

## Нови концепции за уличното осветление на София

Илия Илиев, Веселка Камбурова, Ангел Терзиев

*New concepts for street lighting in Sofia: As a result of the conducted energy audit of the street lighting in Sofia, have been proposed new concepts for replacement of the existing lamps with high efficient LED ones by application of the latest European standard EN13201-5; a new approach to energy monitoring has been applied. On the basis of the data about the traffic and in accordance with the requirements of the BDS 13201 standard, has been developed a classification of street lighting systems.*

**Key words:** Street lighting, LED, EU standard EN13201-5.

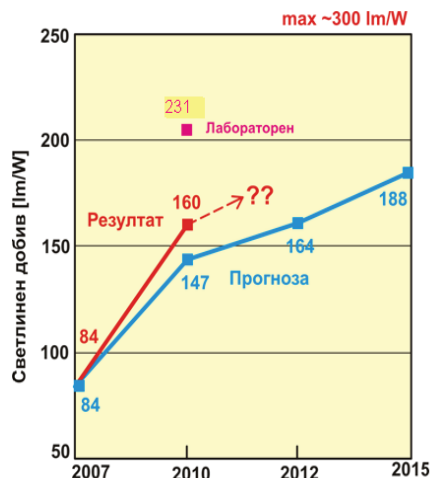
### ВЪВЕДЕНИЕ

През последните няколко години изключително развитие претърпяха и продължават да търпят светодиодите. От средство за индикация в електрониката те се превърнаха в източник на светлина с най-голям потенциал за развитие през следващите години. Почти на всички светлотехнически форуми (на изложения, международни конференции и семинари) се представят улични и паркови осветители, конструирани на базата на светодиоди. Няма съмнение, че основният светлинен източник, използван в уличното осветление, ще бъдат светодиодите.

С въвеждането на светодиодите се откриват нови „хоризонти“ пред уличното осветление и се създават предпоставки да се реализират идеи, които с конвенционалната осветителна техника до този момент бяха невъзможни, да се постигнат технико - икономически показатели, които са чувствително по-добри от тези на конвенционалното улично осветление.

### ОБЩА ИНФОРМАЦИЯ ЗА СВЕТОДИОДНОТО ОСВЕТЛЕНИЕ

На фигура 1. е представена прогнозата и реалното нарастване на светлинния добив на серийно произвежданите светодиоди с бяла светлина за периода 2007 - 2015 г.



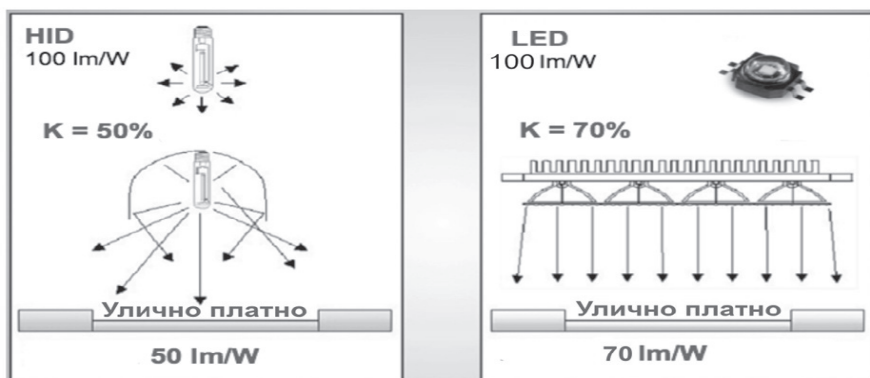
Фиг. 1. Прогнозно и реално нарастване на светлинния добив на серийно произвежданите светодиоди с бяла светлина за периода 2007 - 2015 г.

Забелязва се леко намаление в тенденцията на нарастване до 2007 г., т.е. на всеки две години светлинния добив се удвоява. През месец април 2010 г. в

лабораторни условия е постигнат светлинен добив от 208 lm/W.

