

Показатељи успешности ограничења физиолошког бљештања у јавном осветљењу

Кратак садржај

На добру видљивост значајно утиче физиолошко бљештање, које треба свести у границе прихватљивог у целокупном јавном осветљењу. Појава бљештања је обично непријатнија од недовољног нивоа осветљености (сјајности). Из тог разлога елиминисање бљештања представља један од најважнијих фактора квалитета инсталације осветљења. У овом раду дат је преглед важећих препорука које се односе на показатеље успешности ограничења ове врсте бљештања како на путевима и улицама за моторни или мешовити саобраћај, ризичним подручјима тако и у областима намењеним пешацима и спорим возилима

Увод

Бљештање настаје када се у видном пољу посматрача појави извор светлости значајно веће сјајности од просечне вредности сјајности видног поља на које је око било адаптирано. Бљештање може да буде директно или рефлектовано. Директно бљештање изазива стварни светлосни извор велике сјајности, док рефлектовано бљештање узрокује лик таквог извора, настао као последица усмерене рефлексије од неке сјајне површине која се налази у видном пољу. Приликом пројектовања јавног осветљења у прорачунима се води рачуна само о директном бљештању. Постоје две врсте директног бљештања: физиолошко и психолошко. Физиолошко бљештање настаје у случајевима када у око продре велики светлосни флукс, који умањује видне способности ока, пре свега контрастну осетљивост и оштрину вида. Психолошко бљештање изазива осећај непријатности, нервозе, замор и смањење концентрације. Психолошко бљештање зависи од величине, сјајности и броја извора бљештања, њихове локације у видном пољу и просечне сјајности видног поља. Не постоји прихватљива метода за квантитативну оцену психолошког бљештања у јавном осветљењу, а бројне провере на изведеним инсталацијама јавног осветљења показале су да системи осветљења који задовољавају са аспекта физиолошког бљештања, по правилу задовољавају и са аспекта ограничења психолошког бљештања. Због тога је у важећим EN и CIE препорукама психолошко бљештање изостављено са листе фактора квалитета осветљења путева и улица. У јавном осветљењу је негативно деловање физиолошког бљештања значајно, и мора да се врши провера његове сношљивости. У том циљу се најчешће користи метода CIE, којом се вреднује смањење видљивости које проузрокује физиолошко бљештање израчунавањем тзв. релативног пораста прага .

Релативни пораст прага TI (threshold increment)

Као показатељ успешности ограничења физиолошког бљештања у инсталацијама осветљења на путевима и улицама за моторни или мешовити саобраћај користи се релативни пораст прага.

За нивое сјајности између 0.05 и 5 cd/m² (нивои сјајности свих саобраћајница припадају наведеном опсегу), важи емпиријски добијена релација:

$$TI = 65 \frac{L_v}{L_{sr}^{0.8}} (\%), \quad (1)$$

у којој су:

- L_{sr} средња сјајност коловоза, и
- L_v еквивалентна заслепљујућа сјајност.

Еквивалентна заслепљујућа сјајност је сразмерна са степеном заслепљености која настаје када се у видном пољу посматрача (возача) појави извор бљештања. Светлосни зраци који стижу од извора бљештања до сочива ока возача распршују се и прекривају мрежњачу ока у виду вела (копрене), услед чега око више не може довољно добро да уочава контрасте у свом видном пољу. Еквивалентна заслепљујућа сјајност може да се израчуна применом емпиријске формуле:

$$L_v (\text{cd} / \text{m}^2) = \frac{k}{65} \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{\theta_i^2}, \quad (2)$$

у којој су:

E_i – компонента осветљености на оку у правцу гледања, проузрокована од i -тог извора бљештања (у луксима),

θ_i – угао између правца гледања и правца који одређују око и i -ти извор бљештања (у степенима),

n – укупан број извора бљештања у видном пољу возача, и

k – фактор старости возача.

Фактор старости возача износи $k=650$ за возача који има 23 године, а за возаче осталих старости може да се израчуна помоћу формуле:

$$k = 641 \left[1 + \left(\frac{A}{66.4} \right)^4 \right], \quad (3)$$

у којој је са A означена старост возача (у годинама).

