

FOTOMETRIJA

SY295 • 9. februar 2022.

Goran Kostić

1 Uvod

1.1 Svetlost

Svetlost je elektromagnetsko zračenje koje kod čoveka, posredstvom oka, izaziva osećaj boje.

1.2 Monohromatska svetlost

Monohromatska svetlost je prostoperiodično elektromagnetsko zračenje na jednoj talasnoj dužini iz opsega od 380 do 780 nm. Kod čoveka takvo zračenje, posredstvom oka, izaziva osećaj boje. Boja koju vidimo zavisi od talasne dužine zračenja. Videti sliku 1.

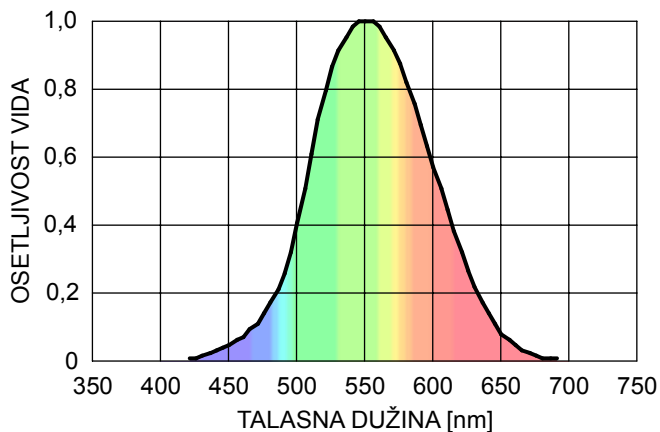
Pri uglu posmatranja 2° i sjaju $> 10 \text{ cd/m}^2$ vid prosečnog posmatrača je najosetljiviji na svetlost talasne dužine 555 nm. Za zračenja talasne dužine kraće od 380 nm ili duže od 780 nm, osetljivost vida je manja od 0,02 % najveće osetljivosti. Videti dijagram 1 i tabelu 2.

Dva izvora monohromatske svetlosti izgledaju jednako sjajna kada su im jednaki proizvodi zračenja $[W/(sr \cdot m^2)]$ i koeficijenta, sa dijagrama 1, zavisnog od talasne dužine zračenja.

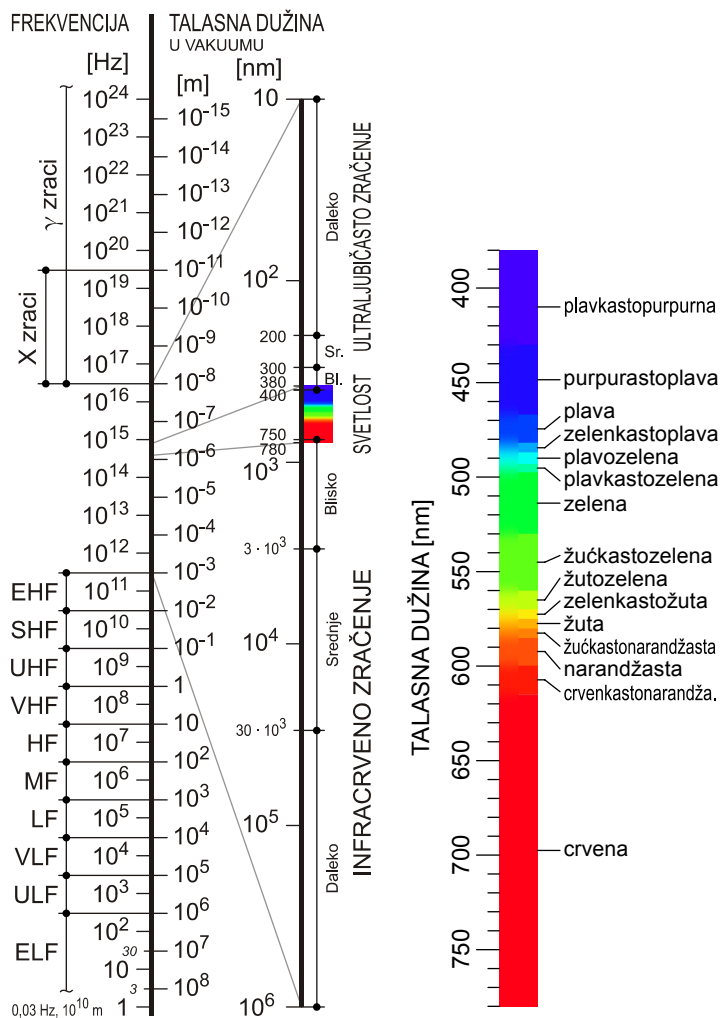
Boje vidi i većina životinja, ali najčešće iz različitih oblasti spektra.

1.3 Polihromatska svetlost

Polihromatska svetlost su dve, ili više, monohromatskih svetlosti.



Dijagram 1. Normalizovana osetljivost standardnog posmatrača, $V(\lambda)$, pri uglu posmatranja 2° i sjaju $> 10 \text{ cd/m}^2$.



Slika 1. Podela spektra elektromagnetskog zračenja. (Svaka od boja je najzasićenija koju može da prikaže CRT monitor računara.)

Kada oko pobuđuje više monohromatskih svetlosti različitih talasnih dužina, osećaj boje zavisi od odnosa sjaja tih svetlosti. Osećaj iste boje može se proizvesti kombinacijama različitih monohromatskih svetlosti i njihovih sjajnosti.

