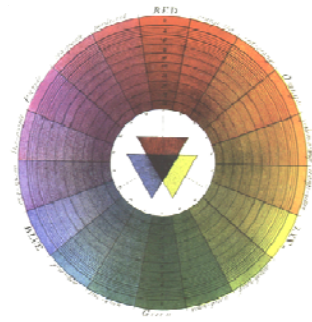


KVALITATIVNE METODE ISPITIVANJA REPRODUKCIJE BOJA

Predavanja za 6. semestar, 3. godina, preddiplomski studij, 2014. godina
Nositelj kolegija: Izv.prof.dr.sc. Nina Knešaurek

Sadržaj predmeta



1. Faktori koji utječu na osjet boje
2. Karakteristike vrste svjetlosti
3. Karakteristike ispitivanog uzorka
4. Osjet boje (psihofizički doživljaj promatrača)
5. Teorije viđenja boje
6. Defektno viđenje boje
7. Psihofizičke karakteristike boje
8. Određivanje tristimulusnih (X,Y,Z) vrijednosti
9. CIE dijagram kromatičnosti
10. Nedostaci CIE dijagrama kromatičnosti
11. CIELAB sustav za prikazivanje boja
12. Određivanje ukupne razlike boja
13. Standardi za mjerenje boja (Ostwald-ov sustav, Munsell-ov sustav, NCS sustav)
14. Metamerija
15. Uređaji za mjerenje boja
16. CIE standardne geometrije mjerenja
17. Sjaj
18. Izbor uređaja za mjerenje boje
19. CMS (Colour management) sustav upravljanja bojom

UVOD



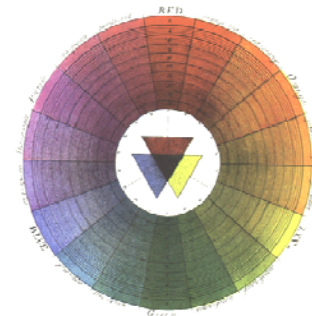
Osjet boje je jedan od ljudskih osjeta koji je razvijen kasnije od ostalih. Tome je razlog što u to davno doba takva vrsta osjeta nije bila primarna za preživljavanje.

Tijekom ljudske povijesti izražavanje osjeta boje postaje sve važnije. Problem se pojavio u povezivanju osjeta boje i njenog imenovanja. Boje su često dobivale imena prema predmetima za koje su bile karakteristične.

Danas je nauka o boji interdisciplinarna. Implementirana je u mnoge znanosti zahvaljujući instrumentalnom mjerenju boje čije su vrijednosti u korelaciji sa vizualnim doživljajem.

Iako smo i danas deficitarni u pojmovima kojima izražavamo osjet boje (razlikujemo ih 10 milijuna) instrumentalno mjerenje omogućava nam komunikaciju kada ih opisujemo, uspoređujemo, receptiramo.

Kolorimetrija /Metrika boja



- Colorimetry, Farbmessung

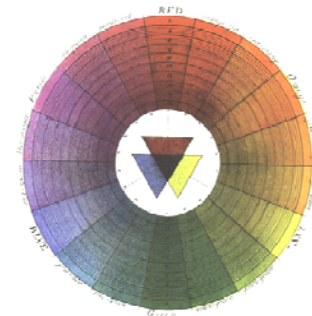
Lat. color = **boja** + grč. metrein = **mjeriti**

KOLORIMETRIJA se primjenjuje u kemiji za kolorimetrijske analize, a u fotografiji za mjerenje svjetloće i zasićenosti boja (tona boje).

Prof.Mesaroš – Grafička enciklopedija

KOLORIMETRIJA je grana nauke o bojama koja se u prvom redu bavi brojčanim određivanjem boje u odnosu na određeni vizualni podražaj (stimulus).

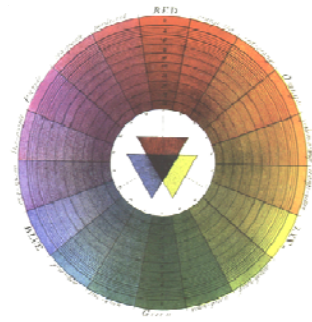
Wyszecki & Stiles



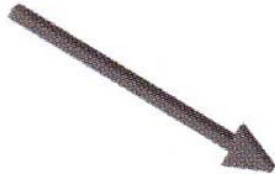
Za razumijevanje **osjeta boje** potrebno je poznavati:

- Izvor svjetla (*eng. light source*)
- Karakteristike promatranog objekta
- Ljudski faktor (fiziološki i psihološki)

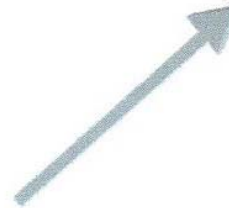
Faktori potrebni za doživljaj boje



IZVOR SVJETLA



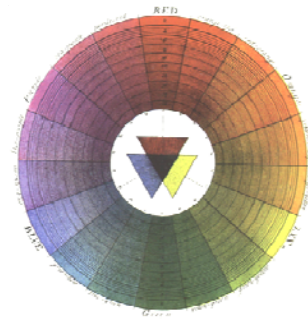
PROMATRAČ



OBJEKT

Izvor svjetla

utječe na percepciju boje svojim spektralnim sastavom.
Boje ne možemo vidjeti u mraku.

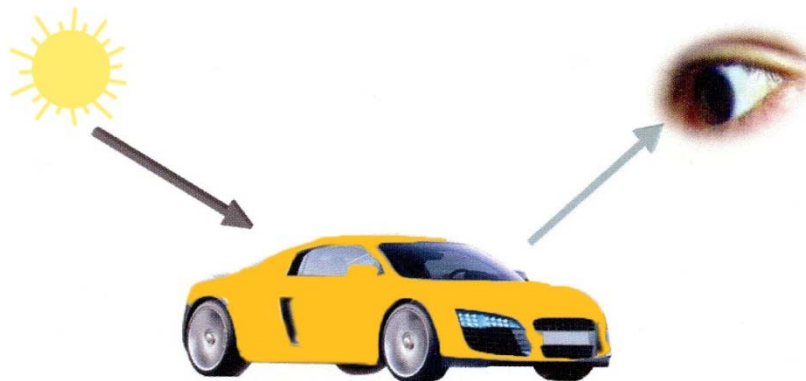


Karakteristike promatranog objekta

objekt svojom bojom i strukturom
modificira spektralni sastav svjetla koje na
njega pada

Ljudski faktor

promatrač čiji je vidni sustav povezan s mozgom
percipira boju i njene karakteristike

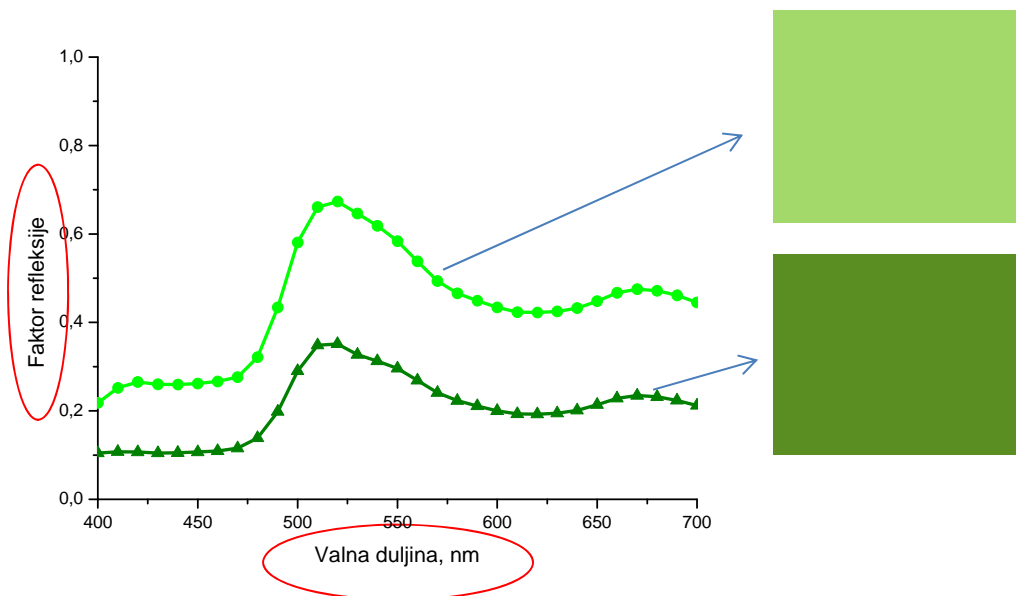




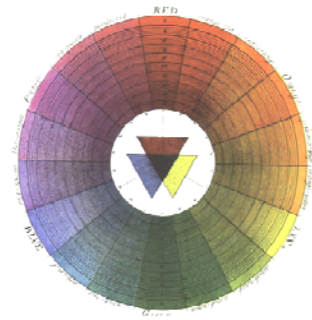
Osjet boje predstavlja psihofizički doživljaj koji ovisi o izvoru svjetla, psihološkim i fiziološkim uvjetima promatrača i karakteristikama objekta koji se promatra.

Boja je psihofizički doživljaj uzrokovan različitim podražajem (stimulusom). To odgovara činjenici da različiti ljudi iste boje doživljavaju različito.

Instrumentalnim mjerenjem svaka boja ima svoju karakterističnu krivulju spektralne refleksije.

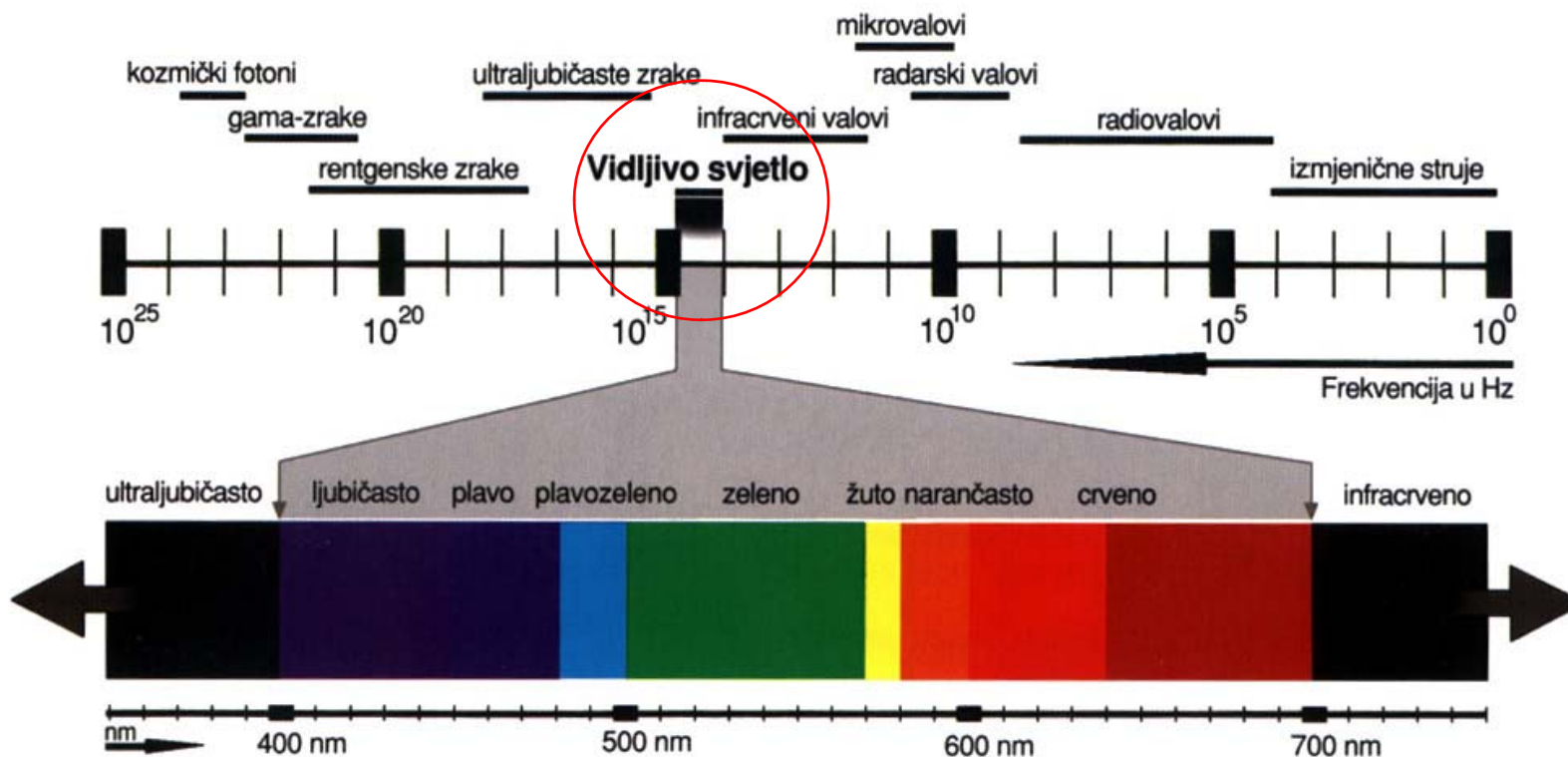


Fizikalni aspekt boje

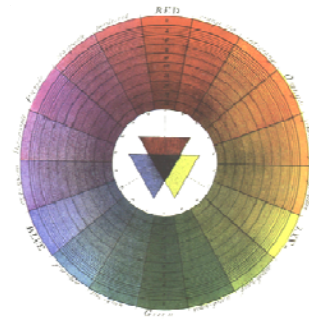


- **Osjet boje** je posljedica energije zračenja vidljivog dijela spektra (380 – 750 nm)
- Mogućnost izdvajanja pojedinih valnih duljina
- Monokromatsko svjetlo
- Svjetlost nastaje u izvorima :
primarnim (prirodni, umjetni)
sekundarnim

Spektar elektromagnetskog zračenja



- Raspon skale valnih duljina proteže se od ekstremno kratkih gama zraka emitiranih od radioaktivnog materijala do radio valova čija je duljina izražena u kilometrima.
- Svjetlo podrazumjeva vidljivi dio spektra, raspon oko 400 do 700 nm (nanometar ili bilionti dio metra).



Ponegdje se navodi raspon vidljivog dijela spektra od oko 380-750 nm, ali stvarni limit ovisi o vizualnom sustavu promatrača.

Ispod 400 nm su UV zrake koje su važne kad ispitujemo fluorescentne materijala.

Iznad 700 nm su IR zrake koje su značajne u fotografiji kod nekih vrsta fotomaterijala.

Vidljivi spektar pojavljuje se u prirodi kao duga.

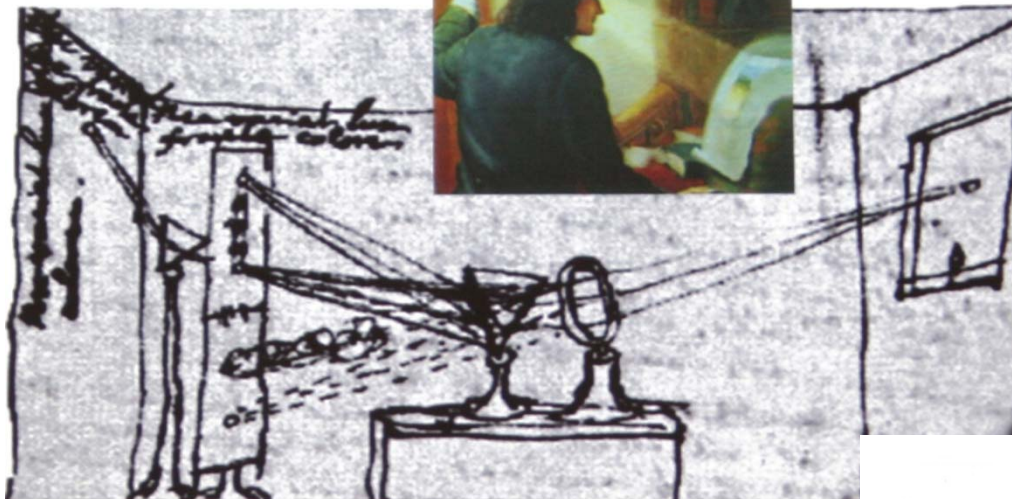
U laboratoriju vidljivi spektar prikazujemo prolaskom i lomom bijelog svjetla kroz staklenu prizmu.

Spektar je često podijeljen u tri široke vrpce plave, zelene i crvene boje, a ustvari ovdje se radi o velikom broju boja između 400 i 700 nm.

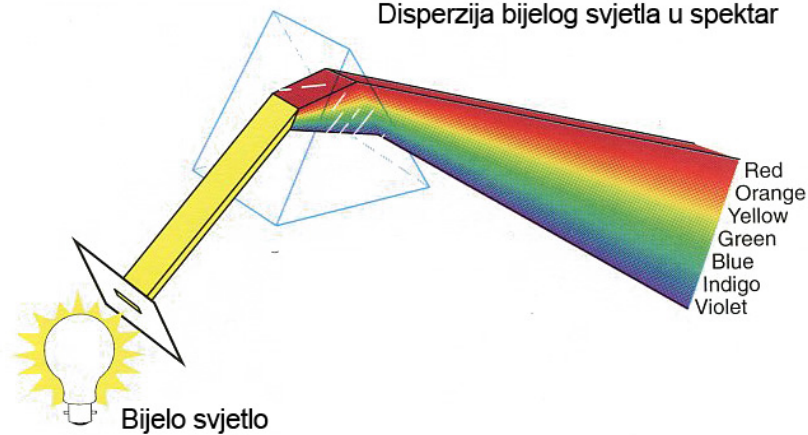
Boje spektra su najčišće moguće boje. Rasipanje bijelog svjetla u vidljivi spektar i njegovo ponovno sakupljanje u bijelo svjetlo demonstrirao je engleski znanstvenik Sir Isaac Newton 1704. godine



Newton pomoću prizme
dobiva spekter, Trinity College, 1665



Disperzija bijelog svjetla u spekter

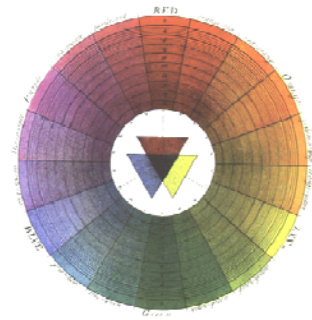


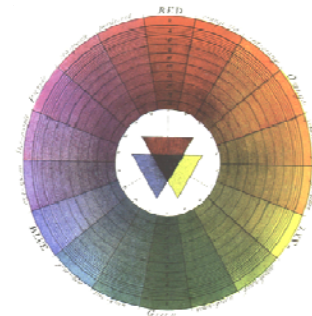
Vrsta svjetlosti (eng. *Illuminant*)

Otisci se promatraju pod različitim vrstama svjetlosti (volframova žarulja, fluorescentna lampa, veliki raspon dnevne rasvjete, sunčeva svjetlost...)

Zbog toga postoje faktori koji određuju karakteristike pojedinih vrsta svjetlosti.

Kontrola reproduciranih boja obavlja se instrumentalno i vizualno, a brožčani podaci dani su u ovisnosti o vrsti svjetlosti.

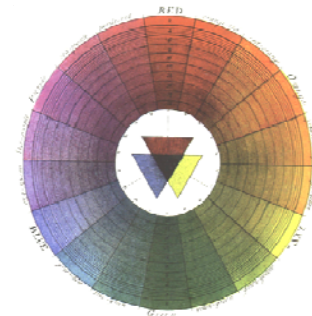




Zbog definiranog procesa promatranja i mjerenja
karakteristike vrste svjetlosti uključuju:

- **Temperaturu boje**
- **Svojstva renderiranja boja**
 - **Intenzitet**
 - **Stupanj difuzije**

Temperatura boje izvora svjetla

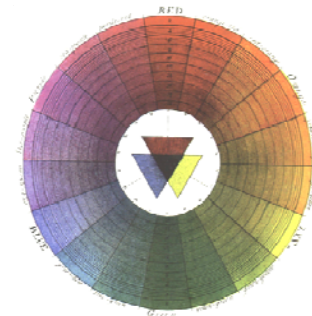


- Izražava se u stupnjevima **Kelvina K** (jedinica termodinamičke temperature)
- Raspodjela spektralne energije zračenja crnog tijela
- Standard za mjerenje je zagrijano crno tijelo
- Porastom temperature boja crnog tijela se mijenja od crvene do bijele

Na odnosu temperature i boje osnovana je teorija određivanja temperature boje svjetla.

Direktno mjerenje visokih temperatura boje svjetla je nemoguće.

Instrument koji mjereći boju svjetla koju emitira neko tijelo posredno mjeri i samu temperaturu tog tijela.



Razlika između **izvora svjetla** (*eng. light source*) i **vrste svjetlosti** (*eng. Illuminant*) određene su CIE definicijama. (Commission International de l'Eclairage (**CIE**) – Internacionalna komisija za rasvjetu)

Izvor svjetla je fizički realizirano zračenje (svijeća, lampa, sunce) koje može biti izraženo i brojčano sa spektralnom energijom zračenja ovisno o valnoj duljini.

CIE je definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih tipova bijelog svjetla i nazvala ih “**Illuminants**“ (**vrsta svjetlosti ili rasvjete**). Illuminant je niz brojeva (ovisnost relativne energije zračenja o valnoj duljini) koja predstavlja određenu vrstu bijelog svjetla i koristi se u software-u uređaja tijekom mjerenja boja.

Izvori svjetla u odnosu na vrstu svjetlosti



Izvori svjetla
(eng. light source)



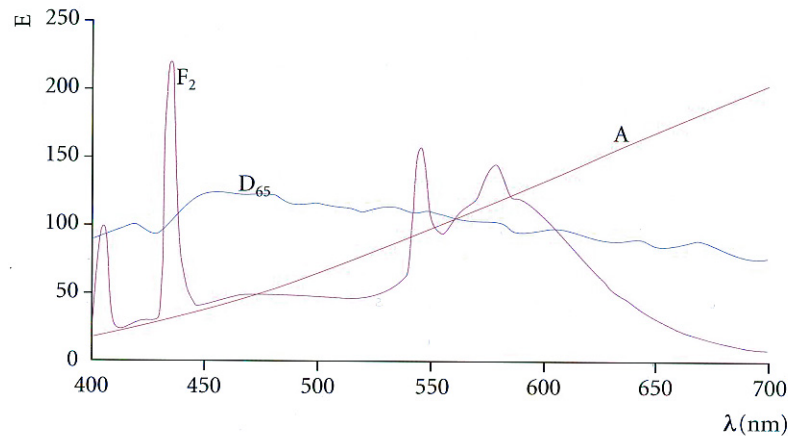
Tungsten

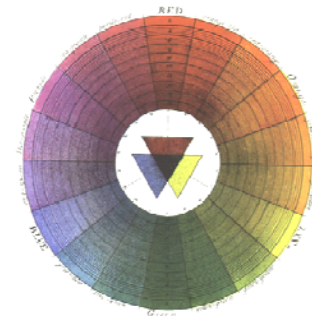


Fluorescent



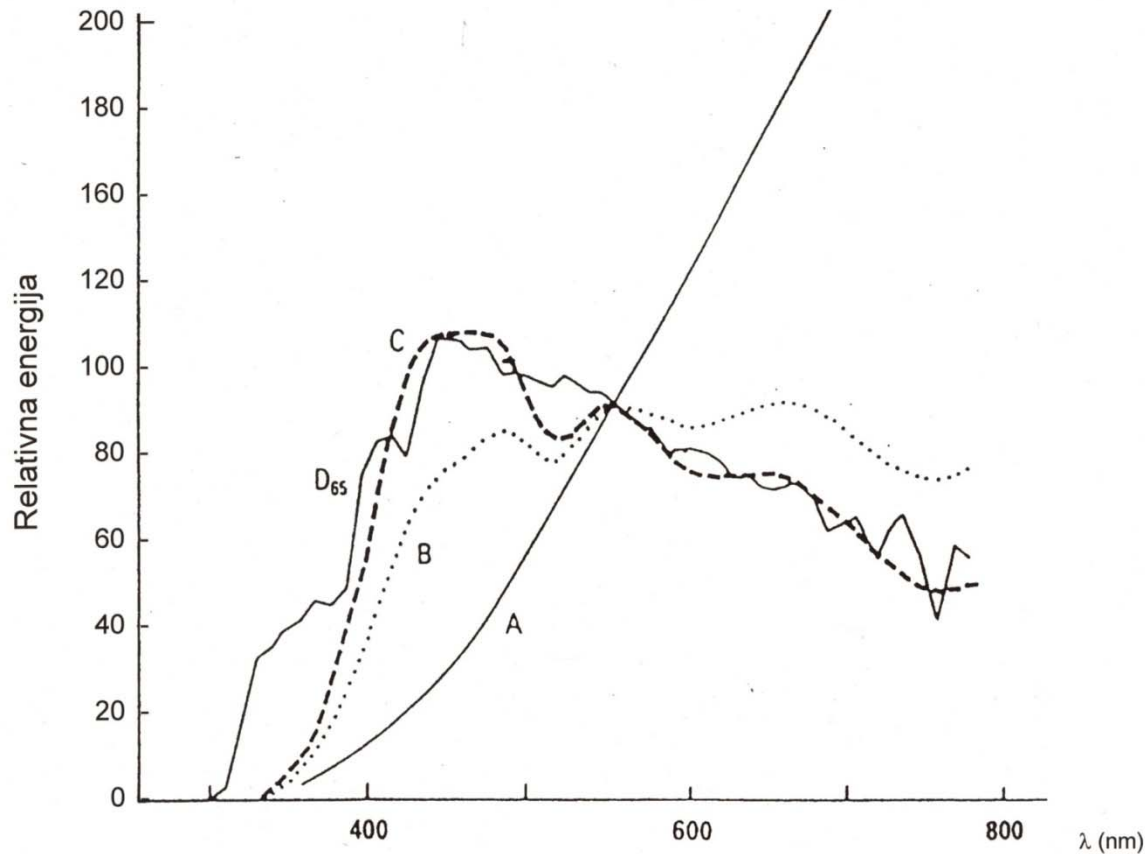
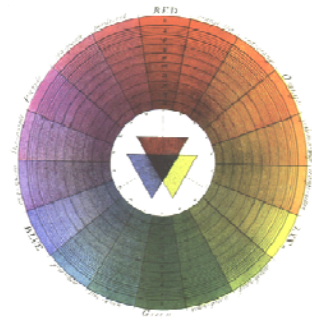
Vrste svjetlosti
(eng. illuminant)





- Podnevno jasno plavo nebo 12000 – 26000 K
- Sunčevo svjetlo na zalazu 2000 K
- Volframova žarulja 2650 – 3400 K
- Fluorescentna žarulja 3000 – 6500 K

Raspodjela relativne energije zračenja spektra za različite izvore svjetla



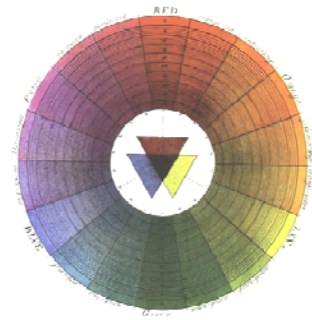
A – volframova žarulja

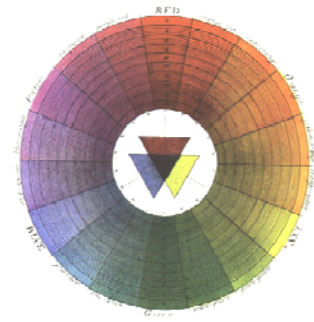
B - sunčeva rasvjeta (podnevna)

C – prosječna dnevna rasvjeta

D₆₅ – prosječna dnevna rasvjeta u ultra-ljubičastom i vidljivom dijelu spektra

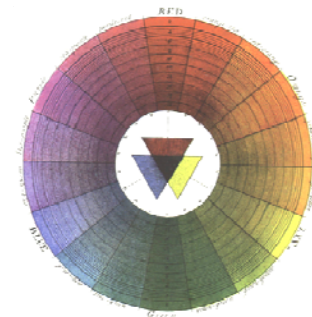
- Različiti izvori svjetla imaju i različitu raspodjelu relativne energije zračenja.
- Kako vizualni doživljaj boje i njeno instrumentalno mjerenje ovisi o izvoru svjetla, 1931. godine CIE komisija je definirala i standardizirala izvore svjetla i njihove raspodjele energije zračenja.





- **Vrste svjetlosti** određene su u terminima relativne spektralne energije zračenja.
- Ti podaci su standardizirani i dani u tablicama, a zasnivaju se na statističkim mjerenjima ili teoretskim jednadžbama. U stvarnosti mnogi izvori svjetlosti nemaju identične raspodjele energije zračenja kao crno tijelo, međutim kad su vrijednosti vrlo slične koristi se termin "*temperatura boje zračenja u korelaciji*".
- Statistička obrada mnogih mjerenja prirodnog dnevnog svjetla dovela je do CIE dnevne vrste svjetlosti oznake **D**.