Приликом израчунавања еквивалентне заслепљујуће сјајности најчешће се узима $k=650$.

Приликом израчунавања параметра L_v , потребно је да су испуњени следећи услови:

- очи возача су на висини од 1.5 m,
- правац гледања припада вертикалној равни паралелној са осом пута и образује угао од 1° са хоризонталном равни, при чему се налази испод ње, и
- узимају се у обзир само оне светиљке у видном пољу возача за које је $\theta_i \leq 21^\circ$ (остале се не виде кроз ветробран возила).

Израчунавање релативног пораста прага треба да се врши за најнеповољнији случај, односно за случај највећег физиолошког бљештања у току експлоатације посматраног уређаја за осветљење. Из наведене формуле за израчунавање параметра T_I произлази да је то случај нове инсталације, односно случај чистих светиљки и нових извора светлости.

Контрола бљештања на путевима и улицама за моторни и мешовити саобраћај

Табела 1 омогућава да се, по сврставању посматраног пута (улице за моторни или мешовити саобраћај) у неку од светлотехничких класа М1 – М6, одреде оне граничне вредности релевантних светлотехничких параметара које обезбеђују добру видљивост и задовољавајући видни комфор возача.

Табела 1. Зависност фотометријских захтева за саобраћајнице за моторни или мешовити саобраћај од светлотехничке класе према препоруци СIE 115-2010 и Европском стандарду 13201-2-2015

Светлотехничка класа	Површина коловоза				
	Сува				Влажна
	L_{sr} (cd/m^2)	U_0	U_1	TI (%)	U_0
M1	2.00	0.40	0.70	10	0.15
M2	1.50	0.40	0.70	10	0.15
M3	1.00	0.40	0.60	15	0.15
M4	0.75	0.40	0.60	15	0.15
M5	0.50	0.35	0.40	15	0.15
M6	0.30	0.35	0.40	20	0.15

За сваку светлотехничку класу дате су минималне захтеване вредности нивоа, односно средње сјајности коловоза (L_{sr}), опште и подужне равномерности сјајности коловоза (редом U_0 и U_1), као и максимална дозвољена вредност релативног пораста прага (TI). При томе, под средњом сјајношћу коловоза подразумева се њена погонска вредност (добijена множењем почетне вредности и фактора одржавања). Релативни пораст прага се односи на најкритичнији случај, односно случај који се има при почетним условима (тада је вредност параметра TI максимална). Релативни пораст прага је показатељ успешности ограничења физиолошког бљештања, и уколико је његова израчуната вредност на посматраној саобраћајници мања од максимално дозвољене вредности за захтевану светлотехничку класу, сматра се да је физиолошко бљештање у границама прихватљивог.

Контрола бљештања на путевима и улицама намењеним пешачком саобраћају и у ризичним подручјима

Физиолошко бљештање коме су изложени пешаци у осветљеној пешачкој улици није критично као оно коме су изложени возачи моторних возила у улици за моторни или мешовити саобраћај, зато што су брзине кретања пешака много мање и што је време реаговања знатно дуже – око има много више времена да се адаптира на промене сјајности, па се вероватноћа да пешаци буду заслепљени смањује. Не постоји међународно прихваћен критеријум за контролу сношљивости физиолошког бљештања у пешачком саобраћају.

У анексу D препоруке CIE 115-2010 наведено је да, уколико су од важности визуелни задаци који се обично разматрају код осветљења путева и улица за моторни саобраћај и код ризичних подручја, релативни пораст прага може да се користи као параметар за проверу ограничења бљештања и на улицама намењеним пешачком саобраћају и спорим возилима. Његове максималне вредности су приказане у табели 2.