Polihromatske svetlosti izazivaju osećaje boja različitih od monohromatskih boja, kao i osećaje nekih monohromatskih boja.

2 Fotometrija

Tabela 1. Fotometrijske i analogne radiometrijske veličine.

Fotometrija					Radiometrija	
Veličina	Engleski naziv veličine	Simbol	Oznaka i naziv	Izraženo lumenima	Veličina	Oznaka i naziv
Svetlosni fluks	<i>Luminous flux</i>	Φ_V	lm lumen	lm	Fluks zračenja	W vat
Količina svetlosti	<i>Luminous energy</i>	Q_V	lm · s	lm · s	Energija zračenja	J džul
Svetlosna jačina	<i>Luminous intensity</i>	I_V	cd kandela	lm/sr	Jačina zračenja	W/sr
Osvetljenost	<i>Illuminance</i>	E_V	lx luks	lm/m ²	Ozračenost	W/m ²
Svetlosna egzitancija	<i>Luminous exitance</i>	M_V	lm/m ²	lm/m ²	Egzitancija zračenja	W/m ²
Sjaj (svetlosti)	<i>Luminance</i>	L_V	cd/m ²	lm/(sr · m ²)	Zračenje	W/(sr · m ²)
Svetlosna ekspozicija	<i>Luminous exposure</i>	H_V	lx · s	lm · s/m ²	Ekspozicija zračenja	W · s/m ²
Temperatura boje	<i>Color temperature</i>	T_C	K kelvin	-	Temperatura zračenja	K

2.1 Radiometrija

Radiometrija se bavi merenjem veličina elektromagnetskih zračenja.

2.2 Fotometrija

Fotometrija se bavi merenjem veličina svetlosti tako da rezultati odgovaraju osećaju vida standardnog posmatrača.

Vid je vrlo složene i subjektivne prirode jer zavisi od: očiju, očnih nerava i centralnog nervnog sistema. Vid zavisi i od uslova gledanja: prilagođenja oka, ugla pod kojim se vidi površina i mesta na mrežnjači na koje se projektuje površina.

Da bi se postigao cilj fotometrije, da rezultati merenja odgovaraju osećaju vida, neophodno je korišćenje matematičkih funkcija koje opisuju vid **standardnog posmatrača** koji je i prosečan posmatrač. Te funkcije daju vezu između fizičkih veličina svetlosti i ljudskog vida.

2.3 Izvor svetlosti

Izvor svetlosti je svaka površina koja **zrači** svetlost.

Primarni izvor svetlosti je izvor svetlosti koji sam proizvodi svetlost.

Sekundarni izvor svetlosti je površina koja reflektuje izračenu svetlost drugog izvora.

2.4 Osetljivost vida u zavisnosti od talasne dužine

Relativna osetljivost vida u zavisnosti od talasne dužine, data je standardnom funkcijom zasnovanom na: vidu standardnog posmatrača,

aditivnosti osećaja sjaja, uglu gledanja od 2° i relativno visokom nivou sjaja, većem od oko 10 cd/m². Funkcija se označava sa **V(λ)**. U propisima je V(λ) data diskretno, na 12 decimala, za talasne dužine od 360 nm do 830 nm sa inkrementom od 1 nm, i normalizovana je na 1 u maksimumu koji je na 555 nm. Funkcija V(λ) je data u tabeli 2 i na dijagramu 1. V(λ) opisuje vid pri aktivnosti čepića oka, koji se naziva **fotopski vid**.

Funkcija V(λ) je široko prihvaćen propis, izdat 1931. godine od strane Međunarodne komisije za rasvetu (CIE, *Commission Internationale de l'Éclairage*) i prihvaćen kao međunarodni standard od strane Međunarodnog komiteta za tegove i mere (CIPM, *Comité International des Poids et Mesures*) i Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO, *International Organization for Standardization*).

Judd i Vos su 1978. publikovali popravljenu funkciju V(λ) koja odražava veću osetljivost vida pri talasnim dužinama kraćim od 460 nm. CIE je potvrdila popravljenu funkciju i preporučila je za upotrebu pri kraćim talasnim dužinama.

Godine 1931. smatralo se da je žuta mrlja mrežnjače (koja je naročito osetljiva na boju svetlosti) unutar ugla od 2°. Tada je CIE objavila funkciju standardnog posmatrača zasnovanu na uglu gledanja od 2°. Šezdesetih godina je otkriveno da je žuta mrlja unutar ugla većeg od 2°. Godine 1964. formulirana je funkcija standardnog posmatrača za ugao gledanja od 10°. Za tu funkciju se smatra da najbolje opisuje spektralni odziv prosečnog vida. Funkcija standardnog posmatrača za 2° odgovara gledanju udaljenih objekata.

Tabela 2. Funkcije relativne osetljivosti vida u zavisnosti od talasne dužine svetlosti: pri prilagođenju na dnevno svetlo, $V(\lambda)$ i $V_{78}(\lambda)$, i pri prilagođenju na tamu, $V'(\lambda)$.