Една от потенциалните възможности за увеличение на светлинния добив на светодиодите е използването на качествено нова технология за формиране на „p-n“ преход, с използването на откритите още през 1972 г. и започнати да се изследват едва през 1982 г. хетероструктури с квантови ниши и квантови точки и обемни резонатори. Теоретично чрез тази технология може да се получи квантов КПД, клонящ към 100%. Загубите във луминофора, възлизали от 15 до 25%, остават.

Традиционно използваните до сега светлинни източници за улични осветителни тела (НЛВН, ЖЛВН, МХЛ) и специфичните им геометрични размери дори и в най-добрите варианти не позволяват концентрирането на светлинния поток, там където е наистина необходим, а именно върху пътното платно с повече от 60-70%. От друга страна, с развитието на светодиодните технологии и постоянните изследвания за прилагане на оптични лещи в светодиодните модули позволяват прецизно насочване на светлинния поток.



Фиг. 2. Насочване на светлинния поток към уличното платно

В европейския стандарт EN13201–5 се дефинират два показателя, имащи отношение към енергийната ефективност на уличните осветителни уредби. За осветяване на улици от клас ME и SE се въвежда показателя SL, който се дефинира със следната формула:

$$SL = \frac{P_H}{S \times L} \left[ \frac{W}{[(cd / m^2) \times m^2]} \right]$$

За улици от клас S се въвежда показателя SE:

$$SE = \frac{P_H}{S \times E} \left[ \frac{W}{(lx / m^2)} \right]$$

където  $P_H$  представлява инсталираната мощност на един осветител,

$$P_H = P_L + \Delta P_{IPA} [W]$$

$\Delta P_{IPA} [W]$  – средна мощност на уличното платно,  $L \geq L_m$ ,

$E [lx]$  – средна осветеност на уличното платно,

$S [m^2]$  – площ на уличното платно в едно междустълбие:  $S = A \times B$

Експертен екип на Енкон Сървисис ООД проведе енергийно обследване [1] на уличното осветление на гр. София и излезе с предложение уличните осветителни уредби да бъдат оценени по енергийна ефективност в седем класа (A, B, C, D, E, F,

G).

Таблица 1. Клас на уличната осветителна уредба

Клас на уличната осветителна уредба		
Клас на енергийна ефективност	ME	S, CE
	SL	SE
	$\frac{W}{\left[\left(\frac{cd}{m^2}\right) \times m^2\right]}$	$\frac{W}{(lx/m^2)}$
A	0,666	0,0466
B	0,713	0,0499
C	0,762	0,0534
D	0,816	0,0570
E	0,873	0,0611
F	0,935	0,0654
G	1,000	0,0700

При условие, че е въведена система за управление на уличното осветление в нощните часове, т.е. редуцира се осветеността (яркостта), чрез получената икономия на ел. енергия се преизчислява енергийният клас на осветителната уредба.

Ефективността на една светодиодна система се определя от няколко фактора: светлинен добив на светодиода, загуби в пускорегулиращата апаратура– драйвера, загуби в оптичната система и температура на “p – n”-прехода.



Фиг.3. Ефективност на LED система

На Фиг. 3 и в Таблица 2 ясно се вижда как намалението на светлинния добив на светодиодите спрямо първоначалния базов добив зависи от различни компоненти. Сортирането на светодиодите по бин, както и получаването на топлобяла светлина с индекс на цвето предаване Ra=70, водят до намаляване на светлинния добив с около 10%. Влиянието на експлоатационния фактор и термичното влияние върху светлинния добив е доста по-осезаемо и достига до 20%.

