

OSNOVE O BOJI

Kontrola boja - od percepcije do mjerenja

dr.sc. Maja Strgar Kurečić

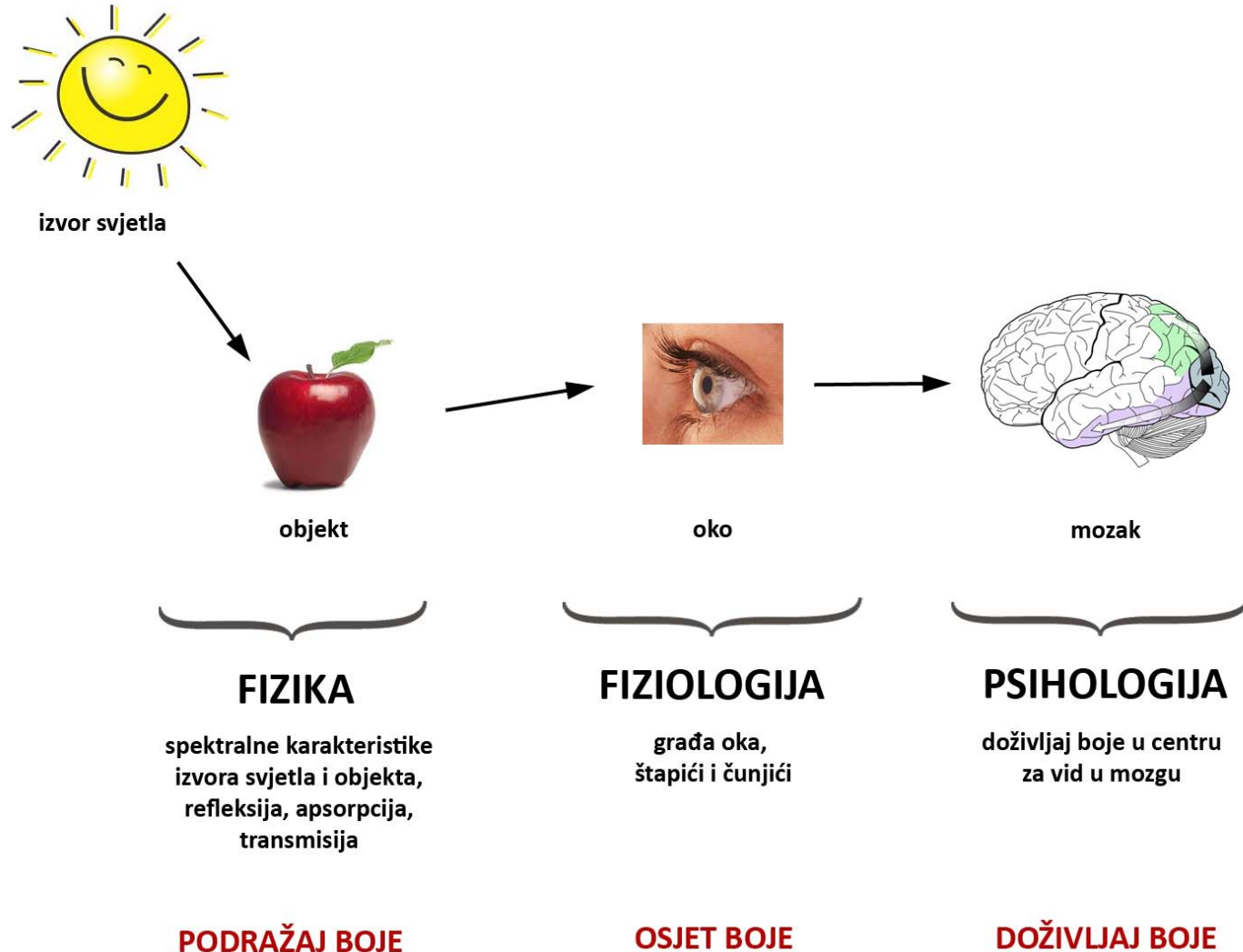
SADRŽAJ PREDAVANJA



- ▶ Boja - s psihofizičkog i s fizikalnog aspekta
- ▶ Doživljaj boje
- ▶ Psihofizičke karakteristike boja - subjektivno opisivanje boje
- ▶ Fizikalne karakteristike boja - objektivno opisivanje boje
- ▶ Sustavi za prikaz boja, Prostori boja
- ▶ Kolorimetrija
- ▶ Mjerni uređaji za kontrolu kvalitete reprodukcije boja



Nastanak i opažanje boje



Doživljaj boje



Doživljaj boje ovisan je o tri faktora:

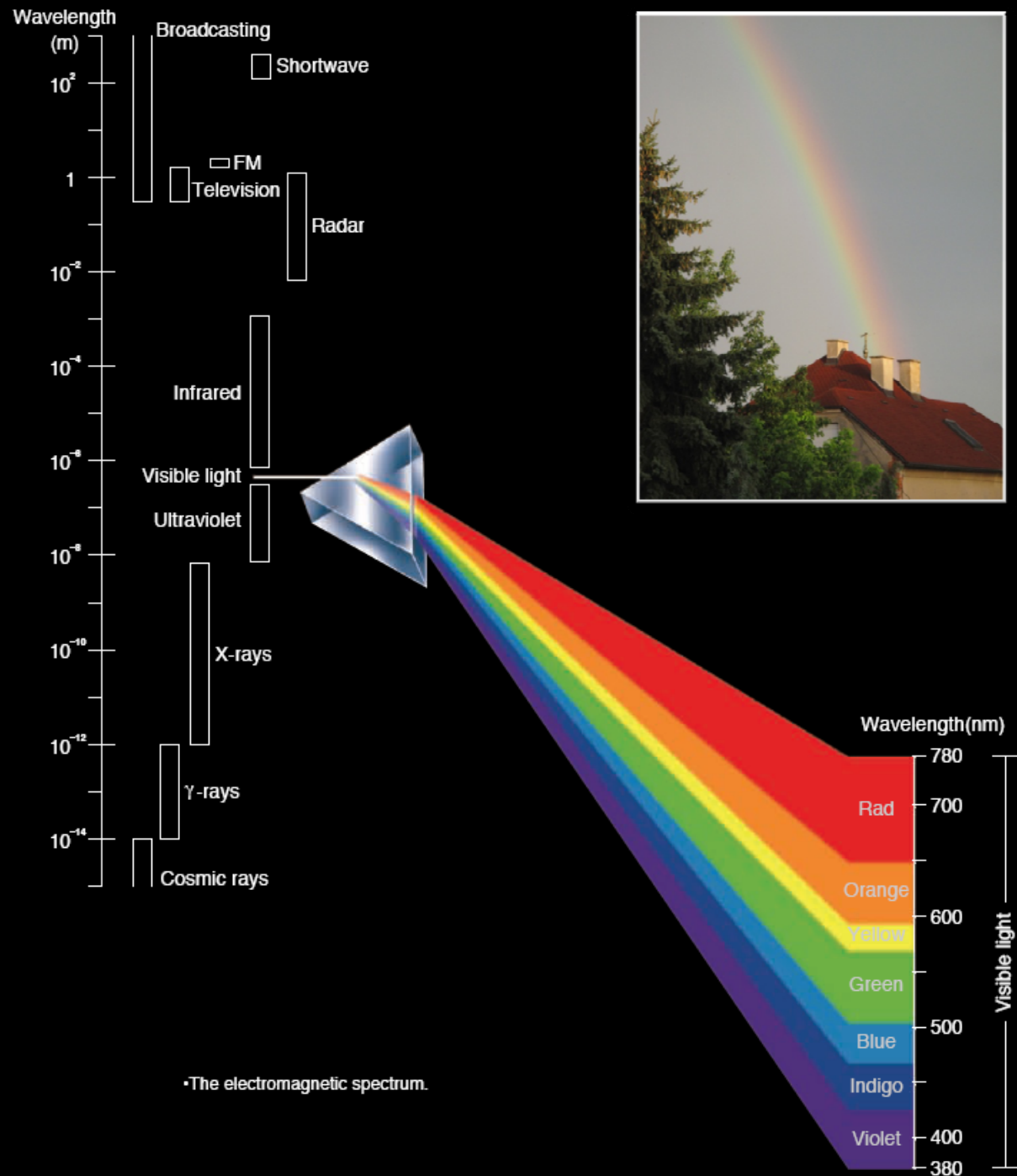
1. spektralnom sastavu svjetla koje pada na promatrani predmet,
2. molekularnoj strukturi materijala s kojeg se svjetlo reflektira (ili propušta) i
3. čovjekovim osjetom boje, putem vidnog sustava i mozga.



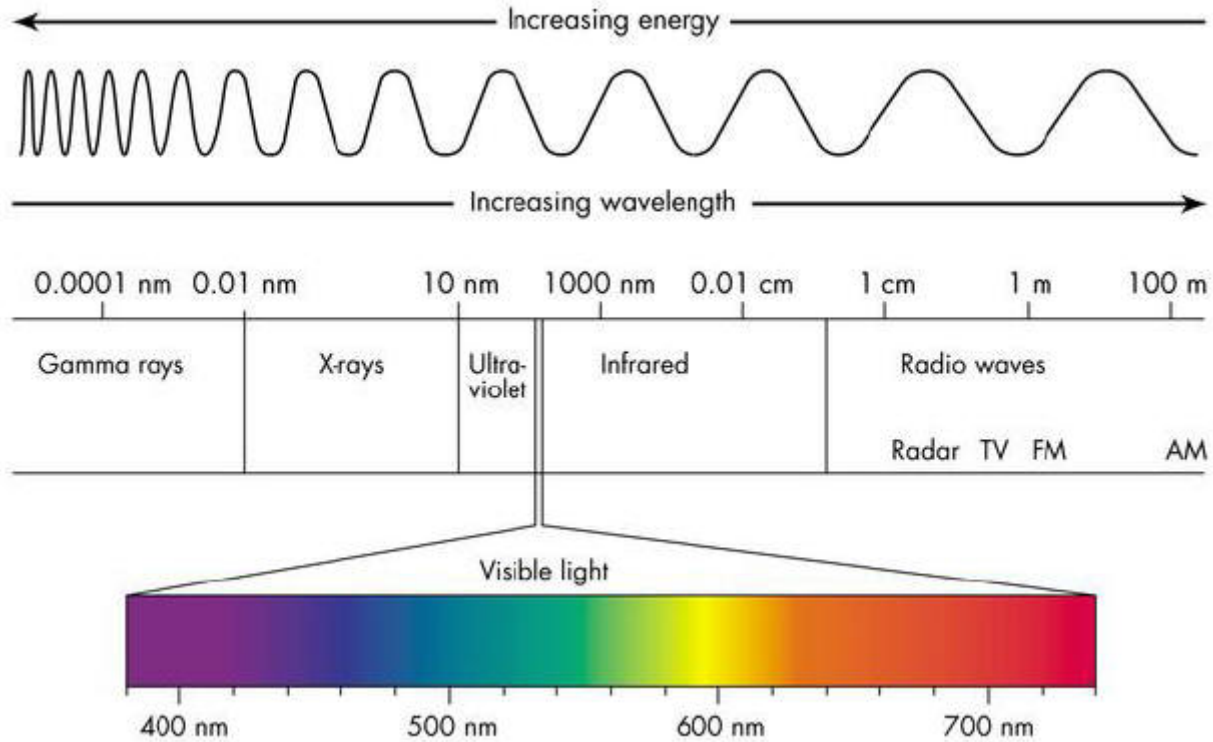
Svjetlost

Sunce emitira elektromagnetsko zračenje različitih valnih duljina.