Табела 2. Максималне вредности релативног пораста прага на саобраћајницама намењеним пешацима и спорим возилима

Светлотехничка класа	Релативни пораст прага TI[%]
P1	20
P2	25
P3	25
P4	30
P5	30
P6	35

У областима намењеним пешацима и спорим возилима, према истој препоруци, алтернативно може да се користи метода за проверу ограничења бљештања која је заснована на максималним дозвољеним вредностима светлосног интензитета по klm у зависности од упадног угла светлости (угао између смера упада светлости и вертикалне осе светиљке усмерене наниже). Ове вредности су дате у табели 3 за класе светлосног интензитета G1 до G6. Овај алтернативни приступ може да се користи и за проверу ограничења бљештања у ризичним подручјима, у којима је удаљеност посматрача од поља вредновања мала и где постоји велики број позиција посматрача и оријентација светиљки.

Табела 3. Максимални светлосни интензитети за класе светлосног интензитета G1 до G6 (према CIE 115-2010)

Класе светлосног интензитета	Максимални светлосни интензитет у cd/klm			
	70° и више	80° и више	90° и више	Други захтеви
G1	---	200	50	Нема
G2	---	150	30	Нема
G3	---	100	20	Нема
G4	500	100	10	Светлосни интензитети изнад 95° треба да буду мањи од 1 cd/klm
G5	350	100	10	
G6	350	100	< 1	Светлосни интензитети изнад 90° треба да буду мањи од 1 cd/klm

Напомена 1. Вредности светлосног интензитета дате у табели односе се на било који смер (било коју С раван) за дати угао.

Напомена 2. Код светилки са изворима са великим вредностима светлосног флукса може бити неопходно ограничавање апсолутних вредности светлосног интензитета.

У претходном Европском стандарду 13201-2-2003, који више није важећи, такође су биле дефинисане G класе као мера ограничења бљештања. Иако овај стандард више није важећи, у раду је представљена и ова класификације зато што се у пракси и даље сусреће захтев за применом ових класа, а постоји разлика између G дефинисаних препоруком Међународне комисије за осветљење и претходног Европског стандарда. У Европском стандарду из 2003. године дате су максимално дозвољене вредности светлосног интензитета по klm у зависности од тачно дефинисаног упадног угла светлости (угао између смера упада светлости и вертикалне осе светилке усмерене наниже), док су у препоруци CIE максимално дозвољене вредности светлосног интензитета по klm дате за опсег упадних углова светлости. Ове вредности (према 13201-2-2003) су дате у табели 4 за класе светлосног интензитета G1 до G6.

Табела 4. Максимални светлосни интензитети за класе светлосног интензитета G1 до G6 према 13201-2-2003

Класе светлосног интензитета	Максимални светлосни интензитет у cd/klm			
	70°	80°	90°	Други захтеви
G1	---	200	50	Нема
G2	---	150	30	Нема
G3	---	100	20	Нема
G4	500	100	10	Светлосни интензитети изнад 95° треба да буду мањи од 1 cd/klm
G5	350	100	10	
G6	350	100	< 1	Светлосни интензитети изнад 90° треба да буду мањи од 1 cd/klm

Треба напоменути да G класе, на начин како су дефинисане у важећој препоруци Међународне комисије за осветљење, као ни оне које су дефинисане у претходном Европском стандарду, не могу да се примене на светилке са LED изворима. Нормиране табеле светлосног интензитета, у којима је светлосни интензитет дат у cd/klm, садрже вредности светлосног интензитета које одговарају флуксу извора од 1000 lm, што је, код конвенционалних извора (као што су натријумови извори високог притиска, метал-

халогени извори) омогућавало употребу исте табеле и у случају промене извора светлости, под условом да његов облик и димензије остану исти. Међутим, оваква релативна фотометрија није применљива на светиљке са LED изворима из два разлога:

- није могуће извршити мерење само LED извора у сфери као код конвенционалних извора,
- међународним препорукама није јасно дефинисано како се мери улазни флукс. На пример, поједини произвођачи LED извора дају податке о улазном флуксу извора на температури споја 25° , док други произвођачи дају податке о флуксу при температури споја 85° .

Европски стандард 13201-2-2015 у анексу А, који је информативног а не нормативног типа, такође приказује алтернативне методе за ограничење бљештања и контролу ометајуће светлости. Алтернативне методе за ограничење бљештања могу да се користе у ситуацијама када није могуће израчунати релативни пораст прага.

