

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za *elektrotehniko*
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo



PRAKTIKUM

ZA
PREDMET

RAZSVETLJAVA

Študent(ka): _____

Študijsko leto poslušanja: 2010/11

Datum pregleda vaj: _____

Predlagana ocena vaj: _____

Podpis ocenjevalca: _____

Pripravila:
doc. dr. Grega Bizjak in
as. dr. Matej B. Kobav

<http://lrf.fe.uni-lj.si>

Ljubljana, 2011

VAJA 1A

Vizualno merjenje svetilnosti vira svetlobe $I(\text{cd})$

Z izrazom »fotometrija« označujemo merjenje veličin, ki jih dogovorno vrednotimo po vidnih vtisih, ki jih povzroča vidno sevanje (svetloba). Osnova za samo merjenje je fiziološko delovanje človeškega očesa, oziroma njegova spektralna občutljivost pri fotopskem (dnevem) videnju.

Fotometrijo delimo glede na princip oziroma izvedbo meritev na:

- vizualno fotometrijo,
- fizikalno fotometrijo.

Vizualna fotometrija je merjenje svetlobnotehničnih (fotometričnih) veličin s postopki, pri katerih je človeško oko neposredno vključeno v merilni proces. Ta oblika fotometrije, ki jo imenujemo tudi »subjektivna fotometrija«, temelji na primerjalni metodi, pri kateri na vizualni način primerjamo neznano (merjeno) veličino z znano (referenčno) veličino; to primerjavo je mogoče izvesti na osnovi enake sijavosti, enakega kontrasta ali enakega migetanja. Merilne instrumente, ki jih pri tem uporabljamo, imenujemo vizualne fotometre. Princip delovanja le-teh pa je naslednji:

Oko opazuje neko »primerjalno ploskev« - sadro, ki jo izmenoma osvetljujejo znano (referenčno) in neznano (merjeno) sevanje. Na osnovi sijavosti, enakega kontrasta, ali enakega migetanja obeh sevanj nato določimo vrednost merjene veličine.

Najbolj pogost način vizualnega merjenja svetilnosti je po Lummer-Brodhunovi primerjalni metodi, ki temelji na zakonu fotometrične razdalje:

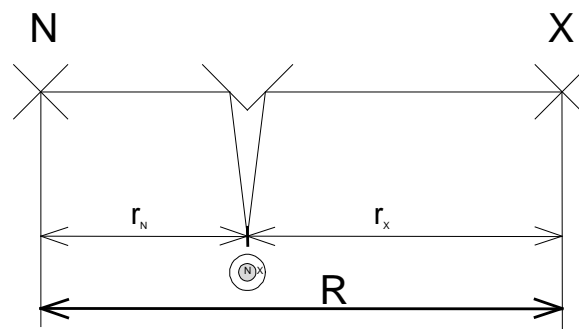
$$E = \frac{I \cdot \cos \varepsilon}{r^2} \cdot sr \Rightarrow \text{izrazimo } I = E \cdot r^2 \text{ za } \varepsilon = 90^\circ \text{ in } sr = 1$$

Primerjava pri pravokotnem vpadu svetlobe:

$$\frac{E_X}{E_N} = \frac{r_N^2}{r_X^2}$$

Princip merjenja po metodi slabitve

Opazovani pogoji: difuzni, refleksni zaslon



$$\text{če } x = n \text{ bo } L_X = L_N \Rightarrow I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{r_N^2} \qquad I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{(R - r_X)^2}$$

MERJENJE

Vira sta pritrjena (med njima je stalna razdalja), premikamo samo Lummer-Brodhunov fotometer (škatlico v kateri je sadra). Ko imamo občutek, da je sadra enako osvetljena od obeh virov, odčitamo razdaljo med sadro in izviro, ter izračunamo svetilnost danega vira.

Zaradi različne občutljivosti oči opravimo več meritev, ter iz njih izračunamo povprečno vrednost.

Pri merjenju stresano svetlobo zastiramo z zaslonkami.

Rezultati meritev

merilna razdalja $R = 200 \text{ cm}$ napetost omrežja $U = 230 \text{ V}$ svetilnost normale $I_N =$

testna žarnica: _____

Neznano svetilnost izračunamo po enačbi: $I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{(R - r_X)^2}$ oziroma: $I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{r_N^2}$

št.	merilec	r_N (cm)	r_X (cm)	I_X (cd)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
PV	povprečna vrednost	-----	-----	

Rezultat meritev po subjektivni metodi (povprečna vrednost) $I_{sub} =$

Povprečna svetilnost osebno izmerjenih meritev: $I_{oseb} = \frac{I_{oseb1} + I_{oseb2}}{2} =$

Odstopanje osebno izmerjene vrednosti od povprečne vrednosti:

$$\Delta I = I_{sub} - I_{oseb} =$$

$$\Delta I\% = \frac{I_{sub} - I_{oseb}}{I_{sub}} \cdot 100\% =$$

KOMENTAR:

VAJA 1B**Fizikalno merjenje svetilnosti vira svetlobe**

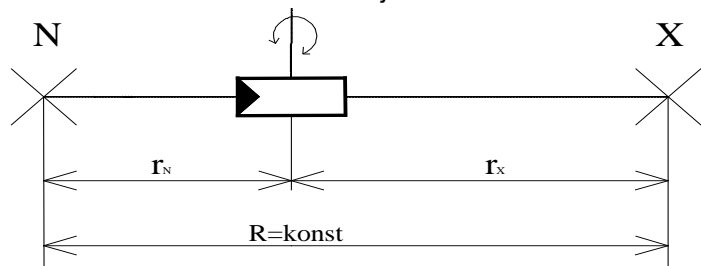
Fizikalna fotometrija je merjenje svetlobnotehničnih (fotometričnih) veličin s fizikalnimi sprejemniki. To so posebni elementi, ki pod vplivom sevanja povzročijo merljiv fizikalni učinek. Iz navedenega izhaja, da se fizikalna fotometrija loči od vizualne le po tem, da človeško oko zamenja fizikalni sprejemnik, ki je občutljiv na svetlobo.

Merilne instrumente in naprave, ki jih uporabljamo v fizikalni fotometriji, imenujemo fizikalne fotometre. Osnovni element slehernega fizikalnega fotometra je tako imenovani fizikalni sprejemnik. Pri merjenju svetlobnotehničnih veličin v glavnem uporabljamo fizikalne sprejemnike, ki jih imenujemo fotoelementi. To so sprejemniki, ki imajo lastnost, da vidno sevanje (svetlobo) spreminjajo v električno energijo. Pojav, ki spremlja to spreminjanje, imenujemo »fotoefekt«. Le-ta je v fizikalnem smislu definiran kot medsebojni vpliv (učinek) med sevanjem in materijo, ki ga označujeta absorpcija fotonov in nastanek prostih elektronov.

Pri Vaji 1 smo za ugotavljanje enakosti osvetljenosti sadre od znanega in neznanega vira uporabljali oko. Pri tej vaji bomo sadro in naše oko zamenjali s fotoelementom, ki ga bomo vstavili namesto sadre med normalo in med merjenca. Izhodna veličina fotoelementa je električni tok, ki je premo sorazmeren osvetljenosti na sprejemniku. Tok je izredno majhen, zato ga merimo z μA -metrom. Pri fiksirani normali in merjencu premikamo fotoelement do izenačenja odčitkov iz obeh smeri.

$$E_N = E_X$$

$$I_X = I_N \cdot \frac{r_X^2}{r_N^2}$$



Pri meritvi je razdalja R med normalo in merjencem konstantna.

