

FOTOMETRIJA SISTEMA SVETLOSNIH OBELEŽAVANJA AERODROMSKIH PISTA

Vladan Škerović

OPŠTI PODACI

Sve aerodromske površine, koje su namenjene za sletanje, poletanje i kretanje aviona moraju biti propisno obeležene elemenima horizontalne i vertikalne signalizacije, čije dimenzije i boje su definisane preporukama ICAO (Aneks 14). Radi se dakle o **SVETLOSNOM OBELEŽAVANJU** a ne o **OSVETLJENJU** površina namenjenih za sletanje i poletanje aviona ili za njihovu vožnju (rulanje). Osvetljenje površina se koristi samo kod **Platformi** (Apron), gde isto važe odredbe Aneksa 14, ICAO.

Aerodromi u okruženju su opremljeni sledećim Sistemima svetlosnog obeležavanja (SSO):

Ø **CAT I / CAT II / CAT IIIb i oba instrumentalna prilaza** - Aerodrom "Nikola Tesla", Beograd;

Ø **CAT I i jedan instrumentalni prilaz** - Aerodromi "Podgorica i "Banja Luka";

Ø **Neinstrumentalni prilaz** - Aerodromi "Konstantin Veliki" u Nišu, "JAT Pilot Academy" u Vršcu i "Tivat".

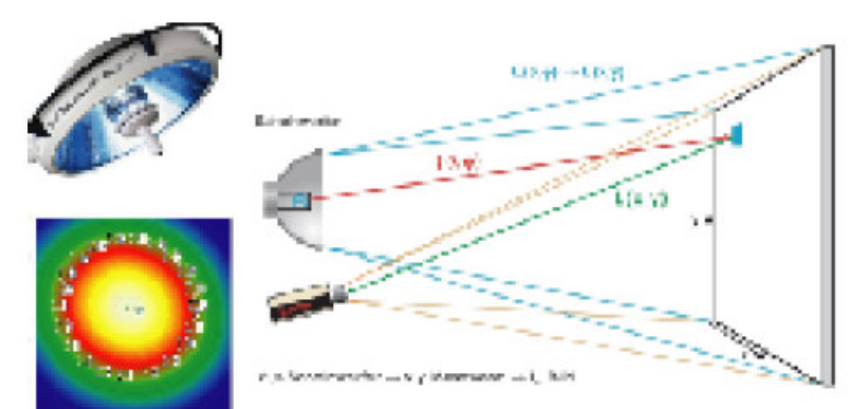
Shodno prethodnom tekstu kod pojedinih aerodroma se razlikuje broj svetiljki, koje se koriste u svetlosnim celinama. Sem aerodroma "N.Tesla" u Beogradu ostali aerodromi, sem " JAT Pilot Academy" u Vršcu imaju sledeće svetlosne celine

	NAZIV SVETLOSNE CELINE	VRSTA SVETILJKI	BROJ(kom.)
1.	Svetla Prilaza	Nadgradne	136
2.	Sekvencijalno bljeskajuće svetlo	Nadgradne	23
3.	Svetla Praga	Nadgradne	26
4.	Svetla Kraja	Nadgradne	2 x 8
5.	PAPI	Nadgradne	8
6.	Jednostavni Prilaz	Nadgradne	24+24
7.	Svetla Praga	Ugradne	10
8.	Svetla Kraja	Nadgradne	6
9.	PAPI	Nadgradne	8
10.	Svetla ivica PSS	Nadgradne/Ugradne	75/7
11.	Svetla ivica RS	Nadgradne	286
12.	Vertikalne svetleće oznake	Nadgradne	30
13.	Opomenska trepćuća svetla	Nadgradne	12
14.	Sekvencijalno bljeskajuće svetlo	Nadgradne	23