Овај стандард дефинише методу за проверу ограничења бљештања која је заснована на максималним дозвољеним вредностима светлосног интензитета по klm излазног флукса у опсегу углова дефинисаним упадним углом светлости (угао између смера упада светлости и вертикалне осе светиљке усмерене наниже) и хоризонтале. Ове вредности су дате у табели 5 за класе светлосног интензитета G1* до G6*.

Табела 5. Максимални светлосни интензитети за класе светлосног интензитета G1* до G6*

Класе светлосног интензитета	Максимални светлосни интензитет у cd/klm излазног флекса светиљке (у било ком смеру испод хоризонталне равни)			
	70° и више ^б	80° и више ^б	90° и више ^б	Други захтеви
G1*	---	200	50	Нема
G2*	---	150	30	Нема
G3*	---	100	20	Нема
G4*	500	100	10	Светлосни интензитети изнад 95° треба да буду 0 ^в
G5*	350	100	10	
G6*	350	100	0 ^в	Светлосни интензитети изнад 90° треба да буду 0 ^в

^а Вредности светлосног интензитета дате у табели односе се на било који смер (било коју С раван) за дати угао у односу на вертикалну осу светиљке усмерене наниже, при чему треба узети у обзир и угао монтаже светиљке.

^б било који смер (било коју С раван) за дати угао у односу на вертикалну осу светиљке усмерене наниже, при чему треба узети у обзир и угао монтаже светиљке.

^B Светлосни интензитети мањи од 1 cd/klm могу да се занемаре, тј, да се сматра да су једнаки 0

Напомена 1. Код светиљки са изворима са великим вредностима светлосног флукса може бити неопходно ограничавање апсолутних вредности светлосног интензитета.

Напомена 2. Класе G1*, G2* и G3* одговарају полузасењеним и засењеним светиљкама, док светиљке које задовољавају захтеве класа G4*, G5* и G6* спадају у потпуно засењене светиљке.

Основна разлика између класа светлосног интензитета дефинисаних препоруком CIE 115-2010 и Европским стандардом EN 13201-2-2015 је у максималним дозвољеним вредностима светлосног интензитета, које су нормиране у односу на различите величине. У CIE препоруци (као и у претходном стандарду EN 13201-2-2003) максимално дозвољене вредности светлосног интензитета дате по klm улазног флукса светлосног извора, док су у важећем Европском стандарду дате по klm излазног флукса светиљке. С обзиром на претходно дате напомене у вези података о флуксу светлосног извора, код светиљки са LED изворима не треба примењивати G класе дефинисане препоруком CIE, без обзира на чињеницу да је ова препорука важећа. У наредној ревизији препоруке CIE 115 требало би да буде исправљена и дефиниција класа светлосног интензитета.

Европски стандард, поред класа светлосног интензитета, даје могућност примене и класа индекса бљештања, као још једну могућу меру за ограничење бљештања. Примена ових класа је углавном предвиђена као мера за ограничење физиолошког бљештања на пешачким и бициклическим стазама. У анексу А2 дефинисано је 7 класа индекса бљештања D0, D1, D2, D3, D4, D5 и D6. Примена виших класа D4, D5 и D6 обично даје добре резултате у ограничењу бљештања. Индекс бљештања се рачуна помоћу релације