Rezultati meritev

merilna razdalja $R = 200 \text{ cm}$

napetost omrežja $U_{\text{omr}} = 230 \text{ V}$

svetilnost normale $I_N = \text{---} \text{ cd}$

št.	r_N (cm)	r_X (cm)	I_X (cd)
1			
2			
3			
4			
5			
PV	-----	-----	

Rezultat objektivne meritve

$$I_{\text{obj}} = \text{---} \text{ cd}$$

Rezultat meritev po subjektivni metodi (rezultat iz vaje 1a)

$$I_{\text{sub}} = \text{---} \text{ cd}$$

Primerjava subjektivne z objektivno meritvijo:

$$I_{\text{sub}} - I_{\text{obj}} = \text{---} \text{ cd}$$

Odstopanje subjektivne metode od objektivne:

$$\frac{I_{\text{sub}} - I_{\text{obj}}}{I_{\text{obj}}} \cdot 100\% = \text{---} \%$$

KOMENTAR:

VAJA 2

VPLIV BARVE SVETLOBE NA VZORCE BARVE - BARVNA REPRODUKCIJA

Prikaz vzorčnih trakov iz kolaža, ki so osvetljeni z naslednjimi vrstami barv svetlobe:

- žarnica (temperatura barve: 2800 K),
- fluorescentna sijalka dnevno bele svetlobe (temperatura barve: 6500 K),
- fluorescentna sijalka bele svetlobe (temperatura barve: 3800 K),
- fluorescentna sijalka tople svetlobe (temperatura barve: 2940 K),

RAZLAGA

Barvni videz osvetljenega predmeta - barva telesa je v osnovi odvisna od spektralne porazdelitve sevanja svetlobnega vira, ki osvetljuje predmet. Torej je spektralna porazdelitev sevanja osnovni vzrok za različni barvni videz osvetljenih predmetov (objektov). Za označevanje učinka neke vrste svetlobe na barvni videz predmetov, ki jih ta svetloba osvetljuje, uporabljamo izraz barvna reprodukcija. Pri svetlobnih virih je barvna reprodukcija definirana kot učinek sevanja (nekega svetlobnega vira) na barvni videz predmetov, ki jih osvetljuje, v primerjavi z barvnim videzom istih predmetov, osvetljenih s primerjalno vrsto svetlobe. Na splošno vzeto torej barvna reprodukcija označuje zvezo med reproducirano in naravno barvo.

Temperatura barva svetlobe



Podkev najprej segrejeemo na temperaturo 900 K (a). Pri tej temperaturi začne žareti v temno rdeči barvi. Ko se temperatura podkve poveča na 1500 K do 2000 K, začne žareti v rumeno-rdeči barvi (b). Z višanjem temperature preko 3000 K, začne oddajati rumeno-belo (c) barvo (enaka barva kot barva žarilne nitke v žarnici). Če bi temperaturo podkve še naprej povečevali, bi pri 5000 K začela žareti v belo-modri barvi (d), kot je barva dnevne svetlobe.

Na vzorčni plošči imamo barvne kolaže osnovnih barv, pa vendar izgleda kot bi imeli 30 različnih barv oziroma odtenkov. Različni odtenki nastanejo zaradi *zaznavnega barvnega pomika vrste svetlobe*, ki ga povzroči vsak svetlobni vir s katerim je trak osvetljen. Barvni premik lahko povzroči tvegano primerjanje barvnih odtenkov predvsem notranje opreme in oblačil, kadar si ogledujemo predmet pri drugačni svetlobi od tiste s katero bo kasneje osvetljen. Pri tem moramo paziti na barvo svetlobe in moč svetlobnega vira.

Posebno pozornost moramo nameniti fenomenu »metamerizem«. Dve barvi se lahko ujemata pod enim izvorom svetlobe, pod drugim izvorom svetlobe, pa sta lahko popolnoma drugačni. Pri obeh barvah je prišlo do *zaznavnega barvnega pomika* vendar ne v isti smeri.

KOMENTAR:

VAJA 3

LUMINISCENČNO SEVANJE

Barvni praški

Prikaz treh praškov, ki sestavljajo 3-pasovno fluorescenčno sijalko, ko so osvetljeni z UV svetlobo.

Imamo naslednje praške:

Y_2O_3 – rdeča (611 nm) $MgAl_{11}O_{19}$ – zelena (543 nm) $Mg_2Al_6O_{27}$ – modra (450 nm)

Na zaslonu so v zgornji vrsti osnovni praški, v srednji vrsti kombinacije po dveh praškov in v spodnji vrsti kombinacija vseh treh praškov.

Barvne sijalke

V svetilki z opalno kapo imamo sijalke treh osnovnih barv: rdeče (610 nm), modre (460 nm) in zelene (540 nm).

S pomočjo stikal na kapi ugotovite barve svetlobe pri prižganih različnih kombinacijah sijalk.

Svetilke z barvnimi filtri

Na steni so tri svetilke s halogenskimi žarnicami. Na vseh treh so nameščeni filtri, ki prepuščajo le eno barvo (rdečo, zeleno ali modro). S pomočjo gumbov lahko nastavimo poljubno kombinacijo barv in le-te opazujemo na belem zaslonu. Mešanje barv s svetlobo rečemo »aditivno mešanje barv«.

RAZLAGA:

Nastanek luminiscenčnega sevanja si lahko razložimo z pomočjo Bohrovega modela atoma. Okrog jedra atoma so tako imenovane orbitale, po katerih lahko krožijo elektroni. Kadar elektroni krožijo po orbitalah ne sevajo energije. Poleg atomov v snoveh obstajajo tudi prosti elektroni in pozitivno naelektreni delci (ioni), ki prav tako ne sevajo energije. Pod vplivom zunanje energije (električno polje, toplota, UV svetloba) se prosti elektroni in ioni začnejo premikati in na svoji poti zadevati v atome. Posledica teh trkov je vzbujanje atomov. To je pojav, pri katerem elektron v atomu zaradi trka skoči iz kvantnega (notranjega) tira na zunanji tir, katerega energijski nivo je višji. Vendar pa izbiti elektron ne ostane na tem tiru, ampak se zelo hitro spet vrne na prvotni tir (z nižjim energijskim nivojem). Pri tem skoku se sprosti elektromagnetna energija, ki jo atom odda (izseva) v obliki svetlobnega kvanta - fotona.

Energija fotona je enaka razliki energij, ki pripadata obema tirova. Ker so tiri in energijski nivoji točno določeni za sleherno snov, nastajajo pri razelektrenju samo fotoni točno določene energije in s tem valovne dolžine:

$$\lambda = \frac{h}{E_2 - E_1}$$

Kjer je:

λ valovna dolžina fotona,

h Planckova konstanta ($6,6261 \cdot 10^{-34}$ Js),

E_2, E_1 energijska nivoja orbital.

To pa pomeni, da ustreza v spektru sevanja vsakemu, tako nastalemu, fotonu načelno le ena spektralna črta (linija); iz tega izhaja, da je torej za pojav razelektrenja v plinih, parah in kovinskih oksidih značilen linijski - črtni spekter. Spektralne črte, ki pri tem nastanejo, so lahko zelo različne in so v osnovi odvisne od kemijske sestave plina, pare ali oksida, ne pa od dovedene energije.

V prvem primeru imamo na podlago nanešene kovinske okside, katerim dovajamo energijo s pomočjo UV svetlobe.

V drugem primeru pa fluorescenčno sijalko napajamo z električnim tokom. V sijalki pride do razelektrenja plina in posledica je oddajanje UV svetlobe. UV svetlobo s pomočjo oksidov, ki so naneseni na notranjo stran fluorescenčne cevi spremenimo v vidno svetlobo določene valovne dolžine.

V tretjem primeru pa dodajamo svetlobo, ki prihaja do zaslona preko filtrov.