λ [nm]	$V(\lambda)$ (CIE 1931.)	$V_{78}(\lambda)$ (Judd i Vos)	$V'(\lambda)$ (CIE 1951.)
380	$39,0 \cdot 10^{-6}$	$0,200 \cdot 10^{-3}$	$0,589 \cdot 10^{-3}$
390	$0,120 \cdot 10^{-3}$	$0,800 \cdot 10^{-3}$	$2,21 \cdot 10^{-3}$
400	$0,396 \cdot 10^{-3}$	$2,80 \cdot 10^{-3}$	$9,29 \cdot 10^{-3}$
410	$1,21 \cdot 10^{-3}$	$7,40 \cdot 10^{-3}$	$34,8 \cdot 10^{-3}$
420	$4,00 \cdot 10^{-3}$	$17,5 \cdot 10^{-3}$	$96,6 \cdot 10^{-3}$
430	$11,6 \cdot 10^{-3}$	$27,3 \cdot 10^{-3}$	0,200
440	$23,0 \cdot 10^{-3}$	$37,9 \cdot 10^{-3}$	0,328
450	$38,0 \cdot 10^{-3}$	$46,8 \cdot 10^{-3}$	0,455
460	$60,0 \cdot 10^{-3}$		0,567
470	$91,0 \cdot 10^{-3}$		0,676
480	0,139		0,793
490	0,208		0,904
500	0,323		0,982
507	0,444		1,000
510	0,503		0,997
520	0,710		0,935
530	0,862		0,811
540	0,954		0,650
550	0,995		0,481
555	1,000		0,402
560	0,995		0,329
570	0,952		0,208
580	0,870		0,121
590	0,757		$65,5 \cdot 10^{-3}$
600	0,631		$33,1 \cdot 10^{-3}$
610	0,503		$15,9 \cdot 10^{-3}$
620	0,381		$7,37 \cdot 10^{-3}$
630	0,265		$3,33 \cdot 10^{-3}$
640	0,175		$1,50 \cdot 10^{-3}$
650	0,107		$0,677 \cdot 10^{-3}$
660	$61,0 \cdot 10^{-3}$		$0,313 \cdot 10^{-3}$
670	$32,0 \cdot 10^{-3}$		$0,148 \cdot 10^{-3}$
680	$17,0 \cdot 10^{-3}$		$71,5 \cdot 10^{-6}$
690	$8,21 \cdot 10^{-3}$		$35,3 \cdot 10^{-6}$
700	$4,10 \cdot 10^{-3}$		$17,8 \cdot 10^{-6}$
710	$2,09 \cdot 10^{-3}$		$9,14 \cdot 10^{-6}$
720	$1,05 \cdot 10^{-3}$		$4,78 \cdot 10^{-6}$
730	$0,520 \cdot 10^{-3}$		$2,55 \cdot 10^{-6}$
740	$0,249 \cdot 10^{-3}$		$1,38 \cdot 10^{-6}$
750	$0,120 \cdot 10^{-3}$		$0,760 \cdot 10^{-6}$
760	$60,0 \cdot 10^{-6}$		$0,425 \cdot 10^{-6}$
770	$30,0 \cdot 10^{-6}$		$0,241 \cdot 10^{-6}$
780	$15,0 \cdot 10^{-6}$		$0,139 \cdot 10^{-6}$

Relativna osetljivost vida može se odrediti tako što posmatrač procenjuje jednakost sjaja dva susedna izvora monohromatskih svetlosti. Radi pouzdane procene posmatrača, talasne dužine dve svetlosti moraju da budu bliskih talasnih dužina. Uz uslov da upoređivane svetlosti budu bliskih talasnih dužina, osetljivost oka za ceo opseg svetlosti može se dobiti tako što se u svakom novom upoređivanju svetlosti, za jednu zadržava svetlost iz prethodnog upoređivanja, a za drugu, svetlost talasne dužine bliske zadržanoj svetlosti, a dalje od svetlosti iz prethodnog upoređivanja.

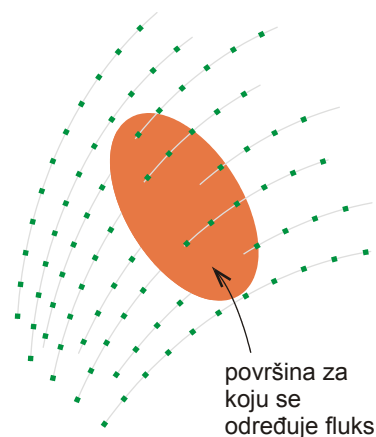
Relativna osetljivost vida u zavisnosti od talasne dužine, pri niskom nivou sjaja, manjem od oko $0,001 \text{ cd/m}^2$, značajno se razlikuje od funkcije $V(\lambda)$. Maksimum te funkcije je na 507 nm, ali je oblik približno isti sa $V(\lambda)$. Označena je sa $V'(\lambda)$. Videti tabelu 2. Funkcija $V'(\lambda)$ opisuje vid koji se zasniva na aktivnosti štapića oka i naziva se **skotopski vid**. (Vid u uslovima između skotopskog i fotopskog naziva se **mezopski vid**.) U sadašnjoj praksi, fotometrijske veličine odnose se na funkciju $V(\lambda)$, uz izuzetak veličina za istraživačke svrhe.

2.5 Spektar

Spektar je dat podacima o talasnoj dužini i amplitudi svake od prostoperiodičnih komponenti koje čine spektar.

2.6 Fluks

Primer za snop čestica: **fluks** (ili **protok**) čestica se daje za određenu površinu i jednak je broju čestica koje prođu kroz tu površinu u jedinici vremena. Videti sliku 2.



Slika 2. Uz koncept fluksa snopa čestica.