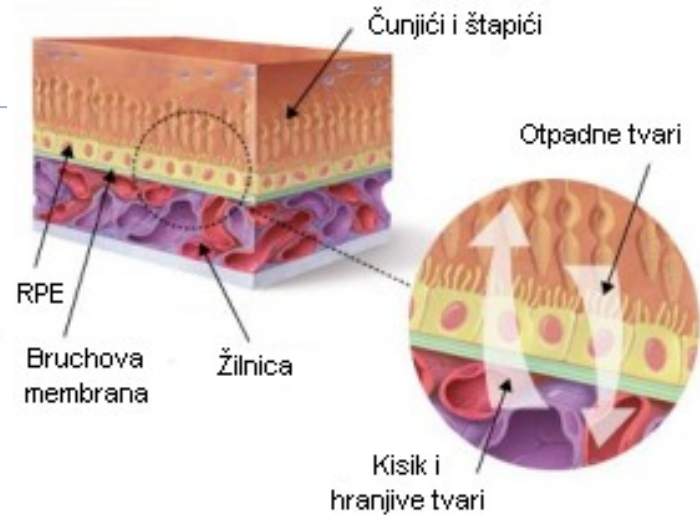
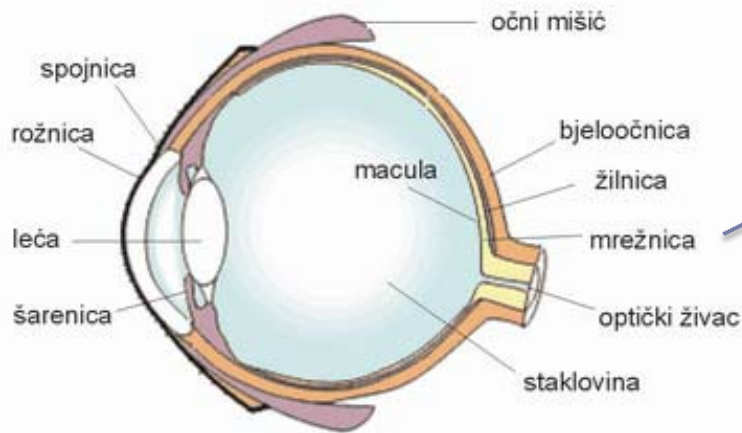
Ljudsko oko osjetljivo je samo na mali dio tog spektra, na vidljivi dio spektra, tzv. *bijelo svjetlo* (cca 380 - 750 nm).



Svjetlost

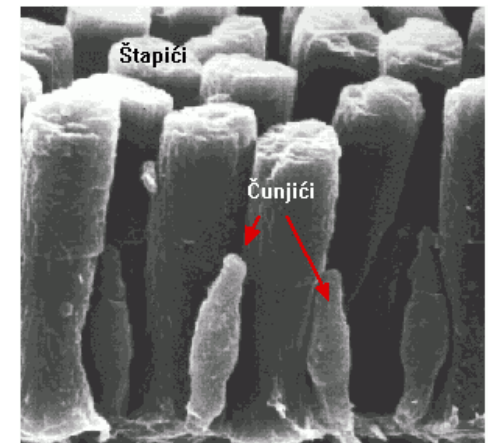


Oko

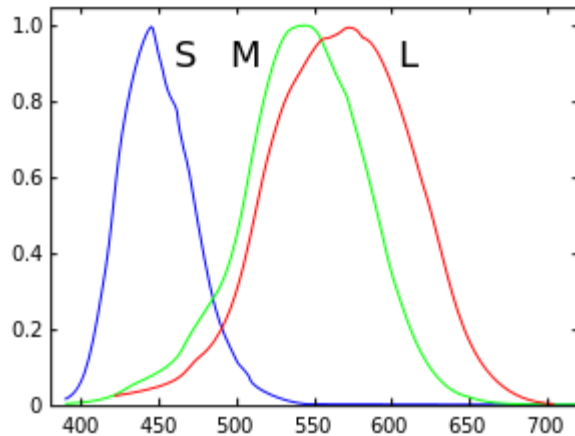


U mrežnici se nalaze 2 vrste receptora (fotoosjetljivih stanica) koje su živcima povezane sa mozgom:

- ŠTAPIĆI - omogućuju osjet svjetline (cca 120 mil)
- ČUNJIĆI - omogućuju osjet boje (cca 6,5 mil)

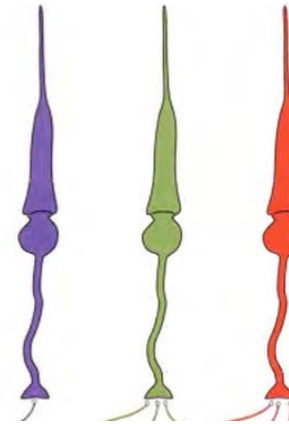


Oko



Relativna spektralna osjetljivost čunjića

Tri različite vrste čunjića definiraju spektralnu osjetljivost ljudskog oka, koja se kreće od 400 do 700 nm.



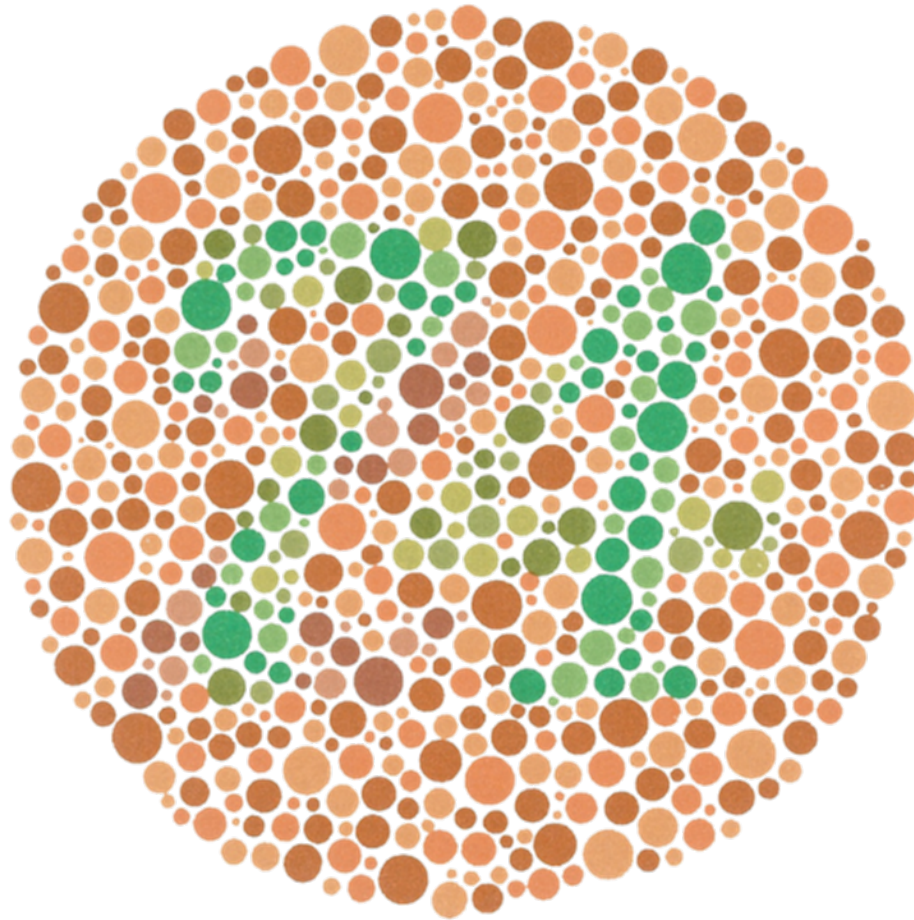
Tri vrste čunjića

S - *short wavelength* - čunjići maksimalno osjetljivi na svjetlo valne dužine 445nm (lj.plavi dio spektra)

M - *medium wavelength* - maksimalno apsorpira zeleno svjetlo valne duljine 535 nm

L - *long wavelength* - maksimalno apsorpira crveno svjetlo valne duljine od 570 nm

Oko



Primjer jedne od tablica Ishihara testa

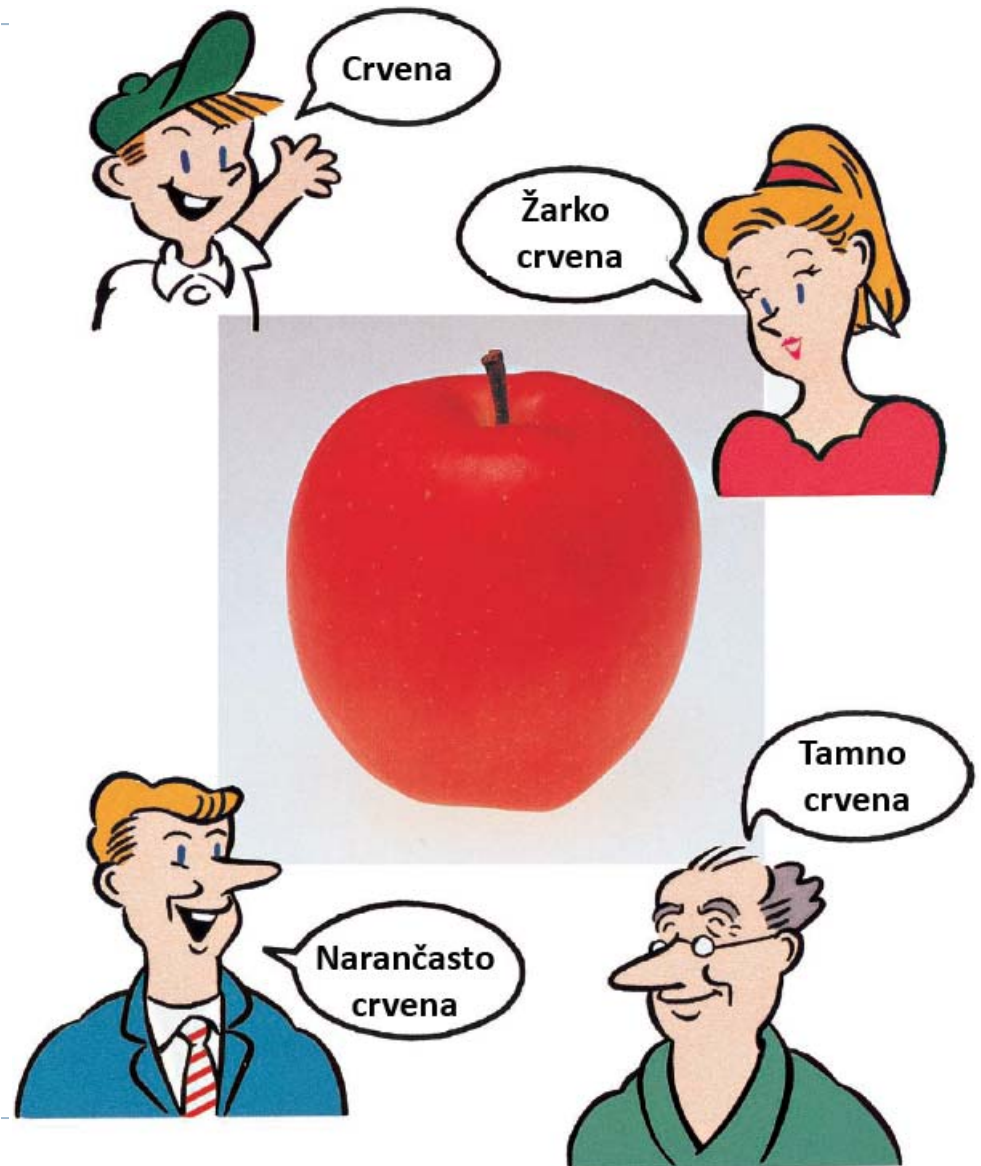


Opisivanje boja

Koje boje je ova jabuka?

