

# ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНАТА ЕФЕКТИВНОСТ НА ВЪНШНО ОСВЕТЛЕНИЕ НА БАЗА ПРОЕКТИРАНЕ ПО МЕЗОПИЧНА ЯРКОСТ

Ангел Пачаманов, Димитър Павлов

**Резюме:** Дневна и нощна спектрална чувствителност на окото. Параметър S/P на светлинните източници. Модел на CIE за получаване на мезопичната спектрална чувствителност на окото. Изчисляване на мезопична яркост при известни фотопична и скотопична яркост. Преизчислени нормени яркостии по категории улици при известна корелирана цветна температура на източника.  
**Ключови думи:** мезопично зрение, осветление при ниски светлинни нива

## OPPORTUNITIES FOR ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF OUTDOOR LIGHTING DESIGN BASED IN BRIGHTNESS

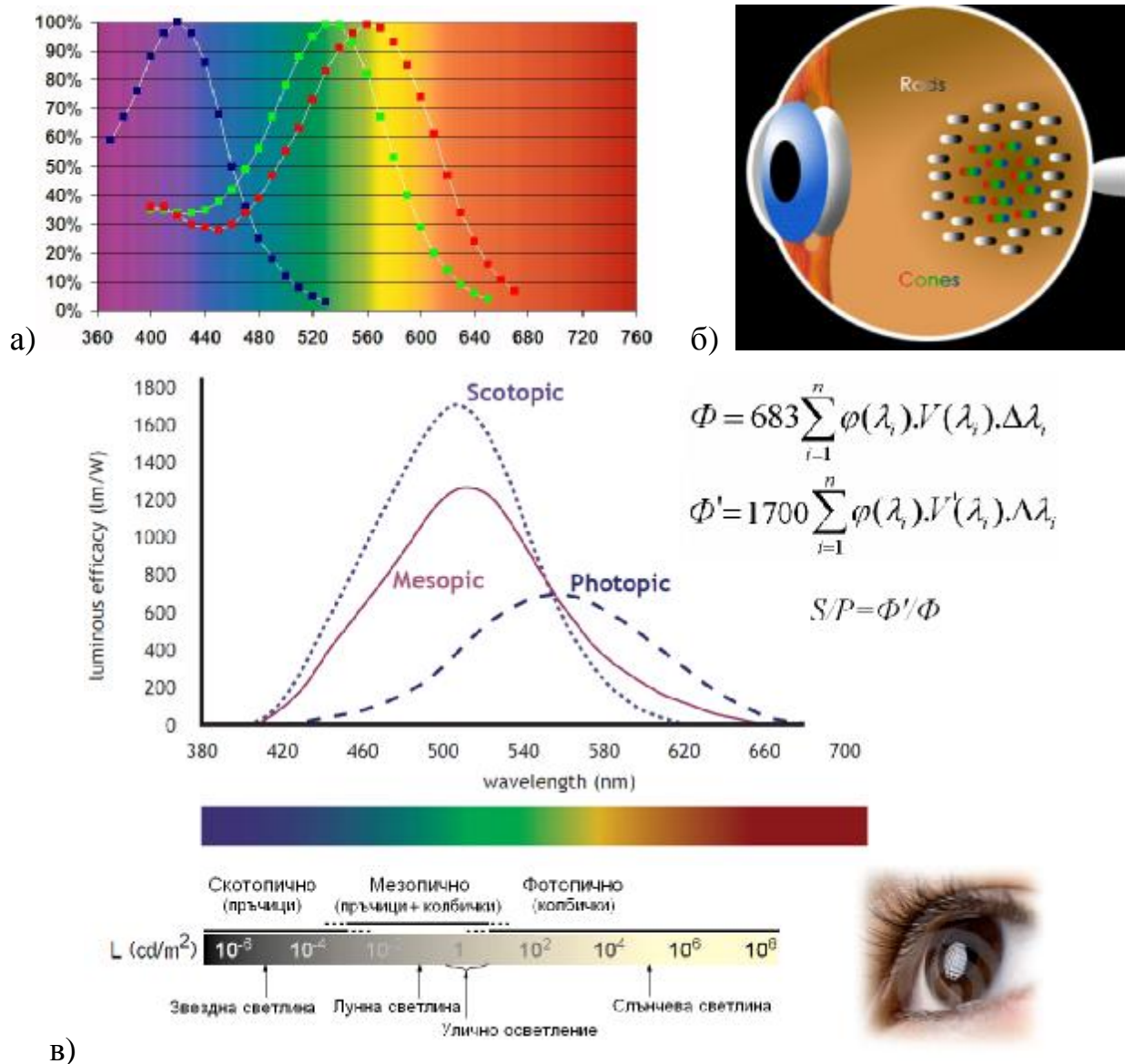
Angel Pachamanov, Dimitar Pavlov

**Abstract:** Day and night spectral sensitivity of the eye. Parameter S/P of the light sources. CIE model to obtain mezopic spectral sensitivity of the eye. Calculating mezopic luminance as function of photopic and skotopic luminance. Recalculated street lighting norms for some categories of streets with correlated color temperature of the sources.