Таблица 2. Ефективност на светодиодите

Фактори, влияещи върху ефективността на светодиодите	Намаление на светодиодния добив, %	lm/W
Светодиод	База 100%	140
Сортиране на светодиодите по бин	-8%	123
Получаване на топлобяла светлина с индекс на цвето предаване Ra=70	-6%	115
Термично влияние (25 <sup>0</sup> C-55 <sup>0</sup> C)	-10%	104
Загуби в драйвера	-8%	95
Загуби в оптиката на осветителя	-7%	88
Експлоатационен фактор	-20%	70

### Оптичен к.п.д.

Светодиодите имат Ламбертово светлоразпределение – излъчваният поток е разпределен в ъгъл от 120°, което чрез използването на оптични лещи се преобразува в типичното светлоразпределение за уличните осветители. Уличните осветители с класически светлинни източници (НЛВН, КЛЛ, МХЛ) се характеризират с много "разпиляна" светлина, попадаща върху фасадите на сградите и околните пространства. При светодиодните осветители, благодарение на оптичните лещи, почти цялото количество светлина, излъчено от светодиодите, се насочва върху уличното платно и удовлетворяването на показателя SR. За някои оптични лещи, при определени геометрии на уличната уредба това е проблем. Чрез намалената разпиляна светлина се създават предпоставки за намаляване на необходимия светлинен поток до 20 – 25%. Това е едно от съществените преимущества на оптични лещи при светодиодното осветление.

Коефициентът на полезно действие на вторичните лещи, използвани за прецизно насочване на светлинния поток в желаните координати, обикновено има стойности от 85% до 90%. В процеса на работа се получава пожълтяване в следствие на стареенето на лещите, както и замърсяване, породено от спецификата на работната среда. Загубите в защитното стъкло на уличните светодиодни осветители са от порядъка на 8%.

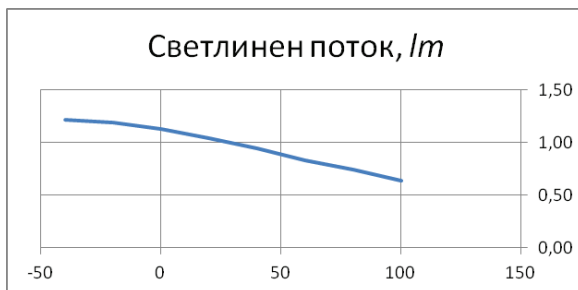
### Термичен мениджмънт

Когато се задава мощността на осветителя трябва да се определи какво количество топлина ще се отдели от монтираните светодиоди в корпуса, за да се осигури достатъчно голяма повърхност, която да разсее тази топлина в пространството и да осигури нормални условия за работа на светодиодите. Трябва да се уточни, че под нормална работа в дадения случай авторите приемат 55°C. Може да има много предложения и съображения – напр. 60° - 65° или че се разработват светодиоди, които ще работят нормално при 120°C, но ние приемаме това, което е сигурно днес.

Днес се знае, че съгласно изследвания на Thomas Kuhn et all. и много други, най – ефективно светлоотдаване и най-дълъг живот имат светодиоди, работещи при температура на p – n прехода (T<sub>j</sub>) около 55°C. Конструкторът трябва да има информация за това, дали T<sub>j</sub> ще бъде надвишена по време на работа на осветителя или не.

Типичният светодиод със светлинен добив от 135 lm/W произвежда около 35%

видима светлина и 65% топлина. При следващо повишаване на светлинния добив относителният дял на топлината непрекъснато ще намалява. Специално при високомощните LED е много важно да се отведе тази топлина чрез охладител или, по – общо казано с терминологията, наложила се в света, с подходящ топлинен мениджмънт. Без добро топлинно разсейване се дават предпоставки за негативната промяна на характеристиките на светодиодите.



Фиг. 4. Изменение на светлинният поток в зависимост от температурата

От съществено значение за цялостната ефективност на светодиодната система е пусково регулиращата апаратура – драйверите. Техният живот трябва да бъде над 15 000 часа, да имат добър К.П.Д. и да притежават защита от пренапрежение до 4 kV. Не на последно място производителите трябва да осигурят гаранционни срокове на драйвера, които адекватно да отговорят на потребителските очаквания за сигурността на една цялостна светодиодна система.

