

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА КОЕФИЦИЕНТА НА УСИЛВАНЕ НА УЛИЧНИТЕ ОСВЕТИТЕЛИ ПРИ МИНИМИЗИРАНЕ НА СВЕТЛИННИЯТ ИМ ПОТОК

RESEARCH ON THE INFLUENCE OF FACTOR OF AMPLIFICATION OF STREET LUMINARIES WHEN MINIMIZING THEIR LIGHTING

Станимир Стефанов

ТУ – София, филиал Пловдив

Abstract

The present survey presents the results of research about influence of amplification factor of street luminaries on photometric curves, when minimizing the needed to achieve the standard rates under illuminance regarding BDS EN 13201 lighting flux. Geometry, traffic and lighting situation with which is made optimizations is for local street with lighting situation B2 and lighting class CE4. The optimization is carried on using Matlab-function for nonlinear minimizing function - fmincon. The equations describing the photometric curves use an exponential function which power degree is formed by orthogonal polynomials of Legendre, and the constrain factors are formed on the basis of the methodology for calculation of luminance regarding BDS EN 13201.

Keywords: curve; factor; flux; illuminance; lighting; luminary; matlab; minimization; optimization; photometric; street.

ВЪВЕДЕНИЕ

Без улично осветление бихме изпитвали силни затруднения при ориентирането в пространството и предвиждането в населените места през тъмните части на денонощието, то е необходимост без която не можем, но е и значителен консуматор на електрическа енергия. Очевидно е, че за да намалим енергопотреблението, ще се наложи да се търси решение за разпределение на светлинният поток, позволяващо да се покрият нормените нива при възможно най-ниски негови стойности. Това се постига с решаване на оптимизационни задачи, чиито цели са минимизиране на светлинния поток при определени ограничителни условия, свързани с нормирането на осветителните уредби и възможностите за техническа реализация на получените решения. Един от основните параметри, които определят възможността за техническа реализация на получените решения е коефициента на усилване на осветителите - K_y . В това отношение би било интересно да се изследва какво е неговото влияние както върху стойностите на светлинния поток, получавани при решаване на минимизационни задачи, така и

върху получените в резултат на тези решения фотометрични тела.

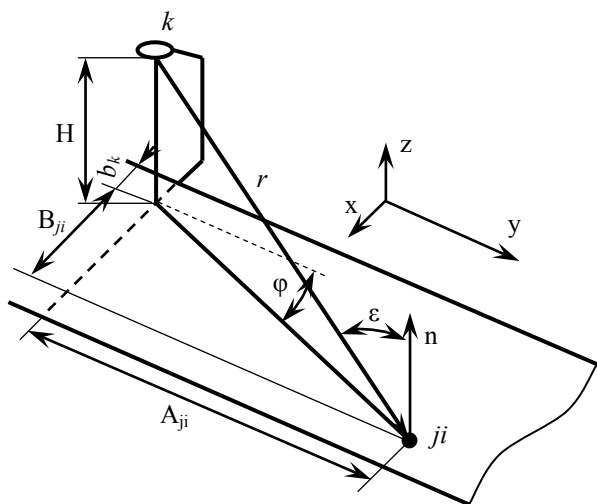
ИЗЛОЖЕНИЕ

Върху формата на фотометричните тела при решаване на минимизационни задачи относно светилния поток на уличните осветители, освен ограничителните условия, влияние оказват още метода за нормиране и геометрията на осветителната уредба при които се решава оптимизационната задача. Логично е да се очаква, че при различните методи за нормиране на уличните осветителни уредби (осветеност, яркост и видимост) е възможно различните стойности на коефициента на усилване да влияят по различен начин върху получените резултати. От анализа на решавани собствено от автора и в съавторство оптимизационни задачи, като и тези от на други автори, може да се направи обобщаващият извод, че по принцип увеличаването на стойността на коефициента на усилване действа „изглаждащо” върху формата на получаващите светлоразпределителни криви. Но е интересно да се анализират и конкретни ситуации за отделени метод на нормиране, клас улица и

геометрия на осветителната уредба поради съществуващото многообразие. В настоящия доклад са приложени резултатите от минимизиране на светлинния поток при нормиране по осветеност на обслужваща улица [3] със светлина ситуация B2 [1], светлинен клас CE4, междустълбово разстояние $s=30$ m, ширина на улицата $b=6$ m с двуметрови тротоари от двете страни за височини на окачване 6 m, 7 m и 8 m.

