

Полуцилиндрична осветљеност као критеријум осветљења путева за пешачки саобраћај

Кратак садржај

Препоруке које се односе на осветљење путева за пешачки саобраћај поред захтеваних вредности средње и минималне вредности хоризонталне осветљености дефинишу и додатне захтеве за вредностима полуцилиндричне осветљености уколико је потребно обезбедити распознавање лица. У раду је дат преглед делова важећих препорука међународне комисије за осветљење CIE 115 и европског стандарда EN 13201 који се односе на осветљење путева за пешачки саобраћај, и приказани су резултати анализе за овај тип саобраћајнице са метал-халогеним и LED изворима.

1. Увод

У групу путева за пешачки саобраћај спадају саобраћајнице намењене искључиво пешачком саобраћају, као и саобраћајнице намењене комбинованом саобраћају пешака и спорих возила без моторног погона или моторних возила са малом брзином вожње. То могу да буду пешачке или бицикличке стазе поред саобраћајница за моторни саобраћај, пешачке зоне, као и саобраћајнице у стамбеним насељима.

Визуелни задаци и потребе пешака се разликују од захтева који се односе на возаче. Брзине кретања пешака су мање, и предмети ближи пешаку су важнији од оних који су у даљини. Текстуре објеката на коловозу и пешачкој стази су битни за пешака, док возач види тамне силуете објеката. На основу наведених разлика, може да се закључи да критеријуми за осветљење путева за моторни саобраћај и путева за пешачки саобраћај нису исти, и да начин осветљења који је добар за возаче не мора да буде добар и за пешачке, и обратно.

Осветљење путева за пешачки саобраћај треба да:

- омогући безбедно кретање пешака тако да благовремено уоче препреке и друге опасности на путу, као и да буду свесни кретања и намера других пешака.
- обезбеди пријатан осећај корисника, да им пружи већи осећај сигурности, и да
- обесхрабри извршиоце криминалних дела.

Бројне студије широм света су показале да побољшање осветљења директно утиче на смањење криминалних радњи и узнемиравање становника, као и да страх од криминала може да буде опасан колико и сам криминал. Страх негативно утиче на морал становника неког краја и обесхрабрује их да по мраку излазе из својих кућа, што повећава осећај изолованости становника и пружа криминалцима више повољних прилика, јер има мање особа које могу да их виде и спрече. Уколико постоји бојазан од криминала и вандализма, мора да се води рачуна и о препознавању лица.

Због тога је потребно обезбедити не само довољну средњу вредност и равномерност хоризонталне осветљености, већ и потребну расподелу вертикалне осветљености, која омогућава распознавање других пешака и благовремено реаговање у случају напада, као и контролу бљештања и добру репродукцију боје.

2. Фактори квалитета осветљења путева за пешачки саобраћај

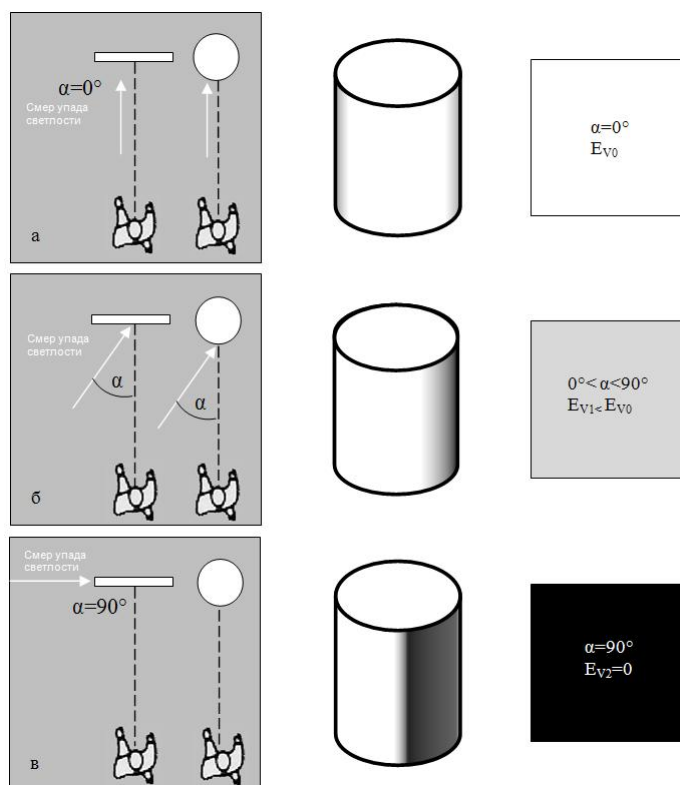
2.1. Хоризонтална осветљеност

У циљу постизања безбедног кретања пешака, потребно је обезбедити адекватне вредности средње и минималне вредности хоризонталне осветљености, које се рачунају на површини тла за целу површину која се користи (која обично обухвата и пешачке стазе и коловоз, осим у случајевима када се коловоз осветљава према захтевима светлотехничких класа за моторни саобраћај).