**Keywords:** mesopic photometry, street lighting with low light levels

### 1. Въведение

Известно е, че нормите за улично осветление са разработени на база дневно зрение (Photopic), което означава, че ефективната стойност на фотопичния поток  $\Phi$ , причиняващ зрителното усещане, се определя по стандартизираната от Международната комисия по осветление (МКО) функция на спектрална чувствителност на човешко око  $V(\lambda)$  в диапазона 380-780 nm. Максималната стойност на  $V(\lambda)$  е при дължина на вълната 555 nm, съответстваща на жълто-зелени лъчи. Кривата  $V(\lambda)$  е получена при наблюдаване на ахроматична повърхност за яркостна адаптация на зрението при  $L_{ph} > 5 \text{ cd/m}^2$ . Тя се получава като резултат от три криви на спектрална чувствителност  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$ , съответстващи на нивото на възбуждане в диапазона 380-780 nm на три типа колбички в окото. Последните са фоторецептори от един и същи тип, но с различни пигменти, благодарение на което в центровете на мозъка се определя от коя част на спектъра е зрителното усещане (процес «разпознаване на цветове»).



Фиг.1. Функции на спектрална чувствителност  $r(\lambda)$ ,  $g(\lambda)$ ,  $b(\lambda)$  на трите типа колбички в окото (а); разположение на колбичките и пръчиците (б); фотопично, мезопично и скотопично зрение (в)

При тази постановка производната на фотопичния поток  $\Phi$  величина яркост  $L_{ph}$  не съответства на понятието *светлост* (зрително усещане), тъй като при еднаква яркост на сини и червени повърхности, зрителното усещане е по-силно при първите. Несъответствието между величината яркост  $L_{ph}$  [1] (основна величина за осветяваните повърхности, нормирана в стандарта за улично осветление като  $L$ ) и възприеманата *светлост* (brightness) се увеличава още повече в яркостния интервал от 5 до 0,005  $cd/m^2$ . В него фоторецепторите на двете системи на зрението «работят» едновременно: дневното (Photopic) – с колбички, основно разположени в централната част на окото; нощното (Scotopic) – с пръчици, равномерно разпределени по периферията на окото. Ефективната стойност на скотопичния поток  $\Phi'$  се оценява по кривата  $V'(\lambda)$ . Тя също е заснета при наблюдаване на ахроматична повърхност, но за яркостна адаптация на зрението под 0,005  $cd/m^2$ . Максималната ѝ стойност е при 507 nm,

т.е. нощното зрение е по-чувствително към “по-студени” цветове (синьо-зелени лъчи). Затова в мезопичната зона (Mesopic) неотчитането на влиянието на пръчиците в създаваното зрителното усещане, особено при ниските нива на яркост, води до преоразмеряване на осветителните уредби. Очевидно е, че спектралното разпределение на потока на светлинните източници влияе на възприеманата светлост на повърхностите (brightness) при ниски нива на адапционна яркост– светлостта е по-висока при изместено към синята част на спектъра излъчване на светлинния източник, тъй като делът на пръчиците в зрителното усещане е голям. Тази особеност на зрителния анализатор предопределя необходимостта от използване на различни светлинни източници по категории улици, тъй като за всеки тип улица се нормира различна средна яркост на платното  $L_{ph}$ . Затова за правилна оценка на реалните условия за виждане при ниски нива на яркостта се въвежда величината „мезопична яркост“  $L_{mes}$ . Публикация CIE 191:2010 [2] дава възможност уличните уредби да се преизчислят по мезопична яркост, при което прилагането на различни светлинни източници по категории улици може да доведе до по-висока енергийната ефективност на уличното осветление.

Определянето на чувствителността на око в яркостния интервал от 5 до  $0,005 \text{ cd/m}^2$ , когато двете системи (за дневно и нощно виждане) работят едновременно, е сложно поради различното пространствено разположение на двата вида рецептори и различната им чувствителност. Мезопичното зрение е функция на светлинното ниво, определящо съотношението между активността на фоторецепторите от двете системи, и адапционното поле, определящо степента на възбуждане на периферно разположените пръчици. При преминаване от фотопично към скотопично зрение чрез намаляване на яркостта на обекта цветовете постепенно избледняват поради ниската чувствителност на колбичките за тези нива на яркостта - около 2,5 пъти по-ниска от тази на пръчиците (1699/683).



Фиг.2. От жълта към бяла светлина. Кога е оправдана реконструкцията?

Сега населените места “жълтеят”, тъй като доскоро не се отчиташе, че използваните натриеви лампи са по-енергоефективни от останалите светлинни източници само при високи нива на яркостта, когато зрителното усещане е от фоторецепторите на дневното зрение с функция  $V(\lambda)$ . При ниски яркости

спектралната чувствителност на окото се измества към синята част на спектъра и източниците с бяла светлина са толкова по-ефективни, колкото кривата  $V_{mes}(\lambda)$  е по-близо до  $V'(\lambda)$ . Мярка за тази ефективност е параметърът S/P.