При изчисляването на хоризонталната осветеност в изчислителните точки се взети под внимание приноса на 4 осветителя преди началото и 4 осветителя след края на изчислителното междустълбие, отстоящи един от друг на едно междустълбово разстояние.

На фиг. 1 е показана геометричната схема за изчисляване на хоризонталната осветеност E_{jik} във всяка от изчислителните точки "ji", създадена от един осветител.



Фиг. 1. Геометрия за определяне на осветеност на точка от изчислителното поле.

b_k – навлизане на осветителя в изчислителното поле, m;
 A_{ji} – разстояние по оста y от осветителя до точка "ji", m;
 B_{ji} – разстояние по оста x от осветителя до точка "ji", m

H – височина на окачване на осветителя, m

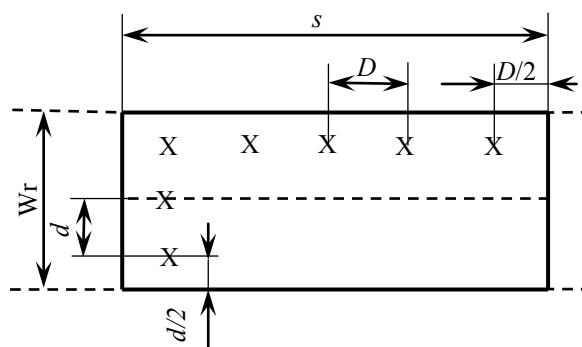
За точка от изчислителното поле хоризонталната осветеност, създавана от един осветител се определя съгласно [1] по следната формули според фиг. 1:

$$e_{jik} = \frac{I'(\Phi_{jik}, \gamma_{jik}) \cdot \cos(\epsilon_{jik})}{r_{jik}^2}, \text{ lx} \quad (1)$$

където:

- $I'(\Phi_{jik}, \gamma_{jik})$ е интензитетът в посока на центъра на елементарния участък "ji", cd/1000 lm;
- ϵ_{jik} е ъгълът който сключва падащия в центъра светлинен лъч с нормалата;
- r_{jik} е разстоянието от центъра на осветителя до центъра на елементарния участък "ji";
- Φ е светлинния поток на източника, klm.

Координатите на изчислителните точки в улично платно се определят съобразно геометрията на изчислителното поле в съответствие с фиг. 2.



Фиг. 2. Разпределение на изчислителните точки в изчислителното поле за определяне на средната осветеност

$$D = \frac{S}{N}, \text{ m} \quad d = \frac{W_r}{n}, \text{ m} \quad (2)$$

- S е междустълбовото разстояние, m
- N е броя на точките в надлъжна посока.
- W_r е широчината на съответната зона, като външните редове отстоят на $d/2$ от краищата на лентата.

Минимизирането на светлинния поток се осъществява посредством оптимизационни алгоритми реализирани в *Matlab* – среда на базара на *matlab* - функцията за нелинейна минимизация *fmincon*. Целевата функция е изходящият светлинен поток, чиято стойност се определя по метода на зоналните потоци. Прието е, че фотометричните тела са симетрично излъчващи спрямо вертикалната листовата равнина $C = 90^\circ - 270^\circ$. За описване на светлоразпределителните криви във функция от стойностите на ъглите C и γ е използван експоненциален израз, съдържащ в степения си показател сума от произведения на неизвестни променливи (опре-

делящи формата на кривите) със ортогонални полиноми на Лежандър от девети ред [2], [5].

Ограничителните условия са нормените стойности на качествените и количествените показатели за съответната светлинна ситуация според [1], коефициентът на усилване по съответното фотометрично тяло и ограничения за стойността на интензитета на светлината в различните зони за C и γ ъглите, свързани с възможността за техническата реализация на фотометричните тела.

$$\left\{ \begin{array}{l} E_{cp} \geq 10lx \\ E_{max} \leq 30lx \\ E_{min} \geq 4lx \\ U_0 \geq 0,4 \\ [I(\varphi, \gamma)] \leq [I_{огр}] \\ K_y \leq K_{y,зад} \end{array} \right. \quad (3)$$