$$\frac{I}{\sqrt{A}}$$

У којој је

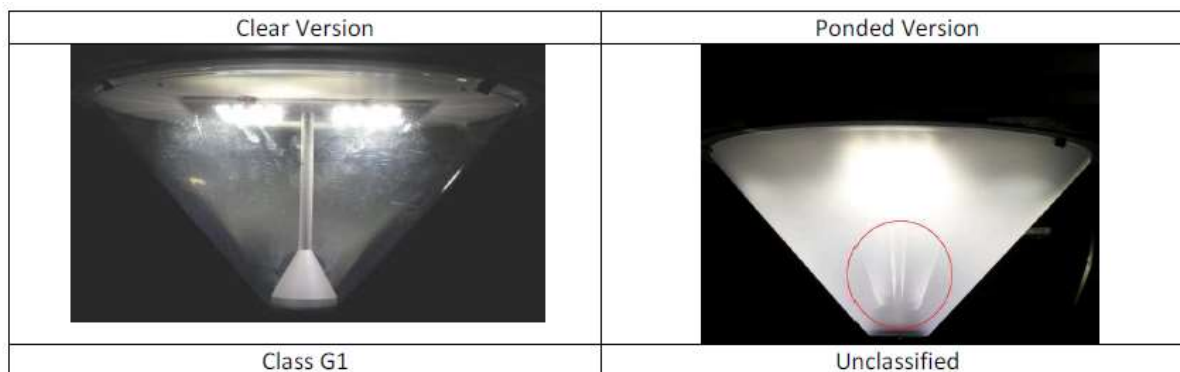
- I - максимални интензитет изражен у cd у било ком смеру под углом од 85° у односу на вертикалну осе светиљке усмерену наниже, и
- A - површина ортогоналне пројекције светлеће површине светиљке на раван нормалну на смер максималног светлосног интензитета (у m²). Уколико су у смеру максималног интензитета видљиви делови самог извора светлости, директно или као ликови у огледалу, површина A треба да обухвати само површину коју обухвата видљиви део светлосног извора или његовог лика.

Вредности индекса бљештања за поједине класе дате су у табели 6.

Табела 6. Класе индекса бљештања

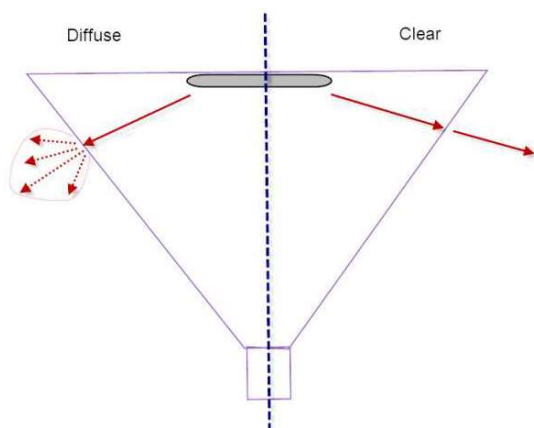
Класа индекса бљештања	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Максимална вредност индекса бљештања (cd/m^2)	–	7 000	5 500	4 000	2 000	1 000	500

Примена класа светлосног интензитета и класа индекса бљештања су алтернативне методе, и треба да се примењују само у случајевима када је потребно ограничити бљештање а није могуће израчунати релативни пораст прага. Класификација светиљки применом ових алтернативних метода у неким случајевима доводи до неприхватљивих закључака. На пример, светиљка са провидним протектором може да има вишу класу светлосног интензитета од исте такве светиљке са мат протектором, што би значило да је светиљка са мат протектором изазива веће бљештање, иако искуство у примени говори другачије.



Слика 1 Пример светиљке са провидним и мат протектором код које је G класа виша у случају примене провидног протектора

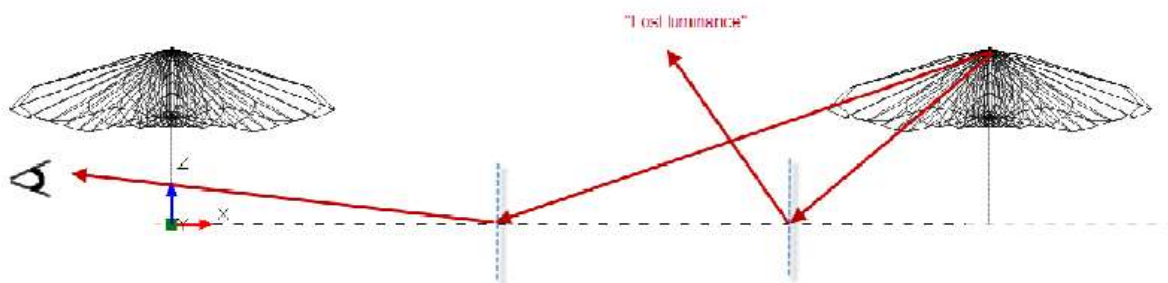
Разлог томе је чињеница да на мат протектору долази до дифузног расипања и распршивања светлости у горњи полупростор (као што је приказано на слици 2).