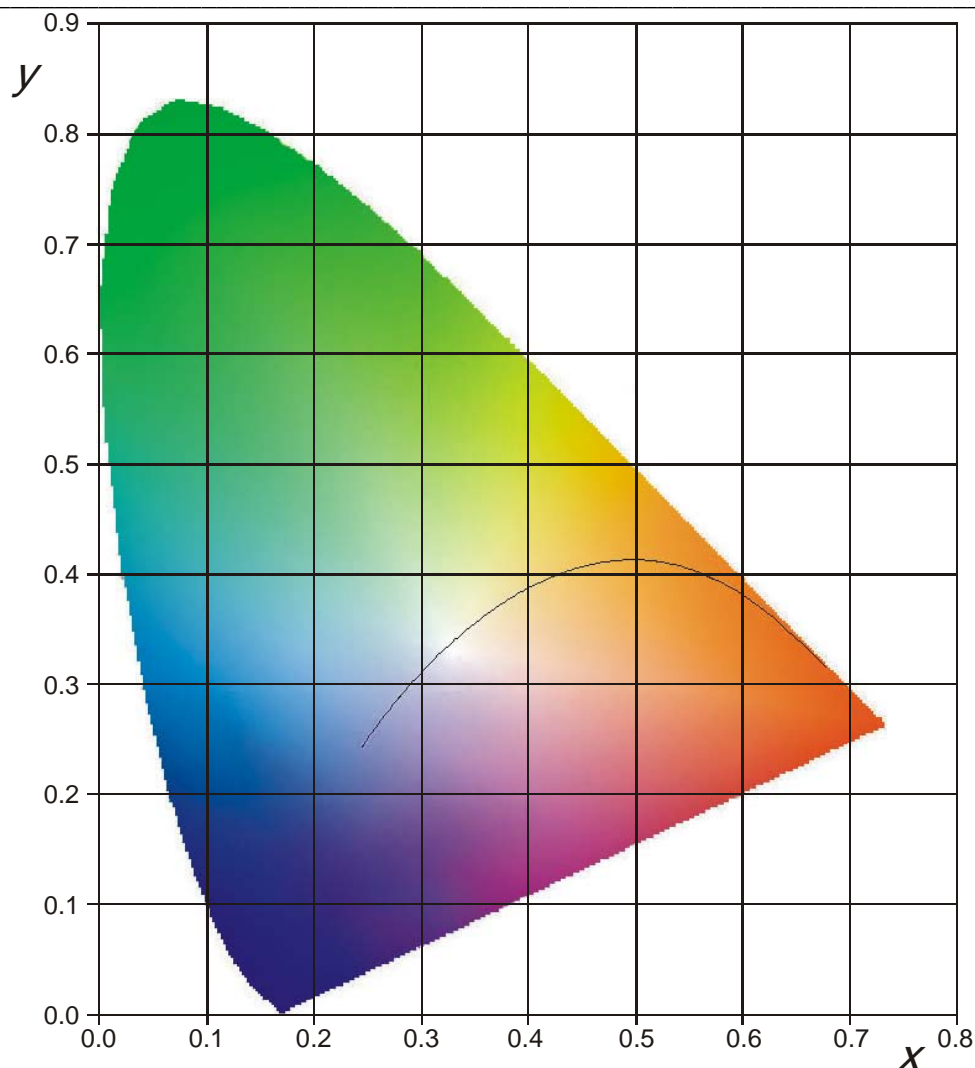
Rezultati meritev

Določimo vrednosti x, y koordinate in temperaturo barve v Kelvinih vseh barv in kombinacij. Merimo v oddaljenosti cca. 1 metra od svetilke.

	prižgane cevi	barva	x	y	temp. barve [K]
B	modra	modra			
G	zelena	zelena			
R	rdeča	rdeča			
BG	modra+zelena				
BR	modra+rdeča				
GR	zelena+rdeča				
RGB	modra+zelena+rdeča				

Vrišimo še točke na spodnji graf in jih tudi označimo!

KOMENTAR:



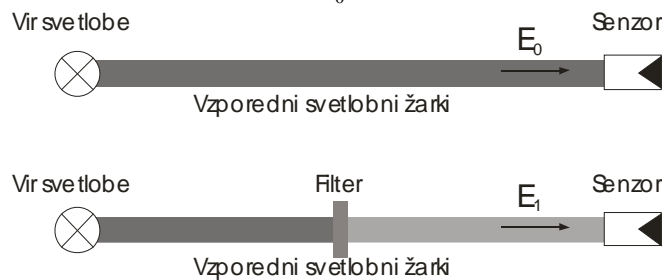
VAJA 4

MERITEV PRESEVNOSTI

Presevnost materiala je lastnost, ki nam pove koliko svetlobe pride skozi material. Poznamo materiale, katerih preseвне lastnosti izkoriščamo s pridom (fotografski filtri, avtomobilska stekla...), pri nekaterih materialih pa si želimo, da bi bila njihova presevnost 100%. Presevnost je odvisna od barve svetlobe (valovne dolžine), ki prehaja skozi material in od debeline materiala.

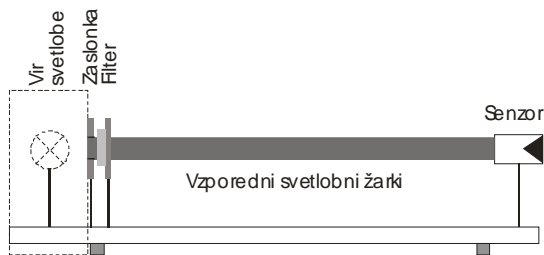
Definirana je kot razmerje vstopne in izstopne energije. Pri današnji vaji bomo izračunali preseвне lastnosti tako za celoten vidni del svetlobe (v spektru od 380 do 780 nm), kot tudi za vidni del svetlobe glede na občutljivost človeškega očesa.

$$\tau = \frac{E_1}{E_0} \cdot 100\%$$



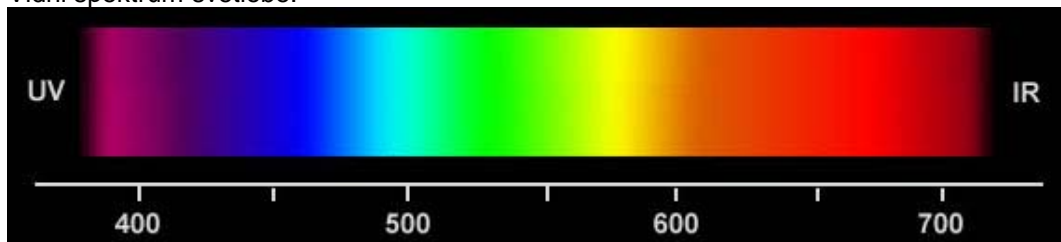
Merjenje:

Po spodnji skici izvedite meritve za različne filtre, izračunajte presevnost in narišite barvne točke posameznih filtrov v graf.

