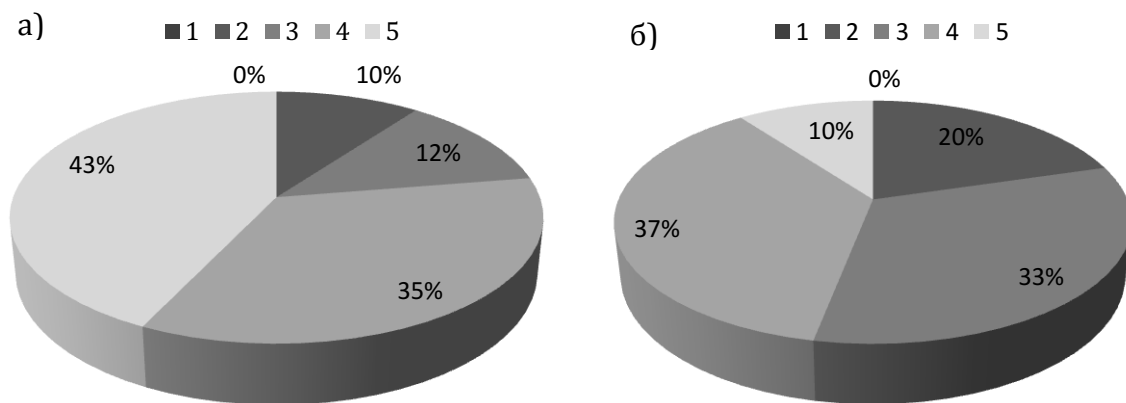
**Слика 38.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 8 дали оцене 1 – 5



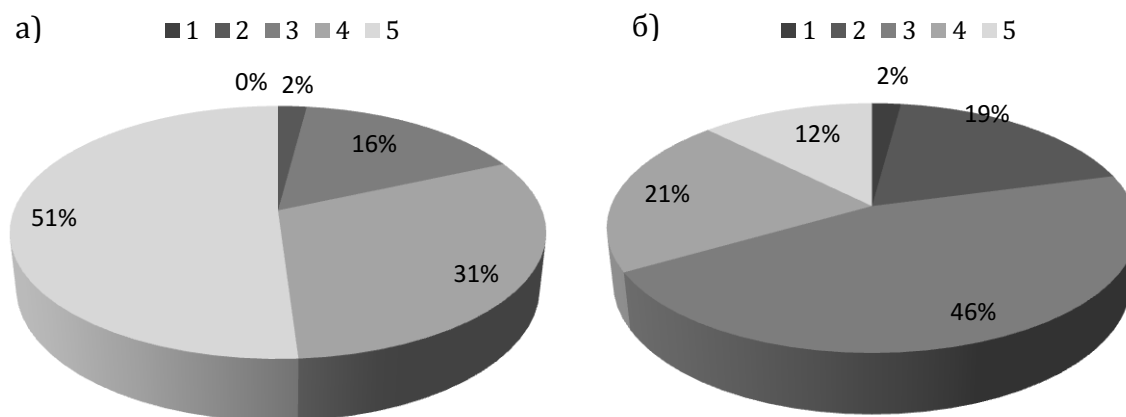
**Слика 39.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 9 дали оцене 1 – 5



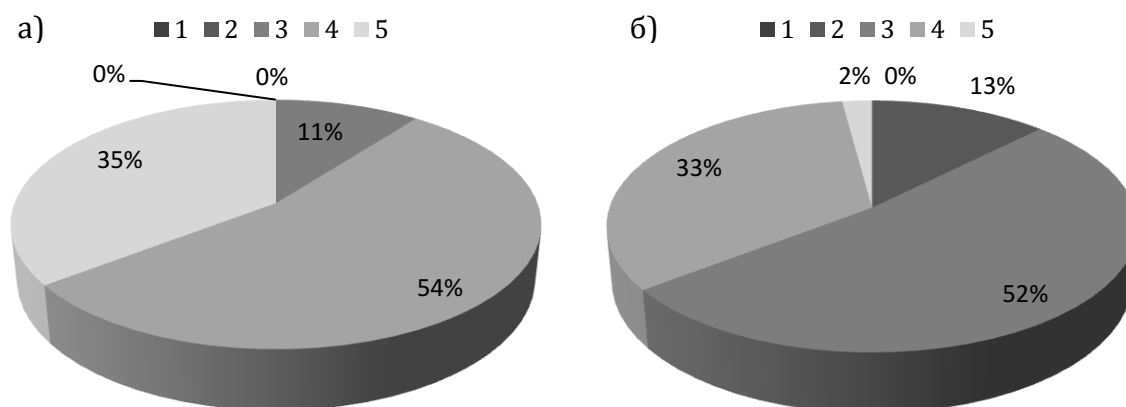
**Слика 40.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 10 дали оцене 1 – 5



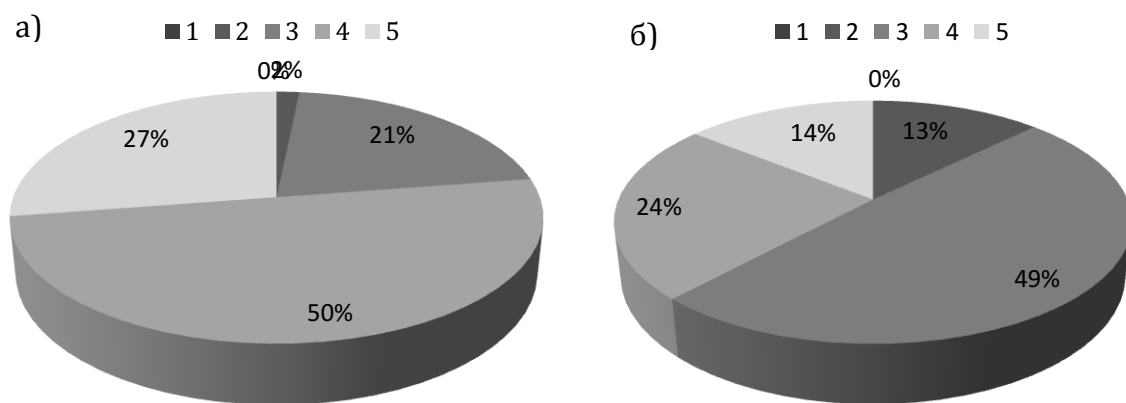
**Слика 41.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 11 дали оцене 1 – 5



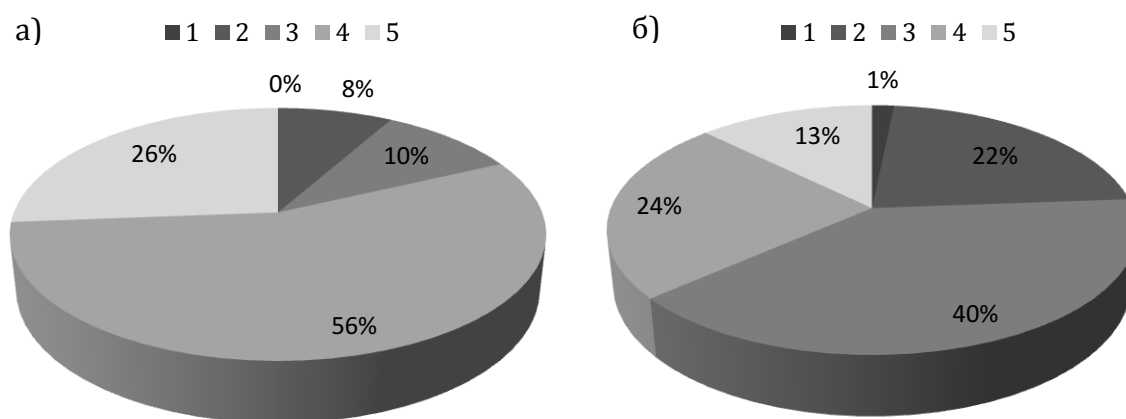
**Слика 42.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 12 дали оцене 1 – 5



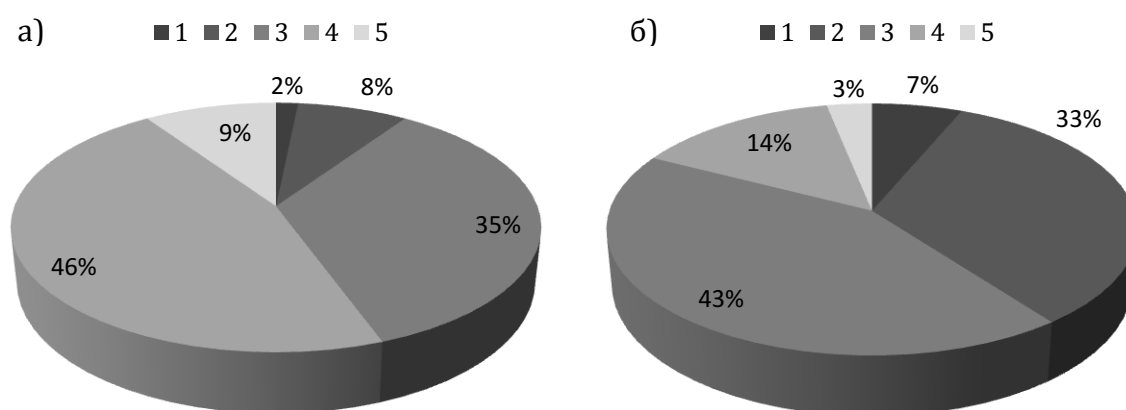
**Слика 43.** Графички приказ процената испитаника из прве групе који су на питање бр. 13 дали оцене 1 – 5



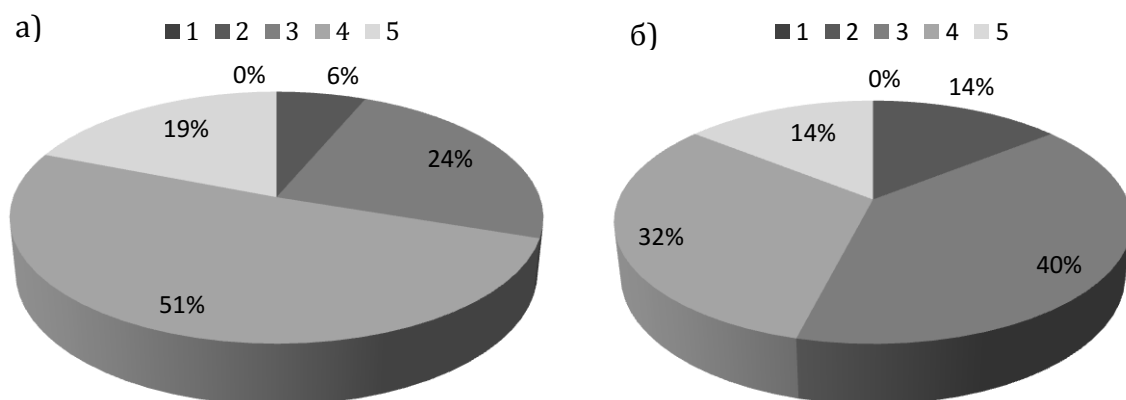
**Слика 44.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 1 дали оцене 1 – 5



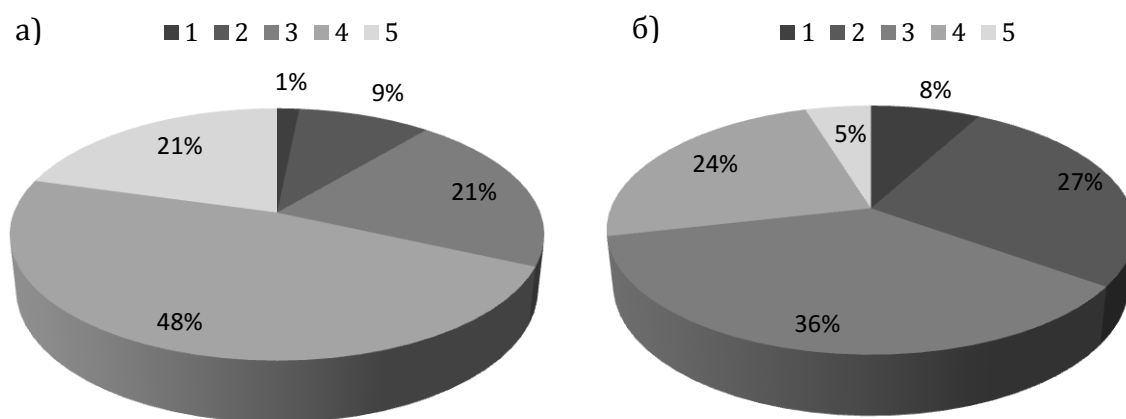
**Слика 45.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 2 дали оцене 1 – 5



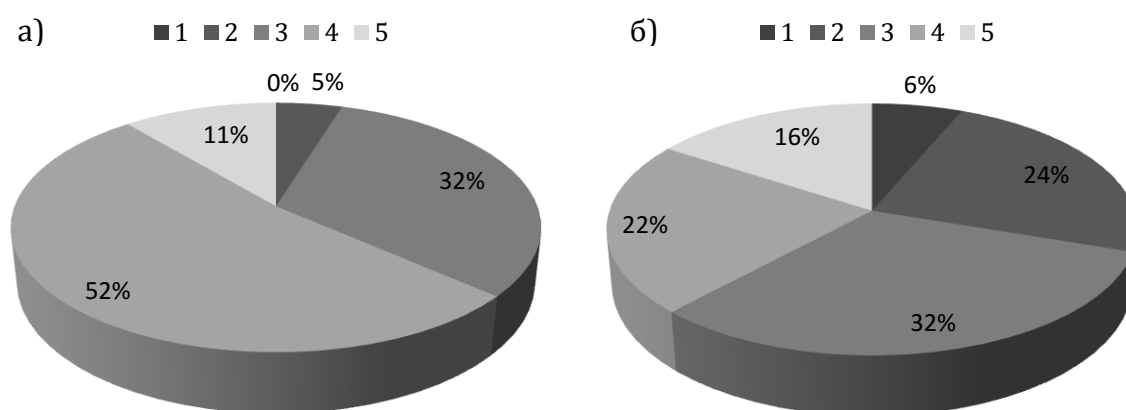
**Слика 46.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 3а дали оцене 1 – 5



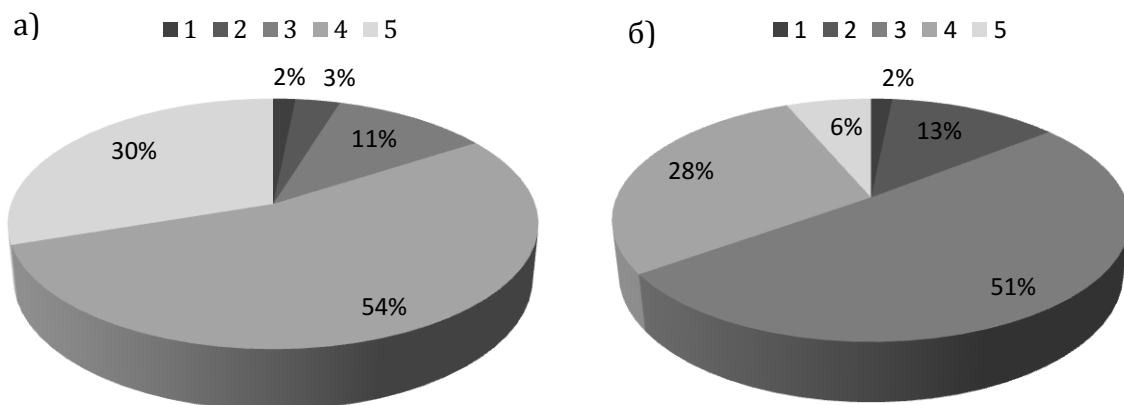
**Слика 47.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 3б дали оцене 1 – 5



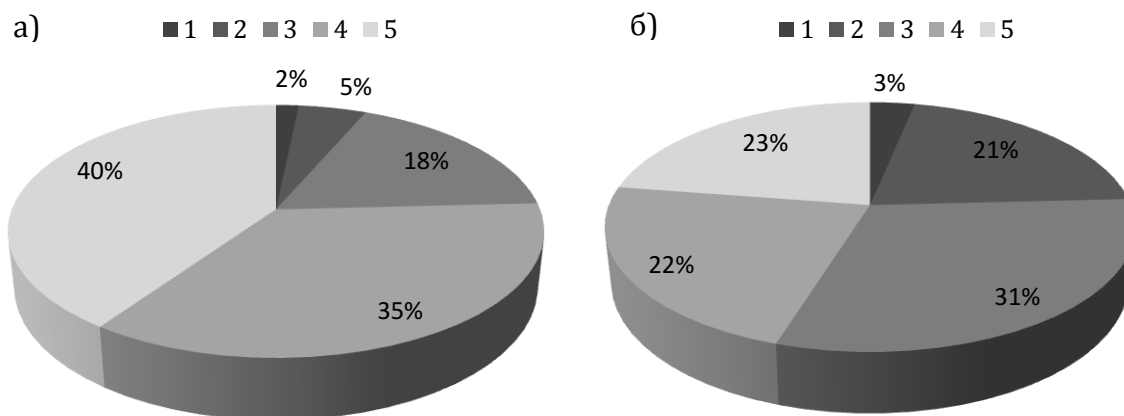
**Слика 48.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 4а дали оцене 1 – 5



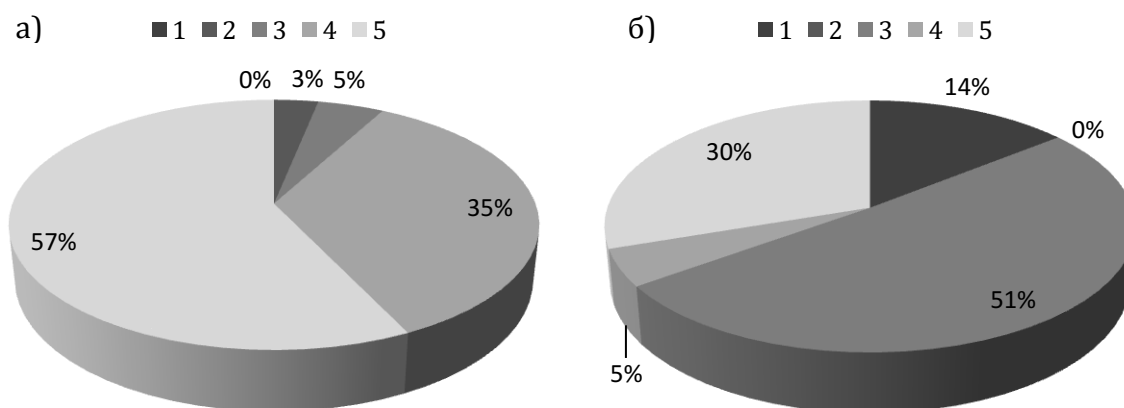
**Слика 49.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 4б дали оцене 1 – 5



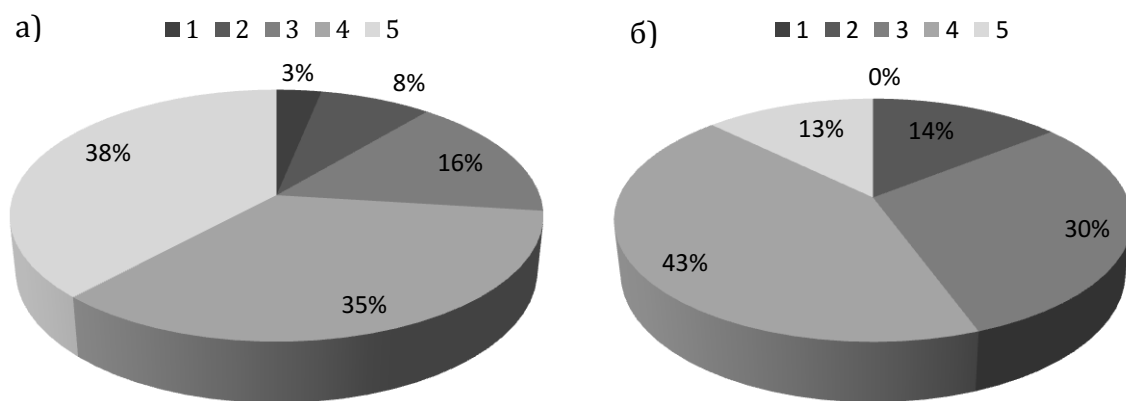
**Слика 50.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 5 дали оцене 1 – 5