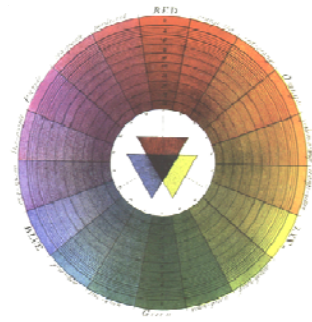
Wave-length nm	A	B	C	D ₅₀	D ₅₅	D ₆₅	D ₇₅
425	22.79	68.37	105.80	58.93	69.75	90.06	107.94
430	24.67	73.10	112.40	57.82	67.91	86.68	103.09
435	26.64	77.31	117.75	66.32	76.76	95.77	112.14
440	28.70	80.80	121.50	74.82	85.61	104.86	121.20
445	30.85	83.44	123.45	81.04	91.80	110.94	127.10
450	33.09	85.40	124.00	87.25	97.99	117.01	133.01
455	35.41	86.88	123.60	88.93	99.23	117.41	132.68
460	37.81	88.30	123.10	90.61	100.46	117.81	132.36
465	40.30	90.08	123.30	90.99	100.19	116.34	129.84
470	42.87	92.00	123.80	91.37	99.91	114.86	127.32
475	45.52	93.75	124.09	93.24	101.33	115.39	127.06
480	48.24	95.20	123.90	95.11	102.74	115.92	126.80
485	51.04	96.23	122.92	93.54	100.41	112.37	122.29
490	53.91	96.50	120.70	91.96	98.08	108.81	117.78
495	56.85	95.71	116.90	93.84	99.38	109.08	117.19
500	59.86	94.20	112.10	95.72	100.68	109.35	116.59
505	62.93	92.37	106.98	96.17	100.69	108.58	115.15
510	66.06	90.70	102.30	96.61	100.70	107.80	113.70
515	69.25	89.65	98.81	96.87	100.34	106.30	111.18
520	72.50	89.50	96.90	97.13	99.99	104.79	108.66
525	75.79	90.43	96.78	99.61	102.10	106.24	109.55
530	79.13	92.20	98.00	102.10	104.21	107.69	110.44
535	82.52	94.46	99.94	101.43	103.16	106.05	108.37
540	85.95	96.90	102.10	100.75	102.10	104.41	106.29
545	89.41	99.16	103.95	101.54	102.53	104.23	105.60





550	92.91	101.00	105.20	102.32	102.97	104.05	104.90
555	96.44	102.20	105.67	101.16	101.48	102.02	102.45
560	100.00	102.80	105.30	100.00	100.00	100.00	100.00
565	103.58	102.92	104.11	98.87	98.61	98.17	97.81
570	107.18	102.60	102.30	97.74	97.22	96.33	95.62
575	110.80	101.90	100.15	98.33	97.48	96.06	94.91
580	114.44	101.00	97.80	98.92	97.75	95.79	94.21
585	118.08	100.07	95.43	96.21	94.59	92.24	90.60
590	121.73	99.20	93.20	93.50	91.43	88.69	87.00
595	125.39	98.44	91.22	95.59	92.93	89.35	87.11
600	129.04	98.00	89.70	97.69	94.42	90.01	87.23
605	132.70	98.08	88.83	98.48	94.78	89.80	86.68
610	136.35	98.50	88.40	99.27	95.14	89.60	86.14
615	139.99	99.06	88.19	99.16	94.68	88.65	84.86
620	143.62	99.70	88.10	99.04	94.22	87.70	83.58
625	147.24	100.36	88.06	97.38	92.33	85.49	81.16
630	150.84	101.00	88.00	95.72	90.45	83.29	78.75
635	154.42	101.56	87.86	97.29	91.39	83.49	78.59
640	157.98	102.20	87.80	98.86	92.33	83.70	78.43
645	161.52	103.05	87.99	97.26	90.59	81.86	76.61
650	165.03	103.90	88.20	95.67	88.85	80.03	74.80
655	168.51	104.59	88.20	96.93	89.59	80.12	74.56
660	171.96	105.00	87.90	98.19	90.32	80.21	74.32
665	175.38	105.08	87.22	100.60	92.13	81.25	74.87
670	178.77	104.90	86.30	103.00	93.95	82.28	75.42

CIE - Internacionalna komisija za rasvjetu



D vrste svjetlosti (*eng.illuminants*)

D50, D55, D65, D75 (namjene su različite)

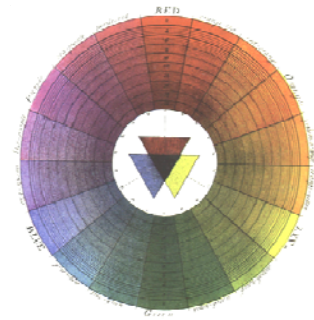
D50 (5000K) - grafička industrija

D55 – industrija premaza, tekstilna
industrija

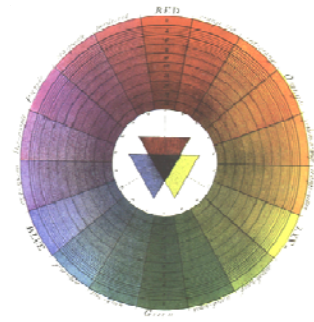
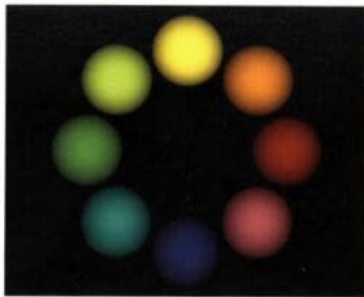
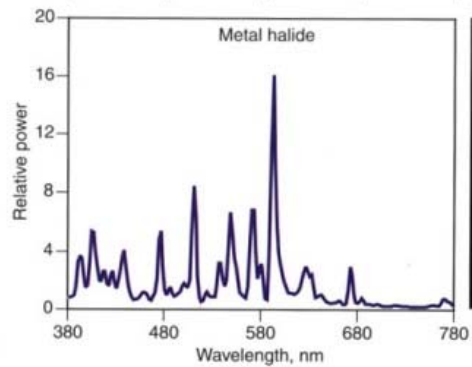
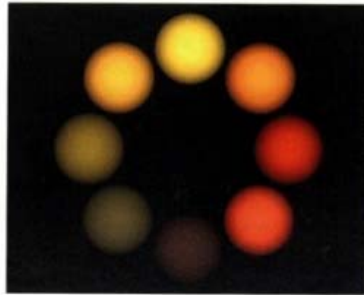
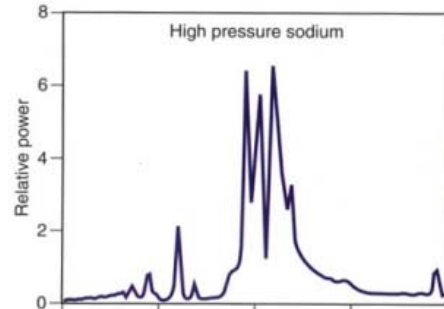
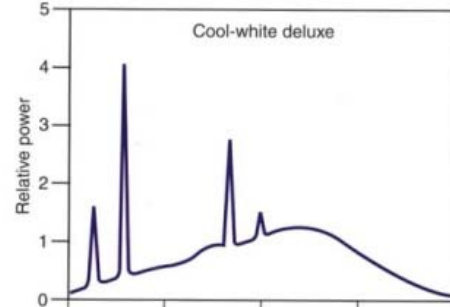
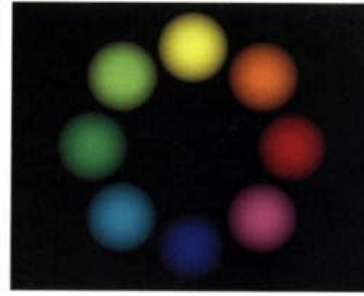
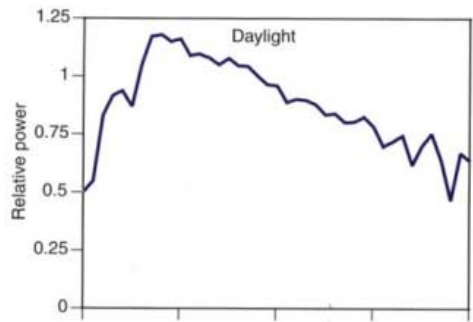
D65 – tradicionalna kolorimetrija i papirna
industrija

D75 – otisci na papiru

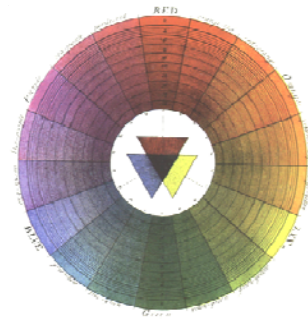
Renderiranje boje



- Naziv koji izražava utjecaj vrste svjetlosti na izgled uzorka (boje)
- Temelji se na usporedbi izgleda uzorka (boje) kod referentne vrste svjetlosti (illuminanta) i kod izvora svjetlosti koji se testira



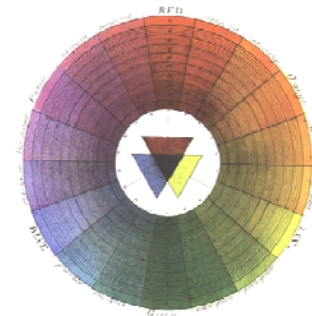
- **Temperatura boje** zračenja nije dovoljna za određivanje utjecaja rasvjete na obojeni uzorak. Uzorci mogu izgledati različito ako su osvijetljeni izvorima različite spektralne raspodjele energije zračenja, iako je temperatura boje zračenja u korelaciji ostala nepromijenjena. To je razlog uvođenja indeksa ocjenjivanja boja (*eng. Color rendering index, CRI*) koji se odnosi na uspoređivanje uzorka kod referentne vrste svjetlosti i kod izvora svjetlosti koji se testira.
- Međunarodna komisija za rasvjetu, CIE, odredila je način mjerenja indeksa ocjenjivanja boje.
Postupak se temelji na mjerenjima serija Munsellovih obojenih površina kod standardiziranog i ispitivanog izvora svjetla.





- Oko može dva izvora svjetla s **istom** temperaturom, ali **različitim** renderiranjem doživjeti **isto**, *ali isti* uzorci osvijetljeni tim izvorima mogu izgledati **različito** (npr. boja kože kod fluorescentne rasvjete)
- Dva izvora svjetla mogu imati istu temperaturu boje svjetla, ali imati različiti CRI.

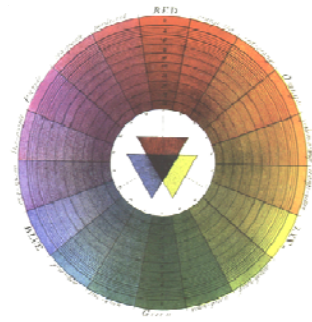
Internacionalna komisija za rasvjetu (CIE) definirala je metodu mjerenja indeksa renderiranja boja za različite izvore svjetla (CRI)



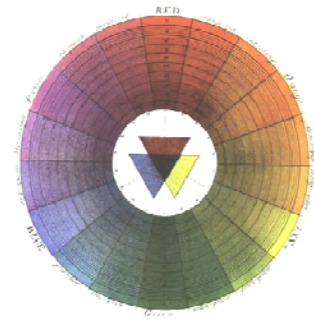
- Optimalni CRI 100
- Volframova žarulja 100
- Fluorescentna rasvjeta 54 – 94

Izvor svjetla s CRI 90 ili više smatra se dobrim

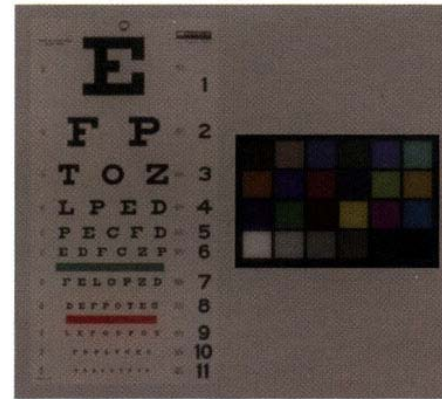
Intenzitet vrste svjetlosti



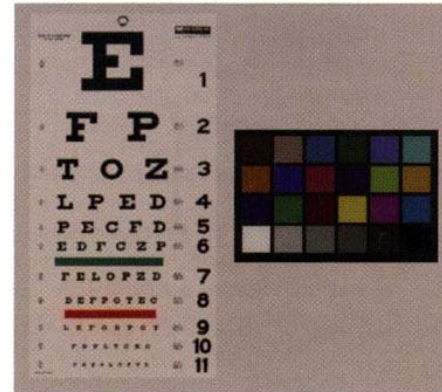
- Doživljaj boje može se mijenjati kod slabe osvjetljenosti (crvena)
- Kod normalne osvjetljenosti intenzitet vrste svjetlosti nema značajni utjecaj na izgled boje
- Nivo osvjetljenosti ima ulogu kod promatranja i ocjene otisaka i fotografija



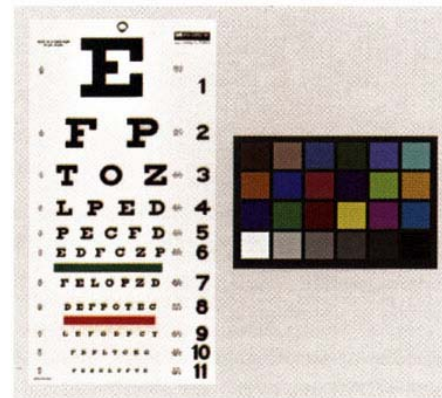
10 cd/m²



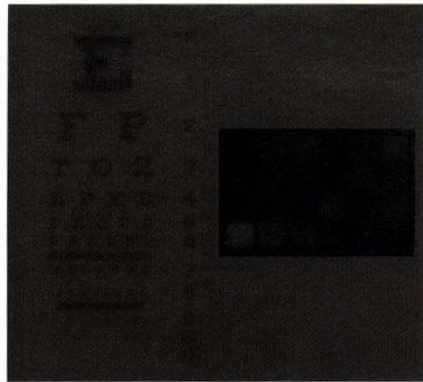
100 cd/m²



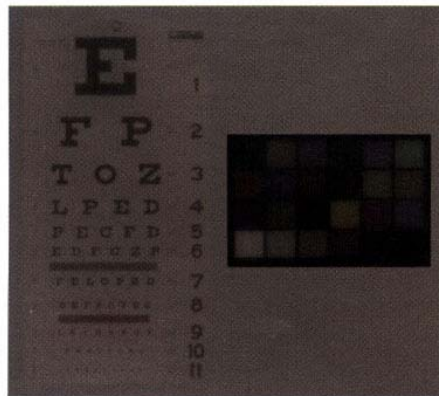
1000 cd/m²



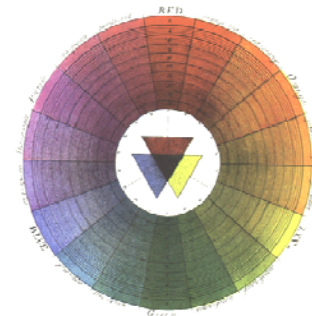
0,1 cd/m²



1 cd/m²

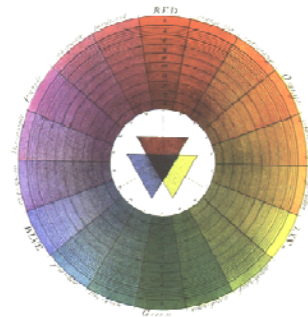


Difuzno osvjetljavanje uzoraka i geometrija promatranja uzoraka



- Difuzno osvjetljenje se preporuča kod promatranja reprodukcije boja
- Često se otisak izrađuje na papiru s teksturom ili grubom površinom. Ako se koristi kod promatranja vrsta svjetlosti koja nije difuzna izgled uzorka će izrazito ovisiti o geometriji osvjetljavanja i geometriji promatranja. Orijehtacija uzorka je također važna. Visoko sjajni uzorci imaju pomak u pojavnosti kod promjene geometrije promatranja. Općenito se preporuča difuzno osvjetljenje kod vizualne ocjene reprodukcije otisaka.

Karakteristike promatranog objekta

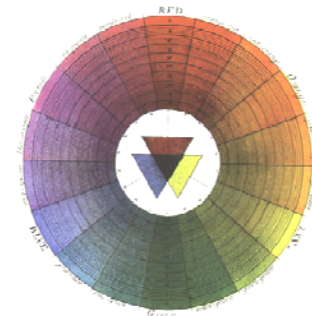


Na izgled uzorka utječe njegova spektralna apsorpcija i sjaj

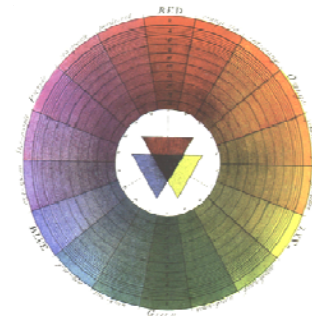
Spektralne karakteristike materijala

Zbog razumijevanja grafičkih prikaza spektralnih karakteristika materijala definirano je nekoliko uobičajenih termina

- **TRANSMISIJA:** omjer transmitiranog svjetla u odnosu na upadno svjetlo kod specifičnih geometrijskih uvjeta
- **REFLEKSIJA:** omjer reflektiranog svjetla u odnosu na upadno svjetlo kod specifičnih geometrijskih uvjeta



- **FAKTOR REFLEKSIJE:** omjer reflektiranog svjetla s uzorka uspoređen s reflektiranim svjetlom s idealno reflektirajuće površine koja difuzno raspršuje svjetlo, kod jednakih specifičnih geometrijskih uvjeta
- **IDEALNA REFLEKSIJA:** (refleksija koja se javlja kod zrcala) refleksija koja isključuje difuznu refleksiju (raspršenje svjetla)
- **DIFUZNA REFLEKSIJA:** Refleksija koja isključuje zrcalnu refleksiju

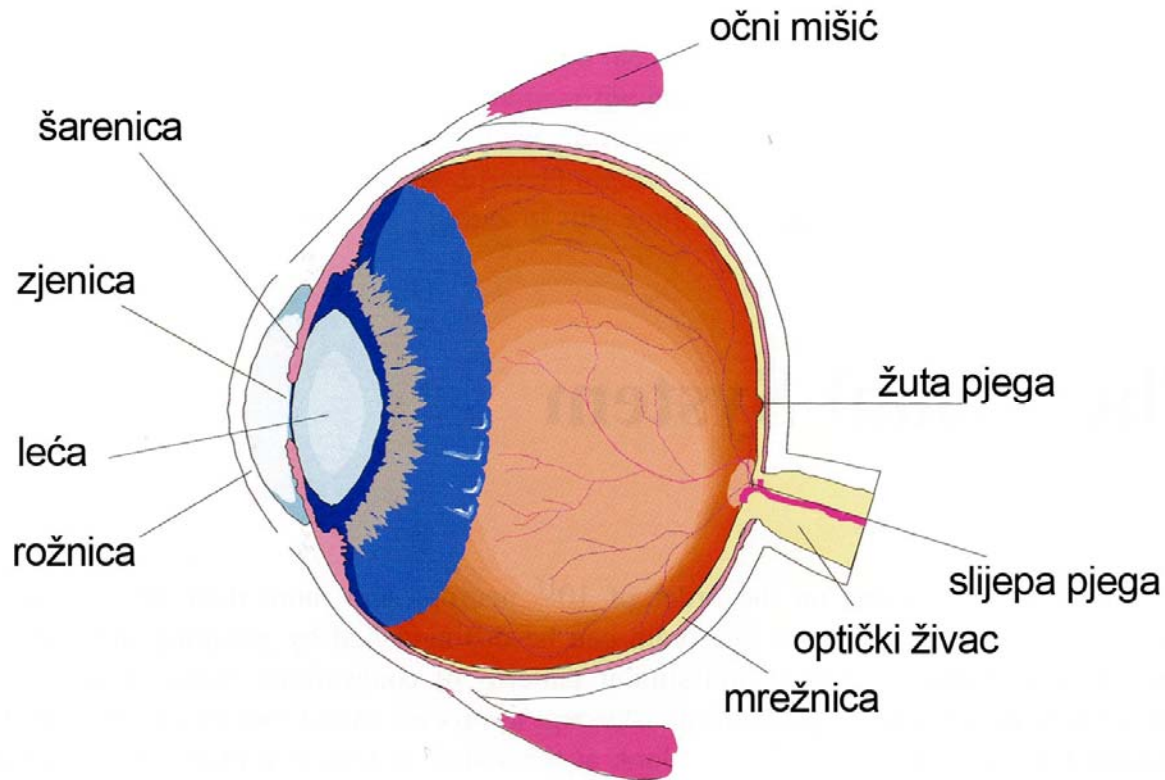
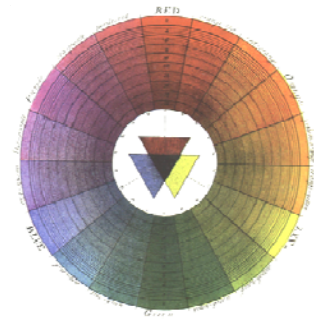


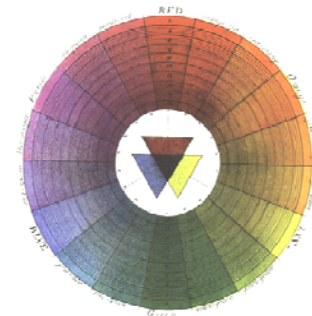
- **Idealno reflektirajuća površina**, površina koja difuzno reflektira svjetlo (*eng. perfect reflecting diffuser*): Idealno reflektirajuća površina koja ne apsorbira ni transmitira svjetlo već ga difuzno raspršuje.

Zračenje s reflektirajuće površine jednako je za sve kuteve refleksije neovisno o kutu upadnog svjetla.

OSJET BOJE - Ljudski faktor (fiziološki i psihološki)

- Osjet boje u našem oku izaziva elektromagnetsko zračenje valnih dužina od 380 - 750 nm. Boje koje nas okružuju vidimo zahvaljujući građi našeg oka.





- D. B. Judd i G. Wyszecki su procijenili da čovjek može razlikovati deset milijuna različitih boja. Proces gledanja okom i interpretacija viđene slike u mozgu je slijedeći.

Zrake svjetla koje se reflektiraju od objekta (ili prolaze kroz objekt ako je proziran) dolaze do rožnice koja predstavlja prozirnu opnu na prednjem dijelu oka.

Zbog zaobljenosti slično kao konveksna leća, koja se također nalazi u oku, ona lomi zrake tako da se one sijeku i fokusiraju na mrežnici dajući oštru umanjenu i obrnutu sliku u središtu vidnog polja.

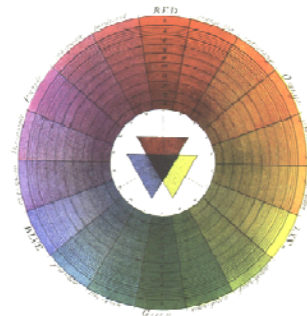
- Upadno svjetlo u oku uzrokuje fotokemijsku reakciju u mrežnici koja zbog tog svojstva je nalik fotografskom filmu.

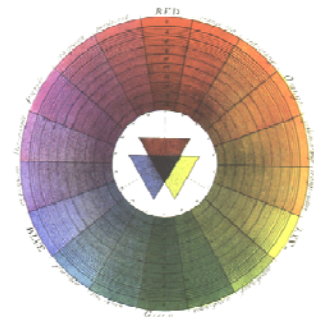
Mrežnica koja pokriva dvije trećine unutrašnje površine očne jabučice je transparentna opna debljine oko 0,3 mm, komplicirane strukture i sadrži različite vrste fotoosjetljivih stanica (fotoreceptora).

Fotoreceptori su vidnim živcima povezani s mozgom, a uloga im je pretvaranje svjetlosne energije u živčane impulse. Svjetlo koje prodire kroz mrežnicu dolazi do fotoosjetljivog neuroepitelnog sloja.

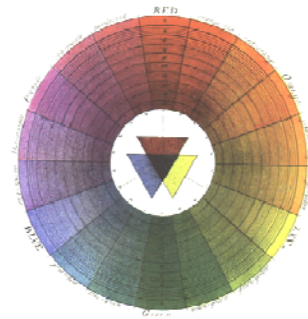
Neuroepitelni sloj (po svojoj ulozi odgovara fotografskom sloju sa zrnima srebrnih halogenida AgCl, AgBr i AgI) sadrži dvije vrste fotoosjetljivih stanica.

Jedne od njih su štapići koji registriraju osjet svjetla ili tame u relativno tamnom okruženju (0,2 lx), a druge su čunjići koji registriraju boju u relativno svjetlom okruženju (20lx). Ime štapići i čunjići odgovara njihovom fizičkom obliku.

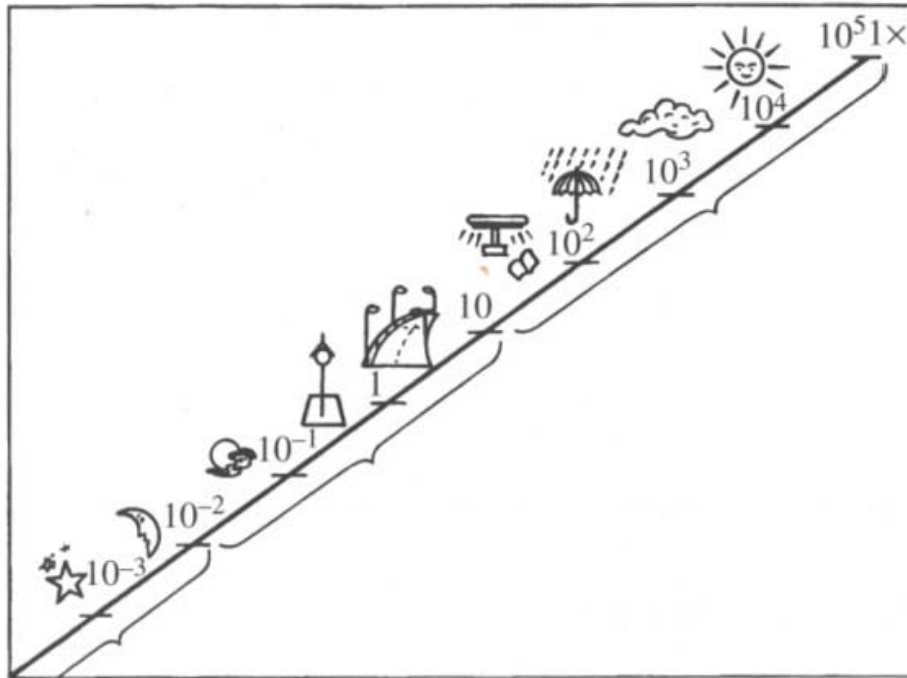
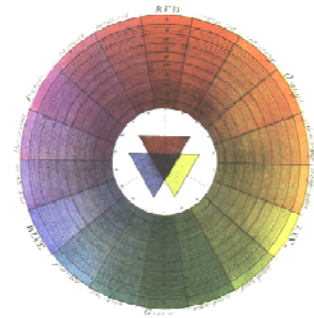




- U mrežnici se nalaze tri vrste čunjića koji zbog tri vrste pigmenata imaju maksimalnu osjetljivost u različitim dijelovima spektra.
- Zbog te osjetljivosti fotoreceptora način gledanja oka, kada su aktivni štapići, odgovara reagiranju sitnozrnatog visoko osjetljivog crno bijelog filma, a kada su aktivni čunjići odgovara reagiranju sitnozrnatog srednje osjetljivog kolor filma. U mrežnici se nalazi oko 100 milijuna štapića, 7 milijuna čunjića i milion živčanih vlakana kojima su stanice povezane sa mozgom. Raspodjela štapića i čunjića unutar mrežnice je različita.
- U centralnom području mrežnice nalazi se žuta pjega koja sadrži gusto koncentrirane čunjiće. Kod jakog osvjetljenja to je mjesto najoštrijeg vida. Ljudsko oko može vidjeti objekt kod direktne sunčeve svjetlosti gdje je intenzitet osvjetljenosti oko 100 000 lx, a isto tako u noći bez mjeseca gdje je intenzitet osvjetljenosti oko 0,0003 lx. Adaptacija na tako veliki raspon intenziteta osvjetljenosti omogućava zjenica koja promjenom svog dijametra podržava kvantitet svjetla koji dolazi do mrežnice.

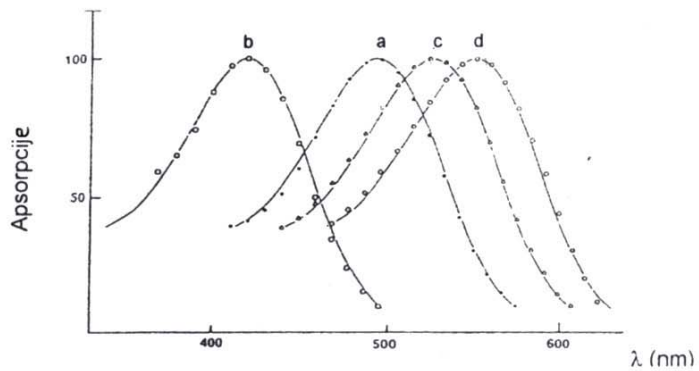
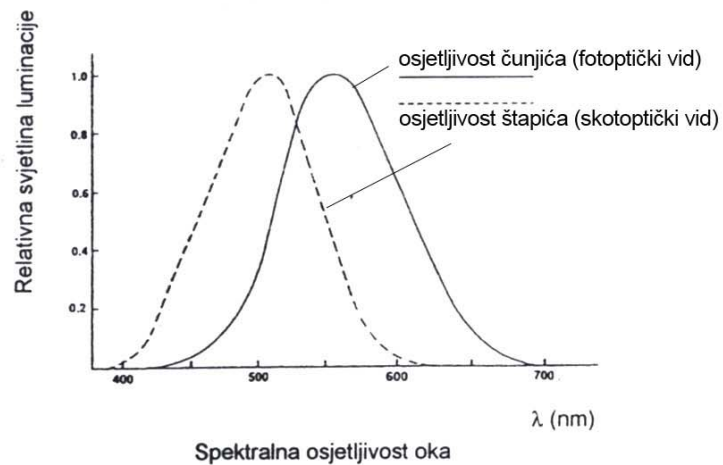
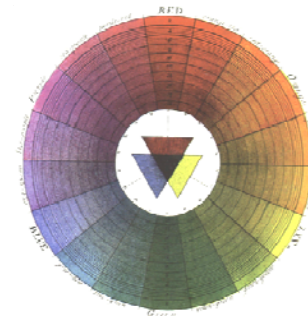


Aproksimacija osvjetljenosti





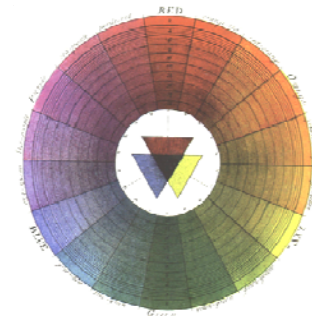
- Uloga zjenice odgovara ulozi zaslona kod fotografskog aparata. Dijametar zjenice ima raspon promjene od 2 do 7 mm. Zbog tako malog raspona nedovoljnog za potpunu registraciju kvantiteta svjetla, osjetljivost štapića i čunjića je različita u pojedinim područjima spektra.
- Kod relativno svjetlog okruženja aktivni su samo čunjići (**fotoptički vid**, viđenje po danu).
- Kod relativno tamnog okruženja aktivni su samo štapići (**skoptički vid**, viđenje po noći).
- Kod valnih duljina od 555 nm oko posjeduje maksimalnu osjetljivost jer su pobuđeni štapići i čunjići (**mesoptički vid**, viđenje u polumraku).



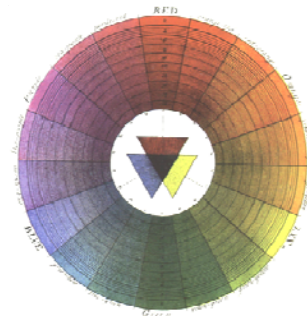
Spektralna apsorpcija fotoosjetljivih stanica prisutnih u mrežnici

Maksimumi apsorpcije valnih duljina kod:

- a $\lambda = 496$ nm štapići
- b $\lambda = 419$ nm čunjići osjetljivi na ljubičasto plavi dio vidljivog spektra
- c $\lambda = 530$ nm čunjići osjetljivi na zeleni dio vidljivog spektra
- d $\lambda = 558$ nm čunjići osjetljivi na crveni dio vidljivog spektra



- Kod prelaza iz tamnog okruženja u svjetlo dolazi do promjene iz skotoptičkog u fotoptički vid preko mezoptičkog vida. Ta promjena (adaptacija na svjetlo) traje 1 minutu. U suprotnom slučaju, kod prelaza iz svjetlog u tamno okruženje, promjena je sporija i traje oko 30 minuta.
- Osjetljivost čunjića proteže se do , luminacije, od 10^6 cd/m². Iznad te luminacije može doći do oštećenja oka.
- Štapići svoju osjetljivost na svjetlo gube kod luminacije od 10^{-6} cd/m².
- Uzimajući u obzir apsorpciju i raspršenje svjetla unutar oka i apsorpcijsku efikasnost mrežnice za aktivaciju štapića potrebno je 5-14 fotona, a za aktivaciju čunjića 100-1000 fotona. Visoko osjetljivi crno-bijeli film reagira na 4 ili više fotona.



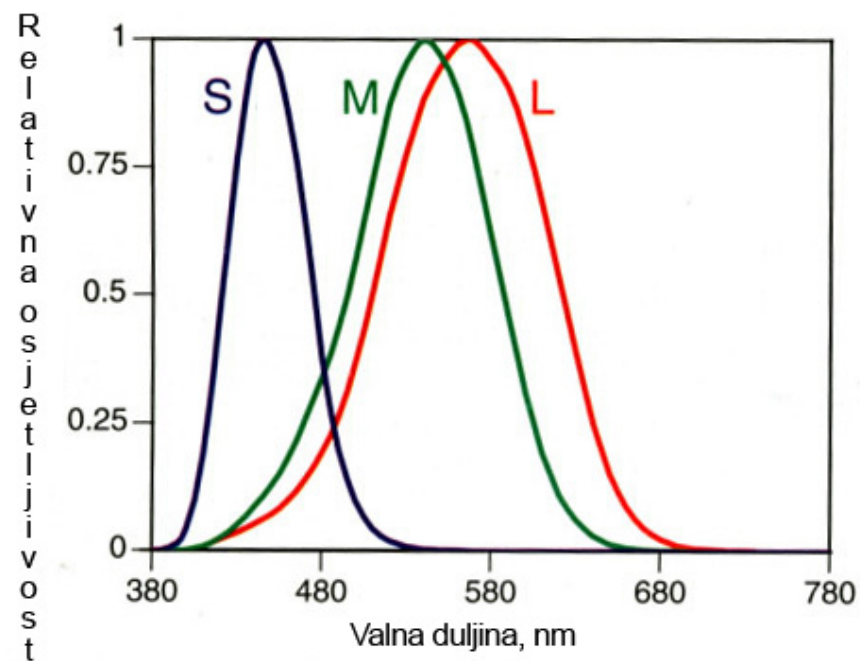
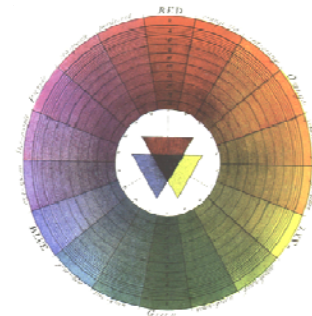
- Tijekom procesa obrade fotoosjetljivog materijala (postupak razvijanja) srebro iz fotoosjetljivih srebrnih halogenida prelazi u elementarno srebro koje će u različitim koncentracijama dati različite gustoće zacrnenja na slici. Nakon postupka fiksiranja nastala slika je stabilna, a fotografski materijal više nije osjetljiv.

Unatoč velikoj sličnosti čovjekovog vizualnog sustava i fotografskog aparata kemizam nastajanja slike u ljudskom oku je mnogo kompleksniji. Jedna od bitnih razlika je neprestalna sposobnost oka da na mrežnici registrira novu sliku uz postojeće iste fotoreceptore (fotoosjetljive stanice).