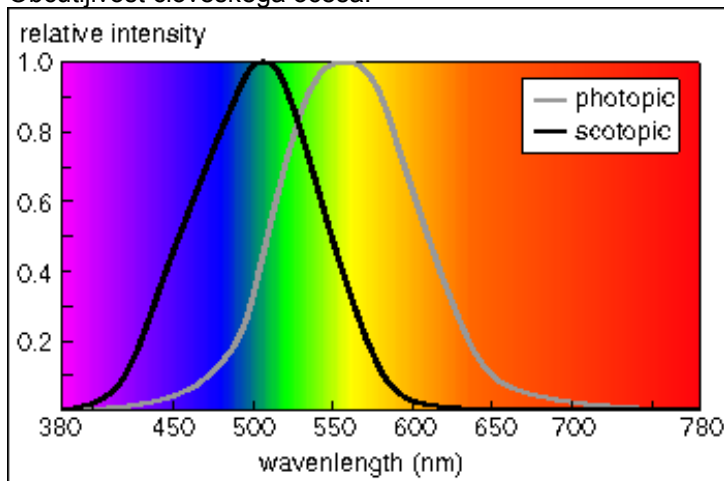


$$\tau = \frac{L_{Filter}}{L} \cdot 100\%$$

Vidni spektrum svetlobe:



Občutljivost človeškega očesa:

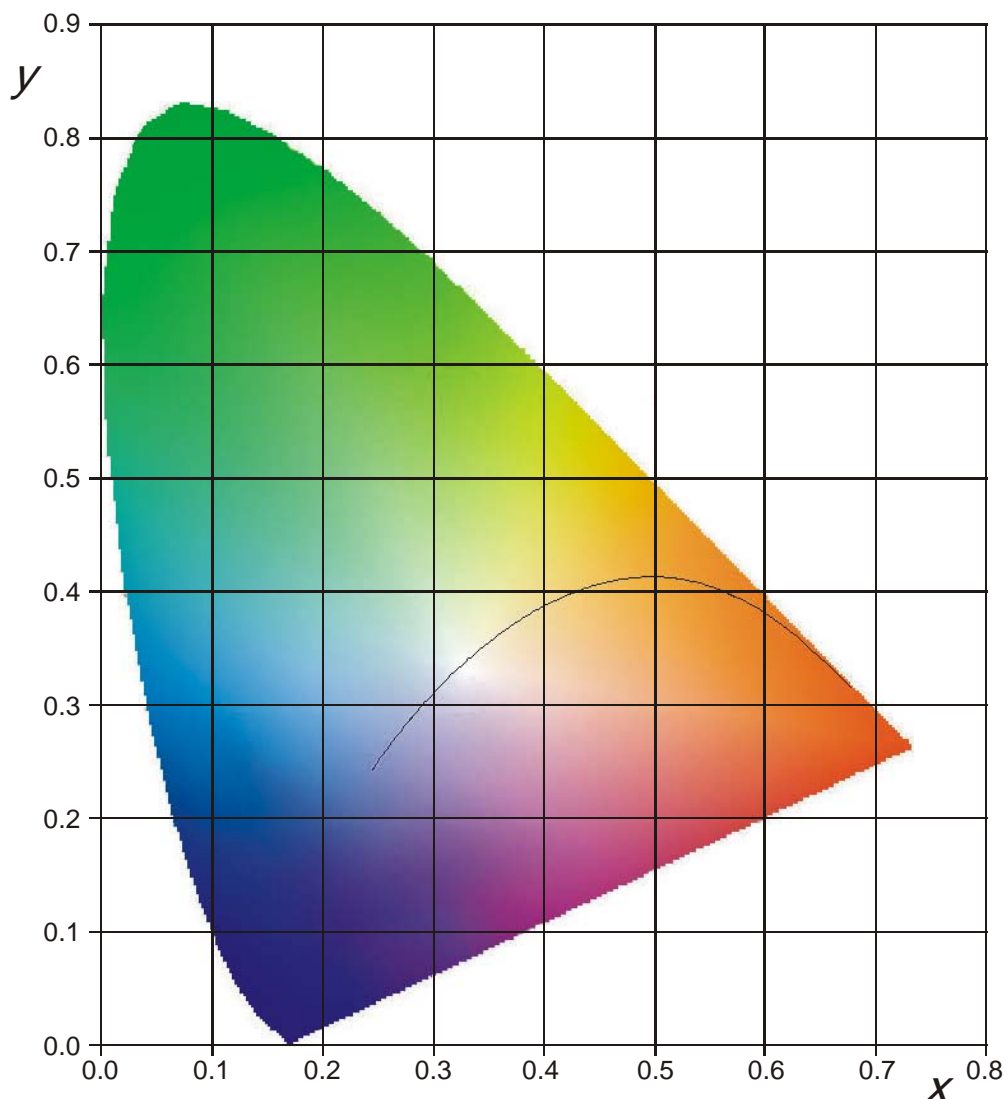


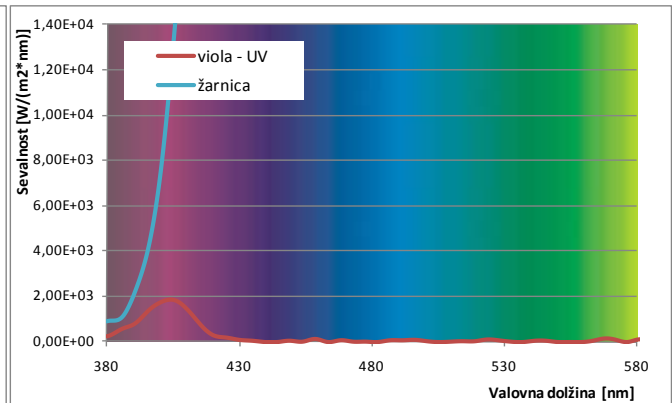
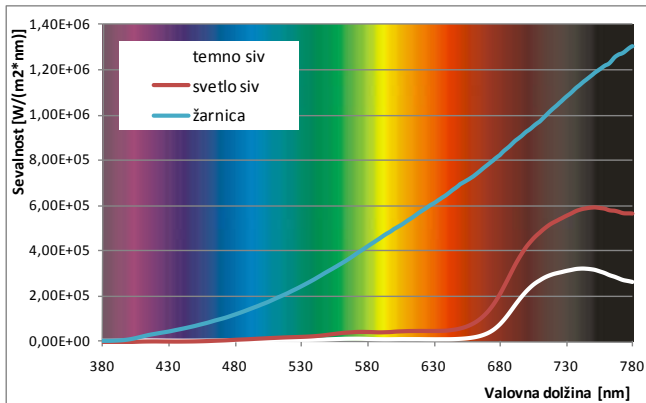
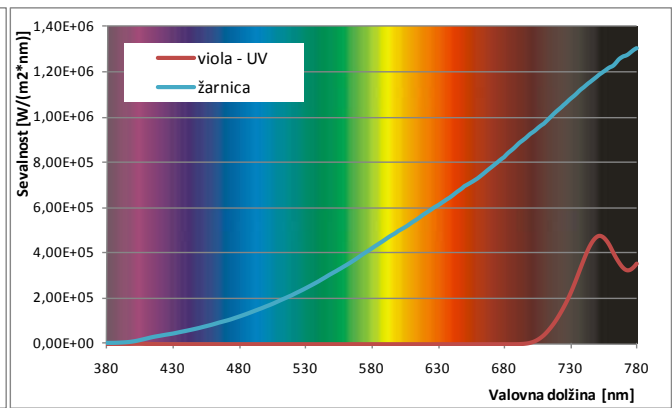
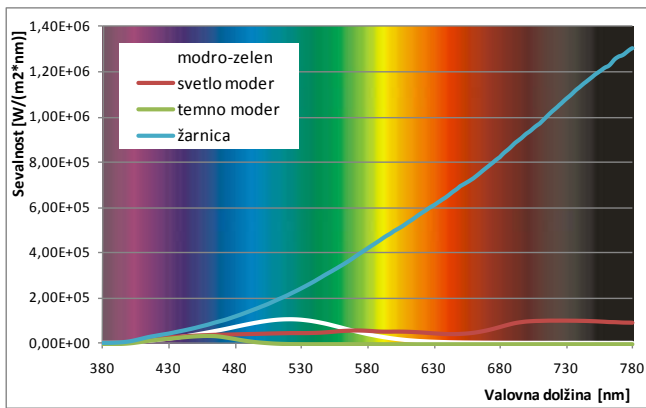
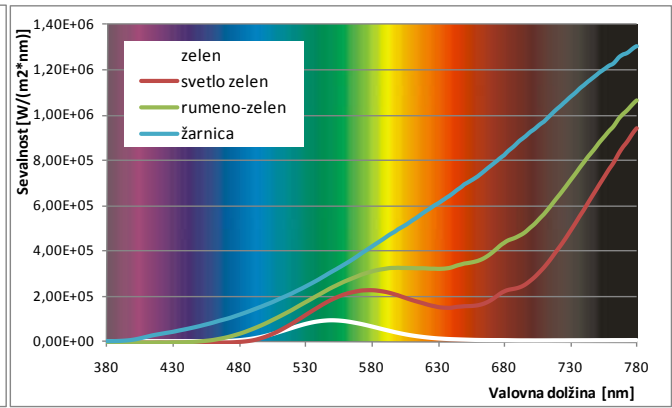
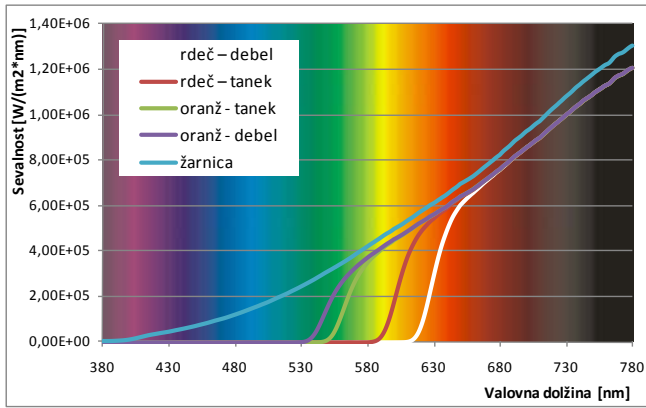
Rezultati meritev