Boja je stvar percepcije i subjektivne interpretacije.

Na koji način možemo preciznije komunicirati o boji?

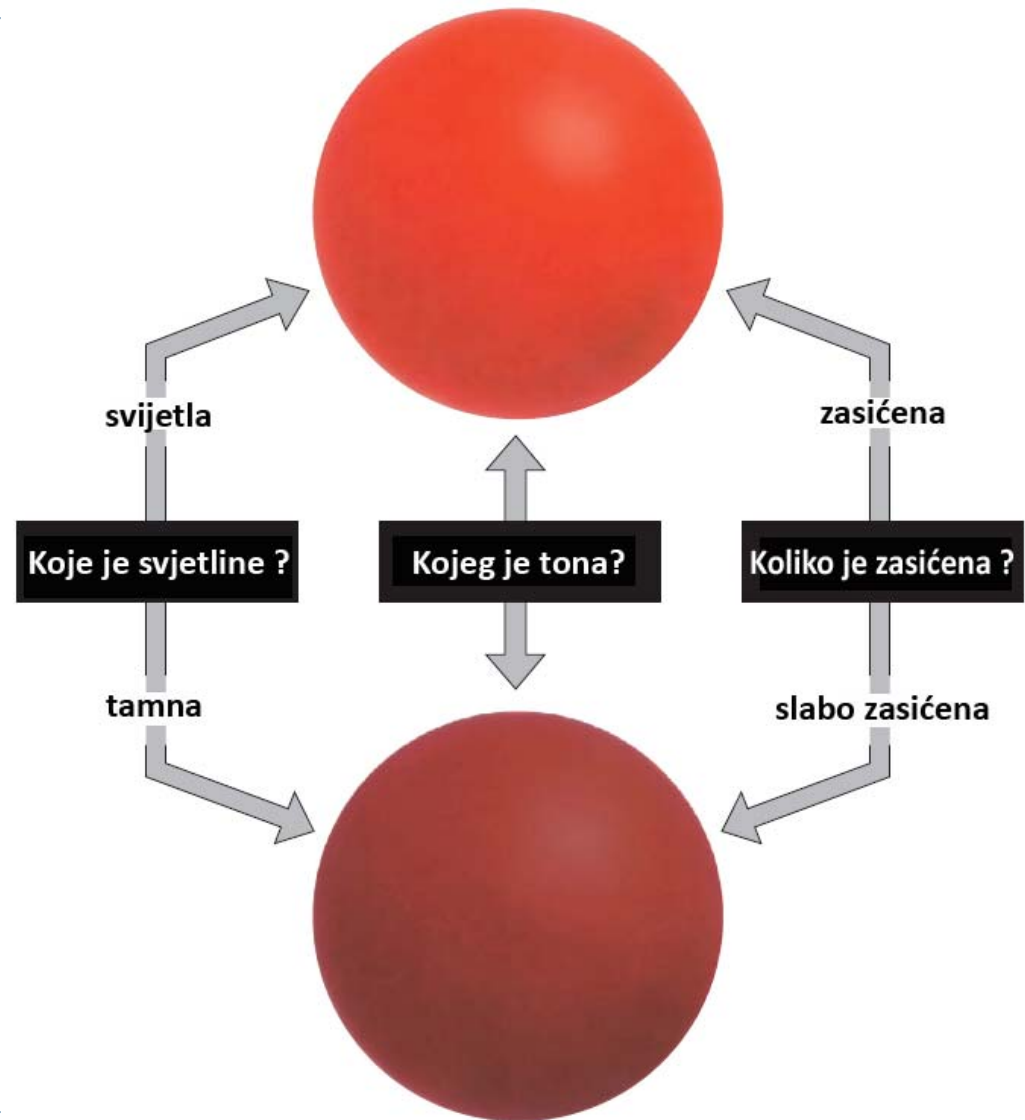


Opisivanje boja

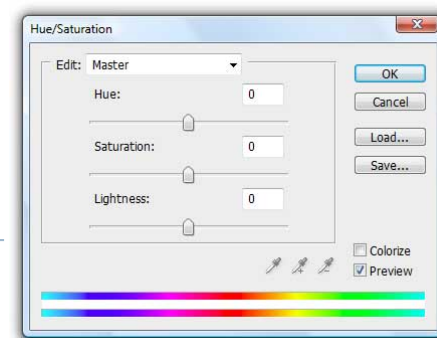
Atributi koji uže definiraju svaku boju su:

1. Ton boje (*hue*)
2. Zasićenje (*saturation*)
3. Svjetlina (*lightness*)

Ton i zasićenje boje određuju **kromatičnost** boje koja nije ovisna o svjetlini.



Opisivanje boja



1. **Ton boje** (*hue*) - atribut vizualnog doživljaja na osnovi kojega točno definiramo pojedinu boju kao npr. crvenu, plavu, žutu, itd. ovisno o dominantnoj valnoj duljini.



2. **Zasićenje** (*saturation*) - udio čiste boje sadržane u ukupnom vizualnom doživljaju boje, tj. udio pojedinih valnih duljina u nekom tonu boje.



3. **Svjetlina** (*lightness*) - obilježje vizualnog osjeta koje opisuje sličnost boje s nizom akromatskih boja od crne preko sive do bijele. Udio crne u nekom tonu boje.



Psihofizičke vs. fizikalne karakteristike boja

Psihofizičke karakteristike

Fizikalne karakteristike

TON	↔	DOMINANTNA VALNA DULJINA
ZASIĆENJE	↔	ČISTOĆA POBUDE
SVJETLINA	↔	LUMINACIJA

Psihofizičke karakteristike interpretiraju boju sa stajališta promatrača (subjektivne), dok se fizikalne karakteristike mjere uređajima neovisnim o promatraču (objektivne).

Psihofizičke karakteristike - ono što promatrač osjeća.

Fizikalne karakteristike - ono što neki uređaj izmjeri.



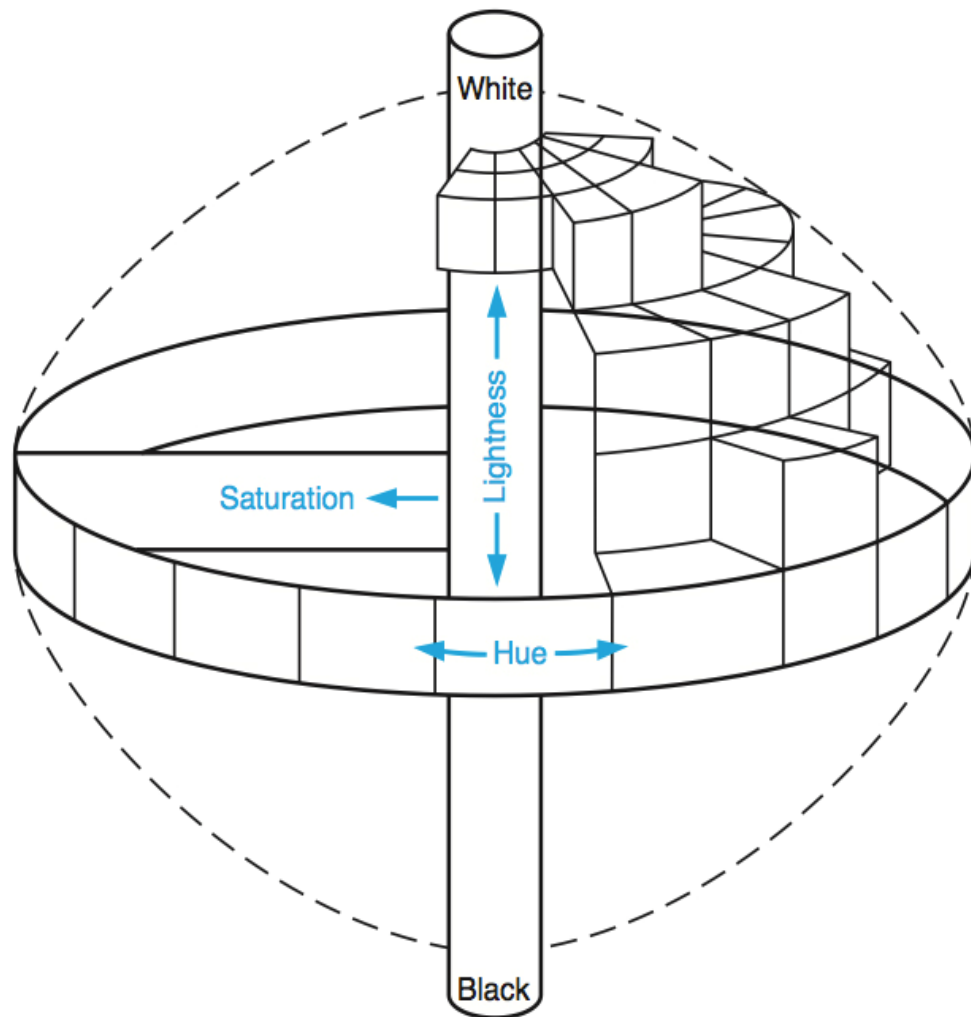
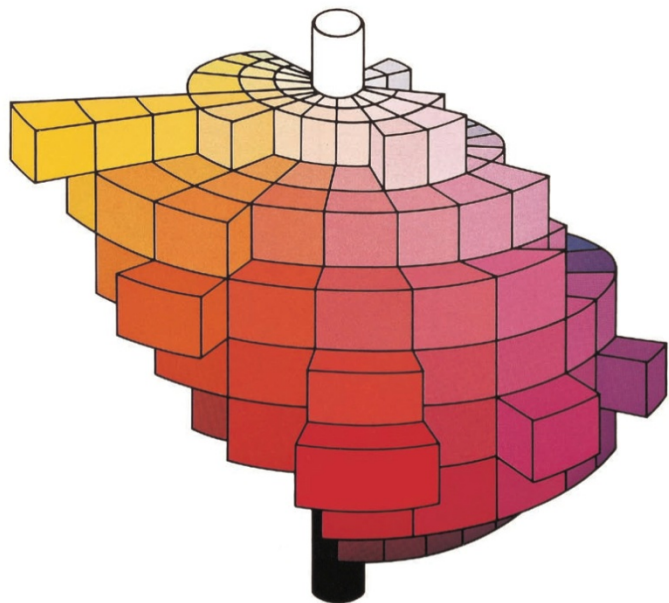
Sustavi za prikaz boja

- Nastali su iz potrebe za sustavnom i objektivnom klasifikacijom boja cjelokupnog spektra, te egzaktnim vrednovanjem odnosa među bojama.
- Osnovna podjela:
 - Sustavi bazirani na psihološkim atributima boje - intuitivni modeli (Munsellov, Natural Colour System-NCS)
 - Sustavi bazirani na miješanju boje svjetla i pigmenta (Ostwaldov sustav, Pantone)
 - Objektivni sustavi bazirani na CIE zakonitostima (CIE XYZ, CIE LAB, CIE LUV)



Munsellov sustav boja (HVC)

- 1915.g.
- intuitivni model za prikaz perceptualnih atributa boja:
Hue (H) ton,
Value (V) svjetlina
Chroma (C) zasićenost



Pantone - profesionalni sustav

- Tisuću obojenih uzoraka u katalogu napravljeno je iz 16 osnovnih boja
- Boje su identificirane brojem koji je kod proizvođača bojila dobiven određenim recepturama za traženi ton i namjenu (točan postotak osnovnih boja korištenih za dobivanje određenog tona).