## 2. Същинска част

Преминаването от нормиране по фотопична яркост към нормиране по мезопична яркост позволява да се обърне по-сериозно внимание на цвета на светлината на използвания светлинен източник - при по-ниски нива на яркостта кривата на спектрална чувствителност на зрението се измества наляво. За определяне на кривата  $V_{mes}(\lambda)$  са разработени няколко модела, на базата на които Международната комисия по осветление препоръча CIE 191:2010 [2].

### 2.1. Изчисляване на S/P

Зрителното усещане при адаптация на окото на яркост над  $5 \text{ cd/m}^2$  е функция на фотопичния поток, определен по формулата:

$$(1) \quad \Phi = 683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(I_i) \cdot \Delta I \quad [\text{lm}],$$

където  $683 \text{ [lm/W]}$  е максималната спектрална светлинна ефективност на дневното зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната  $\lambda_m=555 \text{ nm}$  (лъчист поток с мощност  $1/683 \text{ W}$ , излъчен при  $\lambda_m=555 \text{ nm}$  съответства на светлинен поток  $\Phi=1 \text{ lm}$ );  $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I \text{ [W/nm]}$  – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток  $\Phi_e \text{ [W]}$  в диапазона  $380\text{-}780 \text{ nm}$ ;  $V(\lambda_i)$  – стойности на относителната спектрална чувствителност на дневното зрение;  $\Delta\lambda$  – стъпка за дискретизация на диапазона  $380\text{-}780 \text{ nm}$ .

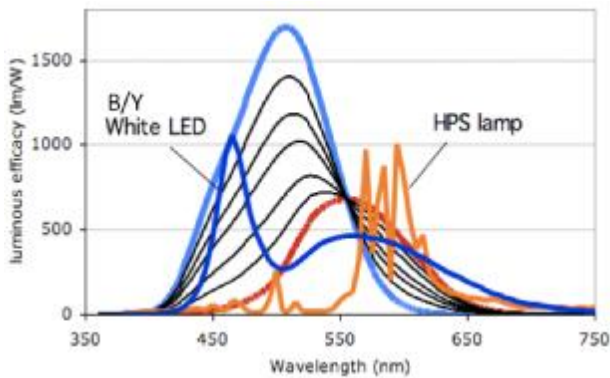
Зрителното усещане при адаптация на окото на яркост под  $0,005 \text{ cd/m}^2$  е функция на скотопичния поток, определен по формулата:

$$(2) \quad \Phi' = 1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(I_i) \cdot \Delta I ,$$

където  $1700 \text{ [lm/W]}$  е максималната спектрална светлинна ефективност на нощното човешко зрение, получена за монохроматично излъчване с дължина на вълната  $\lambda_m=507 \text{ nm}$  (лъчист поток с мощност  $1/1700 \text{ W}$ , излъчен при  $\lambda_m=507 \text{ nm}$  е равностоеен на светлинен поток  $\Phi'=1 \text{ lm}$ );  $j(I_i) = \Delta\Phi_e(I_i)/\Delta I \text{ [W/nm]}$  – стойности на спектралната плътност на лъчистия поток  $\Phi_e \text{ [w]}$  в диапазона  $380\text{-}780 \text{ nm}$ ;  $V'(\lambda_i)$  – стойности на относителната спектрална чувствителност на нощното зрение;  $\Delta\lambda$  – стъпка за дискретизация на диапазона  $380\text{-}780 \text{ nm}$ .

Очевидно е, че светлинни източници с различна спектрална плътност на лъчистия поток  $\varphi(\lambda)$  за двата вида зрение ще бъдат с различна ефективност, т.е. източници с по-висока цветна температура (по-бяла светлина) ще бъдат по-подходящи за ниски нива на яркост на пътно платно (обслужващи улици):

- Ø при нива на яркост над  $5 \text{ cd/m}^2$  един ват лъчист поток с дължина на вълната  $555 \text{ nm}$  се оценява на  $683 \text{ lm}$ ;
- Ø при нива на яркост под  $0,005 \text{ cd/m}^2$  един ват лъчист поток с дължина на вълната  $507 \text{ nm}$  се оценява на  $1700 \text{ lm}$ ;
- Ø за междинните нива ефективността на светлинния източник се оценява чрез т.н. Scotopic/Photopic отношение:



$$(3) \quad S/P = \frac{1700 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V'(I_i) \cdot \Delta I}{683 \sum_{i=1}^n j(I_i) \cdot V(I_i) \cdot \Delta I}$$

Отношението  $S/P$  на светлинния източник показва колко пъти той е по-ефективен при оценяването му по крива  $V'(\lambda)$  спрямо оценяването му по крива  $V(\lambda)$ . На показаната по-горе фигура белият светодиод (White LED) ще бъде по-ефективен при ниски нива на яркост, тъй като ефективният поток се получава по-голям от този при НЛВН (HPS) и обратно, за големи нива на яркост, ефективният поток на НЛВН е по-голям от този на белия светодиод.