2.7 Prostorni ugao

Prostorni ugao, Ω , je deo prostora omeđen koničnom površinom. Definisan je jednačinom (1), za • površinu A koja leži na sferi sa centrom na vrhu date konične površine i obuhvaćena je koničnom površinom i • poluprečnik r pomenute sfere. Videti sliku 3.

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (1)$$

Količnik (1) ne zavisi od poluprečnika sfere. Prostorni ugao od jednog steradiana [sr] je konični deo prostora koji obuhvata površinu od 1 m^2 na sferi koja ima poluprečnik od 1 m i čiji se centar poklapa sa vrhom posmatranog koničnog dela prostora. Prostorni ugao koji obuhvata ceo prostor ima vrednost od $4 \cdot \pi$ steradiana.

2.8 Svetlost u fotometriji

Svetlost je fotometrijska veličina analogna zračenju u radiometriji. Fotometrijske veličine svetlosnog zračenja, X_V , izuzev temperature boje, proporcionalne su • zbiru radiometrijskih flukseva zračenja $\Phi_E(\lambda_i)$, • svih n spektralnih komponenti zračenja, prethodno pomnoženih vrednošću funkcije $V(\lambda_i)$ koja odgovara talasnoj dužini spektralne komponente, λ_i :

$$X_V \sim V(\lambda_1) \cdot \Phi_E(\lambda_1) + V(\lambda_2) \cdot \Phi_E(\lambda_2) + \dots + V(\lambda_n) \cdot \Phi_E(\lambda_n). \quad (2)$$

Množenje spektralnih komponenti odgovarajućom vrednošću $V(\lambda)$, simulira osećaj vida izazvan elektromagnetskim zračenjem. Na primer, pomenutim simuliranjem dobija se da dve svetlosti koje izgledaju jednako sjajne, a različitih su spektara, imaju iste bročane vrednosti sjaja.

2.9 Svetlosni fluks

Svetlosni fluks, Φ_V , definisan je jednačinom (3), • za površinu, • za funkciju relativne osetljivosti vida, $V(\lambda)$, i • za spektralnu gustinu fluksa zračenja, $\Phi_E(\lambda)$, (tj. fluks po $d\lambda$), • K_m je konstanta jednaka 683 lm/W .

$$\Phi_V = K_m \cdot \int_{360 \text{ nm}}^{830 \text{ nm}} V(\lambda) \cdot \Phi_E(\lambda) \cdot d\lambda \quad (3)$$

Svetlosni fluks se određuje za datu površinu i jednak je količini svetlosti koja protekne u jedinici vremena kroz tu površinu.

Pri konstantnoj osvetljenosti E_V , površine A , $\Phi_V = E_V \cdot A$.

Svetlosni fluks [lm] je fotometrijska veličina analogna fluksu zračenja [W] u radiometriji. Vrednost svetlosnog fluksa proporcionalna je

zbiru flukseva spektralnih komponenti zračenja, prethodno pomnoženih vrednošću funkcije $V(\lambda)$ koja odgovara talasnoj dužini svake od spektralnih komponenti. Množenje spektralnih komponenti odgovarajućom vrednošću $V(\lambda)$, simulira osećaj vida koji izaziva elektromagnetsko zračenje.

Integral u jednačini (3) znači da fotometrijski model osećaja svetlosti podrazumeva da je svetlosni fluks smeše jednak zbiru flukseva komponentata. Treba naglasiti da je kod osećaja vida, aditivnost veličina, samo približna.

Konstanta K_m , uz $V(\lambda)$, povezuje fotometrijske i radiometrijske veličine, a naziva se **maksimalna efikasnost svetlosti za fotopski vid**. Vrednost konstante K_m određuje definicija kandeke koja daje efikasnost od 683 lm/W , za svetlost frekvencije $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ tj. talasne dužine $555,016 \text{ nm}$ u standardnom vazduhu. Izračunavanje K_m je prema sledećem.

$$K_m = 683 \cdot \frac{V(555,000 \text{ nm})}{V(555,016 \text{ nm})} = 683,002 \approx 683 \text{ lm/W} \quad (4)$$

2.10 Svetlosna jačina

Svetlosna jačina, I_V , definisana je jednačinom (5), • za tačkasti izvor, • za smer, i • za svetlosni fluks $d\Phi_V$ koji napušta izvor i prostire se u određenom smeru prostornim uglom $d\Omega$.

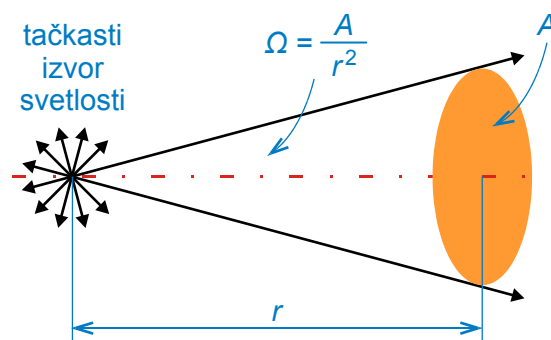
$$I_V = \frac{d\Phi_V}{d\Omega} \quad (5)$$

Svetlosna jačina [cd] je gustina svetlosnog fluksa po jedinici prostornog ugla u datom smeru. Videti sliku 3.

U slučaju tačkastog izvora, svetlosni fluks je isti kroz svaki poprečni presek prostornog ugla čiji se vrh poklapa sa izvorom svetlosti.