Постоянното нарастване на светлинния добив на светодиодите ще доведе до допълнителното улесняване на решаването на проблема с термичния мениджмънт, тъй като колкото по-голям е светлинният добив на един светодиод, толкова по-малка е енергията, отделяна от него във вид на топлина. Конкретно за осветителя, който в по-следващ етап ще бъде разработен на базата на получените светлоразпределителни криви, ще се използват светодиоди на фирма CREE, чийто светлинен добив е 140 lm/W при температура на р-п прехода  $T_j = 65^\circ\text{C}$  и цветна температура  $T_{cv} = 4500\text{K}$ .

Определянето на броя на светодиодите, които ще бъдат необходими за конструирането на този осветител, се определя по формулата:

$$N_{cv} = \frac{\Phi_{ocv}}{K_u \cdot \eta_{ocv} \cdot MF \cdot \Phi_{cv}}$$

където  $N_{cv}$  – брой светодиоди в един осветител;  $\Phi_{ocv}$  – светлинен поток, излизащ от осветителя;  $K_u$  – коефициент на използване на светлинния поток, който представя каква част от светлинния поток, излизащ от осветителя, попада върху пътното платно; MF – експлоатационен фактор;  $\Phi_{cv}$  – светлинен поток на един светодиод с мощност 1W.

Въз основа на получените резултати след изчисленията, направени с полученото светлоразпределение и вземайки под внимание допустимото отклонение от 10% приемаме, че светлинния поток, излизащ от осветителя  $\Phi_{ocv} = 600 \text{ lm}$ . Коефициентът на използване на светлинния поток  $K_u = 0.75$ , тъй като използването на светодиоди ни позволява прецизно да насочим потока, там където той е необходим, с минимално разпиляване на светлина в околните пространства и фасадите на близко стоящите сгради. За сравнение - в момента масово използваните в осветителите за улично осветление НЛВН и КЛЛ, поради спецификата на горелката и геометричните си размери, имат коефициент на

използване на светлинният поток  $K_i=0.5$ .

Експлоатационният фактор се определя спрямо следната зависимост:

$$MF = MF_{\phi} \cdot MF_{осв},$$

където  $MF$  – експлоатационен фактор;  $MF_{\phi}$  – експлоатационен фактор на светлинният поток;  $MF_{осв}$  – експлоатационен фактор на осветителя.

При използването на корпус от лят алуминий ще се осигури достатъчно голяма площ за разсейването на топлината излъчена от светодиодите и температура на p–n прехода, равна на 50°C. Така ще се запази относително постоянен светлинния поток по време на целия експлоатационен период и  $MF_{\phi}=0.85$ . При степен на защитата от влага и прах IP66 и използването на драйвер с 50,000 часа експлоатационен период,  $MF_{осв}=0.9$ . Следователно получаваме:

$$MF=0.85 \times 0.9=0.765.$$

Така за броя на светодиодите в един осветител получаваме:

$$N_{св} = \frac{600}{0,75 \cdot 0,81 \cdot 0,765 \cdot 140} = 9,22 \approx 10бр.$$

Мощността на осветителното тяло се определя като се имат предвид загубите на мощност в пускорегулиращата апаратура 20%.

$$P_{ост}=P_{LED} + \Delta P_{др.}=10W+2W=12W,$$

където  $P_{ост}$  – мощност на осветително тяло;  $P_{LED}$  – мощност на светодиодите;  $\Delta P_{др}$  – загуби на мощност в пускорегулиращата апаратура.

В таблица 3. са представени сравнителни данни за конвенционален осветител с натриева лампа високо налягане и светодиодния осветител F1LED.