Določimo vrednosti x , y , temperaturo barve v kelvinih ter svetlost skozi senzor za vse filtre. S pomočjo svetlosti izračunajte še presevnost po enačbi na prejšnji strani.

št.	filter	Koordinate v CIE xyz trikromatskem zapisu		Temperatura barve	Radiance – energijska radianca	Luminance – svetlost (vidni del spektra)	Presevnost celotnega spektra	Presevnost vidnega dela spektra
		x	y	CCT [K]	L_e [W/sr m ²]	L_v [cd/m ²]	τ_e [%]	τ_v [%]
1	-----						100	100
2	temno rdeč – debel							
3	rdeč – tanek							
4	oranž - tanek							
5	oranž - debel							
6	temno zelen							
7	srednje zelen							
8	svetlo zelen							
9	modrozelen							
10	svetlo moder							
11	moder							
12	viola							
13	temno siv							
14	svetlo siv							

Vrišimo še točke na spodnji graf in jih označimo!





KOMENTAR:

VAJA 5

Merjenje svetlobnega toka in svetlobnega izkoristka

Vsak svetlobni vir oddaja v prostor okoli sebe energijo. Svetlobni tok je celotna oddana moč sevanja svetlobnega vira, katero človeško oko ovrednoti kot svetlobo.

Svetlobni tok merimo v luminih (lm). Lumen je izpeljana enota mednarodnih merskih enot (SI). Lumen je definiran kot svetlobni tok, ki ga v prostorski kot 1 sr (steradiana) seva točkovni vir, katerega svetilnost je v vseh smereh prostora enaka 1 cd (candela)

Svetlobni tok merimo s pomočjo Ulbrichtove krogle in fotometrijske opreme.

Ulbrichtova krogla ima notranjo steno prevlečeno s posebnim premazom. Stena krogle ima odprtino, v kateri je nameščen fotoelektrični sprejemnik. V notranjosti krogle je nameščen tudi zaslon, ki prepreči, da bi merjeni svetlobni vir neposredno seval na opazovalno okence.

Fotoelektrični sprejemnik meri osvetljenost, ki je pri določenih pogojih premo sorazmerna svetlobnemu toku vira. Na ta način lahko merimo neznani svetlobni tok, če je naprava umerjena na neko svetlobno normalo (referenčni svetlobni vir).

Fotometrijska oprema je lx-meter oz. v našem primeru fotoelement in μA -meter

Pogoji, da je osvetljenost proporcionalna svetlobnemu toku predvidevajo, da je ρ (refleksivnost) konstantna po vsej notranjosti krogle in da je površina idealno difuzna. Dodatno v enačbah predvidevamo, da je krogla popolnoma prazna, in da od stene odbit svetlobni tok neovirano prihaja do fotoelementa. Prisotnost svetlobnega vira končnih dimenzij v notranjosti krogle predstavlja motnjo oz. kršitev teh pogojev. Poleg tega je motnja tudi okno za namestitev fotoelementa in tudi zaslon, ki preprečuje direkten svetlobni tok na fotoelement. Za izničenje teh motenj v kroglo dodamo še pomožno žarnico.

V razsvetljavnih napravah uporabljamo različne vire svetlobe. Viri so različni po delovanju, barvi svetlobe in po svetlobnem izkoristku. Za javno razsvetljavo se uporabljajo v glavnem viri, ki imajo visok svetlobni izkoristek. Na vaji izmerimo svetlobni izkoristek naslednjim virom: navadna žarnica, halogenska žarnica, fluorescentna sijalka, NT Na sijalki, VT Na sijalki, VT Hg sijalki, metalhalogenidni sijalki, viru za mešano svetlobo in LED. Svetlobni izkoristek je razmerje med oddanim svetlobnim tokom in prejeto električno močjo. Izračunamo pa s pomočjo spodnje enačbe:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}$$

Pred izračunom svetlobnega izkoristka pa moramo vsem virom izračunati svetlobni tok.

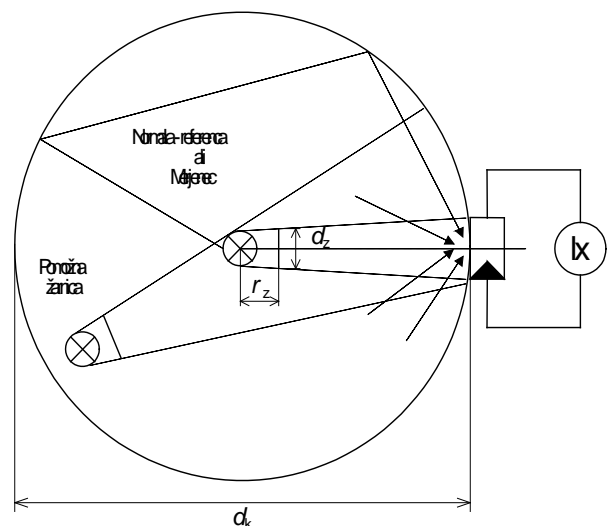
Ker imamo na fotoelement vezan μA -meter bomo operirali kar s tokom in ne z osvetljenostjo. Vemo namreč, da sta tok skozi fotoelement in osvetljenost linearno odvisni. Pri meritvi pazimo na napetost, ki je priključena na svetlobni vir, da se držimo deklariranih vrednosti.

Postopek meritve svetlobnega toka:

V Ulbrichtovi krogli prižgemo *normalo*, katere svetlobni tok ϕ_{norm} je znan in izmerimo tok i_{norm} skozi fotoelement, nato ugasnemo *normalo*. Odstranimo *normalo* in v kroglo vstavimo *merjenec*, ga prižgemo ter izmerimo tok i_{mer} . Nato se lahko lotimo izračuna svetlobnega toka merjenca:

$$\Phi_{mer} = \Phi_{norm} \cdot \frac{E_{mer}}{E_{norm}} = \Phi_{norm} \cdot \frac{i_{mer}}{i_{norm}}$$

Pri tem pazimo, da se svetlobni vir segreje do nazivne vrednosti. Poleg tega merimo tudi električne veličine (napetost, tok, moč).