Izvor koji u svim smerovima zrači svetlost iste jačine I_V (**izotropni izvor**), zrači sa svoje cele površine svetlosni fluks Φ_V dat jednačinom:

$$\Phi_V = 4 \cdot \pi \cdot I_V. \quad (6)$$



Slika 3. Uz koncepte prostornog ugla i svetlosne jačine.

2.11 Osvetljenost

Osvetljenost, E_V , za površinu dA osvetljenu fluksom $d\Phi_V$, definisana je jednačinom:

$$E_V = \frac{d\Phi_V}{dA} \quad (7)$$

Osvetljenost [lx] površine, je gustina svetlosnog fluksa na toj površini. Najveća osvetljenost površine, E_{Vmax} , pri istim ostalim parametrima, se dobija kada se površina postavi normalno na snop svetlosti. Kada snop zaklapa ugao Θ sa normalom na površinu, $E_V = E_{Vmax} \cdot \cos \Theta$.

Pri konstantnoj gustini fluksa na površini A , $E_V = \Phi_V / A$.

Osvetljenost E_V , površine normalne na snop svetlosti iz tačkastog izvora na rastojanju r i svetlosne jačine I_V , je:¹⁾

$$E_V = \frac{I_V}{r^2} \quad (8)$$

Osvetljenost površine koju osvetljava više izvora svetlosti, jednaka je zbiru osvetljenosti koje bi dao svaki od izvora samostalno.

Neke osvetljenosti navedene su u tabeli 3.

2.12 Svetlosna egzitancija

Svetlosna egzitancija, M_V , definisana je jednačinom (9), • za tačku na površini dA koja zrači svetlost, i • za izračeni svetlosni fluks $d\Phi_V$ sa površine dA .

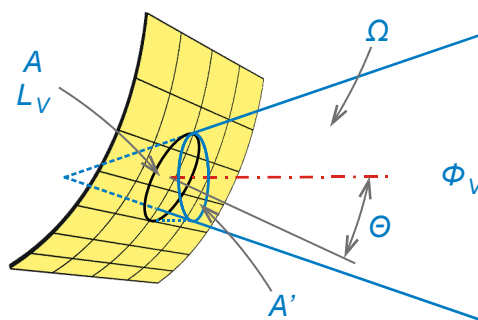
$$M_V = \frac{d\Phi_V}{dA} \quad (9)$$

Svetlosna egzitancija [lm/m^2] je ukupno izračeni svetlosni fluks sa površine, podeljen veličinom te površine. Dakle, svetlosna egzitancija je gustina izračenog svetlosnog fluksa na površini koja zrači taj fluks.

¹⁾ $d\Phi_V = I_V \cdot d\Omega$ $dA = r^2 \cdot d\Omega$ $E_V = \frac{d\Phi_V}{dA} = \frac{I_V}{r^2}$

Tabela 3. Osvetljenost nekih površina.

Površina	Osvetljenost
Slabo osvetljen put	0,5 do 5 lx
Dobro osvetljen put	5 do 30 lx
Prosečno osvetljen stan	30 do 100 lx
Stan sa dnevnim svetlošću	100 do 500 lx
Otvoren prostor pri oblačnom nebu	1 do 2 klx
U senci na otvorenom prostoru pri sunčanom nebu	3 do 8 klx
Otvoren prostor neposredno osvetljen suncem	70 do 100 klx



Slika 4. Uz koncept sjaja.

2.13 Sjaj

Sjaj, L_V , definisan je jednačinom (10), • za tačku na površini dA koja zrači svetlost, • za smer, koji zaklapa ugao Θ sa normalom na dA , i • za svetlosni fluks $d\Phi_V$ koji zrači površina dA u pomenutom smeru. Videti sliku 4.

$$L_V = \frac{d^2\Phi_V}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos \Theta} \quad (10)$$

Posmatrajmo slučaj kada se zračenjem kroz snop, dovodi fluks površini koja nije normalna na snop. Videti sliku 4. Fluks koji se snopom dovodi do površine zavisi samo od gustine fluksa po toj površini i poprečne površine snopa (normalne na snop), a ne zavisi od veličine površine kojoj se dovodi fluks. Ako poprečna površina snopa dA' , nije poznata, može se izračunati iz veličine površine dA na koju se dovodi fluks i ugla Θ koji zaklapaju snop kojim se dovodi fluks i normala na površinu kojoj se dovodi fluks:

$$dA' = dA \cdot \cos \Theta \quad (11)$$

Prema drugom zakonu termodinamike, dijagrami primanja i zračenja energije istog su oblika. Odatle zaključujemo da će fluks koji zrači površina u proizvoljnom pravcu koji zaklapa ugao Θ sa normalom na posmatranu površinu, biti proporcionalna kosinusu Θ . Iz istog zakona proističe veza data jednačinom (10).

Sjaj je parametar površine koja zrači svetlost, a omogućava određivanje svetlosnih flukseva koje zrači površina u proizvoljnim smerovima koji zaklapaju ugao Θ sa normalom na površinu:

$$d\Phi_V = L_V \cdot d\Omega \cdot dA \cdot \cos \Theta \quad (12)$$

Sjaj [cd/m^2] izražen je kao gustina svetlosnog fluksa po jedinici prostornog ugla, [cd], i po jedinici površine koja zrači svetlost [m^2], a u proizvoljnom smeru koji zaklapa izvestan ugao [1] sa normalom na posmatranu površinu.