2.2. Вертикална осветљеност

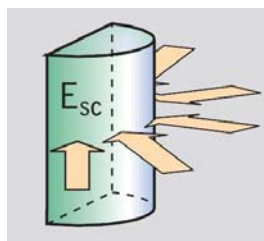
Да би се обезбедило препознавање људских лица, потребно је постићи и адекватно осветљење вертикалних површина. Критеријум вертикалне осветљености није погодан за практичну употребу, због великог броја вертикалних равни које треба узети у обзир у свакој мерној тачки. Осим тога, већина објеката које пешак види су тродимензионални, и вертикална осветљеност не даје праву информацију о осветљености објекта. На пример, уколико је смер упада светлости нормалан на раван у којој се налази објекат који се осветљава, и паралелан са

правцем посматрања (ситуација а на слици 1), разлика између осветљености тродимензионалног објекта и равне површи нормалне на смер упада светлости није велики. Повећањем угла упада светлости на тродимензионалном објекту почињу да се појављују сенке, док је на равној површи вертикална компонента осветљености мања него у претходном случају, али је он и даље осветљен на исти начин (слика 2). Међутим, уколико је смер упада светлости паралелан са вертикалном равни у којој се налази објекат, односно нормалан на правац посматрања, осветљеност вертикалне равни је нула, док је тродимензионални објекат и даље осветљен, уз постојање оштрих сенки.



Слика 1. Промена начина осветљености равних површи и тродимензионалних објеката у зависности од угла између упадног угла светлости α : а) $\alpha = 0^\circ$, б) $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, в) $\alpha = 90^\circ$

Због тога је направљен покушај да се квантитативна процена заснује на вредности полуцилиндричне осветљености (први пут уведена у CIE136-2000), која служи за процену квалитета моделовања контура људског лица. Полуцилиндрична осветљеност се, у некој тачки и у датом хоризонталном правцу дефинише као средња вертикална осветљеност закривљеног дела површине малог вертикалног полуцилиндра, постављеног у тој тачки (на висини 1,5m – сматра се да је глава пешака на тој висини), са закривљеном површином нормалном на специфицирани правац.



Слика 2. Полуцилиндрична осветљеност

Полуцилиндрична осветљеност није иста у свим правцима. Вертикална равна нормална на равну површ полуцилиндра би требало да буде паралелна са главним правцем кретања пешака. Полуцилиндрична осветљеност у тачки рачуна се помоћу формуле:

$$E_{sc} = \sum \frac{I(C, \gamma) \cdot (1 + \cos \alpha_{sc}) \cdot \cos^2 \varepsilon \cdot \sin \varepsilon \cdot MF}{\pi \cdot (H - 1,5)^2}$$

У којој су:

$I(C, \gamma)$ – светлосни интензитет у cd/klm у смеру тачке вредновања,

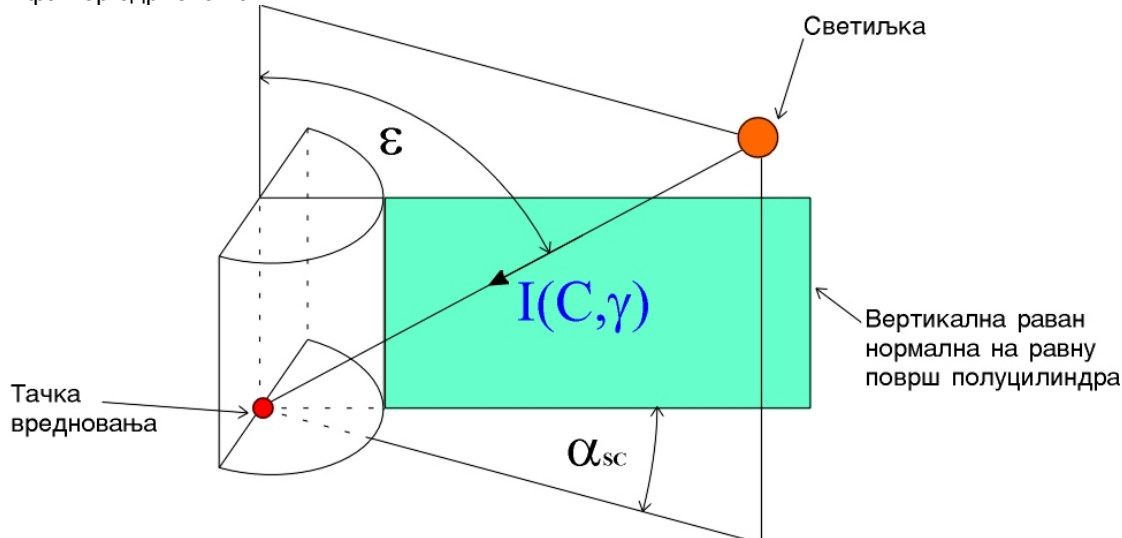
α_{sc} – угао између вертикалне равни којој припада вектор светлосног интензитета (правац светилка – посматрана тачка) и вертикалне равни која је нормална на основу (равну површину) полуцилиндра,

ε – угао инциденције (упада светлости),

γ – упадни угао светлости (угао између смера упада светлости и вертикалне осе светилке усмерене наниже),

H – висина монтаже светилке (узима се да висина ока пешака износи 1,5 m), и

MF – фактор одржавања



Слика 3. Дефиниција углова битних при прорачуну полуцилиндричне осветљености

2.3. Контрола бљештања

Психолошко и физиолошко бљештање код осветљења овог типа путева није критично као код возача моторних возила, зато што су брзине кретања много мање и време реаговања је знатно веће – 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 дати су критеријуми за ограничење бљештања на путевима намењеним пешачком саобраћају и спорим возилима.

2.4. Избор типа светлосног извора

У областима са повећаним ризиком од криминала, у областима где доминирају активности пешака, као и у областима које су еколошки осетљиве, треба избегавати монохроматске изворе светлости. Коришћење извора светлости са бољим степеном репродукције боја омогућава боље уочавање контраста боја и доприноси лакшем препознавању лица.

3. Светлотехничке класе и фотометријски захтеви код путева за пешачки саобраћај

Важеће препоруке CIE 115:2010 уз вредности минималне и средње вредности хоризонталне осветљености за сваку светлотехничку класу P1-P6 која се односи на путеве за пешачки саобраћај, дефинишу и захтеве за минималном вредношћу полуцилиндричне осветљености, у случајевима када је потребно обезбедити препознавање лица – табела 1.

Табела 1. Фотометријски захтеви који се односе на светлотехничке класе типа P (CIE 115)

Светлотехничка класа	Средња хоризонтална осветљеност E_{hsr} [lx]	Минимална хоризонтална осветљеност E_{hmin} [lx]	Додатни захтеви уколико је потребно обезбедити препознавање лица	
			Минимална вертикална осветљеност E_{vmin} [lx]	Минимална полуцилиндрична осветљеност E_{scmin} [lx]
P1	15	3,0	5,0	3,0
P2	10	2,0	3,0	2,0
P3	7,5	1,5	2,5	1,5
P4	5,0	1,0	1,5	1,0
P5	3,0	0,6	1,0	0,6
P6	2,0	0,4	0,6	0,4

Напомена 1. Да би се обезбедила задовољавајућа равномерност осветљености, стварна погонска вредност E_{sr} не сме да буде више од 1,5 пута већа од одговарајуће вредности из табеле за дату светлотехничку класу.

Напомена 2. Већи степен репродукције боје доприноси бољем препознавању лица

Европски стандард EN 13201 посебно дефинише класе које се примењују код путева за пешачки саобраћај, и код којих се критеријуми које треба задовољити односе на средњу и минималну вредност хоризонталне осветљености, а посебно додатне класе ES које се примењују у ситуацијама у којима осветљење треба да омогући идентификацију особа, и код којих је меродавна минимална вредност полуцилиндричне осветљености. У стандарду је дата и табела, која приказује које додатне класе одговарају којим основним класама.

Табела 2. Фотометријски захтеви који се односе на светлотехничке класе типа S (EN 13201)

Светлотехничка класа	Ниво и минимална вредност хоризонталне осветљености	
	E_{sr} [lx] Минимално погонско	E_{min} [lx] погонско
S1	15	5
S2	10	3
S3	7,5	1,5
S4	5	1
S5	3	0,6
S6	2	0,6
S7	/	/

Да би се обезбедила задовољавајућа равномерност осветљености, стварна вредност E_{sr} не сме да буде више од 50% већа од одговарајуће вредности из табеле

Табела 3. Фотометријски захтеви који се односе на светлотехничке класе типа ES (EN 13201)

Полуцилиндрична осветљеност	
Светлотехничка класа	ESCmin [lx]
ES1	10
ES2	7,5
ES3	5
ES4	3
ES5	2
ES6	1,5
ES7	1
ES8	0,75
ES9	0,5

Табела 4. Класе ES и EV, додатне одговарајућим CE или S класама

	CE0	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5			
				S1	S2	S3	S4	S5	S6
	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9
		EV3	EV4	EV5					

У анексу D препоруке CIE 115:2010 је наведено да, уколико су од важности визуелни задаци, који се обично разматрају код осветљења путева за моторни саобраћај и код ризичних подручја, релативни пораст прага може да се користи као мера ограничења бљештања и на путевима намењеним пешачком саобраћају, а максималне вредности су приказане у табели 5.

Табела 5. 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 метод ограничења бљештања који дефинише максимално дозвољене вредности 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 6 за класе светлосног интензитета G1 до G6. Овај алтернативни приступ може да се користи и за ограничење бљештања у ризичним подручјима, где је удаљеност посматрача од поља вредновања мала, и где постоји пуно различитих позиција посматрача и оријентација светиљки.

Табела 6. Максимални светлосни интензитети за класе светлосног интензитета G1 до G6.

Класе светлосног интензитета	Максимални светлосни интензитет у $\text{cd}\cdot\text{klm}^{-1}$			
	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 $1 \text{ cd}\cdot\text{klm}^{-1}$
G5	350	100	10	
G6	350	100	< 1	Светлосни интензитети изнад 90° треба да буду мањи од $1 \text{ cd}\cdot\text{klm}^{-1}$

Напомена 1 Вредности светлосног интензитета дате у табели се односе на било који смер (било коју С раван) за дати угао између специфицираног смера и вертикалне осе светиљке усмерене наниже.

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

4. Фотометријски прорачуни

У циљу утврђивања утицаја полуцилиндричне осветљености на прорачуне осветљености, урађени су фотометријски прорачуни за пешачке стазе ширине 3 и 6m, према препорукама CIE 115:2010. Анализирани су следећи случајеви: код пешачких стаза ширине 3m разматране су светлотехничке класе P1-P5, док су код стаза ширине 6m разматране класе P1- P3. За сваки од разматраних случајева, урађени су прорачуни са и без узимања у обзир захтева који се односи на полуцилиндричну осветљеност. С обзиром да се ради о осветљењу саобраћајница на којима су пешаци главни учесници у саобраћају, и имајући у виду да извори са бољим степеном репродукције боје доприносе лакшој идентификацији особа, прорачуни су урађени светиљкама са метал-халогеним изворима са керамичким гориоником и LED изворима топло беле боје (температуре боје 3000K), са одличном репродукцијом боје и са стабилном температуром боје. Фотометријски прорачуни су урађени са светиљкама HAPILED са LED изворима (16-32диоде, 350 и 500mA), светиљкама K-LUX са метал-халогеним изворима (35, 70 и 100W), TECEO 1 са LED изворима (16-48 диода, 350-700 mA) и CITEA са метал-халогеним изворима (35, 70, 100 и 150 W). У свим случајевима распоред стубова је био једностран, а растојање стубова од ближе ивице стазе 0,5 или 1m. При изради прорачуна, рачунат је фактор одржавања код светиљки са метал-халогеним изворима 0,72, а код светиљки са LED изворима 0,61. Прорачуни су урађени према критеријуму максималног растојања између суседних стубова на деоници дужине 1km. Резултати прорачуна су приказани у табелама 7 и 8.



Слика 4. Светиљка HAPILED



Слика 5. Светиљка K-LUX



Слика 6. Светиљка TECEO 1



Слика 7. Светиљка CITEA

Табела 7. Резултати прорачуна за пешачке стазе без уважавања захтева који се односе на полуцилиндричну осветљеност

Светло-техничка класа	Тип извора	S [m]	H _{OC} [m]	OC [m]	E _{hAV} [lx]	E _{hmin} [lx]	E _{scmin} [lx]	P [W]	N	N-P [W]	$\frac{E_{hAV}}{E_{hmin}}$	S/H _{OC}
P1 W=3m	LED	28	4	-0.1	15.7	3.3	0.1	54	37	1998	4.72	7.00
	MX	31	5.5	-1	15.7	3.4	0.8	110	33	3630	4.69	5.64
P2 W=3m	LED	35	5	-0.6	10.2	2.3	0.1	54	30	1620	4.35	7.00
	MX	31	5.5	-0.5	10.3	2.1	0.4	80	33	2640	4.97	5.64
P3 W=3m	LED	27	4.5	-1	7.8	1.6	0.4	53	38	2014	4.94	6.00
	MX	34	5.5	-1	8.9	1.5	0.4	80	30	2400	5.86	6.18
P4 W=3m	LED	28	4.5	-1	5.6	1.0	0.3	37	37	1369	5.39	6.22
	MX	31	5.5	-1	5.1	1.1	0.3	40	33	1320	4.69	5.64
P5 W=3m	LED	31	5.5	-1	3.0	0.6	0.2	27	33	891	4.85	5.64
	MX	36	5.5	-1	4.4	0.6	0.2	40	29	1160	7.02	6.55
P1 W=6m	LED	29	5	-0.6	15.1	3.5	0.3	113	35	3955	4.31	5.80
	MX	39	6	-0.7	17.0	3.1	0.3	170	27	4590	5.55	6.50
P2 W=6m	LED	38	5	-0.6	10.2	2.2	0.1	113	27	3051	4.62	7.60
	MX	35	6	0.3	10.7	2.1	0.1	80	30	2400	4.98	5.83
P3 W=6m	LED	35	6	-0.1	7.6	1.8	0.1	65	30	1950	4.13	5.83
	MX	39	6	-0.7	8.8	1.5	0.2	80	27	2160	5.94	6.50

Табела 8. Резултати прорачуна за пешачке стазе са уважавањем захтева за полуцилиндричном осветљеношћу

Светло-техничка класа	Тип извора	S [m]	H _{OC} [m]	OC [m]	E _{hAV} [lx]	E _{hmin} [lx]	E _{scmin} [lx]	P [W]	N	N-P [W]	$\frac{E_{hAV}}{E_{hmin}}$	S/H _{OC}
P1 W=3m	LED	15	4.5	-1	17.3	8.9	3.2	75	68	5100	1.94	3.33
	MX	17	5.5	-1	17.9	14.0	3.0	80	60	4800	1.28	3.09
P2 W=3m	LED	18	5.5	-1	12.7	7.5	2.0	75	57	4275	1.70	3.27
	MX	15	4.5	-1	12.1	8.8	2.2	40	68	2720	1.38	3.33
P3 W=3m	LED	16	5.5	-1	8.6	5.6	1.6	37	64	2368	1.52	2.91
	MX	17	5.5	-1	9.4	7.4	1.6	40	60	2400	1.28	3.09
P4 W=3m	LED	17	5.5	-1	5.4	3.4	1.0	27	60	1620	1.60	3.09
	не постоји решење са метал-халогеним изворима за класу P4 у коме би био задовољен захтев за E _{sc}											
P5 W=3m	LED	20	5.5	-1	4.6	2.4	0.6	27	51	1377	1.92	3.64
	не постоји решење са метал-халогеним изворима за класу P5 у коме би био задовољен захтев за E _{sc}											
P1 W=6m	LED	18	6	-0.6	16.6	9.8	3.1	78	57	4446	1.70	3.00
	MX	17	6	-0.7	20.7	7.3	3.4	80	60	4800	2.83	2.83
P2 W=6m	LED	19	6	-0.6	11.8	6.5	2.0	54	54	2916	1.81	3.17
	MX	15	6	-0.7	11.7	4.0	1.9	40	68	2720	2.89	2.50
P3 W=6m	LED	18	6	-0.6	8.3	4.9	1.6	37	57	2109	1.70	3.00
	не постоји решење са метал-халогеним изворима за класу P3 у коме би био задовољен захтев за E _{sc}											

У овим табелама су коришћене следеће ознаке:

S - Растојање између суседних стубова,

H_{OC} - Висина оптичког центра светилке

OC - Удаљеност оптичког центра светилке од ближе ивице пута,

E_{hAV} - Средња вредност хоризонталне осветљености,

E_{hmin} - Минимална вредност хоризонталне осветљености,

E_{SCmin} - Минимална вредност полуцилиндричне осветљености,

P - Укупна снага светилке

N - Број светилки на деоници дужине 1km,

У анализираним случајевима средња вредност односа средње и минималне вредности хоризонталне осветљености износи 5,06, а однос растојања између суседних стубова и висине оптичког центра светилке 6,22 уколико не постоји додатни захтев за препознавањем лица, док уколико постоји додатни захтев за препознавањем лица средња вредност односа средње и минималне вредности хоризонталне осветљености износи 1,81, а однос растојања између суседних стубова и висине оптичког центра светилке 3,10. Такође може да се примети да, у случају коришћења светилки са метал-халогеним изворима није увек могуће наћи решење које задовољава захтеве тражене светлотехничке класе, због великих скокова у снази и светлосном флуксу извора који су на располагању. Код LED извора тај проблем не постоји зато што је променом броја диода у светилци, или променом вредности радне струје драјвера лако могуће добити потребну вредност светлосног флукса.

5. Закључак

У случајевима када постоји повећан ризик од криминала потребно је обезбедити не само довољну средњу и минималну вредност хоризонталне осветљености, већ и одговарајућу расподелу вертикалне осветљености, која омогућава распознавање лица других пешака.

Помоћу вредности полуцилиндричне осветљености процењује се могућност препознавања људског лица. На основу фотометријске анализе може да се закључи да је однос растојања између суседних стубова и висине оптичког центра светилке скоро 2 пута мањи у случају када постоји додатни захтев за препознавањем лица него када овај захтев не постоји, као и да је однос средње и минималне вредности хоризонталне осветљености када постоји захтев мањи од 2, односно да је потребно постићи равномерност хоризонталне осветљености већу од 50%. То значи да је у случајевима када је потребно обезбедити препознавање лица потребно променити начин осветљења, тако да растојања између суседних стубова и снаге светилки буду мањи, како би се постигле захтеване вредности и хоризонталне и полуцилиндричне осветљености. Нови типови светилки са LED изворима омогућавају проналажење адекватног решења у свим случајевима, зато што имају могућност промене вредности светлосног флукса у малим корацима променом броја диода или вредности струје.

С обзиром да је један од задатака осветљења путева за пешачки саобраћај стварање субјективног осећаја сигурности и заштићености, при пројектовању инсталације осветљења за овај тип путева у случајевима када постоји повећан ризик од криминала, требало би узети у обзир и додатни захтев који се односи на минималну вредност полуцилиндричне осветљености.

6. Литература

- [1] CIE 115:2010 Lighting Of Roads For Motor And Pedestrian Traffic.
- [2] CEN TR 13201-1:2003. *Selection of Lighting Classes*, 2003.
- [3] CEN TR 13201-2:2003 Road lighting - Part 2: Performance requirements
- [4] CEN TR 13201-3:2003 Road lighting - Part 3: Calculation of performance
- [5] CIE 31-1976. *Glare and Uniformity in Road Lighting Installations*, 1976.
- [6] CIE 115-1995. *Recommendations for the Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic*, 1995.
- [7] CIE 136-2000. *Guide to the Lighting of Urban Areas*, 2000.
- [8] CIE 140-2000. *Road Lighting Calculations*, 2000.
- [9] Kansai Regional Branch of the Illuminating Engineering Institute of Japan. *Report No.4 of the Committee on the Improvement of Street Lighting*, 1989.
- [10] LLOYD, R., WILSON D. *Inner City Street Lighting and its Effect upon Crime*. ILE Conference, Bournemouth, 1989.
- [11] MARINIER, J.-C. Public Lighting Reduces Mugging, *Lux*, 123, 38-40, 1983.
- [12] PAINTER, K. *Lighting and Crime Prevention*. The Edmonton Project, Middlesex Polytechnic, Centre for Criminology, 1988.
- [13] PAINTER, K. *Lighting and Crime Prevention for Community Safety*. The Tower Hamlets Study, First Report, London, Middlesex Polytechnic, Centre for Criminology, 1989.
- [14] SCHREUDER, D.A. *The Relation between Lighting Accidents and Crime in Urban Streets*. Lux Europa, Vol. 1, 117-123, 1993.
- [15] TIEN, J., O'DONNELL, V.F., BARNETT, A., MIRCHANDANI, P.B. *Street lighting Projects* National evaluation program, Phase 1 Report, Washington DC: National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice, 1979.
- [16] Lester, T (2010) Public lighting for safe and attractive pedestrian areas. *NZ Transport Agency research, report 405*.