

ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ.

Красимир Велинов, Владимир Василев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: candela@mail.bg <http://lighting-bg.eu/>

РЕЗЮМЕ. В доклада се разглеждат пътища за повишаване на ефективността на уличното осветление. Показано е, че чрез използване на съвременни светлинни източници разходите за електроенергия и инсталираната мощност може да се намалат повече от два пъти. Поради специфичната зрителна задача при уличното осветление светлоразпределението на осветителя оказва голямо влияние върху ефективността на осветлението. Формулирани са оптимизационни задачи за постигане на оптимално светлоразпределение.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF STREET LIGHTING.

Krasimir Velinov, Vladimir Vasilev

University of mining and geology "ST. IVAN RILSKI" E-mail: candela@mail.bg <http://lighting-bg.eu/>

ABSTRACT. The report describes ways to improve the efficiency of street lighting. It is shown that through the use of advanced light sources, the electricity costs and installed capacity could be reduced more than twice. Due to the specific visual task of street lighting luminaire light distribution has a major impact on the effectiveness of lighting. Optimization problems are formulated for optimal light distribution.

Keywords: Optimization, LED, luminaire, light distribution

ПРОБЛЕМИ НА УЛИЧНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

Състояние на уличното осветление в Република България

Към настоящия момент в Република България са монтирани около 1 млн осветителя, захранвани от 50 хил. касетки. Средният брой осветители включени към една касетка е 20. Общата инсталирана мощност е 100 мегавата с годишен разход на ел.енергия – 430 хил. MWh на цена - 80 млн. лева. Средният светлинен добив на светлината излъчена от осветителите 45lm/W [1]

Състояние на уличното осветление в гр. София

- Брой касетки: 1930 (от които 500 с радиоканално управление);
- Среден брой осветители за касетка – 40;
- Средна мощност на касетка – 5.3kW;
- Разходи за електроенергия за 2010 г : 39 хил. MWh на стойност около 7-8 млн лева.
- 60 000 осветителни стълба;
- 83 000 светоизточника;
- – Улично осветление – 65 000;
- – Парково осветление – 18 000;
- – НЛВН 70 W 53 000;
- – НЛВН 150 W 25 000;
- – НЛВН 250 W 3 000;
- – ЖЛВН 125 W 1000.

Консумация в kWh за 2010 г:

– Дневна тарифа: 12 802 016 kWh;

- Нощна тарифа: 25 059 246 kWh;
- Еднотарифна: 951 347 kWh;
- Общо: 38 812 609 kWh.

Цени на електроенергията (01. 06. 2010):

- Дневна тарифа: 0.215 лв/ kWh с ДДС;
- Нощна тарифа: 0.125 лв/ kWh с ДДС;
- Еднотарифна: 0.193 лв/ kWh с ДДС.



Фиг. 1.

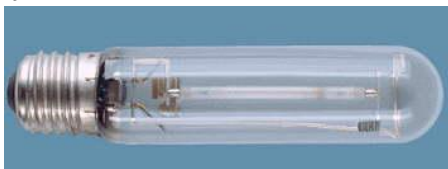
От фигурата се вижда, че преобладаващи са осветителите с натриева лампа с високо налягане с мощност 70W – 53000 бр. По принцип това са едни от най-ефективните източници на светлина, но при тази мощност максималният светлинен добив е 66 lm/W. Горните

източници се влагат в реални осветители с коефициент на полезно действие около 70%. Това означава, че еквивалентният светлинен добив спрямо излъчвания от осветителя светлинен поток при тези източници е съответно 45 lm/W. Повечето оптични системи на осветители използващи този източник позволяват падане на 50% от светлината върху пътната настилка. Много неприятно свойство на тези светлинни източници е лошото качество на светлината.

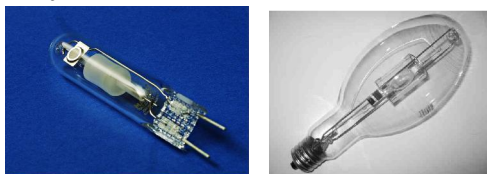
Светлинни източници

В уличното осветление се използват следните източници на светлина:

- **НЛВН**



- **МХЛ**



- **КЛЛ**

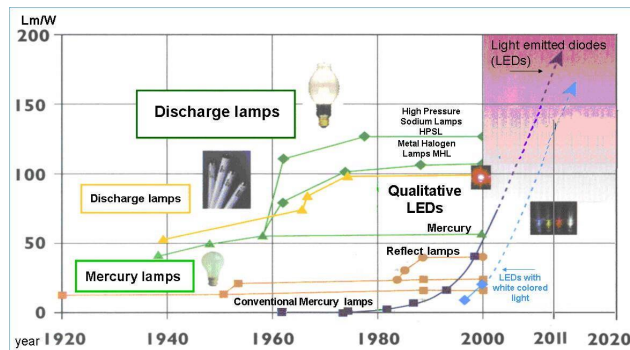


- **LED**



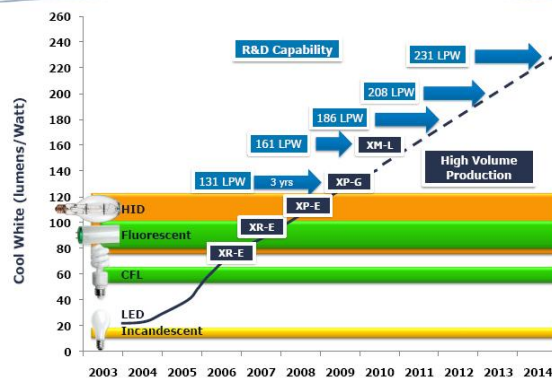
На фиг. 2. е показана промяната на максималния светлинен добив за всеки от тези източници във времето. От графиката се вижда, че натриевите лампи високо налягане имат най-висок светлинен добив, но тези данни се отнасят за лампи с мощност 400W. Тази мощност е подходяща за осветление на някои промишлени обекти, но както се вижда от фиг. 1, около 65% от лампите в уличното осветление са с мощност 70W, при които енергийната ефективност е значително по-ниска.

През последните години технологиите в областта на осветлението се развива с бързи темпове и на пазара се появиха осветители със светодиоди, за които изходящия светлинен поток има ефективност 100 – 110 lm/W. В сравнение с горните стойности те са два пъти по-икономични от натриевите лампи високо налягане. На фиг. 3 е показана тенденцията на повишаване на светлинния добив на светодиодните източници на светлина. В момента на пазара могат да се закупят светодиоди с мощност 1 – 40W и светлинен добив 100 - 160 lm/W.

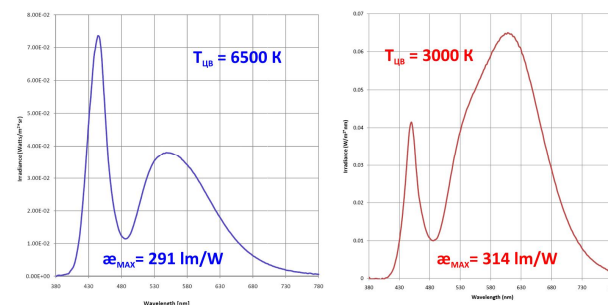


Фиг. 2.

Lighting Class LED Efficacy & Light Output



Фиг. 3.



Фиг. 4.

За идеален източник на светлина, който излъчва монохроматична светлина с дължина на вълната 555nm максималният теоретичен светлинен добив е 683 lm/W. За източник на светлина с бяла светлина максималният теоретичен светлинен добив зависи от цветната температура на излъчената светлина. Светодиодите имат характерна спектрална характеристика на излъчване поради специфичната технология на производство на „бели“ светодиоди. На фиг. 4 е показан максималния светлинен добив, който може да се получи от светодиоден излъчвател при цветна температура 3000K и 6500K. Теоретичната граница е около 300 lm/W. При сегашните темпове на развитие на технологията се очаква тази стойност да се достигне около 2020 г. Независимо от това преди 2 месеца се появи съобщение на фирма CREE, че в лабораторни условия е постигнат светлинен добив около 240 lm/W [2].

В момента за осветление на обслужващите улици се използват осветители с НЛВН 70W. За да се реализират нормените изисквания за този клас улици [3] е достатъчно в момента да се използва светодиоден осветител с

мощност 30 – 35 W. При достигане на светлинния добив до 250 lm/W същите улици ще могат да се осветяват с мощност на лампата 10W.

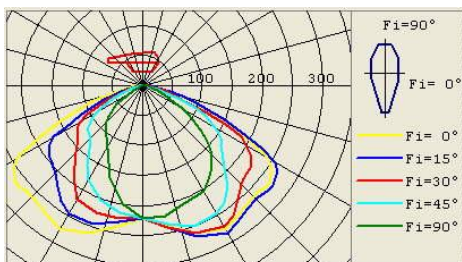
По-долу са показани резултатите от изчисленията на светлотехническите показатели на осветителна уредба при използване на два реално произведени осветителя. Единият е на водеща в света фирма с НЛВН 70W, а другият е светодиоден осветител – българско производство. Резултатите са показани в таблица 1.