**Таблица 3. Сравнителни данни за осветител с НЛВН и светодиоден осветител**

Осветител		Конвенциона -лен с НЛВН	Свето-диоден F1
Мощност на осветителя	W	62	12
Икономия на ел. енергия $\Delta P$ $\Delta P=P_{нлвн} - P_{LED}$	W	50	
Реализирана икономия на ел.енергия при $T_r=4000$ h $\Delta E_{год}=\Delta P \times T_r$	kWh	200	
Реализирана икономия при цена на ел.енергията $C_e=0.2$ лв/kWh $\Delta C_e=\Delta E_{год} \times C_e$	лв/год	40	
Реализирана икономия при експлоатационен срок 50000 h $\Delta C_{e50000}=\Delta C_e \times 12.5$	лв	500	

### Концепции за енергиен мониторинг на улично осветление

Съществува голямо разнообразие от системи за управление на уличното осветление. Водещ фактор при избор на система за управление на улично осветление трябва да бъде икономическата логика. Съществуват системи за управление, които само включват и изключват уличното осветление до такива, които управляват (димират) всяко едно осветително тяло, контролират състоянието и предават информацията в ЦДЦ за отделните елементи (лампи, дросел, запално устройство и др.) на УОТ.

Последните системи са значително по-скъпи и се използват ограничено в някои европейски страни само по пилотни проекти. При условие, че цената на

електрическа енергия в момента за улично осветление в България е около 0.08 евро/kWh с ДДС, докато в много европейски страни тази цена е по-голяма от 0.2 евро/kWh, то приложението на подобни системи в България трябва да се подходи внимателно, като при срок на откупуване по-голям от 7(седем) години, няма икономическа логика за приложението им.

В районите, в които ще се реконструира съществуващо улично осветление, се предвижда да се подменят съществуващите електрически табла с нови, които ще имат следните функции:

- Включване на уличното осветление - групово или индивидуално, на всяко електрическо табло от Централния Диспечерски Център (ЦДЦ);
- Обратен сигнал от съответното табло, захранващо уличното осветление, към ЦДЦ показващ, че уличното осветление е включено;
- Групово или индивидуално изключване по табло от ЦДЦ на уличното осветление;
- Обратен сигнал към ЦДЦ от изключеното табло, показващ че уличното осветление е изключено;
- При нерегламентирано отваряне на вратичката на някои от електрическите табла, захранващи уличното осветление, се подава аварийен сигнал към ЦДЦ и към СОТ при наличие на сключен договор.
- При увеличаване на електрическия товар на дадено табло над номиналния се подава аварийен сигнал към ЦДЦ. Това може да означава нерегламентирано включване на електрически потребители (билбордове, търговски обекти, частни потребители и др.) или кабелни утечки. Аварийните групи за експлоатация трябва да предприемат незабавни мерки.
- При намаление на електрическия товар с повече от 2 % от номиналния се подава аварийен сигнал към ЦДЦ. Това означава, че има един или повече не светещи улични осветители. Аварийните групи за експлоатация трябва да приемат незабавни мерки.
- Всички електрически табла за улично осветление, захранващи градски магистрали, булеварди и улици, при които експлоатационната яркост е  $L_m \geq 1 \text{ cd/m}^2$ , имат възможност да превключват уличните осветители на полунощен режим ( $L_{av} = 50\% L_m$ , т.е. яркостта на уличното платно се намалява два пъти, като се запазват качествените показатели) в зависимост от транспортните потоци и метеорологичните условия.

Една от добрите европейски практики за икономия на електрическа енергия в уличното осветление е така нареченото „адаптивно улично осветление”.

Изборът за нормените количествени показатели на уличната осветителна уредба се извършва за най-тежките зрителни задачи в уличното движение, т.е. максимален интензитет на транспортните потоци и др. (максимално участие на пешеходци, велосипедисти). Обикновено в нощните часове интензитетите на транспортните потоци намаляват и това дава възможност да се редуцира (намали) експлоатационната яркост на уличната осветителна уредба  $L_m$  с около 50%, като се запазят равномерностите по яркост. Засега тази мярка се прилага за яркост  $L_m \geq 1 \text{ cd/m}^2$ .