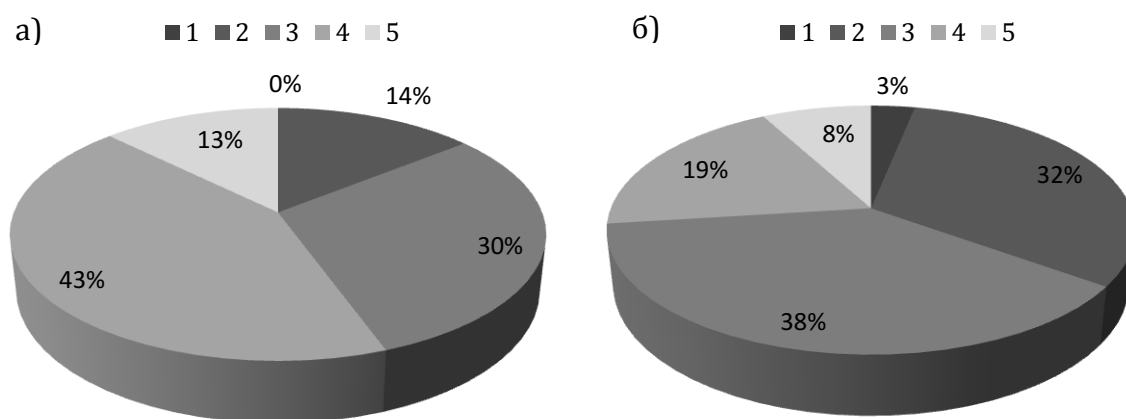
**Слика 51.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 6 дали оцене 1 – 5



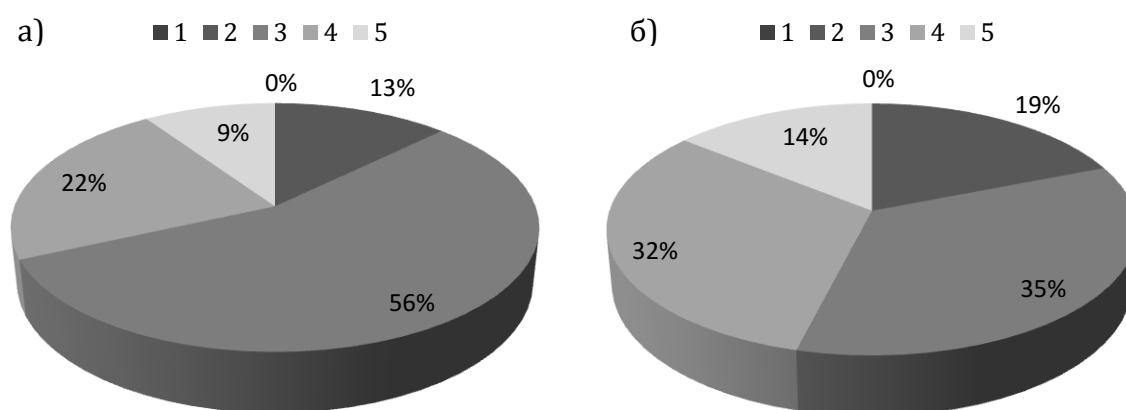
**Слика 52.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 7 дали оцене 1 – 5



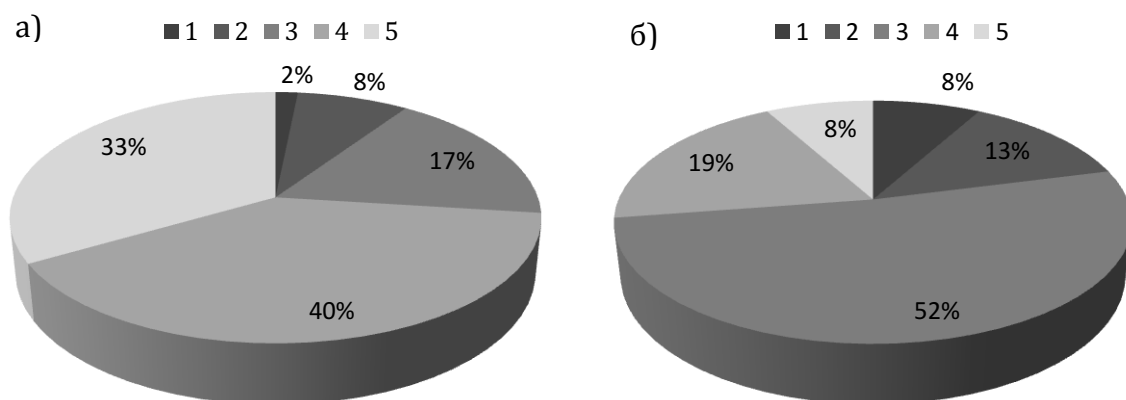
**Слика 53.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 8 дали оцене 1 – 5



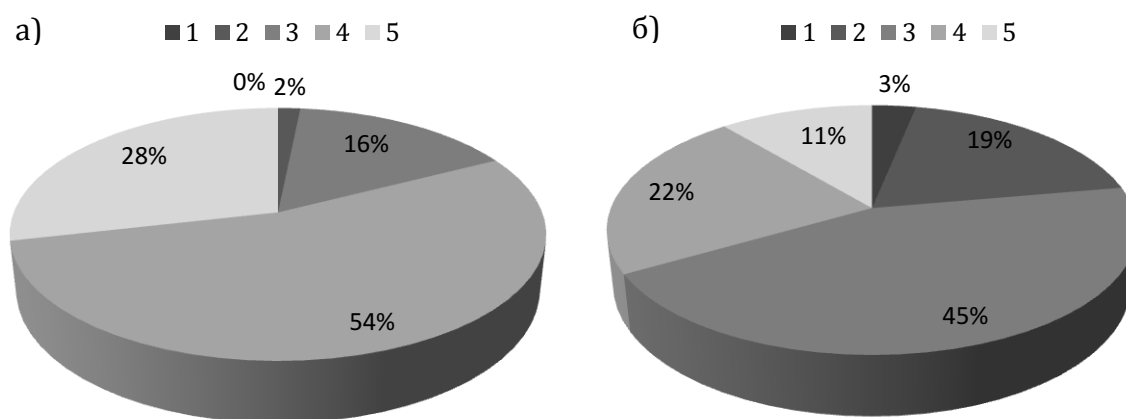
**Слика 54.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 9 дали оцене 1 – 5



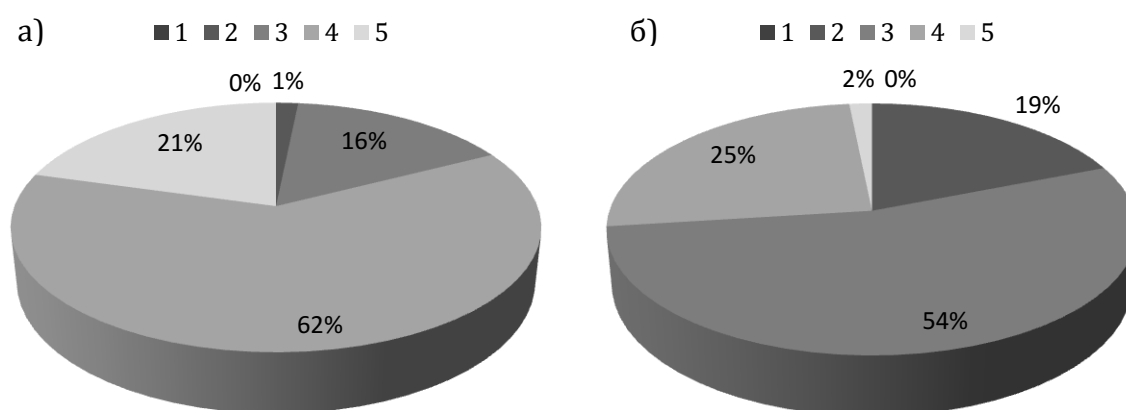
**Слика 55.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 10 дали оцене 1 – 5



**Слика 56.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 11 дали оцене 1 – 5



**Слика 57.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 12 дали оцене 1 – 5



**Слика 58.** Графички приказ процената испитаника из друге групе који су на питање бр. 13 дали оцене 1 – 5

Пошто је изглед људског лица у амбијенталном осветљењу од изузетне важности, њему су у анкетном упитнику посвећена чак четири питања. Међутим, да би се избегло пренаглашавање овог аспекта квалитета амбијенталног осветљења, одлучено је да се у даљој анализи питања бр. 3а и 3б, као и питања бр. 4а и 4б, третирају као јединствено питање.

Табела 7 садржи просечну оцену по сваком питању за испитанике из прве групе (питање бр. 13, које се односи на свеукупан (резултантни) утисак, посебно је третирано). Напомиње се да резултати анкете показују да су код оба типа осветљења и интензитет и квалитет осветљења људских лица (знатно) већи код лица која су окренута према светиљци (лица на позицији А на слици 26) него код лица ротираних за 90°, што се и очекивало (највећа разлика је код LED осветљења, где просечне оцене за питања бр. 3а и 3б редом износе 2.37 и 3.94).

**Табела 7.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из прве групе (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	4.16	4.35	3.77	3.96	4.46	4.48	4.59	4.37	4.08	3.42	4.10	4.16
	3.29	3.04	3.16	3.05	3.53	3.29	3.00	3.65	3.38	3.35	3.37	3.23
Однос просечних оцена	1.26	1.43	1.19	1.30	1.26	1.36	1.53	1.20	1.21	1.02	1.22	1.29

Из табеле 7 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све аспекте осветљења) износи 4.16 за тип осветљења 1, а 3.28 за тип осветљења 2. Пошто просечна оцена за питање бр. 13 (које се такође односи на укупан утисак) износи 4.25 за тип осветљења 1, а 3.25 за тип осветљења 2,



може да се уочи изузетна конзистентност одговора испитаника из прве групе.

Табела 8 садржи просечну оцену по сваком питању за испитанике из друге групе.

**Табела 8.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из друге групе (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	4.03	4.00	3.68	3.73	4.08	4.08	4.68	3.97	3.54	3.29	3.95	4.10
	3.40	3.24	3.10	3.03	3.25	3.40	3.37	3.54	2.97	3.41	3.06	3.19
Однос просечних оцена	1.19	1.23	1.19	1.23	1.26	1.20	1.39	1.12	1.19	0.96	1.29	1.29

Из табеле 8 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све аспекте осветљења) износи 3.93 за тип осветљења 1, а 3.25 за тип осветљења 2. Пошто просечна оцена за питање бр. 13 (које се такође односи на укупан утисак) износи 4.02 за тип осветљења 1, а 3.10 за тип осветљења 2, и код испитаника из друге групе може да се уочи прилична конзистентност одговора.

Табела 7 показује да су испитаници из прве групе сматрали да је тип осветљења 1 (са светиљкама са конвенционалним (МН) изворима светлости) бољи по свим аспектима! Однос оцена по појединачним питањима које су испитаници дали типовима осветљења 1 и 2 припада опсегу 1.19-1.53 (просечна вредност односа износи 1.27), при чему једини изузетак представља питање бр. 10 (које се односи на субјективни доживљај бљештања), код кога су оба типа осветљења приближно једнако оцењена.

Табела 8 показује да су и испитаници из друге групе сматрали да је тип осветљења 1 бољи по свим аспектима (једини изузетак представља субјективни доживљај бљештања, за који је тип осветљења 2 добио незнатно бољу оцену). Однос оцена по појединачним питањима које су испитаници из друге групе дали типовима осветљења 1 и 2 припада опсегу 1.12 – 1.39 (изузетак је питање бр. 10, за које однос оцена износи 0.96). Просечна вредност односа оцена (1.21) нижа је од оне која се односи на испитанике из прве групе (1.27).

Четврти лист анкетног упитника садржи три питања, од којих је прво гласило: „Који тип осветљења Вам се више свиђа?”. Од 49 испитаника из прве групе чак њих 44 (89.8%) одговорило је да им се више свиђа тип осветљења 1, док је од 63 испитаника из друге групе чак њих 53 (84.1%) преферирало исти тип осветљења (од укупног броја испитаника из обе групе (112) њих 97 (86.6%) изјаснило се у корист типа осветљења 1).

Друго и треће питање са четвртог листа анкетног упитника гласила су:

2. Заокружите или додајте највише 3 разлога због којих сматрате да је тип осветљења који Вам се више свиђа бољи од другог:

1. интензитет (јачина) осветљења стазе
2. равномерност осветљења стазе
3. изглед људских лица
4. боја светлости
5. верност приказа боја
6. верност приказа боја вегетације
7. мање бљештање
8. осећај безбедности
9. осећај угодности
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_

3. Ако сматрате да тип осветљења који Вам се мање свиђа има неке предности у односу на тип осветљења који Вам се више свиђа, заокружите или додајте највише 3 разлога због којих то сматрате:

1. интензитет (јачина) осветљења стазе
2. равномерност осветљења стазе
3. изглед људских лица
4. боја светлости
5. верност приказа боја
6. верност приказа боја вегетације
7. мање бљештање
8. осећај безбедности
9. осећај угодности
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_

Табеле 9 и 10 односе се на испитанике из прве групе који сматрају да је бољи тип осветљења 1 (њих 44). Табела 9 садржи бројеве таквих испитаника који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тип осветљења 1, док табела 10 садржи бројеве испитаника који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 2 изгледа боље.

**Табела 9.** Бројеви оних испитаника из прве групе који преферирају тип осветљења 1 и који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тај тип осветљења

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	14	24	13	24	5	4	10	8	21

**Табела 10.** Бројеви оних испитаника из прве групе који преферирају тип осветљења 1 и који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 2 изгледа боље

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	10	2	3	3	2	2	12	3	0

Један испитаник је као предност типа осветљења 2 навео “боју светлости у случају присуства снежног прекривача”.

Табела 9 показује да су испитаници из прве групе који преферирају тип осветљења 1 издвојили аспекте бр. 2, 4 и 9 као доминантне у њиховој оцени да је тај тип осветљења бољи (то су следећи аспекти: равномерност осветљења стазе, боја светлости и осећај угодности). Табела 10 показује да су исти испитаници издвојили аспекте бр. 1 и 7 као аспекте по којима тип осветљења 2 сматрају бољим (то су следећи аспекти: интензитет (јачина) осветљења стазе и мање бљештање).

Табеле 11 и 12 односе се на испитанике из прве групе који сматрају да је бољи тип осветљења 2 (њих 5). Табела 11 садржи бројеве таквих испитаника који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тип осветљења 2, док табела 12 садржи бројеве испитаника који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 1 изгледа боље.

**Табела 11.** Бројеви оних испитаника из прве групе који преферирају тип осветљења 2 и који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тај тип осветљења

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	0	1	1	1	3	1	3	1	3

**Табела 12.** Бројеви оних испитаника из прве групе који преферирају тип осветљења 2 и који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 1 изгледа боље

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	1	2	1	0	0	1	0	2	1

Један испитаник је као предност типа осветљења 2 навео “мањи контраст светло-тамно”.

Табела 11 показује да су испитаници из прве групе који преферирају тип осветљења 2 издвојили аспекте бр. 5, 7 и 9 као доминантне у њиховој оцени да је тај тип осветљења бољи (то су следећи аспекти: верност приказа боја, мање бљештање и осећај угодности). Табела 12 показује да су исти испитаници издвојили аспекте бр. 2 и 8 као аспекте по којима тип осветљења 1 сматрају бољим (то су следећи аспекти: равномерност осветљења стазе и осећај безбедности). Треба истаћи да показатеље из табела 11 и 12 треба узети са резервом, јер је у оцењивању учествовало само 5 испитаника.

Табеле 13 и 14 односе се на испитанике из друге групе који сматрају да је бољи тип осветљења 1 (њих 53). Табела 13 садржи бројеве таквих испитаника који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тип осветљења 1, док табела 14 садржи бројеве испитаника који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 2 изгледа боље.

**Табела 13.** Бројеви оних испитаника из друге групе који преферирају тип осветљења 1 и који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тај тип осветљења

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	21	25	19	22	6	0	10	19	27

**Табела 14.** Бројеви оних испитаника из друге групе који преферирају тип осветљења 1 и који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 2 изгледа боље

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	3	4	4	9	9	3	17	3	2

Један испитаник је као предност типа осветљења 2 навео “осветљава шири круг”.

Табела 13 показује да су испитаници из друге групе који преферирају тип осветљења 1 издвојили исте аспекте као и испитаници из прве групе (аспекте бр. 2, 4 и 9) као доминантне у њиховој оцени да је тај тип осветљења бољи. Табела 14 показује да су испитаници из друге групе издвојили аспекте бр. 4, 5 и 7 као аспекте по којима тип осветљења 2 сматрају бољим (то су следећи аспекти: боја светлости, верност приказа боја и мање бљештање), уз истицање аспекта бр. 7 који су, као доминантан за квалитет типа осветљења 2, издвојили и испитаници из прве групе.

Табеле 15 и 16 односе се на испитанике из друге групе који сматрају да је бољи тип осветљења 2 (њих 10). Табела 15 садржи бројеве таквих испитаника који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тип осветљења 2, док табела 16 садржи бројеве испитаника који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 1 изгледа боље.

**Табела 15.** Бројеви оних испитаника из друге групе који преферирају тип осветљења 2 и који су издвојили поједине аспекте као изузетно повољне за тај тип осветљења

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	3	2	2	5	3	0	4	3	6

**Табела 16.** Бројеви оних испитаника из друге групе који преферирају тип осветљења 2 и који су издвојили поједине аспекте по којима им тип осветљења 1 изгледа боље

Редни број аспекта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Број испитаника који су издвојили тај аспект	2	1	2	0	3	1	3	3	2

Један испитаник је као предност типа осветљења 1 навео “топлину боје”, а други да се “људи боље уочавају”.

Табела 15 показује да су испитаници из друге групе који преферирају тип осветљења 2 издвојили аспекте бр. 4, 7 и 9 као доминантне у њиховој оцени да је тај тип осветљења бољи (то су следећи аспекти: боја светлости, мање бљештање и осећај угодности). Табела 16 показује да су исти испитаници издвојили аспекте бр. 6, 7 и 8 као аспекте по којима тип осветљења 1 сматрају бољим (то су следећи аспекти: верност приказа боја вегетације, мање бљештање и осећај безбедности). Треба нагласити да показатеље из табела 15 и 16 треба узети са резервом, јер је у оцењивању учествовало само 10 испитаника. Томе доприноси и чињеница да су аспект бр. 7 (мање бљештање) издвојили као предност оба типа осветљења.

Анализом табела 9, 10, 13 и 14, које се односе на испитанике из обе групе који преферирају тип осветљења 1 (86.6% укупног броја испитаника), закључено је да као доминантне аспекте у односу на које је тип осветљења 1 бољи од типа осветљења 2 испитаници истичу равномерност осветљености, боју светлости и осећај угодности. Анализом табела 7 и 8 закључује се да и односи оцена по питањима која се односе на те аспекте имају максималне вредности, што представља још једну потврду изузетне конзистентности резултата анкете.

Анализом табела 9, 10, 13 и 14 добија се да мање бљештање представља једини аспект који испитаници јасно издвајају као предност типа осветљења 2, који сматрају лошијим. Подсетимо се да је то једини аспект за који просечна оцена испитаника није знатно већа код типа осветљења 1 (однос оцена које су на питање бр. 10 дали испитаници из прве групе износи 1.02, а испитаници из друге групе: 0.96).