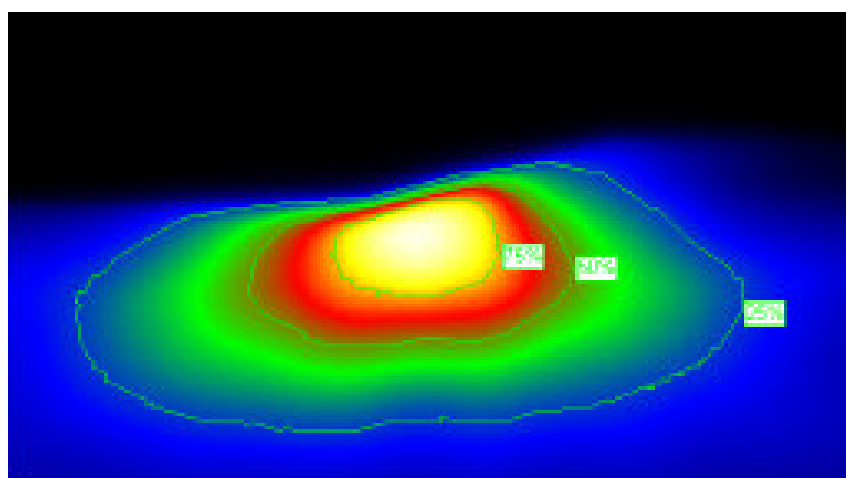
BOJA FILTERA SVETILJKE	NAZIV SVETLOSNE CELINE	MINIMALNI PROSEČNI INTENZITET (cd)	ORIJENTACIONI BROJ SVETILJKI (kom)
BELA	Svetla prilaza CAT I/CAT II/CAT III	20.000	136
	Zona dodira	5.000	180
	Ivice PSS	10.0000	100
	Centralna linija PSS	5.000	200
ZELENA	Prag PSS	10.000	16
	Bočne prečke Praga	10.000	10
	Centralna linija RS - ravan deo	200	450
	Centralna linija RS - krivina	100	450
CRVENA	Kraj PSS	2.500	8
	Bočne prečke Prilaza CAT II/CAT III	5.000	62
	Centralna linija PSS- ispred kraja staze	5.000	30
	Ivice PSS ispred izmeštenog Praga	4.000	62
	Stop prečka - ugradna	200	7
	Stop prečka - nadgradna	2.500	4/8
	Obeležavanje prepreka	35	
ŽUTA	Ivice PSS - ispred kraja staze	10.000	40
	Centralna linija RS-izlazi	200/100	12
	Neupravljiva Stop Prečka -ugradna	200	7
	Neupravljiva Stop Prečka -nadgradna	2.500	7
	Opomenska trepćuća svetla (Wig-Wag)	3.000	2 x 2
PLAVA	Ivice RS	5	600

Metoda merenja

Metoda merenja raspodele svetlosne jačine signalnih svetiljki za svetlosno obeležavanje zasniva se na merenju raspodele osvetljenosti na projekcionom ekranu, koju proizvodi ispitivana svetiljka na rastojanju od 1m. Raspodela se meri pomoću fotometrijske kamere koja je fiksno postavljena u odnosu na projekcioni ekran. Ceo sistem je kalibrisan da direktno iskazuje raspodelu u jedinicama svetlosne jačine (cd). Merenje se vrši u koordinatnom sistemu, sa uglovima po horizontali i vertikali u skladu sa zahtevima ICAO. Rezultat merenja je slika raspodele prikazana u tzv. Izokandelnom dijagramu. Takodje, daje se i grafički prikaz vrednosti svetlosne jačine sa brojnim vrednostima po osama koordinatnog sistema. Na slici je prikazan princip merenja i tip izokandelnog dijagrama koji se dobija kao rezultat merenja.



Princip merenja



Tip izokandelnog dijagrama

Oprema je montirana na specijalnom IRAP vozilu opremljenom opremom za snimanje i praćenje, pozicioniranje, merenje rastojanja i položaja. Na slici dole, prikazano je vozilo koje se koristi u merenju sistema svetlosnog obeležavanja.