Rezultati meritev $\phi_{norm} =$ lm svetlobni tok normale $i_{norm} =$ μ A tok skozi fotoelement, ko je prižgana normala

svetlobni vir	oznaka vira/moč
žarnica	
halogenska žarnica	
fluorescentna sijalka	
NT Na sijalka	
VT Na sijalka	
VT Hg sijalka	
metalhalogenidna sijalka	
sijalka za mešano svetlobo	
LED	

svetlobni vir	napetost	tok skozi svetlobni vir	navidezna moč	delovna moč	faktor moči	tok skozi fotoelement - merjenec	svetlobni tok	svetlobni izkoristek
	U [V]	I [A]	S [VA]	P [W]	cos φ	i_{mer} [μ A]	ϕ (lm)	η [lm/W]
žarnica								
halogenska žarnica								
fluorescentna sijalka								
NT Na sijalka								
VT Na sijalka								
VT Hg sijalka								
metalhalogenidna sijalka								
vir za mešano svetlobo								
LED								

KOMENTAR:

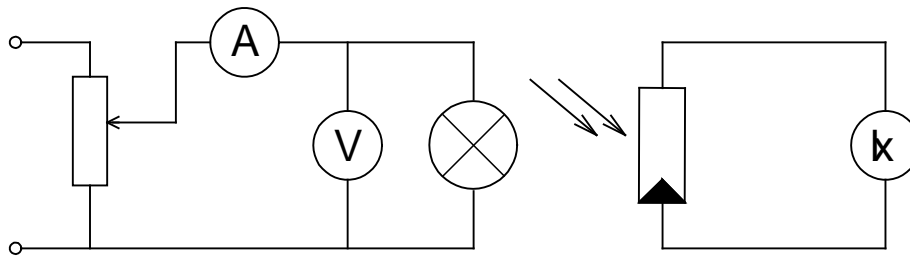
VAJA 6

Svetlobnotehnične karakteristike virov

Ugotovimo vpliv električne napetosti na svetlobnotehnične karakteristike virov svetlobe v območju od 10 % do 110 % imenske napetosti omrežja.

S spreminjanjem napetosti, ki napaja porabnik, spreminjamo moč, ki se troši na porabniku. V našem primeru je porabnik vir svetlobe. S spreminjanjem napetosti spreminjamo svetlobni tok in moč svetlobnega vira.

Meritev izvedemo po naslednji shemi:



$$P = U \cdot I \qquad \eta_{sv} = \frac{\phi}{P} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{W}} \right]$$

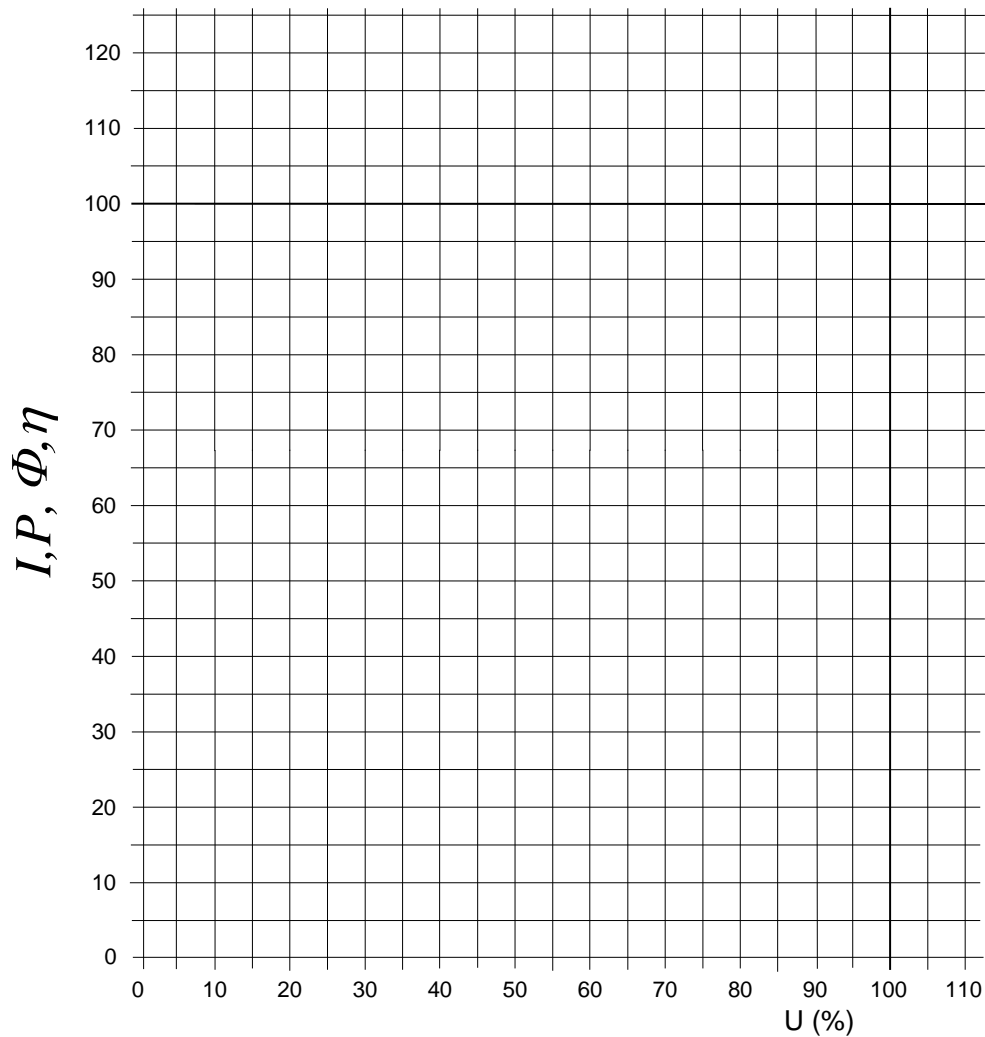
Rezultati meritev

U (V)	U (%)	I_z (A)	I (%)	P (W)	P (%)	I (μA)	Φ (lm)	Φ (%)	η_{sv} (lm/W)	η_{sv} (%)
20	8,7									
40	17,4									
60	26,1									
80	34,8									
100	43,5									
120	52,2									
140	60,9									
160	69,5									
180	78,3									
190	82,6									
200	87,0									
210	91,3									
220	95,7									
230	100,0		100,0		100,0			100,0		100,0
240	104,3									
250	108,7									

Svetlobni tok izračunamo iz toka, ki teče skozi fotoelement pri nazivni napetosti. Za električni tok vemo, da je linearno odvisen od svetlobnega toka. Svetlobni tok pri poljubni napetosti izračunamo po naslednji enačbi:

$$\Phi_{U=x} = \frac{I_{I=x}}{I_{I=230V}} \cdot \Phi_{U=230V}$$

Narišimo še graf odvisnosti toka (I), moč (P), svetlobnega toka (Φ) ter izkoristka (η) od napetosti (U).



Svetlobni tok in moč, ki se porablja na svetlobnem viru, nista premo sorazmerna.