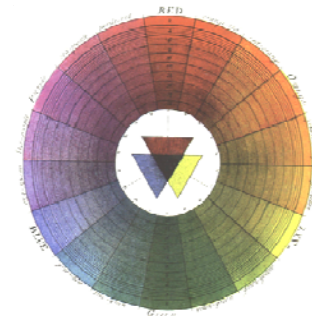
- U fotoosjetljivim stanicama nalaze se tvari nazvane vizualni pigment. Rodopsin je vizualni pigment koji se nalazi u štapićima. Kako se ovdje radi o jednoj vrsti pigmenta njegova aktivnost uzrokuje vizualni doživljaj akromatskih boja. Kada molekule fotopigmenta apsorbiraju svjetlo ono mijenja njihovu strukturu.

Registrirane promjene prenose se vidnim živcima u mozak. Različite valne duljine, djeluju različito na rodopsin. Vizualna aktivnost štapića opada s porastom intenziteta svjetla.

- Čunjići sadrže tri vrste vizualnog pigmenta koje se razlikuju po reakciji na obojenu svjetlost. Njihove maksimalne apsorpcije se nalaze u različitim dijelovima spektra.

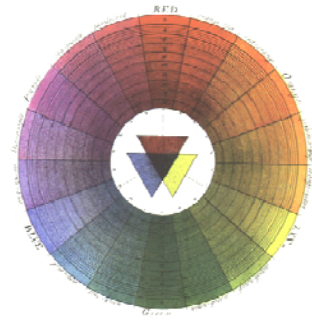


Relativna spektralna osjetljivost dugovalnih (L), srednjevalnih (M) i kratkovalnih (S) čunjića. (Stockman, 1993)



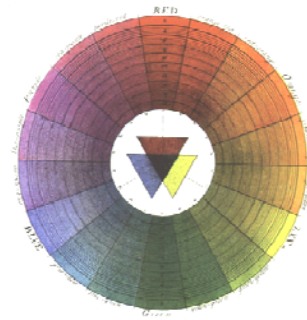
- Apsorpcijski maksimum za kratke valne duljine nalazi se kod $\lambda_{\max}=450$ nm, za srednje na $\lambda_{\max}=540$ nm i za duge na $\lambda_{\max}=590$ nm. Smatra se da utjecaj svjetla na navedene pigmente mijenja njihovu kemijsku strukturu (cis-trans oblik). Promjena strukture uvjetuje promjenu "električnih naboja" koji putuju do mozga. Poznato je da deficit kemijskog spoja trans-retinol-Vitamin A koji nastaje u vizualnom procesu uzrokuje noćno slijepilo.

Teorije videnja boja

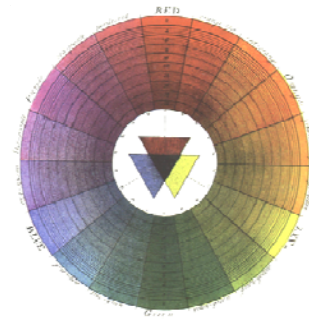


- Young – Helmholtzova teorija
 - Heringova teorija
- Teorija suprotnih procesa
(zonska teorija)

- Tijekom svoje povijesti čovjek je davno želio odgonetnuti fenomen boje. Boja je bila predmet interesa Platona i Aristotela.
- Leonardo da Vinci (1452.-1519.) svojim skicama presjeka ljudske glave prikazuje ideju o povezanosti oka i mozga.
- Sir Isaac Newton (1642.-1728.) eksperimentalno dokazuje da je sunčevo svjetlo mješavina raznih valnih duljina.
- J. W. Goethe (1749.-1832.) se suprostavio Newtonovoj teoriji uz objašnjenje da sve boje nastaju iz sive.
- Danas prihvaćena teorija viđenja boje naziva se "Teorija suprotnih procesa" ili "Zonska teorija". Ona se zasniva na Young-Helmholtzovoj trikromatskoj te Heringovoj suprotnoj teoriji.



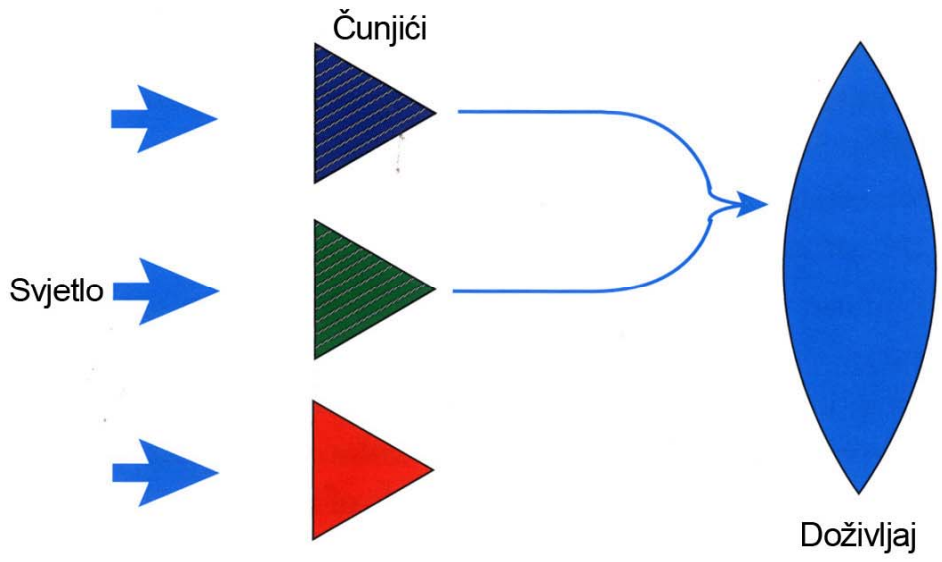
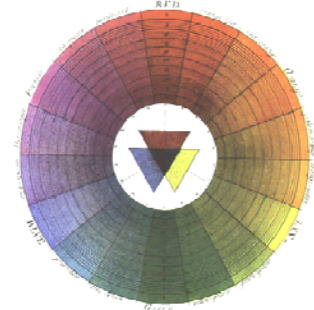
Young-Helmholtzova teorija







Teorija se zasniva na postojanju tri vrste osjetljivih stanica koje se nalaze u mrežnici, a pojedinačno su osjetljive na crveno, zeleno i plavo svjetlo. Osjetljive stanice su povezane izravno sa mozgom, a stvaraju signale proporcionalne boji i intenzitetu svjetla koje dolazi do mrežnice.

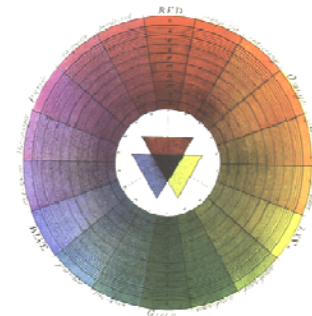
U prilog teoriji pokusi su pokazali postojanje čunjića različito osjetljivih na različite boje svjetla.

Nedostatak teorije je nedovoljno objašnjenje defektnog viđenja boje i nezadovoljavajuće objašnjenje doživljaja nekih jedinstvenih boja.



	Aktivirani mehanizmi
	Veze živčanih stanica
	Signali od čunjića
	Signali prema mozgu

Heringova teorija



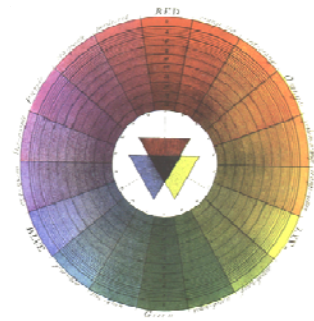
E. Hering (1834.-1919.) postavio je novu teoriju viđenja boja nazvanu "Suprotna teorija".

Teorija je pretpostavljala postojanje u mrežnici tri vrste na svjetlo osjetljivih receptora od kojih je svaki u mogućnosti proizvesti par suprotnih osjeta boje, plavo-žuto, crveno-zeleno, crno-bijelo.

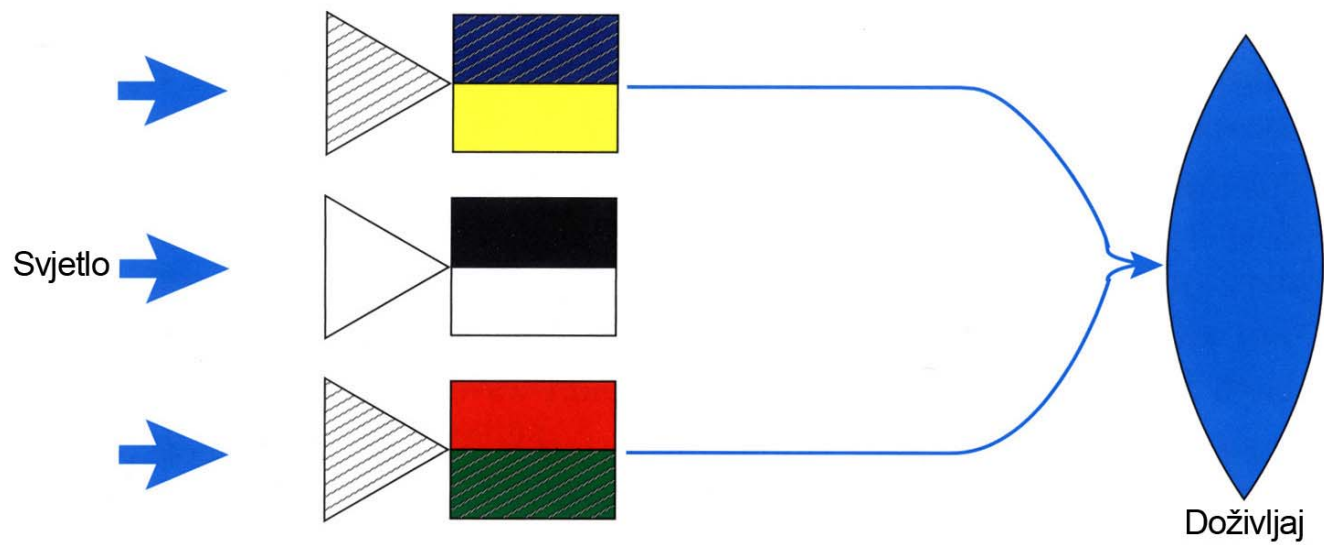
Teorija je nazvana "suprotna" jer postojanje plavo-žute i crveno-zelene boje je teoretski i u stvarnosti neizvedivo.

U toj teoriji pretpostavlja se postojanje optičke supstance koja se troši pri gledanju (disimilacija) i zatim regenerira (asimilacija).

Navedena teorija ne objašnjava mehanizam viđenja svih boja, a isto tako ne daje odgovor na postojanje različitih vrsta sljepila na zelenu i crvenu boju.



Retinalni receptori boje



Teorija suprotnih procesa



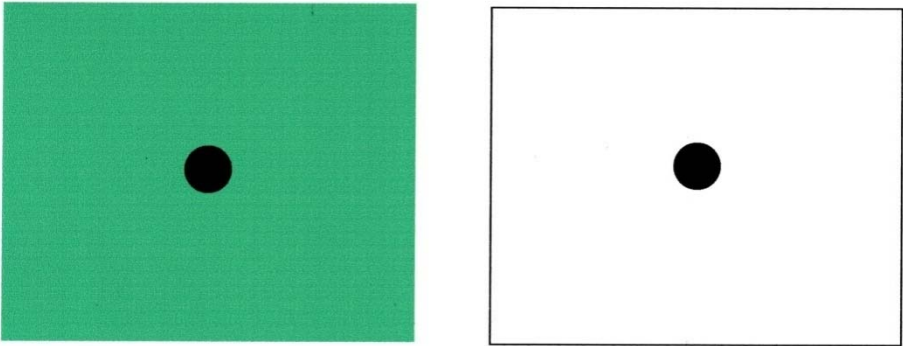
Teorija koju danas koristimo i koja objašnjava i osjet i doživljaj boje naziva se "Teorija suprotnih procesa" ili "Zonska teorija". Nova teorija ujedinjuje elemente obiju prije navedenih teorija.

U tom modelu tri vrste čunjića ujedinjena su na način da su valna područja na koja pojedini čunjići reagiraju široka i da se preklapaju, a maksimumi osjetljivosti su kod $\lambda_{\max}=450$ nm, $\lambda_{\max}=530$ nm i $\lambda_{\max}=560$ nm (kratkovalni S, srednjevalni M, dugovalni L receptori).

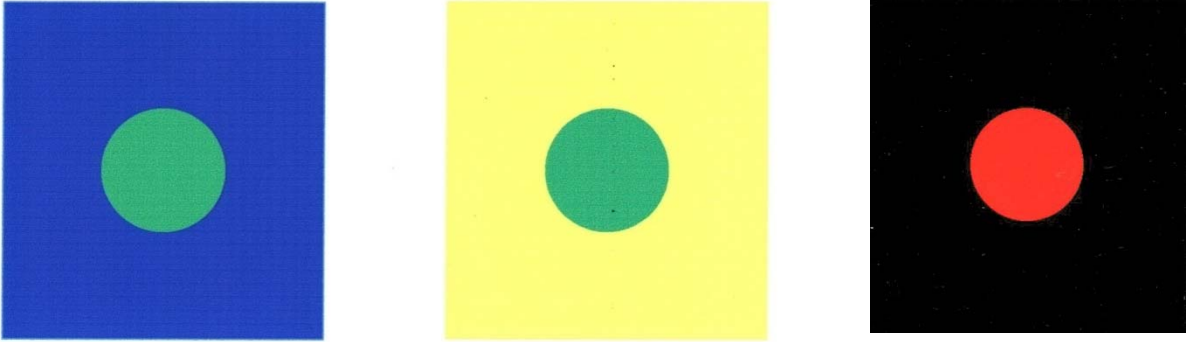
Iza čunjića nalaze se bipolarne živčane stanice (prema Heringovoj teoriji suprotno osjetljivi receptori). One su uvijek u pobuđenom stanju, a stimulacijom ili inhibicijom signala s čunjića (+ ili -) mijenja im se pobuđenost.

Svaka živčana stanica je povezana sa sve tri vrste na svjetlo osjetljivih receptora. Suprotne informacije ovisno o jačini signala (plavo-žuto, crveno-zeleno) šalju bipolarne stanice istim živcem. Navedena teorija objašnjava defektno viđenje boja, naknadnu sliku (pasliku, afterimage) i pojavu simultanog kontrasta.

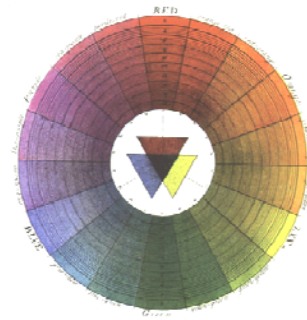
DEMONSTRACIJA NAKNADNE SLIKE (ENG. AFTERIMAGE)



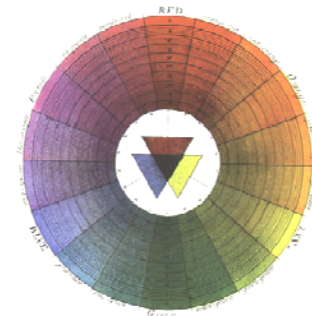
UTJECAJ OKOLNIH BOJA



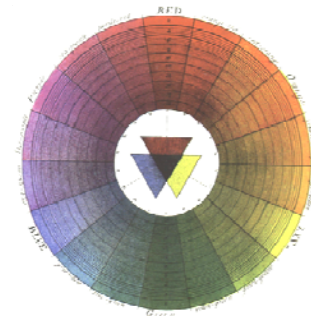
Defektno viđenje boje



- Prema trikromatskoj teoriji u oku postoje tri vrste čunjića koji sadrže različite vrste fotopigmenata svaki s maksimalnom apsorpcijom u različitom dijelu spektra (plavom, zelenom, crvenom). Za svaki od ta tri tipa čunjića (receptora) konstruirane su krivulje njihove spektralne osjetljivosti. Navedene krivulje se preklapaju, a normalni promatrač razlikuje svaku boju kao definiranu mješavinu primarnih boja.
- Izostanak pojedinih vrsta čunjića je uzrok defektnom viđenju boja. Daltonizam je uobičajen naziv za poremećaj prepoznavanja boja. Prvi ga je u 19. stoljeću opisao engleski znanstvenik J. Dalton na temelju vlastitog iskustva. Dva glavna defekta su protanopija i deuteranopija. Oba su u vezi sa slijepoćom na crvenu i zelenu boju i smatraju se nasljednima.



- **Protanopija** je pojava koja uzrokuje nemogućnost razlikovanja crvene i plavozelene boje, a relativna svjetlina crvene boje je mnogo niža nego kod normalnog promatrača.
- **Deuteranopiju** uzrokuje nedostatak čunjića osjetljivih na zelenu boju, a smetnje se pojavljuju u razlikovanju crvene i zelene boje.
- **Tritanopija** se javlja pri izostanku čunjića osjetljivih na plavu boju, a uzrokuje nemogućnost razlikovanja žute i plave boje. Relativna svjetlina plave boje je mnogo niža nego kod normalnog doživljaja boje. Tritanopija je obično uzrokovana bolešću.



Simulacija doživljaja promatrača kojem nedostaje S, L ili M čunjić

Original



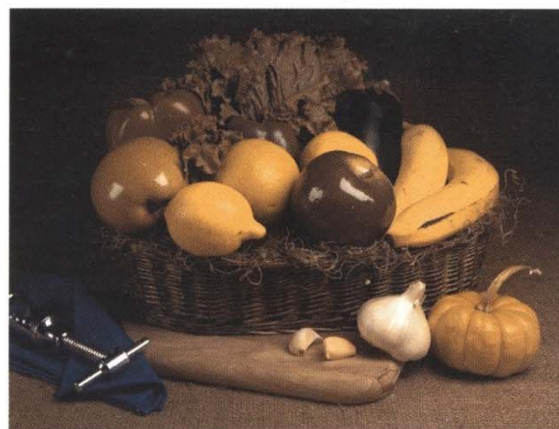
Nedostatak S čunjića



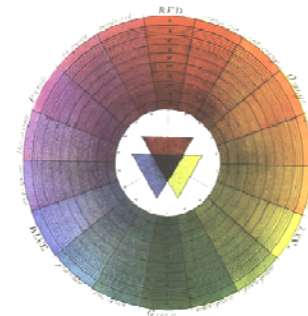
Nedostatak L čunjića



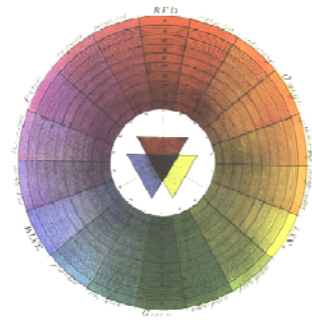
Nedostatak M čunjića



Simulacija doživljaja promatrača sa kataraktom

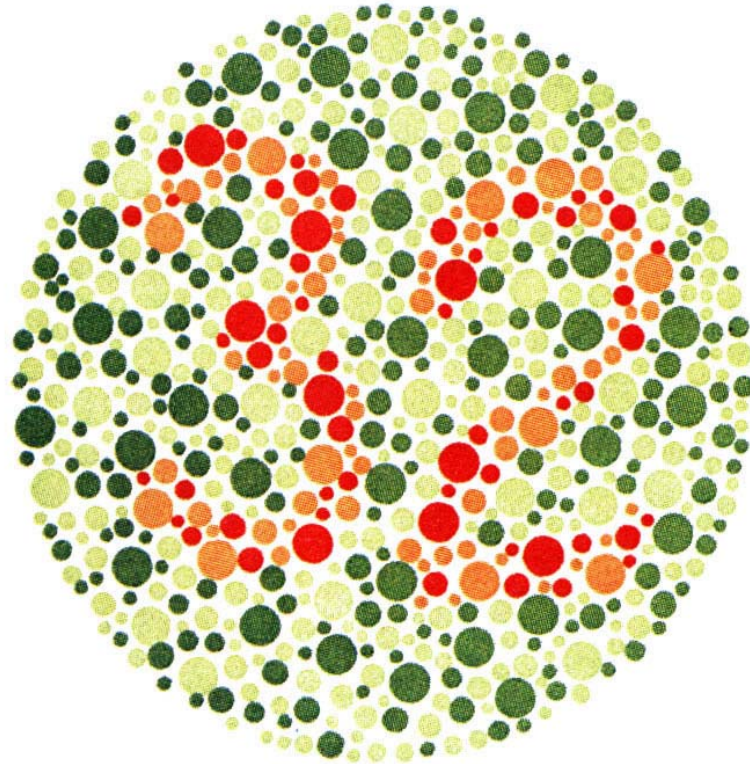
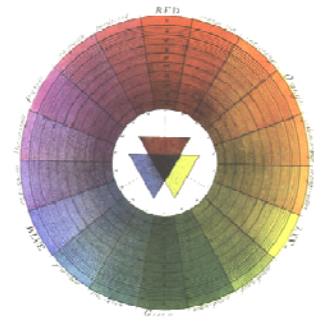


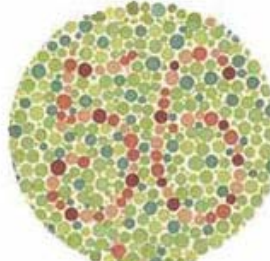
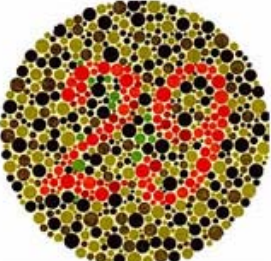
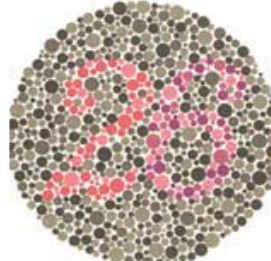
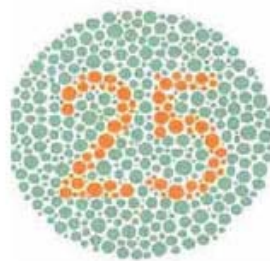
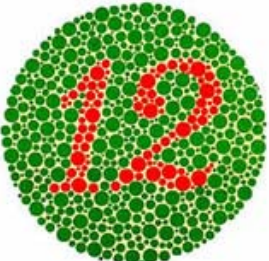
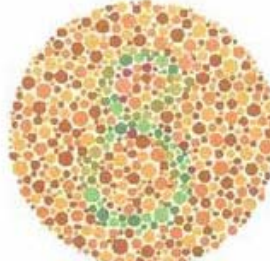
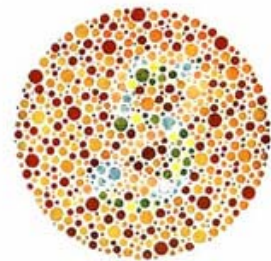
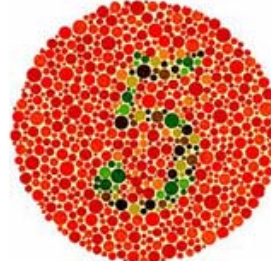
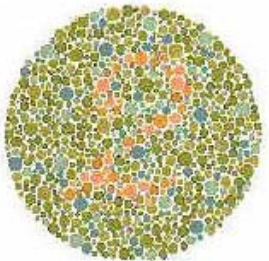
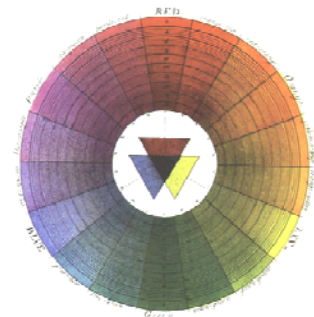
Testovi za otkrivanje defektnog viđenja boja

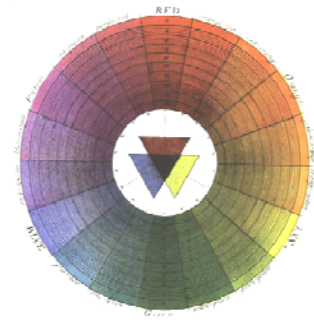


- Japanski oftalmolog Shinobu Ishihara 1929. godine predložio je testiranje na osjet boje za osobe u mornarici i avijaciji. Uzorci testa su se sastojali od obojenih podloga i u sredini upisanog broja u komplementarnoj boji.
- 1958. godine **Ishihara test** prihvaćen je kao test za ispitivanje defektnog viđenja boja.

Ishihara test



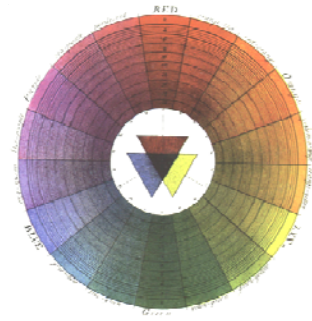




Farnsworth-Munsell 100 Hue test

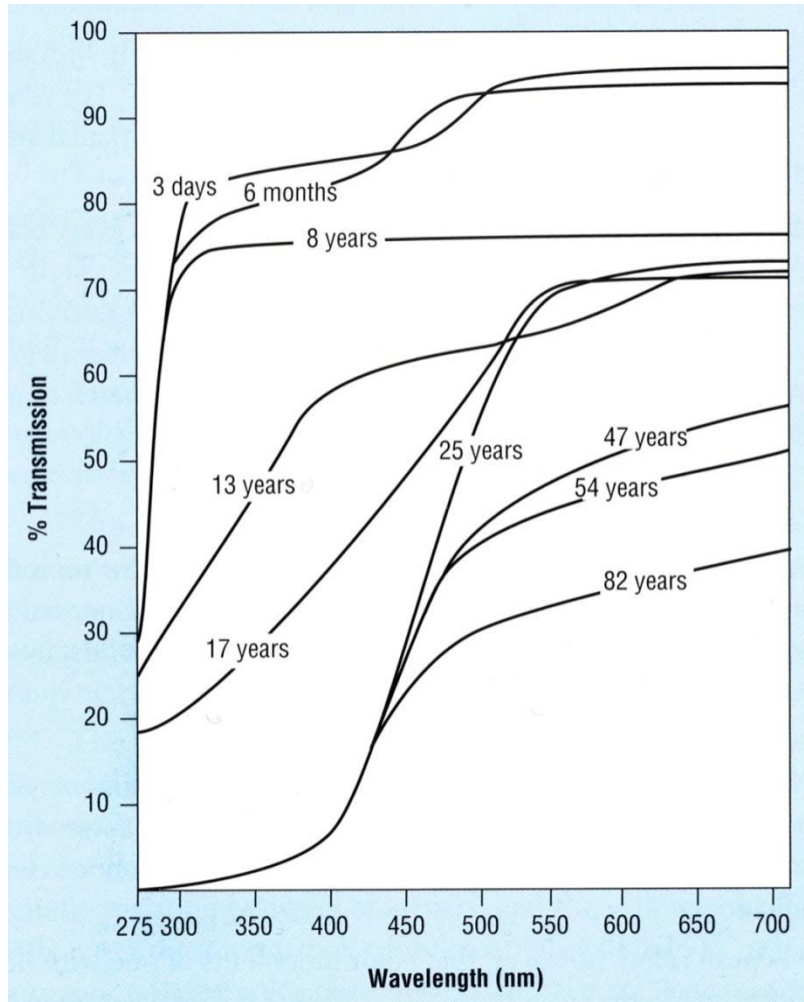
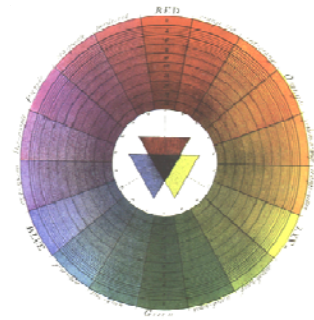


Starosno slabljene vida

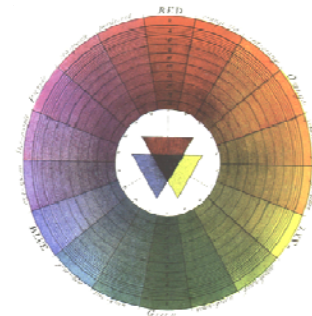


Tijekom starenja, leće u očima polako žute te se boje ne vide kao nekad. Polako se stvara proteinski pigment zvan karotin koji požučuje rožnicu. To je progresivan proces i pogoršava se s godinama. Varijacije u viđenju boja kod različitih promatrača uvjetovane su i različitom propustljivošću leće.

Proces slabljenja vida kroz starosnu dob

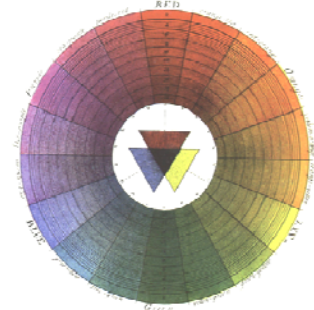


Efekt starenja na transmisiju svjetla kroz očnu leću

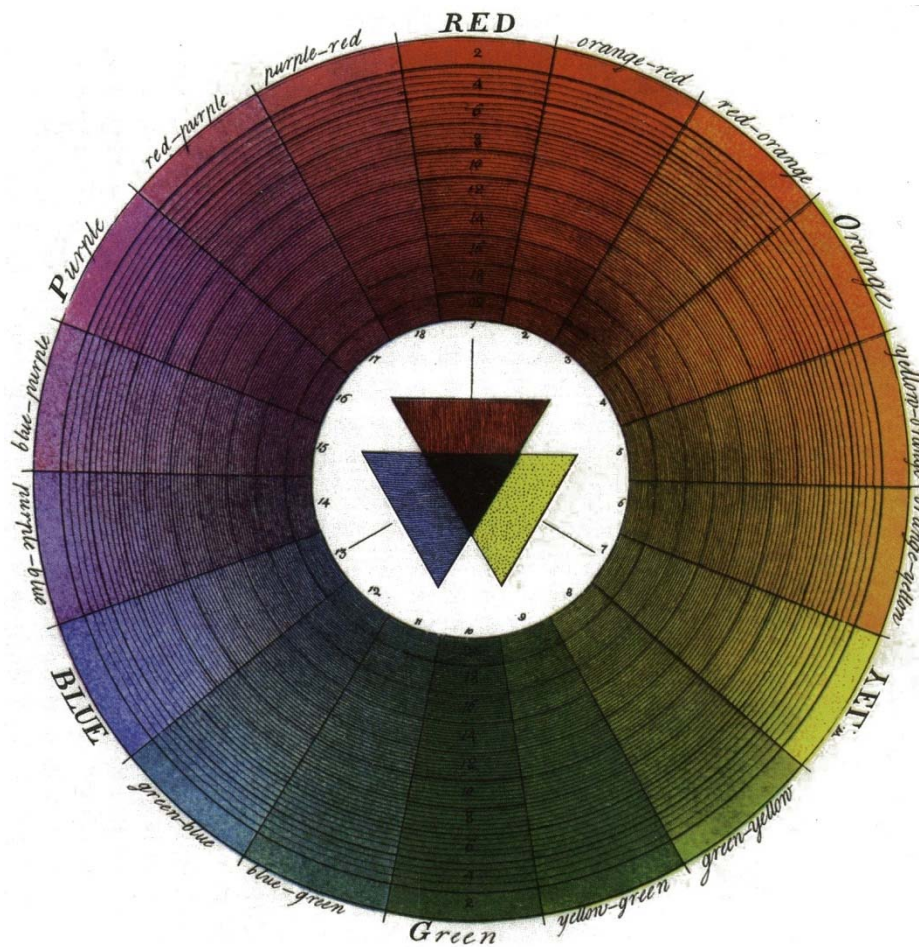
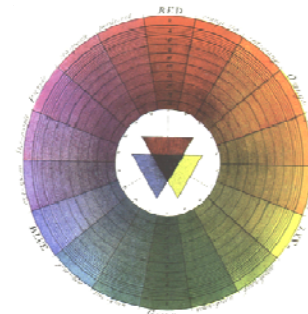


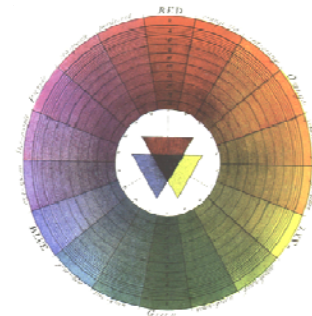
Psihofizičke karakteristike boja

- Boja predstavlja psihički doživljaj uzrokovan nekim fizičkim podražajem (stimulusom). To je razlog da različiti ljudi iste boje vide različito.
- Ako želimo opisati boju koristimo njena perceptualna svojstva, ton, zasićenje i svjetlinu.
- TON boje predstavlja obilježje vizualnog osjeta prema kojem boji dodjeljujemo određeno ime npr. crvena, zelena, žuta, plava, plavozelena...
- Kromatske boje (šarene boje) često se prikazuju u kružnoj paleti gdje se komplementarne boje nalaze jedna nasuprot drugoj.