Sustavi temeljeni na CIE zakonitostima

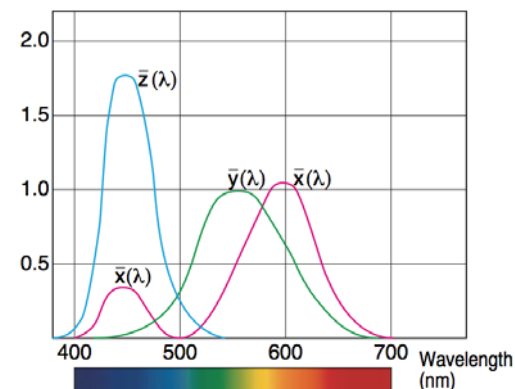
CIE (*Commision Internationale de l'Eclairage*) - internacionalna komisija za rasvjetu, utemeljitelj znanosti o boji, razumijevanju nastanka boje, njenog instrumentalnog mjerenja i brojčanog vrednovanja.

1931.g.

- CIE komisija je definirala i standardizirala izvore svjetla i njihove raspodjele energije zračenja (*slika*).
- Definiran je pojam “*standardni promatrač*” (statistički podatak dobiven nizom mjerenja u kojima su sudjelovali ljudi ispravnog vida).
- *CIE Yxy* - prvi objektivni prostor boja temeljen na izračunu koordinata boja x i y iz standardnih vrijednosti boja X, Y, Z .

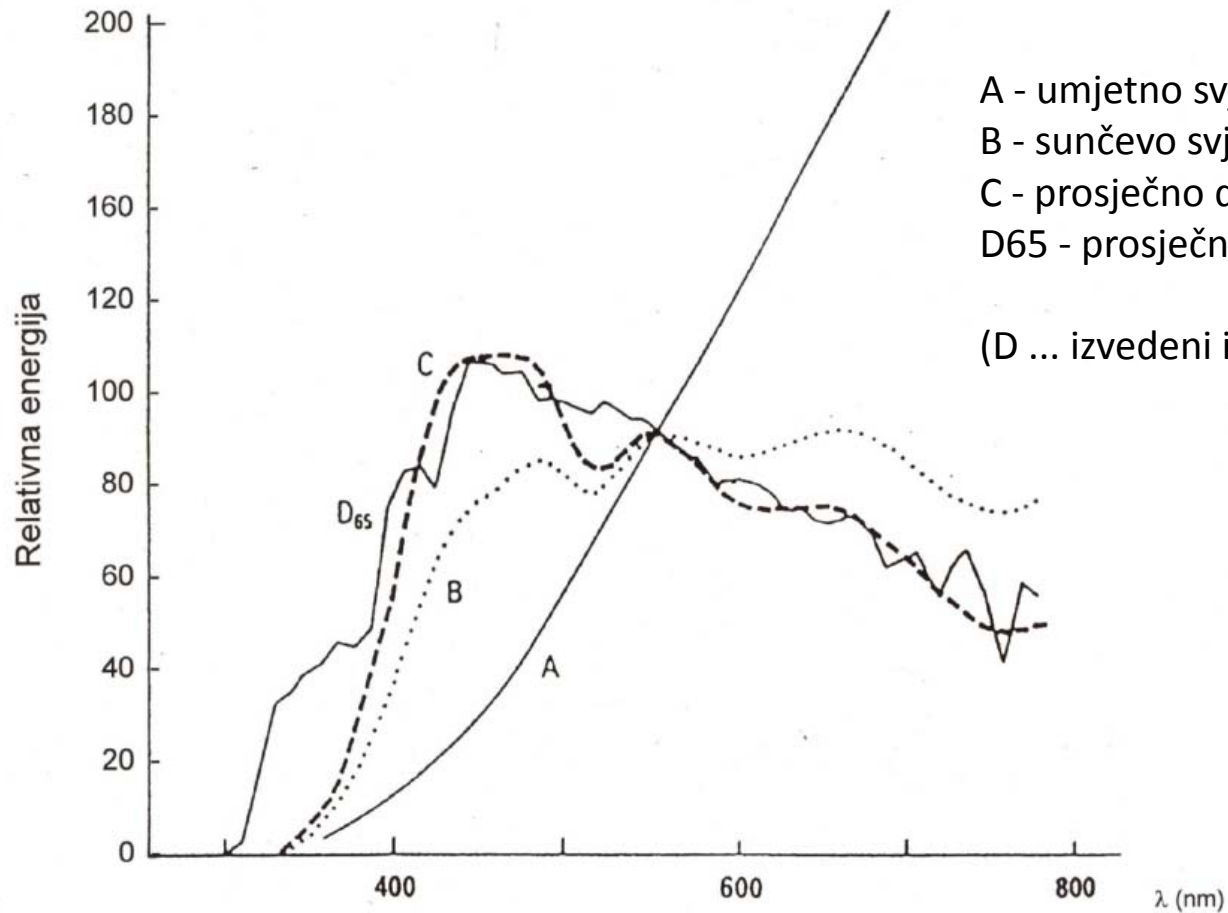
1976.g.

- *CIE LAB* - prostor boja temeljen na objektivnom vrednovanju boja i najbliži je vizualnoj percepciji.



CIE 1931 - standardni promatrač
Tristimulusne vrijednosti spektralnih boja

CIE standardna rasvjeta



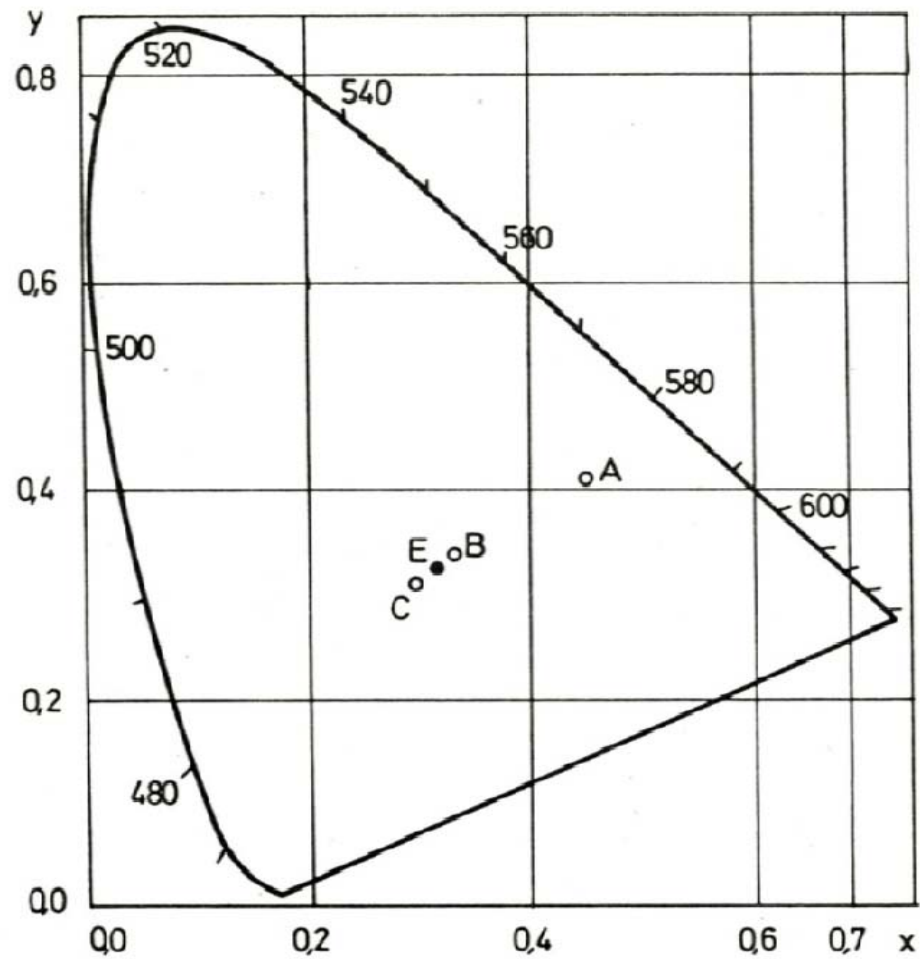
A - umjetno svjetlo (volframova žarulja)

B - sunčevo svjetlo (podnevna)

C - prosječno dnevno svjetlo

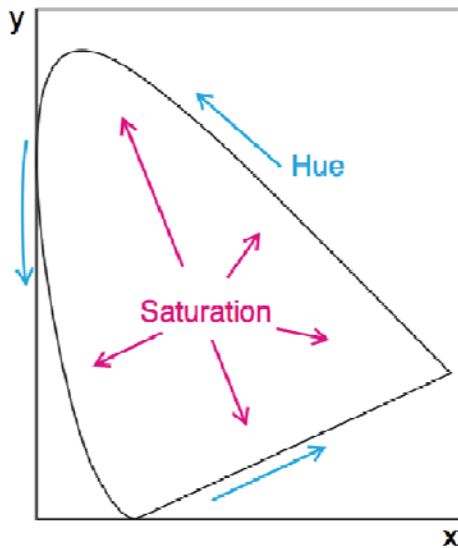
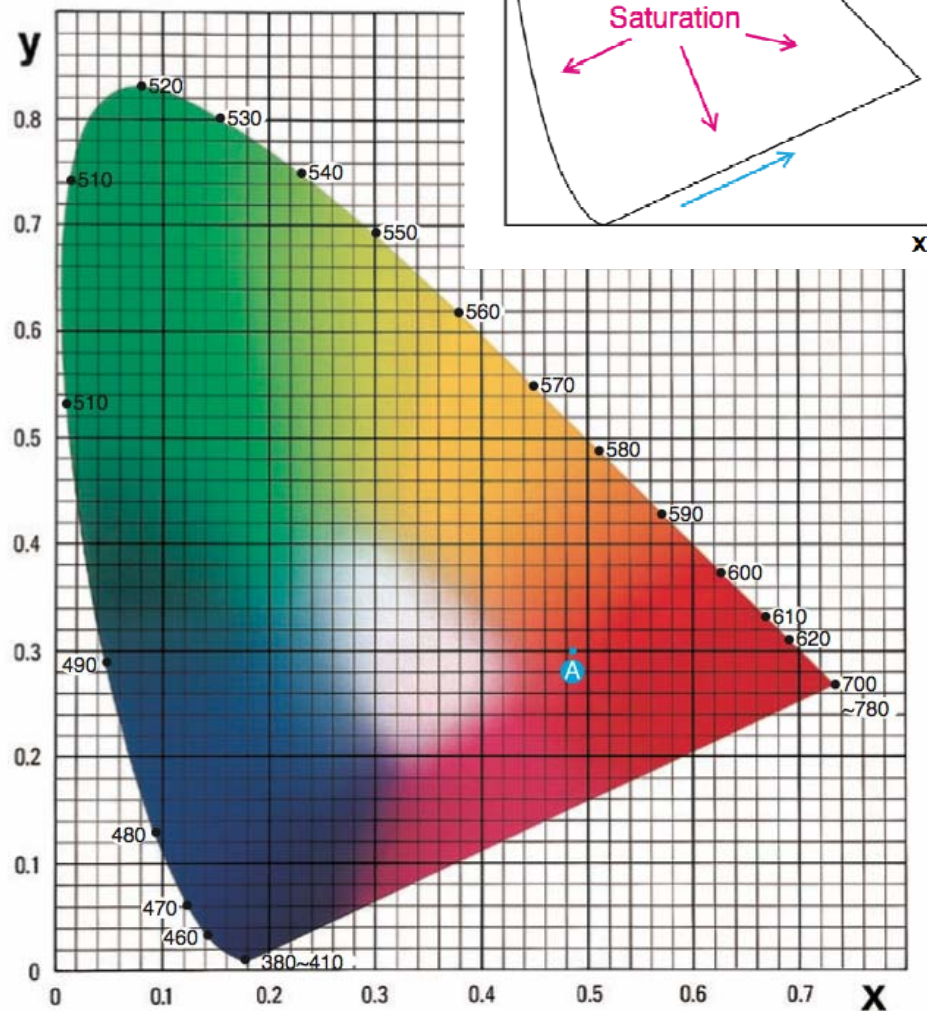
D65 - prosječna dnevna rasvjeta