Слика 2. Пролазак светлости кроз дифузни (мат) и провидни протектор

Примена ових класа није јасно дефинисана (не постоји јасан критеријум када коју класу треба применити), па је избор захтеване класе субјективна процена. Треба водити рачуна и да је ограничење бљештање само један од захтева које треба да задовољи инсталација осветљења. Неоправдана примена светиљки са високом G или G* класом значи „ужу“ светлосну карактеристику, и са њима се могу постићи мање удаљености до које стижу светлосни зраци значајнијег интензитета у правцу паралелном са осом пута, што доводи до смањења растојања између суседних стубова и скупље инсталације осветљења.

Поред тога, за мање упадне углове светлости, светлост рефлектована од површине пута је доминантно усмерена навише, а не ка посматрачу, што доводи до повећања сјаја ноћног неба и расипања енергије.



Слика 3

Горе наведени недостаци класа светлосног интензитета не значе да не треба користити ову методологију као једну од мера за ограничење бљештања и светлосног прекорачења, већ да треба направити добар баланс у захтевима. Ове класе могу да се користе, као што стандард и препорука кажу, као алтернативна метода за ограничење бљештања у областима намењеним пешацима и спорим возилима и у ризичним подручјима у којима није могуће

израчунати релативни пораст прага. У пракси се често срећу захтеви за коришћењем светиљки са често непотребно високом класом светлосног интензитета, што доводи до непотребног повећања трошкова и цене инсталације. Овакви захтеви могу да буду заиста неоправдани у случајевима када је у питању инсталација код које може да се израчуна релативни пораст прага и на тај начин провери да ли је физиолошко бљештање у границама прихватљивог.

Закључак

На добру видљивост значајно утиче и физиолошко бљештање, које треба свести у границе прихватљивог у целокупном јавном осветљењу. Бљештање је визуелни утисак проузрокован великом сјајношћу у правцу посматрања. Може да утиче на смањење видних способности, а може да буде и некомфорно. Лоше позициониране и/или усмерене светиљке урбаног осветљења могу чак да засене и изложе опасности возаче који прелазе из тамне у осветљену област. Бљештање различито утиче на људе, при чему је старија популација обично осетљивија на ову негативну појаву.

Релативни пораст прага је показатељ успешности ограничења физиолошког бљештања на путевима намењеним моторном и мешовитом саобраћају. Не постоји међународно прихваћен критеријум за контролу сношљивости физиолошког бљештања у пешачком саобраћају. Уколико су од важности визуелни задаци који се обично разматрају код осветљења путева и улица за моторни саобраћај и код ризичних подручја, релативни пораст прага може да се користи као параметар за проверу ограничења бљештања и на улицама намењеним пешачком саобраћају. Важећа препорука Међународне комисије за осветљење и Европски стандард омогућавају и примену алтернативних метода за ограничавање бљештања, као што су класе светлосног интензитета или класе индекса бљештања. Примена ових класа није јасно дефинисана (не постоји јасан критеријум када коју класу треба применити) и има одређене недостатке, због чега треба имати и дозу резерве у њиховој примени. Проверу успешности ограничења физиолошког бљештања треба вршити израчунавањем релативног пораста прага и провером да ли је његова вредност мања од дозвољене за захтевану светлотехничку класу кад год је то могуће. Алтернативне методе за ограничење бљештања треба примењивати само у случајевима када није могуће израчунати релативни пораст прага.

Литература

- [1] М. Костић, „Водич кроз свет технике осветљења“, Minel-Schröder, 2000.
- [2] CIE, „Lighting of roads for motor and pedestrian traffic“, Publication CIE 115, 2010.
- [3] CEN, „Road lighting - Part 2: Performance requirements“, EN 13201-2, 2015.
- [4] CIE, „Road lighting calculations“, Publication CIE 140, 2000.
- [5] CEN, „Road lighting - Part 2: Performance requirements“, EN 13201-2, 2003.