Najstarija poznata kružna paleta boja nastala je oko 1776. godine. Sastavio ju je Moses Harris. Rasporedom boja nalik je suvremenim rješenjima.



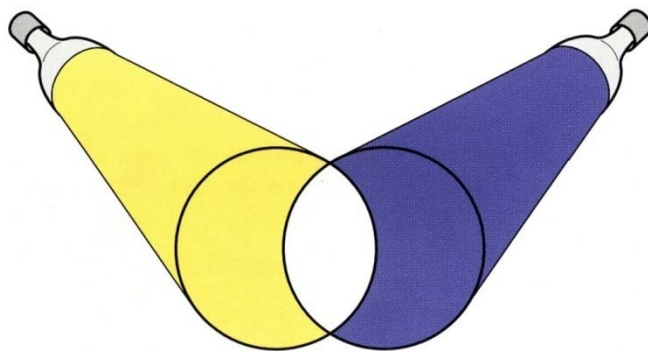


"Dvije komplementarne boje svjetla dodane jedna drugoj u određenim omjerima stvaraju osjet bijelog, odnosno sivog. Također dva komplementarna pigmenta dodana jedan drugom u određenim koncentracijama daju sivu. Komplementarnima se također nazivaju boje komplementarne primarima (crvenom, zelenom i plavom) - cijan (zelenoplava), magenta (purpurna) i žuta."

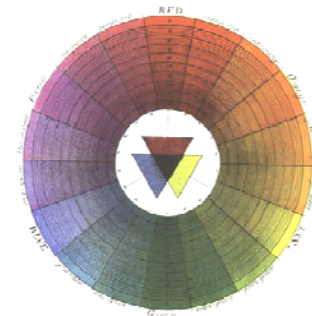
D. A. Spencer, Color Photography in Practice



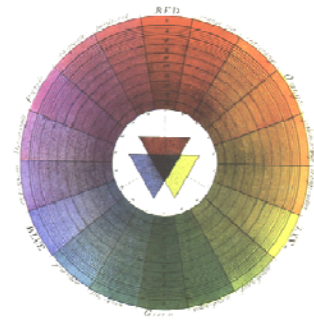
- U nizu tonova boja koji zatvaraju kružnu paletu polazeći od ljubičastog do crvenog tona nalazi se i purpurna boja koje nema u spektru, a nastaje miješanjem ljubičastoplave i crvene boje.
- ZASIĆENJE boje predstavlja obilježje vizualnog osjeta koje pokazuje stupanj odstupanja boje od akromatske boje iste svjetline. Boja koja je nastala miješanjem manje je zasićena od boja od kojih je nastala. Što su boje koje se miješaju udaljenije u spektru, nastala nova boja je manje zasićena.



Newton je otkrio da kada se žuto i plavo svjetlo miješaju, nastaje bijelo svjetlo.



SVJETLINA boje predstavlja obilježje vizualnog osjeta koje opisuje sličnost boje s nizom akromatskih boja od crne preko sive do bijele.



kromatske boje



akromatske boje

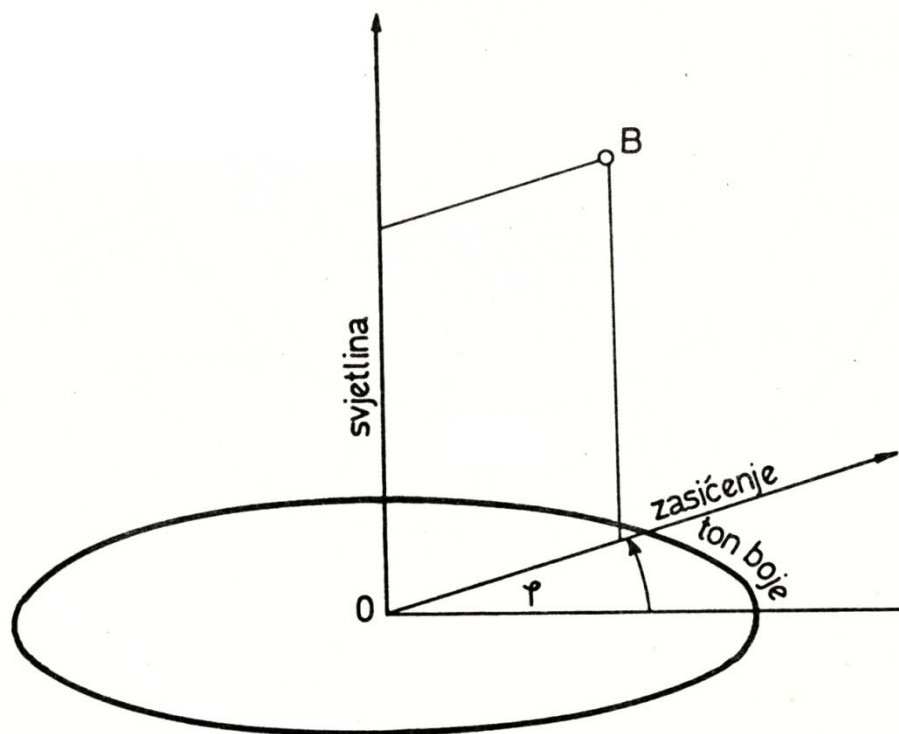
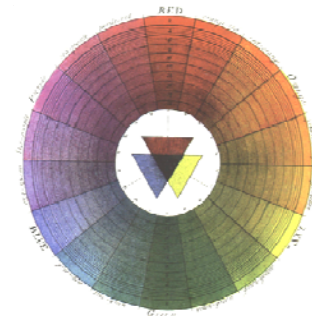


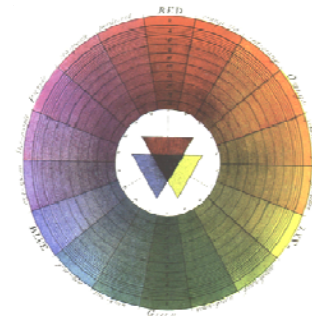
svjetlina boje



zasićenost boja

Boje su opisane s tri obilježja vizualnog osjeta, tonom, zasićenjem i svjetlinom te ih se može prikazati u trodimenzionalnom dijagramu.

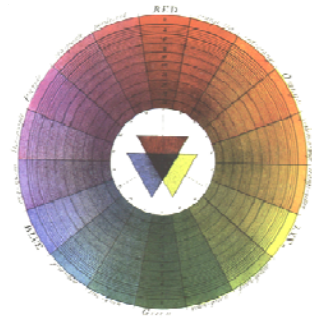




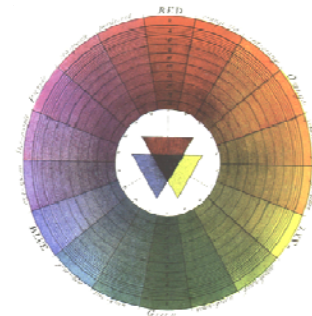
- Ton i zasićenje boje određuju kromatičnost boje, koja nije ovisna o svjetlini. Mjerenje boje često obuhvaća samo određivanje tona i zasićenja boje, koji su važni za ocjenu boje.
- Za mjerenje boja primjenjuje se niz metoda, kao što su kolorimetrijska, spektrofotometrijska itd.
- Kolorimetrijska metoda se zasniva na uspoređivanju boja s bojom nastalom u kolorimetru. U takvom uređaju boja nastaje miješanjem osnovnih boja (svjetla) aditivnom sintezom za koje vrijede **Grassmannovi zakoni**.

Prema tim zakonima za ponašanje neke boje važno je kako ona izgleda, a ne njen spektralni sastav.

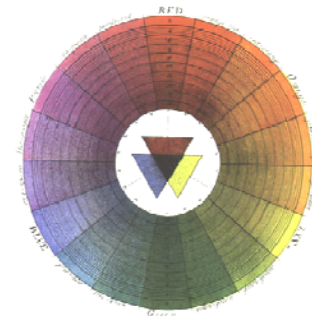
PSIHOFIZIČKO MJERENJE BOJA ZASNIVA SE NA GRASSMANNOVIM ZAKONIMA ADITIVNOG MIJEŠANJA BOJA



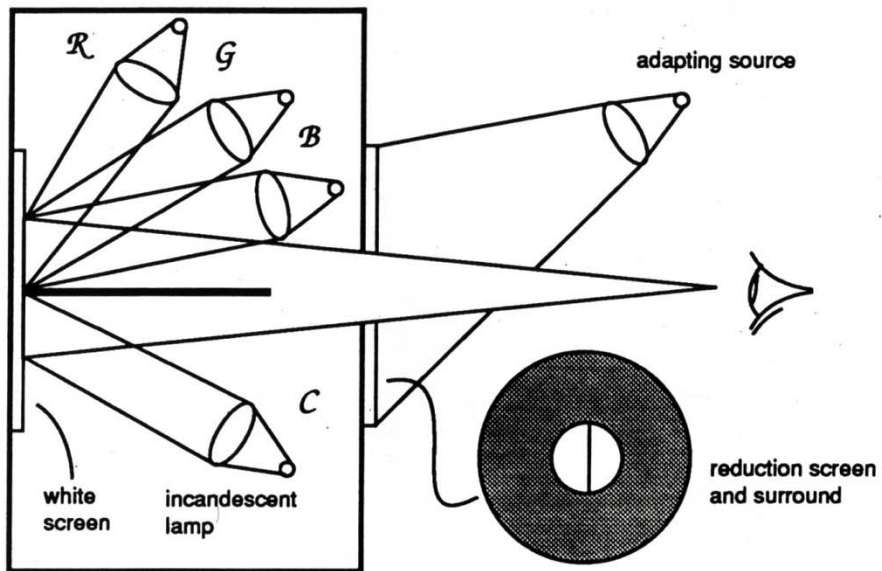
- Trima prigodno izabranim osnovnim stimulusima može se imitirati osjet boje izazvan bilo kojim stimulusom boje.
Svaki dani stimulus boje može se imitirati samo jednom kombinacijom određenih osnovnih stimulusa.



- Daju li dva različita stimulusa boja isti osjet boje, taj osjet ostaje jednak i kad se intenzitet zračenja oba stimulusa bez promjene spektralnog sastava promijeni u istom smjeru.
- Dva stimulusa (različitog spektralnog sastava) koji daju isti osjet boje vladaju se jednako i kod miješanja s nekim trećim stimulusom.

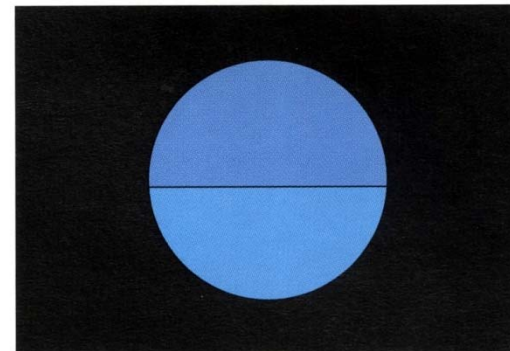


- Mjerenje boja se zasniva na činjenici da u oku postoje tri na boju različito osjetljiva receptora. Sa namjerom da se podražaj (stimulus) boje označi brojem koji odgovara osjetljivosti oka na svjetlo različitih valnih duljina, 1931. godine bio je definiran **CIE standardni promatrač** za kolorimetriju.
- **Standardni promatrač** predstavlja statistički podatak dobiven nizom mjerenja u kojima su sudjelovali ljudi dobrog vida i bez deformacija viđenja boja.
- Mjerenja su obavljena pri pokusu kod kojeg je promatrač gledao polje podijeljeno u dva dijela u promjeru od 2° . Donji dio polja bio je osvjeljen ispitivanim svjetlom. Gornji dio se osvijetljavao pomoću tri snopa svjetla čiji su se svjetlosni tokovi mogli mijenjati, a relativna vrijednost svakog toka mjeriti. Tri osnovna izvora svjetla odabrana za eksperiment imala su valne duljine od $\lambda=435,8$ nm, $\lambda=546,1$ nm i $\lambda=700$ nm. Definirani su kao tri snopa svjetla koji se ne mogu dobiti aditivnim miješanjem druga dva. Promatrač je tijekom eksperimenta morao izjednačiti osjet gornjeg polja sa donjim.



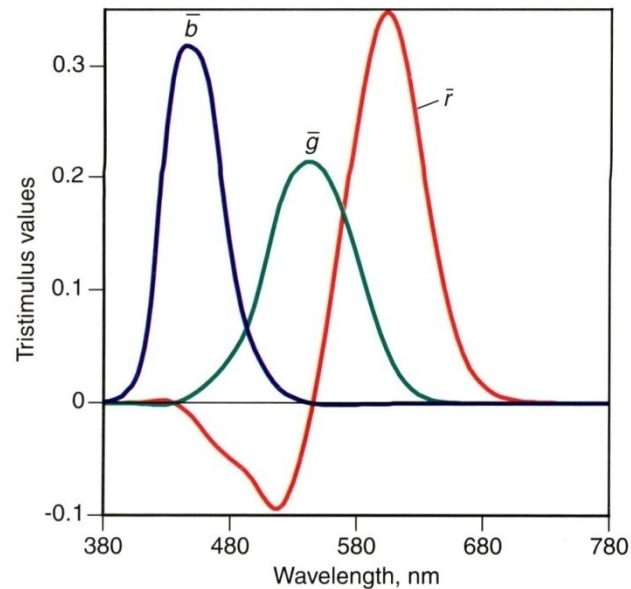
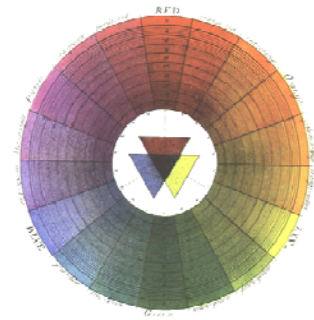
C matches $R(\mathcal{R}) + G(\mathcal{G}) + B(\mathcal{B})$

Određivanje tristimulusnih vrijednosti



A color specification can be reduced to a color-matching problem:
Do the two fields match in color?

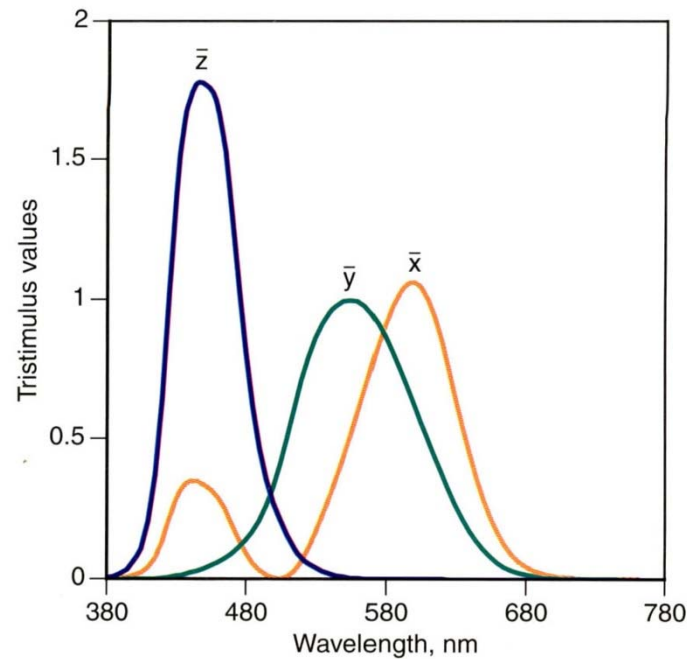
- Sve boje vidljivog dijela spektra nije bilo moguće dobiti pomoću triju navedenih snopova svjetla. Za pojedine boje spektra, da bi im se smanjilo zasićenje, bilo je potrebno dodati poznati izvor svjetla i na stranu polja ispitivane svjetlosti. To dodatno svjetlo uzrok je pojavi negativnih tristimulusnih vrijednosti kod krivulja koje prikazuju funkciju spektralne osjetljivosti oka.



These curves are the color-matching functions for the 1931 standard observer, The average results of 17 color-normal observers having matched each wavelength of the equal-energy spectrum with primaries of 435.8 nm, 546.1 nm, and 700 nm.

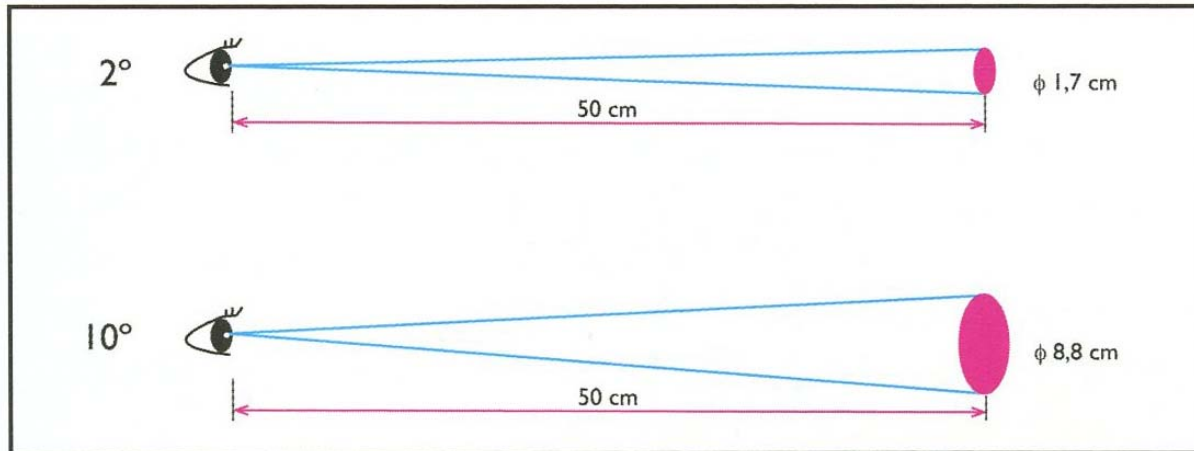
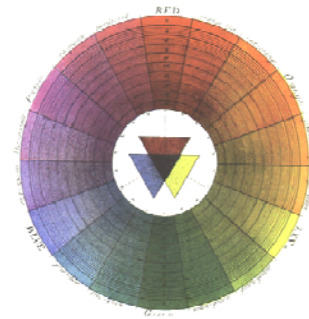


- Negativne $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ vrijednosti zamijenjene su teoretski definiranim imaginarnim komponentama $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ koje su imale veće zasićenje nego boje spektra. Odnos između realnih $\bar{r}, \bar{g}, \bar{b}$ i imaginarnih $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$ komponenata je definiran i moguća je međusobna pretvorba.

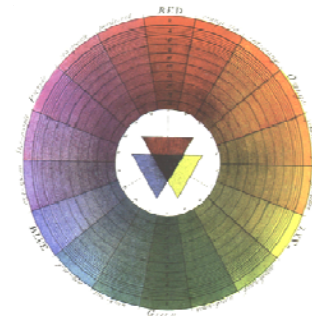


The 1931 standard observer, as it is usually shown.

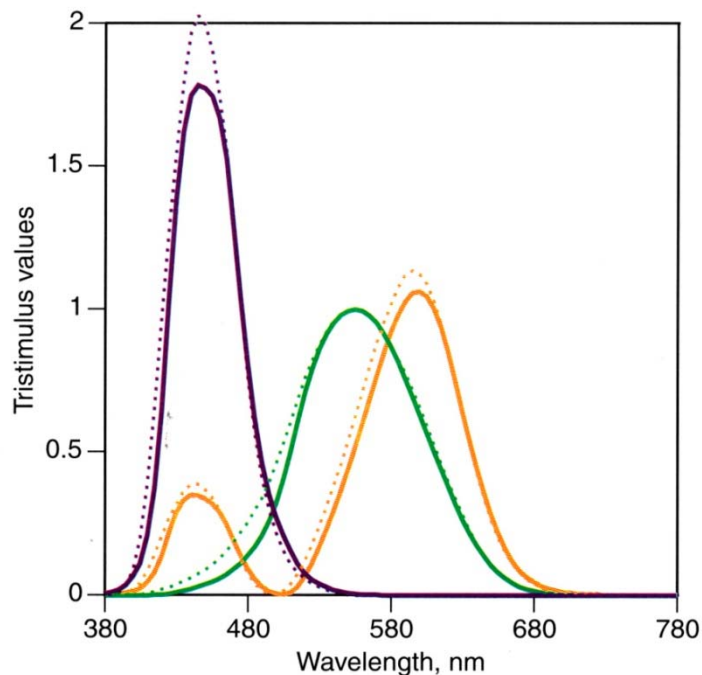
- Kut promatranja CIE 1931 standardnog promatrača iznosio je 2° . Radi veće točnosti pri izjednačavanju boja kod industrijskog mjerenja 1964. godine CIE je definirala novog standardnog promatrača čiji kut promatranja je iznosio 10° .



At a normal viewing distance of 45 cm (18 in.), the circle on the top represents the 2° field on which the 1931 CIE standard observer is based. The figure on the bottom is the 10° field on which the 1964 CIE standard observer is based. The center of the 10° field is black to remind us that the 2° field was ignored (Stiles 1959) or masked (Speranskaya 1959) so that the central 2° was not included in the visual data.

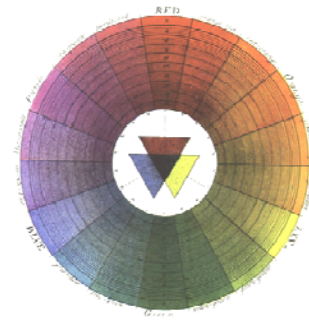


- Krivulje spektralnih vrijednosti, koje se odnose na navedene standardne promatrače malo su se međusobno razlikovale.

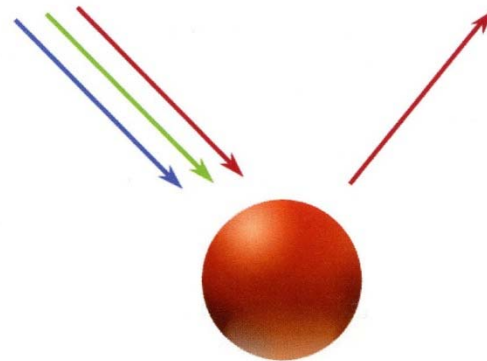


The color-matching functions \bar{x}_λ , \bar{y}_λ , \bar{z}_λ of the 1931 CIE standard observer (solid lines) and $\bar{x}_{10\lambda}$, $\bar{y}_{10\lambda}$, $\bar{z}_{10\lambda}$ of the 1964 CIE standard observer (dashed lines) are compared here (data from CIE 1986). These sets of tristimulus values of the spectrum colors, defining the 1931 and 1964 CIE standard observers in terms of similar X, Y, and Z primaries, are a little bit different. In particular, $\bar{y}_{10\lambda}$ is not the same as \bar{y}_λ or V_λ .

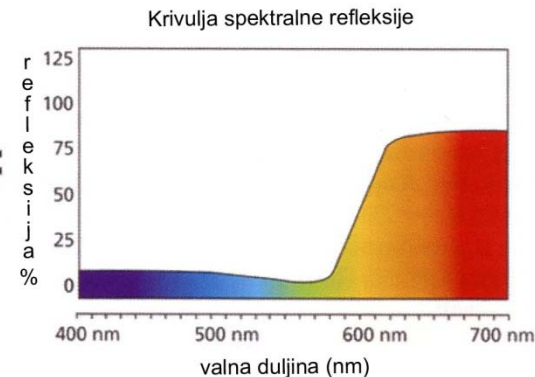
Određivanje tristimulusnih vrijednosti

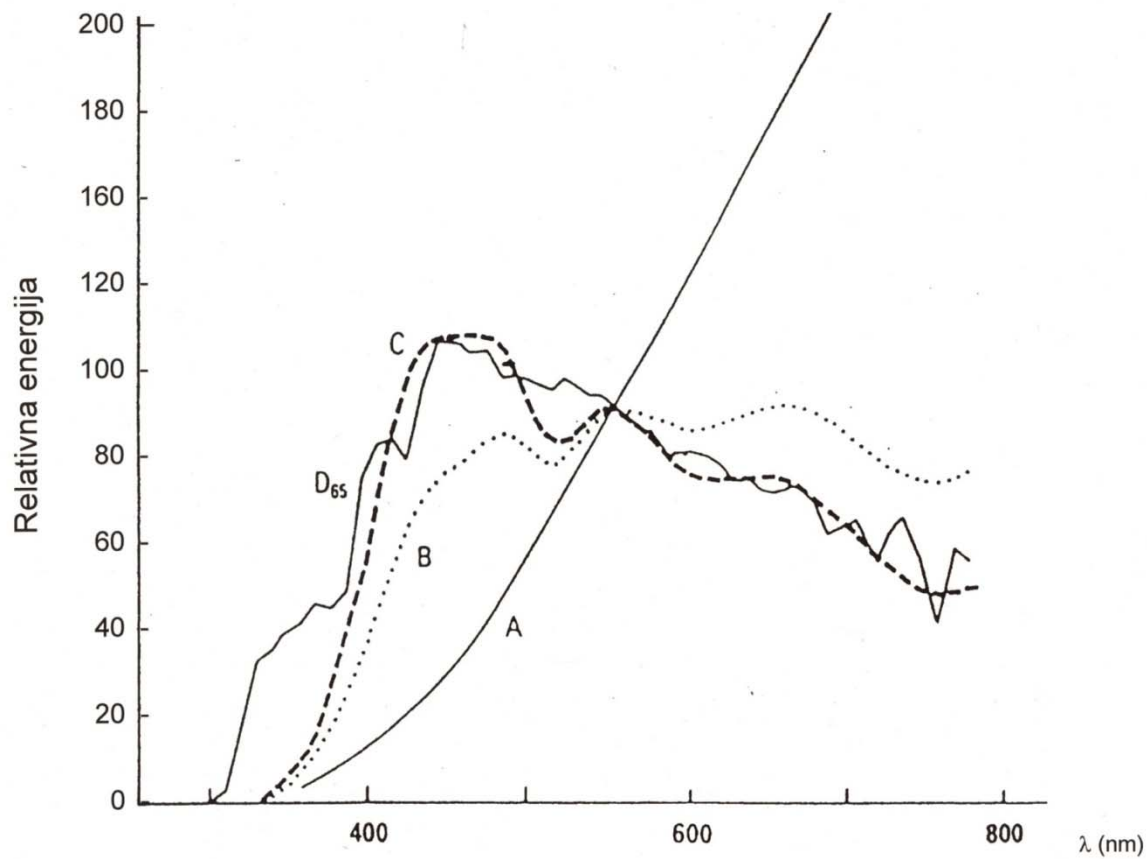


- Osnovno svojstvo tvari o kojem ovisi njegoa boja je spektralna transmisija kod prozirnih objekata i spektralna refleksija kod neprozirnih objekata. Faktor spektralne refleksije R mjeri se u uvjetima CIE standardne rasvjete $S(\lambda)$ i CIE definirane geometrije promatranja uzorka.



=



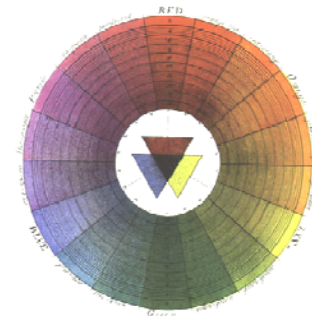


A – volframova žarulja

B - sunčeva rasvjeta (podnevna)

C – prosječna dnevna rasvjeta

D65 – prosječna dnevna rasvjeta u ultra-ljubičastom i vidljivom dijelu spektra



- $S(\lambda)$ predstavlja relativnu količinu svjetlosne energije koju standardni izvor zrači u pojedinim dijelovima spektra.

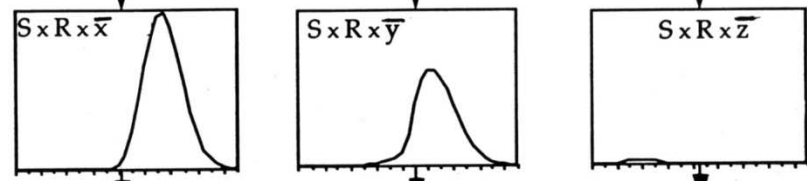
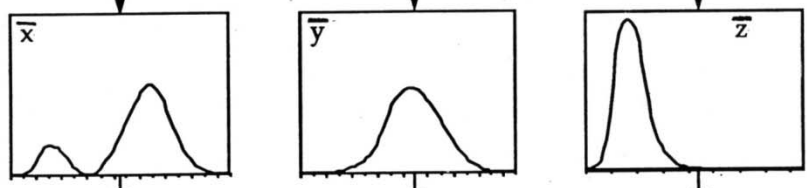
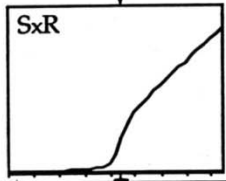
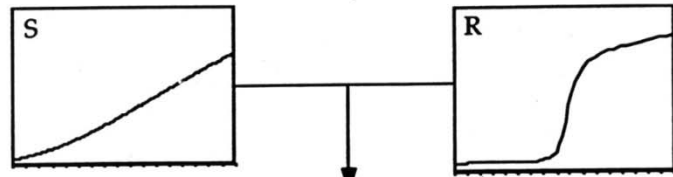
Vrijednosti imaginarnih distribucijskih koeficijenata koji se odnose na stimulus boje (standardni promatrač), ovisno o valnoj duljini (λ) izražene su kao $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}$.

Tristimulusne vrijednosti X,Y,Z obojenog objekta koje se odnose na vidljivi dio spektra dobivene su zbrajanjem pojedinačnih tristimulusnih vrijednosti određenih za definirane valne duljine.



Tristimulus Calculation

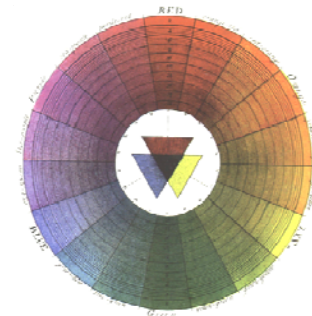
$$X = k \sum_{\lambda} S(\lambda) R(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda$$
$$Y = k \sum_{\lambda} S(\lambda) R(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$
$$Z = k \sum_{\lambda} S(\lambda) R(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$
$$k = 100 / \sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$



X = 66.76

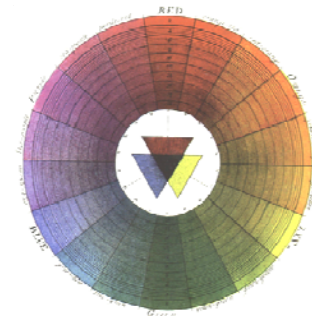
Y = 45.02

Z = 2.07



- Tristimulusna vrijednost Y je u korelaciji sa svjetlinom (*Lightness*) dok vrijednosti X i Z nisu u korelaciji s nijednim od psihovizualnih osjeta (ton, zasićenje).
- Važnim atributima boje srodnicima s relativnim veličinama tristimulusnih vrijednosti koristimo se kod računanja kromatičnih koorinata, x, y, z .