Обикновено след 23h се превключва на полунощен режим до 05 h. При влошаване на метеорологичните условия (поледица, мъгла, сняг и др.) осветлението се включва на номинален режим ( 100 % ).

Съгласно проведеното енергийно обследване, най-масовите улични осветители на територията на град София са тези, комплектовани с НЛВН 70W.

Мощността на уличните осветители с НЛВН 70W е

$$P_{\text{осв}} = P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{пра}},$$

където  $P_{\text{осв}}$  – мощност на осветително тяло.[W];  $P_{\text{л}}$  – мощност на светодиодите.[W]

$\Delta P_{\text{пра}}$  – загуби на мощност в пусково регулиращата апаратура.[W];  $P_{\text{осв}} = P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{пра}} =$

$70+14=84W$ ;

След направените светлотехнически изчисления и избор на еквивалентен на 70W осветител се приема светодиоден уличен осветител с мощност  $P_{\text{освLED}} = 24W$ .

Ако се приеме, че в нощните часове (23h -05h) новият светодиоден осветител  $P_{\text{освLED}} = 24W$  ще се превключи на 50% от мощността си, т.е. на 12 W и намалението на мощността е 12W. Годишно този осветител ще работи в полунощен режим около 2000 h. Годишната икономия на електрическа енергия, следствие на превключването в полунощен режим, ще бъде:

$$\Delta E_r = \Delta P \times T_r \text{ пол} / 1000 = 12 \times 2000 / 1000 = 24 \text{ kWh/год}$$

Съществуващата цена на електрическата енергия за нощна тарифа е 0.11 лв/kWh. Годишната икономия на електрическа енергия в следствие на полунощно включване ще бъде:

$$C_{\text{егод}} = \Delta E_{\text{год}} \times C_{\text{ен}} = 24 \times 0.11 = 2.64 \text{ лв. / год}$$

Оскъпяването на уличното осветително тяло ( $\Delta K$ ) в следствие монтирането на устройство за полунощен режим, то за всеки осветител

$$\Delta K = \text{min } 80 \text{ лв.}$$

При това съотношение на разходите и ползите икономически е необосновано приложение за тази категория улични осветители на системи за полунощно включване. Друг недостатък в този случай е, че нивото на яркостта ще намалее под 0.2 cd/m<sup>2</sup>, което ще застраши безопасността на гражданите и тяхното имущество.

В следствие на внедряването на системата за управление на уличното осветление ще се получат следните икономически ефекти:

- За магистралите, булевардите и улиците с яркост  $L_m > 1 \text{ cd} / \text{m}^2$  ще намали годишната консумация на електрическа енергия с около 25%
- Навременното откриване на нерегламентирани включения (кражби на ел. енергия) и токови утечки ще реализира икономия на ел. енергия до 8 %.
- Навременното откриване и отстраняване на кабелни утечки ще намали енергийните разходи, както и аварияте в кабелите. Трябва да се отбележи, че кабелите на уличното осветление са физически и морално остарели и това е един съществен проблем в експлоатацията на уличното осветление в гр. София. Трябва да се направят икономически анализи и при значителни кабелни утечки има икономическа логика за тяхната подмяна, т.е. чрез икономия на електроенергия се възстановяват разходи за подмяната на кабелите. Разходите за консумативи и труд за възстановяване на кабелите трябва да се финансират целево от общината и да не се включват в таксата за експлоатационна поддръжка.

Възможността на системата за управление да открива клонове от уличното осветление, в които има кабелни утечки, е един съществен момент, който ще позволи да се промени философията в експлоатацията на уличното осветление, т.е. в момента се констатират случаите на кабелни аварии, а след въвеждане на системата ще се дава превантивна информация за предстоящи кабелни аварии.

- Мигновеното и точно регистриране на несветещи (изгорели лампи, прекъснати кабели и др.) ще оптимизира работата на аварийната група, т.е. ще се възстанови осветлението в рамките на 24 часа. Тази мярка ще получи силна гражданска подкрепа.