Приметимо да су закључци нашег пилот пројекта супротни закључцима напред поменутог пилот пројекта “LightSavers”, према којима “грађани више воле LED осветљење”. Пошто нисмо упознати са детаљима пилот пројекта “LightSavers”, можемо само да претпоставимо да је вршено поређење LED и натријумовог осветљења, што, по нашем мишљењу, нема никаквог смисла у амбијенталном осветљењу.

Као што је напред речено, испод табеле на трећем листу анкетног упитника налази се 12 квадратића у које су испитаници уписивали редне бројеве првих 12 питања (која се односе на појединачне аспекте квалитета амбијенталног осветљења), а у зависности од значаја питања (од најзначајнијег ка најмање значајном).

Табела 17 садржи бројеве испитаника из прве групе који су свако од 12 питања сврстали на свако место на скали од 1 до 12, а у зависности од процене значаја тог питања. Табела 18 садржи исте податке за испитанике из друге групе.



**Табела 17.** Бројеви испитаника из прве групе који су свако питање сврстали на свако место на скали од 1 до 12

Редни број питања  Значај питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	5	4	0	0	1	3	2	0	1	2	19	12
2	6	6	1	1	4	4	2	1	1	5	5	13
3	6	8	3	7	4	3	2	2	1	6	3	4
4	7	7	3	4	5	5	5	3	1	4	4	1
5	6	3	8	3	6	2	4	2	2	3	5	3
6	3	7	3	8	8	2	3	2	5	3	2	4
7	3	4	5	9	4	5	0	10	1	3	2	4
8	3	1	10	4	5	6	3	4	4	5	2	1
9	6	2	6	5	7	5	10	1	3	2	1	1
10	2	3	3	5	5	5	5	10	2	6	2	1
11	0	2	6	0	0	8	6	11	6	7	3	2
12	2	2	1	3	0	1	7	3	22	3	1	3

**Табела 18.** Бројеви испитаника из друге групе који су свако питање сврстали на свако место на скали од 1 до 12

Редни број питања  Значај питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	6	3	2	2	1	4	0	0	0	3	30	11
2	6	7	4	4	13	2	3	0	1	3	5	15
3	7	4	12	7	8	8	2	1	1	4	5	4
4	7	11	8	13	8	4	1	2	0	4	0	5
5	8	4	8	9	8	4	7	5	3	4	2	1
6	9	9	6	5	3	8	2	4	3	8	3	3
7	3	6	8	6	9	8	7	3	2	3	3	5
8	6	4	4	7	3	11	8	7	2	8	0	3
9	2	6	3	2	3	6	14	6	8	6	4	3
10	3	2	1	4	4	5	12	6	8	10	4	4
11	3	3	6	3	2	3	2	16	12	7	3	4
12	3	4	1	1	1	0	5	13	23	3	4	5

Анализа табеле 17 показује да испитаници из прве групе издвајају питања бр. 1, 2, 11 и 12 као најзначајнија (то су питања која се односе на интензитет и равномерност осветљености стазе, али пре свега питања која се односе на осећај безбедности и угодност амбијента). Као питања од најмањег значаја, они издвајају питања бр. 7, 8 и 9 (то су питања која се односе на боју светлости, способност светлости да верно приказује боје у простору и природност изгледа боја осветљене вегетације). Наглашавамо да се у овом делу резултати анкете разликују од очекиваних, јер су, иако се ради о амбијенталном осветљењу, испитаници који поседују предзнања из области

осветљења предност дали интензитету и равномерности осветљености стазе, а не квалитету боје светлости и верном приказу боја у простору.

Анализа табеле 18 показује да испитаници из друге групе такође издвајају питања бр. 1, 11 и 12 као најзначајнија (то су питања која се односе на осећај безбедности и угодност амбијента, као и на интензитет осветљености стазе), уз напомену да веома значајним сматрају и питања бр. 2 – 6. Као питања од најмањег значаја и они издвајају питања бр. 7, 8 и 9, а ни питање бр. 10, које се односи на субјективни осећај бљештања, не сматрају нарочито значајним (вероватно због чињенице да је постојање дифузора драстично редуковало бљештање, које често представља најнепријатнији ефекат у амбијенталном осветљењу). Занимљиво је да међу испитаницима из друге групе има и доста оних који питања бр. 11 и 12, већински оцењена као најзначајнија, сматрају најмање значајним.

Прилози Д и Ђ садрже оригиналне коментаре свих испитаника који се односе на избор најбољих карактеристика типа осветљења 1 (прилог Д), односно најбољих карактеристика типа осветљења 2 (прилог Ђ).

Анализом прилога Д може да се закључи да испитаници из прве групе сматрају да равномерност осветљености, пријатност боје светлости и угодан амбијент представљају оно најбоље код типа осветљења 1. Једина разлика која се примећује у ставовима испитаника из друге групе огледа се у томе што уместо равномерности осветљености истичу интензитет осветљења.

Анализом прилога Ђ може да се закључи да испитаници из прве групе сматрају да интензитет осветљења, пријатност боје светлости и угодан амбијент представљају оно најбоље што карактерише тип осветљења 2 (приметимо да су исте параметре испитаници из друге групе издвојили као оно што је најбоље код типа осветљења 1). Поред пријатности боје светлости, испитаници из друге групе за тип осветљења 2 издвајају верност репродукције боја и мало бљештање.

Прилог Е садржи опште коментаре испитаника, као и њихове коментаре који се односе на недостатке типа осветљења 2. Наглашавамо да није било таквих коментара о типу осветљења 1.

#### **4.1.2. Статистичка анализа резултата добијених анкетом**

Пошто се ради о узорцима (групама испитаника) са великим бројем елемената (чланова), за проверу статистичког значаја добијених резултата примењен је t-тест за једнакост средњих вредности који важи за случај зависних узорака. Очигледно је да се ради о зависним узорцима, јер је од испитаника тражено да одговоре на исто питање које се односи на оба типа осветљења, и то након што обиђу делове стазе на којима су примењени и један и други тип осветљења.

Претпоставка да су узорци независни имала би смисла да је једна група испитаника оцењивала један тип осветљења, а друга група (састављена од испитаника приближно истих карактеристика и знања) други тип осветљења (уз то, било би неопходно да временски услови буду приближно исти). Узорци би такође могли да се сматрају независним уколико би иста група испитаника прво оцењивала једну инсталацију осветљења (док је друга искључена), а затим, после одређеног времена неопходног да забораве утиске о првој инсталацији, другу инсталацију осветљења.

Напомињемо да у оквиру статистичке анализе није било могуће груписање појединих питања, које је коришћено приликом израде табела 7 и 8.

Статистичка анализа се састоји од следећих корака (Freund, 2004):

1. формулисати основну хипотезу  $H_0$  и алтернативну хипотезу  $H_1$ ,
2. одредити ниво значаја – критичну p-вредност, која представља минималну вредност вероватноће да је хипотеза  $H_0$  истинита,

3. одредити вредност t-статистике из узорка, и
4. проверити да ли вредност t-статистике припада критичном опсегу, и, у зависности од тога, прихватити или одбацити основну хипотезу  $H_0$ .

У посматраном случају, основна хипотеза  $H_0$  за свако питање је:  $\bar{x}_1 = \bar{x}_2$ , при чему  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  представљају просечне вредности оцена које су у односу на то питање испитаници редом доделили инсталацијама осветљења 1 и 2. Хипотеза  $H_0$  је тестирана двосмерно у односу на алтернативну хипотезу  $H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$  (могуће су обе ситуације:  $\bar{x}_1 > \bar{x}_2$  и  $\bar{x}_1 < \bar{x}_2$ ).

Уобичајене критичне p-вредности су  $p_c = 0.05$  и  $p_c = 0.01$  (прва (друга) значи да је разлика између  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  статистички (врло) значајна уколико је вероватноћа да је хипотеза  $H_1$  истинита већа од 0.95 (0.99)).

У случају зависних узорака, какав је анализирани, могу да се користе следеће формуле (Јаношевић, 1996):

$$t = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i\right)^2}{n}}{n(n-1)}}} \quad (1)$$

$$df = n - 1, \quad (2)$$

у којима је  $d_i = x_{1i} - x_{2i}$ , а  $\bar{d}$  представља просечну вредност свих вредности  $d_i$ :

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \quad (3)$$

( $x_{1i}$  и  $x_{2i}$  представљају оцене које су на анализирано питање добијене од i-тог испитаника за прву и другу инсталацију осветљења, респективно).

IBM је развио софтвер који омогућава одређивање  $p$ -вредности која одговара израчунатим вредностима  $t$  и  $df$ . Ако је  $p \leq p_c$ , основна хипотеза може да се одбаци, а ако је  $p > p_c$ , основна хипотеза може да се прихвати. Одбацавањем основне хипотезе, практично се потврђује да је разлика између  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  статистички значајна ( $0.01 < p \leq 0.05$ ) или статистички врло значајна ( $p \leq 0.01$ ).

Статистичка анализа која претпоставља зависне узорке је значајно комплекснија, јер захтева информације о томе како је сваки испитаник оценио обе инсталације у односу на анализирано питање (аспект осветљења). У случају независних узорака, довољно је да буду познати бројеви испитаника који су дали једну од оцена 1, 2, 3, 4 или 5 сваком од типова осветљења у односу на посматрано питање.

За свако од 15 анализираних питања израчуната је  $t$ -вредност коришћењем програма IBM SPSS Statistics. Релевантни резултати примењене статистичке анализе која се односи на прву групу испитаника представљени су у табели 19, док су резултати који се односе на другу групу испитаника приказани у табели 20.

**Табела 19.** Резултати статистичке анализе са зависним узорцима за прву групу испитаника

Број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Разлика просечних вредности	0.87	1.31	1.06	0.18	1.02	0.79	0.93	1.19	1.59	0.72	0.70	0.07	0.73	1.08	1.00
<i>t</i>	6.972	8.818	8.261	1.295	6.799	5.574	7.415	6.360	7.886	6.325	5.477	0.322	5.528	7.443	9.146
<i>p</i>	0.000	0.000	0.000	0.202	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.749	0.000	0.000	0.000

**Табела 20.** Резултати статистичке анализе са зависним узорцима за другу групу испитаника

Број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Разлика просечних вредности	0.63	0.76	0.79	0.37	0.86	0.53	0.83	0.68	1.09	0.43	0.57	-0.12	0.89	0.91	0.92
<i>t</i>	4.151	4.304	6.993	2.642	5.656	3.346	6.711	3.521	5.419	2.537	3.695	-0.747	5.849	5.788	7.391
<i>p</i>	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.014	0.000	0.458	0.000	0.000	0.000

Из табела 19 и 20 може да се закључи да, са изузетком питања бр. 4, 10 и 12 (која се редом односе на доживљај интензитета (јачине) осветљења људског лица чији је профил паралелан са шеталишном стазом, способност инсталације осветљења да верно прикаже боје и доживљај бљештања), резултати добијени од обе групе испитаника за сва питања могу да се сматрају статистички врло значајним ( $p < 0.01$ ). Резултат добијен за четврто питање не може се сматрати статистички значајним за прву групу испитаника ( $p > 0.05$ ), иако је статистички чак врло значајан за другу групу испитаника ( $p = 0.01$ ). За прву и другу групу испитаника резултат добијен за десето питање може се сматрати редом статистички врло значајним и статистички значајним. Резултати за дванаесто питање нису статистички значајни ни за једну групу испитаника.

#### **4.1.3. Обрада резултата анкете уважавањем тежинских фактора**

Анализом одговора испитаника на питања из анкетног упитника добијене су табеле 7 и 8, које се редом односе на испитанике из прве и друге групе, а садрже просечне оцене које су оба типа осветљења добила по сваком питању (аспекту). Табеле 7 и 8 показују да испитаници из обе групе сматрају да тип осветљења 1 (са МН изворима светлости) поседује боље перформансе по свим параметрима (једино су по питању субјективног доживљаја бљештања испитаници из друге групе незнатно боље оценили осветљење изведено помоћу LED светиљки).

Не очекујући да ће испитаници дати предност типу осветљења 1 по свим питањима, а и свесни чињенице да сва питања нису подједнако значајна, организатори анкете су од сваког испитаника захтевали да на трећем листу упитника у низ од 12 квадратића упише редне бројеве свих 12 питања поређане по значају питања, као и да упише однос значаја најзначајнијег и најмање значајног питања, и то на скали од 1 до 2, са кораком од 0.1



(испитаницима је објашњено да 1 означава да су сва питања подједнако значајна, а 2 да је разлика у значају појединих питања веома велика).

Табеле 21 и 22 садрже бројеве испитаника из прве (друге) групе који су уписали однос 1.0, 1.1, ..., 1.9 и 2.0.

**Табела 21.** Бројеви испитаника из прве групе који су уписали однос 1.0, 1.1, ..., 1.9 и 2.0

Однос	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Број испитаника	3	2	4	8	3	10	4	7	5	0	3

**Табела 22.** Бројеви испитаника из друге групе који су уписали однос 1.0, 1.1, ..., 1.9 и 2.0

Однос	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
Број испитаника	5	1	10	4	5	11	8	7	5	3	4

Како просечна вредност посматраног односа и за прву и за другу групу износи 1.49, може да се закључи да су испитаници сматрали да постоји значајна (не и драстична) разлика у значају постављених питања.

Формирање две Excel табеле у којима је за  $i$ -тог испитаника из прве (друге) групе унет садржај 12 квадратића и вредност односа ( $K_{oi}$ ) најзначајнијег и најмање значајног питања, омогућило је да се сваком питању додели тежински фактор. Питању које се на скали по значају (почев од најзначајнијег питања) нашло на  $j$ -том месту ( $j=1,2,\dots,12$ ) додељен је тежински фактор  $K_{ti,j}$  применом следеће две формуле:

$$K_{ti,j} = \frac{K_{oi}}{11\sqrt{K_{oi}^{j-1}}} = 11\sqrt{K_{oi}^{12-j}} \quad (4)$$

$$K_{ti,j} = K_{oi} - \frac{K_{oi}-1}{11}(j-1) = \frac{(12-j) \cdot K_{oi} + j-1}{11} \quad (5)$$

(формула 4 је добијена уз претпоставку да количник суседних тежинских фактора има сталну вредност, а формула 5 уз претпоставку да разлика суседних тежинских фактора има сталну вредност).

Увођењем тежинских фактора, просечна оцена за свако од 12 питања одређена је применом формуле:

$$o = \frac{\sum_{i=1}^n o_i \cdot K_{ti,j}}{n} \quad (6)$$

у којој је са  $o_i$  означена оцена коју је по том питању дао  $i$ -ти испитаник, са  $j$  место које је на скали од 1 до 12 (по значају) том питању одредио  $i$ -ти испитаник, са  $K_{ti,j}$  тежински фактор одређен применом формуле 4 или формуле 5, а са  $n$  број испитаника из прве (друге) групе.

Табеле 23 и 24 садрже просечне оцене по појединим питањима за испитанике из прве (друге) групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 4.

**Табела 23.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из прве групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 4 (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.32	5.59	4.49	4.78	5.52	5.32	5.39	4.94	4.45	4.17	5.45	5.70
	4.23	3.91	3.73	3.67	4.36	3.95	3.55	4.13	3.65	4.06	4.44	4.30

**Табела 24.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из друге групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 4 (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.09	4.96	4.69	4.78	5.22	4.92	5.16	4.37	3.82	3.90	5.37	5.33
	4.29	4.02	3.94	3.87	4.16	4.18	3.88	3.86	3.20	4.05	4.18	4.16

Из табеле 23 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из прве групе) износи 5.09 за тип осветљења 1, а 4.00 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.27) једнак је са односом оцена ( $4.16/3.28 = 1.27$ ) одређеним на основу одговора испитаника из прве групе без уважавања тежинских фактора.

Из табеле 24 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из друге групе) износи 4.80 за тип осветљења 1, а 3.98 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.21) једнак је са односом оцена ( $3.93/3.25 = 1.21$ ) одређеним на основу одговора испитаника из друге групе без уважавања тежинских фактора.

Табеле 25 и 26 добијене су на исти начин као и табеле 23 и 24, само што су у овом случају тежински фактори одређени применом формуле 5.

**Табела 25.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из прве групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 5 (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.39	5.67	4.58	4.87	5.61	5.40	5.47	5.02	4.49	4.23	5.50	5.76
	4.29	3.96	3.81	3.74	4.43	4.01	3.61	4.19	3.68	4.12	4.48	4.34

**Табела 26.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из друге групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 5 (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.18	5.05	4.77	4.85	5.31	5.00	5.25	4.43	3.85	3.97	5.40	5.39
	4.37	4.09	4.00	3.94	4.23	4.26	3.94	3.91	3.23	4.13	4.20	4.21

Из табеле 25 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из прве групе) износи 5.17 за тип осветљења 1, а 4.05 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.28) незнатно је већи од односа оцена ( $4.16/3.28 = 1.27$ ) одређеним на основу одговора испитаника из прве групе без уважавања тежинских фактора.

Из табеле 26 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из друге групе) износи 4.87 за тип осветљења 1, а 4.04 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.21) једнак је са односом оцена ( $3.93/3.25 = 1.21$ ) одређеним на основу одговора испитаника из друге групе без уважавања тежинских фактора.

Табеле 27 – 30 одређене су аналогно табелама 23 – 26, само што је у овом случају вредност односа најзначајнијег и најмање значајног питања била иста за све испитанике и једнака просечној вредности тог односа за све испитанике:  $K_{oi} = 1.49$ .

**Табела 27.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из прве групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 4 усвајањем  $K_{ij} = 1.49$  за све испитанике (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.33	5.60	4.48	4.84	5.52	5.41	5.35	5.01	4.47	4.16	5.49	5.72
	4.23	3.93	3.74	3.72	4.38	4.00	3.53	4.20	3.68	4.05	4.49	4.28

**Табела 28.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из друге групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 4 усвајањем  $K_{ij} = 1.49$  за све испитанике (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.09	4.97	4.67	4.74	5.25	5.00	5.22	4.42	3.84	3.95	5.33	5.33
	4.28	4.02	3.90	3.81	4.19	4.20	3.92	3.93	3.21	4.07	4.12	4.14

**Табела 29.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из прве групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 5 усвајањем  $K_{ij} = 1.49$  за све испитанике (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.40	5.67	4.55	4.91	5.60	5.47	5.42	5.08	4.51	4.21	5.54	5.76
	4.28	3.98	3.80	3.77	4.44	4.05	3.57	4.26	3.71	4.10	4.53	4.32

**Табела 30.** Просечне оцене по појединим питањима које се односе на испитанике из друге групе, одређене уз уважавање тежинских фактора израчунатих применом формуле 5 усвајањем  $K_{i,j} = 1.49$  за све испитанике (горње вредности се односе на тип осветљења 1, а доње на тип осветљења 2)

Редни број питања	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Просечна оцена	5.16	5.04	4.74	4.81	5.31	5.08	5.29	4.47	3.88	4.00	5.36	5.38
	4.33	4.08	3.96	3.87	4.25	4.26	3.97	3.98	3.24	4.12	4.14	4.17

Из табеле 27 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из прве групе) износи 5.12 за тип осветљења 1, а 4.02 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.27) једнак је са односом оцена ( $4.16/3.28 = 1.27$ ) одређеним на основу одговора испитаника из прве групе без уважавања тежинских фактора.

Из табеле 28 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из друге групе) износи 4.82 за тип осветљења 1, а 3.98 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.21) једнак је са односом оцена ( $3.93/3.25 = 1.21$ ) одређеним на основу одговора испитаника из друге групе без уважавања тежинских фактора.

Из табеле 29 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из прве групе) износи 5.18 за тип осветљења 1, а 4.07 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.27) једнак је односу оцена ( $4.16/3.28 = 1.27$ ) одређеним на основу одговора испитаника из прве групе без уважавања тежинских фактора.