Разгледаният класически начин за определяне на параметъра  $S/P$  е валиден за произволен спектрален състав на светлинния източник. За източници с непрекъснат спектър и известна корелирана цветна температура  $CCT(K)$  се предлага полиномна зависимост [4], която е по-удобна за ползване и дава добро приближение до точната стойност, получена по формула (3):

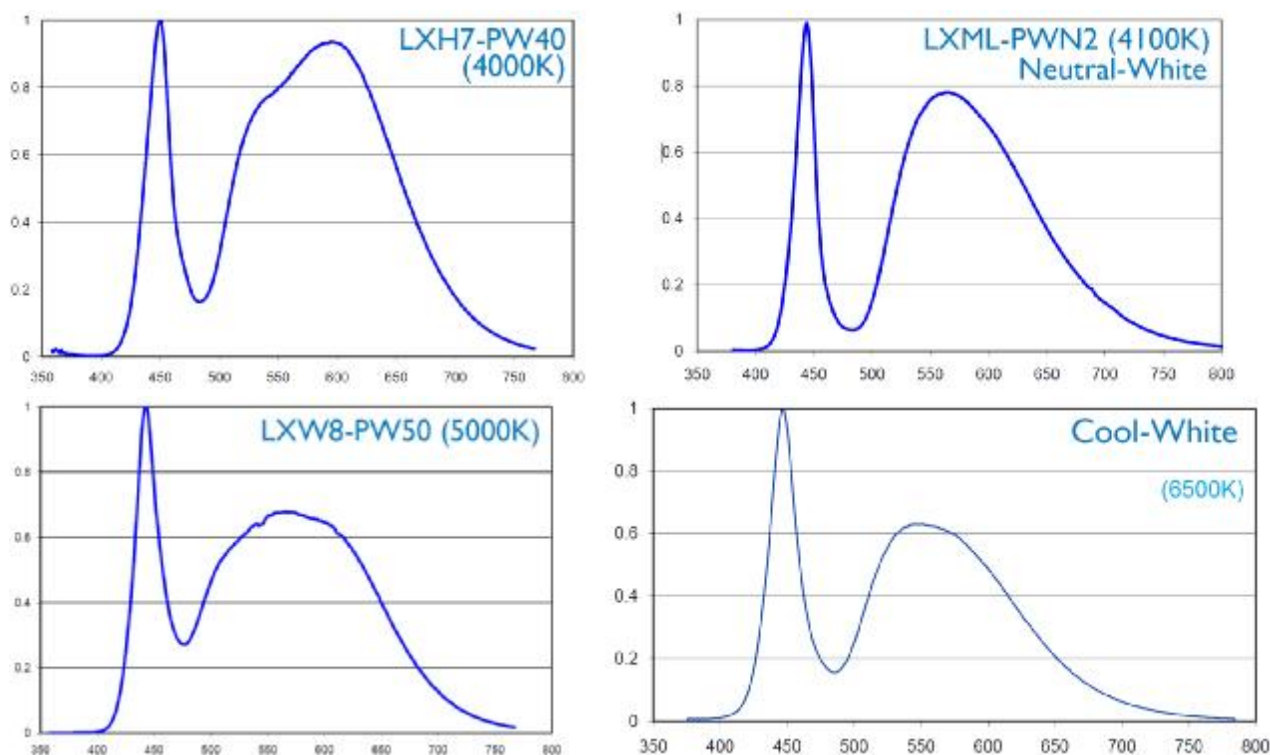
$$(4) \quad S/P = -7.10^{-8} \cdot (CCT(K))^2 + 0,001 \cdot (CCT(K)) - 1,3152.$$

Проверката е направена за четири типа светодиоди с бяла светлина със спектрални разпределения на потока, показани на фиг.3. В табл.1 са показани получените параметри  $S/P$  по формула (3) и изчислените по (4).

Табл.1  
Изчислен параметър  $S/P$  по (3) и (4) за 4 типа бели светодиоди

	LXH7-PW40	LXML-PWN2	LXW8-PW50	Cool-White
CCT (K)	4000	4100	5000	6500
S/P(3)	1,523	1,528	1,941	2,179
S/P(4)	1,565	1,608	1,935	2,227
$EPS = 100 \frac{S/P(4) - S/P(3)}{S/P(3)}, \%$	<b>+2,75</b>	<b>+5,24</b>	<b>-0,31</b>	<b>+2,20</b>





Фиг.3. Спектри на бели светодиоди с различна цветна температура CCT

Проверка на формула (4) за определяне на параметъра S/P бе направена и за основните газоразрядни лампи, използвани за външно осветление, като точните му стойности са взети от [5]:

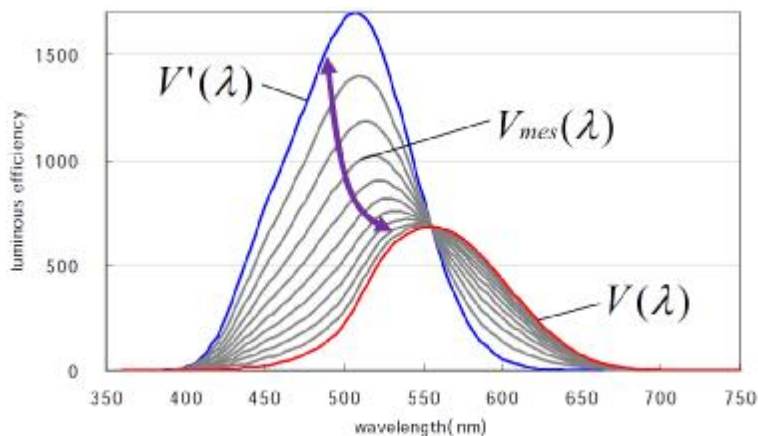
	$\Phi, \text{lm}$	$\Phi', \text{lm}$	S/P(3)	CCT(K)	S/P(4)	EPS,%
<b>Metal halide discharge lamps</b>						
OSRAM HQI TS 70W NDL	5431	9100	1,68	4200	1.65	<b>-1,82</b>
OSRAM HQI TS 70 W D	5030	9986	1,99	5600	2.09	<b>+5,03</b>
<b>High pressure sodium lamp</b>						
PHILIPS SON-T pro 70 W	7401	3967	0,54	2200	0.55	<b>+1,85</b>
PHILIPS SON-E 70 W	6685	3486	0,52	2200	0.55	<b>+5,77</b>
<b>Low pressure sodium lamp</b>						
PHILIPS SOX 35 W	4258	1126	0,26	1800	0,258	<b>-0,77</b>
<b>Izoenergetic (theoret.), lm/W</b>	683	1700	2,49			

## 2.2. Модел на МКО за получаване на $V_{mes}(\lambda)$

Международната комисия по осветление препоръчва спектралната чувствителност на мезопичното зрение  $V_{mes}(\lambda)$  да се определя като линейна функция на кривите за дневно и нощно зрение  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$  [2]:

$$(5) \quad V_{mes}(I) = [m \cdot V(I) + (1 - m) \cdot V'(I)] / M(m),$$

където  $M(m)$  е нормализираща функция, така че максималната стойност на  $V_{mes}(\lambda)$  да се получи 1, а  $0 \leq m < 1$ . За фотопичното зрение  $m=1$ , а за скотопичното  $m=0$ . На фиг.4 са показани стойностите на  $V_{mes}(\lambda)$  в абсолютни



единици на светлинната ефективност. При намаляване стойността на параметъра  $m$  максимумът на кривата расте и се измества наляво (синьо-зелени лъчи).

Фиг.4. Светлинна ефективност на фотопично, мезопично и скотопично зрение

### 2.3. Изчисляване на $L_{mes}$ по зададена $L_{ph}$ и ССТ

При дефинирано поле на адаптация на всяка стойност  $m$  отговаря конкретна мезопичната яркост  $L_{mes}$ , равна на:

$$(6) \quad L_{mes}(I) = \frac{683}{V_{mes}(I_0)} \int_{380nm}^{780nm} V_{mes}(I) \cdot le(I) \cdot dI,$$

където  $V_{mes}(\lambda_0)$  е стойността на функцията при  $\lambda=555$  nm, а  $le(\lambda)$  - спектралната плътност на яркостта [ $W \cdot sr^{-1} \cdot m^{-2} \cdot nm^{-1}$ ] за дефинираното поле на адаптация.

Тъй като в повечето случаи дефинирането на полето на адаптация не е лесно, мезопичната яркост  $L_{mes}$  и конкретната стойност на  $m$  се получават чрез итерационна формула, в която участват предварително известните фотопична и скотопична яркости, съответно  $L_{ph}$  и  $L_{sc}=(S/P) \cdot L_{ph}$ . Започва се от  $m_0=0,5$ :

$$(7) \quad L_{mes(n)} = \frac{m_{(n-1)} \cdot L_{ph} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot L_{sc} \cdot V'(I_0)}{m_{(n-1)} + (1 - m_{(n-1)}) \cdot V'(I_0)},$$

$$(8) \quad m_{(n)} = a + b \cdot \log_{10}(L_{mes(n)}),$$

където  $V'(\lambda_0)=683/1699=0,402$  е стойността на  $V'(\lambda)$  при 555 nm, а двете константи са:  $a=0,767$  и  $b=0,3334$  [2].

#### Пример за прилагане на методиката:

ДАДЕНО:  $L_{PH}=0,3$  cd/m<sup>2</sup>; ССТ=6500 К

ИЗЧИСЛЕНО ПО ФОРМУЛА (4):  $S/P=(-7 \cdot 10^{-8}) \cdot 6500^2 + 0,001 \cdot 6500 - 1,3152=2,23$

$L_{SC}=(S/P) \cdot L_{PH}=2,23 \cdot 0,3=0,668$ ;  $V'(\lambda_0)=683/1699=0,402$

ИТЕРАЦИИ: започва се от  $m(0)=0,5$ ;

$L_{mes(n)}=((m_{n-1} \cdot L_{ph} + (1 - m_{n-1}) \cdot L_{sc} \cdot 0,402)) / (m_{n-1} + (1 - m_{n-1}) \cdot 0,402) = 0,405573$