Vrednost sjaja je parametar površine koja zrači svetlost i ne zavisi od smera zračenja tj. ugla koji zaklapa smer sa normalom.

Površina scene zrači svetlost i daje svoju sliku na mrežnjači oka. Na mestu slike, vrednost osvetljenosti mrežnjače proporcionalna je sjaju površine scene i praktično ne zavisi od rastojanja između površine scene i posmatrača. Rastojanje ne utiče na osvetljaj mrežnjače jer se smanjivanje osvetljaja mrežnjače proporcionalno kvadratu rastojanja, potire povećanjem segmenta površine scene koja osvetljava isti segment mrežnjače (povećanje površine segmenta scene proporcionalno je kvadratu rastojanja). Zato je sjaj veličina koja određuje koliko će neka površina izgledati svetla.

Međutim, za izgled je jednako važno i prilagođenje oka, ali dve susedne površine za koje su vrednosti sjaja iste, izgledaće jednako svetle.

2.14 Količina svetlosti

Količina svetlosti Q_V , definisana je jednačinom (13), • za svetlosni fluks Φ_V , i • za interval vremena Δt .

$$Q_V = \int_t^{t+\Delta t} \Phi_V(t) \cdot dt \quad (13)$$

Pri konstantnom Φ_V , $Q_V = \Phi_V \cdot \Delta t$.

Količina svetlosti [lm · s] razmenjuje se (prima ili predaje) svetlosnim fluksom u toku intervala vremena.

2.15 Svetlosna ekspozicija

Svetlosna ekspozicija, H_V , definisana je jednačinom (14), • za osvetljenost E_V , i • za interval vremena Δt .

$$H_V = \int_t^{t+\Delta t} E_V(t) \cdot dt \quad (14)$$

Pri konstantnom E_V , $H_V = E_V \cdot \Delta t$.

2.16 Radiometrijsko crno telo

Radiometrijsko **crno telo** je površina koja zrači elektromagnetske talase, a u vakuumu zračenje zavisi samo od temperature crnog tela. Zračenje crnog tela ima kontinualni spektar sa gustinom zračenja, $dL/d\lambda$ [W/(m³ · sr)], datom **Plankovim zakonom** i prikazanom na dijagramu 2. Taj zakon je opisan jednačinom (15) • za crno telo na temperaturi T [K], i • u okolini talasne dužine λ [m].

$$\frac{dL}{d\lambda} = \frac{119,1044 \cdot 10^{-18}}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{14,38775 \cdot 10^3}{\lambda \cdot T}} - 1)} \quad (15)$$

Crno telo sva dovedena zračenja **apsorbuje** (tj. ne reflektuje i ne propušta).

Pri povećanju temperature crnog tela, povećava se njegov fluks zračenja i smanjuje talasna dužina na kojoj je maksimum zračenja.

Videti dijagram 2. Talasna dužina maksimuma zračenja, λ_{max} , data je jednačinom (16) (**Vinova jednačina pomeranja** maksimuma).

$$\lambda_{max} = \frac{2898 \cdot 10^{-6}}{T} \quad (16)$$

Primer realizovanog crnog tela je površina relativno malog otvora na kutiji čija unutrašnja površina dobro apsorbuje na nju dovedena zračenja.

U vazduhu, na atmosferskom pritisku, spektralna gustina zračenja realnog crnog tela je vrlo približna gustini zračenja idealnog crnog tela, pomnoženoj vrednošću emisivnosti površine realnog crnog tela.

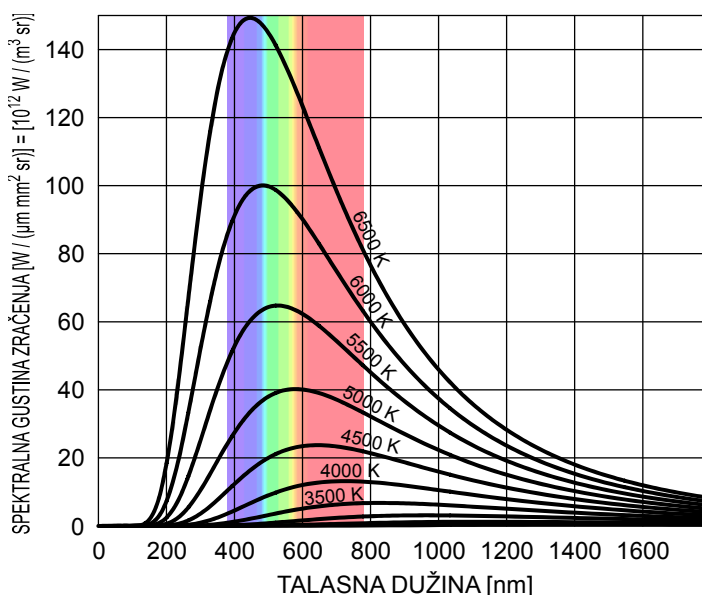
Emisivnost, ε , je količnik fluksa zračenja, posmatrane površine i fluksa površine crnog tela, a kada su obe površine na istim temperaturama. Crno telo ima emisivnost jednaku jedinici. Idealan reflektor ima emisivnost jednaku nuli.

Apsorbansa, α , je količnik apsorbovanog i dovedenog fluksa zračenja. Apsorbansa crnog tela jednaka je jedinici. Realizovana crna tela imaju apsorbanse do oko 0,9999.