Srce mernog sistema je fotometrijska kamera LMK 98-4 proizvođača Techno team, Nemačka, sa pripadajućim softverom za analizu LMK LabSoft extended.



Merenje se izvodi iz vozila. Vozilo se pozicionira u liniju sa svetiljkama. Svakoj svetiljki se prilazi upravno na optičku osu, tako da se zauzme položaj na tačno 1,72 m između svetiljke i projekcionog ekrana. Rastojanje je definisano Laserskim daljinomerom. Položaj se prati na ekranu u vozilu, preko kamere za praćenje. Pri

zauzetom rastojanju od 1,72 m, vrši se merenje/snimanje raspodele svetlosne jačine.

Sistem u celini je kalibrisan pomoću fotometrijske sijalice – etalona jedinice svetlosne jačine (cd), proizvođača Osram, tip Wi 41/G, u akreditovanoj laboratoriji za etaloniranje Instituta za Fiziku u Beogradu, sa metrološkom sledivošću ka nacionalnom etalonu jedinice svetlosne jačine (cd) sledivim ka CIPM MRA međunarodnoj bazi podataka CMC (calibration and measurement capabilities).

Kako je kalibracija izvršena sa vrednostima normalizovanim na 1 m, a merenje se vrši na 1,72 m, svi rezultati se množe koeficijentom 2,98.

Sva merenja su izvršena u skladu sa specifikacijama ICAO (INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION; ANNEX 14 INTERNATIONAL STANDARDS AND RECOMMENDED PRACTICES AERODROMES; ANNEX 14 TO THE CONVENTION ON INTERNATIONAL CIVIL AVIATION; VOLUME I AERODROME DESIGN AND OPERATIONS, FOURTH EDITION - SEPTEMBER 2008.

Uslovi ispitivanja – Ispitivanje se vrši u uslovima eksploatacije na pisti, na mestu instalacije.

Uslovi - noćni. Vreme vedro. Suva pista.

Sistem je pre merenja bio uključen radi stabilizacije.

Parametri napajanja sijalica nisu mereni, podrazumevani su redovni uslovi eksploatacije. Treba imati u vidu da ovi parametri trebaju biti redovno proveravani s'obzirom da imaju značajan uticaj na performanse sistema u celini. Svetlosna jačina sijalice zavisi od struje napajanja. Pretpostavka je, (Photometric Calibrations – NBS Special Publication 250-15, Washington DC, 1987, p. 19), da je zavisnost sledeća:

$$\frac{dI}{I} = \alpha \frac{di}{i},$$

gde je α između 6 i 8.

Uticaj okolnih svetiljki je imajući u vidu njihovo međusobno rastojanje procenjen u najgorem slučaju na 0,5 %.

Uticaj ambijentnog svetla je imajući u vidu karakteristike merne postavke i korišćenu opremu zanemarljiv.

Čišćenje sočiva svetiljki pre merenja nije vršeno. Na sočivima u eksploataciji postoji sloj gume i prčljavštine koji može da utiče na rezultate merenja, kako na intenzitet tako i na veću difuzivnost svetiljke, odnosno na lošiju usmerenost snopa. Primećeno je da u pojedinim slučajevima kod pojedinih svetiljki ovaj uticaj može biti vrlo veliki, čak i do 50 %.

Korišćena oprema – Luxmetar Mavolux 5032 B USB, , Laserski daljinomer Leica Disto D2, Fotometrijska kamera LMK 98-4.