$m_n=0,767+0,3334 \cdot \log(L_{mes(n)})=0,63633$

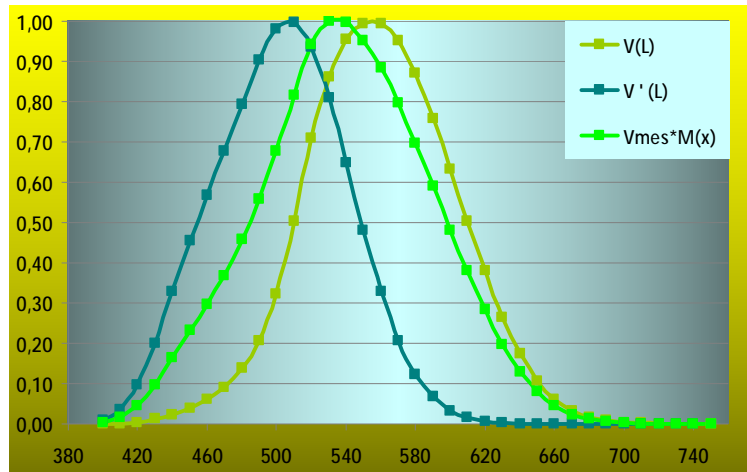
Изчислена чрез итерации яркост  $L_{mes}=0,3719$

Изчислен чрез итерации коефициент  $m=0,6238$

$V_{mes}(555) = [0,6238 \cdot V(555) + (1 - 0,6238) \cdot V'(555)] / M(m) = 0,917$

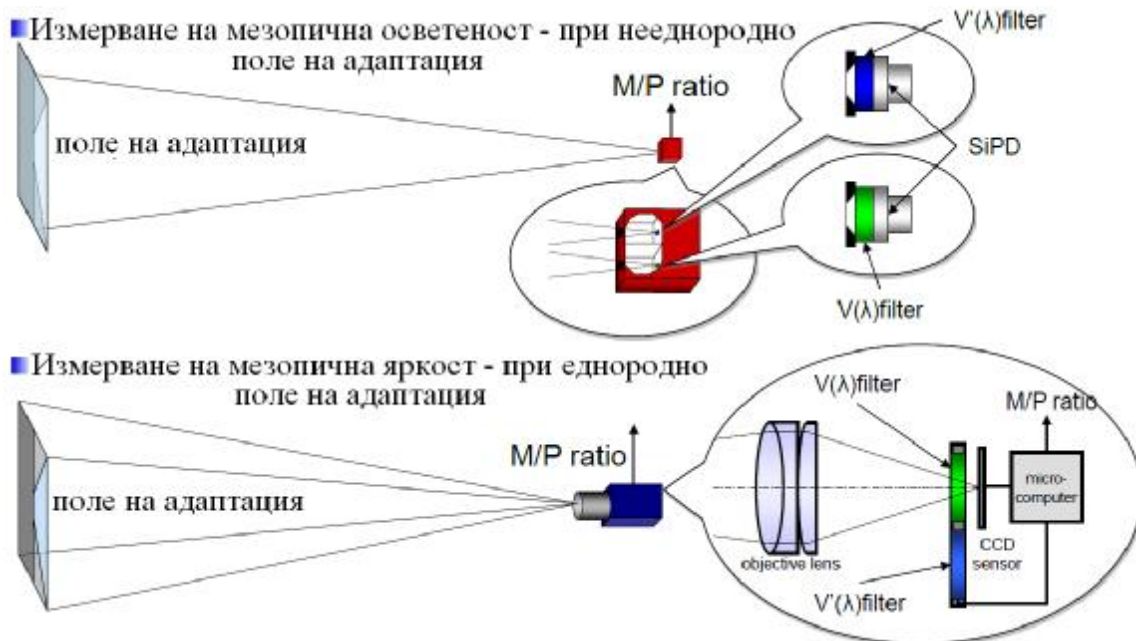
### Итерации на база $L_{ph}$ и $L_{sc}$

$m_i$	$m_{i+1}$	$L_{mes(i)}$
0,5000000	0,6363300	0,405573
0,6363300	0,6225631	0,368787
0,6225631	0,6238775	0,372150
0,6238775	0,6237513	0,371826
0,6237513	0,6237634	0,371857
0,6237634	0,6237623	0,371854
0,6237623	0,6237624	0,371855
0,6237624	0,6237624	0,371855
0,6237624	0,6237624	0,371855



$$S_{max} = 683 / V_{mes}(555) = 683 / 0,917 = 745 \text{ lm/W}$$

Горният алгоритъм е в основата на разработени уреди [3] за измерване на мезопична осветеност/яркост с помощта на параметъра  $M/P$  (отношение между мезопична и фотопична осветеност/яркост) - чрез две последователни измервания на адаптационното поле с филтри, осигуряващи спектрална чувствителност  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$  на използвания фотоприемник (силициев фотоелемент). Авторите препоръчват при адаптационно поле, състоящо се от площи с различни яркости да се ползва уред за измерване на осветеност  $E_{mes} = (M/P) \cdot E_{PH}$  (фиг.4а), а при площи с близки яркости – яркомер с оптична система, при което  $L_{mes} = (M/P) \cdot L_{PH}$  (фиг.4б).