Reflektansa, ρ , je količnik reflektovanog i dovedenog fluksa zračenja. Reflektansa crnog tela jednaka je nuli.

Telo u stacionarnom stanju, u vakuumu, apsorbuje fluks jednak fluksu koji zrači (**Kirhofov zakon zračenja**). Zato su jednake apsorbanse i emisivnost površine (kada se apsorbovani fluks na jednoj talasnoj dužini ne zrači na drugoj).

Radiometrijsko **sivo telo** je površina čije su apsorbanse i emisivnost manje od jedan i imaju istu vrednost u izvesnom opsegu talasnih dužina.



Dijagram 2. Spektralna gustina zračenja crnog tela na različitim temperaturama.

2.17 Temperatura boje

Temperatura boje (eng. *color temperature*), T_C , je temperatura (usijanog) crnog tela koje zrači svetlost boje iste kao i svetlost čija se temperatura boje određuje.

Temperaturom boje se jednostavno, samo jednim brojem, opisuje boja svetlosti.

Distribuciona temperatura boje (eng. *distribution color temperature*), je temperatura boje svetlosti čiji je spektar sličan spektru crnog tela u opsegu talasnih dužina od 380 do 780 nm.

Za svetlost sijalice sa usijanom niti (**inkandescentne sijalice**) određuje se distribuciona temperatura boje. Sijalice sa usijanom niti zrače svetlost čija je distribuciona temperatura boje približno jednaka temperaturi njihove niti. Distribuciona temperatura svetlosti sijalice zavisi od emisivnosti njene niti i za većinu sijalica je 2 ili 3 K viša od temperature niti, ali ima tipova čija je distribuciona temperatura boje i oko 50 K viša od temperature niti.

Korelisana temperatura boje, CCT (eng. *correlated color temperature*), je temperatura boje svetlosti čiji se spektar znatno razlikuje od spektra crnog tela. Takav znatno različit, linijski spektar svetlosti, imaju lampe sa pražnjenjem kroz gasove. Za vrednost korelisane temperature boje se daje temperatura crnog tela koje zrači svetlost najbližije boje sa svetlošću čija se temperatura boje određuje. Korelisana temperatura boje praktično se određuje iz dijagrama boja. Videti dijagram 3.

U tabeli 4 su date temperature boja nekih svetlosti. Na dijagramu 3, **xy dijagramu boja**, označene su svetlosti crnih tela različitih temperatura i neke standardne svetlosti.

2.18 Pokazatelj reprodukcije boja

Pokazatelj reprodukcije boja, CRI (eng. *color rendering index*), R_a , je pokazatelj uticaja svetlosnog izvora na reprodukovanu boju površine, a u odnosu na reprodukovanu boju površine osvetljene referentnim svetlosnim izvorom iste korelisane temperature boje kao procenjivani izvor.

Ista korelisana boja procenjivanog i referentnog svetlosnog izvora, daje istu reprodukovanu boju belih površina pri osvetljavanju procenjivanim ili referentnim izvorom. Referentni izvor za CCT procenjivanog izvora do 5000 K je crno telo odgovarajuće temperature, izuzev kada se navede drugačije. Za CCT veće od 5000 K referentni izvor može biti dnevna svetlost određenog doba dana.

CRI se izražava neimenovanim brojem iz opsega od malih negativnih brojeva do 100. Veća vrednost CRI odgovara manjem „pomeraju“ reprodukovane boje. Razlike CRI manje od 3 do 5 uobičajeno nisu uočljive.