$K_{y,зад}$ е задавания коефициент на усилване, като в оптимизационните процеси K_y се определя посредством израза:

$$K_y = I_{max} / I_{cp,cf} \quad (4)$$

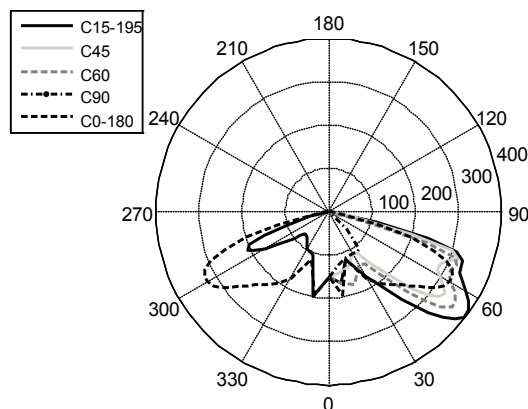
където:

- I_{max} е максималният интензитет по светлоразпределителните криви за съответното фотометрично тяло за 1000 lm условен светлинен поток;
- $I_{cp,cf}$ е средно сферичния интензитет за 1000 lm светлинне поток.

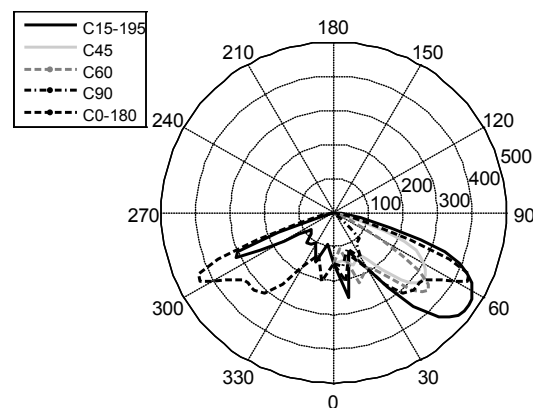
В ограничителните условия е зададено интензитета за 1000 lm условен светлинен поток на източника за $\gamma=0^\circ$ да е в границите на 149-151 cd, максималната разлика между два съседни интензитета по гама за 1000 lm да не надхвърля 200cd, $I_{80} < 100$ cd, $I_{90} = 0$ cd.

Оптимизационните задачи се решават за средна хоризонтална осветеност $E_{срнорм} = 10lx$ с равномерност на $U_0 = 0,4$ съгласно [1]. Експлоатационният фактор на осветителната уредба е $MF = 0,7$, като осветителите са едностранно разположени над бордюра на уличното платно с КПД на оптичната система 0,7 и стойности на $K_{y,зад}$ съответно 5, 6, 7 и 14.

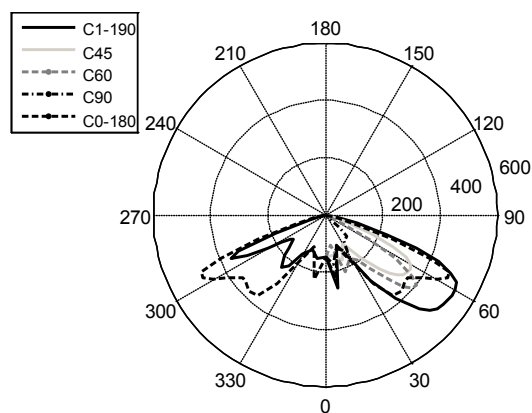
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ



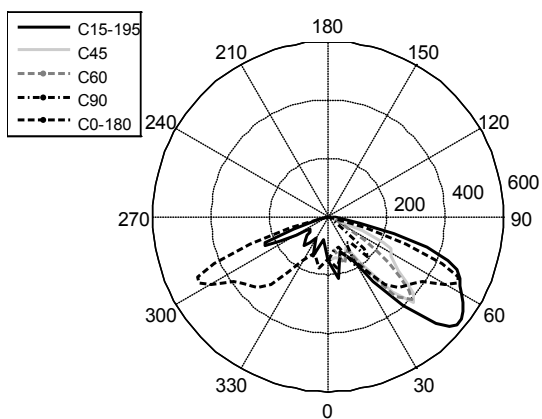
Фиг. 3. Светлоразпределителни криви.
 $H=6m$, $\Phi_{изх}=5778lm$, $K_y=5$