Разглежда се масовият случай - обслужващи улици със широчина 6.5м, междустълбие – 32 м, разположение на стълбовете – едностранно. За този клас улици изискванията за осветление са следните:

Нормени стойности съобразно БДС EN 13201

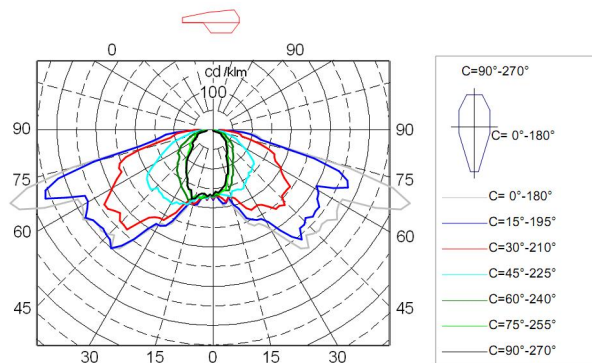
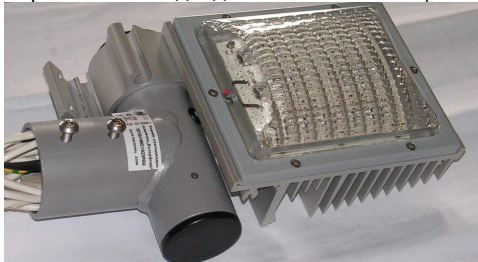
Проектен клас	Светлинен клас	Нормени показатели			
		L _{ср}	U ₀	U _L	TI
B2	ME6	0.3	0.35	0.4	15

Вариант1: Осветител с НЛВН 70W (обща мощност 85W)



Средна яркост на пътното платно [cd/m²] 0.38;
Показател на заслепяване (TI), % 2.23;
Обща неравномерност 0.55;
Надлъжна неравномерност 0.50.

Вариант2: Светодиоден осветител с мощност 34W

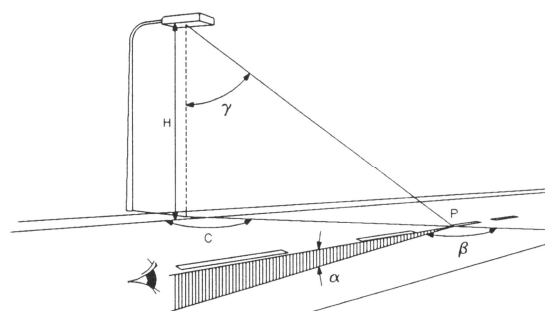


Средна яркост на пътното платно [cd/m²] 0.35;
Средна осветеност на пътното платно, lx 3.5;
Показател на заслепяване (TI), % 6.01;
Обща неравномерност 0.58;
Надлъжна неравномерност 0.75.

Резултатите са красноречиви. Светодиодният осветител покрива нормените изисквания с повече от два пъти по-малка мощност.

Светлоразпределение на осветителя

Прието е нормирането на уличното осветление да се извършва по яркост [3]. За улици от среден клас нормената стойност на яркостта е от 0.5 – 1.5 cd/m². Поради характерната огледална отражателна характеристика на пътната настилка и малкия наклон на погледа на наблюдателя (0.5 – 1.5°) е възможно постигане на висока яркост чрез максимално използване на излъчването на осветителя в областта на излъчване от 60 – 90° (фиг. 5.). Използването на тази зона е ограничено от стандарта, с оглед намаляване на заслепяването [3]. Ако светлоразпределението на осветителя е подходящо, то реализирането на нормените показатели може да се осъществи с няколко пъти по-малка мощност.



Фиг. 5.

Цел на настоящата работа е да се получи такова светлоразпределение на осветителя, че с минимален светлинен поток на източника на светлина да се реализират нормативните изисквания към осветителната уредба.

Математически оптимизационната задача може да се дефинира така:

Критерий за оптимизация е минимален светлинен поток излъчен от осветителя, с който да се реализират нормативните изисквания.

$$\text{Флампа} = \sum \sum I_{\gamma c} \cdot \Delta\Omega_{\gamma c} = \text{MIN} \quad \gamma=0-\pi/2, C=0-\pi$$

Като ограничителни условия могат да бъдат формулирани няколко критерия:

1. При нормиране по яркост[4,5,6]

Lсредно > L_o

L_{min} / **Lсредно** > Go

E_{min} / **Eсредно** > Geo

I_{γс} max (при Флампа=1000lm) < I_o

TI < T_{зададено}

Където:

Lсредно е средната яркост върху пътното платно,

L_o е зададената нормена яркост,

L_{min} е минималната яркост върху пътното платно,

Флампа е светлинния поток на осветителя,

ΔΩ_{γс} са пространствените ъгли за γ и с,

TI – показател на заслепяване.