Из табеле 30 се добија да просечна оцена за свих 12 питања (просечна оцена за све разматране аспекте осветљења која се односи на испитанике из друге

групе) износи 4.88 за тип осветљења 1, а 4.03 за тип осветљења 2. Однос ових оцена (1.21) једнак је односу оцена ( $3.93/3.25 = 1.21$ ) одређеним на основу одговора испитаника из друге групе без уважавања тежинских фактора.

Дакле, уважавањем тежинских фактора није промењен однос просечних оцена за свих 12 питања (за све разматране аспекте осветљења) за тип осветљења 1 и тип осветљења 2.

Треба напоменути да је увођење тежинских фактора значајно у ситуацијама у којима један тип осветљења није у свему бољи од другог, јер може довести до тога да резултантна оцена буде боља за тип осветљења чија је резултантна оцена одређена без уважавања тежинских фактора била лошија.

#### **4.2. Објективни показатељи**

Вршено је поређење два светлотехничка решења која се последњих година најчешће користе у амбијенталном осветљењу – једног са метал-халогеним (МН) сијалицама са керамичким гориоником и другог са LED изворима (оба решења карактеришу топло-бела боја светлости, одлична репродукција боја и стабилна температура боје).

Анализирани су следећи случајеви пешачких стаза:

- стазе ширине  $W = 6\text{m}$ , светлотехничке класе P1, P2 и P3, и
- стазе ширине  $W = 3\text{m}$ , светлотехничке класе P3, P4 и P5.

У свим случајевима је претпостављен једностранни распоред стубова који се постављају 0.5 – 1 m од ивице стазе. Минимална висина монтаже светиљки (H) била је 4 m, док је максимална износила 5 m за стазе ширине 3 m, а 6 m за стазе ширине 6 m. Нагиб светиљки је износио  $\alpha = 0^\circ - 15^\circ$ . Ако је постојала лира, била је дугачка  $L_l = 0.5\text{ m}$ .

Фактор одржавања за МН светиљке износио је 0.71 (групна замена сијалица и чишћење светиљки сваке друге године) (Kostic M. and Djokic L., 2009), а 0.61 за LED светиљке (чишћење светиљки сваке четврте године) (Костић, 2012). Групна замена LED светиљки се обавља после 12 година, односно на средини њиховог експлоатационог периода од  $T = 24$  године.

Фотометријски прорачуни су вршени са следећим светиљкама (произвођач Minel-Schreder):

- CITEA MINI (35 и 70 W) за МН изворе светлости,
- CITEA MIDI (150 W) за МН изворе светлости,
- K-LUX (35 и 70 W) за МН изворе светлости,
- TECEO 1 (28 - 48 LEDs, 350-700 mA), и
- HAPILED (16 - 32 LEDs, 350 и 500 mA).

За прорачуне је коришћен софтвер Ulysse v2.1, развијен у компанији Schreder.

#### **4.2.1. Фотометријски показатељи**

У амбијенталном осветљењу релевантне фотометријске величине које треба да задовоље захтеве садржане у CIE Publication 115-2010 су: средња хоризонтална осветљеност ( $E_{hav}$ ), минимална хоризонтална осветљеност ( $E_{hmin}$ ), полуцилиндрична осветљеност ( $E_{sc}$ ) и релативни пораст прага (TI). Треба нагласити да захтеви који се односе на полуцилиндричну осветљеност и релативни пораст прага представљају додатне захтеве, од којих се први примењује уколико је потребно обезбедити распознавање људских лица.

За сваки од случајева разматраних у претходном поглављу, бирају се оптимална решења по два критеријума: критеријуму минималног броја стубова (максималног растојања између суседних стубова,  $s_{max}$ ) и критеријуму минималне инсталисане снаге,  $P_{min}$ . Први критеријум се



углавном односи на финансијски, а други на енергетски аспект инсталације осветљења. У табели 31 наведени су захтеви које је, у зависности од светлотехничке класе, требало да испуне поједини фотометријски параметри. Уважавана су и светлотехничка решења код којих су  $E_{hav}$  и  $E_{sc}$  били до 5% мањи од одговарајућих вредности наведених у CIE Publication 115-2010.

**Табела 31.** Захтеви које релевантни фотометријски параметри треба да испуне у зависности од светлотехничке класе улице за пешачки саобраћај (CIE Publication 115-2010, 2010)

Светлотехничка класа	$E_{hav}$ (lx) min.	$E_{hmin}$ (lx)	$E_{sc}$ (lx) min.	TI (%) max.
P1	15	3.0	3.0	20
P2	10	2.0	2.0	25
P3	7.5	1.5	1.5	25
P4	5.0	1.0	1.0	30
P5	3.0	0.6	0.6	30
P6	2.0	0.4	0.4	35

Да би се анализирано како испуњење *додатног* захтева који се односи на полуцилиндричну осветљеност утиче на економске и енергетске показатеље инсталације осветљења, урађена су и светлотехничка решења реализована без испуњења тог захтева. Резултати су приказани у табелама 32 и 33, у којима критеријуми  $s_{max}(E_{sc})$  и  $P_{min}(E_{sc})$  значе испуњење захтева за  $E_{sc}$ , док је у критеријумима  $s_{max}$  и  $P_{max}$  тај захтев изостављен. Табела 32 показује да уважавање захтева за  $E_{sc}$  доводи до нерационалних решења, која карактеришу веома мала растојања између суседних стубова, односно неприродно велики број стубова. Види се да постоје и случајеви код којих је испуњење критеријума  $s_{max}(E_{sc})$  и  $P_{min}(E_{sc})$  било практично немогуће. Очигледно је да *додатни* захтев који се односи на  $E_{sc}$  није усаглашен са осталим захтевима, чије је испуњење обавезно, због чега га приликом пројектовања амбијенталног осветљења не треба примењивати.

Сходно напред реченом, поређење енергетске ефикасности (укупне инсталисане снаге, односно утрошене електричне енергије) светлотехничких решења представљених у табелама 32 и 33 вршено је само за светлотехничка решења добијена применом критеријума  $S_{max}$  и  $P_{min}$ . Констатовано је да се применом LED уместо МН светиљки могу постићи уштеде електричне енергије до 35.5%, као и да постоје ситуације код којих се повећава потрошња електричне енергије (до 31.5%).

**Табела 32.** Оптимална светлотехничка решења добијена применом МН светиљки

Светло-техничка класа	Критеријум	Тип светиљке	s (m)	H (m)	o (m)	$L_l$ (m)	$\alpha$ (°)	$E_{hav}$ (lx)	$E_{hmin}$ (lx)	$E_{sc}$ (lx)	TI (%)	$P_{sv}$ (W)	$N_{sv}P_{sv}$ (W)
P1 w=6m	$S_{max}$ ( $E_{sc}$ )	Citea mini (70W)	17	6	-0.7	0.0	15	20.7	7.3	3.4	5.7	80	4720
	$P_{min}$ ( $E_{sc}$ )	Citea mini (35W)	10	4	-0.7	0.0	15	15.5	7.7	3.9	6.7	40	4040
	$S_{max}$	Citea midi (150W)	39	6	-0.7	0.0	10	17.0	3.1	0.3	7.2	170	4420
	$P_{min}$	Citea mini (70W)	25	4	0.3	0.5	15	16.9	3.2	0.1	6.3	80	3280
P2 w=6m	$S_{max}$ ( $E_{sc}$ )/ $P_{min}$ ( $E_{sc}$ )	Citea mini (35W)	15	6	-0.7	0.0	15	11.7	4.0	1.9	4.8	40	2680
	$S_{max}$	Citea mini (70W)	35	6	0.3	0.5	10	10.7	2.1	0.1	10.4	80	2320
	$P_{min}$	Citea mini (35W)	21	4	0.3	0.5	15	10.2	2.2	0.1	4.7	40	1920
P3 w=6m	$S_{max}$	Citea mini (70W)	39	6	-0.7	0	10	8.8	1.5	0.2	6.9	80	2080
	$P_{min}$	Citea mini (35W)	26	5	0.3	0.5	15	7.7	2.0	0.1	7.5	40	1560

P3 w=3m	$S_{max}(E_{sc})/$ $P_{min}(E_{sc})$	K-LUX (35W)	17	5	-1	0	0	9.4	7.4	1.6	8.9	40	2360
	$S_{max}$	K-LUX (70W)	34	5	-1	0	0	8.9	1.5	0.4	13.5	80	2400
	$P_{min}$	K-LUX (35W)	21	5	-1	0	0	7.6	4.4	0.9	10.0	40	1920
P4 w=3m	$S_{max}/P_{min}$	K-LUX (35W)	31	5	-1	0	0	5.1	1.1	0.3	11.9	40	1320
P5 w=3m	$S_{max}/P_{min}$	K-LUX (35W)	36	5	-1	0	0	4.4	0.6	0.2	12.3	40	1120

$N_{sv}$  представља број светиљки дуж посматране пешачке стазе дужине 1 km,  $P_{sv}$  је укупна снага светиљке, а  $o$  је превес светиљке (растојање између пројекције њеног оптичког центра на површину стазе и ближе ивице стазе – знак минус значи да се пројекција оптичког центра налази изван стазе).

**Табела 33.** Оптимална светлотехничка решења добијена применом LED светиљки

Светло- техничка класа	Критеријум	Тип светиљке	s (m)	H (m)	o (m)	$L_l$ (m)	$\alpha$ (°)	$E_{hav}$ (lx)	$E_{hmin}$ (lx)	$E_{sc}$ (lx)	TI (%)	$P_{sv}$ (W)	$N_{sv}P_{sv}$ (W)
P1 w=6m	$S_{max}(E_{sc})$	TECEO 1,48 LEDs, 500mA	18	6	-0.6	0	5	16.6	9.8	3.1	7.0	78	4368
	$P_{min}(E_{sc})$	TECEO 1,48 LEDs, 350mA	15	6	-0.6	0	5	15.0	10.4	3.3	5.8	54	3618
	$S_{max}$	TECEO 1,48 LEDs, 700mA	29	5	-0.6	0	5	15.1	3.5	0.3	7.3	113	3955
	$P_{min}$	TECEO 1,48 LEDs, 500mA	24	4	-0.1	0.5	10	15.4	3.0	0.3	6.7	78	3276

P2 w=6m	S <sub>max</sub> (E <sub>sc</sub> )	TECEO 1, 48 LEDs, 350mA	19	6	-0.6	0	5	11.8	6.5	2.0	6.8	54	2862
	P <sub>min</sub> (E <sub>sc</sub> )	TECEO 1, 40 LEDs, 350mA	18	6	-0.6	0	5	10.4	6.1	2.0	6.4	45	2520
	S <sub>max</sub>	TECEO 1, 48 LEDs, 700mA	38	5	-0.6	0	0	10.2	2.2	0.1	8.9	113	3051
	P <sub>min</sub>	TECEO 1, 48 LEDs, 500mA	32	5	-0.6	0	5	10.3	2.2	0.1	7.4	78	2496
P3 w=6m	S <sub>max</sub> (E <sub>sc</sub> )	TECEO 1, 32 LEDs, 350mA	18	6	-0.6	0	5	8.3	4.9	1.6	6.1	37	2072
	P <sub>min</sub> (E <sub>sc</sub> )	TECEO 1, 28 LEDs, 350mA	15	6	-0.6	0	5	7.5	5.2	1.6	4.9	28	1876
	S <sub>max</sub>	TECEO 1, 40 LEDs, 500mA	35	6	-0.1	0.5	0	7.6	1.8	0.1	9.9	65	1885
	P <sub>min</sub>	TECEO 1, 48 LEDs, 350mA	32	6	-0.1	0.5	0	7.5	2.1	0.1	9.1	54	1728
P3 w=3m	S <sub>max</sub> (E <sub>sc</sub> )	HAPILED, 32 LEDs, 350mA	16	5	-1.0	0	0	8.6	5.6	1.6	9.6	37	2331
	P <sub>min</sub> (E <sub>sc</sub> )	HAPILED, 24 LEDs, 350mA	14	4	-1.0	0	0	8.3	4.6	1.8	7.7	28	2016
	S <sub>max</sub>	HAPILED, 32 LEDs, 500mA	27	4	-1.0	0	0	7.8	1.6	0.4	12.6	53	2014
	P <sub>min</sub>	HAPILED, 32 LEDs, 350mA	22	4	-1.0	0	0	7.6	2.4	0.5	11.9	37	1702
P4 w=3m	S <sub>max</sub> (E <sub>sc</sub> )	HAPILED, 16 LEDs, 500mA	17	5	-1.0	0	0	5.4	3.4	1.0	8.5	27	1593
	P <sub>min</sub> (E <sub>sc</sub> )	HAPILED, 16 LEDs, 350mA	15	4	-1.0	0	0	5.2	2.7	1.0	8.5	19	1273
	S <sub>max</sub>	HAPILED, 32 LEDs, 350mA	28	4	-1.0	0	0	5.6	1.0	0.3	10.8	37	1332
	P <sub>min</sub>	HAPILED, 24 LEDs, 350mA	25	4	-0.5	0	0	5.0	1.2	0.3	12.0	28	1148

P5 w=3m	$S_{max} (E_{sc})$	HAPILED, 16 LEDs, 500mA	20	5	-1.0	0	0	4.6	2.4	0.6	9.2	27	1377
	$P_{min} (E_{sc})$	HAPILED, 16 LEDs, 350mA	18	5	-1.0	0	0	3.8	2.2	0.6	8.2	19	1064
	$S_{max}$	HAPILED, 16 LEDs, 500mA	31	5	-1.0	0	0	3.0	0.6	0.2	10.8	27	891
	$P_{min}$	HAPILED, 16 LEDs, 350mA	27	4	-0.5	0	0	3.1	0.6	0.1	11.6	19	722

#### 4.2.2. Економски показатељи

Вршено је економско поређење фотометријски упоредивих светлотехничких решења добијених применом критеријума  $S_{max}$  и  $P_{min}$  (без уважавања захтева за  $E_{sc}$ ), уз претпоставку да дужина посматране пешачке стазе износи 1km и да експлоатациони период траје 24 године.

Економско поређење МН и LED светиљки у амбијенталном осветљењу извршено је применом опште прихваћене методе актуелизације трошкова. (Kostic et al., 2009) За све разматране случајеве израчунати су укупни трошкови у истом (експлоатационом) периоду,  $T$ , који укључују како почетне, тако и трошкове утрошене електричне енергије и одржавања, сведене на крај експлоатационог периода. Пошто се уобичајени експлоатациони периоди крећу у распону 20 – 30 година, усвојен је период од  $T = 24$  године, јер је дељив и са периодом групне замене сијалица и чишћења МН светиљки (2 год.), и са периодом чишћења LED светиљки и групне замене LED драјвера, и са периодом групне замене LED светиљки (12 год., односно око 50000 h).

Почетни (инвестициони) трошкови укључују цену израде пројекта, цену материјала и опреме, цену рада, и цену тестирања нове инсталације. Пошто су неки почетни трошкови практично идентични у оба случаја (цена израде

пројекта, разводних ормана, каблова, итд.), у поређење су укључене само цене стубова, лира, светиљки и сијалица (укључујући и њихову монтажу).

Трошкови одржавања преваходно укључују трошкове чишћења светиљки, трошкове периодичне групне замене метал-халогених сијалица, односно LED пакета светиљки, као и трошкове периодичне групне замене драјвера LED светиљки.

Трошкови замене рано прегорелих МН сијалица нису узети у обзир, зато што они обично износе мање од 1% укупних трошкова.

Инвестициони трошкови ( $C_{in}$ ) могу се израчунати помоћу следеће формуле (Kostic et al., 2009):

$$C_{in} = N_{sv} (C_{st} + C_l + C_{sv} + C_{ms} + C_{us}), \quad (7)$$

у којој су:

$N_{sv}$  број стубова на посматраном делу улице (пута),

$C_{st}$  цена стуба са неопходном опремом (електрична табла са осигурачима, каблови, анкери, итд.),

$C_l$  цена лире,

$C_{sv}$  цена светиљке (са сијалицом и баластом, односно LED чиповима и драјвером),

$C_{ms}$  цена монтаже светиљке, и

$C_{us}$  цена уградње стуба, укључујући и цену темеља.

Годишњи трошкови за утрошену електричну енергију ( $C_e$ ) могу се израчунати коришћењем следеће формуле (Kostic et al., 2009):

$$C_e = N_{sv} C_{1e}, \quad (8)$$

у којој су са  $C_{1e}$  означени годишњи трошкови за утрошену електричну енергију по светилци, који могу да се одреде применом следеће формуле:

$$C_{1e} = P_{sv} t c_e, \quad (9)$$

у којој је  $P_{sv}$  укупна снага светилке (која укључује снагу баласта, односно драјвера),  $t$  време укључености (рада) сијалице у току једне године (усвојено је  $t = 4000$  h, које одговара годишњој укључености јавног осветљења у Србији), а  $c_e$  цена једног kWh електричне енергије.

Пошто оптимална процедура одржавања МН светилки подразумева периодичну групну замену сијалица, са чишћењем светилке само када се мења сијалица, цена одржавања ( $C_o$ ), односно цена сваке групне замене сијалица и чишћења светилки може се израчунати помоћу следеће формуле (Kostic et al., 2009):

$$C_o = N_{sv} (C_{is} + C_{vr}), \quad (10)$$

у којој је  $C_{is}$  цена извора светлости, а  $C_{vr}$  цена ангажовања возила и радника за замену сијалице и чишћење светилке.

У случају LED светилки постоје три врсте одржавања: групно чишћење светилки (сваке четврте године), групна замена драјвера (сваке четврте године (када се чисте светилке), односно 5 пута у току периода експлоатације од 24 године, јер век трајања квалитетних драјвера износи 12 – 20 хиљада сати (3 – 5 година)) и групна замена LED пакета светилки (дванаест година (око 50000 сати горења) након уградње).

Цена сваког групног чишћења светилки и замене драјвера ( $C_{o1}$ ) одређена је формулом:

$$C_{o1} = N_{sv} (C_{cs} + C_{dr}), \quad (11)$$

у којој  $C_{cs}$  укључује цену ангажовања возила и радника за чишћење светиљке, а  $C_{dr}$  трошкове демонтаже старог драјвера, цену новог драјвера и трошкове његове монтаже.

Израчунавање цене групне замене LED пакета светиљки ( $C_{o2}$ ) вршено је помоћу формуле:

$$C_{o2} = N_{sv} (0.2 C_{sv} + C_{zlp}), \quad (12)$$

у којој је  $C_{zlp}$  цена ангажовања возила и радника за замену LED пакета светиљке. Процењује се да ће цена нових LED пакета износити само 20% цене комплетне LED светиљке, због чега се у формули 12 појављује коефицијент 0.2.

Укупни актуелизовани трошкови ( $C_a$ ), сведени на крај експлоатационог периода  $T$ , добијају се применом формуле:

$$C_a = C_{ina} + C_{ea} + C_{oa}, \quad (13)$$

у којој су  $C_{ina}$ ,  $C_{ea}$  и  $C_{oa}$  актуелизовани инвестициони, трошкови за утрошену електричну енергију и трошкови одржавања, респективно, сведени на крај периода експлоатације  $T$ .

Актуелизовани инвестициони трошкови ( $C_{ina}$ ) израчунавају се помоћу формуле (Kostic et al., 2009):

$$C_{ina} = C_{in} \cdot (1 + i / 100)^T, \quad (14)$$

у којој је са  $i$  означена стопа актуелизације (стопа добити) изражена у процентима.