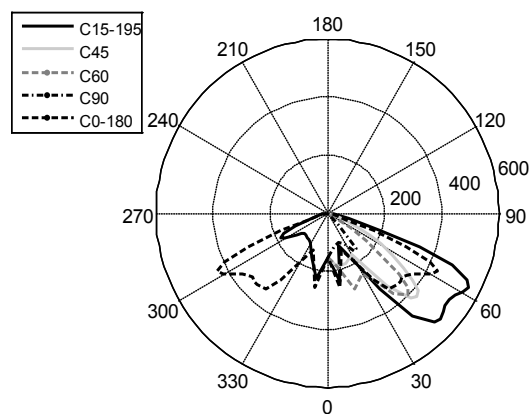
Фиг. 4. Светлоразпределителни криви.
 $H=6m$, $\Phi_{изх}=4708lm$, $K_y=6$



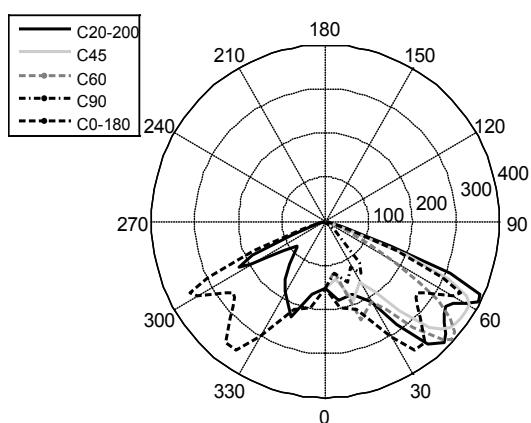
Фиг. 5. Светлоразпределителни криви.
 $H=6m$, $\Phi_{изх}=4494lm$, $K_y=7$



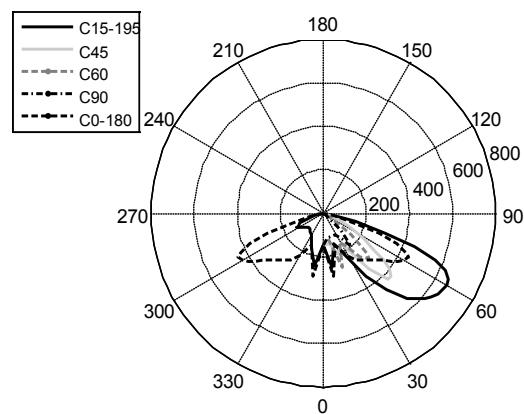
Фиг. 6. Светлоразпределителни криви.
($K_{y,зад}=14$ в ограничителните условия)
 $H=6m$, $\Phi_{изх}=4386lm$, $K_y=7,26$



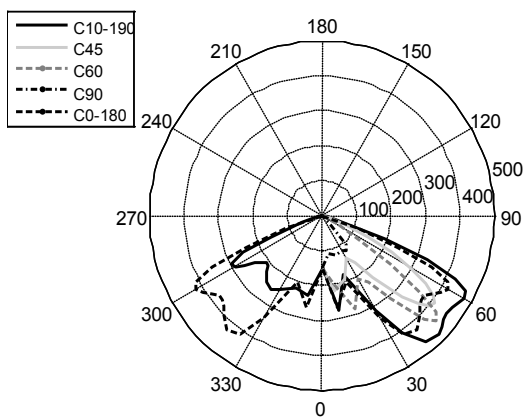
Фиг. 9. Светлоразпределителни криви.
 $H=7m$, $\Phi_{изх}=4490lm$, $K_y=7$



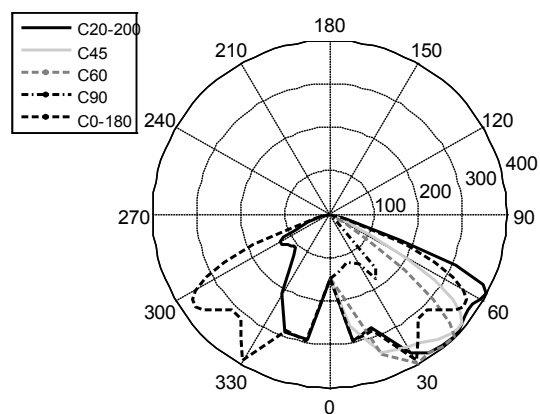
Фиг. 7. Светлоразпределителни криви.
 $H=7m$, $\Phi_{изх}=5136lm$, $K_y=5$