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$



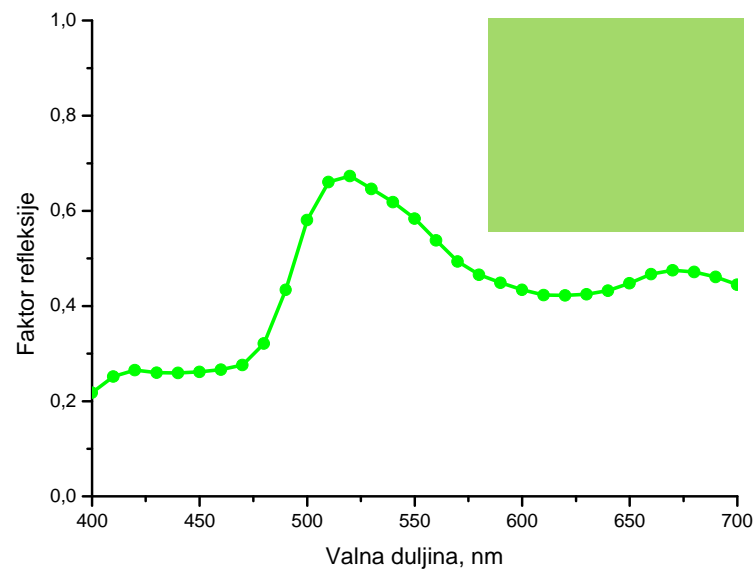
Kromatske koordinate za čije se označavanje uvijek koriste mala slova predstavljaju relativni iznos tristimulusnih vrijednosti

npr.: $X=43$, $Y=53$, $Z=25$
 $X+Y+Z=121$

$$x = \frac{43}{121} = 0,4$$

$$y = \frac{53}{121} = 0,4$$

$$z = \frac{25}{121} = 0,2$$



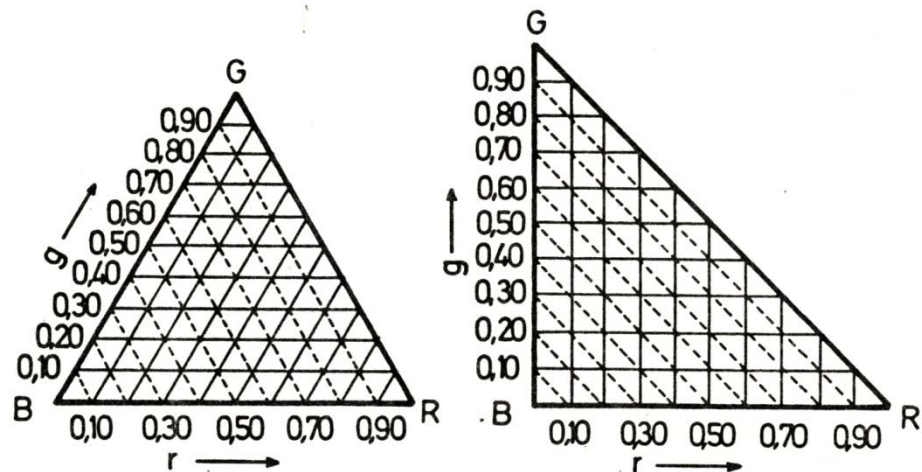
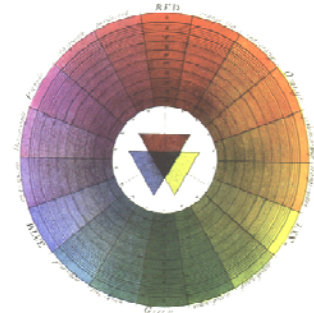


- Brojčane vrijednosti pokazuju da se u specifikaciji boje nalazi 40% od X, 40% od Y i 20% od Z. Vrijednosti kromatičnih koordinata ovise o CIE standardnom izvoru svjetla.
- Želi li se mjereni obojeni objekt prikazati u dvodimenzionalnom sustavu, njegove kromatične koordinate izražavaju se kao:

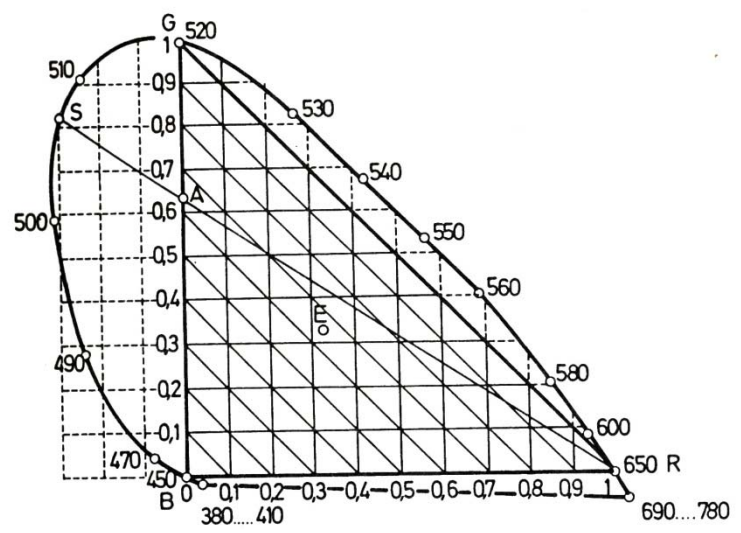
$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

$$x + y + z = 1$$

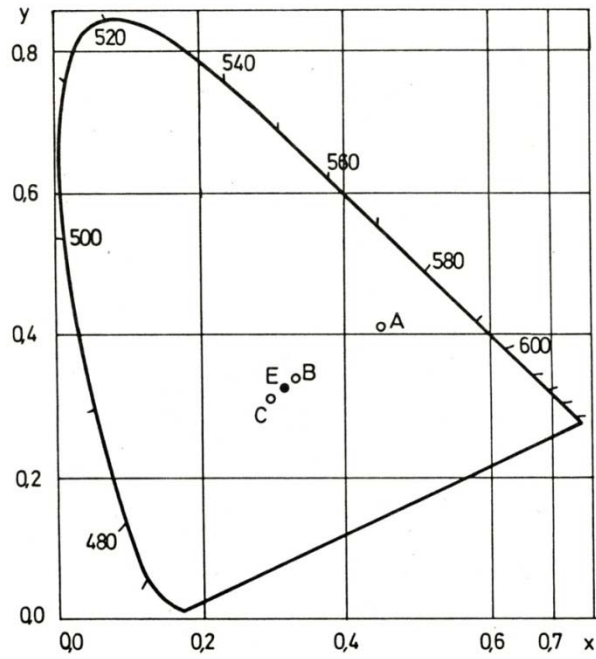
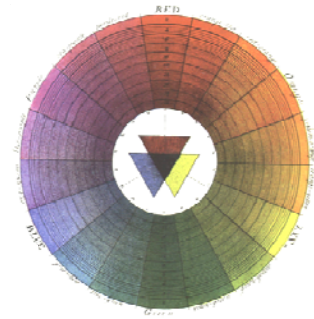
i ucrtavaju se u za takav prikaz konstruirani dijagram.



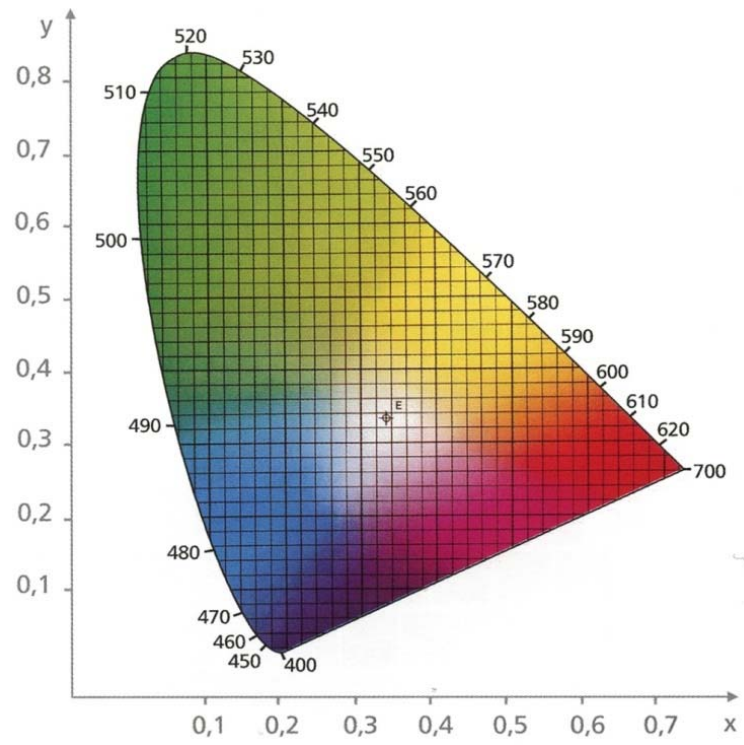
Trokatni dijagram RGB

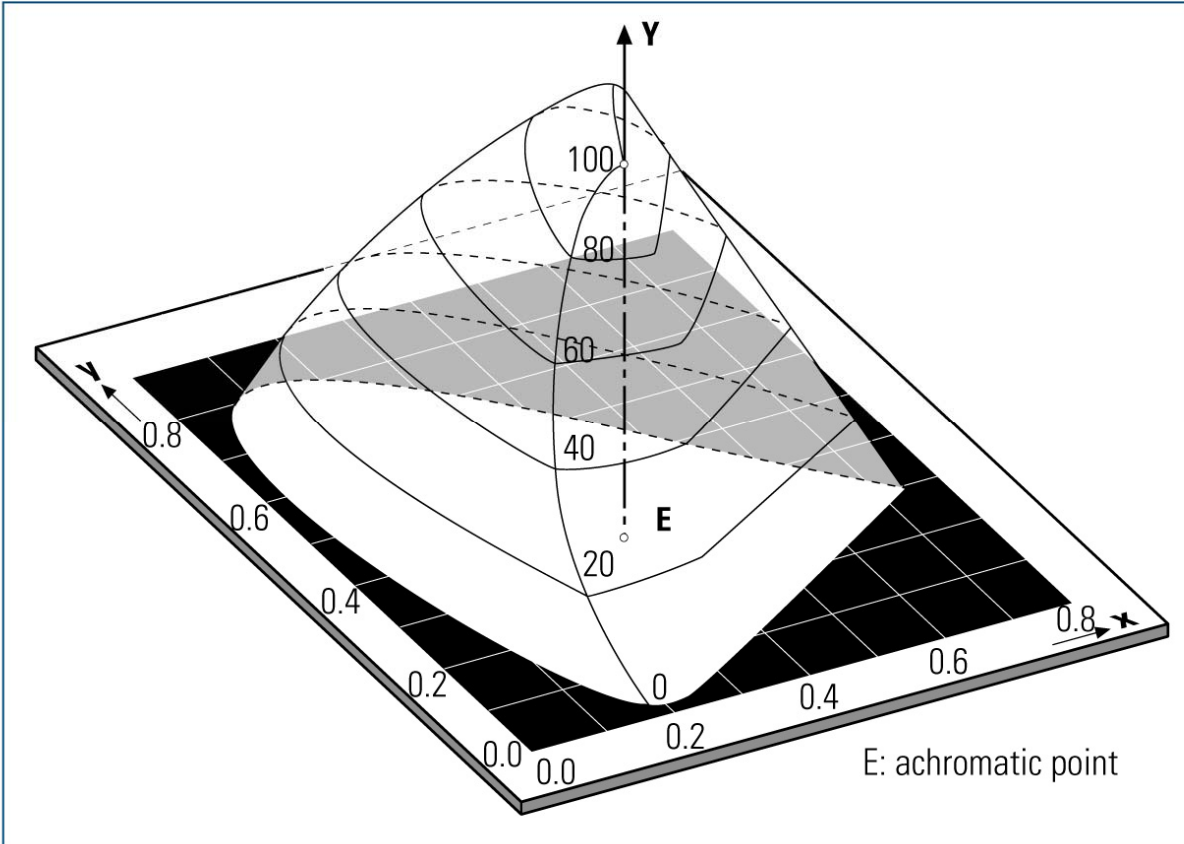
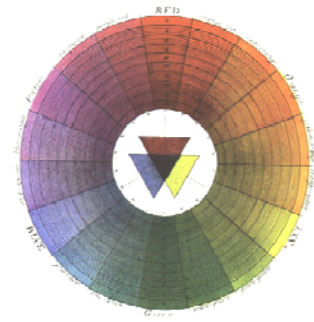


Trokut boja s krivuljom

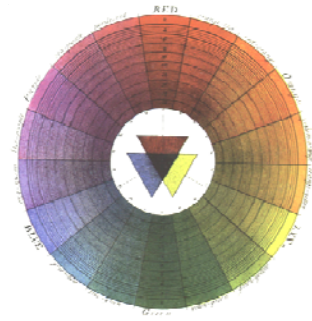


Dijagram kromatičnosti u kojem je prikazana bijela boja (C,E,B,A) uz različita osvjetljavanja uzorka.





Određivanje brojčanih vrijednosti psihofizičkih karakteristika boja

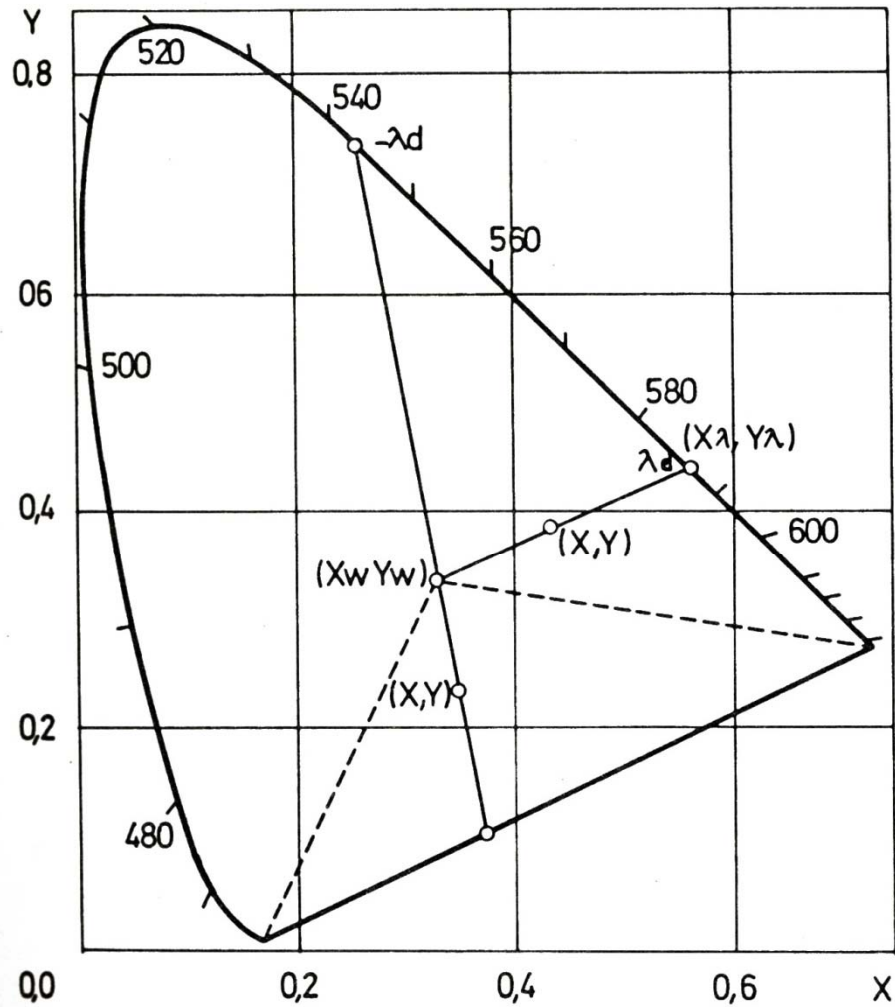
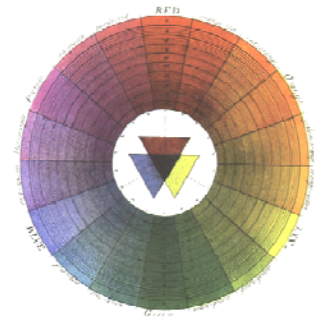


TON - dominantna valna duljina

ZASIĆENJE - čistoća pobude

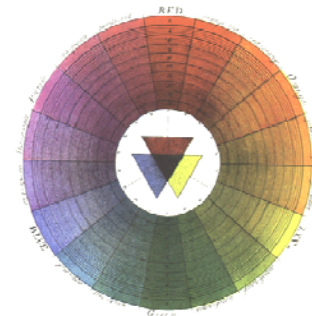
SVJETLINA – luminacija

Ton i zasićenje boje – kromatičnost

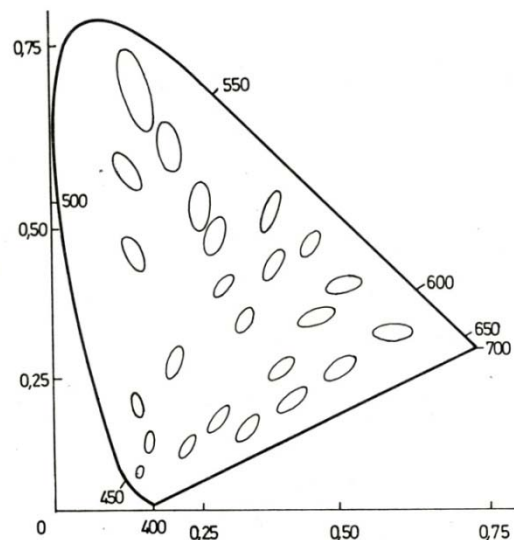


Dijagram kromatičnosti s označenom dominantnom valnom dužinom R_d

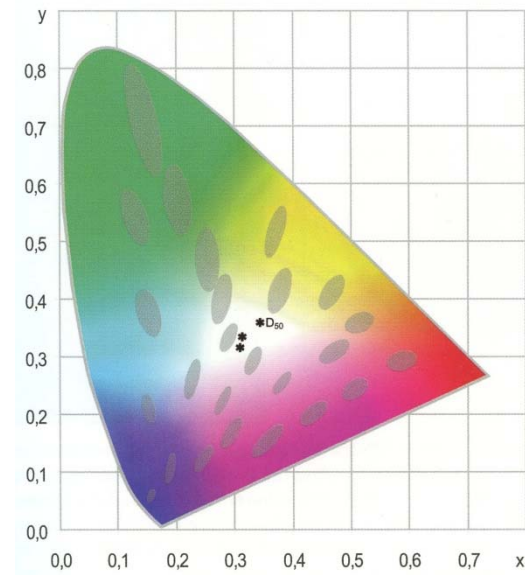
Određivanje kromatskih razlika u dijagramu kromatičnosti



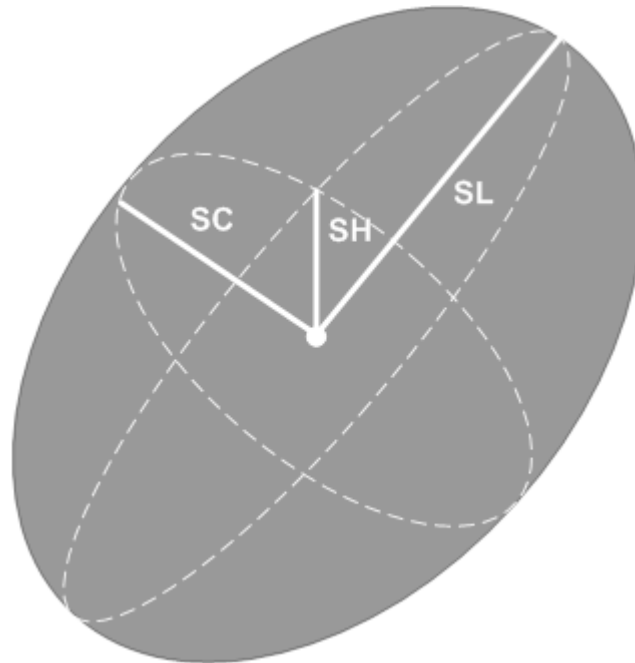
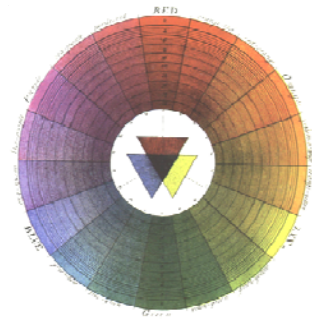
- David MacAdam bio je znanstveni istraživač u Eastman Kodak kompaniji. Predmet njegovog ispitivanja isprva je bila "Kodakova žuta" boja, a zatim i ostale boje. Zbog samog eksperimenta izradio je veliki broj uzoraka (20000) od 25 izabrane boje. Uzorci su grupirani prema vizualnim sličnostima. Mjernim uređajem uzorci su izmjereni i ucrtani u CIE kromatični dijagram.



Slika 17 Dijagram kromatičnosti s označenim granicama unutar

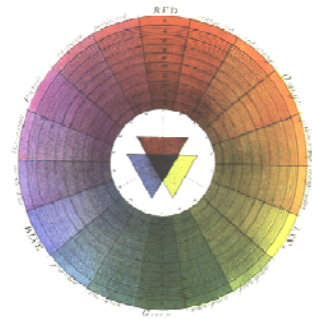


- Dobiveni rezultati ucrtani u dijagram imali su oblik elipsa.
- U želji da proširi svoja istraživanja, a ujedno da odredi granice ljudske osjetljivosti na vizualne karakteristike boje **MacAdam** je mijenjao ton, zasićenje i svjetlinu boje dok promatrači nisu uočili promjenu u odnosu na predložak (standard).
- Rezultati ucrtani u kromatični dijagram prikazivali su neznatno zamjetljive razlike. Kod primjera gdje su se centralne točke preklapale oko njih je nastala elipsa, odnosno u 3D prostoru elipsoid.

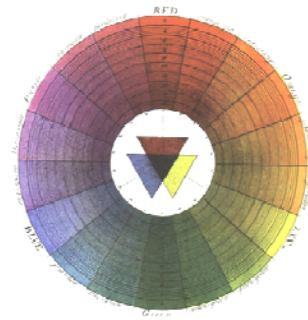


- Ovisno o položaju boje u prostoru elipsoidi su bili različite veličine. Ta spoznaja otkriva kako kromatski dijagram nije jedinstven, a svaka boja ima područje svog odstupanja.

Eksperimentalno se ustanovilo da ljudsko oko ne procjenjuje jednako ton, zasićenje i svjetlinu tj. oko je osjetljivije na promjenu tona nego na promjenu svjetline.



NEDOSTACI CIE DIJAGRAMA KROMATIČNOSTI



- Konstruiran za mjerenje boje izvora svjetla više nego za mjerenje boja objekta.
- Jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama.
- Položaj boje izražen kromatičnim koordinatama ovisi o izvoru rasvjete.
- Dijagram kromatičnosti ne pokazuje dovoljno kako boja izgleda, jer svojstvo svjetline nije dovoljno definirano u dvodimenzionalnom prostoru.
- Sustav ignorira okolne boje i boju pozadine
- Ne uzima u obzir fluorescenciju objekta

CIELAB sustav prikazivanja boja



- **CIELAB** je trodimenzionalni prostor boja baziran na percepciji boje standardnog promatrača. Njegove koordinate odgovaraju teoriji suprotnih boja tj. parova (opponent color theory),

svjetlo – tamno,

crveno – zeleno,

žuto – plavo.

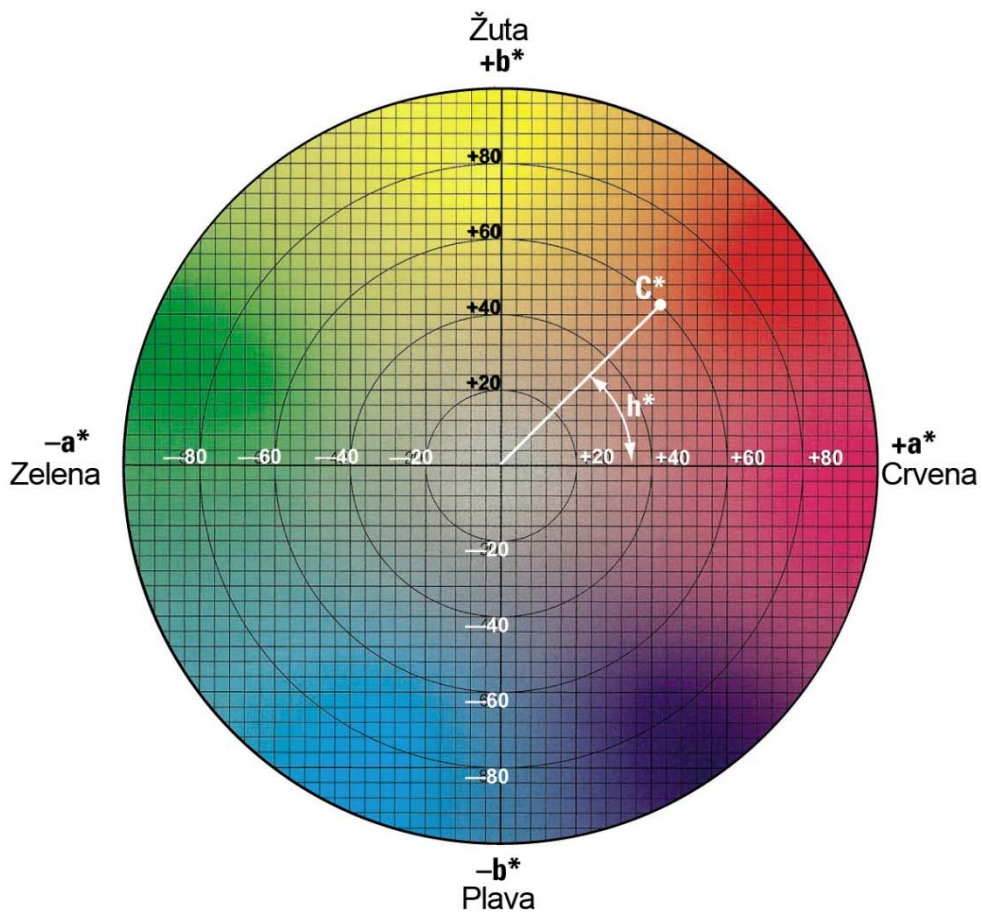
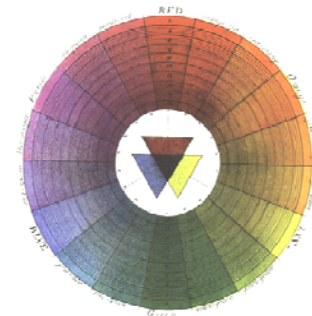
Prednost ovog sustava je i uvođenje svjetline kao treće dimenzije.

Numeričke vrijednosti u CIELAB sustavu opisuju sve boje koje može razlikovati ljudsko oko.

U **CIELAB** sustavu boje su opisane pomoću tri osi:

dvije kromatske, a (crvena i zelena) i b (plava i žuta).

Svjetlina **L** (luminance) je *akromatska* os mjeri se od 0 do 100 po vertikalnoj osi, gdje je 0 vrijednost za crnu, a 100 za bijelu.



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

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

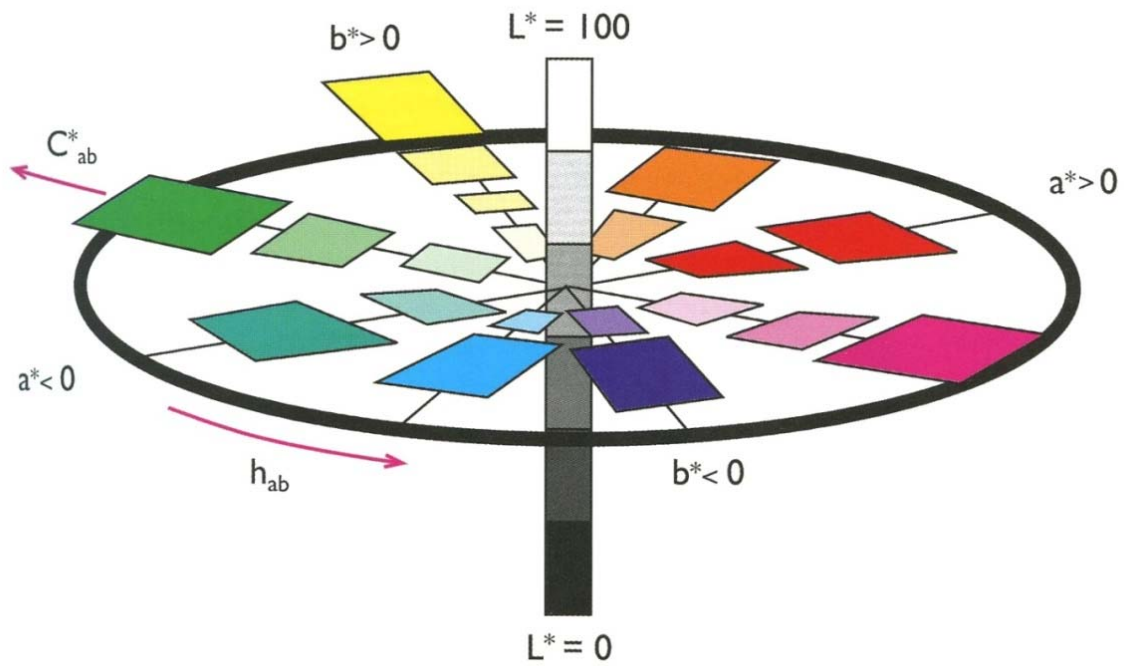
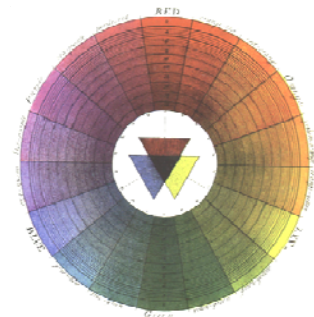
$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

Kromatičnost

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

Kut tona boje

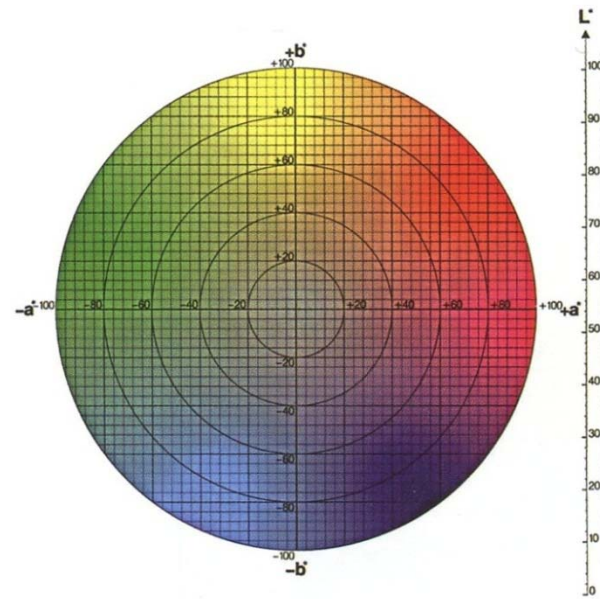
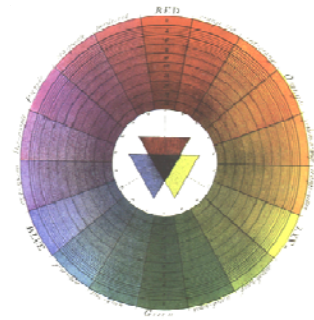
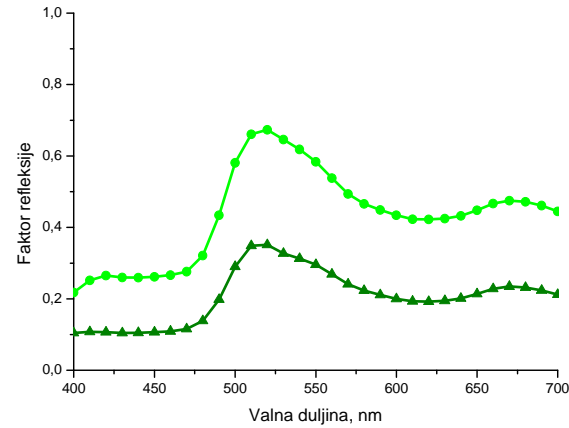
$$h^*_{ab} = \arctan (b^*/a^*)$$



- $L = 77,72$
- $a = -22,97$
- $b = 27,49$

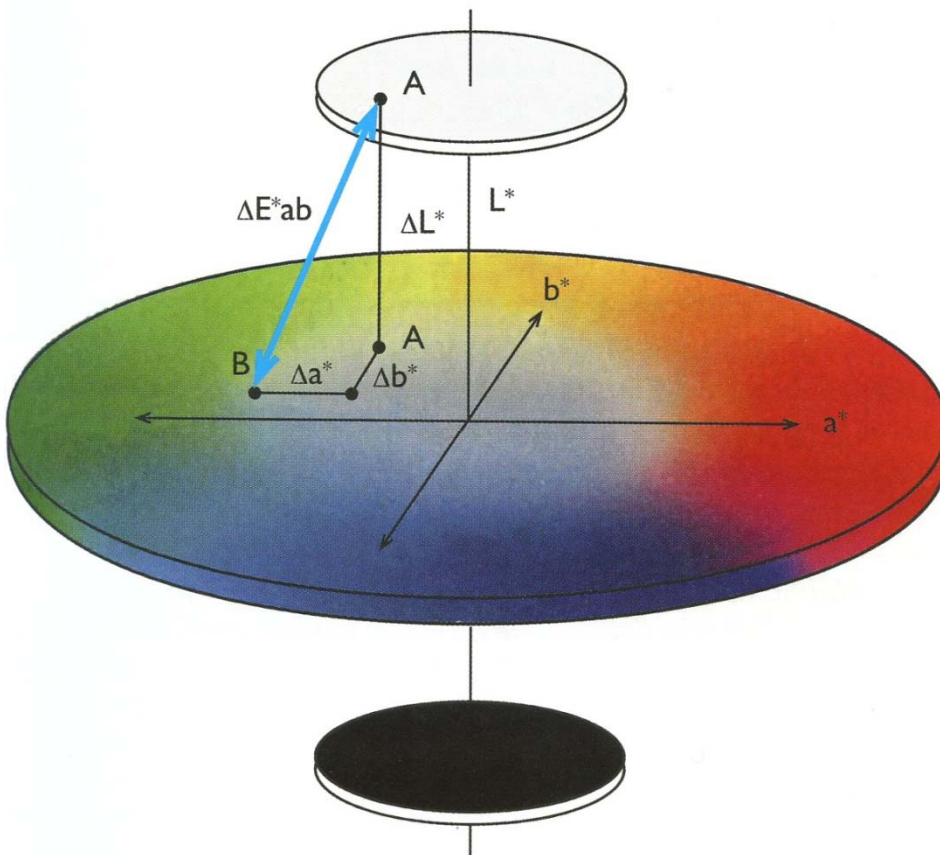


- $L = 58,02$
- $a = -22,58$
- $b = 26,52$



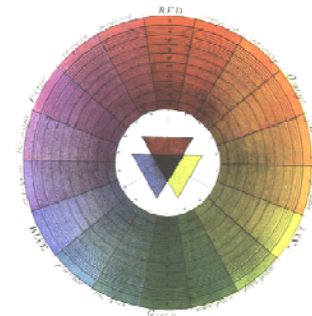
$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{[(\Delta L_{ab}^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2]}$$