Karakteristike kamere su:

Sensor:

CCD - imaging matrix system

Standard resolution

1380 x 1030 Pixel

Resolution (dynamic):

Single picture measurement: 1:1100 (~ 61 dB)

Multi picture measurement: 1:3600 (~ 71 dB)

High Dynamic measurement: 1:10000000 (~140 dB)

A/D conversion: 12/14 Bit

Measurement time:

from 1 to 15 sec. for different luminances,

depending on adjusted exposure time

Measurement accuracy:

$\Delta L < 3 \%$ (for standard illuminant A)

Spectral matching: $V(\lambda)$ ($f'1 < 3.5\%$)

Metrološka sledivost - Uverenje o etaloniranju br. 393-2/2-02-99/2 od 19.01.2011. god. DMDM, Uverenje o etaloniranju br.74/09/01 od 25.11.2009 Vekom, Techno Team 0055 WK-K od 2010-06-11.

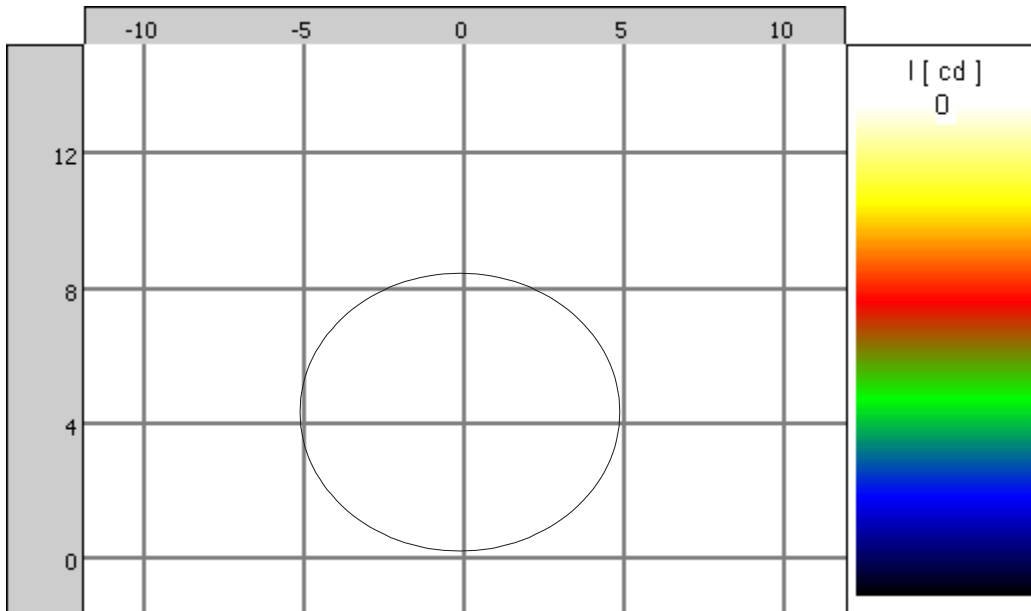
Merna nesigurnost - Merna nesigurnost rezultata merenja izražena je kao proširena merna nesigurnost dobijena množenjem kombinovane merne nesigurnosti faktorom obuhvata $k = 2$, koji za normalnu raspodelu odgovara nivou poverenja od približno 95 %.

Dominantan uticaj na nesigurnost merenja ima zauzimanje referentnog rastojanja do svetiljke. U fiksnoj postavci, nesigurnost merenja je na nivou 3,0 %. U merenju iz vožnje, usled greške zauzimanja referentnog položaja ukupna merna nesigurnost se nalazi u granicama od 10 %. Merenja svetiljki zone dodira koje su orjentisane pod uglom od 4 stepena iznosi 15%.

Rezultati

Rezultati merenja se prikazuju u tabeli, gde je naveden broj svetiljke, boja svetla i prosečan intenzitet glavnog snopa. Brojevi svetiljki su uzeti sa plana piste, odnosno njihovog rasporeda ugradnje.

Pored tabele daju se primeri raspodele svetlosne jačine (cd) na izokandelnim dijagramima za više karakterističnih mernih tačaka, odnosno svetiljki.



Na izokandelnom dijagramu prikazane su horizontalna i vertikalna osa sa podelom po stepenima. Na desnoj strani nalazi se paleta koja prikazuje kodiranje intenziteta po bojama, počev od bele za najveći intenzitet svetlosti, odnosno najveću izmerenu svetlosnu jačinu.

Elipsa definiše glavni snop u skladu sa ICAO anex 14, što je ujedno i zona u okviru koje se izračunava prosečan intenzitet, odnosno prosečna svetlosna jačina.

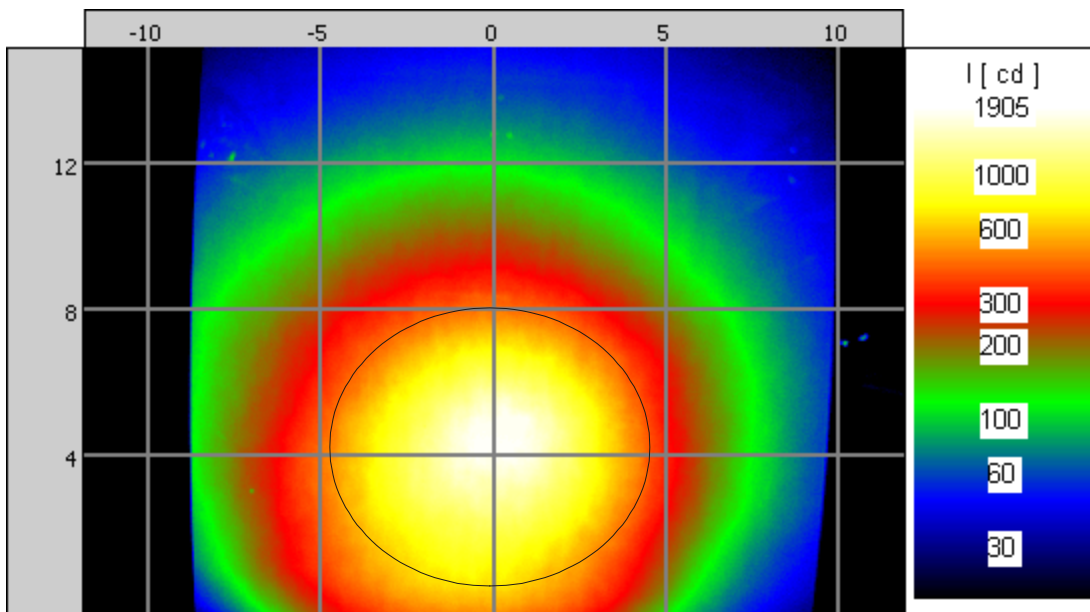
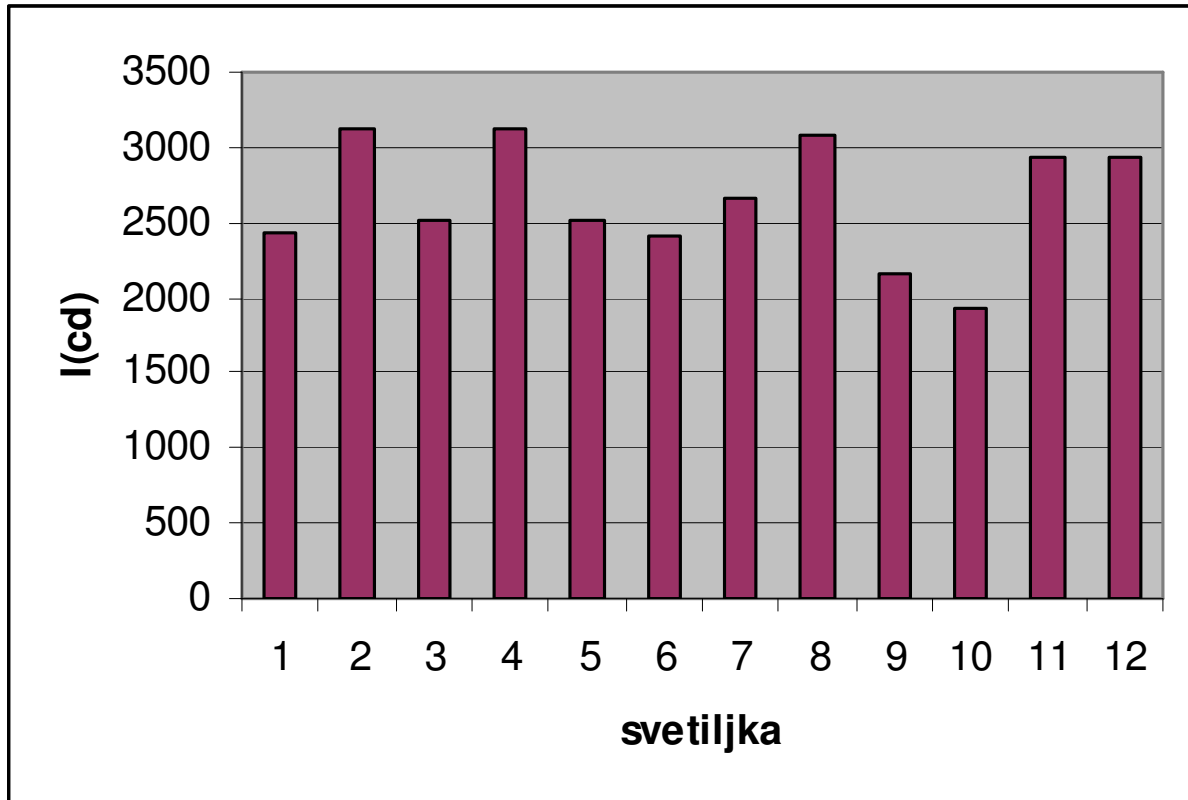
Centralna linija