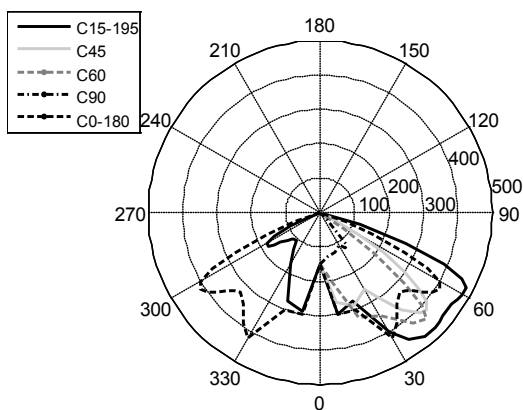
Фиг. 10. Светлоразпределителни криви.
($K_{y,зад}=14$ в ограничителните условия)
 $H=7m$, $\Phi_{изх}=4493lm$, $K_y=8,33$



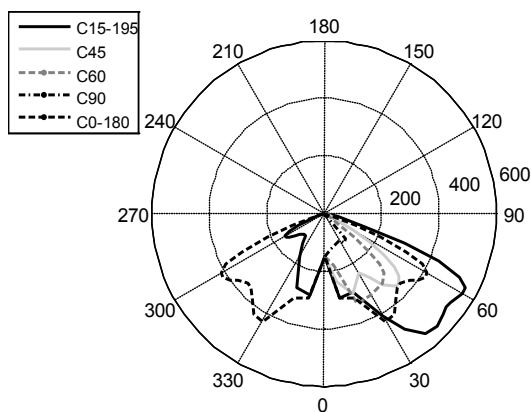
Фиг. 8. Светлоразпределителни криви.
 $H=7m$, $\Phi_{изх}=4493lm$, $K_y=6$



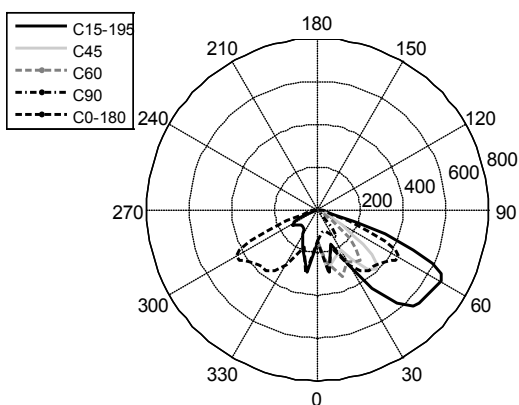
Фиг. 11. Светлоразпределителни криви.
 $H=8m$, $\Phi_{изх}=4601lm$, $K_y=5$



Фиг. 12. Светлоразпределителни криви.
H=8m, $\Phi_{изх}=4387lm$, $K_y=6$



Фиг. 13. Светлоразпределителни криви.
H=8m, $\Phi_{изх}=4366lm$, $K_y=7$



Фиг. 14. Светлоразпределителни криви.
($K_{y,зад}=14$ в ограничителните условия)
H=8m, $\Phi_{изх}=464lm$, $K_y=8,38$

На показаните по-горе светлоразпределителни криви от фиг. 3 до фиг. 4 са приложени резултатите от решаване на оптимиза-

ционните задачи за различните височини на осветителите при различните стойности на $K_{y,зад}$.

Резултатите за стойностите на минимизираните изходящи от осветителите светлини потоци и съответстващите им светлини потоци $\Phi_{из,пол}$ попадащи във изчислителното поле са дадени в Таблица 1, като стойностите са за начално, чисто състояние на осветителя.

Таблица 1

K_y	$\Phi_{изх},$ lm	$\Phi_{из,пол},$ lm	$K_{изп},$ %
Височина H = 6m			
5	5778	4222	73
6	4708	3997	85
7	4494	3995	89
7,27	4386	4000	91
Височина H = 7m			
5	5136	4049	79
6	4493	3974	88
7	4490	3998	89
8,33	4493	4048	90
Височина H = 8m			
5	4601	4023	87
6	4387	3963	90
7	4366	3980	91
8,38	4364	4000	92

От представените фигури се вижда, че разположението на максималният интензитет не е постоянно и варира в определени зони, като по височини те са следните:

- H=6 е в зоните $\gamma = 47,5^\circ - 55^\circ$ C = $10^\circ - 15^\circ$;
- H=7 е в зоните $\gamma = 60^\circ - 67,5^\circ$ C = $10^\circ - 20^\circ$;
- H=8 е в зоните $\gamma = 60^\circ - 62,5^\circ$ C = $15^\circ - 20^\circ$.