Актуелизовани трошкови електричне енергије ( $C_{ea}$ ) добијају се помоћу формуле (Kostic et al., 2009):

$$C_{ea} = C_e (1 + (1 + i/100) + (1 + i/100)^2 + \dots + (1 + i/100)^{T-1}) = C_e \cdot \frac{(1 + i/100)^T - 1}{i/100}. \quad (15)$$

Актуелизовани трошкови одржавања ( $C_{oa}$ ) за инсталацију са МН сијалицама могу се израчунати помоћу формуле (Kostic et al., 2009):

$$C_{oa} = C_o \cdot (1 + i/100)^{T_{gr}} \cdot \frac{(1 + i/100)^{n_{gr} \cdot T_{gr}} - 1}{(1 + i/100)^{T_{gr}} - 1}, \quad (16)$$

у којој је  $T_{gr}$  период (у годинама) групне замене сијалица и чишћења светиљки, а  $n_{gr}$  број групних замена сијалица и чишћења светиљки у току периода експлоатације.

Актуелизовани трошкови одржавања ( $C_{oa}$ ) за инсталацију са LED светиљкама могу се израчунати помоћу формуле:

$$C_{oa} = C_{oa1} + C_{oa2}, \quad (17)$$

у којој су  $C_{oa1}$  актуелизовани трошкови групног чишћења LED светиљки и замене драјвера, а  $C_{oa2}$  актуелизовани трошкови групне замене LED пакета светиљки. Они су одређени формулама:

$$C_{oa1} = C_{o1} (1 + i/100)^{T_{gr}} \cdot \frac{(1 + i/100)^{n_{gr} \cdot T_{gr}} - 1}{(1 + i/100)^{T_{gr}} - 1} \quad (18)$$

и

$$C_{oa2} = C_{o2} \cdot (1 + i/100)^{12}. \quad (19)$$

У анализираним случајевима, за МН инсталацију важи:  $T_{gr} = 2$  године и  $n_{gr} = T/T_{gr} - 1 = 24/2 - 1 = 11$ , док за LED инсталацију важи:  $T_{gr} = 4$  године и  $n_{gr} = 5$ .

Цене опреме и рада (без ПДВ-а) коришћене у техно-економској анализи дате су у табелама 34 и 35 и тексту који следи после табеле 35.

**Табела 34.** Цене МН и LED светиљки са којима су вршени фотометријски прорачуни

Тип светиљке	$C_{sv}$ (€)
TECEO 1/5096/32 LED@350mA	374
TECEO 1/5096/40 LED@350mA	395
TECEO 1/5096/40 LED@500mA	395
TECEO 1/5096/48 LED@350mA	423
TECEO 1/5096/48 LED@500mA	423
TECEO 1/5096/48 LED@700mA	423
HAPILED/5096/16 LED@350mA	465
HAPILED/5096/16 LED@500mA	471
HAPILED/5096/24 LED@350mA	484
HAPILED/5096/32 LED@350mA	536
HAPILED/5096/32 LED@500mA	538
Citea Mini/1627/CDM-T/35/-30/130	359
Citea Mini/1627/CDM-T/70/-30/130	363
Citea Midi/1627/CDM-T/150/-30/130	425
K-LUX I/1640/35	194
K-LUX I/1640/70	190

**Табела 35.** Цена стуба у зависности од његове висине

$H$ (m)	4	5	6
$C_{st}$ (€)	210	230	250

Цена лире дужине  $L_1 = 0.5 \text{ m}$ :  $C_1 = 30 \text{ €}$ .

Цена монтаже МН светиљке:  $C_{ms} = 35 \text{ €}$ .

Цена уградње стуба (са темељом):  $C_{us} = 200 \text{ €}$ .

Цена МН сијалица снаге 35 и 70 W:  $C_{is} = 27 \text{ €}$ , а снаге 150 W:  $C_{is} = 30 \text{ €}$ .

Цена ангажовања возила и радника за замену извора светлости и чишћење МН светиљке:  $C_{vr} = 18 \text{ €}$ .

Цена чишћења LED светиљке:  $C_{cs} = 18 \text{ €}$ .

Збир цене демонтаже старог и цене новог драјвера, која укључује и цену његове монтаже:  $C_{dr} = 30 \text{ €}$ .

Цена ангажовања возила и радника за замену LED пакета светиљке:  $C_{zlp} = 35 \text{ €}$ .

Сви трошкови су израчунати за следеће вредности стопе актуелизације (стопе годишњег раста капитала):  $i = 5\%$ ,  $7.5\%$  и  $10\%$ , као и за следеће вредности цене електричне енергије:  $c_e = 0.06$ ,  $0.08$ ,  $0.10$  и  $0.12 \text{ €/kWh}$ .

Сви релевантни технички подаци узети су из табела 32 и 33.

Илустративне табеле 36 и 37 односе се на фотометријски упоредива МН и LED светлотехничка решења добијена применом критеријума  $s_{max}$  и  $P_{min}$  за случај  $i = 5\%$  и  $c_e = 0.06 \text{ €/kWh}$ , који одговара ситуацији у Србији (економски показатељи свих МН светлотехничких решења приказани су у 12 табела прилога Ж, а свих LED светлотехничких решења у 12 табела прилога З – табеле су добијене варирањем вредности стопе актуелизације и цене електричне енергије).

**Табела 36.** Актуелизовани инвестициони, трошкови електричне енергије, трошкови одржавања и укупни трошкови ( $C_{\text{ina}}$ ,  $C_{\text{ea}}$ ,  $C_{\text{oa}}$  и  $C_{\text{a}}$ , респективно) за амбијентално осветљење са МН светиљкама (случај:  $i = 5\%$  и  $c_e = 0.06 \text{ €/kWh}$ )

Светло-техничка класа	Критеријум	s (m)	H (m)	L <sub>l</sub> (m)	Тип светиљке	P <sub>sv</sub> (W)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	39	6	0	Citea midi (150W)	170	75	54	26	155
	P <sub>min</sub>	25	4	0.5	Citea mini (70W)	80	109	40	38	188
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	35	6	0.5	Citea mini (70W)	80	81	28	27	136
	P <sub>min</sub>	21	4	0.5	Citea mini (35W)	40	127	24	45	195
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	39	6	0	Citea mini (70W)	80	70	26	24	120
	P <sub>min</sub>	26	5	0.5	Citea mini (35W)	40	106	19	36	161
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	34	5	0	K-LUX (70W)	80	62	29	28	120
	P <sub>min</sub>	21	5	0	K-LUX (35W)	40	100	24	45	168
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	31	5	0	K-LUX (35W)	40	69	16	31	116
	P <sub>min</sub>	31	5	0	K-LUX (35W)	40	69	16	31	116
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	36	5	0	K-LUX (35W)	40	58	14	26	98
	P <sub>min</sub>	36	5	0	K-LUX (35W)	40	58	14	26	98

**Табела 37.** Актуелизовани инвестициони, трошкови електричне енергије, трошкови одржавања и укупни трошкови ( $C_{ina}$ ,  $C_{ea}$ ,  $C_{oa}$  и  $C_a$ , респективно) за амбијентално осветљење са LED светилкама (случај:  $i = 5\%$  и  $c_e = 0.06 \text{ €/kWh}$ )

Светло-техничка класа	Критеријум	s (m)	H (m)	L <sub>l</sub> (m)	Тип светилке	P <sub>svet.</sub> (W)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	29	5	0	TECEO 1, 48 LEDs, 700mA	113	99	42	23	164
	P <sub>min</sub>	24	4	0.5	TECEO 1, 48 LEDs, 500mA	78	120	35	28	183
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	38	5	0	TECEO 1, 48 LEDs, 700mA	113	76	33	18	127
	P <sub>min</sub>	32	5	0	TECEO 1, 48 LEDs, 500mA	78	90	27	21	138
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	35	6	0.5	TECEO 1, 40 LEDs, 500mA	65	84	20	19	123
	P <sub>min</sub>	32	6	0.5	TECEO 1, 48 LEDs, 350mA	54	95	18	21	135
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	27	4	0	HAPILED, 32 LEDs, 500mA	53	119	22	27	167
	P <sub>min</sub>	22	4	0	HAPILED, 32 LEDs, 350mA	37	144	18	32	194
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	28	4	0	HAPILED, 32 LEDs, 350mA	37	112	14	25	152
	P <sub>min</sub>	25	4	0	HAPILED, 24 LEDs, 350mA	28	121	12	28	161
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	31	5	0	HAPILED, 16 LEDs, 500mA	27	98	10	22	130
	P <sub>min</sub>	27	4	0	HAPILED, 16 LEDs, 350mA	19	110	8	26	143

Анализа табела 36 и 37 показује да су поједина LED светлотехничка решења до 29.2% јефтинија од фотометријски упоредивих МН светлотехничких решења, али и да преовлађују скупља LED светлотехничка решења (процентуална разлика између њихове укупне актуелизоване цене и укупне актуелизоване цене упоредивих МН светлотехничких решења износи до 45.9%).

Сви прорачуни у оквиру спроведене економске анализе извршени су применом претходно развијеног софтвера (у Excel-у) за одређивање укупне актуелизоване цене појединачних светлотехничких решења.

## 5. Закључци

У првој глави су идентификовани елементи и карактеристике урбаних амбијената, чији су типични представници тргови, паркови и шеталишта. Урбани амбијенти су третирани са становишта физичке структуре, садржаја и активности. Представљена су мишљења истакнутих теоретичара архитектуре која се односе на наведена становишта. Извршена је анализа оних карактеристика извора светлости и светиљки које су значајне за осветљење урбаних амбијената. Истакнуто је да су за амбијентално осветљење од доминантног значаја следеће две карактеристике извора светлости: боја светлости и репродукција боја. На основу тога је закључено да су за ту намену најпогоднији метал-халогени и LED извори светлости. Такође је истакнуто да су естетске карактеристике и ограничење бљештања суштински показатељи квалитета светиљки које се користе у амбијенталном осветљењу.

У другој глави је обрађено како осветљење урбаних амбијената, тако и осветљење амбијенталних целина. Најпре су представљени елементи и карактеристике урбаних амбијената, са посебним освртом на њихове типичне представнике. Детаљно су анализиране и карактеристике амбијенталних целина, које се састоје из једног или више урбаних амбијената и физичке структуре која им даје специфичност и повезује их у целину. Посебно су обрађене карактеристике урбаних амбијената релевантне за амбијентално осветљење – физичка структура, садржаји и актери и активности. Издвојени су сви утицајни фактори квалитета осветљења урбаних амбијената (ниво осветљености, полуцилиндрична осветљеност, равномерност осветљености, боја светлости, репродукција боја, расподела сјајности, ограничење бљештања и рефлектованих одраза, смер упада светлости и сенке, изглед светиљке и њено уклапање са окружењем, светлосно загађење, као и здравствени, еколошки, енергетски и економски аспект осветљења). Детаљно су обрађени метал-халогени и LED извори светлости који су адекватни за амбијентално осветљење.

У оквиру друге главе представљена је и детаљна анализа изведених амбијенталних осветљења на примеру трга (трг Gordon у Woolwich-у), парка (парк „Ташмајдан“ у Београду) и шеталишта (Кнез Михаилова улица у Београду). Дат је и табеларни приказ општих карактеристика и постигнутих ефеката (предности и недостатака) реализованих амбијенталних осветљења на примерима три трга, три парка и три шеталишта. Узевши у обзир све напред изнето, као и потребу да се постигне хармонија у оквиру амбијенталног осветљења, израђене су смернице не само за осветљење урбаних амбијенталних целина, него и за осветљење амбијенталних целина.

У трећој глави су изложени резултати истраживања спроведених на скоро свим континентима, у оквиру којих је са разних аспеката вршено поређење конвенционалних и LED извора светлости. Пошто је уочено да су у сваком од тих истраживања експерименталне поставке биле неадекватне, дефинисани су општи услови за извођење пилот пројеката у оквиру којих се врши поређење различитих типова амбијенталног осветљења. Затим је представљен пилот пројекат реализован у оквиру докторске дисертације, који се односио на субјективне показатеље квалитета амбијенталног осветљења. Две пилот инсталације, прва са метал-халогеним, а друга са LED изворима светлости, уз уважавање свих општих услова, изведене су у Хајд парку у Београду. Као најпогоднија метода истраживања изабрана је анкета. Да би се испитао утицај предзнања испитаника из области осветљења на њихов субјективни доживљај карактеристика осветљеног простора, одлучено је да се анкета спроведе са две групе испитаника. Прву групу су чинили испитаници који поседују предзнања из области осветљења (њих 49), а другу испитаници који не поседују таква предзнања (њих 63). При изради анкетног упитника коришћена су искуства других истраживача који су се бавили проучавањем субјективног доживљаја осветљења урбаних простора. Израда анкетног упитника је извршена у неколико етапа, у чему је учествовала и фокус група. Обављено је и уводно предавање за испитанике који немају предзнања из области осветљења. Анкетирање је спроведено



током две узастопне вечери, које су карактерисали практично идентични временски услови. Сваком питању је додељивана оцена од 1 до 5, при чему је већа оцена значила бољи утисак.

Четврта глава садржи не само резултате анкете, него и техно-економску анализу у оквиру које су анализирани објективни показатељи примене метал-халогених и LED светиљки у амбијенталном осветљењу (енергетска ефикасност и економски аспект), добијени поређењем употребе та два типа светиљки за осветљење шеталишних стаза разних ширина и разних светлотехничких класа.

Резултати анкете који су се односили на испитанике из прве групе показали су да је просечна оцена за свих 12 анкетних питања (просечна оцена за све аспекте осветљења анализираних у анкети) износила 4.16 за тип осветљења 1 (са метал-халогеним изворима светлости), а 3.28 за тип осветљења 2 (са LED изворима светлости). Пошто је просечна оцена за питање бр. 13 (које се односило на свеукупан утисак) износила 4.25 за тип осветљења 1, а 3.25 за тип осветљења 2, могла је да се уочи изузетна конзистентност одговора испитаника из прве групе.

Такође је показано да су испитаници из прве групе сматрали да је тип осветљења 1 бољи по свим аспектима. Однос оцена по појединачним питањима које су испитаници дали типовима осветљења 1 и 2 припадао је опсегу 1.19 – 1.53 (просечна вредност односа износила је 1.27), при чему је једини изузетак представљало питање бр. 10 (које се односило на субјективни доживљај бљештања), код кога су оба типа осветљења приближно једнако оцењена.

Резултати анкете који су се односили на испитанике из друге групе показали су да је просечна оцена за свих 12 анкетних питања износила 3.93 за тип осветљења 1, а 3.25 за тип осветљења 2. Пошто је просечна оцена за питање бр. 13 износила 4.02 за тип осветљења 1, а 3.10 за тип осветљења 2, и код

испитаника из друге групе могла је да се уочи изузетна конзистентност одговора.

Такође је показано да су и испитаници из друге групе сматрали да је тип осветљења 1 бољи по свим аспектима (једини изузетак је представљао субјективни доживљај бљештања, за који је тип осветљења 2 добио незнатно бољу оцену). Однос оцена по појединачним питањима које су испитаници дали типовима осветљења 1 и 2 припадао је опсегу 1.12 – 1.39 (изузетак је било питање бр. 10, за које је однос оцена износио 0.96). Просечна вредност односа оцена (1.21) била је нижа од оне која се односила на испитанике из прве групе (1.27).

Дакле, може да се закључи да предзнање из области осветљења није имало велики утицај на оцене које су испитаници додељивали разматраним типовима осветљења.

У коментарима испитаника, који нису били обавезни, највише су истицани угодност амбијента, пријатност боравка и адекватност боје светлости, и то за оба типа осветљења. Ипак, треба истаћи да су се негативни коментари искључиво односили на LED инсталацију осветљења.

Испитаници из обе групе издвојили су равномерност осветљености, боју светлости и осећај угодности амбијента као кључне аспекте по којима је метал-халогено осветљење боље од LED осветљења. До недавно, расподела светлости LED светиљки, која одређује равномерност осветљености, није била одговарајућа, због чега није било могуће постићи већа растојања између стубова. Квалитетне LED светиљке које се данас производе не поседују недостатак те врсте, због чега се, при истом растојању између стубова, њиховом применом постижу равномерности осветљености које су, са аспекта захтева које постављају релевантни стандарди, упоредиве са онима које одговарају решењима са метал-халогеним изворима светлости. На основу напред реченог, може да се закључи да субјективни суд о бољој

равномерности осветљености постигнутој примени светилки са метал-халогеним изворима, који је један од резултата спроведеног пилот пројекта, не може да се сматра општим закључком. Ситуација је другачија по питању боје светлости и угодности амбијента, на коју боја светлости и репродукција боја извора светлости значајно утичу. И поред сталног унапређења карактеристика LED чипова, чињеница да се у њиховом спектру и даље издваја зрачење великог интензитета у подручју плаве боје објашњава боље оцене које су аспектима боје светлости и угодности амбијента испитаници дали решењу са метал-халогеним изворима светлости (подсећамо да метал-халогене изворе светлости карактерише приближно континуалан спектар). (Kostic and Djokic, 2014)

Извршена је и статистичка анализа наведених резултата анкете. Пошто се ради о узорцима (групама испитаника) са великим бројем елемената (чланова), за проверу статистичког значаја добијених резултата примењен је t-тест за једнакост средњих вредности који важи за случај зависних узорака (од испитаника је тражено да одговоре на исто питање које се односи на оба типа осветљења, и то након што обиђу делове стазе на којима су примењени ти типови осветљења). Закључено је да, са изузетком три питања (која су се односила на доживљај интензитета (јачине) осветљења људског лица чији је профил паралелан са шеталишном стазом, на способност извора светлости да верно прикажу боје и на доживљај бљештања), резултати добијени анализом одговора обе групе испитаника на сва остала питања могу да се сматрају статистички врло значајним. Резултати који су се односили на прва два од три наведена питања били су статистички значајни, док резултати који су се односили на доживљај бљештања нису били статистички значајни ни за једну групу испитаника, што је у складу са приближно једнаким оценама којима су испитаници оценили оба типа осветљења по питању овог аспекта.

Извршена је и обрада резултата анкете уз уважавање тежинских фактора, која је показала да је у посматраном случају утицај тежинских фактора био

занемарљив. Међутим, треба напоменути да је увођење тежинских фактора значајно у ситуацијама у којима један тип осветљења није у свему бољи од другог, јер може довести до тога да резултантна оцена буде боља за тип осветљења чија је резултантна оцена одређена без уважавања тежинских фактора била лошија.

Пошто је анкетни упитник био врло детаљан и свеобухватан, извршене су и бројне друге анализе.

Поређењем енергетске ефикасности (укупне инсталисане снаге, односно утрошене електричне енергије) разматраних шеталишних стаза, као објективног показатеља, констатовано је да се применом LED уместо метал-халогених светиљки могу постићи уштеде електричне енергије до 35.5%, као и да постоје ситуације код којих се повећава потрошња електричне енергије (до 31.5%). Са сталним повећањем светлосне искористивости LED чипова (очекује се да ће у блиској будућности она достићи вредност која је скоро два пута већа од оне која карактерише LED чипове који су данас доступни на тржишту), показатељи енергетске ефикасности LED решења биће значајно повољнији од оних који су добијени у оквиру предметног истраживања. (Костић, 2012)

Применом опште прихваћене методе актуелизације трошкова, извршено је и економско поређење фотометријски упоредивих инсталација осветљења шеталишних стаза. Анализа је показала да су поједина LED светлотехничка решења била до 29.2% јефтинија, али и да су преовладала скупља LED светлотехничка решења (процентуална разлика између њихове укупне актуелизоване цене и укупне актуелизоване цене упоредивих метал-халогених светлотехничких решења износила је до 45.9%). Иако се у будућности не очекује значајно опадање цене LED светиљки, јер доминантан удео у цени представља метално кућиште светиљке, са побољшањем енергетске ефикасности LED чипова, финансијски показатељи оправданости употребе LED технологије биће све повољнији. (Костић, 2012)

Осврнимо се на постављене хипотезе.

