

Univerza na Primorskem
Fakulteta za elektrotehniko

Problematika virov/svetilk z nehomogeno svetlostjo svetle površine – definicija svetle površine v LDT datoteki

CIE 232:2019:
DISCOMFORT CAUSED BY GLARE FROM LUMINAIRES WITH A NON-UNIFORM SOURCE LUMINANCE

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo

doc. dr. Matej B. Kobav

Univerza na Primorskem
Fakulteta za elektrotehniko

Uvod

- 1995 je bil vpeljan UGR za oceno (psihološkega) bleščanja zaradi razsvetljave,
- povprečna vrednost svetlosti
- *svetlost v določeni smeri je izračunana iz svetilnosti in projekcije svetle površine*




Univerza na Primorskem
Fakulteta za elektrotehniko

Uvod

LED svetila:

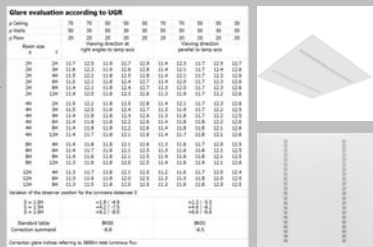
- nove oblike svetil
- veliki kontrasti v svetlosti
- UGR metoda **močno podceni** bleščanje svetil z nehomogeno svetlostjo






Uvod – primer 1

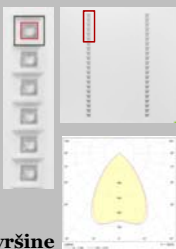
Primer
 Velikost svetle površine: 595 mm x 595 mm
 Proizvajalec navaja UGR <12!



Uvod – primer 1

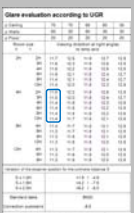
- 2 x 22 „svetlobnih virov“
- velikost leče: 14 mm x 14 mm
- velikost reflektorja z lečo: 25 mm x 25 mm
- svetla površina 1 (samo leče):
 - 28 mm x 308 mm
- svetla površina 2 (reflektor z lečo):
 - 50 mm x 550 mm

Pregled UGR za 3 primere svetle površine



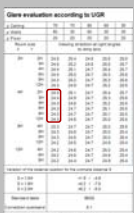
Uvod – primer 1

Original



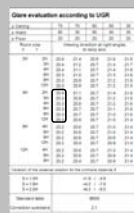
UGR<12

Samo leče



UGR >24


Reflektor + leče




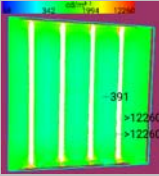
UGR>20

Uvod – primer 2

Svetilka s prizmatičnim steklom, brez notranjega difuzorja/opal stekla



Svetla površina:
528 mm x 528 mm ali
4 x 22 mm x 520 mm

Uvod – primer 2

Svetla površina: 528 mm x 528 mm 88 mm x 520 mm

Class evaluation according to UGR		Class evaluation according to UGR	
UGR	UGR	UGR	UGR
19	20	20	21
20	21	21	22
21	22	22	23
22	23	23	24
23	24	24	25
24	25	25	26
25	26	26	27
26	27	27	28
27	28	28	29
28	29	29	30
29	30	30	31
30	31	31	32
31	32	32	33
32	33	33	34
33	34	34	35
34	35	35	36
35	36	36	37
36	37	37	38
37	38	38	39
38	39	39	40
39	40	40	41
40	41	41	42
41	42	42	43
42	43	43	44
43	44	44	45
44	45	45	46
45	46	46	47
46	47	47	48
47	48	48	49
48	49	49	50
49	50	50	51
50	51	51	52
51	52	52	53
52	53	53	54
53	54	54	55
54	55	55	56
55	56	56	57
56	57	57	58
57	58	58	59
58	59	59	60
59	60	60	61
60	61	61	62
61	62	62	63
62	63	63	64
63	64	64	65
64	65	65	66
65	66	66	67
66	67	67	68
67	68	68	69
68	69	69	70
69	70	70	71
70	71	71	72
71	72	72	73
72	73	73	74
73	74	74	75
74	75	75	76
75	76	76	77
76	77	77	78
77	78	78	79
78	79	79	80
79	80	80	81
80	81	81	82
81	82	82	83
82	83	83	84
83	84	84	85
84	85	85	86
85	86	86	87
86	87	87	88
87	88	88	89
88	89	89	90
89	90	90	91
90	91	91	92
91	92	92	93
92	93	93	94
93	94	94	95
94	95	95	96
95	96	96	97
96	97	97	98
97	98	98	99
98	99	99	100

UGR~20 UGR>26

Uvod

Nekaj ni OK!