Фиг.4. Уреди на Минолта [3]: а) мезопичен луксметър; б) мезопичен яркомер

## 2.4. Помощни материали за оценяване на ефекта от проектиране по мезопична яркост

На базата на изложеното дотук в табл.5 са представени стойности на редуцираната фотопична яркост за улици от светлотехнически класове ME6-ME1. Потенциалът за икономия на енергия, при използване на различни източници на бяла светлина, е различен и зависи от типа улица.



Табл. 5

Редуцирани фотопични яркости при проектиране по мезопични яркости и икономия на енергия за различни ССТ на светлинния източник и типове улици

	<b>Lph, cd/m2</b>	<b>Tc, K</b>	<b>S/P</b>	<b>Lmes</b>	<b>Lph-red</b>	<b>% ик.ен.</b>	<b>Smes-max</b>
<b>ME6</b>	0,30	2350	0,65	0,28	0,32	-7,9%	768
	0,30	2800	0,94	0,30	0,30	-1,4%	762
	0,30	3500	1,33	0,32	0,28	6,9%	756
	0,30	4000	1,56	0,33	0,27	11,6%	753
	0,30	4300	1,69	0,34	0,26	14,0%	751
	0,30	5000	1,93	0,36	0,24	18,6%	748
	0,30	6500	2,23	0,37	0,23	24,0%	745
<b>ME5</b>	0,50	2350	0,65	0,47	0,53	-6,1%	732
	0,50	2800	0,94	0,49	0,51	-1,1%	730
	0,50	3500	1,33	0,53	0,47	5,3%	727
	0,50	4000	1,56	0,55	0,45	9,0%	726
	0,50	4300	1,69	0,55	0,45	10,9%	725
	0,50	5000	1,93	0,57	0,43	14,5%	724
	0,50	6500	2,23	0,59	0,41	18,7%	723
<b>ME4</b>	0,75	2350	0,65	0,71	0,79	-4,8%	716
	0,75	2800	0,94	0,74	0,76	-0,9%	714
	0,75	3500	1,33	0,78	0,72	4,2%	712
	0,75	4000	1,56	0,80	0,70	7,1%	711
	0,75	4300	1,69	0,81	0,69	8,6%	711
	0,75	5000	1,93	0,84	0,66	11,5%	710
	0,75	6500	2,23	0,86	0,64	14,8%	709
<b>ME3</b>	1,00	2350	0,65	0,96	1,04	-3,9%	705
	1,00	2800	0,94	0,99	1,01	-0,7%	704
	1,00	3500	1,33	1,03	0,97	3,5%	702
	1,00	4000	1,56	1,06	0,94	5,9%	701
	1,00	4300	1,69	1,07	0,93	7,1%	701
	1,00	5000	1,93	1,10	0,90	9,5%	700
	1,00	6500	2,23	1,12	0,88	12,3%	699
<b>ME2</b>	1,50	2350	0,65	1,46	1,54	-2,8%	693
	1,50	2800	0,94	1,49	1,51	-0,5%	693
	1,50	3500	1,33	1,54	1,46	2,5%	693
	1,50	4000	1,56	1,56	1,44	4,2%	693
	1,50	4300	1,69	1,58	1,42	5,2%	693
	1,50	5000	1,93	1,60	1,40	6,9%	693
	1,50	6500	2,23	1,63	1,37	8,9%	692
<b>ME1</b>	2,00	2350	0,65	1,96	2,04	-2,1%	691
	2,00	2800	0,94	1,99	2,01	-0,4%	691
	2,00	3500	1,33	2,04	1,96	1,9%	690
	2,00	4000	1,56	2,06	1,94	3,2%	690
	2,00	4300	1,69	2,08	1,92	3,8%	690
	2,00	5000	1,93	2,10	1,90	5,1%	690
	2,00	6500	2,23	2,13	1,87	6,6%	690

Реконструкцията на осветителната уредба би била изгодна ако вложените средства се изкупуват до 5 години с цената на спестената енергия. При пониски нива на яркост възвръщането на вложените средства става по-бързо.

## 2.5. Изчисляване на консумираната енергия за външно осветление

Консумираната електроенергия за външно осветление се определя от инсталираната мощност на уредбите и годишната продължителност на работа на осветлението. Последната се определя от нивата на естествената осветеност, при които се включва (вечер) и изключва (сутрин) уличното (табл.6) и районното осветление (табл.7).