1. Сprovedено истраживање је показало да у парковима и на шеталишним стазама инсталације општег амбијенталног осветљења изведеног применом LED извора светлости немају никакве предности у односу на инсталације осветљења изведене са метал-халогеним изворима. Међутим, захваљујући малим димензијама LED светиљки и усмерености њихових светлосних снопова, као и динамичном осветљењу и могућности добијања било које боје светлости, LED светиљке су у појединим ситуацијама повољније за осветљење тргова од метал-халогених светиљки.

2.1. Упоредивањем енергетских показатеља инсталација осветљења урбаних амбијената, показано је да постоје случајеви у којима су инсталације са LED изворима светлости енергетски ефикасније од инсталација са конвенционалним (метал-халогеним) изворима светлости, као и случајеви са супротним закључком.

2.2. Упоредивањем економских показатеља инсталација осветљења урбаних амбијената, показано је да су инсталације са метал-халогеним изворима светлости углавном економичније од инсталација са LED изворима светлости.

3. Показано је да је могуће дефинисати опште услове за извођење пилот пројеката за испитивање субјективног доживљаја испитаника по питању релевантних параметара амбијенталног осветљења. У раду су дати такви општи услови.

4. Резултати пилот пројекта су показали да је пријатнији боравак у простору осветљеном применом метал-халогених извора светлости него у простору осветљеном применом LED извора светлости.

На крају треба представити могућности примене метал-халогених и LED светиљки у свим сегментима урбаног осветљења.

Пошто амбијентално осветљење подразумева осветљење појединачних урбаних амбијената, доживљају града у великој мери доприносе и улично и архитектонско осветљење.

У уличном осветљењу, где је најважније постићи одговарајући ниво и добру равномерност осветљености (сјајности), као и ограничити појаву бљештања, развој LED технологије, који се одвија у правцу побољшања наведених фотометријских параметара, свакако ће омогућити њену све масовнију примену.

Уз то, улично осветљење подразумева инсталацију великог броја светиљки, због чега је од изузетне важности њихова енергетска ефикасност. Због тога се сматра да ће, захваљујући непрекидном побољшању енергетске ефикасности LED технологије, њена примена у уличном осветљењу бити оправдана у будућности, и поред већих иницијалних трошкова него у случају примене светиљки са конвенционалним изворима светлости.<sup>6</sup> Због великог броја светиљки у уличном осветљењу, нису занемарљиве ни еколошке предности LED технологије, јер је карактеришу висока енергетска ефикасност и чињеница да LED светиљке не поседују супстанце које загађују животну средину.

Најзначајнији захтеви које архитектонско осветљење треба да испуни, а који се односе на боју светлости, репродукцију боја, облик светлосног снопа, као и на величину и облик светиљке, могу да буду задовољени како метал-халогеним, тако и LED осветљењем. Ипак, разлике које се њиховом применом

---

<sup>6</sup> Иако је разлика у иницијалним трошковима између конвенционалног и LED осветљења значајна, већ сада су за инсталације оба типа укупни трошкови, сведени на крај експлоатационог периода, упоредиви.

постижу у великој мери могу да утичу на жељене ефекте. Оне се најмање манифестују са аспекта репродукције боја.

С обзиром на то да се у архитектонском осветљењу најчешће примењује светлост беле боје, оба типа осветљења су у овом смислу равноправна. Ипак, у ситуацијама у којима се захтева примена светлости у боји, неупоредиво је једноставније применити LED изворе светлости.<sup>7</sup> Предности LED извора светлости у односу на метал-халогене су још веће ако се захтева постизање динамичног осветљења.

Велике разлике у конструкцији извора светлости и одговарајућих светиљки утичу и на разлике које се односе на облик светлосног снопа светиљке. При томе, важну предност LED светиљки, која је значајна за истицање детаља у архитектонском осветљењу, представља чињеница да се оне израђују и са веома уским светлосним сноповима. Наравно, постоје и ситуације у којима је конвенционално осветљење оптимално.

Предност LED технологије огледа се и у величини и облику светиљки. Израђују се мале и уске светиљке чијим се постављањем на објекту који се осветљава најмање ремети његов изглед.

Код уличног осветљења, светлост је првенствено усмерена према коловозној површини како би се остварили услови безбедног и удобног одвијања саобраћаја. Код архитектонског осветљења, светлост је намењена површинама објеката који се осветљавају како би се постигли жељени визуелни ефекти. За разлику од уличног и архитектонског, амбијентално осветљење подразумева не само осветљење површине по којој се одвија саобраћај (пре свега пешачки) и осветљење објеката који су део амбијента, него и осветљење простора у коме се крећу и задржавају људи. Потреба за

---

<sup>7</sup> Код метал-халогених извора, једини начин за добијање светлости у боји је додавање филтера, при чему не само да не постоји могућност подешавања нијансе боје, него се и енергетска ефикасност драстично смањује у бројним случајевима.

адекватним осветљењем људских лица посебно је изражена у амбијенталном осветљењу, због чега оно подразумева свеобухватнија решења.

За осветљење простора у коме се појављују људи (због потребе постизања пријатности боравка и распознавања лица) кључни фактори квалитета су адекватна боја светлости, веома добра репродукција боја и низак степен бљештања. У том смислу, метал-халогени извори светлости поседују предност која је резултат квалитетнијег спектра беле светлости (он се, за разлику од спектра LED извора светлости, може сматрати континуалним). Такође, по правилу их карактерише значајно мање бљештање.

Дакле, за осветљење простора и већих површина у оквиру амбијента, инсталација са метал-халогеним изворима представља боље решење, док је LED осветљење успешније код наглашавања детаља и задовољавања потребе за динамичним осветљењем.

На крају се може рећи да брз развој LED технологије са аспекта енергетске ефикасности није праћен значајним побољшањима спектра емитоване светлости. Имајући у виду технологију производње светлости од стране LED чипова, не очекује се да у скорој будућности LED технологија достигне квалитет спектра који карактерише метал-халогене изворе светлости. Због тога сматрамо да ће примена метал-халогених извора светлости још дуго бити оправдана у амбијенталном осветљењу.



## ЛИТЕРАТУРА

ABS Consulting, "Trial of an LED lighting installation", ABS Consulting Report, London, UK, April 2010.

Базик Д., „Понуда градске сцене – потенцијали микро-простора града”, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 1993.

Базик Д., „Сценарио живота у граду – процес настајања градске сценографије”, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 1995.

Beobuild/forum, преузето 28. јула 2012. са [www.beobuild.rs](http://www.beobuild.rs)

Boyce P. and Rea M., "Security lighting effects of illuminance and light source on the capabilities of guards and intruders", Lighting Research and Technology, Vol. 22, pp. 57-79, 1990.

Boyce PR. and Eklund NH., "Simple tools for evaluating lighting", Proceeding of the CIBSE National Lighting Conference, London, UK, pp. 255–261, April 1998.

Build, бр. 22, год. VI, 2012.

Главни пројекат реконструкције јавног осветљења парка „Ташмајдан”, Београд, 1978.

Главни пројекат за инвестиционо одржавање парка „Ташмајдан” у Београду, Београд, 2010.

Драгићевић-Шешић М. и Шентевска И., „Урбани спектакл”, СЛЮ, Београд, 2000.

Ђокић В., „Град и градски трг“, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2004.

Ђокић Л., „Осветљење у архитектури – захтеви и смернице за пројектовање“, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2007.

Ђокић Л., „Осветљење урбаних елемената и простора – хармонија кроз мастерплан“, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2012.

CEN, “Photobiological safety of lamps and lamp systems”, EN 62471, 2008.

Закон о културним добрима, „Сл. гласник РС“, бр. 71/94, 52/2011 – др. закони и 99/2011 . др. закон

Занини П., „Значење границе“, СЛЮ, Београд, 2002.

Зите К., „Уметничко обликовање градова“, Грађевинска књига, Београд, 2011.

Јаношевић С., Дотлић Р. и Ерић-Маринковић Ј., “Медицинска статистика”, Медицински факултет Универзитета у Београду, Београд, 1996.

Jacobs J., “The death and life of great American cities”, Jonathan Cape, London, 1962.

Kelly R., “Lighting as an integral part of architecture”, College Art Journal, Vol. 12, pp. 24-30, 1952.

Kostic A. and Djokic L., “Subjective impressions under LED and metal halide lighting”, Lighting Research and Technology, Vol. 46, pp. 293-307, 2014.

Kostic AM., Kremic MM., Djokic LS., Kostic MB., "Light-emitting diodes in street and roadway lighting – a case study involving mesopic effects", *Lighting Research and Technology*, Vol. 45, pp. 1-10, 2013.

Kostic M. and Djokic L., "Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting", *Energy*, Vol. 34, pp. 1565-1572, 2009.

Костић М. Б., „Водич кроз свет технике осветљења”, Minel-Schreder, Београд, 2000.

Kostic M., Djokic L., Pojatar D. and Strbac-Hadzibegovic N., "Technical and economic analysis of road lighting solutions based on mesopic vision", *Building and Environment*, Vol. 44, pp. 66-75, 2009.

Костић М., Ђокић Л. и Костић А., „Анализа оправданости употребе LED технологије у урбаном осветљењу”, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Наручилац студије: ЈКП „Јавно осветљење”, Београд, 2012.

Костић М., Ђокић Л., Костић А. и Плазинчић Н., „Истраживање постојећих решења функционалног и декоративног јавног осветљења у циљу дефинисања основа за израду развојног глобалног Мастерплана за урбано осветљење”, Електротехнички факултет Универзитета у Београду, Наручилац студије: Управа за енергетику града Београда, Београд, 2010.

Krueger RA., "Designing and Conducting Focus Group Interviews", University of Minnesota, USA, October 2002. Преузето 23. новембра 2012 са [http://www.eiu.edu/\\_ihec/Krueger-FocusGroupInterviews.pdf](http://www.eiu.edu/_ihec/Krueger-FocusGroupInterviews.pdf)

Kurokawa K., "The philosophy of symbiosis", Academy Editions, London, 1994.

Lindh UW., "Lighting design research in public space: a holistic approach to a complex reality", Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, pp. 767–776, July 2011.

"Lines of light", преузето 25. фебруара 2013. са  
<http://www.lighting.co.uk/projects/lines-of-light/8647230.article>

LRC, What is sky glow?, преузето 10. јануара 2011. са  
<http://www.lrc.rpi.edu/programs/nlpip/lightinganswers/lightpollution/skyGlow.asp>

Lynch K., "A theory of good city form", MIT Press, Cambridge MA and London, 1981.

Lynch K., "The image of the city", MIT Press, Cambridge, 1960.

Миленковић Б., „Увод у архитектонску анализу 2 – compendium“, Грађевинска књига, Београд, 1991.

Милић В., „Социолошки метод“, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1996.

Minel-Schreder, преузето 22. августа 2012. са <http://www.minel-schreder.rs>

Morante P., "Mesopic street lighting demonstration and evaluation", Lighting Research Center report, New York, USA, January 2008.

Norberg-Schulz C., "Intentions in architecture", MIT Press, Cambridge, 1965.

Onaygil S., Guler O. and Erkin E., "Cost analyses of LED luminaires in road lighting", Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, pp. 723–729, July 2011.

Pallasmaa J., "The eyes of the skin. Architecture and the senses", John Wiley, New York, 2005.

Парк „Ташмајдан“, преузето 5. марта 2012. са  
[http://www.dipity.com/tickr/Flickr\\_crkva/](http://www.dipity.com/tickr/Flickr_crkva/)

Пушић Љ., „Писање града – урбана свакодневица“, Прометеј, Нови Сад, 2007.

Радовић Р., „Физичка структура града“, Институт за архитектуру и урбанизам Србије, Београд, 1972.

Радовић Р., „Форма града – основе, теорије и пракса, друго допуњено издање“, Орион арт, Београд, 2005.

ROHS (Restriction of Hazardous Substances) Directive of the European Parliament and of the Council, 2011/65/EU, 2011.

Royer MP., Poplawski ME. and Tuenge JR., "Demonstration assessment of LED roadway lighting", Pacific Northwest National Laboratory report, Washington, USA, June 2012.

Swenson JD., Griswold WF. and Kleiber PB., "Focus groups: method of inquiry/intervention", Small Group Research, Vol. 23, pp. 459–474, 1992.

Ташмајдан, преузето 7. октобра 2013. са  
<http://www.casopisgrad.com/t/tasmajdan>

The Climate Group, "Lighting the clean revolution: The rise of LEDs and what it means for cities", The Climate Group report., London, June 2012.

Tschumi B., "The Manhattan transcripts", Academy Editions, London, 1994.

Urban design compendium (Приручник за урбано пројектовање), уредници: Петровић Г. и Полић Д., Орион арт и Програф, Београд, 2008.

Фајф Н., „Призори улице – Планирање, идентитет и контрола у јавном простору”, СЛИО, Београд, 2002.

Freund J., “Mathematical statistics with applications (seventh edition)”, Pearson Prentice Hall, New Jersey, USA, 2004.

Hagiwara T., Akasaka H., Matsuo H. and Nishio M., “Visibility assessment of light emitting diode (LED) street lighting”, Proceedings of the 27th Session of the CIE, Sun City, South Africa, pp. 1192–1200, July 2011.

Хараламбос М., „Теме и перспективе”, Golden marketing, Загреб, 2002.

Hexadecimal color wheel, преузето 9. јуна 2011. са <http://wallend.yvision.kz/>

Calthorpe P., “The next American metropolis”, Princeton Architectural Press, New York, 1993.

CIE, “A guide to masterplanning urban lighting” (draft report – 7a.1), July 2007.

CIE, “Lighting of roads for motor and pedestrian traffic”, CIE Publication 115–2010, Vienna, 2010.

City of Melbourne, “Lighting strategy”, 2002, преузето 28. јануара 2013 са [http://www.melbourne.vic.gov.au/AboutCouncil/PlansandPublications/strategies/Documents/lighting\\_strategy.pdf](http://www.melbourne.vic.gov.au/AboutCouncil/PlansandPublications/strategies/Documents/lighting_strategy.pdf)

Clinton Foundation, Clinton climate initiative, “Outdoor lighting program: Street lighting retrofit projects: Improving performance, while reducing costs and greenhouse gas emissions”, 2009, преузето 28. јануара 2013. са

[http://www.dvrpc.org/energyclimate/eetrafficstreetlighting/pdf/CCI\\_EE\\_Streetlighting\\_White\\_Paper.pdf](http://www.dvrpc.org/energyclimate/eetrafficstreetlighting/pdf/CCI_EE_Streetlighting_White_Paper.pdf)

Cree, XLamp XM-L Family LEDs: Binning and labeling, преузето 23. ноембра 2012. ca <http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/Data%20and%20Binning/XLampXMBL.pdf>

Woolwich squares, преузето 14. септембра 2013. ca <http://www.volkerhighways.co.uk/en/case-studies/detail/woolwich-squares>

## **ПРИЛОГ А**

### **Прорачун нивоа осветљености за главно шеталиште**

(Главни пројекат за инвестиционо одржавање парка „Ташмајдан“ у Београду,  
2010)



Tasmajdanski park

Project : Setaliste

File : ... NOVIPR~1\NovolPRORAC-4.LPF

## General information

### Grid details

#### • Setaliste (1)

##### General

Type :  Activated :  Masks ON :  Colour :

##### Geometry

###### Start position

X :  Y :  Z :

###### Size

Count X :  Spacing X :  Size X :   
 Count Y :  Spacing Y :  Size Y :

###### Orientation

Rotation :  Tilt :  Banking :

##### Calculation

Illuminance :  Facet :

#### • Setaliste i zelena površina (2)

##### General

Type :  Activated :  Masks ON :  Colour :

##### Geometry

###### Start position

X :  Y :  Z :

###### Size

Count X :  Spacing X :  Size X :   
 Count Y :  Spacing Y :  Size Y :

###### Orientation

Rotation :  Tilt :  Banking :

##### Calculation

Illuminance :  Facet :

## Summary

### Grid summary

Average type : Arithmetic (A) or Weighted (W)

	Min	Max	Ave (A)	Min/Max	Min/Ave
<b>Setaliste (1)</b>					
Illuminance (lux)	3	54	17	6	18
<b>Setaliste i zelena površina (2)</b>					
Illuminance (lux)	3	57	17	5	18

## **ПРИЛОГ Б**

### **Коначна верзија анкетног упитника**

**АНКЕТНИ УПИТНИК ЗА СУБЈЕКТИВНУ ОЦЕНУ ПОЈЕДИНИХ  
ПАРАМЕТАРА КВАЛИТЕТА ДВА ТИПА АМБИЈЕНТАЛНОГ ОСВЕТЉЕЊА**

<b>ИМЕ И ПРЕЗИМЕ</b>	
<b>МАТИЧНИ БРОЈ</b>	
<b>БРОЈ ГОДИНА</b>	
<b>Слушао/ла сам Осветљење у архитектури</b>	<b>ДА      НЕ</b>
<b>Слушао/ла сам Електрично осветљење</b>	<b>ДА      НЕ</b>
<b>ПОТПИС</b>	

**Значење одговора из Анкетног упитника:**

**1 - АПСОЛУТНО НЕПРИХВАТЉИВО**

**5 - АПСОЛУТНО ПРИХВАТЉИВО**

На свако од 13 питања из приложених табела одговара се заокруживањем одговарајућег броја (1 до 5).

ТИП ОСВЕТЉЕЊА 1						
1.	Оцените Ваш доживљај интензитета (јачине) осветљења стазе.	1	2	3	4	5
2.	Оцените равномерност осветљености стазе (између стубова 2 и 3).	1	2	3	4	5
3.	а) Оцените Ваш доживљај интензитета (јачине) осветљења људског лица на <b>позицији А</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
	б) Оцените Ваш доживљај интензитета (јачине) осветљења људског лица на <b>позицији Б</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
4.	а) Оцените Ваш доживљај квалитета осветљења људског лица на <b>позицији А</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
	б) Оцените Ваш доживљај квалитета осветљења људског лица на <b>позицији Б</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
5.	У којој мери се јасно уочавају пешаци који се крећу на стази између стубова 2 и 3?	1	2	3	4	5
6.	Оцените Ваш доживљај пријатности боје светлости.	1	2	3	4	5
7.	Боја светлости је: 1 – превише хладна 2 – превише топла 3 – нешто хладнија него што треба 4 – нешто топлија него што треба 5 – адекватна					
8.	Оцените способност примењеног осветљења да верно прикаже боје у простору.	1	2	3	4	5
9.	У којој мери боје осветљене вегетације изгледају природно?	1	2	3	4	5
10.	Оцените Ваш доживљај бљештања које изазивају светилке док се крећете средином стазе, од стуба 5 ка стубу 1, и гледате испред себе, а поглед Вам је хоризонталан.	1 – изузетно интензивно бљештање 2 – интензивно бљештање 3 – умерено бљештање 4 – једва приметно бљештање 5 – неприметно бљештање				
11.	У којој мери се осећате безбедно на осветљеној стази (замислите да сте сами на стази)?	1	2	3	4	5
12.	У којој мери је осветљење створило угодан амбијент?	1	2	3	4	5
13.	Свеукупна оцена посматраног типа осветљења?	1	2	3	4	5

Шта је најбоље код овог типа осветљења?

Ако имате неки коментар, упишите га.