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{[(\Delta L_{ab}^*)^2 + (\Delta a_{ab}^*)^2 + (\Delta b_{ab}^*)^2]}$$



$$\Delta E_{ab}^* = 19,73$$





Ukupna razlika boje ΔE^*ab ima vizualno približno slijedeće značenje:

$\Delta E^*ab < 0,2$

razlika u boji nije vidljiva

$\Delta E^*ab < 0,5$

preciznost instrumenta, zanemariva razlika

ΔE^*ab 0,2 - 1,0

razlika u boji je zamjetljiva, vrlo mala razlika

ΔE^*ab 1,0 - 3,0

razlika u boji je vidljiva, mala razlika

ΔE^*ab 3,0 - 6,0

razlika u boji je dobro vidljiva, očita razlika

ΔE^*ab 6,0 - 12,0

razlika u boji je vrlo dobro vidljiva, iznimno velika razlika

(Kumar, M. 2008)

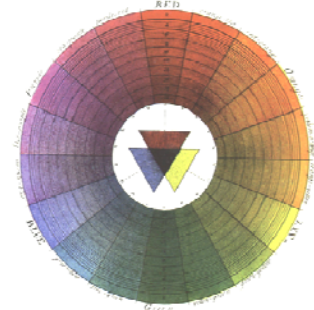
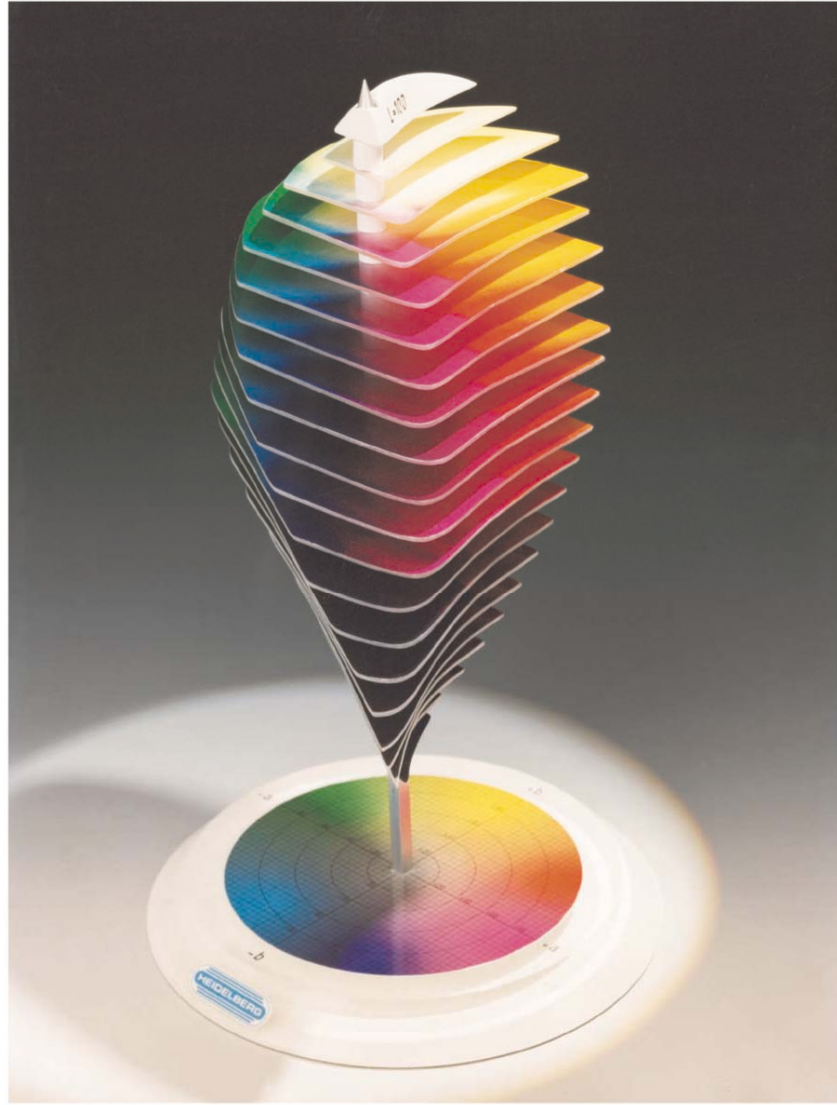
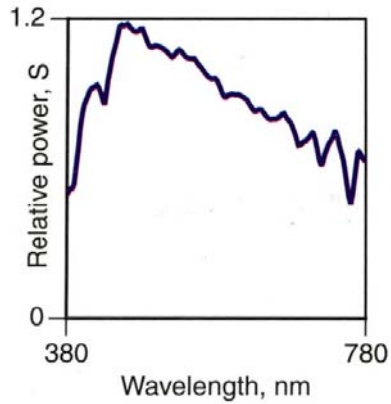
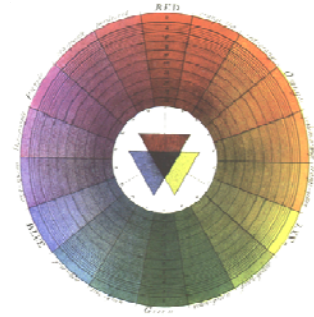
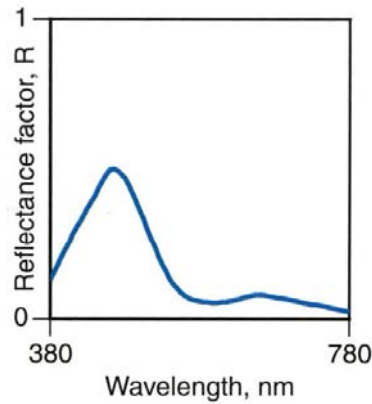


Fig. 1.4-10 CIELAB color solid [1.4-2]



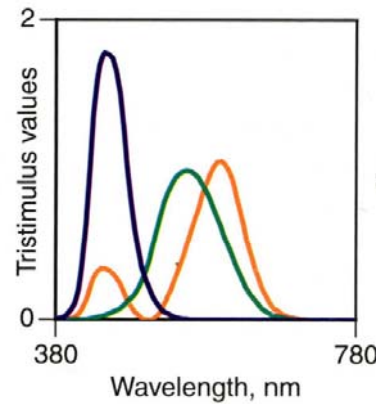
CIE standard illuminant

X



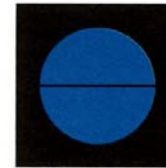
Object

X



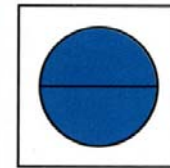
1931 CIE standard observer

=



X = 13.47
Y = 14.39
Z = 47.52

Tristimulus values



L* = 44.8
a* = -1.3
b* = -46.9

CIELAB values

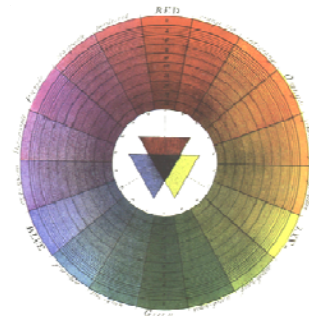


$$\Delta E_{ab}^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta C_{ab}^*)^2 + (\Delta H_{ab}^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta H_{ab}^* = [(\Delta E_{ab}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ab}^*)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\Delta H_{ab}^* = 2(C_{ab,1}^* \cdot C_{ab,0}^*)^{1/2} \sin (\Delta h_{ab} / 2)$$

$$\Delta h_{ab} = h_{ab,1} - h_{ab,0} \quad \Delta C_{ab}^* = C_{ab,1}^* - C_{ab,0}^* \quad \Delta L^* = L_{1}^* - L_{0}^*$$



$$\Delta E_{94}^* = \left[\left(\frac{\Delta L^*}{k_L S_L} \right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{k_C S_C} \right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{k_H S_H} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$S_L = 1$$

$$S_C = 1 + 0.045 C_{ab}^*$$

$$S_H = 1 + 0.015 C_{ab}^*$$

$$k_L = k_C = k_H = 1 \quad \text{for reference conditions}$$

$$C_{ab}^* = C_{ab, \text{standard}}^* \quad \text{or} \quad \sqrt{C_{ab,1}^* C_{ab,2}^*}$$

When one of the samples forming the color-difference pair is the standard, S_C and S_H are calculated based on the C_{ab}^* value of the standard. When neither sample can be logically deemed a standard, the geometric mean chroma is used to calculate S_C and S_H .

$$\Delta E_{00} = [(\Delta L'/k_L S_L)^2 + (\Delta C'/k_C S_C)^2 + (\Delta H'/k_H S_H)^2 + R_T(\Delta C'/k_C S_C)(\Delta H'/k_H S_H)]^{1/2}$$

$$S_L = 1 + \frac{0.015(\bar{L}' - 50)^2}{\sqrt{20 + (\bar{L}' - 50)^2}}$$

$$S_C = 1 + 0.045\bar{C}'$$

$$S_H = 1 + 0.015\bar{C}'T$$

$$T = 1 - 0.17 \cos(\bar{h}' - 30^\circ) + 0.24 \cos(2\bar{h}') + 0.32 \cos(3\bar{h}' + 6^\circ) - 0.20 \cos(4\bar{h}' - 63^\circ)$$

$$R_T = -\sin(2\Delta\theta)R_C$$

$$\Delta\theta = 30 \exp\{-[(\bar{h}' - 275^\circ)/25]^2\}$$

$$R_C = 2 \sqrt{\frac{\bar{C}'^7}{\bar{C}'^7 + 25^7}}$$

$$L' = L^*$$

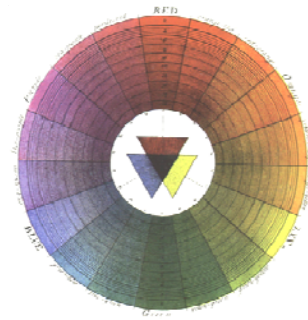
$$a' = (1 + G)a^*$$

$$b' = b^*$$

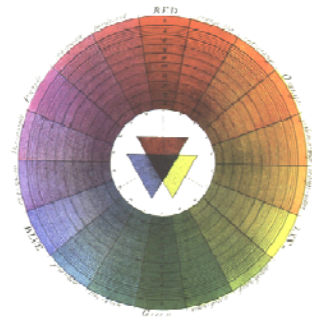
$$C' = (a'^2 + b'^2)^{1/2}$$

$$h' = \tan^{-1}(b'/a')$$

$$G = 0.5 \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{C}_{ab}^{*7}}{\bar{C}_{ab}^{*7} + 25^7}} \right)$$



STANDARDI ZA MJERENJE BOJA



- 1. Tablice
- 2. Katalozi

Sastavljanje kataloga moguće je provesti na slijedeće načine:

a) Miješanje bojila

-Bojila ili pigmenti miješaju se u različitim omjerima

b) Miješanje boja

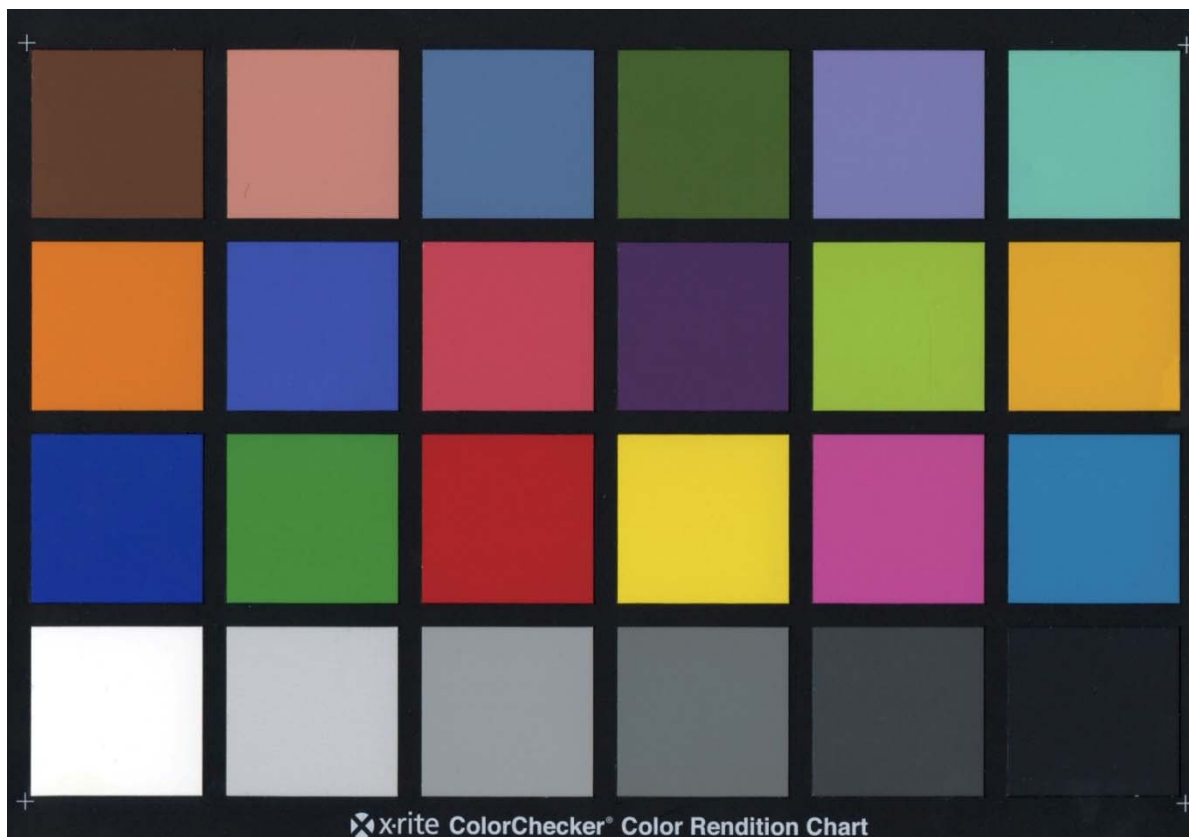
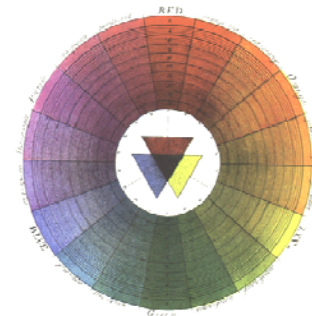
- Koriste se bojila koja odgovaraju bojama određenih tristimulusnih vrijednosti, mijenjajući pri tome njihov ton, zasićenje i svjetlinu

- Ostwaldov sistem

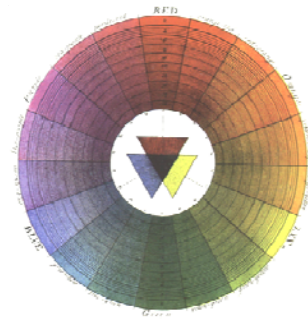
c) Sastavljanje kataloga bazirano na uspoređivanju boja

- Munsellov sistem
- DIN sistem 6164
- NCS (Natural Color System)

TABLICA BOJA

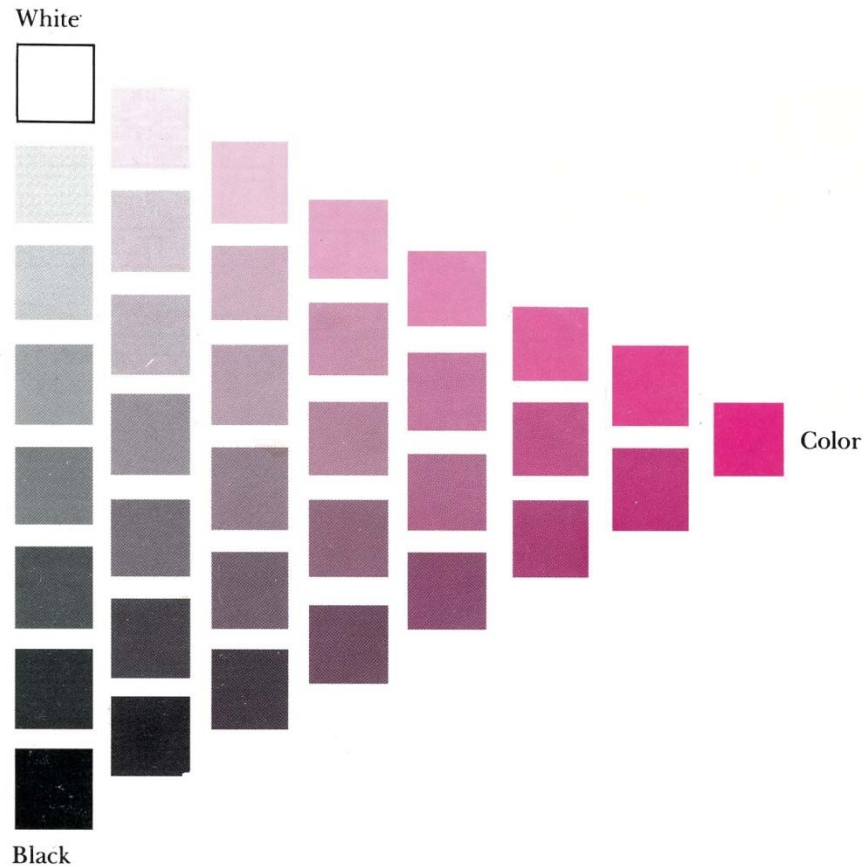
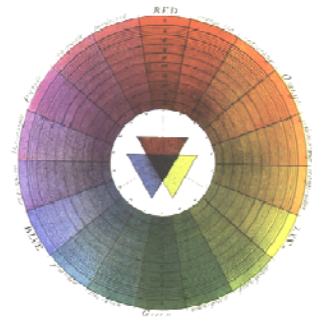


Ostwald-ov sustav

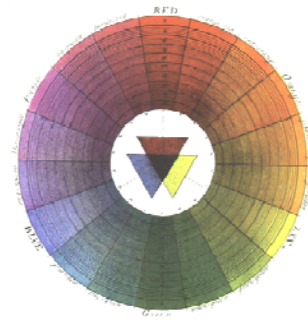


- Tijekom povijesti mnogi su znanstvenici postavili svoje vizije sistematizacije boja. Za takav prikaz bilo je karakteristično da je sustav boja bio prikazan u ravnini ili u tri dimenzije. Jedan od znanstvenika bio je **W. Ostwald**, profesor fizikalne kemije u Leipzigu, dobitnik Nobelove nagrade za kemiju 1909. godine, a do kraja života je bavio se bojom i nastojao je naći njihovu znanstvenu standardizaciju.
- Ostwald je svrstao boje u trodimenzionalni oblik nalik na dva stožca koji su spojeni s istom bazom (krugom). Presjek kroz takvo tijelo bio je istostranični trokut. Na vrhovima trokuta bile su pozicionirane tri osnovne boje. Gornji vrh bijela, nasuprot njoj crna, a na trećem vrhu jedna od kromatskih boja (broj kromatskih boja bio je limitiran). Na površini trokuta nalazilo se 28 boja koje su nastale aditivnim miješanjem udjela šarene, crne i bijele boje.

Njegovo djelo *Color Harmony Manual* predstavljalo je aproksimaciju samog Ostwaldovog sustava. Sustav je sadržavao 848 boja. Zbog određenih nedostataka sustav se danas više ne primjenjuje.

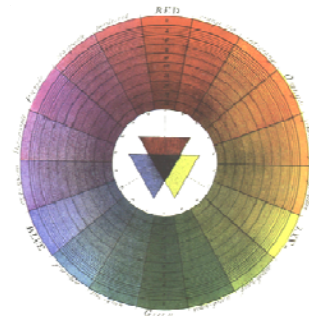


Munsell-ov sustav boja



Američki slikar, portretist **A. Munsell** načinio je trodimenzionalni sustav rasporeda boja koji se temeljio na principima doživljaja boja kod promatrača normalnog vida. U tzv. Munsellovom tijelu boja, boje su razvrstane u sustav, na osnovi konstantnog tona boje, zasićenja i svjetline.

- Prostor u kojem se nalaze stvarni uzorci sustava zamišljen je kao trodimenzionalan i cilindričan. Uzorci su unutar sustava svrstani na principu ujednačene percepcije i pojavnosti. (razlike u vizualnim doživljajima svojstava boje između svaka dva susjedna uzorka su konstantne).
- U Munsellovom sustavu koji je kasnije prerastao u Munsellov atlas 1450 obojenih malih površina različitog tona, zasićenja i svjetline nalaze se na 40 stranica. Svaka stranica sadrži uzorke istog tona poredane u vertikalne i horizontalne redove.

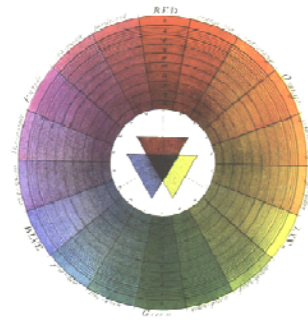


- Uzorci u svakom pojedinom horizontalnom redu (bez obzira na boju) na svim stranicama imaju jednaku svjetlinu pod određenim uvjetima promatranja.
- U vertikalnim redovima nalaze se uzorci koji imaju jednako zasićenje. Boje se u Munsellov-om sustavu označuju brojevima i slovima.

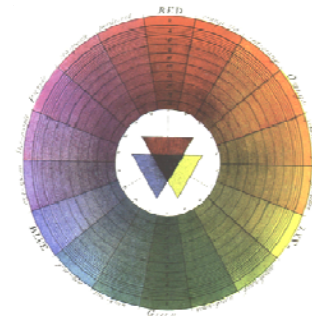
- **H** (Munsell hue) ton boje
- **V** (Munsell value) svjetlina
- **C** (Munsell chroma) zasićenje



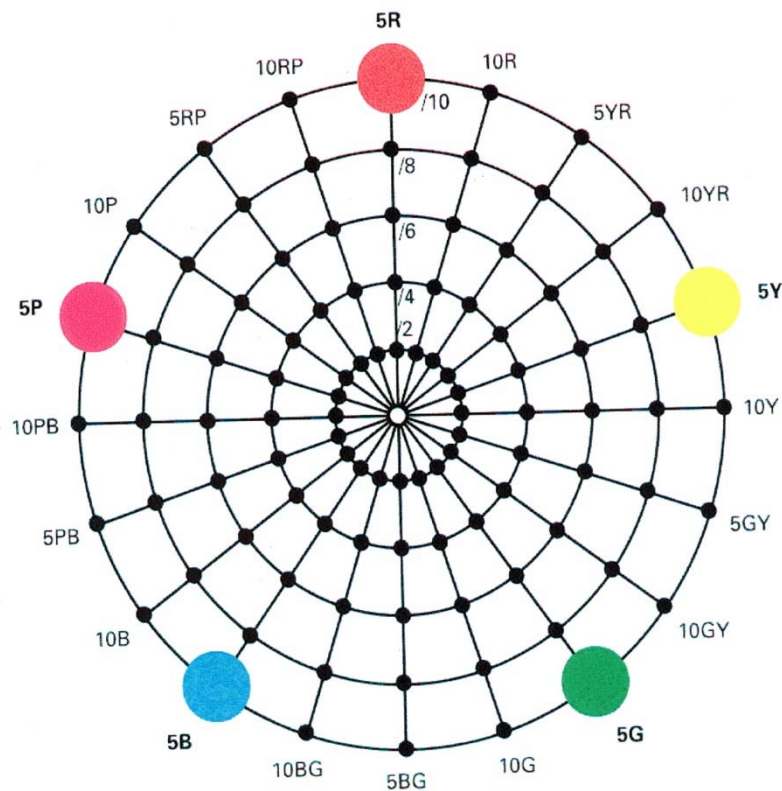
- Vertikalna os (akromatska) podijeljena je u vizualnim intervalima od 0 do 10.
- Vrijednost 0 i 10 se odnose na teoretski apsolutno crni i bijeli uzorak. Između apsolutno bijelog i apsolutno crnog uzorka nalaze se sivi uzorci. Neutralne boje imaju oznaku NV (neutralna siva).
- Munsellova chroma definirana je udaljenošću obojenog uzorka od akromatske osi u vodoravnom smjeru. Zasićenost boje na akromatskoj osi iznosi 0, a povećanjem udaljenosti od osi ona raste. Vrijednost Munsellove chrome (zasićenosti) limitirana je svojstvima bojila i osjetljivošću oka.



Deset osnovnih izabranih tonova boja Munsell-ovog sustava su:

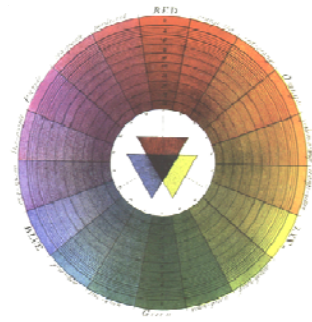


- crvena **R**
- žuto crvena **YR**
- žuta **Y**
- zeleno žuta **GY**
- zelena **G**
- plavo zelena **BG**
- plava **B**
- purpurno plava **PB**
- purpurna **P**
- crveno purpurna **RP**

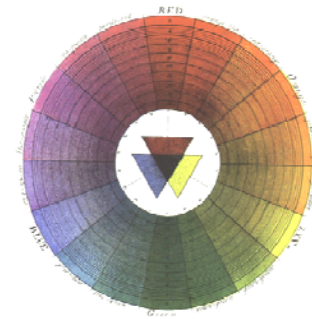


Oznake R,G,B,Y i P odnose se na engleske nazive boja (Red, Green, Blue, Yellow, Purple)

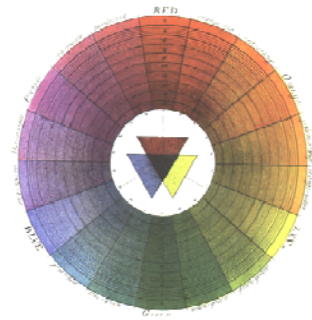
- Uvjeti i vrsta rasvjete pri promatranju uzoraka iz Munsellovog atlasa boja su standardizirani. Pri vizualnom promatranju koristi se dnevna vrsta svjetlosti, pozadina uzorka je srednje siva (Munsell N5), a kut promatranja mora isključiti komponentu sjaja.
- Kod instrumentalnog mjerenja koristi se CIE vrsta rasvjete C, standardni promatrač CIE1931 2° . Geometrija mjerenja je 0/d ili d/0.



- Munsellov sustav kao materijalni standard boje primjenjuje se i danas kao Munsell-ovo drvo i atlas boja. Kako je cijeli sustav naknadno izmjeren, praktična primjena sastoji se od definiranja boje u atlasu koja je vizualno najbližnja boji ispitivanog uzorka.

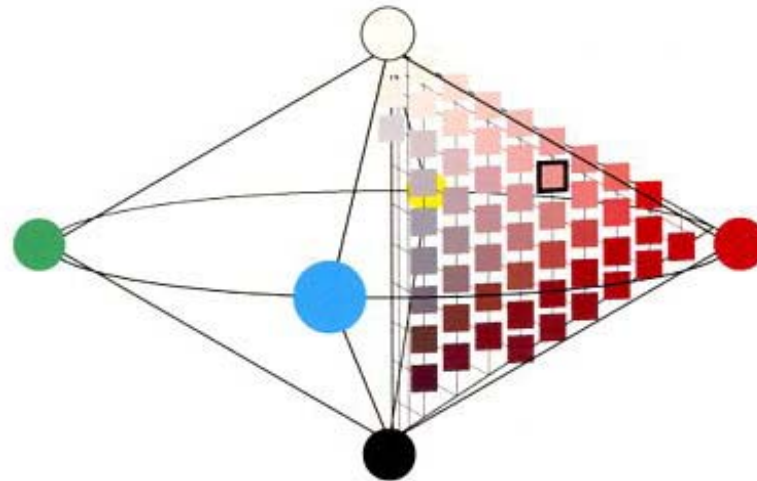
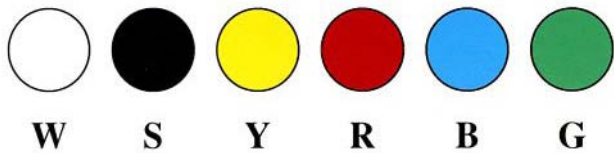


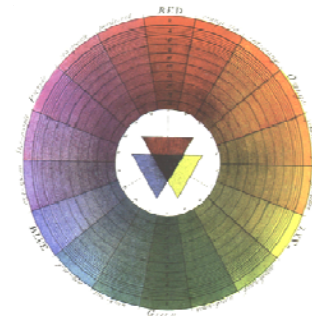
NCS (Natural Color System)



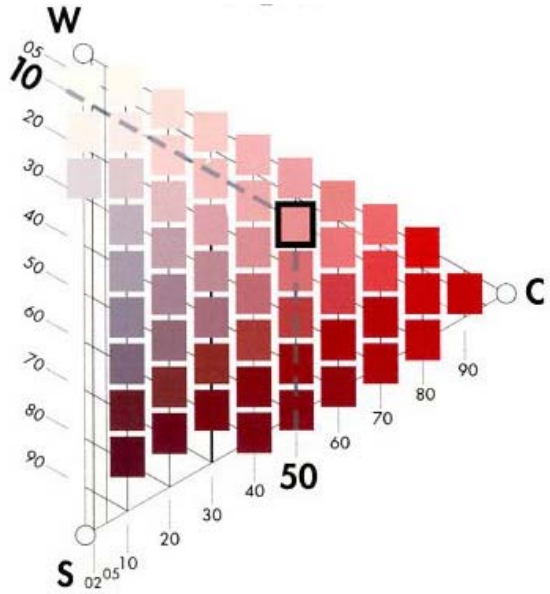
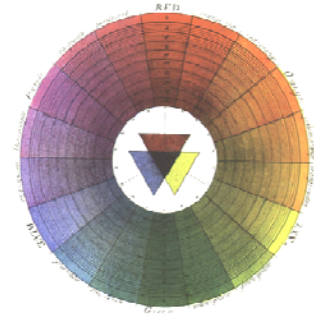
- NCS je logički sustav boja osnovan na principu ljudskog razlučivanja boja.

Znanstvenik A.S. Forsius je 1611. godine objavio temelje sustava NCS u svojoj knjizi „Physica“: „...među bojama su dvije temeljne boje, bijela i crna... četiri međuboje su crvena, plava, zelena, žuta–i siva od bijele prema crnoj–te povećavaju intenzitet u stupnjevima... mijenjajući se od bijele, koju posvjetljujemo, do crne koju potamnjujemo...“





- 1920. godine je počelo međunarodno poznato švedsko istraživanje boja koje je završilo razvojem NCS sustava. Temelji su preuzeti iz knjige „Das natürliche System der Farbempfindungen“ njemačkog fizičara Ewalda Heringa, objavljene 1874. godine.
- Glavni cilj tog istraživanja je bio razvoj sustava boja utemeljenog na principu ljudskog razlučivanja i doživljavanja boja. Istraživačke metode zahvatile su i grupe ljudi koje su promatrale boje u standardnim postavama te ih razvrstavale po sličnosti sa šest osnovnih boja.
- Rezultati ocjenjivanja su bili vrednovani pomoću računala. Napravljena je bila i usporedba ljudskih „subjektivnih“ ocjena nijansi te vrijednosti izmjerenih „objektivnim“ instrumentima za mjerenje boja. Istraživanje je pokazalo da ljudi s normalnim vidom doživljavaju i razvrstavaju boje na jednak način. Uzorci boja sadrže 1950 originalnih NCS uzoraka boje koji su raspoređeni u posebne atlase i uz postavu u prostoru čine NCS tijelo.