Izračunaj (ali odčitaj iz grafa) kakšno moč (glede na nazivno vrednost - v odstotkih) potrebuješ, da pri zmanjšani napetosti, svetlobni vir proizvede 10, 30, 50 ali 70 % nazivnega svetlobnega toka.

svetlobni tok [%]	moč [%]
10	
30	
50	
70	
110	
130	

KOMENTAR:

VAJA 7

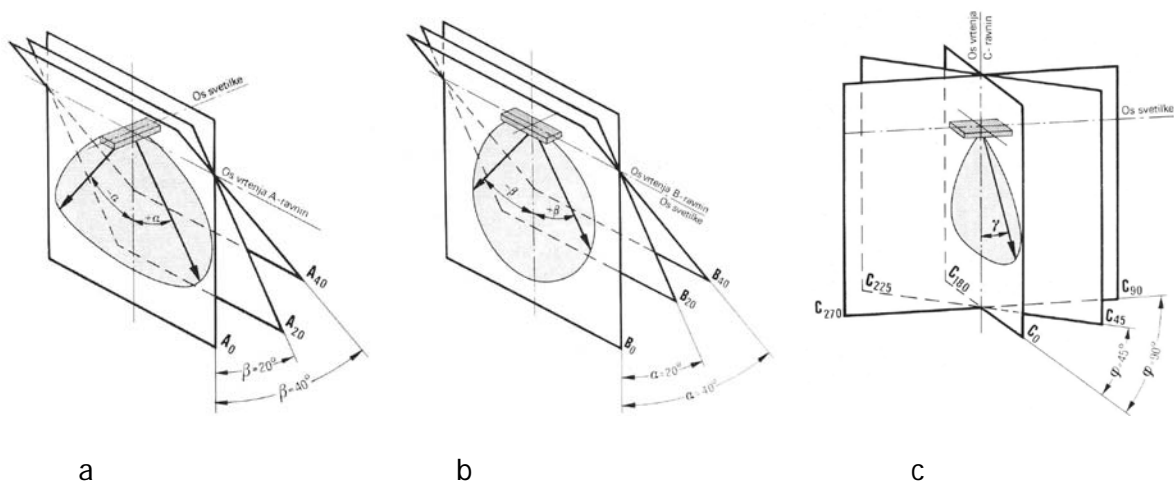
Svetlobnotehnične karakteristike svetilk

Pri svetlobnotehničnem vrednotenju svetilk so najpomembnejše naslednje fotometrične karakteristike svetilk: porazdelitev svetlobnega toka, porazdelitev svetilnosti, porazdelitev svetlosti in svetlobni izkoristek. Za nas najbolj pomembna je prostorska porazdelitev svetilnosti.

Prostorska porazdelitev svetilnosti

Za prikazovanje porazdelitve svetilnosti se v svetlobnotehnični praksi uporabljajo naslednje vrste diagramov: polarni diagram, izokandelni diagram in Rousseau-jev diagram.

Polarni diagram predstavlja najpogostejšo obliko prikaza porazdelitve svetilnosti. V rabi so trije sistemi prikazovanja in sicer: A-sistem ravnin, B-sistem ravnin in C-sistem ravnin. Med vsemi je najbolj razširjen mednarodno dogovorjeni C-sistem ravnin. Posamezne polravnine C-sistema so označene glede na njihov kot vrtenja z 0° do 360° .



Polarni diagram A-sistema ravnin (a), B-sistema ravnin (b) in C-sistema ravnin (c)

Porazdelitev svetilnosti svetilk je lahko rotacijsko simetrična ali rotacijsko asimetrična. Pri prvi vrsti svetilk je diagram porazdelitve svetilnosti ponazorjen s samo eno krivuljo; pri drugi vrsti svetilk pa diagram vsebuje več krivulj, pri čemer se vsaka nanaša na svojo karakteristično ravnino oz. polravnino. Pri svetilkah, pri katerih je porazdelitev svetilnosti simetrična glede na dve glavni ravnini (npr. pri fluorescenčnih svetilkah), vsebuje diagram porazdelitve svetilnosti samo dve krivulji, pri čemer se vsaka nanaša na eno glavno ravnino oz. polravnino.

Vsi polarni diagrami porazdelitve svetilnosti so reducirani na svetlobni tok 1000 lumnov. Na ta način je mogoče uporabiti enak diagram za svetlobne vire enakih dimenzij, toda različnih vrednosti svetlobnega toka.

Izokandelni diagram (diagram enakih svetilnosti) predstavlja skupek krivulj enakih svetilnosti; ta diagram uporabljamo predvsem v tehniki zunanje razsvetljave, in sicer pri izračunavanju svetlosti na vozišču ali pa pri računanju osvetljenosti pri reflektorskem osvetljevanju.

Rousseau-jev diagram nam služi za izračun celotnega svetlobnega toka svetilke. Osnova Rousseau-jevega diagrama je polarni diagram.

MERJENJE:

S pomočjo fotogoniometra narišite diagrame porazdelitve svetilnosti za dve glavni C ravnini (C_0 in C_{90}) in vmesno ravnino C_{45} . Za merjenje porazdelitve svetilnosti merimo osvetljenost točke v različnih vertikalnih kotih (od 0° do 90°) glede na svetilko in pri dveh pozicijah (vrtenjih) svetilke. Iz osvetljenosti izračunamo svetilnost, upoštevati pa moramo še korekcijski faktor, ker svetilka ni točkasta in faktor normiranja, ker je svetlobni tok vira v svetilki več kot 1000 lm.

Rezultati meritev

Izhodišni podatki:

- svetlobni tok vira (sijalke) v svetilki: $\phi_v =$ lm
- merilna razdalja svetilka – fotoelement $r =$ m
- premer (največja mera svetlečega dela) svetilke $p =$ m

Svetilnost I (cd) izrazimo iz enačbe:

$$E = \frac{I}{r^2},$$

pri čemer upoštevamo **korekcijski faktor**, ki je posledica netočkastega svetila:

$$F_{kor} = 1 + \left(\frac{p}{r}\right)^2 =$$

Faktorja normiranja:

$$F_{norm} = \frac{1000 \text{ lm}}{\phi_v} =$$

Posebej se navaja svetilnost pravokotno pod središčem svetilke, ki pa ni normirana:

$$I_0 = F_{kor} \cdot r^2 \cdot E_{y=0} = \text{cd}$$

Normirana svetilnost:

$$I_{\gamma 1000}(\text{cd}) = F_{kor} \cdot F_{norm} \cdot r^2 \cdot E$$

Izračunamo produkt stalnih koeficientov in z njim v tabeli pomnožimo osvetljenost:

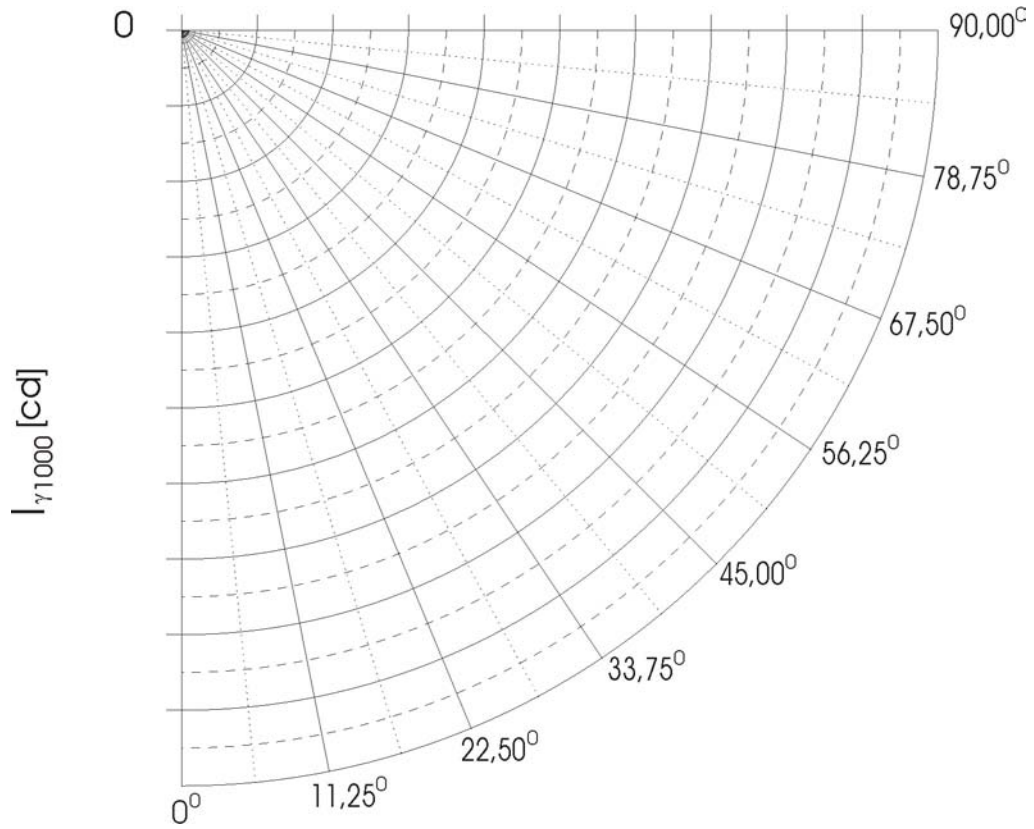
$$F_{kor} \cdot F_{norm} \cdot r^2 =$$

Tabela meritev

Izpolnimo tabelo. Drugi in tretji stolpec izmerimo, preostala pa preračunamo po zgornji enačbi.