ТИП ОСВЕТЉЕЊА 2						
1.	Оцените Ваш доживљај интензитета (јачине) осветљења стазе.	1	2	3	4	5
2.	Оцените равномерност осветљености стазе (између стубова 2 и 3).	1	2	3	4	5
3.	а) Оцените Ваш доживљај интензитета (јачине) осветљења људског лица на <b>позицији А</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
	б) Оцените Ваш доживљај интензитета (јачине) осветљења људског лица на <b>позицији Б</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
4.	а) Оцените Ваш доживљај квалитета осветљења људског лица на <b>позицији А</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
	б) Оцените Ваш доживљај квалитета осветљења људског лица на <b>позицији Б</b> (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
5.	У којој мери се јасно уочавају пешаци који се крећу на стази између стубова 2 и 3?	1	2	3	4	5
6.	Оцените Ваш доживљај пријатности боје светлости.	1	2	3	4	5
7.	Боја светлости је: 1 – превише хладна 2 – превише топла 3 – нешто хладнија него што треба 4 – нешто топлија него што треба 5 – адекватна					
8.	Оцените способност примењеног осветљења да верно прикаже боје у простору.	1	2	3	4	5
9.	У којој мери боје осветљене вегетације изгледају природно?	1	2	3	4	5
10.	Оцените Ваш доживљај бљештања које изазивају светилке док се крећете средином стазе, од стуба 5 ка стубу 1, и гледате испред себе, а поглед Вам је хоризонталан. 1 – изузетно интензивно бљештање 2 – интензивно бљештање 3 – умерено бљештање 4 – једва приметно бљештање 5 – неприметно бљештање					
11.	У којој мери се осећате безбедно на осветљеној стази (замислите да сте сами на стази)?	1	2	3	4	5
12.	У којој мери је осветљење створило угодан амбијент?	1	2	3	4	5
13.	Свеукупна оцена посматраног типа осветљења?	1	2	3	4	5

Молим Вас да редне бројеве испред првих 12 питања поређате по значају питања (од најзначајнијег, до најмање значајног).

однос:

Шта је најбоље код овог типа осветљења?

Ако имате неки коментар, упишите га.

Који тип осветљења Вам се више свиђа?

1

2

1. Заокружите или додајте **највише 3** разлога због којих сматрате да је тип осветљења који Вам се више свиђа бољи од другог:

1. интензитет (јачина) осветљења стазе
2. равномерност осветљења стазе
3. изглед људских лица
4. боја светлости
5. верност приказа боја
6. верност приказа боја вегетације
7. мање бљештање
8. осећај безбедности
9. осећај угодности
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_

2. Ако сматрате да тип осветљења који Вам се **мање** свиђа има неке предности у односу на тип осветљења који Вам се више свиђа, заокружите или додајте **највише 3** разлога због којих то сматрате:

1. интензитет (јачина) осветљења стазе
2. равномерност осветљења стазе
3. изглед људских лица
4. боја светлости
5. верност приказа боја
6. верност приказа боја вегетације
7. мање бљештање
8. осећај безбедности
9. осећај угодности
10. \_\_\_\_\_
11. \_\_\_\_\_
12. \_\_\_\_\_

Ако имате неки коментар, упишите га.

## **ПРИЛОГ В**

### **Иницијална верзија анкетног упитника**

ТИП ОСВЕТЉЕЊА 1						
1.	Оцените Ваш доживљај интензитета осветљења стазе (њене сјајности).	1	2	3	4	5
2.	Оцените равномерност осветљености стазе.	1	2	3	4	5
3.	Оцените Ваш доживљај интензитета осветљења људског лица на позицији А (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
4.	Оцените Ваш доживљај квалитета осветљења људског лица на позицији А (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
5.	Оцените Ваш доживљај интензитета осветљења људског лица на позицији Б (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
6.	Оцените Ваш доживљај квалитета осветљења људског лица на позицији Б (удаљеност посматрача 5 m).	1	2	3	4	5
7.	У којој мери се пешаци јасно уочавају?	1	2	3	4	5
8.	Оцените Ваш доживљај пријатности боје светлости.	1	2	3	4	5
9.	Боја светлости је: 1 – превише хладна 2 – превише топла 3 – нешто хладнија него што треба 4 – нешто топлија него што треба 5 – адекватна					
10.	Оцените Ваш доживљај способности примењеног осветљења да верно прикаже боје у простору.	1	2	3	4	5
11.	У којој мери осветљена вегетација изгледа природно?	1	2	3	4	5
12.	Оцените Ваш доживљај бљештања које изазивају светиљке док се крећете средином стазе, од стуба 5 ка стубу 1, и гледате право испред себе, а поглед Вам је хоризонталан.	1	2	3	4	5
13.	У којој мери се осећате безбедно на осветљеној стази (замислите да сте сами на стази)?	1	2	3	4	5
14.	У којој мери се осећате удобно на осветљеној стази?	1	2	3	4	5
15.	У којој мери Вам се допада изведено осветљење?	1	2	3	4	5

Молим Вас да редне бројеве испред наведених питања поређате по значају питања (од најзначајнијег, до најмање значајног).

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Шта је најбоље код овог типа осветљења?

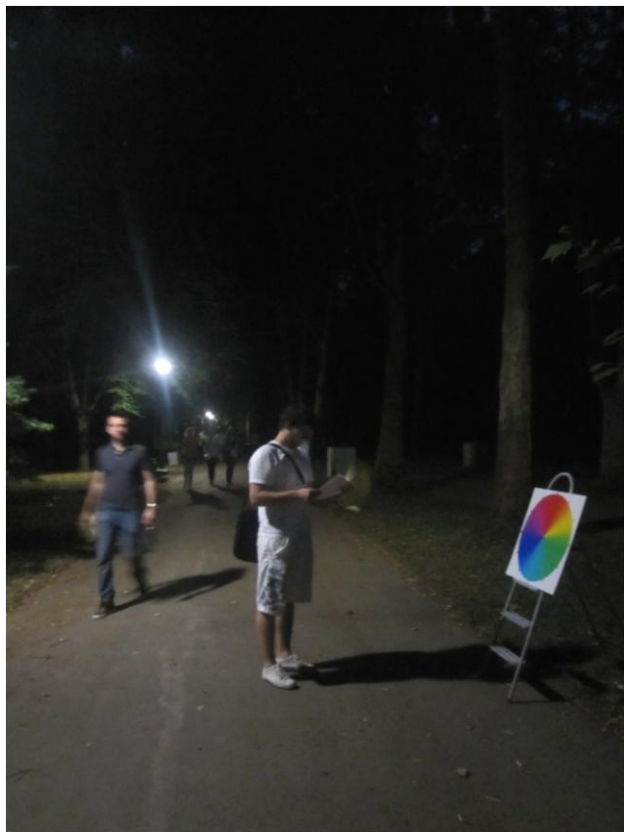
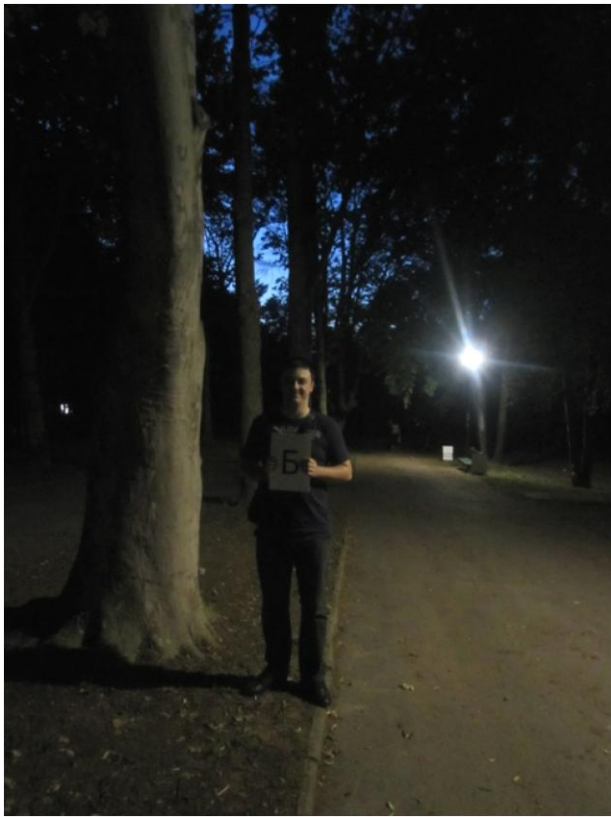
Ако имате неки коментар, упишите га.



1. Који тип осветљења Вам се више свиђа?  1  2
2. Од наведених, заокружите **највише 3** разлога због којих сматрате да је тип осветљења који Вам се више свиђа бољи од другог:
1. интензитет осветљења стазе
  2. равномерност осветљења стазе
  3. изглед људских лица
  4. боја светлости
  5. верност репродукције боја
  6. верност приказа вегетације
  7. мање бљештање
  8. осећај безбедности
  9. осећај удобности
3. Ако сматрате да тип осветљења који Вам се мање свиђа има неке предности у односу на тип осветљења који Вам се више свиђа, заокружите **највише 3** од наведених разлога због којих то сматрате:
1. интензитет осветљења стазе
  2. равномерност осветљења стазе
  3. изглед људских лица
  4. боја светлости
  5. верност репродукције боја
  6. верност приказа вегетације
  7. мање бљештање
  8. осећај безбедности
  9. осећај удобности

**ПРИЛОГ Г**  
**Фотографије са спровођења анкете**  
**(лична документација аутора)**









## **ПРИЛОГ Д**

**Коментари испитаника у вези са избором најбољих  
карактеристика типа осветљења 1 (МН)**

### Одговори испитаника из прве групе:

- Топла боја светлости и осећај безбедности.
- Равномерност осветљености стазе.
- Угодан амбијент.
- Ствара угодан амбијент.
- Боја светлости.
- Равномерност и репродукција боја.
- Равномерност осветљења.
- Јако је пријатно.
- Топла боја осветљења.
- Најзначајнија је топлина осветљења и смањење бљештања како би се истакао амбијент.
- Боја светлости.
- Равномерност осветљености.
- Интензитет.
- Пријатност.
- Равномерност и интензитет стварају осећај препознатљивости и самим тим сигурности.
- Јасно уочавање пешака.
- Квалитет боје и сигурност.
- Интензитет, боја светлости.
- Постигнути квалитет осветљења у доживљају људских лица.
- Добра осветљеност у висини лица, што узрокује боље препознавање људи на стази, чак и када су управо прошли светиљку, тј. када им је најближи извор светлости иза леђа.
- Иако бљештање није “страшно” ни код једног типа осветљења, мислим да чак и мала разлика у пријатности у корист типа осветљења 1 много значи, јер се веома појачава на уласку у осветљени део (између стубова 5 и 4), што је значајно јер службе које мењају сијалице код нас нису најажурније (честа је појава да бар нека светиљка није у функцији).



- Равномерност осветљености стазе; способност осветљења да верно прикаже боје у простору.
- Уравнотеженост осветљења стазе.
- Боја светлости је блиска дневној, па је боравак пријатнији него код типа осветљења 2.
- Осећај безбедности, угодности и сагледавања простора.
- Равномерност осветљења, репродукција боја, угодан амбијент.
- Пријатно је за боравак.
- Амбијент.
- Пријатан амбијент.
- Општи утисак јако добар.
- Боја светлости.
- Пријатније је – контрасти су релативно ненапорни, осветљена је велика површина, боја је угодна.
- Угодна боја осветљења и врло мало бљештање.
- Равномерност осветљености, јасно уочавање пешака.
- Равномерност осветљености.
- Пријатност боје светлости, верност приказивања боја.
- Јачина осветљења стазе.
- Амбијент.
- Пријатност боје светлости.
- Равномерност.
- Адекватан приказ боја.
- Одлична осветљеност, осећај безбедности бољи.
- Осећај сигурности због лаког уочавања детаља и са велике удаљености.
- На паноу са бојама боје изгледају неприродније него код типа осветљења 2, док су на људима и њиховој одећи пријатније него код типа осветљења 2.
- Угодан амбијент.
- Угодан амбијент, адекватна боја светлости и осећај безбедности.
- Осветљеност стазе.
- Равномерност, верно приказује боје у природи.

- Безбедност, амбијент.
- Осећај безбедности и уочавање људских лица.

**Одговори испитаника из друге групе:**

- Јасно се уочавају пешаци.
- Верно приказује боје у простору.
- Бљештање је умереније, боља осветљеност лица.
- Људске силуете се добро уочавају.
- Интензитет.
- Топла боја светлости, а самим тим и угодност/пријатност и осећај безбедности.
- Пријатна боја, квалитет осветљености људског лица.
- Боја светлости је топла.
- Угодан амбијент, пријатност боје светлости.
- Пријатност боје светлости.
- Угођај, безбедност.
- Топлина светлости, интензитет, уочавање других људи, равномерност осветљења.
- Јачина и пријатност.
- Пријатан амбијент, добар интензитет осветљења који омогућава добро сагледавање пешака и доприноси општем осећају безбедности.
- Осећаш се лагодно и безбедно!
- Осећај безбедности и квалитет осветљења људског лица.
- Осећај угодности амбијента.
- Верна реплика дневне светлости.
- Врло је пријатно за очи јер нема бљештања.
- Боја светлости.
- Мени лично више одговара топла боја када је у питању спољно осветљење.
- Јасније осветљен простор.
- Боља осветљеност стазе.

- Видљивост пешака из удаљености, равномерније осветљење целог простора.
- Прилично јасно се виде и стаза и пешаци.
- Интензитет осветљења.
- Топлина боје.
- Амбијент, угодност, безбедније је.
- Боја, амбијент.
- Интензитет осветљења стазе.
- Ствара угодан осећај и пријатан амбијент.
- Пријатност.
- Пријатно за дужи боравак на клупама.
- Боја осветљења је пријатна за шетњу.
- И код једног и код другог типа осветљења, оцењивао сам њихов међусобни однос, који тип је где на скали од један до пет. Не могу да очекујем да је ноћно осветљење не знам колико добро, зато су оцене и високе.
- Пружа осећај ширине и пријатности простора.

## **ПРИЛОГ Ђ**

**Коментари испитаника у вези са избором најбољих  
карактеристика типа осветљења 2 (LED)**

### Одговори испитаника из прве групе:

- Мање замарање очију услед мање приметног бљештања.
- Боја светлости.
- Јасно се уочавају пешаци.
- Можда интензитет.
- Бољи интензитет него код типа осветљења 1.
- Бољи интензитет светлости.
- Интензитет осветљености стазе.
- Репродукција боја.
- Пријатност.
- Распознавање лица.
- Нема бљештања.
- Боје.
- Добар ниво осветљености стазе.
- Боја светлости.
- Квалитет осветљења лица особе која стоји испред стуба је изузетан.
- Равномерност и прихватљиво сагледавање пешака између стубова 2 и 3.
- Интензитет.
- Репродукција боја.
- Сведено бљештање.
- Доживљај пријатности боје светлости.
- Уочавање пешака, угодан амбијент.
- Боље се види особа Б.
- Врло пријатна боја светлости (иако мање адекватна за парковско осветљење).
- Угодан амбијент.
- Угодан амбијент.
- Угодније је за шетњу.
- Верност репродуковања боја у простору.
- Боја светлости, пријатност, једва приметно бљештање.
- Доживљај лица и пријатност.

- Равномерност осветљености, боја и способност верне репродукције боја.
- Допада ми се амбијент који ствара овај тип осветљења.

**Одговори испитаника из друге групе:**

- Безбедније се осећам.
- Пријатност боје светлости.
- Лепши приказ боја и пријатнија светлост након навикавања.
- Равномерност осветљења и утисак безбедности.
- Осећај угодности и интензитет осветљења.
- Пријатност боје светлости.
- Мање бљештање – мање се замара око.
- Интензитет осветљености људског лица.
- Верно приказује боје.
- Веран спектар боја, умерено бљештање.
- Код овог типа осветљења најбоље је једва приметно бљештање.
- Осећај безбедности.
- Верније приказује боје.
- Пријатна боја светлости.
- Светлост делује природно и ствара угодан амбијент.
- Боја светлости.
- Низак ниво бљештања.
- Интензитет, оштрина.
- Вернији приказ боја.
- Јасно се виде детаљи.
- Равномерност осветљења.

**ПРИЛОГ Е**  
**Општи коментари испитаника**

- Изглед људског лица се разликује, али је код особе “А” боља осветљеност код типа осветљења 1, док је код типа осветљења 2 боља осветљеност особе “Б”.
- Коментар који се односи на оба типа осветљења: оцене сам давала у складу са ситуацијом, односно имајући у виду да је у питању амбијентално осветљење. Да је било у питању унутрашње осветљење, редослед значаја оцењивачких параметара би био другачији. У овом случају параметри који се односе на боју светлости и репродукцију боја су ми били мање значајни, а од већег значаја су ми били интензитет светлости, безбедност...
- Генерално, у паркове са типом осветљења 2 никада не бих излазио. Није безбедно.
- Крошње дрвећа треба обликовати тако да не праве сенку на стази.
- Лично ми се више свиђа тип осветљења 2, јер ми је за око прихватљивија и угоднија његова боја светлости него код типа осветљења 1, с тим што мислим да је и тип осветљења 1 сасвим коректан и прихватљив за примену у амбијенталном осветљењу.
- Први тип осветљења је бољи од другог, али би требало поставити много природније осветљење од типа осветљења 1, а поготово од типа осветљења 2.
- Без обзира на то што је бољи утисак на мене оставило осветљење типа 1, морам додати да светиљке осветљења типа 2 лепше изгледају из даљине, нарочито кад се посматрају из неосветљених делова стазе/парка.
- Оба типа осветљења стварају веома угодан амбијент за шетњу, али би интензитет осветљења стазе могао бити бољи.

**Коментари испитаника који се односе на недостатке типа осветљења 2:**

- Непријатна боја светлости.
- Мало је прехладно.
- Лош амбијент и превише бљештава светлост.



- Због јачине и бљештања ствара нервозу и nelaгодан осећај због тешког препознавања лица.
- Мислим да интензитет осветљења значајно опада између стубова, што доводи до великог контраста и смањења квалитета простора.
- Репродукција боја је неадекватна, а самим тим утиче на стварање угодног амбијента.
- Изузетно лоша равномерност осветљења, како подужна, тако и попречна.
- Велики интензитет, али то не одговара парку.
- Није пријатна боја светлости.
- Хладно и неприродно!
- Светлост је великог интензитета, али заслепљује и због бљештања се не виде јасно лица.
- Када је уперена у посматрани предмет, боља је видљивост.
- По мом мишљењу, неадекватно за парк из разлога што више усмерено баца светлост, него широко.
- Сенке као да су израженије.
- Осветљење у непосредној близини светиљке.