Nova definicija UGR?

Popravek obstoječega UGR?

CIE 232:2019

- Predlagana metoda natančno oceni velikost vira bleščanja.
- Temelji na slikovnem merilniku svetlosti.



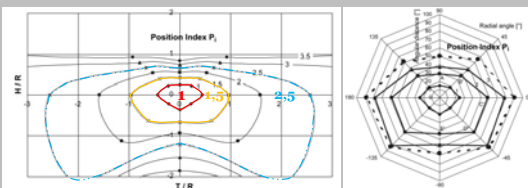
UGR

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

- L ... svetlost svetleče površine vsake svetilke v smeri opazovalčevega očesa podana v cd/m^2
- ω ... prostorski kot (v steradianih) svetlečega dela vsake svetilke glede na opazovalčevo oko
- L_b ... svetlost ozadja v cd/m^2 , izračunana iz izraza E_{ind}/π , kjer je E_{ind} vertikalna indirektna osvetljenost na opazovalčevem očesu
- p ... indeks položaja vira bleščanja (odmik vira od linije pogleda)

UGR

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad p \dots \text{indeks položaja vira bleščanja (odmik svetilke od linije pogleda)}$$



UGR podoben DGP (daylight glare probability)

SIST EN 17037:2019: Dnevna svetloba v stavbah

$$DGP = 5,87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 9,18 \cdot 10^{-2} \cdot \log \left(1 + \sum_i \frac{L_{v,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^2 (L_p^2)} \right) + 0,16$$

P...kazalnik položaja vira bleščanja [-]

UGR

UGR deluje:

- za vire velikosti od 0,0003 sr do 0,1 sr (kvadraten vir velikosti od 5 cm do 1 m na razdalji 3 m)
- svetlost vira vsaj 500 cd/m²

Kaj vse vpliva na UGR?

Kontrast svetlosti

Definiran kot:

- L_{min} / L_{max} (razmerje svetlosti)
- $\Delta L / L_{avg}$ (Webrov kontrast)
- $(L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$ (Michelsonov kontrast)
- L_{avg} / L_{max} (enakomernost svetlosti)

kjer:

$$\Delta L = L_{vira} - L_{okolice}$$

Vpliv kontrast svetlosti

Ugotovitev:

Manjša kot je enakomernost svetlosti, večje je bleščanje.



- majhno razmerje med površino LED in ostalo svetilko (majhne LED, majhno število LED in visok gradient svetlosti),
- visoka svetlost LED,
- visoko razmerje svetlosti med LED in bližnjo okolico,

Vpliv velikosti LED in števila LED

Ugotovitev:

Manjše kot je število LED, večje je bleščanje.

Manjša kot je velikost LED, večje je bleščanje.



Vpliv razdalje med LED

Ugotovitev:

Centralni vid:
Bleščanje je večje, če se povečuje razdalja med LED do $0,14^\circ$. Večja razdalja med LED ne vpliva na bleščanje.

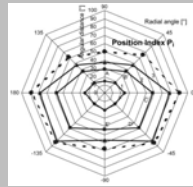
Periferni vid:
Na bleščanje vplivata kot in razdalja med LED. Če je razdalja med LED večja od ločljivosti (na tem delu mrežnice), je bleščanje večje kot, če je razdalja med LED manjša od ločljivosti.



Vpliv kota/položaja LED

Ugotovitev:

Razlika med homogenimi in nehomogenimi viri pri bleščanju je večja, če je vir v centralnem vidu.



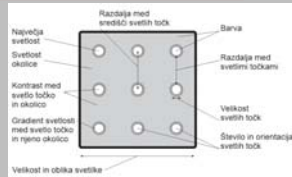
Bolj kot se vir oddaljuje od centra, manjša je razlika med homogenimi in nehomogenimi viri.

Vpliv svetlosti ozadja

Ugotovitev:

Večja kot je svetlost ozadja, manjše je bleščanje.

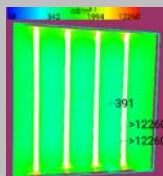
Svetlost ozadja je že v enačbi za UGR.



Merjenje nehomogenih virov bleščanja

Nujna uporaba:

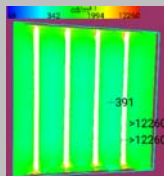
- slikovnih merilnikov svetlosti
- naprav za HDR slikanje
- analizatorjev svetlosti



Pristopi za spremembo UGR

Štiri možnosti:

- sprememba glede indeksa položaja,
- sprememba glede povprečne svetlosti,
- sprememba glede svetle površine (izražena s prostorskim kotom),
- sprememba celotne formule za UGR.