(D ... izvedeni izvori svjetla)



Dijagram kromatičnosti u kojem je prikazana bijela boja (C,E, B,A) uz različita osvjetljavanja uzorka

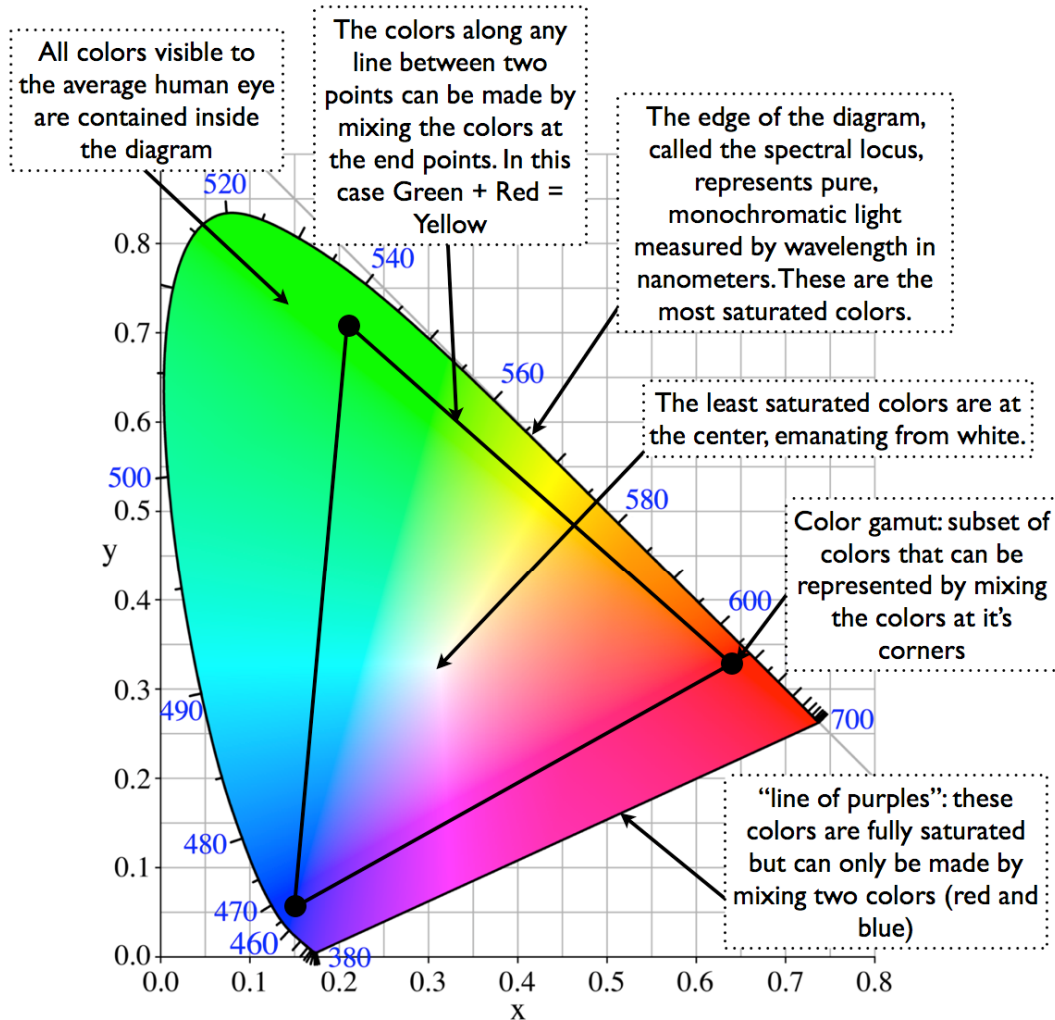
CIE Yxy



Y = 13.37
x = 0.4832
y = 0.3045

Ako kolorimetrom mjerimo boju jabuke u Yxy prostoru boje dobit ćemo vrijednosti x i y kao kromatske koordinate koje odgovaraju točki A na diagramu kromatičnosti. Vrijednost Y označava postotak refleksije u usporedbi sa idealnom refleksijom od 100%.

CIE dijagram kromatičnosti

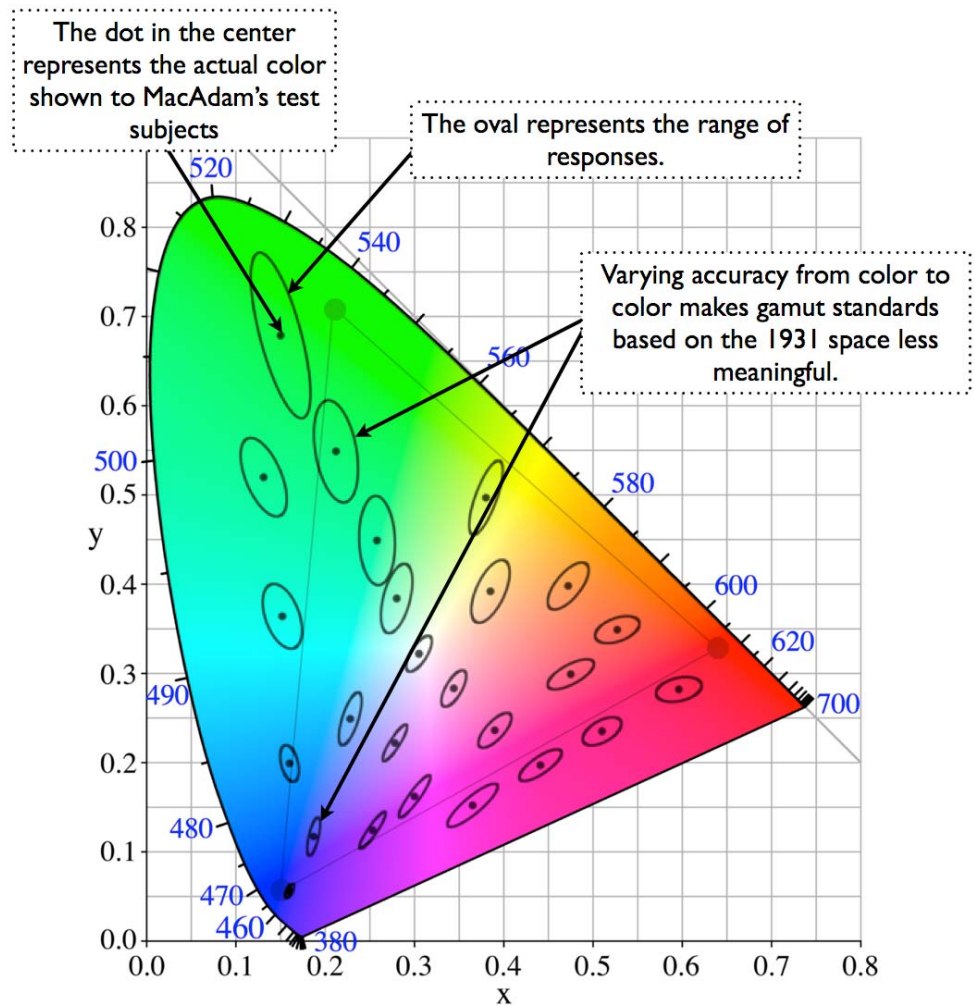


Anatomy of a CIE Chromaticity Diagram

U dijagramu su označene granice područja unutar kojih se mijenja kromatičnost boje, no te promjene se još vizualno ne zapažaju.

NEDOSTATCI CIE DIJAGRAMA

- Jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama
- Ne pokazuje dovoljno precizno kako boja izgleda, 2D prostor, nedostaje prikaz svjetline
- Položaj boje ovisi o izvoru rasvjeta

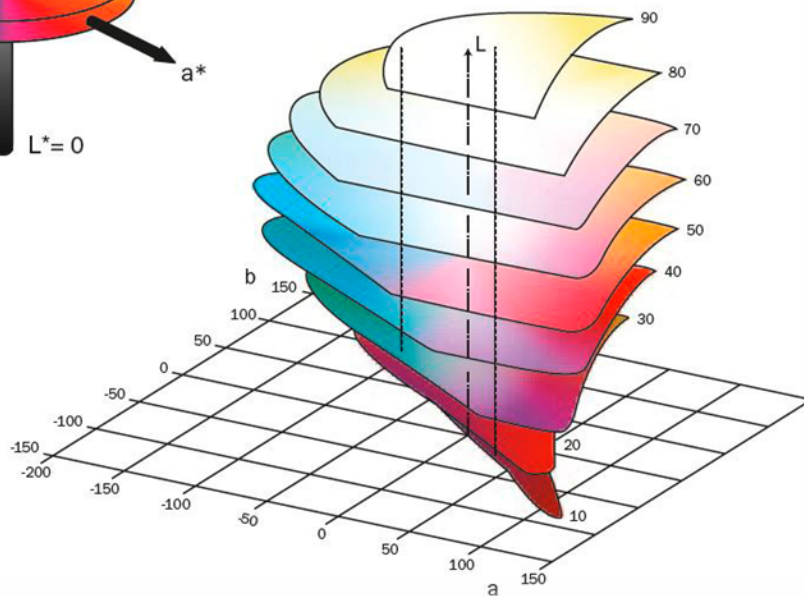
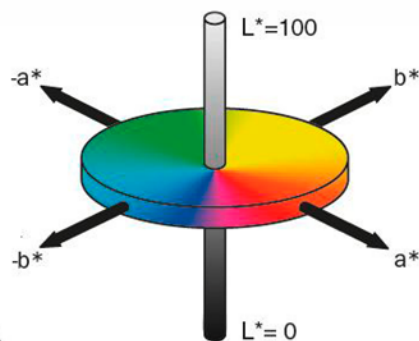
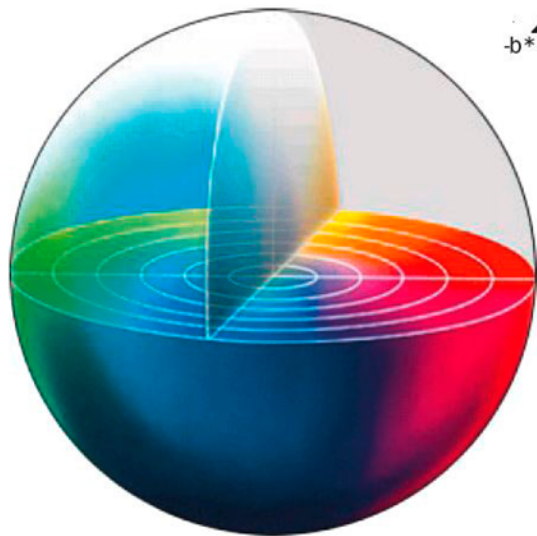