2. При нормиране по осветеност

Eсредно > E_o

E_{min} / **Eсредно** > Geo

I_{γс} max (при Флампа=1000lm) < I_o

TI < T_{зададено}

Където:

Eсредно е средната осветеност върху пътното платно,

E_o е зададената нормена осветеност,

E_{min} е минималната осветеност върху пътното платно,

Флампа е светлинния поток на осветителя,

ΔΩ_{γс} са пространствените ъгли за γ и с,

TI – показател на заслепяване.

3. При нормиране по видимост[8]

Vсредно > V_o

V_{min} / **Vсредно** > Geo

I_{γс} max (при Флампа=1000lm) < I_o

TI < T_{зададено}

Където:

Vсредно е средната видимост върху пътното платно,

V_o е зададеното ниво на видимост,

V_{min} е минималната видимост върху пътното платно,

Флампа е светлинния поток на осветителя,

ΔΩ_{γс} са пространствените ъгли за γ и с,

TI – показател на заслепяване.

В този случай основно ограничително условие е видимостта на тестовия обект да бъде по-голяма от предварително определено ниво. За условията на пътното движение се приема, че ниво 10 пъти по-голямо от граничното е приемливо. Като тестов обект се използва стандартен зрителен обект, възприет от международната комисия по осветление – куб със страна 0.2м и коефициент на отражение = 0.2.

Посочените ограничителни условия бяха подбрани в процеса на предварителните изследвания за естеството на оптимизационната задача, като отпаднаха други ограничения, които не влияеха чувствително на оптималното решение.

В [4,5,6] горната оптимизационната задача е формулирана като линейна. Това е направено, за да се получи

лесно решението и. В действителност дефинираната оптимизационна задача е нелинейна, тъй като функцията на яркостта, равномерността и заслепяването са нелинейни функции от параметрите на светлоразпределението на осветителя.

В [10] оптимизационната задача е формулирана като нелинейна като са получени ограничен брой решения.

Заклучение

Така формулираните оптимизационни задачи трябва да се моделират с помощта на МАТЛАБ. Да се определят възможни варианти, за които да се получат оптимални решения. Да се създадат средства за визуализиране на решенията.

Литература

- [1] Велинов К., Новости в системите за експлоатация и управление на уличното осветление, Национален семинар "Новости в осветителната техника", 16 декември 2010 г., МГУ "Св. Иван Рилски", София
- [2] <http://www.cree.com/>
- [3] БДС EN 13201-2:2003. Осветление на улици. Технически изисквания.
- [4] Василев Хр., Красимир Велинов, Оптимизиране на параметрите на улични осветителни уредби, Сборник с доклади на XII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2004, 15 – 17 Юни 2004, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“, Варна, България, стр. 46
- [5] Vassilev Hr., Velinov K., Optimization of the Light Distribution of Street Luminaires, 5. Ulusal Aydinlatma Kongresi ve Interlight Istanbul Fuarı, 7-8 Okt. 2004, Istanbul
- [6] Василев Хр., Георгиев Ц., Велинов Кр., Апроксимирование на светлоразпределение осветителитей через ортогональные полиномы Лежандра, Калининград, Светлогорск, 19-21 септември 2006, стр.109.
- [7] Vassilev Hr., Velinov K., Gancho Ganchev, HIGH EFFICIENCY STREET LUMINAIRES, Conferinta internationala Iluminat 2005, (BALKANLIGHT 2005), 06.2005, Clush-Napoka, Romania, p.48-1, 48-7
- [8] Василев Хр., Велинов Кр., Новая концепция освещения улиц, Шестая международная светотехническая конференция, Калининград, Светлогорск, 19-21 септември 2006, стр.35.
- [9] Велинов Кр., Осветление на пътища със светодиоди, Научна сесия на МГУ "Св. Иван Рилски", 19-20.10.2006. Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски", 2006 г. том 49, свитък III Механизация, електрификация и автоматизация на мините, стр.159 - 162.
- [10] Велинов К., Хр. Василев, Влияние на геометричните параметри и нормативните ограничения върху оптималното светлоразпределение на уличните осветители, Сборник с доклади на XIII Национална конференция по осветление с международно участие Осветление'2007, 12 – 13 Юни 2007, Международен дом на учените „Ф. Ж. Кюри“, Варна, България, стр. 94-104