Ispitivanjem je utvrđeno da je usmerenost svetiljki dobra. Rezultati merenja su prikazani zbirno u tabeli, kao i na grafikonu. Pojedinačno su date kao karakteristični primeri krive raspodele svetlosne jačine određenih svetiljki.

Tabela 1. Zbirni prikaz intenziteta (svetlosnih jačina) svetiljki u okviru centralne linije.

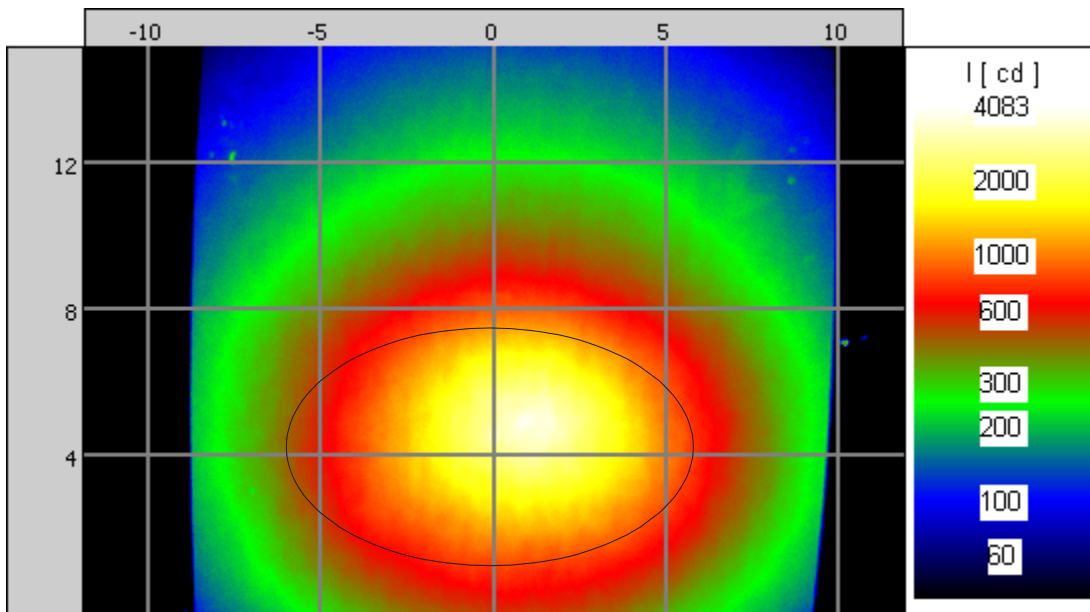
boja svetlosti	svetiljka	svetlosna jačina (cd)
bela	3	2433
bela	4	3126
bela	5	2521
bela	6	3128
bela	7	2511
bela	8	2403
bela	9	2655
bela	10	3081
bela	11	2150
bela	12	1918
bela	13	2937
bela	14	2931