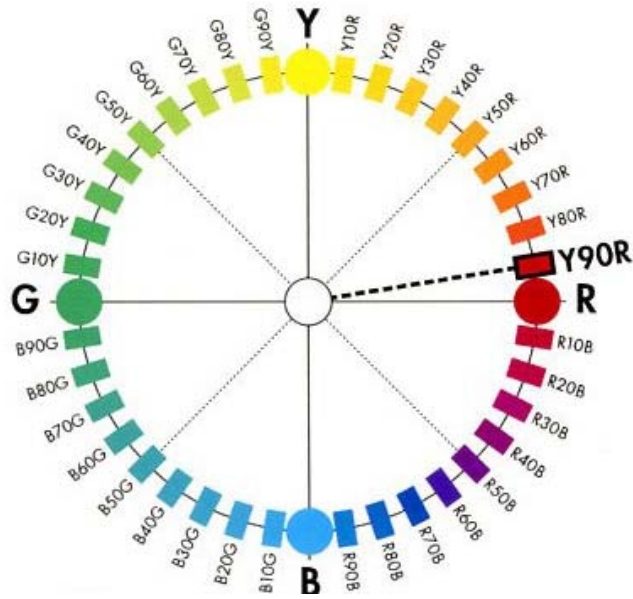
NCS colour notation

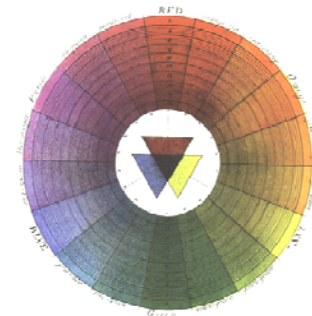
In the NCS colour notation, **S 1050 - Y90R**
 it is easy to read the appearance of the colour.

Standard
Second
Edition

S **1050** - **Y90R**
 S C
 Nuance

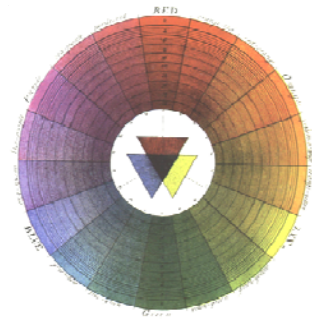
Φ
 Hue



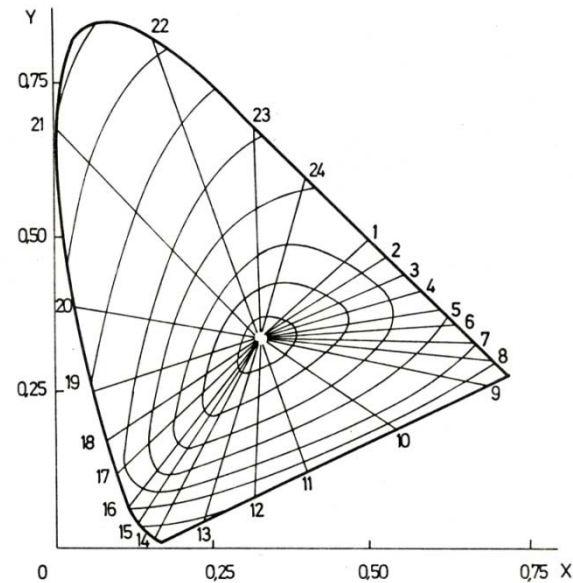


- Standardizirani sistem prirodnih boja (NCS- Natural Color System) potječe iz Skandinavije te se bazira na prirodnom ljudskom opažanju boja. Sistem definira 1.750 standardnih boja u logički strukturiranom prostoru boja, s krugom boja od 40 dijelova, baziranom na 4 osnovne, nemiješane boje : žuta(Y) , crvena (R) plava (B) i zelena (G). Preko 40 najrazličitijih tonova definiraju se prema optičkom udjelu boje. Y10R predstavlja primjerice šareni ton s 90 udjela žute boje i 10 udjela crvene, dakle ukupno 100 udjela boje.
- U trokutima boja u prostoru boja je svaki šareni ton posvijetljen bijelom, a crnom potamljen. 2030-Y10R sadrži prema tome 20 crnih i 30 šarenih udjela boje. Ostalih 50 od ukupno 100 su udjeli bijele. Kod neutralnih boja je oznaka tona boje N (neutral), tonovi ostalih boja imaju oznaku 00. Primjerice svijetlo siva se označava N-1500. Prema toj logici se svaka željena nijansa boje - obično stupnjevana decimalno - može opisati standardno i odrediti NCS-mjernom tehnikom.

DIN sustav boja

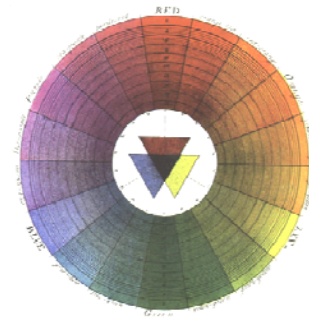


- DIN sustav boja je službeni njemački standardizirani sustav boja (DIN 6164) koji je postavio M.Richter sa suradnicima. Tijelo boja opisano je terminima tona boje (DIN-Farbton-F), zasićenja (DIN-Sättigung-S) i tamnine (DIN-Dunkelstufe-D). Boje konstantnog tona imaju istu dominantnu valnu dužinu kao i akromatski stimulus CIE standardne rasvjete C. Prostor tona boje podijeljen je u 24 doživljeno jednaka područja.



Dijagram kromatičnosti s bojama označenim po DIN sistemu

- Područja konstantnog zasićenja su ovalnog oblika oko kromatičnih koordinata CIE standardiziranog izvora svjetla oznake C.
- Treća varijabla, DIN-Dunkelstufe, je prije u odnosu s neprozirnošću nego sa svjetlinom boje, a njen odnos s faktorom luminacije nije jednostavan. Svjetlina je definirana kao logaritamska funkcija relativne svjetlosti



$$h=Y/Y_0$$

gdje je:

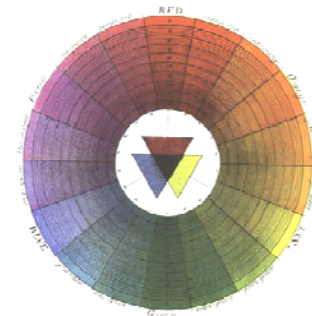
Y = faktor luminacije uzorka, a

Y_0 = faktor luminacije optimalnog stimulusa boje koji ima istu kromatičnost kao i uzorak.

- Izraz određivanja tamnine definiran je izrazom:

$$D=10^{-6,1723 \log(40,7h + 1)}$$

- Praktični uzorci DIN sustava nalaze se na stranicama DIN-ovog atlasa. Svaki uzorak je određen DIN oznakama (F:S:D) i CIE (x,y,Y) koordinatama s obzirom na 1931 standardnog promatrača i izvor rasvjete C.



Sustavi boja koriste se kod izbora mjerenja i ispitivanja boja.

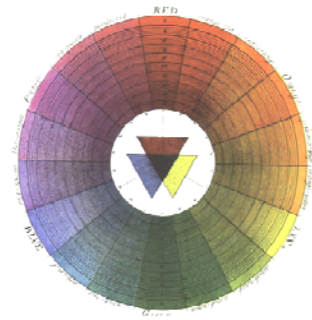
Kao sustavi realnih izmjerenih uzoraka imaju slijedeći niz **prednosti**:

- Jednostavna razumljivost jer postoje uzorci koji se mogu vidjeti
- Jednostavna primjena – uspoređivanje bez instrumenata
- Veliki broj sustava kalibriran u terminima CIE tristimulusnih vrijednosti

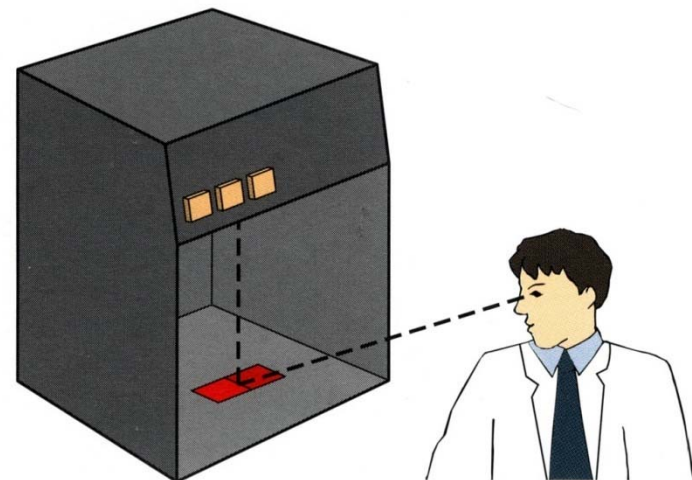
Nepovoljnost takvih sustava očituje se u slijedećem:

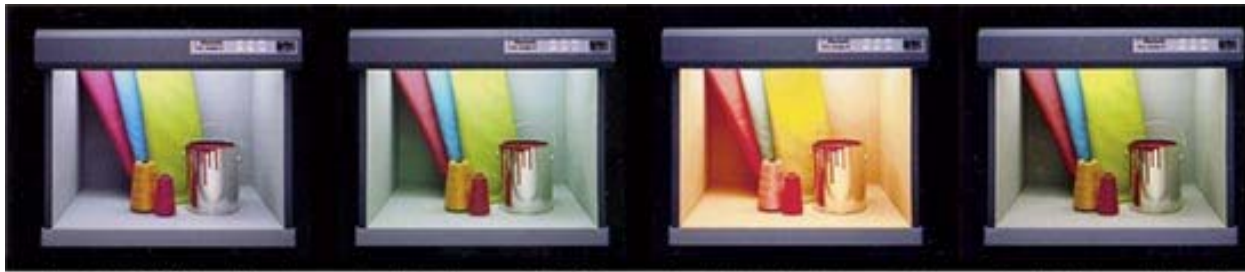
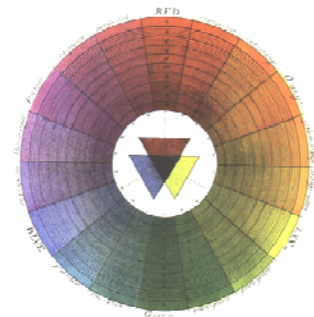
- Primjenjivih sustava ima nekoliko, a između njih ne postoji jednostavna pretvorba
- Vizualno uspoređivanje može se obavljati kod vrste svjetlosti i geometrije promatranja koje je upotrebjeno pri originalnom prosuđivanju i kalibraciji sustava
- Moguća pojava metamerije promatrača
- Između uzoraka ne postoji kontinuitet, česta je interpolacija uzoraka i njihova specifikacija.

MJERENJE BOJA



- Mjerenje boje predstavlja takav postupak vrednovanja boja koji se izvodi vizualnim ocjenjivanjem i instrumentalnim mjerenjem.
- Vizualna metoda vrednovanja boja zahtjeva definirano osvjetljenje i uvjete promatranja koji se postižu u specijalnom uređaju tzv. kućici za vizualnu ocjenu boja sa različitim izvorima svjetla (*eng.: Light booth, Color Match Box!*). U njima se uzorci uspoređuju pod različitim izvorima svjetlosti.





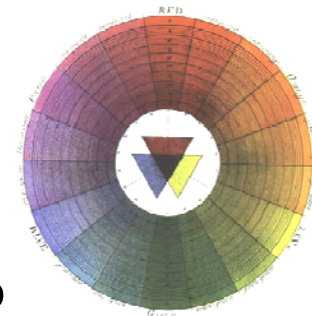
Tageslicht D65 Normlichtart

Leuchtstofflampenlicht CWF

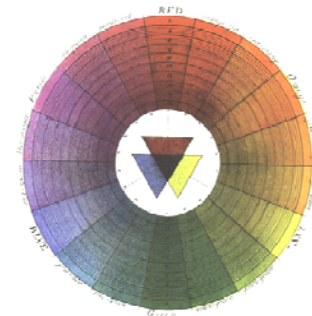
Normlichtart A (Glühlampenlicht)

Leuchtstofflampenlicht TL 84



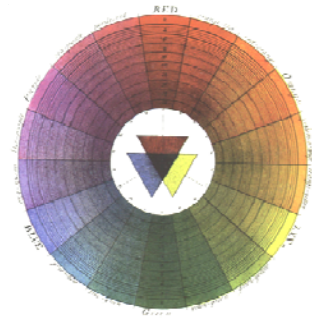


- A - volframova žarulja
- C - dnevno sjeverno svjetlo, prosječno dnevno svjetlo
- D_{65} - dnevno svjetlo, prosjek podnevnog svjetla diljem svijeta
- D_{50} - svjetlo na horizontu (izlazak i zalazak sunca)
- D_{55} - prosječno jutarnje i prosječno podnevno svjetlo
- D_{75} - dnevno svjetlo prekriveno oblacima
- F_2 , F_{CW} , CWF, F - hladna bijela fluorescentna lampa
- TL4 ili TL_{84} - fluorescentna lampa koja se koristi u trgovačkim centrima u Europi i USA
- Ultralume 3000 - fluorescentna lampa koja se koristi u mnogim trgovačkim centrima u USA



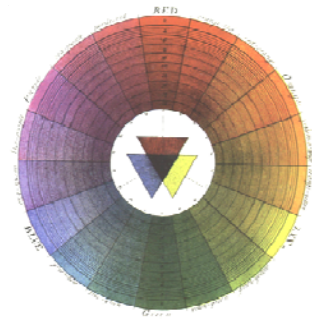
- Vizualni postupak vrednovanja boja zbog svoje male preciznosti se koristi kod prosuđivanja jednakosti tj. sličnosti dviju boja.
- Instrumentalno mjerenje koje je precizno definirano mora se provoditi na način da je ono u korelaciji s vizualnom procjenom. To omogućava odabir geometrije promatranja, standardnog promatrača i izvora rasvjete.
- Kod mjerenja boja potrebno je poznavati njezinu svrhu jer ona određuje način mjerenja i odabir uređaja za mjerenje.
- Svrha mjerenja može biti određivanje doživljaja boje, određivanje kromatskih veličina koje definiraju razliku između dviju boja, određivanje bojila ili pigmenta u boji.

METAMERIJA



Pojavljuje se kada dvije boje ostvaruju iste stimuluse pod određenim uvjetima, a različite kod nekih drugih.

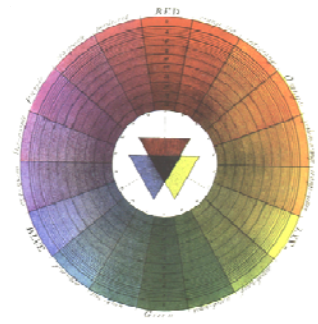
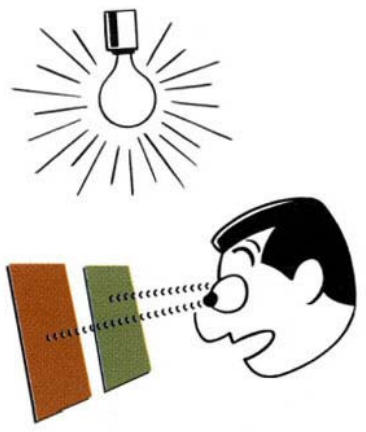
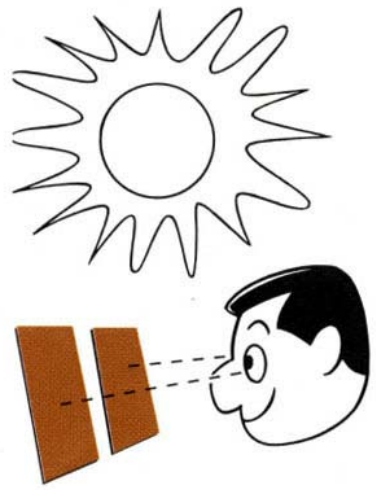
METAMERIZAM SE JAVLJA U ČETIRI OBLIKA



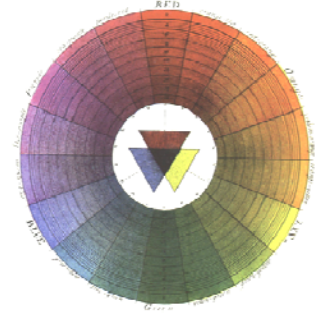
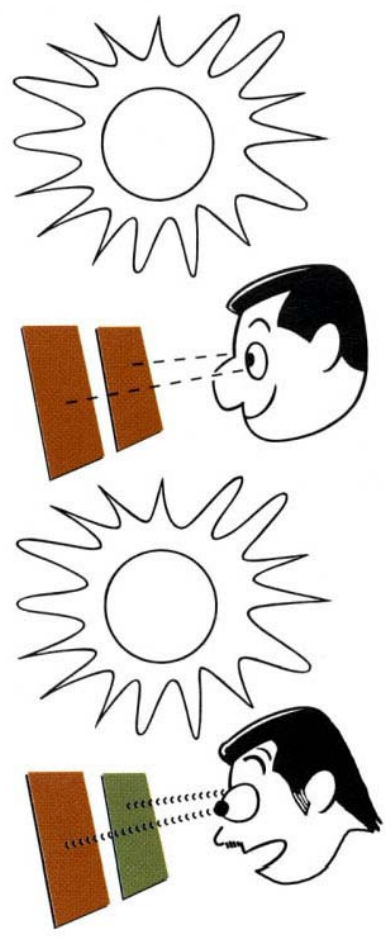
- a) Metamerizam izazvan **vrstom svjetlosti**
- b) Metamerizam izazvan **promatračem**
- c) Metamerizam izazvan **veličinom polja**
- d) Metamerizam koji se pojavljuje **promjenom geometrije** promatranja uzorka

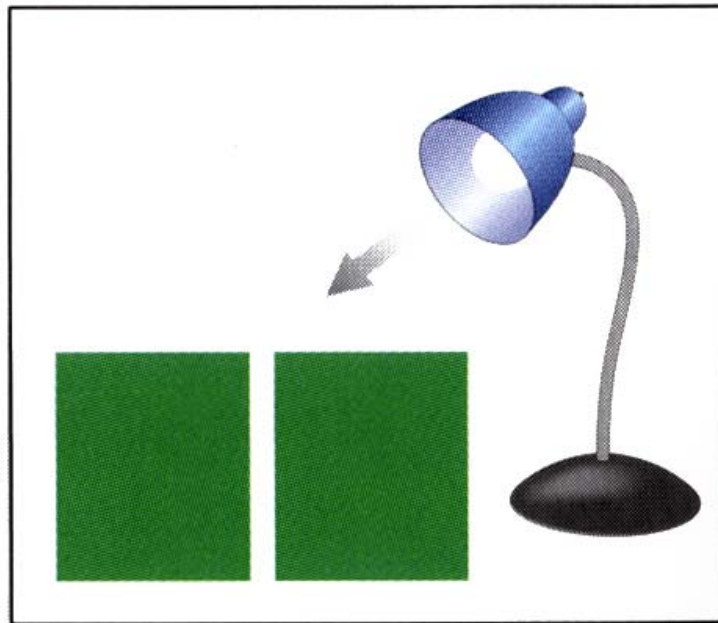
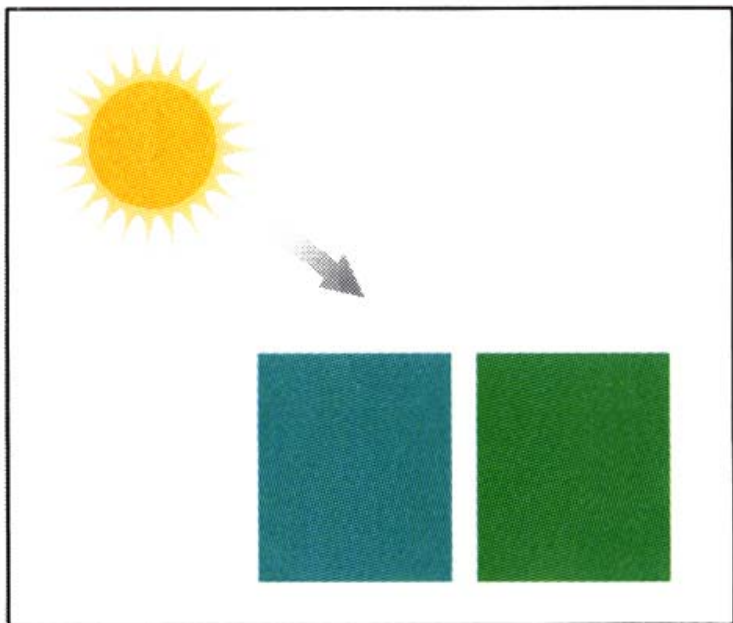
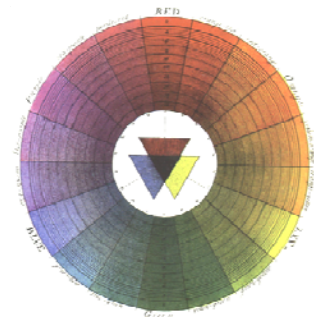
Krivulja spektralne refleksije dvaju objekata koji stvaraju metamerne stimuluse boja moraju imati iste vrijednosti kod najmanje tri različite valne duljine vidljivog dijela spektra.

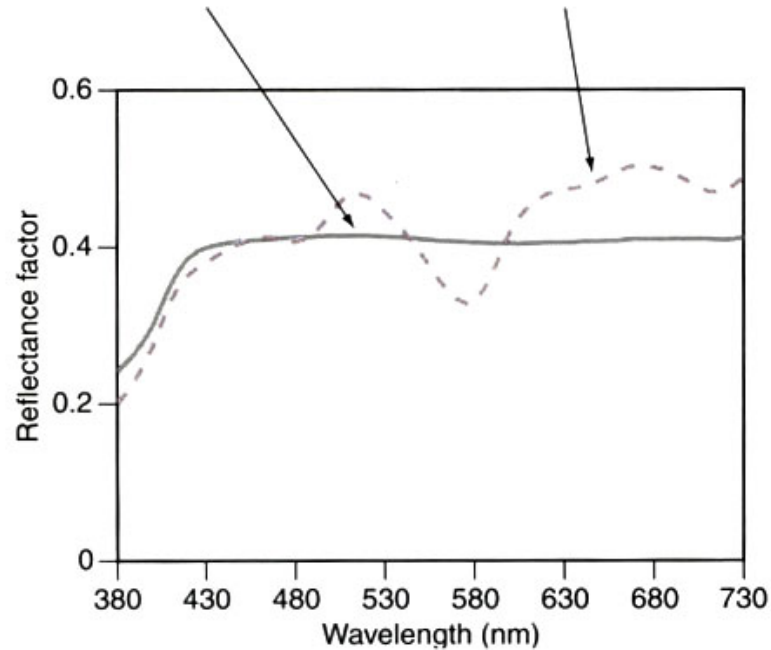
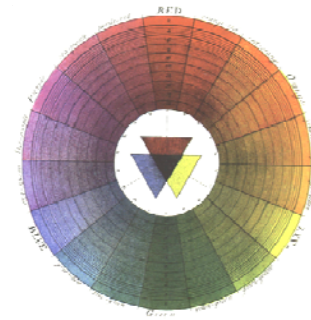
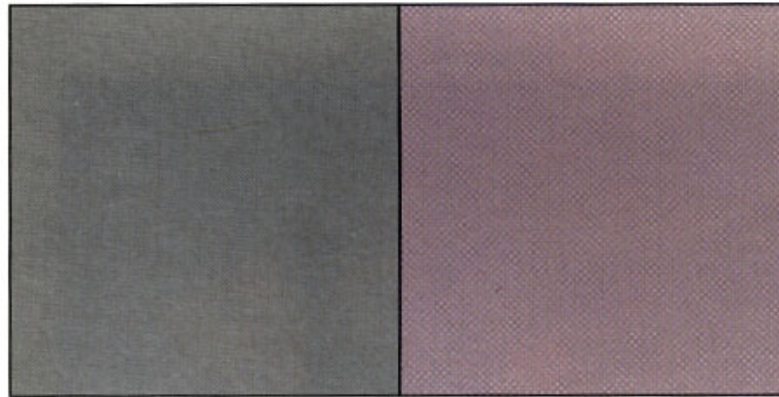
Metamerizam izazvan izvorom svjetla



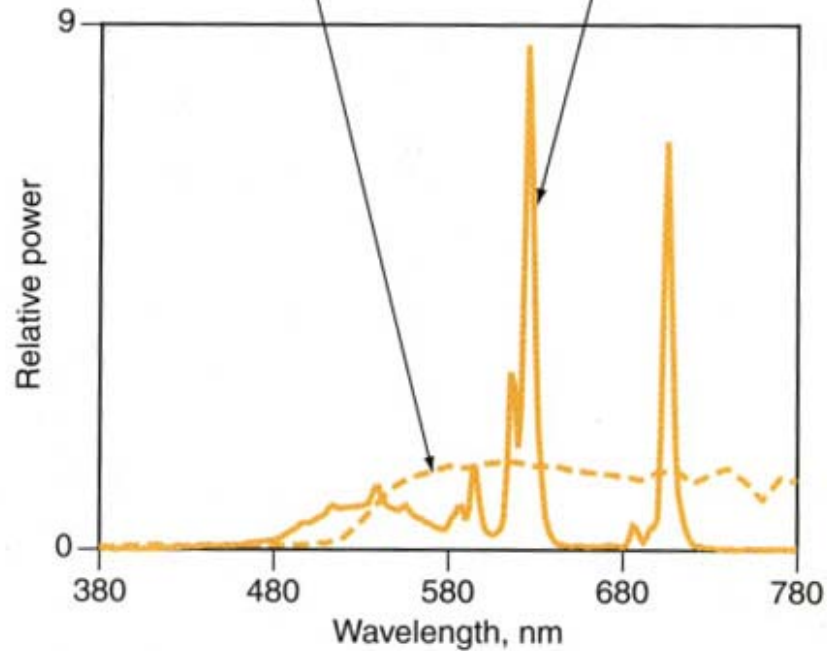
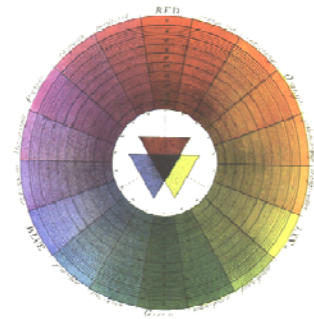
Metamerizam izazvan promatračem





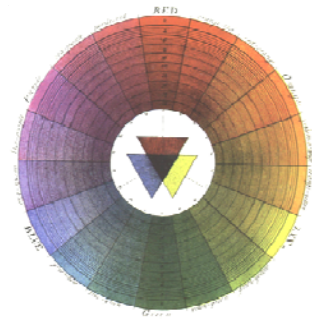


Each square is produced from different combinations of ink. The two halves should appear close in color under daylight illumination and different in color under incandescent illumination. Both halves form a metameric pair. Their spectral curves are shown below.

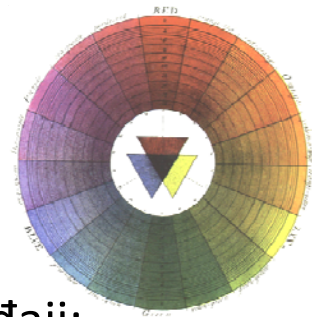


The dashed line represents daylight reflecting from sunflower petals, while the solid line represents the light emitted by a color CRT display adjusted to match the color of the sunflower.

Uređaji za mjerenje boje



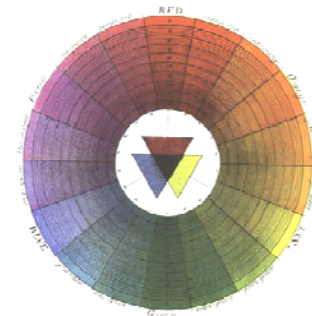
Uređaji za mjerenje boje



Kod instrumentalnog mjerenja boje najčešće se koriste slijedeći uređaji:

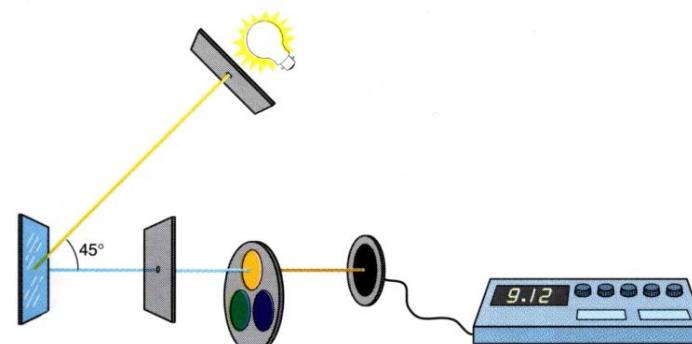
- **Kolorimetar**
- **Spektralnifotometar**
- **Spektralniradiometar**

- **Kolorimetar** : Uređaj koji se koristi kod određivanja CIE tristimulusnih vrijednosti.
- **Spektralnifotometar**: Spektrometar konstruiran za mjerenje spektralne refleksije ili transmisije.
- **Spektralniradiometar**: Spektrometar konstruiran za mjerenje spektralnog zračenja (*irradiance*) ili gustoće usmjerenog zračenja (*radiance*)

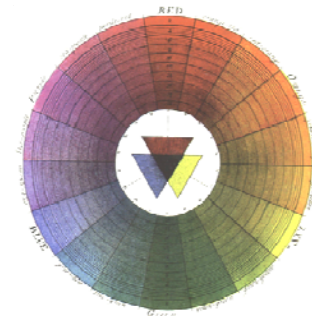


Kolorimetar – instrument čiji je princip mjerenja boje najbliži načinu ljudskog doživljaja boje

- Direktno mjeri CIE kolorimetrijske koordinate
- Sustavi za detekciju imaju spektralnu osjetljivost podešenu prema krivulji standardnog promatrača
- Kolorimetri za mjerenje izvora svjetla
- Kolorimetri za mjerenje optičkih svojstava materijala
- Vrsta svjetlosti C ili D65, geometrija 45/0



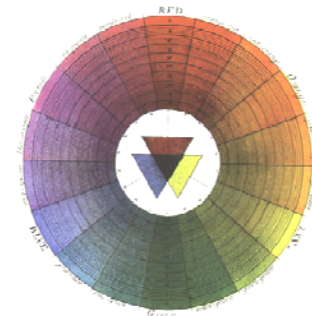
Three-filter colorimeter.



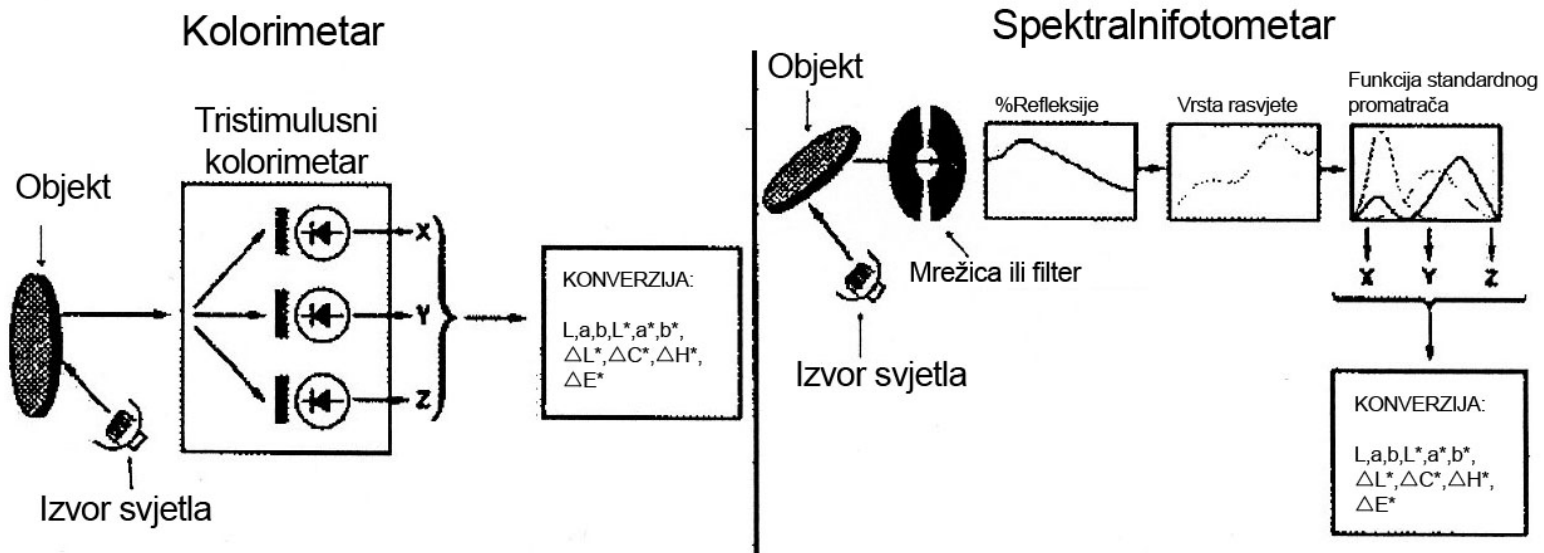
Spektralnifotometar – uređaj koji mjeri refleksiju ili transmisiju obojenog uzorka kao funkciju valne dužine (300 – 780 nm)

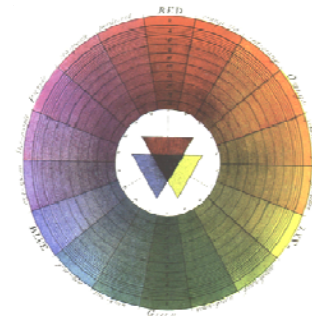
- Kao rezultat mjerenja dobiva se spektrofotometrijska krivulja
 - Izvor svjetla
 - Monokromator
 - Detektor





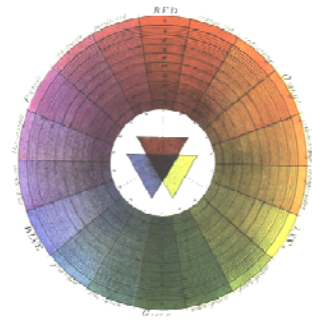
Kolorimetar i spektralni fotometar daju instrumentalne vrijednosti koje se odnose na isti raspon valnih duljina u vidljivom dijelu spektra. Uređaji se ipak zbog svojih karakteristika koriste različito.