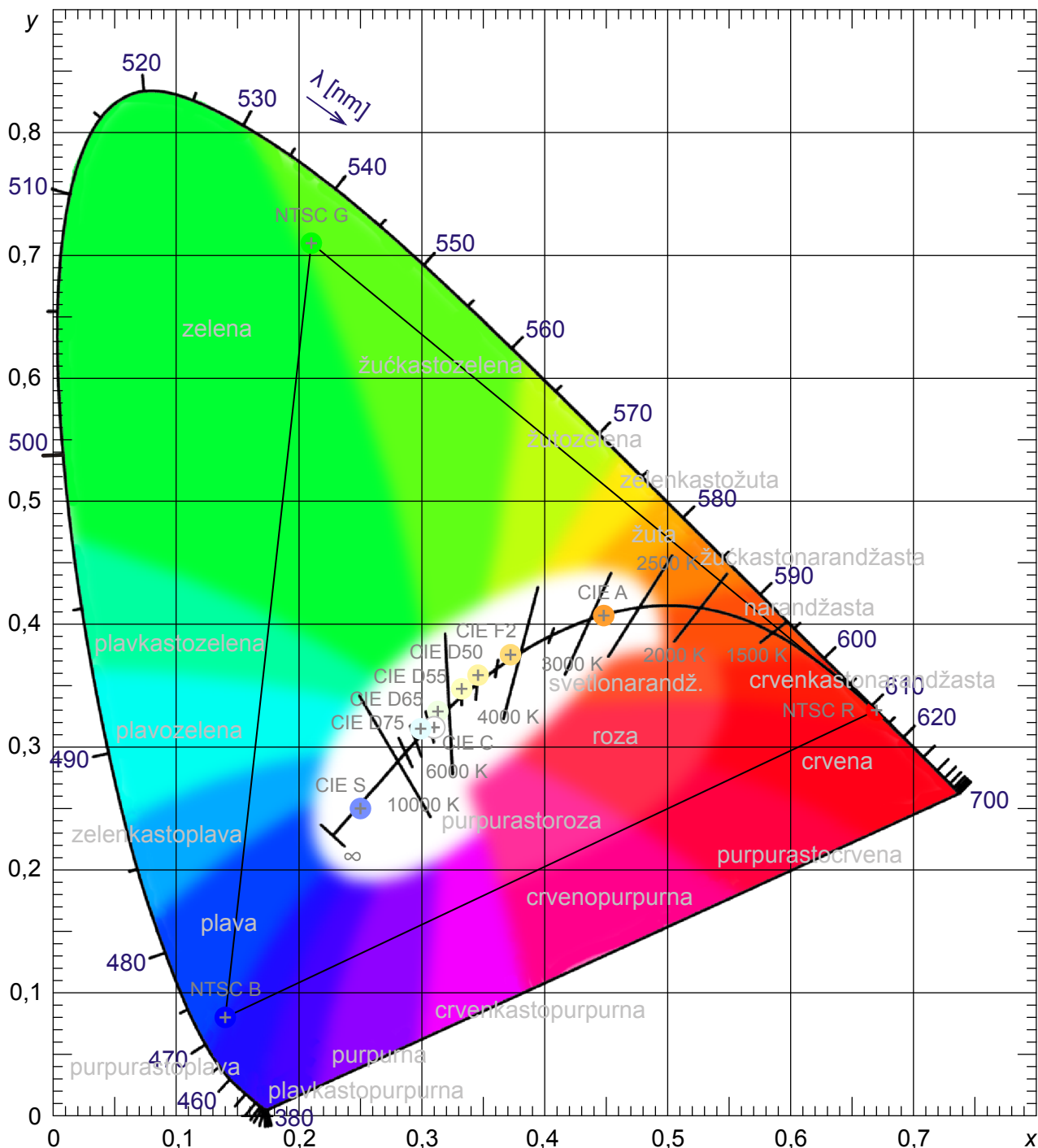
CRI se izračunava iz razlika reprodukovane boje površine kada je osvetljena procenjivanim i referentnim svetlosnim izvorom. Koriste se površine četrnaest ispitnih uzoraka različitih boja. Referentni svetlosni izvor je iste korelisane temperature boje kao procenjivani svetlosni izvor i može da bude dat samo matematički.

CRI je razvijen da bude pokazatelj uticaja svetlosnog izvora za opšte svrhe (izuzev pretežno monohromatskih izvora) na „prirodnost“ reprodukovane boje. CRI je, kao mera kvaliteta reprodukcije boja, sada najprihvaćeniji i osnovni u industriji.

Illuminant je svetlost data samo matematički.

Tabela 4. Temperature boja i koordinate svetlosti

Svetlost ili iluminant	CCT [K]	x	y
Svetlost najčešće inkandescentne volframove sijalice i iluminant CIE A	2 856	0,447 6	0,407 4
Najčešća inkandescentna halogena sijalica	3 000	0,435	0,405
Metal halidna lampa sa fluorescentnim prahom (CRI 70)	3 800	0,388	0,379
Fluorescentna lampa sa tri spektralne komponente (CRI 83) i CIE F11	4 000	0,380 5	0,376 9
Najčešća fluorescentna lampa (hladna bela CRI 64) i CIE F2	4 230	0,372 1	0,375 1
Fluorescentna lampa sa dnevnom svetlošću D65 (CRI 90) i CIE F7	6 500	0,312 9	0,329 2
Dnevna svetlost pri izlasku i zalasku Sunca i CIE D50	5 003	0,345 7	0,358 5
Dnevna svetlost u sredini prepodneva i sredini popodneva i CIE D55	5 503	0,332 4	0,347 4
Dnevna svetlost u podne i CIE D65	6 504	0,312 7	0,329 0
Prosečna dnevna svetlost i CIE C	6 774	0,310 1	0,316 2
Dnevna svetlost pri oblačnom nebu i CIE D75	7 504	0,299 0	0,314 9
Vedro nebo	19 000.. 24 000		
CIE B	4 900	0,348	0,352
CIE E	5 700	0,333	0,333
CIE S	25 000	0,25	0,25
CIE 9300 K + 27 MPCD	9 300	0,281	0,311
NTSC R	-	0,67	0,33
NTSC G	7 200	0,21	0,71
NTSC B	-	0,14	0,08



Dijagram 3. xy dijagram boja (sistem CIE 1931.) sa označenim: monohromatskim svetlostima (po obodu „potkovice“), oblastima boja, RGB primarima (NTSC 1953.), standardnim svetlostima (CIE), i krivom boje svetlosti crnih tela različitih temperatura. (Svaka od boja je najzasićenija koju može da prikaže CRT monitor računara.)

3 Reference

1) BIPM; *Principes regissant la photometrie - Principes governing photometry*; Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres, 1983.

2) NIST; *NIST Measurement Services: Photometric Calibrations (SP250-37)*; National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg (USA), July 1997.

3) Branislav Nastić; *Osnovi televizijske tehnike*; Naučna Knjiga, Beograd, 1977.

4) Sergei Novakovsky; *Color Television*; Mir Publishers, Moscow, 1979.

5) CIE; *Method of measuring and specifying colour rendering properties of light sources (CIE 13.3-1995)*; Commission Internationale de l'Éclairage, Vienna, 1995.

GK 030824... 121129, 130101, 220209