Grafik 1. Zbirni prikaz stanja na centralnoj liniji

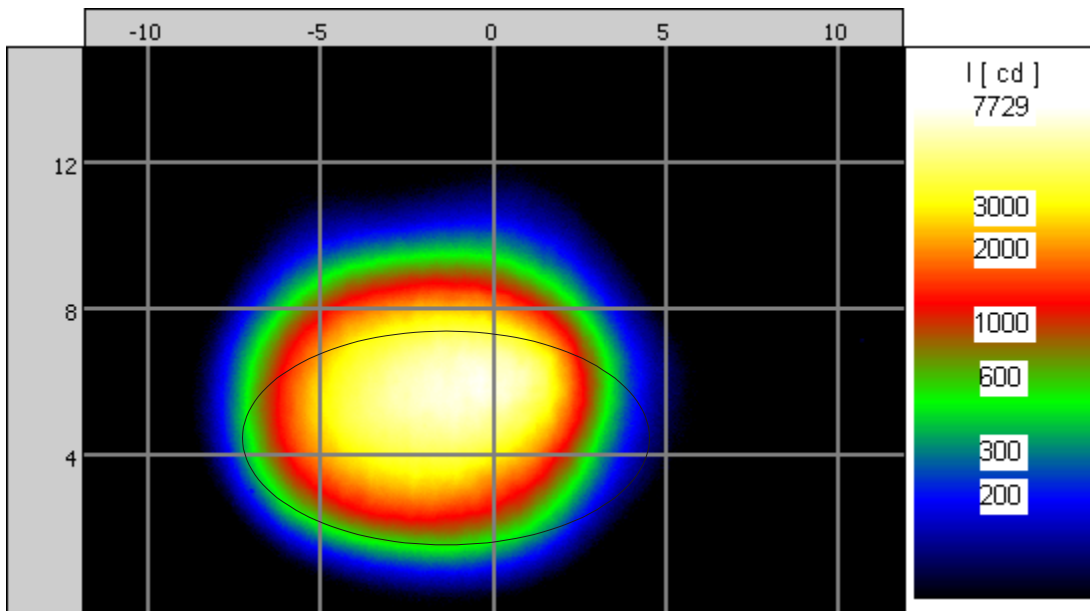


Svetiljka 14 (vrednosti na dijagramu se množe kalibracionim faktorom 3)