MacAdam Elipses on CIE 1931

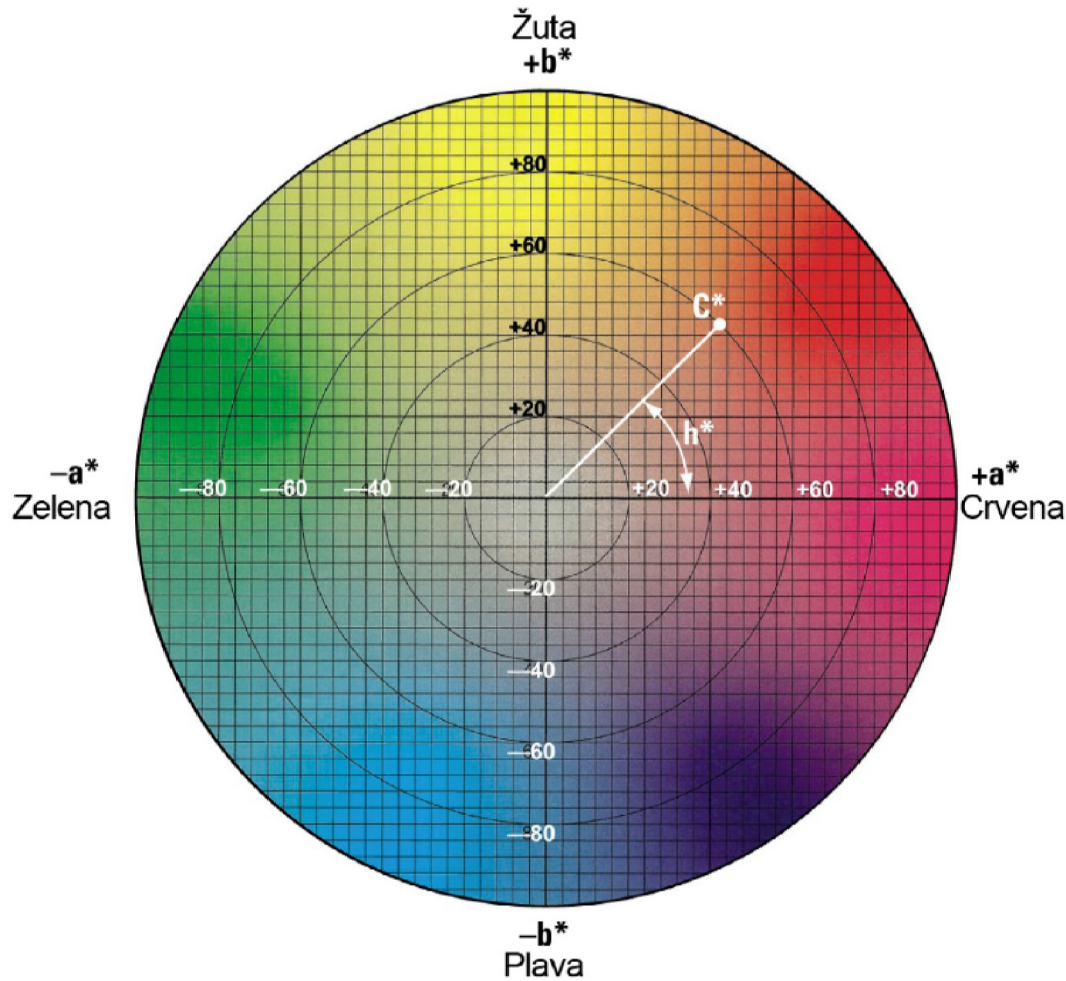
CIE LAB (1976.)

- trodimenzionalni prostor boja temeljen na objektivnom vrednovanju boja i najbliži je vizualnoj percepciji.

L (luminance) svjetlina, od 0-100, akromatska os
a (crveno-zeleno) i **b** (žuto-plavo), kromatske osi



CIE LAB



$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

Kromatičnost

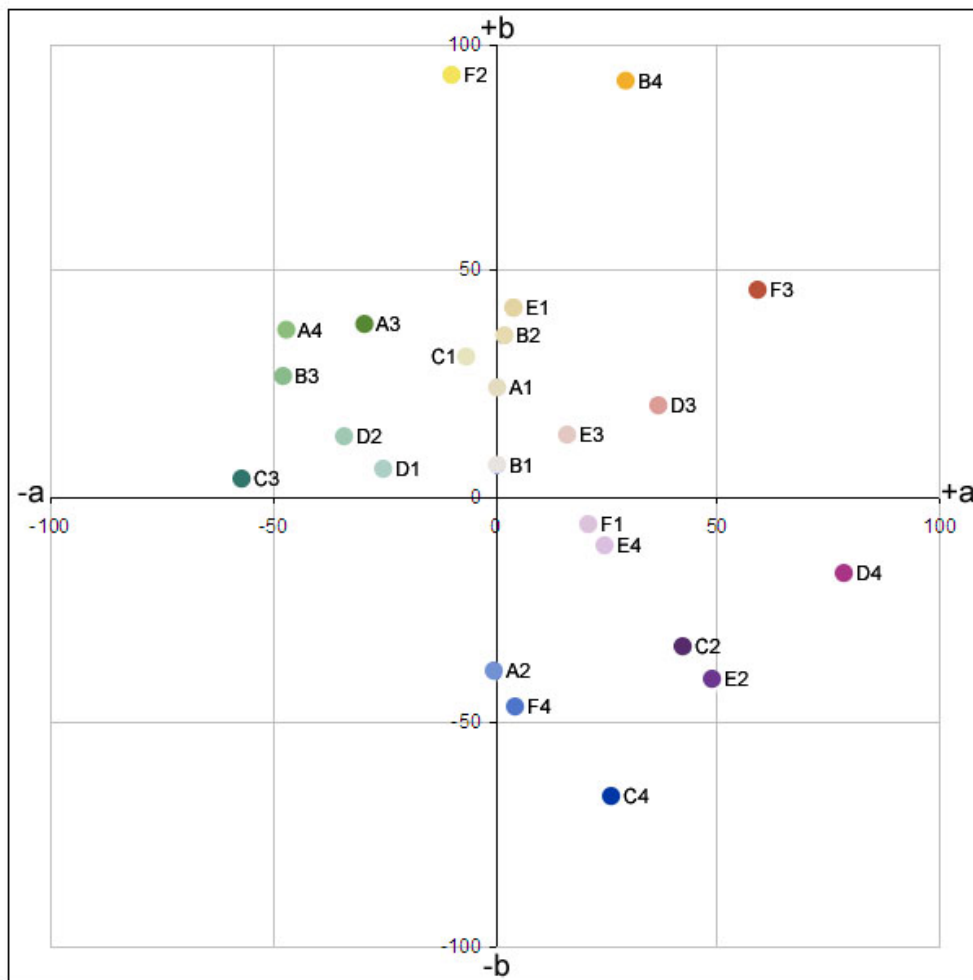
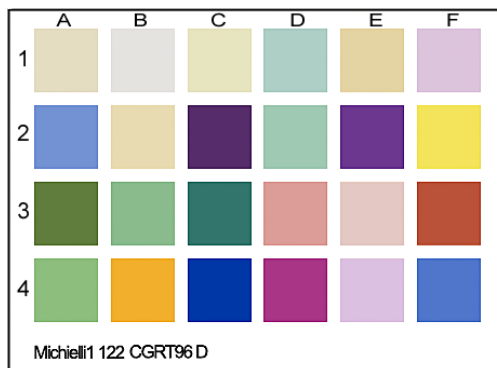
$$C^*_{ab} = [a^{*2} + b^{*2}]^{1/2}$$

Kut tona boje

$$h^*_{ab} = \arctan (b^*/a^*)$$

PRIMJER

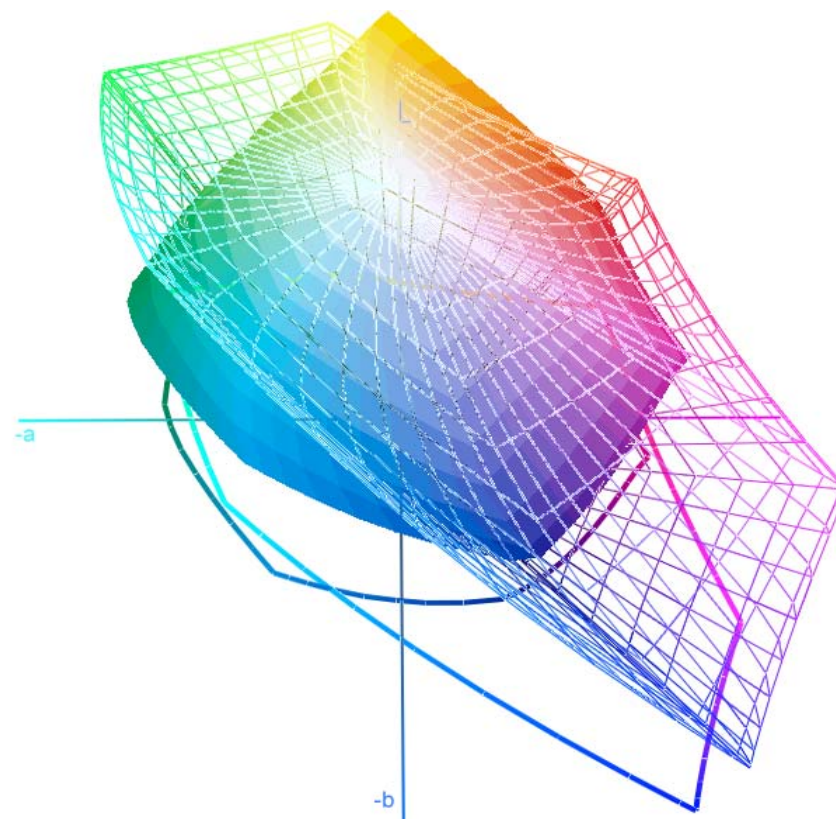
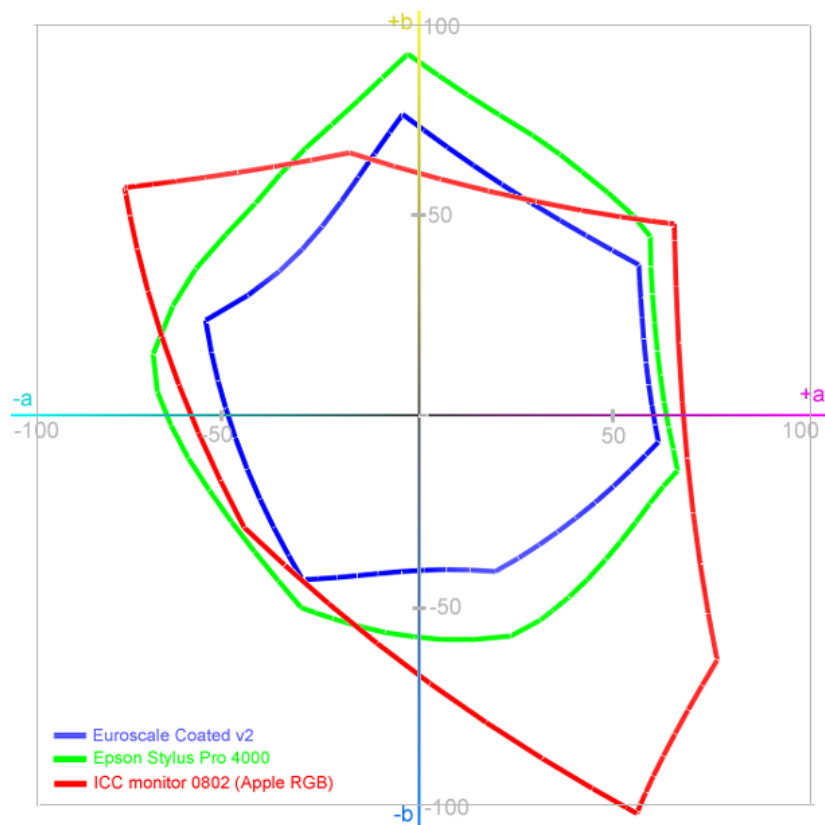
L*, a*, b* vrijednosti izmjerene sa uzorka i ucrtane u CIE LAB diagram