Sprememba glede indeksa položaja

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Številka 2 se nadomesti z novim parametrom, ki je odvisen od **kontrasta svetlosti**, **števila LED**, **enakomernosti svetlosti**, **vzorca neenakomernosti**.

Sprememba glede povprečne svetlosti

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

L se nadomesti z „**effective luminance**“, ki je produkt **povprečne svetlosti** in **faktorja ekvivalentne svetlosti**.

Sprememba glede svetle površine

$$UGR = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

Svetla površina svetilke se nadomesti z „**efektivno svetlo površino**“ s pomočjo mejnih vrednosti kontrasta ali svetlosti (npr. 500 cd/m²).

Popravek enačbe za UGR

$$UGR' = 8 \cdot \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum k^2 \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

k ... parameter korekcije enakomernosti

in lahko predstavlja:

- vpliv položaja indeksa položaja,
- vpliv povprečne svetlosti,
- vpliv svetle površine,
- spremembo celotne formulacije UGR.

Priporočena metoda določitve parametra korekcije

$$UGR' = 8 * \log \left[\frac{0,25}{L_b} \sum k^2 \frac{L_s^2 \omega}{p^2} \right] \quad UGR' = UGR + 8 * \log k^2$$

$$k^2 = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega}$$

$$UGR' = UGR + \Delta UGR$$

$$UGR' = UGR + 8 * \log \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega}$$

kjer je:

- L_{eff} efektivna svetlost
- ω_{eff} prostorski kot efektivne svetle površine
- L_s povprečna svetlost svetle površine (tradicionalni UGR)
- ω prostorski kot svetle površine (tradicionalni UGR)

Priporočena metoda določitve parametra korekcije

Določitev efektivne svetlosti in efektivne svetle površine

1. korak 2 ali 4 slike svetlosti visoke resolucije (50° in 65° od normale, prečno in vzdolžno)*	2. korak Uporabi filter (blur) za resolucijo človeškega očesa (glajenje z Gaussovimi filtrom z 12 mm FWHM)	3. korak Odstrani točke, kjer je svetlost manj kot 500 cd/m2	4. korak Seštej vse površine in povprečno svetlost, kjer je svetlost večja od mejne vrednosti	5. korak Združi vse manjše vire v enega s projekcijo efektivne površine in z efektivno svetlostjo
---	--	--	---	---

* samo „worst-case“ scenarij, če je svetilka cut-off, samo pri kotu 50°!

Priporočena metoda določitve parametra korekcije

1. korak: 2 ali 4 slike svetlosti visoke resolucije (50° in 65° od normale, prečno in vzdolžno)

Priporočena metoda določitve parametra korekcije

Določitev efektivne svetlosti in efektivne svetle površine

$$k^2 = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega}$$

UGR (1995) se ne računa iz svetlosti, ampak iz svetilnosti (v podani smeri) in projekcije svetle površine (v podani smeri)

kjer je:

- L_{eff} efektivna svetlost
- ω_{eff} prostorski kot efektivne svetle površine
- L_s povprečna svetlost svetle površine (tradicionalni UGR)
- ω prostorski kot svetle površine (tradicionalni UGR)

Določimo iz slik svetlosti

Priporočena metoda določitve parametra korekcije

L_{eff} efektivna svetlost
 ω_{eff} prostorski kot efektivne svetle površine **Določimo iz slik svetlosti**
 L_s povprečna svetlost svetle površine (tradicionalni UGR)
 ω prostorski kot svetle površine (tradicionalni UGR)

$$L_s = \frac{I}{A_p} \quad \omega = \frac{A_p}{r^2} \quad k^2 = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega} = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff} r^2 A_p}{I^2} = 1$$

kjer je:
 I svetilnost vira v smeri opazovalca
 A_p projekcija svetle površine svetilke **Žal to ne velja za nehomogene svetilke!**
 r razdalja med svetilko in opazovalcem **Za homogene svetilke: k=1**