Относно формата на фотометричните тела, с увеличаване на стойностите на коефициента на усилване се наблюдава разтегляне на фотометрични тела в направление на листовата равнина съдържаща максималният интензитет. При стойност 5 и при трите височини се наблюдава намаляване на разликите между интензитетите по различните листови равнини за едни и същи ъгли по γ , спрямо случаите когато стойностите са $K_y = 6, 7$ или над 7. Друга характерна особеност, която се забелязва е, че при $K_y = 5$ стойностите на светлинните потоци $\Phi_{изх},$

са значително по-големи от получените при минимизирането му при $K_{y,зад} = 6, 7$ и 14 .

От Таблица 1 се вижда, че при стойностите по-големи от 5 за коефициента на усилване по различните височини, се реализира едно изравняване на стойностите на минимизираните светлини потоци, което води до извода, че би могло да се говори за оптимален диапазон на коефициента на усилване по отношение минимизирането на светлинния поток. За разгледаната геометрия и клас улица този диапазон е между 6 и $8,38$. В него прави впечатление, че най-добри резултати относно $\Phi_{изх}$, се получават за стойности на коефициента на усилване между 7 и $8,38$, като разликата спрямо диапазона 6 и 7 е между 4% при $H=6\text{ m}$, $0,06\%$ при $H=7\text{ m}$ и $0,45\%$ при $H=8\text{ m}$.

Друга особеност която е очевидна, е че независимо от факта, че максималната зададена като ограничение стойност за коефициента на усилване е 14 , максималните реализирани стойности в резултат на решаването на оптимизационните задачи достигат само до $8,38$. Съдейки от резултатите в Таблица 1 съпоставени по височини, най – вероятната причина за това е геометрията на уличната уредба, височината на осветителя над изчислителната равнина и широчината на осветяваната зона. Може да се очаква, че при по-широки улици, по-големи височини на окачване, междустълбия и по-широки осветявани извън основното трасе на уличното платно площи максималният коефициент на усилване на оптичната система на осветителите би нараснал в сравнение с представените в доклада резултати.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати показват, че:

- съществува оптимален диапазон за коефициента на усилване, в който при подходящо светлоразпределение могат да бъдат удовлетворени нормените условия при нормиране по осветеност с минимален светлинен поток;

- е удачно за улици с геометрични и светлини характеристики близки до разгледаните да се реализират улични осветители с коефициенти на усилване на оптичната система от посочения диапазон;

- при минимизиране на светлинния поток, при заложен коефициент на усилване (за разгледаната в доклада геометрия) $K_y = 5$ се реализират фотометрични тела осветяващи широки зони извън изчислителното поле (особено при ниски височини на окачване). Този резултат би могъл да се използва при необходимост от намиране на решения за осветяване на зони извън изчислителните, където не е необходимо нормиране, но е желателно да съществува осветяване – например в случаи на улици с прилежащи широки открити пространства. Възможност за намаляване на стойността на минимизирания светлинен поток при $K_y = 5$ е “изрязване” на частите от светлоразпределителните криви, попадащи извън изчислителните зони, намаляващо сумата на зоналните потоци.

- получените стойности на минимизираните светлини потоци показват, че оптимално разпределение на светлинния поток може да се реализира със светлинни източници, имащи светлинен поток близък до този на 70 W натриева лампа високо налягане при КПД на осветителя $\leq 0,7$.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201 – Part 1, Part 2, Part 3, Part 4.
- [2] Велинов К., Хр. Василев, Влияние на геометричните параметри и нормативните ограничения върху оптималното светлоразпределение на уличните осветители. Осветление’2007 – XIII Национална конференция, Варна, Сборник доклади, стр.94-104, 2007.
- [3] МРРБ, Наредба , №2 от 29 юни 2004г. на МРРБ, ДБ бр.86, 2004г. попр. Бр.93, 2004.
- [4] Поршнев С. MATLAB 7 основы работы и программирования, Бином, Москва, 2006.
- [5] Стефанов Ст., Минимизиране на светлинният поток на улични осветителни уредби за обслужваща, събирателна и главна улица нормирани по видимост, Годишник на ТУ-София, том 59/2009, книга 1, стр. 128-137, 2009.
- [6] CIE 140 – 2000, Road lighting calculations, Vienna, CIE.
- [7] CIE 13X – 1999, Guide to the lighting of urban areas, Vienna, CIE.
- [8] CIE 102 – 1993, Recommended file format for electronic transfer of luminaries photometric data, 1st Edition, Vienna, CIE.