γ (°)	E_{C0} (lx)	E_{C45} (lx)	E_{C90} (lx)	$I_{\gamma 1000-C0}$ (cd)	$I_{\gamma 1000-C45}$ (cd)	$I_{\gamma 1000-C90}$ (cd)
0,00						
5,63						
11,25						
16,88						
22,50						
28,13						
33,75						
39,38						
45,00						
50,63						
56,25						
61,88						
67,50						
73,13						
78,75						
84,38						
90,00						

Sedaj v polarni diagram vrišemo krivulji za vse C- ravnine. Podatke odčitamo iz pravkar izpolnjene tabele.



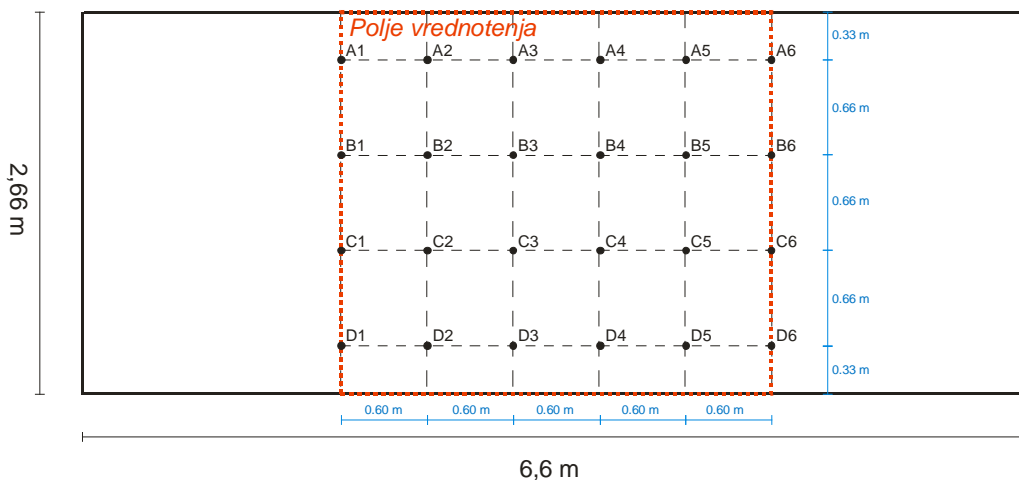
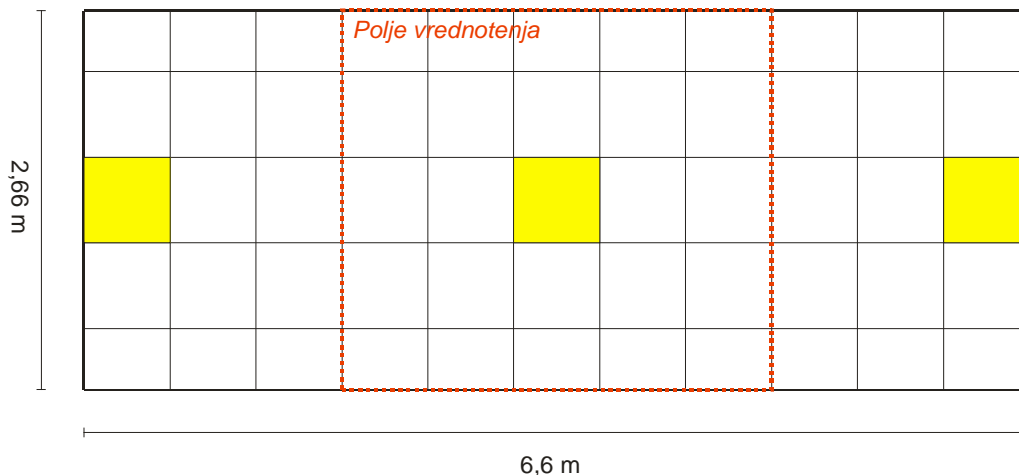
KOMENTAR:

VAJA 8

MERITEV OSVETLJENOSTI

Po izvedbi inštalacij in namestitvi svetilk v novozgrajenem ali prenovljenem objektu je potrebno izvesti meritve osvetljenosti in ugotoviti skladnost izvedenih inštalacij s potrebnimi uporabnikov in tudi z zakonodajo.

Na hodniku, ki je bil pred kratkim prenovljen, izmerite osvetljenost na tleh v 24 točkah. Zaradi prisotnosti dnevne svetlobe je potrebno meritve izvesti dvakrat, prvič pri prižgani razsvetljavi in drugič pri ugasnjeni razsvetljavi. Z umetno razsvetljavo moramo zagotoviti ustrezne svetlobnotehnične razmere tudi v popolni temi. Zato od vrednosti izmerjenih pri umetni razsvetljavi in dnevni svetlobi odštejemo vrednosti izmerjene pri ugasnjeni umetni razsvetljavi. Pri tem moramo paziti, da se zunanje vremenske razmere ne spreminjajo!



Za primerjavo pogledite še kaj je zapisano v standardu *SIST EN 12464/1 Svetloba in razsvetljava – razsvetljava na delovnem mestu – 1 del: Notranji delovni prostori*.

Prostori za izobraževanje				
Prostor, vidna naloga ali dejavnost	\bar{E}_{vz} [lux]	UGR_m	R_a	Pripombe
Učilnice osnovnih in srednjih šol	300	19	80	Razsvetljavo naj bo moč regulirati.
Učilnice za večerni pouk in izobraževanje odraslih	500	19	80	
Predavalnice	500	19	80	Razsvetljavo naj bo moč regulirati.
Šolska tabla	500	19	80	Preprečiti je treba refleksije.
Demonstracijska miza	500	19	80	V predavalnicah 750 luksov
Delovni prostori na umetniških šolah	750	19	90	$T_{cp} > 5000$ K
Prostori za tehnično risanje	750	16	80	
Prostori za praktična dela in laboratoriji	500	19	80	
Študentski skupni prostori in dvorane za srečanja	200	22	80	
Učiteljske zbornice, kabineti	300	22	80	

V standardu podane vrednosti osvetljenosti so vedno povprečne vrednosti in sicer prostorske povprečne vrednosti, ker je osvetljenost v različnih koncih prostora različna. Da pa v prostoru ne pride do prevelikih razlik med svetlimi in temnimi deli, je v standardu definirana tudi enakomernost osvetljenosti. Zahtevana enakomernost osvetljenosti za delovne naloge (površine) je 0.7.

Merilni rezultati

Merilna točka	Umetna+dnevna svetloba [lx]	Dnevna svetloba [lx]	Izračunan delež umetne razsvetljave [lx]
A1			
B1			
C1			
D1			
A2			
B2			
C2			
D2			
A3			
B3			
C3			
D3			
A4			
B4			
C4			
D4			
A5			
B5			
C5			
D5			
A6			
B6			
C6			
D6			

Izračunajmo prostorsko povprečno vrednost osvetljenosti:

$$E_{pov} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} =$$

in še faktor enakomernosti:

$$u = \frac{E_{\min}}{E_{pov}} =$$

Izračunane vrednosti primerjajte z vrednostmi v standardu!

KOMENTAR:
