

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
Izbirni predmet - 10142

Svetlobna tehnika

Projektiranje cestne razsvetljave

predavatelj
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Naloga cestne razsvetljave

Osnova za dober vid je ustrezna svetlost okolice oziroma opazovanega objekta, ki zagotavlja ustrezno adaptacijo očesa in s tem optimalen vid.

Naloga cestne razsvetljave je torej zagotoviti ustrezno svetlost okolice.

Standardi

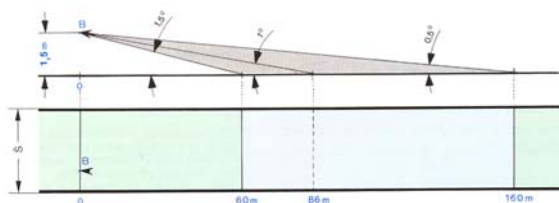
Pri projektiranju razsvetljave se lahko opremo na serijo standardov

13201 Cestna razsvetljava:

- CEN/TR 13201-1: Smernice za izbor razredov za razsvetljavo,
- SIST EN 13201-2: Zahtevane lastnosti,
- SIST EN 13201-3: Izračun lastnosti,
- SIST EN 13201-4: Metode za merjenje lastnosti razsvetljave
- SIST EN 13201-5: Kazalniki energijske učinkovitosti.

Polje opazovanja

Za uporabnika cestne površine je pomemben samo tisti del ceste, ki ga ima v vidnem polju.



Polje opazovanja

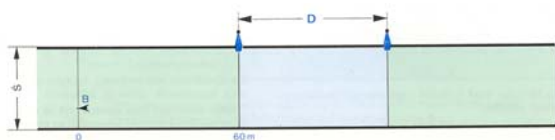
- Oko voznika se nahaja na višini približno 1,5 m nad cesto, na polovici desne strani ceste (točka B).
- Pogled je usmerjen naprej in navzdol pod kotom 1° .
- Vidno polje zajema še dodaten kot $0,5^\circ$ na vsako stran, torej področje med $0,5^\circ$ in $1,5^\circ$.
- Polje opazovanja se začne pri 60 m oddaljenosti od voznika in sega do 160 m oddaljenosti.
- Mednarodno je dogovorjeno, da se polje opazovanja vedno začne pri svetilki.

Polje vrednotenja

- Ko se voznik premika naprej, se z njim premika naprej tudi polje opazovanja in se torej spreminja.
- Ker se polje opazovanja prične pri svetilki, se torej spreminja samo do naslednje svetilke, nato pa se ponovi.
- Vozniku se torej med vožnjo slika med dvema sosednjima svetilkama periodično ponavlja.
- Zaradi tega je bilo vpeljano polje vrednotenja, ki zajema v vzdolžni smeri področje med dvema svetilkama.
- V prečni smeri zajema polje vrednotenja celotno širino vozišča oziroma širino vozišča za smer vožnje (če sta ločena).

Polje vrednotenja

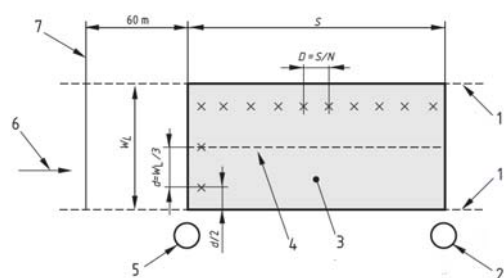
Zaradi ponavljanja zadostuje, če svetlobno-tehnične razmere opazujemo samo znotraj polja vrednotenja, torej med dvema sosednjima svetilkama.



Točke vrednotenja

- Ker polje vrednotenja površina, se znotraj njega definira točke, v katerih se opazuje svetlobno-tehnične veličine (svetlost, osvetlitvenost) - točke vrednotenja.
- Točke vrednotenja morajo biti v polju vrednotenja enakomerno razporejene.
- Med dvema svetilkama mora biti vsaj 10 točk vrednotenja, ki pa ne smejo biti več kot 5 m oddaljene druga od druge.
- V prečni smeri moramo predvideti vsaj 3 vrste točk na voznem pasu, ki so enakomerno razporejene. Prva vrsta je od roba voznega pasu oddaljena za 1/6 širine voznega pasu.

Točke vrednotenja



Točke vrednotenja

Na prejšnji sliki je:

- 1 .. rob voznega pasu;
- 2 .. druga svetilka na polju vrednotenja;
- 3 .. polje vrednotenja;
- 4 .. sredina voznega pasu;
- 5 .. prva svetilka na polju vrednotenja;
- 6 .. smer pogleda voznika;
- 7 .. oddaljenost voznika od polja vrednotenja.
- X .. točke vrednotenja, razporejene v vzdolžne in prečne vrste.

Točke vrednotenja

Razdalja med točkami v vzdolžni smeri:

razdalja med točkami je določena kot $D=S/N$ kjer je:

S razdalja med dvema svetilkama
N število točk vrednotenja v vzdolžni smeri

če je $S \leq 30$ m potem izberemo $N = 10$;
če pa je $S > 30$ m potem naj bo N najmanjše celo
število, ki da $D \leq 3$ m

Točke vrednotenja

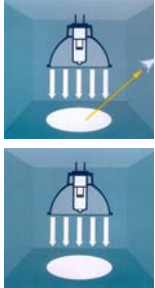
Razdalja med točkami v prečni smeri:

razdalja med točkami je določena kot $d = W_l/3$ kjer je:

W_l širina voznega pasu

zunanje točke vrednotenja so oddaljene za $d/2$ od roba
voznega pasu.

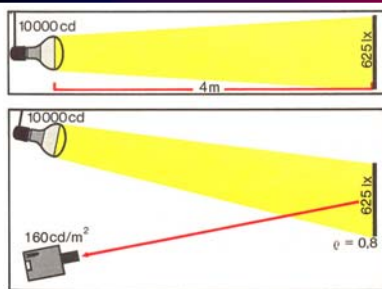
Svetlost in osvetljenost



Merodajni veličini za opis svetlobnih razmer na prometni površini sta:

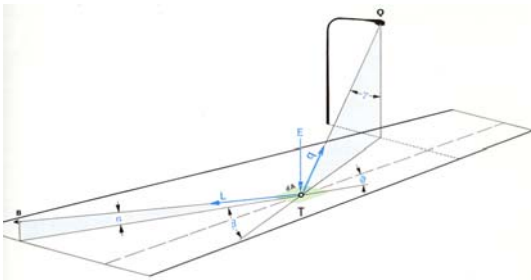
- svetlost L (cd/m^2)
- in
- osvetljenost E (lx)

Svetlost in osvetljenost



Osvetljenost je odvisna samo od vira in razdalje do opazovane površine, svetlost pa tudi od odsevnosti (refleksije) opazovane površine

Svetlost in osvetljenost



Svetlost in osvetljenost

- Svetlost je pomembna na prometnih površinah, kjer se odvija motorni promet.
- V tem primeru je vidna naloga udeleženca v prometu ozko definirana (področje pred vozilom).
- Glede na smer vožnje pa je definirana tudi smer opazovanja.

Svetlost in osvetljenost

Pri prometnih površinah, kjer je torej smer pogleda definirana (**ceste**) se razsvetljava projektira glede na zahtevano **svetlost**.



Svetlost in osvetljenost

- Svetlost površine je odvisna od:
 - mesta opazovalca
 - smeri opazovanja;
- geometrije razsvetljavne naprave;
 - refleksijskih lastnosti površine v določeni smeri;
 - svetlobnega toka svetilk;
 - porazdelitve svetilnosti svetilk.

Svetlost in osvetljenost

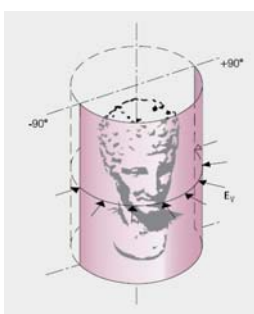
- Na prometnih površinah, namenjenih pešcem oziroma mešanemu prometu je vidna naloga precej široko definirana.
- Prav tako je tudi smer pogleda lahko zelo različna oziroma ni definirana.
- Zaradi tega svetlosti kot kriterija za razsvetljavo ne moremo uporabiti.

Svetlost in osvetljenost



Pri prometnih površinah, kjer torej smer pogleda ni definirana, oziroma je **promet mešan**, se razsvetljava projektira glede na zahtevano **osvetljenost**.

Svetlost in osvetljenost



- Upoštevati je potrebno tako ustrezno:
 - **horizontalno osvetljenost** prometnih površin kot tudi (v primeru površin za pešce
 - **vertikalno ali polcilindrično osvetljenost**.

Kako svetla naj bo cesta?

Ustrezne svetlosti so bile določene na podlagi večletnih eksperimentalnih študij in so zajete v različnih priporočilih:



- priporočila SDR,
- dokumenti CIE,
- standardi DIN (5044),
- standardi EN (13201).

Kako svetla naj bo cesta?

Priporočila in standardi podajajo **minimalne svetlosti (v cd/m^2)** v odvisnosti od parametrov prometa in ceste.

ločitev smernih vozišč	razdalje med priključki km	število križišč na	povprečni letni dnevni promet		
			<15 000	15 000 do 25 000	>25 000
da	> 3 km		0,75	1,00	1,00
	< 3 km		1,00	1,00	1,50
		< 3	0,75	0,75	1,00
		> 3	0,75	1,00	1,50
ne	> 3 km		1,00	1,50	1,50
	< 3 km		1,50	1,50	1,50
		< 3	0,75	1,00	1,50
		> 3	1,00	1,50	1,50

Kako svetla naj bo cesta?

Standard **CEN/TR 13201-1** pozna tri skupine svetlobno-tehničnih razredov za ceste (prometne površine):

- razredi **M** za motoriziran promet
- razredi **C** za konfliktna področja
- razredi **P** za pešce in področja z majhnimi dovoljenimi hitrostmi.

Poleg tega obstajajo še razredi **HS** (hemispherical), **SC** (semi-cylindrical) in **EV** (vertical), prav tako za področja za pešce.

Kako svetla naj bo cesta?

Ko izberemo ustrezno področje moramo izbrati še ustrezen svetlobno tehnični razred znotraj področja:

- razred M od M1 do M6
- razred C od C0 do C5
- razred P od P1 do P7

oziroma pri področjih za pešce lahko v skladu z nacionalnim standardom (zakonodajo) izberemo še ustrezen HS, SC ali EV razred.

Kako svetla naj bo cesta?