## **ПРИЛОГ Ж**

**Актуелизовани трошкови инсталација амбијенталног осветљења изведених помоћу светиљки са метал-халогеним изворима светлости, дати у зависности од стопе актуелизације и цене електричне енергије**

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.06	75	54	26	155
	P <sub>min</sub>	5	0.06	109	40	38	188
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.06	81	28	27	136
	P <sub>min</sub>	5	0.06	127	24	45	195
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.06	70	26	24	120
	P <sub>min</sub>	5	0.06	106	19	36	161
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.06	62	29	28	120
	P <sub>min</sub>	5	0.06	100	24	45	168
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.06	69	16	31	116
	P <sub>min</sub>	5	0.06	69	16	31	116
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.06	58	14	26	98
	P <sub>min</sub>	5	0.06	58	14	26	98

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.08	75	72	26	173
	P <sub>min</sub>	5	0.08	109	54	38	201
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.08	81	38	27	146
	P <sub>min</sub>	5	0.08	127	31	45	203
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.08	70	34	24	128
	P <sub>min</sub>	5	0.08	106	26	36	168
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.08	62	39	28	129
	P <sub>min</sub>	5	0.08	100	31	45	176
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.08	69	22	31	121
	P <sub>min</sub>	5	0.08	69	22	31	121
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.08	58	18	26	103
	P <sub>min</sub>	5	0.08	58	18	26	103

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.1	75	90	26	192
	P <sub>min</sub>	5	0.1	109	67	38	214
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.1	81	47	27	155
	P <sub>min</sub>	5	0.1	127	39	45	211
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.1	70	43	24	137
	P <sub>min</sub>	5	0.1	106	32	36	174
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.1	62	49	28	139
	P <sub>min</sub>	5	0.1	100	39	45	184
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.1	69	27	31	127
	P <sub>min</sub>	5	0.1	69	27	31	127
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.1	58	23	26	107
	P <sub>min</sub>	5	0.1	58	23	26	107

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.12	75	109	26	210
	P <sub>min</sub>	5	0.12	109	81	38	228
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.12	81	57	27	165
	P <sub>min</sub>	5	0.12	127	47	45	219
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.12	70	51	24	145
	P <sub>min</sub>	5	0.12	106	38	36	180
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.12	62	59	28	149
	P <sub>min</sub>	5	0.12	100	47	45	192
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.12	69	32	31	132
	P <sub>min</sub>	5	0.12	69	32	31	132
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.12	58	28	26	112
	P <sub>min</sub>	5	0.12	58	28	26	112

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	132	76	36	245
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	192	56	54	302
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	142	40	38	220
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	224	33	63	319
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	123	36	34	193
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	186	27	51	264
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	109	41	39	190
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	176	33	63	272
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	121	23	43	187
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	121	23	43	187
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	103	19	37	158
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	103	19	37	158

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	132	101	36	270
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	192	75	54	321
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	142	53	38	233
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	224	44	63	330
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	123	48	34	205
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	186	36	51	273
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	109	55	39	203
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	176	44	63	283
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	121	30	43	194
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	121	30	43	194
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	103	26	37	165
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	103	26	37	165

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	132	127	36	295
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	192	94	54	339
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	142	66	38	247
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	224	55	63	341
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	123	60	34	217
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	186	45	51	282
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	109	69	39	217
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	176	55	63	294
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	121	38	43	202
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	121	38	43	202
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	103	32	37	171
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	103	32	37	171

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	132	152	36	321
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	192	113	54	358
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	142	80	38	260
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	224	66	63	352
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	123	72	34	229
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	186	54	51	291
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	109	83	39	231
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	176	66	63	305
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	121	45	43	209
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	121	45	43	209
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	103	39	37	178
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	103	39	37	178

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.06	230	108	51	389
	P <sub>min</sub>	10	0.06	333	80	76	489
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.06	247	57	54	357
	P <sub>min</sub>	10	0.06	388	47	89	524
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.06	214	51	48	313
	P <sub>min</sub>	10	0.06	323	38	72	433
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.06	190	59	56	304
	P <sub>min</sub>	10	0.06	305	47	89	441
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.06	210	32	61	303
	P <sub>min</sub>	10	0.06	210	32	61	303
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.06	178	27	52	257
	P <sub>min</sub>	10	0.06	178	27	52	257

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.08	230	144	51	425
	P <sub>min</sub>	10	0.08	333	107	76	516
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.08	247	76	54	376
	P <sub>min</sub>	10	0.08	388	63	89	540
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.08	214	68	48	330
	P <sub>min</sub>	10	0.08	323	51	72	446
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.08	190	78	56	323
	P <sub>min</sub>	10	0.08	305	63	89	457
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.08	210	43	61	314
	P <sub>min</sub>	10	0.08	210	43	61	314
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.08	178	36	52	266
	P <sub>min</sub>	10	0.08	178	36	52	266

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.1	230	180	51	461
	P <sub>min</sub>	10	0.1	333	134	76	543
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.1	247	94	54	395
	P <sub>min</sub>	10	0.1	388	78	89	555
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.1	214	85	48	347
	P <sub>min</sub>	10	0.1	323	64	72	459
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.1	190	98	56	343
	P <sub>min</sub>	10	0.1	305	78	89	472
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.1	210	54	61	325
	P <sub>min</sub>	10	0.1	210	54	61	325
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.1	178	46	52	276
	P <sub>min</sub>	10	0.1	178	46	52	276

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.12	230	216	51	497
	P <sub>min</sub>	10	0.12	333	160	76	569
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.12	247	113	54	414
	P <sub>min</sub>	10	0.12	388	94	89	571
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.12	214	102	48	364
	P <sub>min</sub>	10	0.12	323	76	72	471
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.12	190	117	56	362
	P <sub>min</sub>	10	0.12	305	94	89	488
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.12	210	64	61	336
	P <sub>min</sub>	10	0.12	210	64	61	336
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.12	178	55	52	285
	P <sub>min</sub>	10	0.12	178	55	52	285



### **ПРИЛОГ 3**

**Актуелизовани трошкови инсталација амбијенталног осветљења изведених помоћу LED светиљки, дати у зависности од стопе актуелизације и цене електричне енергије**

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.06	99	42	23	164
	P <sub>min</sub>	5	0.06	120	35	28	183
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.06	76	33	18	127
	P <sub>min</sub>	5	0.06	90	27	21	138
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.06	84	20	19	123
	P <sub>min</sub>	5	0.06	95	18	21	135
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.06	119	22	27	167
	P <sub>min</sub>	5	0.06	144	18	32	194
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.06	112	14	25	152
	P <sub>min</sub>	5	0.06	121	12	28	161
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.06	98	10	22	130
	P <sub>min</sub>	5	0.06	110	8	26	143

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.08	99	56	23	178
	P <sub>min</sub>	5	0.08	120	47	28	194
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.08	76	43	18	138
	P <sub>min</sub>	5	0.08	90	36	21	147
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.08	84	27	19	130
	P <sub>min</sub>	5	0.08	95	25	21	141
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.08	119	29	27	174
	P <sub>min</sub>	5	0.08	144	24	32	200
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.08	112	19	25	157
	P <sub>min</sub>	5	0.08	121	16	28	166
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.08	98	13	22	133
	P <sub>min</sub>	5	0.08	110	10	26	146

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.1	99	70	23	192
	P <sub>min</sub>	5	0.1	120	58	28	206
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.1	76	54	18	148
	P <sub>min</sub>	5	0.1	90	44	21	156
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.1	84	34	19	136
	P <sub>min</sub>	5	0.1	95	31	21	147
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.1	119	36	27	181
	P <sub>min</sub>	5	0.1	144	30	32	206
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.1	112	24	25	161
	P <sub>min</sub>	5	0.1	121	20	28	170
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.1	98	16	22	137
	P <sub>min</sub>	5	0.1	110	13	26	149

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.12	99	84	23	206
	P <sub>min</sub>	5	0.12	120	70	28	218
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.12	76	65	18	159
	P <sub>min</sub>	5	0.12	90	53	21	165
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	5	0.12	84	40	19	143
	P <sub>min</sub>	5	0.12	95	37	21	154
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.12	119	43	27	189
	P <sub>min</sub>	5	0.12	144	36	32	212
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.12	112	28	25	166
	P <sub>min</sub>	5	0.12	121	25	28	174
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	5	0.12	98	19	22	140
	P <sub>min</sub>	5	0.12	110	15	26	151

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	174	59	32	265
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	211	49	38	298
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	134	46	24	204
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	159	37	29	225
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	148	28	26	202
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	168	26	29	223
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	209	30	36	276
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	253	25	44	322
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	198	20	35	252
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	213	17	38	269
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.06	173	13	31	217
	P <sub>min</sub>	7,5	0.06	193	11	35	239

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	174	79	32	284
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	211	65	38	314
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	134	61	24	219
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	159	50	29	238
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	148	38	26	211
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	168	34	29	231
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	209	40	36	286
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	253	34	44	331
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	198	27	35	259
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	213	23	38	274
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.08	173	18	31	221
	P <sub>min</sub>	7,5	0.08	193	14	35	243

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	174	99	32	304
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	211	82	38	331
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	134	76	24	235
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	159	62	29	250
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	148	47	26	220
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	168	43	29	240
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	209	50	36	296
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	253	42	44	339
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	198	33	35	265
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	213	29	38	280
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.1	173	22	31	226
	P <sub>min</sub>	7,5	0.1	193	18	35	247

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	174	118	32	324
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	211	98	38	347
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	134	91	24	250
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	159	75	29	262
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	148	56	26	230
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	168	52	29	249
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	209	60	36	306
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	253	51	44	348
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	198	40	35	272
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	213	34	38	286
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	7,5	0.12	173	27	31	230
	P <sub>min</sub>	7,5	0.12	193	22	35	250

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.06	302	84	43	429
	P <sub>min</sub>	10	0.06	366	70	52	488
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.06	233	65	34	331
	P <sub>min</sub>	10	0.06	276	53	40	369
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.06	256	40	36	332
	P <sub>min</sub>	10	0.06	292	37	40	368
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.06	363	43	50	456
	P <sub>min</sub>	10	0.06	439	36	60	535
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.06	343	28	47	419
	P <sub>min</sub>	10	0.06	370	24	53	447
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.06	300	19	42	361
	P <sub>min</sub>	10	0.06	336	15	48	399

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.08	302	112	43	457
	P <sub>min</sub>	10	0.08	366	93	52	511
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.08	233	86	34	353
	P <sub>min</sub>	10	0.08	276	71	40	386
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.08	256	53	36	345
	P <sub>min</sub>	10	0.08	292	49	40	380
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.08	363	57	50	470
	P <sub>min</sub>	10	0.08	439	48	60	547
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.08	343	38	47	428
	P <sub>min</sub>	10	0.08	370	33	53	455
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.08	300	25	42	367
	P <sub>min</sub>	10	0.08	336	20	48	404

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.1	302	140	43	485
	P <sub>min</sub>	10	0.1	366	116	52	534
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.1	233	108	34	374
	P <sub>min</sub>	10	0.1	276	88	40	404
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.1	256	67	36	358
	P <sub>min</sub>	10	0.1	292	61	40	392
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.1	363	71	50	484
	P <sub>min</sub>	10	0.1	439	60	60	559
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.1	343	47	47	438
	P <sub>min</sub>	10	0.1	370	41	53	463
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.1	300	32	42	374
	P <sub>min</sub>	10	0.1	336	26	48	410

Светлотехничка класа	Критеријум	i (%)	c <sub>e</sub> (€/kWh)	C <sub>ina</sub> (1000€)	C <sub>ea</sub> (1000€)	C <sub>oa</sub> (1000€)	C <sub>a</sub> (1000€)
P1 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.12	302	168	43	513
	P <sub>min</sub>	10	0.12	366	139	52	557
P2 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.12	233	130	34	396
	P <sub>min</sub>	10	0.12	276	106	40	422
P3 w=6m	S <sub>max</sub>	10	0.12	256	80	36	372
	P <sub>min</sub>	10	0.12	292	73	40	405
P3 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.12	363	86	50	499
	P <sub>min</sub>	10	0.12	439	72	60	571
P4 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.12	343	57	47	447
	P <sub>min</sub>	10	0.12	370	49	53	471
P5 w=3m	S <sub>max</sub>	10	0.12	300	38	42	380
	P <sub>min</sub>	10	0.12	336	31	48	415

## БИОГРАФИЈА АУТОРА

### Основни подаци

Рођена 17.02.1987. у Београду.

1993-2001. основна школа „Веселин Маслеша” у Београду, ђак генерације

2001-2005. Математичка гимназија у Београду, носилац Вукове дипломе

### Подаци о високошколском образовању

2008. године завршила основне академске студије на Архитектонском факултету Универзитета у Београду са просечном оценом **9.18**.

2010. године завршила дипломске академске студије – мастер на Архитектонском факултету Универзитета у Београду на смеру Архитектура са просечном оценом **9.1** и са оценом **10** на дипломском раду са темом „Визиторски-инфо центар Власина”, чији је ментор био доц. мр Александар Виденовић.

Током мастер студија одслушала три курса на Електротехничком факултету у Београду: *Електричне инсталације ниског напона, Електрично осветљење и Акустички дизајн просторија*.

Школске 2010/2011. године уписала докторске академске студије архитектуре научног карактера (основна област истраживања: архитектура, а ужа научна област истраживања: технологије у архитектури и менаџмент, и биоклиматска и еколошка архитектура). Положила све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом **10.00**.

Пријавила докторску дисертацију са темом: *Упоредивање квалитета амбијенталног осветљења изведеног применом метал-халогених и LED извора светлости*, чији је ментор проф. др Лидија Ђокић.



## **Рад у настави на Универзитету у Београду – Архитектонски факултет**

2011. године започела рад у настави на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, на Департману за архитектонске технологије.

Током 2011/2012, 2012/2013. и 2013/2014. школске године учествовала у настави на предмету *Осветљење у архитектури* (трећи семестар Мастер академских студија – Архитектура).

Током 2012/2013. и 2013/2014. школске године учествовала у настави на предмету *Мастерплан осветљења* (други семестар Мастер академских студија – Интегрални урбанизам).

Током 2012/2013. и 2013/2014. школске године учествовала у настави на предмету *Инсталације* (четврти семестар Основних академских студија), при чему је ангажовање подразумевало рад на вежбама у две групе, са укупно око 50 студената по семестру. Рад са студентима је био индивидуалан, а обухватао је и прегледање и оцењивање вежби, као и дежурства на испитима.

### **Пројекти**

- Учешће у изради Главног пројекта осветљења парка "Ташмајдан" у Београду (одговорни пројектант Лидија Ђокић). Наручилац пројекта: Град Београд, 2010. године
- Ентеријер стоматолошке ординације са пројектом инсталација водовода и канализације и осветљења, насеље Степа Степановић, Београд, 2013. године

## **Наручене студије**

- Учешће у изради студије „ Мастерплан за функционално и декоративно јавно осветљење Обреновца “. Наручилац студије: ЈП за изградњу Обреновца, 2009. године
- Учешће у изради студије „Истраживање постојећих решења функционалног и декоративног јавног осветљења у циљу дефинисања основа за израду развојног глобалног Мастерплана за урбано осветљење“. Наручилац студије: Управа за енергетику града Београда, 2010. године

## **Учешће на националном научно-истраживачком пројекту**

2011-2015. учествује на пројекту Министарства за науку и технолошки развој Владе Републике Србије, под насловом: *Препоруке за извођење и правилно коришћење нисконапонских електричних и громобранских заштитних инсталација и развој методологије за верификацију њиховог квалитета са аспекта грађевинских објеката од пожара* (ТР 36018).

## **Радови објављени у научним часописима са SCI листе**

- A.M. Kostic, M.M. Kremic, L.S. Djokic and M.B. Kostic, "Light-Emitting Diodes in Street and Roadway Lighting – a Case Study Involving Mesopic Effects", *Lighting Research and Technology*, Vol. 45 (2), pp. 217-229, 2013. ISSN 1477-1535.
- A.M. Kostic and L.S. Djokic, "Subjective Impressions Under LED and Metal-Halide Lighting", *Lighting Research and Technology*, Vol. 46 (3), pp. 293-307, 2013. ISSN 1477-1535.
- B. Stankovic, A. Kostic and M. Jovanovic Popovic, "Analysis and Comparison of Lighting Design Criteria in Green Building Certification Systems – Guidelines for Application in Serbian Building Practice", *Energy for Sustainable Development*, Vol. 19, pp. 56-65, 2014. ISSN 0973-0826.

## **Радови објављени у међународним научним часописима који нису на SCI листи**

- M. Kostic, L. Djokic, A. Kostic and M. Kremic, "LEDs in Street and Ambient Lighting: Two Case Studies", Light, Newsletter of the Indian Society of Lighting Engineers, Vol. XI, No. III, pp. 26-31, 2011. RNI Reg. No. DELENG/2001/4847.
- L. Djokic, A. Kostic and M. Kostic, "What Should be Considered by Lighting Masterplans and How", Light, Newsletter of the Indian Society of Lighting Engineers, Vol. XII, No. II, pp. 10-20, 2012. RNI Reg. No. DELENG/2001/4847.
- A. Kostic, B. Stankovic and A. Krstic-Furundzic, "Light Pollution and Energy Savings", Ingineria Iluminatului, Vol. 14 (2), pp. 27-32, 2012. ISSN: 1454-5837.

## **Радови објављени у домаћим научним, односно стручним часописима**

- Л. Ђокић и А. Костић, „Урбано осветљење: примена светлости у боји и динамичног осветљења“, Култура, број 134, стр. 200-209, 2012. ISSN 0023-5164.
- А. Перић, А. Костић и Л. Ђокић, „Препоруке за селекцију и правилну употребу ватроотпорних грађевинских материјала“, Изградња, број 03-04, стр. 89-97, 2013. ISSN 0350-5421.

## **Учешће на међународним конференцијама**

- L. Djokic, A. Kostic and M. Kostic, "What Should be Considered by Lighting Masterplans and How" (oral presentation), CIE Session 2011, Sun City, South Africa, 2011. Proceedings, Vol. 1, Part 1, pp. 151-159. ISBN 978 3 901906 99 2.

- M. Kostic, L. Djokic, A. Kostic and M. Kremic, "LEDs in Street and Ambient Lighting: Two Case Studies" (oral presentation), CIE Session 2011, Sun City, South Africa, 2011. Proceedings, Vol. 1, Part 1, pp. 358-365. ISBN 978 3 901906 99 2.
- Д. Јеремић, А. Костић и Л. Ђокић, „Техно-економски ефекти употребе флуо цеви последње генерације“, Инсталације & Архитектура, Архитектонски факултет, Београд, 2011. Зборник радова стр. 75-82. ISBN 978-86-7924-058-3.
- A.Kostic, B. Stankovic and A. Krstic-Furundzic, "Light Pollution in Public Lighting and the Influence of Its Reduction on Reductions in Electricity Consumption and Global Warming", The Fifth Conference Balkan Light 2012, Belgrade, Serbia, 2012. Proceedings pp. 286-291. ISBN 978-86-7466-438-4.
- Перић, А. Костић и Л. Ђокић, „Препоруке за селекцију и примену ватроотпорних материјала у ентеријеру“, Инсталације & Архитектура, Архитектонски факултет, Београд, 2012. Зборник радова стр. 17-22, ISBN 978-86-7924-086-6.
- L. Djokic, A. Kostic and M. Kostic, "Subjective Impressions as Quality Indicators of Ambient Lighting", CIE Centenary Conference: Towards a new century of light, Paris, 2013, Proceedings pp. 1107-1111. ISBN 978-3-902842-44-2.
- Л. Ђокић и А. Костић, „Препоруке за унапређење функционалног урбаног осветљења“, Инсталације & Архитектура, Архитектонски факултет, Београд, 2013. Зборник радова стр. 128-133. ISBN 978-86-7924-111-5.
- N. Kostic, A. Kostic and D. Manasijevic, "Statistical Analysis of Subjective Impressions as Quality Indicators of Ambient Lighting", IX Internacionalna Majska konferencija o strategijskom menadžmentu, Bor, 2013. Zbornik radova str. 787-793. ISBN: 978-86-6305-006-8.

**Прилог 1.**

**Изјава о ауторству**

Потписана Александра Чабаркапа

број индекса Д 2010/12

**Изјављујем**

да је докторска дисертација под насловом

УПОРЕЂИВАЊЕ КВАЛИТЕТА АМБИЈЕНТАЛНОГ ОСВЕТЉЕЊА ИЗВЕДЕНОГ

ПРИМЕНОМ МЕТАЛ-ХАЛОГЕНИХ И LED ИЗВОРА СВЕТЛОСТИ

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда**

У Београду, 23.03.2015.

Александра Чабаркапа

**Прилог 2.**

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије  
докторског рада**

Име и презиме аутора Александра Чабаркапа

Број индекса Д 2010/12

Студијски програм Технологије у архитектури и менаџмент и  
биоклиматска и еколошка архитектура

Наслов рада Упоредивање квалитета амбијенталног осветљења изведеног  
применом метал-халогених и LED извора светлости

Ментор проф. др Лидија Ђокић

Потписана Александра Чабаркапа

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанда**

У Београду, 23.03.2015.

А. Чабаркапа

### Прилог 3.

#### Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

УПОРЕЂИВАЊЕ КВАЛИТЕТА АМБИЈЕНТАЛНОГ ОСВЕТЉЕЊА ИЗВЕДЕНОГ  
ПРИМЕНОМ МЕТАЛ-ХАЛОГЕНИХ И LED ИЗВОРА СВЕТЛОСТИ

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство
2. Ауторство – некомерцијално
- ③ Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис докторанда**

У Београду, 23.03.2015.

А. Чабаркајта

1. Ауторство – Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.