При натриевите лампи високо налягане 70W и живачните 125W, използвани в неекранираните улични осветители 60% от светлинния поток не се използва. В резултат на това се получава светлинно замърсяване, а използваният светлинен поток, който се разпределя върху уличното платно е под 40%. Затова замаяната на тези осветители с уличен осветител с LED модул 24W с оптимално светлоразпределение ще доведе до 100% използване на светлинния поток към улицата.

В Таблица 3.12 са дадени препоръчителните параметри на LED осветителите,



които ще заменят съществуващите натриеви и живачни лампи. Екранираните улични осветители с НВЛ 150W и 250W се заменят с LED модули с мощност и параметри, зависещи от конкретната инфраструктурна ситуация.

Таблица 3.12 Параметри на LED осветителите

	Екраниран осветител	LED модул	Неекраниран осветител	LED модул	Неекраниран осветител	LED модул	Екраниран осветител	Екраниран осветител
Мощност на лампата	70	27	70	21	125	27	150	250
Мощност на ПРА	14	3	14	3	15	3	18	25
Обща мощност	84	30	84	24	140	30	168	275
Сos ф	0.9	0.98	0.9	0.98	0.9	0.98	0.9	0.9
Срок на служба								
- при лампи/модули от марков производител	16 000	50 000	16 000	50 000	16 000	50 000	16 000	16 000
- при лампи/модули от немарков производител	5 000 – 8 000	-	5 000 - 8 000	-	5 000 – 8 000	-	5 000 – 8 000	5 000 – 8 000

### Предложение за класификация на улиците, обект на обследването

Въз основа на предоставените ни данни за трафика и съгласно с изискванията на стандарта БДС 13201 е разработена класификация на уличните осветителни уредби. Същата е съобразена с вида на участниците в уличното движение (моторизиран транспорт, пешеходци, велосипедисти), разрешената скорост по съответните улици, вида на непосредствената околност (светла, тъмна или нормална) и броя и гъстота на кръстовищата. Класификацията за районите, предмет на одита, е представена [1].

### ИЗВОДИ:

1. За пръв път в България в реални условия е използван европейския стандарт EN13201–5, чрез който се дефинират два показателя (SL и SE), имащи отношение към енергийната ефективност на уличните осветителни уредби.
2. Проведено е енергийно обследване на уличното осветление на гр. София и е предложено уличните осветителни уредби да бъдат оценени по енергийна ефективност в седем класа (A, B, C, D, E, F, G), според европейския стандарт EN13201–5;
3. В следствие на внедряването на системата за управление на уличното осветление ще се получат следните икономически ефекти:
  - За магистралите, булевардите и улиците с яркост  $L_m > 1 \text{ cd/m}^2$  ще намали годишната консумация на електрическа енергия с около 25%;
  - Навременното откриване на нерегламентирани включения (кражби на ел. енергия) и токови утечки ще реализира икономия на ел. енергия до 8 %;
  - Навременното откриване и отстраняване на кабелни утечки ще намали

енергийните разходи, както и аварията в кабелите.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

[1] Енергийно обследване на уличното осветление в Столична община изготвен за Проектна линия за финансиране и съфинансиране от Международен фонд Козлодуй (2010 – 2013) от Енкон Сървисис ООД, март 2012, София.

#### **За контакти:**

**Илия Кръстев Илиев**, доц., д-р, Русенски университет „Ан. Кънчев”, тел. 02/988 0052 [iliev@enconservices.com](mailto:iliev@enconservices.com)

**Веселка Иванова Камбурова**, доц., д-р, Русенски университет „Ан. Кънчев”, тел. 02/988 0052 [veselkakamburova@dir.bg](mailto:veselkakamburova@dir.bg);

**Ангел Костадинов Терзиев**, доц. д-р, Технически Университет – София, тел. 02/965 3443, [aterziev@tu-sofia.bg](mailto:aterziev@tu-sofia.bg);

**Докладът е рецензиран.**