Ivica

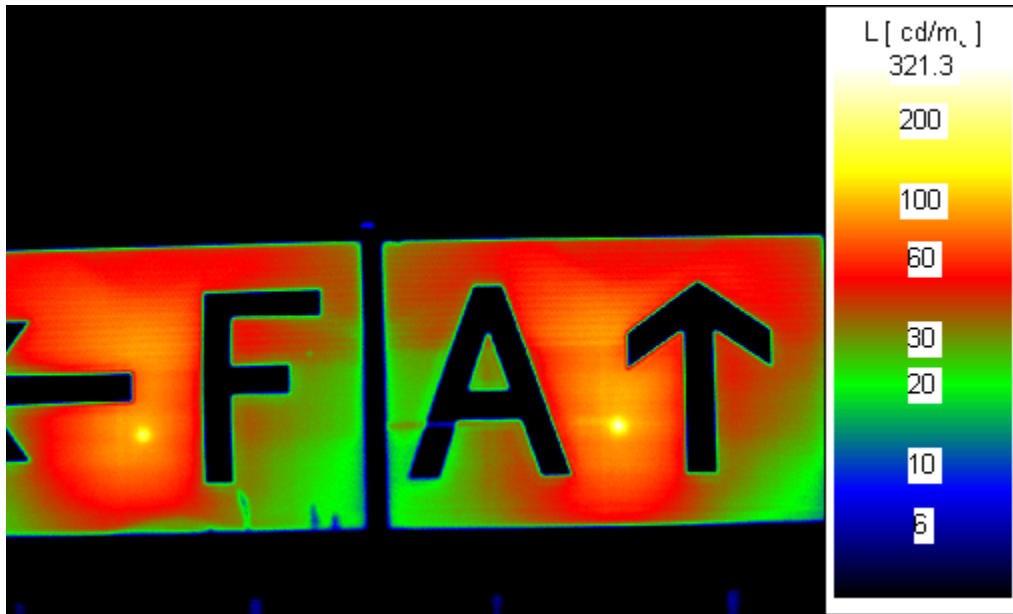


Ugradna ivična (vrednosti na dijagramu se množe kalibracionim faktorom 3)

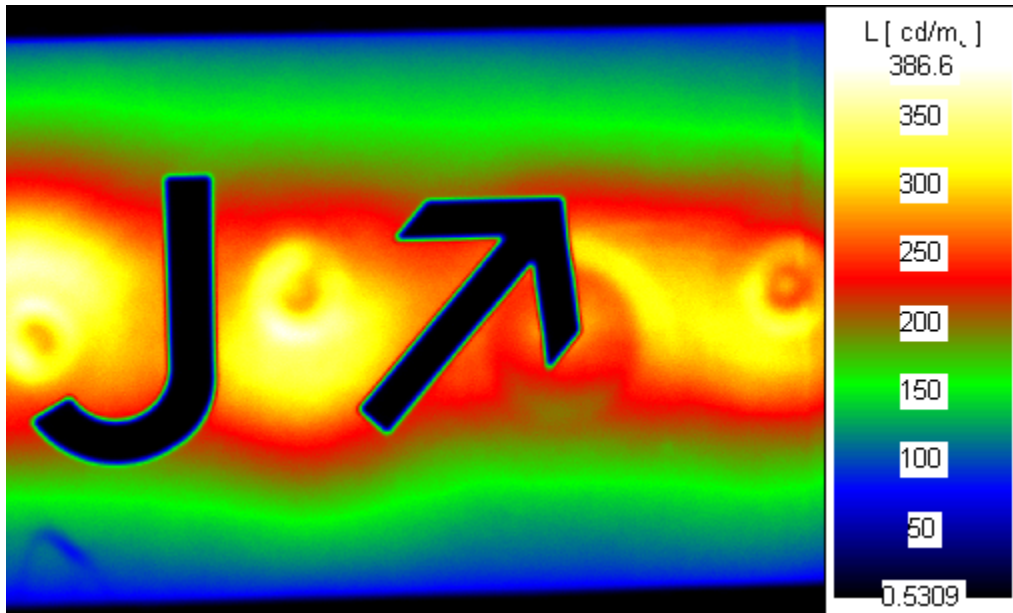


Ivica nadgradna – zakrenuta pod uglom 2°, (vrednosti na dijagramu se množe kalibracionim faktorom 3)

Vertikalni znakovi



Lumicurve – prosečna vrednost luminancije je $57,49 \text{ cd/m}^2$



Transcon - prosečna vrednost luminancije je $192,2 \text{ cd/m}^2$