Priporočena metoda določitve parametra korekcije

Za nehomogene svetilke:

$$A_{p,nova} = \frac{I^2}{L_{eff}^2 \omega_{eff} r^2} = \frac{I^2}{L_{eff}^2 A_{p,eff}}$$

kjer je:
 $A_{p,eff}$ projekcija efektivne svetle površine svetilke

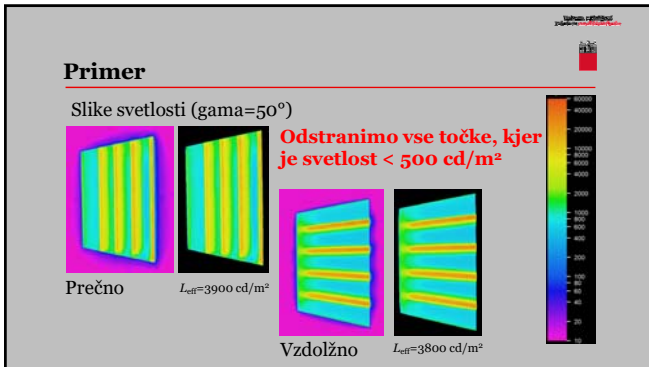
Proizvajalcem, ki definirajo svetlo površino v LDT datoteki na zgornji način, ni treba korigirati enačbe za UGR!

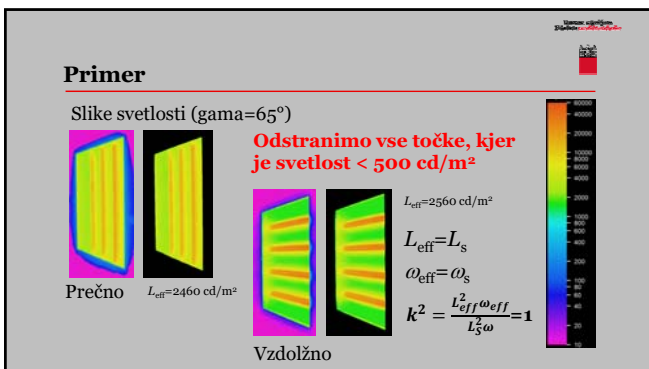
~~UGR' = UGR + Δ DGR~~

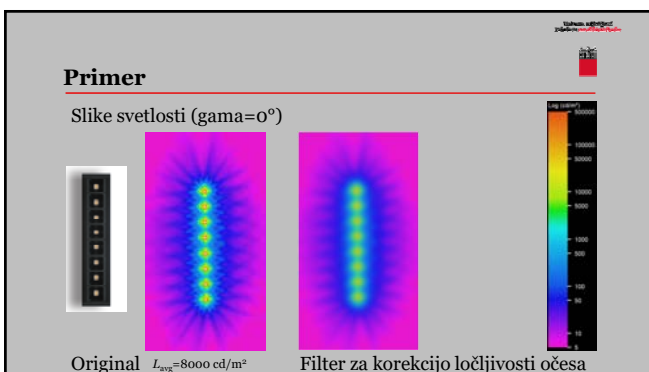
Primer

Slike svetlosti (gama=0°)

Original $L_{avg}=4300 \text{ cd/m}^2$ Filter za korekcijo ločljivosti očesa







Primer – slike svetlosti

gama=50°

$L_{eff} = 4.1 \text{ cd/m}^2$

gama=65°

$L_{eff} = 2.4 \text{ cd/m}^2$

Odstranimo vse točke, kjer je svetlost < 500 cd/m² ????

Določimo efektivno svetlost in efektivno svetlo površino!

$L_{eff} = 2.4 \text{ cd/m}^2$
 $\omega_{eff} = 0 \text{ sr}$

Primer

$L_{eff} = 2.4 \text{ cd/m}^2$
 $\omega_{eff} = 0 \text{ sr}$

$UGR' = UGR + 8 * \log k^2$

$k^2 = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega} = 0$

~~$UGR' = UGR + \Delta UGR$~~
????

kjer je:

- L_{eff} efektivna svetlost
- ω_{eff} prostorski kot efektivne svetle površine
- L_s povprečna svetlost svetle površine (tradicionalni UGR)
- ω prostorski kot svetle površine (tradicionalni UGR)

Zaključek

- Tehnično poročilo CIE 232:2019 podaja metodo za bolj realni UGR za nehomogene svetilke.
- Dobro deluje za svetilke s ploskovno svetlo površino.
- Slabše deluje za „3D“ svetilke, kjer so svetlobni viri „skriti“ in se jih pri „worst-case“ kotih (50° in 65°) ne vidi.
- Z uporabo ULD datotek, ki so natančni 3D objekti, se **verjetno** ta problem reši.

University of Applied Sciences
Ljubljana

Hvala!

Vprašanja?