Polje	Michielli1		
	L*	a*	b*
A1	93,12	0,52	24,09
A2	64,49	-0,10	-38,92
A3	51,68	-29,37	38,24
A4	74,38	-46,73	36,80
B1	96,77	0,55	6,78
B2	92,58	2,23	35,23
B3	71,77	-47,41	26,36
B4	81,38	29,41	92,36
C1	95,40	-6,50	30,79
C2	29,40	42,59	-33,30
C3	44,96	-56,97	3,34
C4	30,40	26,14	-66,99
D1	86,52	-24,92	5,91
D2	80,59	-33,60	13,10
D3	75,82	36,69	19,95
D4	46,91	78,30	-17,35
E1	91,14	4,15	41,45
E2	35,32	49,06	-41,26
E3	86,40	16,46	13,15
E4	82,92	24,74	-11,24
F1	87,82	20,91	-6,44
F2	93,39	-9,82	93,66
F3	52,39	59,20	45,74
F4	53,95	4,87	-46,98

PRIMJER

Prikaz gamuta različitih
izlaznih profila u CIE LAB
diagramu (2D i 3D prikaz)



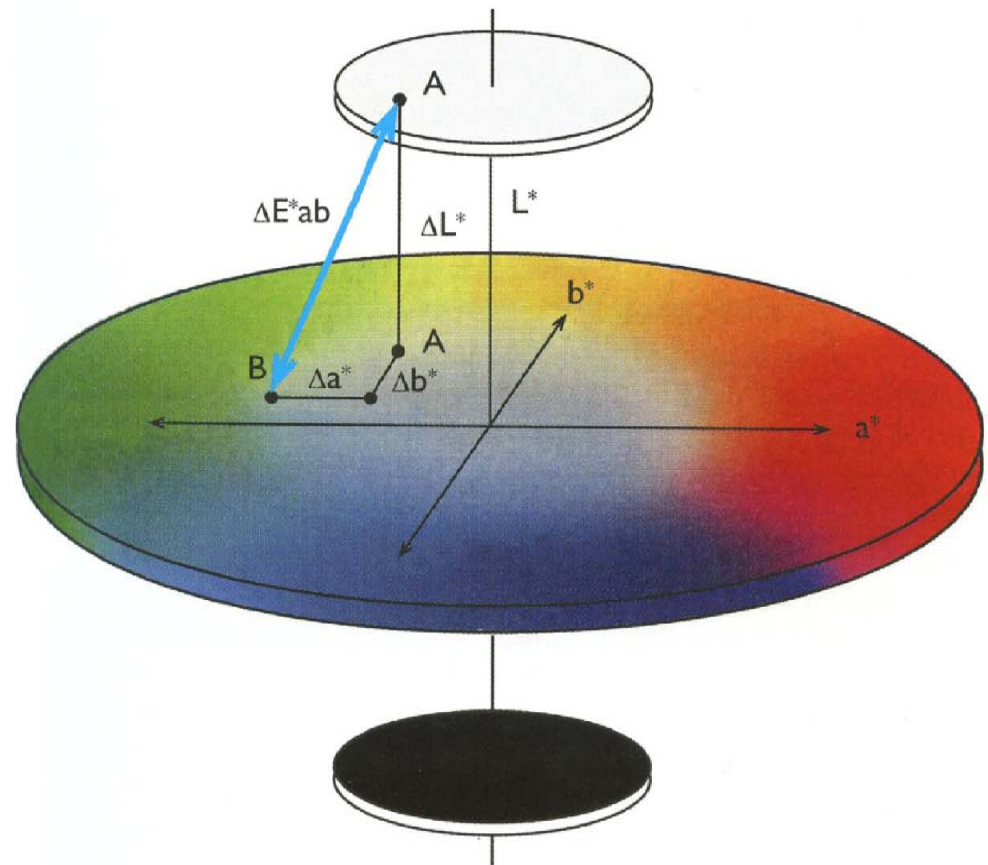
3D prikaz gamuta profila monitora i profila printera

ΔE^*_{ab} ... UKUPNA RAZLIKA BOJA (kolorimetrijska razlika)

- razlika između dvije boje u CIE sustavu
- definira se kao euklidska razlika između koordinata za dva položaja boja (referentnog i uspoređivanog)
- izračunava se kao srednja vrijednost razlika između L, a i b vrijednosti standarda (referentna vrijednost) i vrijednosti izmjerene na uzorku (uspoređivana vrijednost).

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_2$$
$$\Delta a^* = a^*_1 - a^*_2$$
$$\Delta b^* = b^*_1 - b^*_2$$



ΔE^*_{ab} ... UKUPNA RAZLIKA BOJA (kolorimetrijska razlika)

Sa stanovišta kontrole kvalitete u grafičkoj tehnologiji, kolorimetrijska razlika opisuje kvalitetu reprodukcije, odnosno pokazuje odstupanje reprodukcije od originala.

Jednostavno ocjenjivanje odstupanja boja, može se provesti na osnovi vrijednosti kolorimetrijske razlike, prema slijedećim kriterijima [Schläpfer, 1993]:

$$\Delta E < 0,2$$

razlika boja se ne vidi

$$\Delta E = (0,2 - 1)$$

razlika boja se primjećuje

$$\Delta E = (1 - 3)$$

razlika boja se vidi

$$\Delta E = (3 - 6)$$

razlika boja se dobro vidi

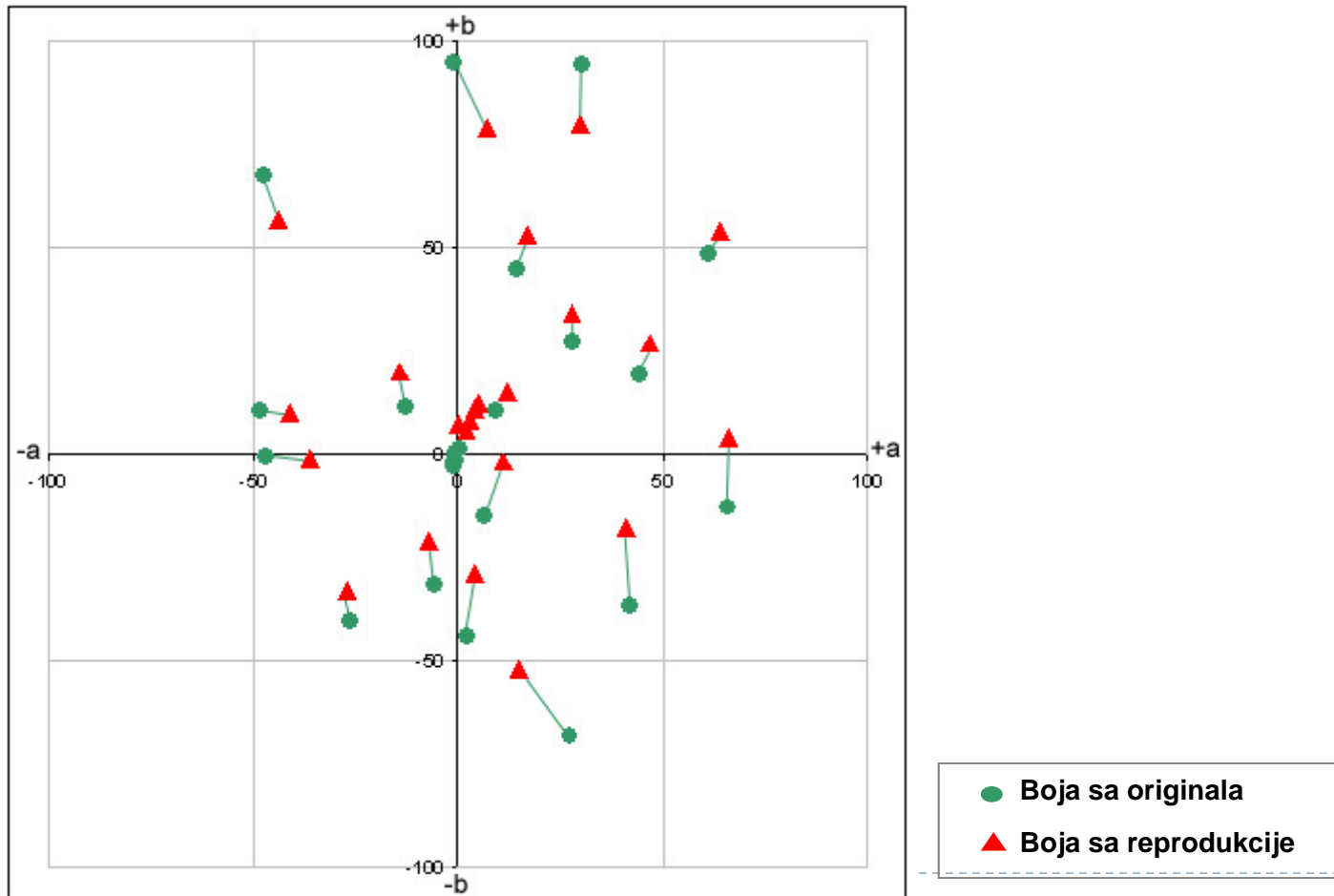
$$\Delta E > 6$$

očigledna odstupanja boja.



PRIMJER

Grafički prikaz obojenih polja sa originala i reprodukcije u CIE LAB diagramu - ukazuje na smjer i veličinu greške u reprodukciji pojedinih boja. Dužina vektora direktno je vezana za veličinu kolorimetrijske razlike.



Kolorimetrija i mjerenje boja

“Mjerenje boja” - oksimoron!

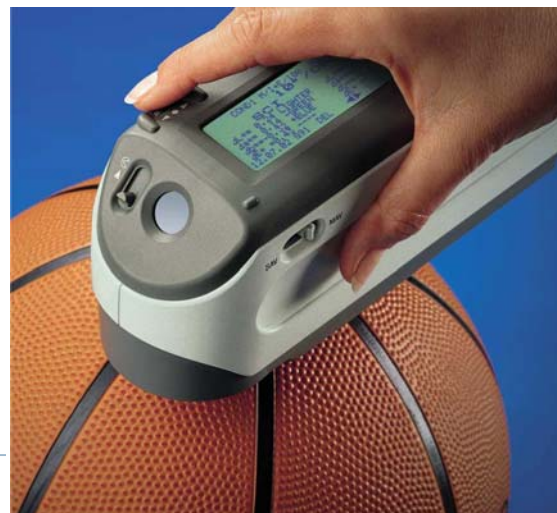
Boja se ne može mjeriti! Boja nije svojstvo fizičkog svijeta, već psihički doživljaj izazvan fizičkim podražajem (stimulusom). Ono što se zapravo mjeri je taj stimulus tj. svjetlo koje je ušlo u promatračevo oko i u njegovom mozgu proizvelo doživljaj boje.