Табл. 6

Прагове за управление на външно осветление и годишна продължителност на работа на осветлението  $T_A$  при улици, нормирани по яркост (БДС EN 13201-2)

Категория на улицата по БДС EN 13201-2	$L$ , $cd/m^2$	$E_{XOP}$ , $lx$	$T_A$ , часове
ME1 (Скоростни градски магистрали)	2,00	80	4260
ME2 (Градски магистрали)	1,50	60	4240
ME3 (Главни улици)	1,00	40	4220
ME4 (Районни артерии)	0,75	30	4200
ME5 (Събирателни улици)	0,50	20	4150
ME6 (Квартални улици)	0,30	10	4100

Табл. 7

Прагове за управление на външно осветление и годишна работа на осветлението  $T_A$  при улици, нормирани по осветеност (БДС EN 13201-2)

Категория на улицата по БДС EN 13201-2	$E_{XOP\_CP}$ , $lx$	$E_{XOP\_МИН}$ , $lx$	$T_A$ , часове
S1 (Алеи за велосипедисти, аварийни ленти)	15	5	4140
S2 (Места за паркиране)	10	3	4100
S3 (Тротоари)	7,5	1,5	4070
S4 (Алеи за пешеходци, квартални улици)	5	1	4015
S5 (Училищни дворове и зелени площи)	3	0,6	3960
S6 (Улици в малки населени места)	2	0,6	3930

За повечето населени места от 10 до 50 х. жители определящи за разходите за външно осветление са три типа улици – главни, събирателни и обслужващи. Осветление на тротоари и пешеходни зони към главните и събирателните улици обикновено се причислява към класове S3-S4, а това към обслужващите улици (алеи и зелените площи в жилищни райони и паркове) - към класове S4-S5.

В табл. 8 са показани резултати от проучване на улично осветление на среден по големина град в България [7], изцяло изпълнено с осветители с натриеви лампи високо налягане. Общата дължина на улиците е 114,79 km при обща инсталирана мощност 263,50 kW. Годишна консумация на енергия, изчислена на база продължителност на работа на осветлението по типове уредби (табл.6-7) е 1096340 kWh. Изчисленото процентно разпределение на мощността по категории улици може да послужи като база за цялостна оценка на ефективността от прилагане на проектиране по мезопична яркост.

Табл. 8

Резултати от проучване на съществуващо външно осветление в околност на град,  
изпълнено с осветители с натриеви лампи високо налягане

Тип улица	Клас по [1]	Ринст. W/1000m	Прод. Та, h	% по дълж.	% по Ринст.	% по Wконс.
1. Градски артерии: 1 cd/m <sup>2</sup>	ME3	7005	4220	18%	56%	57%
2. Събирателни улици: 0,5 cd/m <sup>2</sup>	ME5	2096	4150	14%	13%	13%
3. Обслужващи улици: 0,3 cd/m <sup>2</sup>	ME6	1899	4100	18%	15%	14%
4. Тротоари и пеш. зони: 7,5-5 lx	S3-S4	399	4050	32%	6%	5%
5. Алеи и зелени площи: 5-3 lx	S4-S5	1393	4000	18%	11%	10%

### 3. Заключение

Разгледаните въпроси са основа за провеждане на анализи за състоянието на външното осветление в населените места на Р. България. На тяхна база е възможно съществено намаляване на инсталираните мощности, особено за събирателните и обслужващите улици, които са преобладаващи в средните и малките населени места. Прилагането на принципа „проектиране по мезопична яркост/осветеност“ ще намали разходите на общините за услугата „публично осветление“, като същевременно ще се подобри и нощният облик на населеното място – бялата светлина осигурява по-добро възпроизвеждане на специфичните характеристики на обектите в градската среда.

### Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г., научен проект в помощ на докторант «Мезопична фотометрия и енергийна ефективност в уличното осветление», договор № 121ПД0037-01/26.04.2012.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] БДС EN 13201-2:2003. Улично осветление. Част 2: Технически изисквания
- [2] CIE 191:2010 “Recommended System for Mesopic Photometry Based on Visual Performance”
- [3] Tatsukiyo Uchida, Yuqin Zong, Cameron Miller, and Yoshi Ohno. A Practical Photometer for CIE Performance Based Mesopic Photometry System. CORM 2011: May 4-6, 2011, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD
- [4] City of San José Public Streetlight Design Guide: Public Streetlight Replacement Guide, Public Streetlight Installation Guide, Adaptive Street Lighting Design Guide. February 2011
- [5] Pípa Marek, Alfonz Smola. Comparative measurements of photopic and scotopic luminous fluxes of different light sources, 11th European Lighting Conference “Lux Europa’2009”, 9 - 11 September 2009, Istanbul, Proceedings, pp.1079-1081
- [6] <http://www.philipslumileds.com>. Бели светлодиоди
- [7] Павлов Д., А. Пачаманов. Типови решения и оценка на енергийната ефективност на улично осветление, проектирано по мезопична яркост. IV Научна конференция ЕФ 2012, 28.09.2012-01.10.2012, гр. Созопол

### Автори:

Ангел Саракинов Пачаманов, д-р инж. – професор в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” ([pach@tu-sofia.bg](mailto:pach@tu-sofia.bg)), р-л НИИКЛ “Осветителна техника” ([www.onilot.com](http://www.onilot.com))

Димитър Тодоров Павлов, маг. инж. – редовен докторант в катедра “Електро-снабдяване, електрообзавеждане и електротранспорт” ([dpavlov@tu-sofia.bg](mailto:dpavlov@tu-sofia.bg)), отг. изпитвател в НИИКЛ “Осветителна техника” ([www.onilot.com](http://www.onilot.com))