Parameter	Options	Description *	Weighting Value (k _w)
Design speed or speed limit	Very high High Medium Low	> 100 km/h 50 <= < 100 km/h 30 <= < 50 km/h < 30 km/h	4 3 2 1
Traffic volume	High Moderate Low	> 50% of maximum capacity 25% - 50% of maximum capacity < 25% of maximum capacity	3 2 1
Traffic composition	Mixed with high percentage of non-motorized Mixed Motorized only		2 1 0
Separation of carriageways	No Yes		1 0
Junction density	High Moderate Low	Interchanges, roundabouts, distance between junctions, km	3 2 1
Parked vehicles	High Moderate Low	Shopping centres, entertainment complexes, sport facilities, station areas, storage areas	3 2 1
Adjoining land use	High Moderate Low	Urban areas, industrial areas, storage areas	3 2 1
Navigation task	Very difficult Difficult Easy		3 2 1

Izbor razreda M: s pomočjo tabele ugotovimo ustrezne utežnostne faktorje in jih seštejemo:

razred M=6-VWS
upoštevamo:
VWS<0 → VWS=0
M≤0 → M=1

Kako svetla naj bo cesta?

Ko smo določili M razred, dobimo zahtevane parametre iz tabele v standardu

SIST EN 13201-2.

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry and wet road surface condition				Disability glare	Lighting of surroundings
	Dry condition		Wet			
	$\bar{L}$ in cd/m ² [minimum maintained]	U_{L} [minimum]	U_{L} [minimum]	U_{L} [minimum]	Ti in % [maximum]	EIR ⁴ [minimum]
M1	2.00	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M2	1.50	0.40	0.70	0.15	10	0.35
M3	1.00	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M4	0.75	0.40	0.60	0.15	15	0.30
M5	0.50	0.35	0.40	0.15	15	0.30
M6	0.30	0.35	0.35	0.15	20	0.30

Kako svetla naj bo cesta?

Za konfliktna področja (križišča, področja z mešanim prometom, zožitve prometne površine ..) uporabimo razrede C. V tem primeru so opazovalne razdalje kratke in smeri različne, zato je predpisana minimalna osvetljenost.

Pri izbiri razreda C upoštevamo razred M ceste, ki prihaja v konfliktno področje in faktor Q_0 (odsevnost ceste).

Kako svetla naj bo cesta?

Če se križa več cest z različnimi M razredi, uporabimo najnižji M. Zaradi konfliktnosti področja ga nato še znižamo za 1 (npr. M2 namesto M3)

Lighting class M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Lighting class C if $Q_0 \leq 0,05 \text{ cd m}^{-2} \text{ lx}^{-1}$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Lighting class C if $0,05 \text{ cd m}^{-2} \text{ lx}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ cd m}^{-2} \text{ lx}^{-1}$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Lighting class C if $Q_0 > 0,09 \text{ cd m}^{-2} \text{ lx}^{-1}$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Kako svetla naj bo cesta?

Parameter	Options	Description ¹	Weighting Value 1-5
Design speed or speed limit	very high	> 100 km/h	5
	high	70 < v ≤ 100 km/h	4
	moderate	50 < v ≤ 70 km/h	3
	low	v ≤ 50 km/h	2
Traffic volume	high		5
	low		2
Traffic composition	Mixed with high percentage of non-motorised		5
	Mixed		3
Separation of carriageways	Yes		5
	No		2
Parked vehicles	Present		5
	Not present		2
Ambient luminosity	high shopping windows, advertisement expressions, sport fields, station areas, storage areas		5
	low normal situation		2
Navigational task	very difficult		5
	difficult		3
	easy		2

Razred C lahko izberemo tudi s pomočjo tabele (npr. področja v centrih mest) in enakega pristopa kot pri razredu M.

C=6-VWS

Kako svetla naj bo cesta?

Ko smo določili C razred, dobimo zahtevane vrednosti osvetljenosti in njene enakomernosti iz tabele v standardu

SIST EN 13201-2.

Class	Horizontal illuminance	
	$\bar{E}$ in lx [minimum maintained]	U_o [minimum]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

Kako svetla naj bo cesta?

Na enak način lahko določimo tudi ustrezen P razred za področja za pešce:

P=6-VWS
in seveda:
VWS<0 → VWS=0
P≤0 → P=1

Parameter	Options	Description *	Weighting Value P, V
Travel speed	Left	v < 40 km/h	1
	Very low walking speed	Very low walking speed	0
Use intensity	Busy		1
	Normal		0
Over	Over		-1
	Pedestrians, cyclists and motorized traffic		2
Traffic composition	Pedestrians and motorized traffic		1
	Pedestrians and cyclists only		0
Pedestrians only	Pedestrians only		0
	Cyclists only		0
Parked vehicles	Present		1
	Not present		0
Ambient luminosity	High	shopping windows, advertisement expressions, sport facts, station areas, bridge areas	1
	Usual	normal situation	0
Facial recognition	Left		-1
	Necessary		Additional requirements
Facial recognition	Not necessary		No additional requirements

* The values stated in the column are an example. Any adaptation of the method or more appropriate weighting values can be used instead, on the national level.

† Specific guidelines on use of facial recognition parameter are defined at national level for each country

Kako svetla naj bo cesta?

In še zahtevani pogoji uz standarda

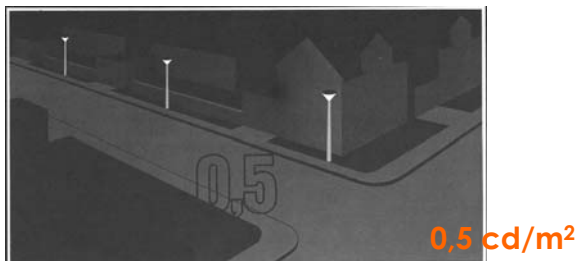
SIST EN 13201-2.

Class	Horizontal illuminance	
	$\bar{E}$ in lx * [minimum maintained]	E_{min} in lx [maintained]
P1	15,0	3,00
P2	10,0	2,00
P3	7,50	1,50
P4	5,00	1,00
P5	3,00	0,60
P6	2,00	0,40
P7	performance not determined	performance not determined

* To provide for uniformity, the actual value of the maintained average illuminance must not exceed 1,5 times the minimum $\bar{E}$ value indicated for the class

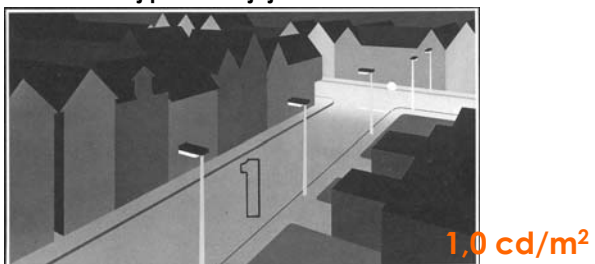
Kako svetla naj bo cesta?

Kaj predstavljajo izbrane vrednosti svetlosti?



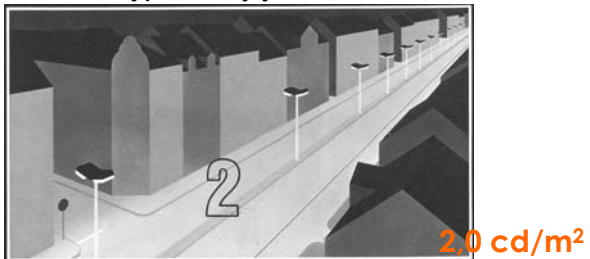
Kako svetla naj bo cesta?

Kaj predstavljajo izbrane vrednosti svetlosti?



Kako svetla naj bo cesta?

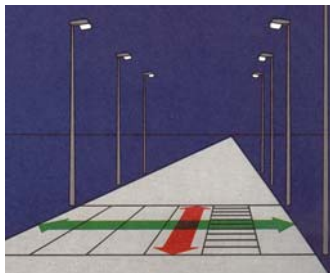
Kaj predstavljajo izbrane vrednosti svetlosti?



Enakomernost svetlosti

- Predmeti (ovire na cesti) so opazni le, če obstaja med njimi in okolico določen kontrast (v svetlosti).
- Povprečna svetlost torej ni dovolj, če ni tudi ustrezne enakomernosti svetlosti, ki nudi ustrezno ozadje za ovire na cesti.

Enakomernost svetlosti



Ustrezno enakomernost svetlosti, tako vzdolžno U_l kot tudi prečno U_p oziroma splošno U_0 , izberemo podobno kot ustrezno svetlost.

Enakomernost svetlosti

Vrednost ustrezne svetlosti za posamezen svetlobno-tehnični razred iz določene skupine (na primer M) dobimo iz naslednje tabele:

Class	Luminance of the road surface of the carriageway for the dry and wet road surface condition			Disability glare	Lighting of surroundings
	Dry condition		Wet	Dry condition	
	$\bar{L}$ in cd/m^2 [minimum maintained]	U_0 [minimum]	U_l^a [minimum]	U_{w0}^b [minimum]	TI in % c [maximum]
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10
					EIR d [minimum]
					0,35

Prav tako pa tudi druge parametre: enakomernost, relativni porast praga zaznavanja, količnik svetlosti okolice.

Enakomernost svetlosti

Kako izgledajo različne enakomernosti?



$$U_1 = 0,5$$

Enakomernost svetlosti

Kako izgledajo različne enakomernosti?



$$U_1 = 0,625$$

Enakomernost svetlosti

Kako izgledajo različne enakomernosti?



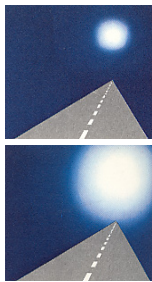
$$U_1 = 0,77$$

Enakomernost svetlosti

Še primer iz dejanskega sveta!



Omejevanje bleščanja



Ponoči (pri majhnih svetlostih okolice) blešči vsak vir svetlobe v vidnem polju. Zaradi njegove velike svetlosti se poveča prag zaznavanja, kar pomeni, da določenih predmetov **ne moremo videti**.

Omejevanje bleščanja



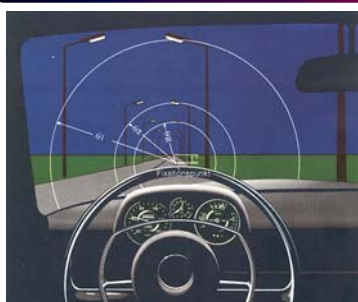
Pri adaptacijski svetlosti okolice L , je potreben kontrast svetlosti ΔL_O (med objektom in okolico) da objekt vidimo (zaznamo). Zaradi vira bleščanja, zastirajoča svetlost povzroči, da se oko adaptira na višjo svetlost (okolice) $L + L_s$ zaradi česar pa pri enakem kontrastu ΔL_O , objekt ni več viden. Če želimo, da bo objekt viden, moramo povečati tudi kontrast ΔL_{BL} .

Omejevanje bleščanja

Glede na konstrukcijo svetilk so za bleščanje predvsem pomembne svetilnosti pri kotih nad 80°.

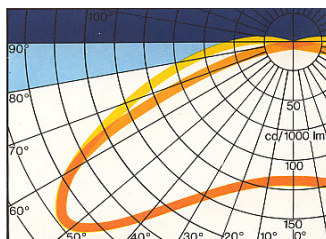


Omejevanje bleščanja



Vsako cestno svetilko voznik namreč vidi pod drugim kotom glede na točko usmerjenosti pogleda.

Omejevanje bleščanja



Zaradi tega so predpisi včasih podajali maksimalne svetlosti svetilk pri kotih 80° in 90°. Danes se ta problem rešuje s podajanjem in izračunom porasta praga zaznavanja.

$$TI = \frac{65}{(\text{srednja svetlost voznega pasu})^{0.8} \times L_v} \%$$

L_v ... ekvivalentna zastirajoča svetlost

slabša
boljša

Cestna obloga



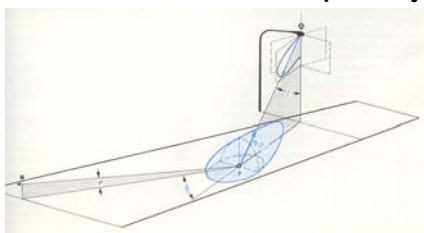
Glede na to, da je svetlost prometne površine odvisna tudi od odsevnosti cestne obloge, je potrebno pri projektiranju cestne razsvetljave upoštevati tudi to.

Ločimo dve glavni lastnosti cestne obloge:

- hrapavost χ_p (hrapava, gladka)
- odsevnost q_0 (svetla, temna)

Cestna obloga

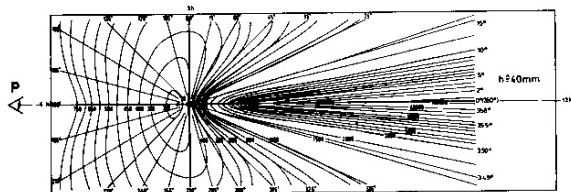
Odsevnost cestne obloge lahko predstavimo s pomočjo q-telesa ...



$$q = \frac{L}{E}$$

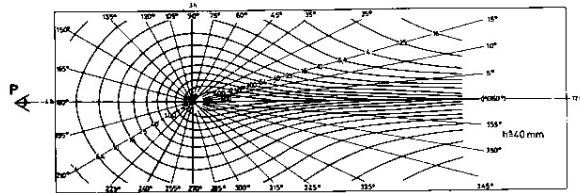
Cestna obloga

... v obliki CIE-q diagrama ali ...



Cestna obloga

... v obliki CIE-r diagrama.



$$r = q \cdot \cos^3 \gamma$$

reducirani koeficient svetlosti

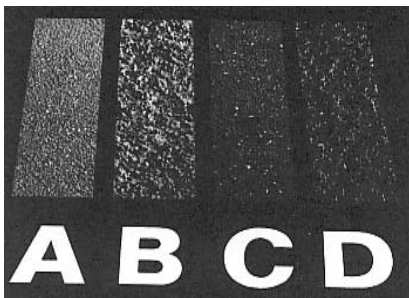
Cestna obloga

Postopek lahko poenostavimo z uporabo
"standardnih refleksijskih razredov vozišč":

- R I** ... razpršena (difuzna) refleksija
- R II** ... slabo razpršena (difuzna) refleksija
- R III** ... slabo usmerjena refleksija
- R IV** ... usmerjena refleksija

RV ... močno usmerjena (zrcalna) refleksija

Cestna obloga



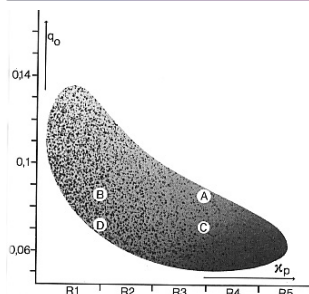
A ... svetla,
gladka

B ... svetla,
hrapava

C ... temna,
gladka

D ... temna,
hrapava

Cestna obloga



Najboljše svetlobno-tehnične razmere dosežemo na svetlih hrapavih površinah (B), kritične pa so temne gladke površine (C).

Osvetljenost cestne površine

Na podoben način, kot se določi oziroma izbere ustrezne svetlobno-tehnične parametre pri cestah, izberemo oziroma določimo tudi ustrezne parametre pri površinah namenjenih pešcem in mešanemu prometu.

Le da tu namesto svetlosti izberemo ustrezne vrednosti osvetljenosti.

Kriteriji kakovosti

Kriteriji kakovosti cestne razsvetljave so torej:

- nivo svetlosti;
- enakomernost svetlosti;
- omejitev bleščanja;
- optično vodenje;
- nivo osvetljenosti;
- enakomernost osvetljenosti.

Izbor svetilk



Prvi kriterij za izbor svetilk so ustrezne svetlobno-tehnične lastnosti oziroma doseganje ustreznih svetlosti ali osvetljenosti.

Pomembne pa so tudi druge lastnosti.

Izbor svetilk

Oblika



Glede na to, da so svetilke v naseljih nameščene praktično na vsakih 30 m prometne površine, je ustrezna oblika svetilke še kako pomembna.

Izbor svetilk

Konstrukcijski detajli



Ustrezna konstrukcija svetilke olajša njeno montažo in vzdrževanje, to pa pomeni prihranke časa in denarja.

Izbor svetilk



Material

Ohišja svetilk in drugi mehanski deli morajo biti odporni na korozijo, poleg tega mora biti material ustrezno lahek, imeti ustrezne mehanske lastnosti in dolgo življensko dobo.

Izbor svetilk



Varnost

pomembna je tudi varnost, tako mehanska kot tudi električna (nevarnost dotika delov pod nevarno napetostjo).

Izbor svetlobnega vira



Z izborom svetlobnega vira definiramo:

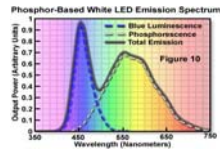
- svetlobni tok svetilke;
- porazdelitev svetlosti;
- postavitev in število stebrov;
 - barvo svetlobe;
- faktor reprodukcije barve;
- izkoristek razsvetljavne naprave;
 - inštalirano moč;
- interval vzdrževanja.

Svetleče diode (LED)

Polprevodniški svetlobni vir, v razsvetljavi uporabljamo močnostne bele LED, ki temeljijo na modrih LED in rumenem fosforju.



Izkoristek: 50 do 150 lm/W.
Življenjska doba: 30.000 do 50.000 ur.
Barvna temperatura: 2700 - 6000 K.
Indeks barvnega videza: do 95.



Visokotlačna natrijeva sijalka

Delujejo pri tlaku 0,25 bara in temperaturi 1000 K.

Svetloba je bolj bela in ni monokromatska.

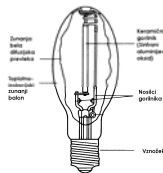
Barvna temperatura: 2200 K.

Izkoristek: 95 do 150 lm/W.

Življenjska doba: do 24.000 ur.

Indeks barvnega videza: 20 - 65.

Moč do 1000 W.



Kovinsko halogenidna sijalka

Temelji na VT Hg sijalki, vendar so v gorilnik dodani kovinski halogenidi - redke zemlje: disprozij, holmij, tulij, ... pa tudi cin, natrij, litij, indij.

Ima manj UV svetlobe, zato nima fluorescentnega premaza. Barvo svetlobe določamo z dodatki.

Izkoristek: 67 do 95 lm/W.

Življenjska doba: 15.000 ur.

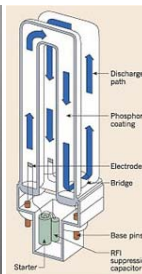
Barvna temperatura: 3000 - 6000 K.

Indeks barvnega videza: do 95.

Moč do 2000 W.



Kompaktna fluorescenčna sijalka



Po principu delovanja:
fluorescentna sijalka.

Izkoristek: 80 do 95 lm/W.

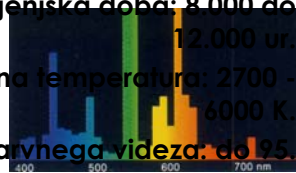
Življenjska doba: 8.000 do 12.000 ur.

Barvna temperatura: 2700 - 6000 K.

Indeks barvnega videza: do 95.

Moči do 25 W.

Moči do 25 W.



Visokotlačna živosrebrna sijalka

Visokotlačna Hg sijalka je zaradi slabega izkoristka že
vzeta iz prodaje v EU.

Svetlobni izkoristek: do 60 lm/W.

Življenjska doba: >15.000 ur.

Indeks barvnega videza: 23 - 55.

Barvna temperatura: 2000 - 4000 K.

Moči do 400 W



Nizkotlačna natrijeva sijalka

Izkoristek: do 200 lm/W.

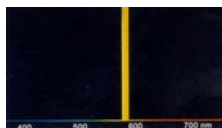
Monokromarska svetloba: rumena 589 nm.

Barvna temperatura: 1750 K.

Življenjska doba: 16.000 ur.

Predvsem za osvetljevanje prometnih površin.

Moči do 180 W



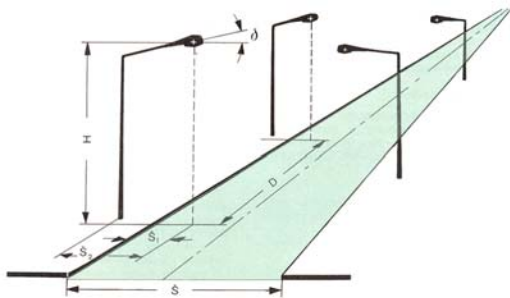
Geometrija razsvetljavne naprave



Geometrijo razsvetljavne naprave označujejo naslednji parametri:

- višina montaže svetilke (H);
- razmak med svetilkami (D);
 - širina vozišča ($\check{S}$);
- previs svetilke ($\check{S}1$);
- izteg svetilke ($\check{S}2$) in
- nagib svetilke (δ).

Geometrija razsvetljavne naprave



Razporeditev svetilk

Poznamo več standardnih razporeditev svetilk:

- enostranska razporeditev;
 - osna razporeditev;
- dvostranska nasprotna razporeditev;
- sredinska dvovrstna razporeditev in
- dvostranska premaknjena razporeditev.

Razporeditev je vedno potrebno prilagoditi razmeram.

Enostranska razporeditev



- Enostranska razporeditev je primerna za ceste z majhno širino vozišča (do 10 m).
- Višina montaže mora biti enaka ali večja širini vozišča:
 $(\check{S}/H) \leq 1$
- Svetilke so običajno nameščene na stebre.
- Svetlost vozišča je običajno na polovici ob svetilkah večja.

Enostranska razporeditev



- Pri enosmernih cestah namestimo svetilke ob desni strani v smeri vožnje.
- Pri dvosmernih cestah namestimo svetilke ob strani, kjer je promet gostejši.
- Na ovinkih namestimo svetilke ob zunanjem ovinku.

Oсна razporeditev



- Osna razporeditev večini uporabljamo pri cestah, kjer so zgradbe locirane ob obeh straneh ceste (lažja namestitve nosilnih vrvi).
- Tudi pri tem primeru mora biti višina montaže večja ali kvečjemu enaka širini cestišča
 $(\check{S}/H) \leq 1$.

Oсна razporeditev



Slabe lastnosti take razporeditve so:

- veter povzroča nihanje svetilk.
- vzdrževanje razsvetljave moti potek prometa.

Dobra lastnost pa je, da je enakomernost svetlosti (predvsem prečna) večja.

Dvostranska razporeditev



- Uporabljamo jo v primeru širših cestnišč (nad 10 m), kjer ni vmesnega pasu ali je le-ta ožji od 2 m.
- Uporabljamo lahko nasprotno ali premaknjeno razporeditev ($(\dot{S}/H) < 1,5$).
- Pri premaknjeni razporeditvi je višina svetilke manjša od širine cestnišča ($(\dot{S}/H) > 1$).
- Pri širših vmesnih pasovih lahko dodatno uporabimo še sredinsko razporeditev.

Dvostranska razporeditev



- Prednost te razporeditve je, da je desni vozni pas bolje osvetljen od levega (ugodnejše iz prometnih razlogov).
- Vzdrževanje in namestitve svetilk je lažja, opravlja se zunaj vozišča.

Sredinska razporeditev



- Uporabljamo v primeru dveh ločenih vozišč, pri katerih širina enega ni večja od 10 m, širina nevoznega pasu pa je med 2 in 6 m.
- Svetilke so nameščene na dvokrakih stebrih, postavljenih na sredini nevoznega pasu.
- Razporeditev svetlosti je približno enaka kot pri enostranski razporeditvi, upoštevati pa je potrebno, da vse svetilke osvetljujejo oba vozna pasova.

Sredinska razporeditev



- Če je širina voznega pasu večja od 10 m in če širina nevoznega pasu ni večja od 6 m, dodatno uporabimo še dva niza svetilk na zunanji strani ceste.
- Te so lahko razporejene premaknjeno ($\checkmark=1 \dots 1,5 H$) ali nasprotno ($\checkmark>1,5 H$).

Posebni primeri - vodenje



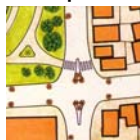
- V ovinkih svetilke namestimo na zunanjo stran - **boljše optično vodenje.**



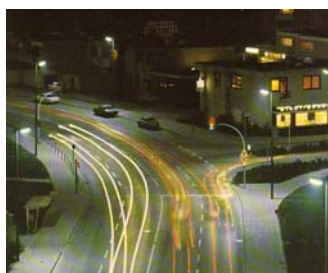
Posebni primeri - označevanje



• Križišča in druga nevarna področja lahko "označimo" z večjo svetlostjo ali z drugo barvo svetlobe ali z drugačno razporeditvijo svetilk.



Posebni primeri - označevanje



• Konec ceste (uvoz na prednostno cesto) lahko označimo s povečano svetlostjo in s svetilko nasproti uvozu.



Posebni primeri - označevanje



• Večje prometne površine (trgi) morajo biti vsaj tako svetli kot okoliške ceste, lahko pa jih z povečano svetlostjo še dodatno označimo.

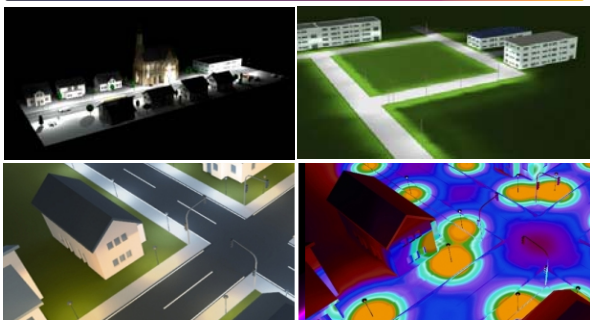


Izračun svetlosti

Svetlost cestne površine lahko izračunamo na več načinov:

- metoda s faktorjem r ;
- metoda s faktorjem izkoristka;
- metoda z izo-cd/m² diagramom;
- metoda z izo-r in izo-cd diagramoma;
- metoda z izo-q in izo-lux diagramoma;
- metoda z računalniško simulacijo.

Računalniška simulacija



Izračun osvetljenosti

Podobno kot svetlost vozišča, lahko izračunamo tudi osvetljenost cestne površine:

- metoda s faktorjem izkoristka;
- metoda z izo-lux diagramom;
 - grafo-analitična metoda;
- metoda z računalniško simulacijo.

Računalniška simulacija



Merjenje zunanje razsvetljave

Pri zunanji razsvetljavi merimo:

- svetlost cestne površine;
- enakomernost svetlosti;
- osvetljenost cestne površine in
 - enakomernost osvetljenosti.

Merjenje zunanje razsvetljave

Kontrola nivoja svetlosti

Nivo svetlosti lahko merimo na dva načina:

- meritev svetlosti v točkah, ki ustrezajo točkam izračuna svetlosti;
- meritev svetlosti v polju opazovanja z integracijskim načinom merjenja.

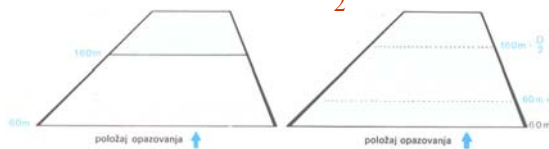
[illegible]

$$L_{sr} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n L_i$$

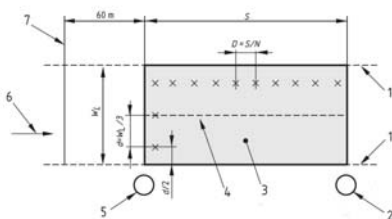
$$L_{sr} = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

Diagram illustrating the calculation of the average length (L_{sr}) for a ditch cross-section. The left trapezoid shows a bottom width of 60m and a top width of 100m. The right trapezoid shows a bottom width of 60m and a top width of 100m. The formula $L_{sr} = \frac{L_1 + L_2}{2}$ is shown above the trapezoids.

$$L_{sr} = \frac{\overline{L_1} + \overline{L_2}}{2}$$



Splošno enakomernost svetlosti izračunamo iz povprečne vrednosti svetlosti in najmanjše izmerjene vrednosti.



$$U_0 = \frac{L_{\min}}{L}$$

Merjenje zunanje razsvetljave

Kontrola enakomernosti svetlosti:

Vzdolžno enakomernost svetlosti pa izračunamo iz največje in najmanjše izmerjene vrednosti svetlosti na simetrični osi prometnega pasu v polju vrednotenja.



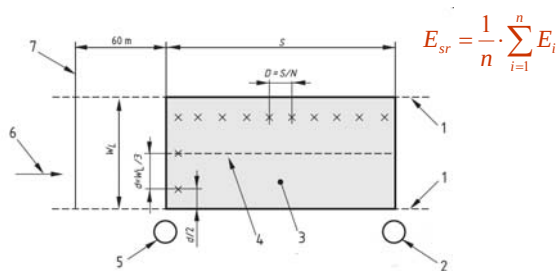
Merjenje zunanje razsvetljave

Kontrola nivoja osvetljenosti

Nivo osvetljenosti cestišča ugotovimo s pomočjo meritev svetlosti v posameznih točkah znotraj področja vrednotenja. Točke meritev se ujemajo s točkami izračunov oziroma točkami vrednotenja.

Merjenje zunanje razsvetljave

Meritev osvetljenosti v točkah



Merjenje zunanje razsvetljave

Kontrola enakomernosti osvetljenosti:
Enakomernost osvetljenosti izračunamo podobno kot enakomernost svetlosti s pomočjo razmerja med minimalno in srednjo vrednostjo ali minimalno in maksimalno vrednostjo osvetljenosti .

$$U_{e1} = \frac{E_{\min}}{E} \quad U_{e2} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$$

Postopek projektiranja

1. Potrebni podatki

- urbanistična situacija;
- karakterističen profil ceste;
- podatki o površinskem sloju cestišča;
- podatki o sedanjem in perspektivnem značaju ceste;
- specifične zahteve investitorja.

Postopek projektiranja

2. Svetlobno-tehnična priporočila

Izbrati je potrebno ustrezna priporočila za projektiranje cestne razsvetljave:

- **SIST (EN) standardi**
- CIE priporočila in standardi;
- (SDR priporočila)

Postopek projektiranja

3. Svetlobno-tehnična karakterizacija

Cesto ustrezno svetlobno-tehnično okarakteriziramo glede na izbrana priporočila in izberemo ustrezen svetlobnotehnični razred.

Postopek projektiranja

4. Vrednosti zahtevanih svetlosti in osvetljenosti

Iz ustreznih priporočil za izbrani razred ceste izpišemo zahtevane vrednosti svetlosti oziroma osvetljenosti ter drugih pomembnih parametrov (enakomernost, TI, ...).

Postopek projektiranja

5. Refleksijske lastnosti cestišča

Ugotovimo refleksijske lastnosti cestišča in sicer iz podatkov o njegovem površinskem sloju. Nato določimo:

- standardni refleksijski razred ali
- srednji koeficient svetlosti q_0 .

Postopek projektiranja

6. Predvidimo ustrezno razporeditev svetilk

Glede na geometrijo cestišča in okolice (širina, pozidanost, ...) izberemo najprimernejšo standardno ali posebno razporeditev svetilk ob cestišču.

Postopek projektiranja

7. Viri in svetilke

Na podlagi prometnih, geometrijskih in svetlobno-tehničnih pogojev izberemo ustrezne svetilke in svetlobne vire. Ne smemo pozabiti tudi na estetski izgled razsvetljavne naprave.

Postopek projektiranja

8. Geometrija razsvetljavne naprave

Na osnovi smernic določimo:

- višino montaže svetilke;
- previs svetilke;
- izteg svetilke;
- nagib svetilke in
- razmak med svetilkami.

Postopek projektiranja

9. Kontrolni svetlobno-tehnični izračun

Na osnovi podatkov o cestni površini ter izbrane svetilke, vira in geometrije razsvetljavne naprave izračunamo:

- svetlost (osvetljenost);
- enakomernost;
- relativni porast bleščanja.

Postopek projektiranja

10. Izbor variante

Na koncu med seboj primerjamo posamezne variante razsvetljavne naprave in izberemo najustreznejšo glede na:

- ekonomičnost;
- estetski izgled;
- vzdrževanje.

... in še:

Vprašanja?