Kolorimetrija = grana nauke o bojama koja se u prvom redu bavi brojčanim određivanjem boje u odnosu na određeni vizualni podražaj. [Wyszecki&Stiles]

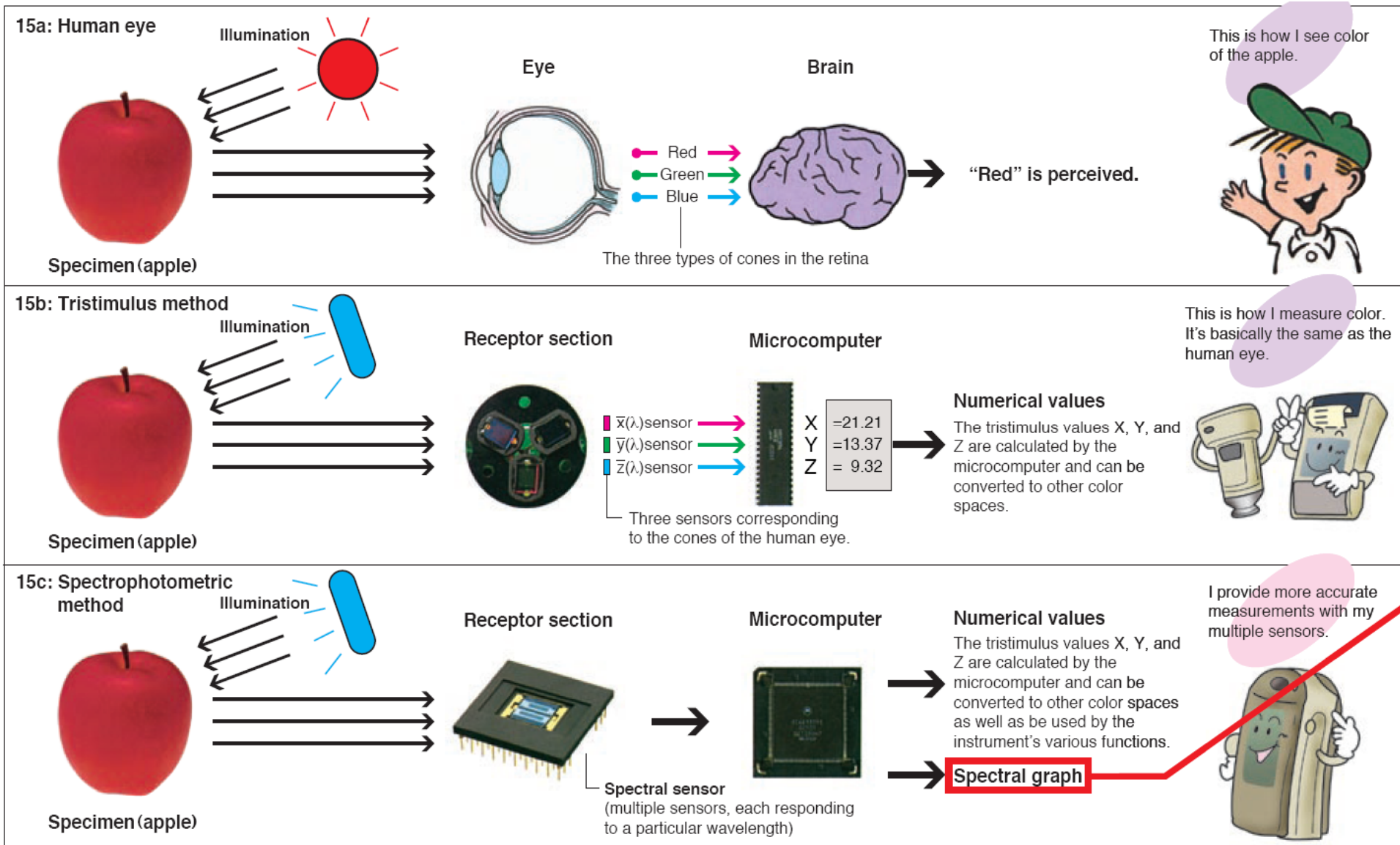


Mjerni uređaji za kontrolu kvalitete reprodukcije

1. Densitometar
2. Kolorimetar
3. Spektrofotometar



Usporedba ljudskog doživljaja boje, tristimulusne i spektrofotometrijske metode mjerenja



This is how I see color of the apple.



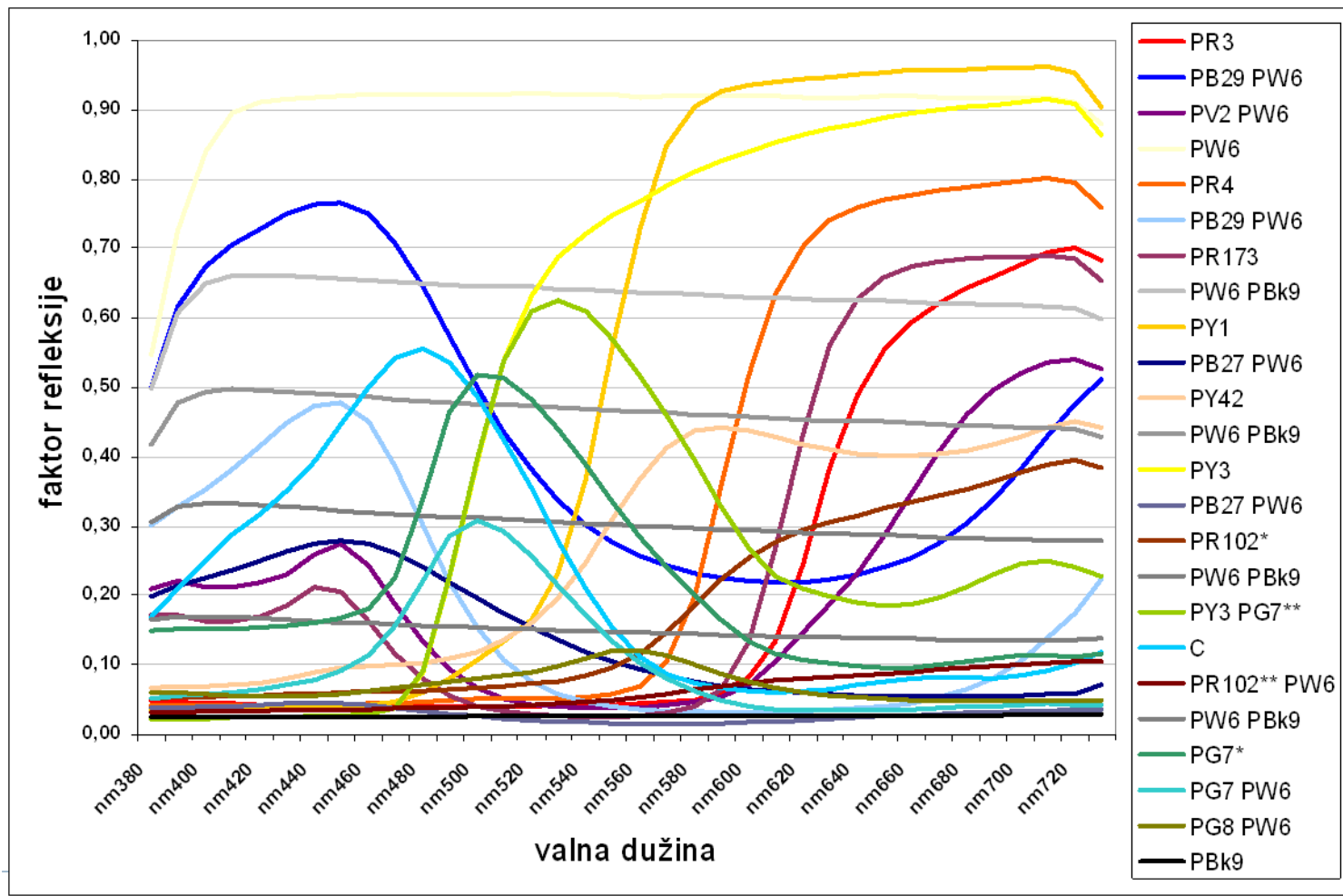
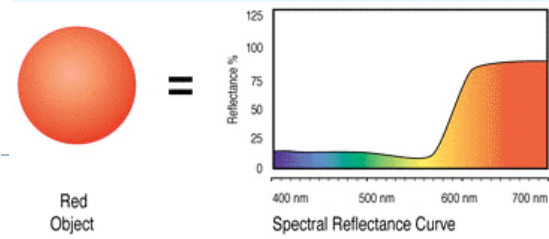
This is how I measure color. It's basically the same as the human eye.



I provide more accurate measurements with my multiple sensors.



Spektrofotometrijska krivulja



Denzitometar

je uređaj koji mjeri faktor refleksije ili transmisije, odnosno omjer između upadnog svjetla usmjerenog na uzorak i reflektiranog ili propuštenog svjetla koji dođe do fotoćelije u uređaju. Na osnovi dobivenih informacija, denzitometar izračunava optičku gustoću (D), izraženu u obliku logaritamskih vrijednosti. Optička gustoća matematički se definira kao logaritamska vrijednost opaciteta (neprozirnosti). Dakle, optička gustoća je stupanj do kojeg materijali apsorbiraju svjetlo. Što je više svjetla apsorbirano, tj. što je manja refleksija ili transparentija površine, optička gustoća je veća. Za razliku od spektro- fometara, denzitometri nemaju definirani izvor svjetla. Pri mjerenju boja koristi filtere (definiranih karakteristika) komplementarne bojama čije se gustoće mjere. Koriste se filteri boja aditivne sinteze.



Kolorimetar

je uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja (na način sličan ljudskom doživljaju boja), u pravilu podešenom prema krivulji standardnog promatrača. Mjerenje boja kolorimetrom temelji se na uspoređivanju ispitivane boje s bojom nastalom u kolorimetru miješanjem osnovnih boja aditivne sinteze, prema Grassmanovim zakonima. Većina kolorimetara prikazuje vrijednosti u jednom od CIE prostora boja (XYZ, LAB ili LUV). Jedna od najvažnijih prednosti kolorimetra je da omogućava izračunavanje ΔE razlike boja, na temelju razlika u svjetlini, tonu i kromatičnosti. Glavni nedostatak kolorimetra je nemogućnost registriranja metamernih boja. Oni su ograničeni na standardnog promatrača i na samo jedan standardni izvor svjetla (D50 ili D65), pa ne mogu provjeriti da li se dva različita uzorka boja vizualno poklapaju pod različitim izvorima svjetla.



Spektrofotometar

je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja. U grafičkoj industriji najčešće se koriste spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 350 nm do 750 nm. Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine (ili intervale valnih dužina) pomoću mono- kromatora. Kao monokromator koristi se prizma ili optička rešetka. Pojedinačnim valnim dužinama izdvojenim monokromatorom, osvjetljava se ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij-oksidi, MgO). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotoćelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali mogu očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spomenuta, spektrofotometrijska krivulja. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se predvidjeti koji će izvori svjetla dovesti do pojave metamerije.