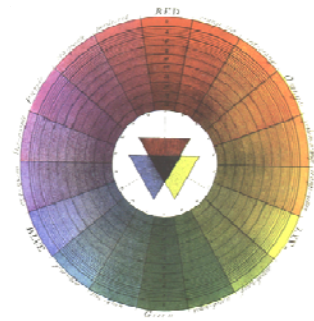
- **Kolorimetar** – uređaj za psihofizičku analizu čija mjerenja su u korelaciji s percepcijom oka. Kolorimetrijski podaci se očitavaju direktno kao tristimulusne vrijednosti X, Y, Z, L^*, a^*, b^* itd.
 - Izvor svjetla C, geometrija promtranja 2°
 - Izdvaja široki raspon valnih duljina upotrebom tristimulusnih apsorpcionih filtera.
 - Primjenjiv kod rutinske usporedbe sličnih boja i za podešavanje malih razlika boja kod istih uvjeta.

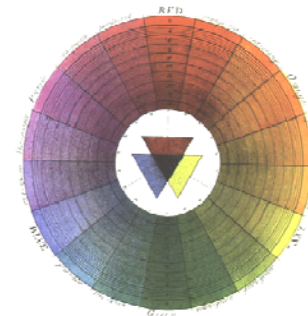
Spektralnifotometar – uređaj za fizičku analizu čija mjerenja se odvijaju kontinuirano (valna duljina slijedi valnu duljinu). Mjerenja nisu u korelaciji sa vizualnom percepcijom oka.



- veliki izbor izvora svjetla i vrsta promatranja pa se koristi i za određivanje indeksa metamerije.
- izdvajanje uskih valnih duljina upotrebom prizme, optičke rešetke ili interferencijskih filtera.
- primjenjuje se kod formuliranja bojila, mjerenja indeksa metamerije, uređaj primjenjiv za precizna znanstvena istraživanja.



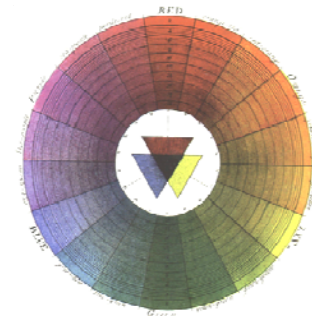




- ***Spektroradiometar*** – uređaj koji mjeri spektralna svojstva izvora svjetla;
- Interval mjerenja valnih dužina iznosi 2nm u slučaju mjerenja fluorescentnih lampa;

Izbor uređaja koji ćemo koristiti ovisi o uzorku koji mjerimo i podacima koje želimo mjerenjem ostvariti.





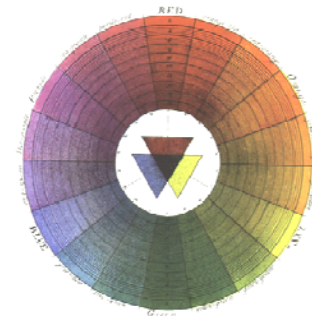
Svojstva osvijetljene površine kao što su boja, tekstura i sjaj mogu se naglasiti ovisno o:

- izvoru svjetla (difuzni ili usmjereni)
- kutu između izvora svjetla i uzorka
- kutu pod kojim se uzorak promatra (vizualno uspoređivanje ili instrumentalno mjerenje)

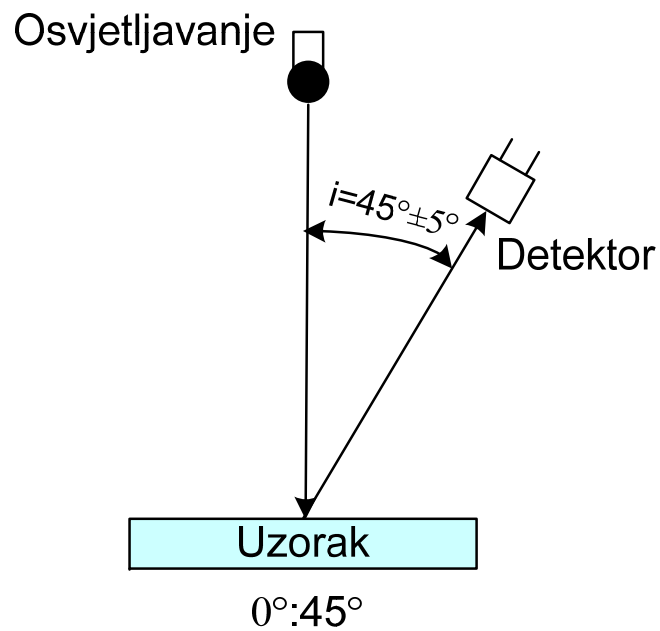
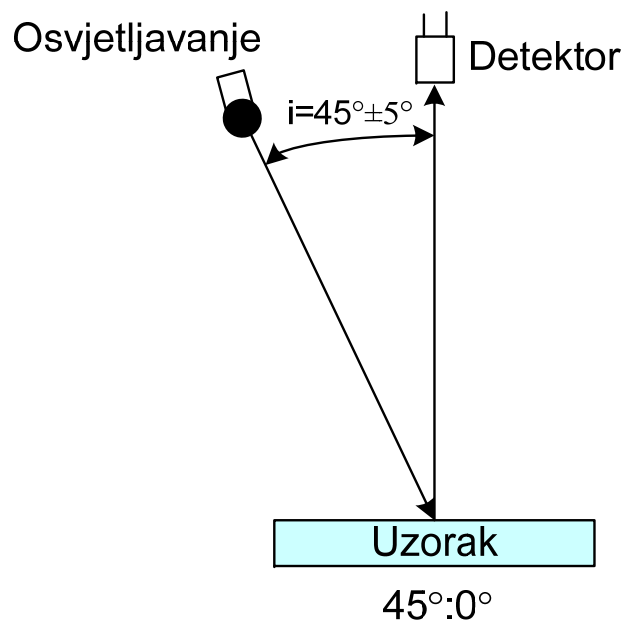
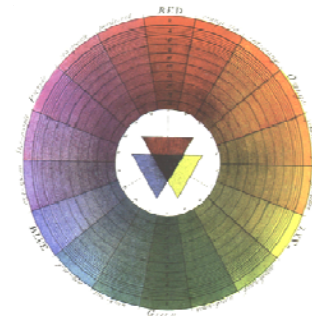
Većina uređaja za mjerenje boje koriti nekoliko od CIE standardiziranih geometrija.

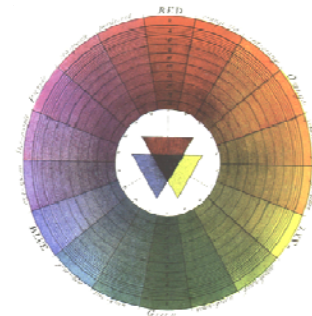
1931. godine CIE je definirala standardnog promatrača, standardne izvore svjetle, standardnu vrstu osvijetljenosti i standardnu geometriju osvijetljavanja i promatranja (mjerenja) uzoraka.

Izbor geometrije ja važan kod mjerenja sjajnih površina koje u usporedbi s površinama bez sjaja, ali s istim sadržajem koloranta djeluju zasićenije i tamnije. Kako rezultati mjerenja uzoraka moraju biti u korelaciji s vizualnom procjenom, odabirom geometrije osvijetljavanja i načina mjerenja uzoraka može se to i ostvariti



- CIE je 1931. pored standardnog promatrača, standardnih izvora svjetla i funkcija usaglašenog stimulusa boja odredila i geometrije mjerenja. Boja izgleda drugačije ovisno o uvjetima gledanja, tj. ovisno o kutu promatranja i kutu osvjetljavanja. Uvjeti mjerenja, tj. kut pod kojim zraka svjetlosti dolazi od izvora do objekta i kut pod kojim se reflektirano svjetlo prima pomoću detektora, naziva se optičkom geometrijom.
- Sa geometrijom $45^\circ:n$ ($45^\circ:0^\circ$), površina uzorka se osvjetljava pod kutom od 45 ± 5 stupnjeva u odnosu na okomicu, a svjetlo se detektira u okomitom smjeru. Sa geometrijom $n:45^\circ$ ($0^\circ:45^\circ$), površina uzorka se osvjetljava s okomice (0 ± 5), a svjetlo se detektira pod kutom od 45 ± 5 stupnjeva u odnosu na okomicu.
- Mjerena ili promatrana boja ovisi o tome koliko je reflektirane svjetlosti detektirano. Neki od instrumenata detektiraju skoro cijelu količinu svjetla i u tom slučaju je boja nezavisna od sjaja uzorka. S druge strane, instrumenti s $0^\circ/45^\circ$ geometrijom isključuju skoro svu spekularnu reflektiranu svjetlost i boja je usko vezana sa sjajem uzorka bijele pločice, koja u tom slučaju sudjeluje pri osvjetljavanju uzorka.





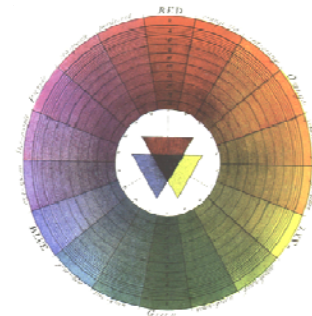
- Kod navedenih oznaka prvi brojčani podatak označava kut ili metodu osvjetljavanja uzoraka, a drugi brojčani podatak predstavlja kut ili metodu promatranja uzorka.

osvjetljavanje/promatranje

45/0 geometrija - uzorak se osvjetljava pod kutem od 45° , a promatra pod kutem od 90° (okomit položaj na površinu uzorka).

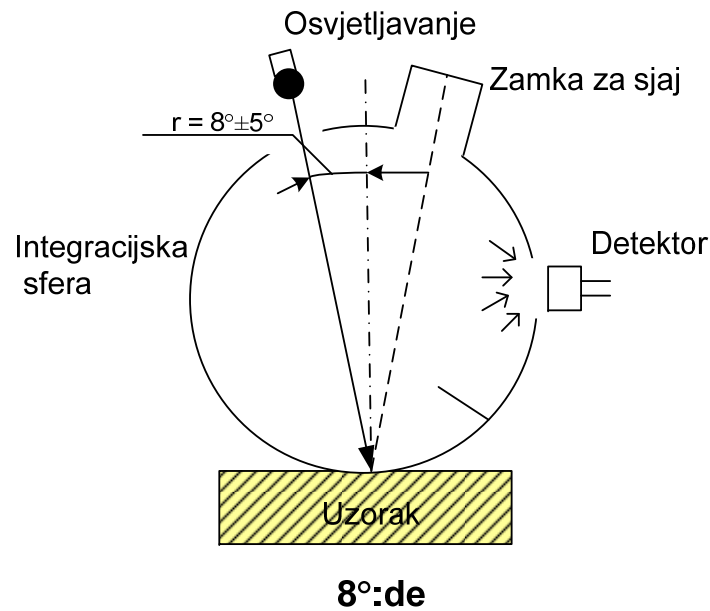
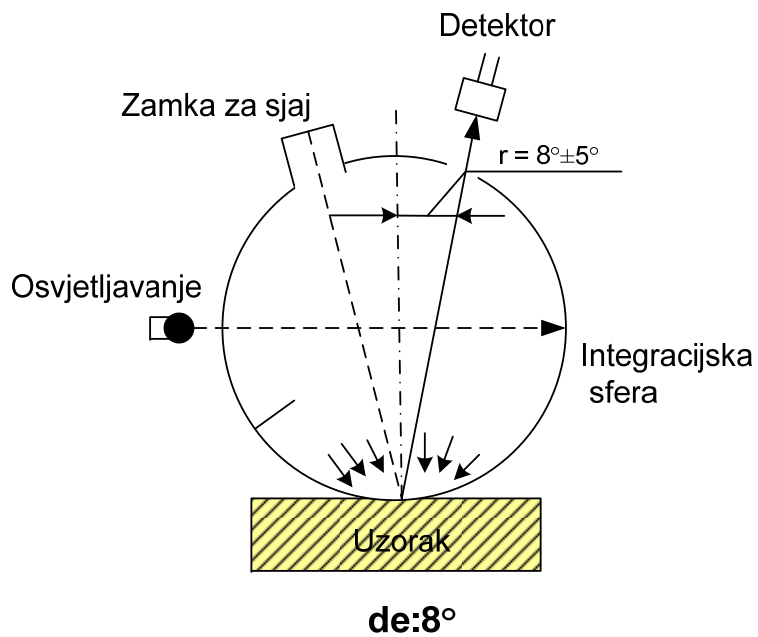
0/45 geometrija - uzorak se osvjetljava pod kutem od 90° , što predstavlja okomit položaj na površinu uzorka, a promatra se pod kutem od 45° .

Uređaji koji koriste geometriju 45/0 i 0/45 mjere samo na način da je komponenta sjaja isključena (*reflectance-specular excluded-RSEX*). Oni ustvari mjere izgled uzorka koji uključuje boju, sjaj i teksturu.

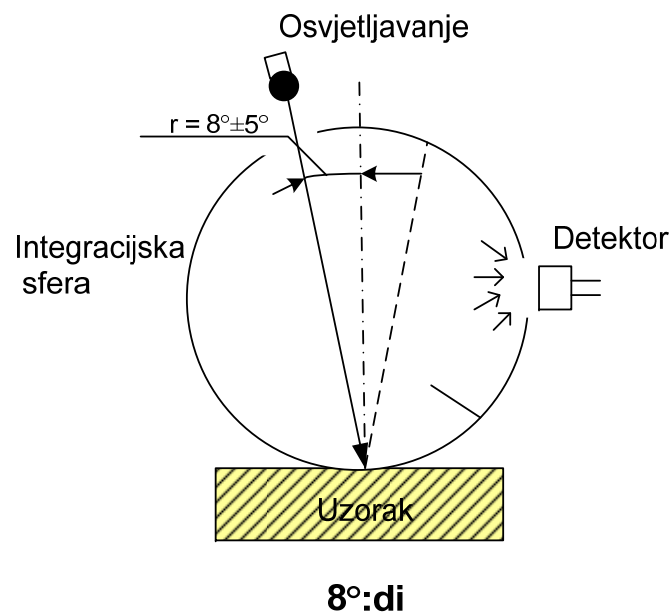
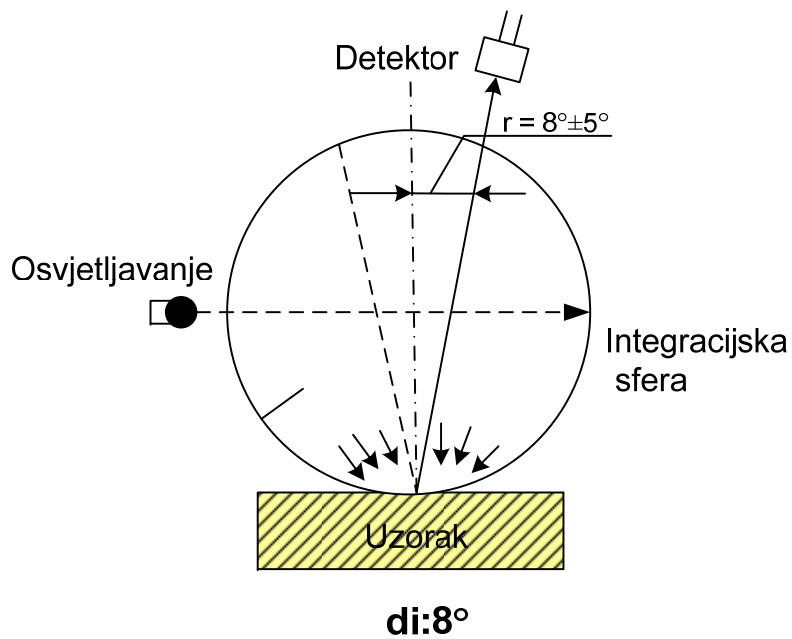


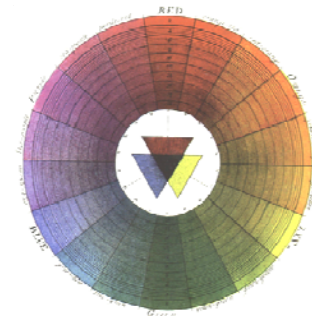
- Kod sustava koji koriste integracijsku sferu osvjetljavanje i promatranje uzorka je ravnomjerno iz svih smjerova. Uzorak se osvjetljava difuznim svjetlom koje se reflektira s unutrašnjosti integracijske sfere.
- Sfera je premazana s tvari koja visoko difuzno reflektira svjetlo (npr. barij sulfat, BaSO_4).
- Instrument s d:n ($d_e:8^\circ$), d:n ($d_i:8^\circ$) optičkom geometrijom, osvjetljava uzorak difuzno i detektira svjetlo pod kutom od 8° u odnosu na okomicu (8 ± 5 stupnjeva).
- Instrument s n:d ($8^\circ:d_e$), n:d ($8^\circ:d_i$) optičkom geometrijom osvjetljava uzorak pod kutom od 8° u odnosu na okomicu (8 ± 5 stupnjeva) i sakuplja svjetlo koje reflektiralo u svim smjerovima.

Difuzno osvjetljavanje uzorka i detektiranje pod kutem od 8°

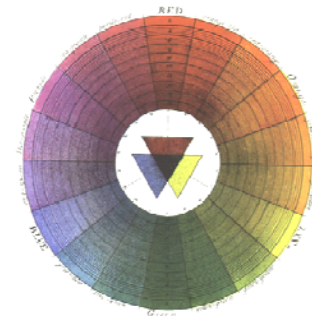


Osvjetljavanje pod kutom od 8° i sakupljanje svjetla koje se reflektiralo u svim smjerovima





- Tijekom mjerenja refleksije integracijska sfera sakuplja i detektira ulazno zračenje. Pregrade koje se nalaze u sferi spriječavaju direktne zrake s izvora zračenja da stignu do uzorka, odnosno do otvora na kojem se vrši mjerenje. Kod ovakvih uređaja pri mjerenju boje zrcalna refleksija može biti uključena ili isključena.
- U slučaju da želimo uključiti spekularnu komponentu reflektiranog svjetla u mjerenje, tada reflektirajuća površina s istom refleksijom kao i stijenka sfere moraju biti smještene u zrcalnoj slici mjernog otvora.
- Ako želimo isključiti komponentu sjaja, crna zamka se treba smjestiti na zrcalnu sliku mjernog otvora umjesto na reflektirajuću površinu.
- **Ako se želi izmjeriti doživljaj i razlika u doživljaju boje koje registrira naše oko, uzimajući u obzir efekt teksture, potrebno je mjeriti s isključenom komponentom sjaja.**
- **Ako nas zanima stvarna boja, tada mjerimo s uključenim sjajem.**



Isti uređaj mjeri refleksiju na dva različita načina:

- Refleksije kod koje je zrcalna komponenta **uključena**

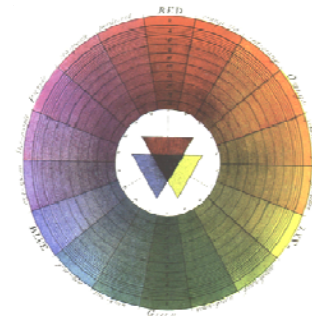
*(Reflectance specular included - **RSIN**)*

Uređaj mjeri totalnu refleksiju uključujući difuznu refleksiju koja određuje boju i zrcalnu refleksiju koja određuje sjaj.

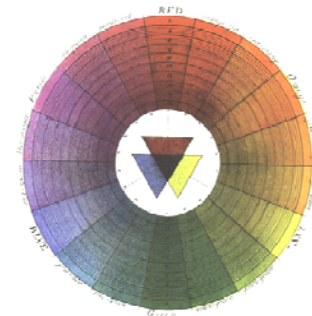
- Refleksije kod koje je zrcalna komponenta **isključena:**

*(Reflectance specular excluded-**RSEX**)*

Uređaj mjeri samo difuznu refleksiju.



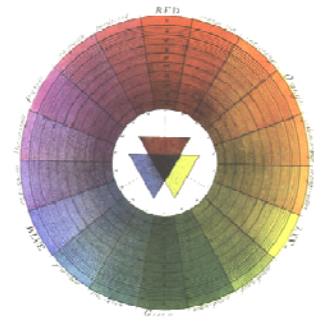
- Kada koristi RSEX način mjerenja, zrcalna komponenta reflektirajućeg svjetla s uzorka je isključena iz mjerenja. To se postiže otvaranjem dijela sa kojega bi se zrcalna komponenta reflektirala prema detektoru.
- Kod mjerenja uzoraka kod kojih se koristi RSIN način mjerenja na otvor koji je propuštao zrcalnu komponentu iz sfere dolazi bijela pločica. Njen položaj i boja omogućuju osvjetljavanje uzoraka i s tog mjesta. Ako je uzorak sjajan onda se zrcalna komponenta reflektira od bijele pločice prema detektoru.



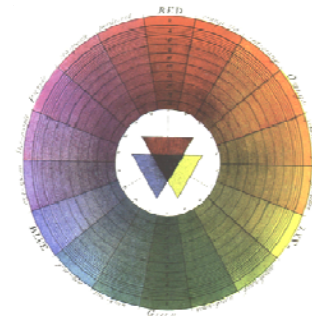
Primjena d/8 geometrije mjerenja:

- formuliranje recepture boja
- mjerenja kod kojih je izbor načina refleksije važan
- uspoređivanje uzoraka i standarda koji imaju različite strukture površine
- osiguranje preciznijeg mjerenja boje neprozirnih materijala

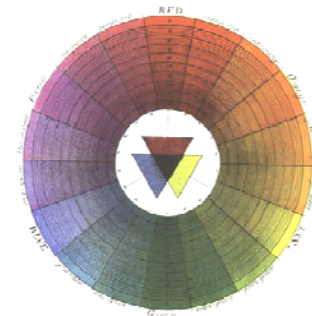
Spektralna kolorimetrija fluorescentnih boja



- primjena boja kod prometnih signala, reklama...
 - fluorescentni materijali reemitiraju apsorbirano svjetlo kod dužih valnih duljina
 - uzorak apsorbira kratke valne duljine (obično UV), a reemitira valne duljine vidljivog dijela spektra
- **Iznos emitiranog fluorescentnog zračenja ovisi o:**
 - spektralnim karakteristikama izvora svjetla kojim se osvjetljava uzorak
 - koncentraciji bojila ili pigmenta u uzorku



- Idealni izvor svjetla u instrumentu koji mjeri fluorescentne boje trebao bi imati iste spektralne karakteristike kao i okolina kod koje je osvjetljavao ispitivani uzorak (boja)
Praktična mjerenja nemaju tu mogućnost.
- Kod mjerenja koriste se različite tehnike,
npr. koristi se spektralni fotometar s dva disperzna sustava zbog odvajanja fluorescentnog i nefluorescentnog dijela spektra



MJERENJE SJAJA

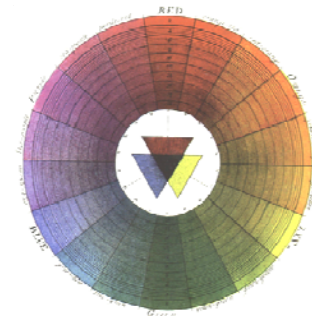
- Moguće je podijeliti obilježja optičkih svojstava materijala u najmanje 4 grupe:

BOJA

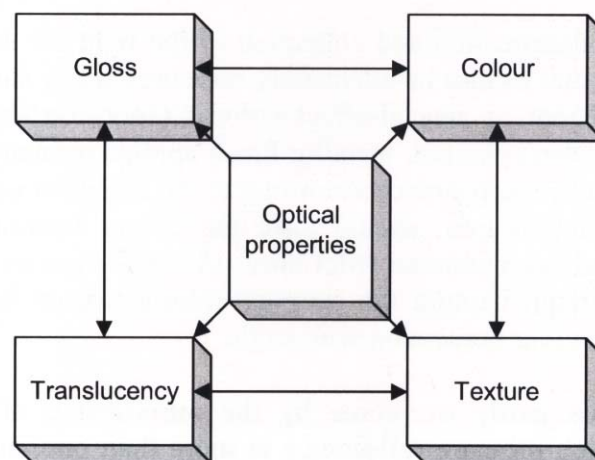
SJAJ

PROZIRNOST

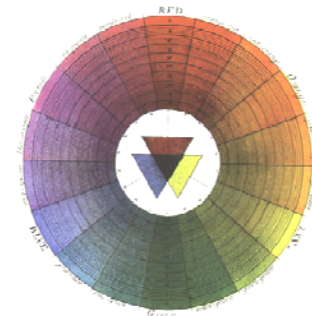
TEKSTURA POVRŠINE



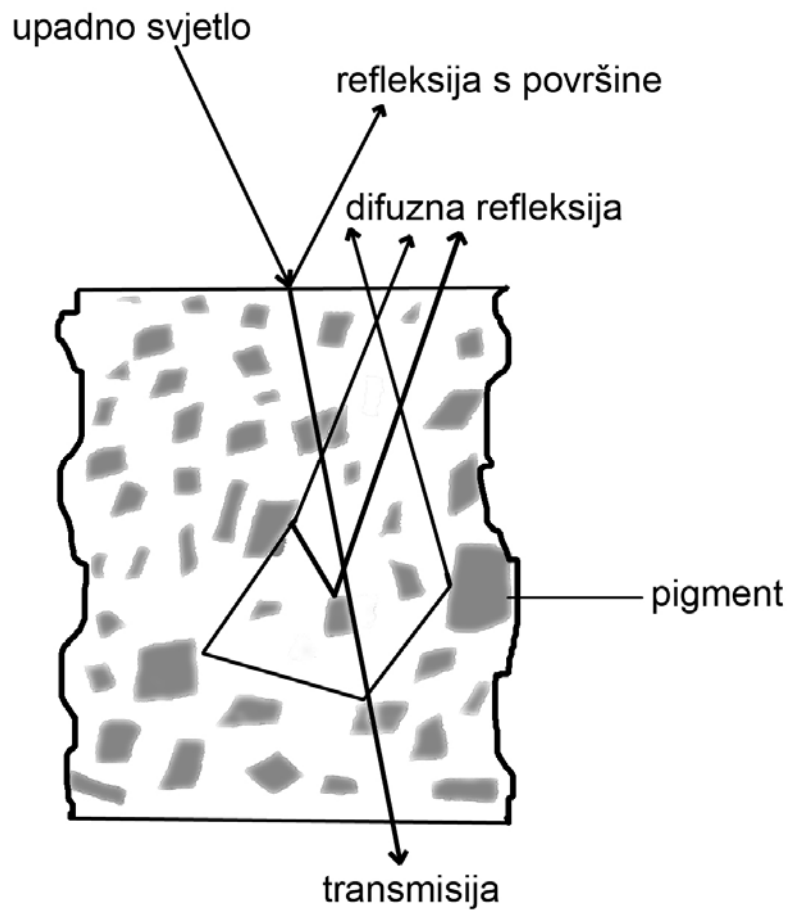
4 kategorije optičkih svojstava materijala

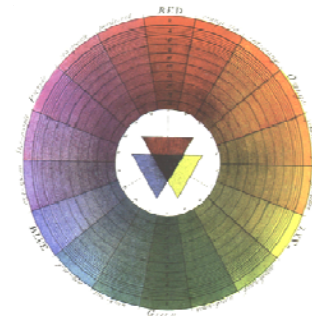


- Treba zapaziti da one nisu nezavisne i da treba biti veza između boje i sjaja, i boje i prozirnosti, itd.



Mikroskopski pogled upadanja svjetla na plastičnu kutiju



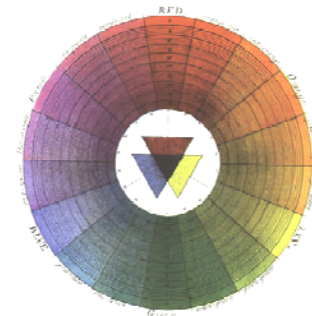


Svjetlo koje se direktno reflektira od površine je sjajna komponenta i ima spektralni sastav, prema tome i boju upadne svjetlosti.

Svjetlo koje ulazi u tijelo materijala lomi se na rubovima i prolazi seriju interakcija sa česticama pigmenata, na svakih nekoliko pojavljuje se selektivna apsorpcija valnih dužina.

Svjetlo koje konačno stigne do površine raspršuje se i nosi boju materijala.

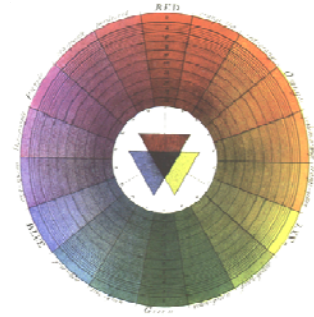
Prema tome komponenta sjaja može biti vidljiva samo iz jednog kuta ako je površina glatka ili iz malog niza kuteva ako je površina teksturirana, dok je boja podloge vidljiva iz svih kuteva



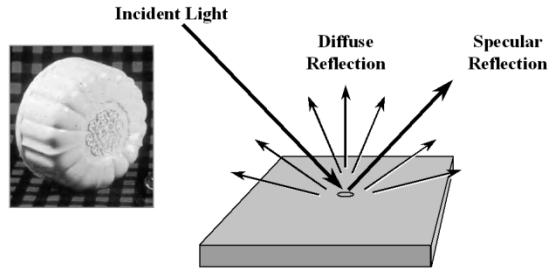
Skoro svi objekti mogu se svrstati u jednu od **4 kategorija**, ovisno o tome u kakvoj su interakciji sa izvorom svjetla. Svrstavanje objekta u jednu od kategorija važan je ključ kako bi on trebao biti izmjeren.

Te kategorije su:

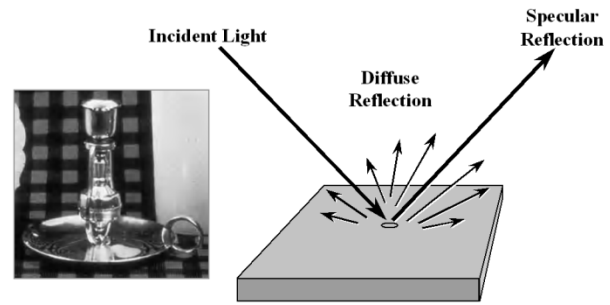
- neprozirni nemetali
- neprozirni metali
- transparentni materijali
- napola prozirni materijali



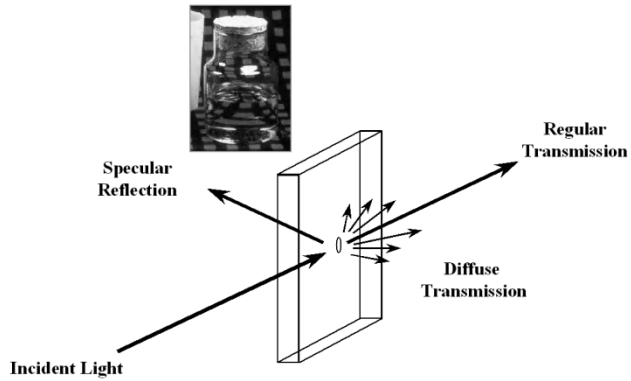
Opaque Non-Metal



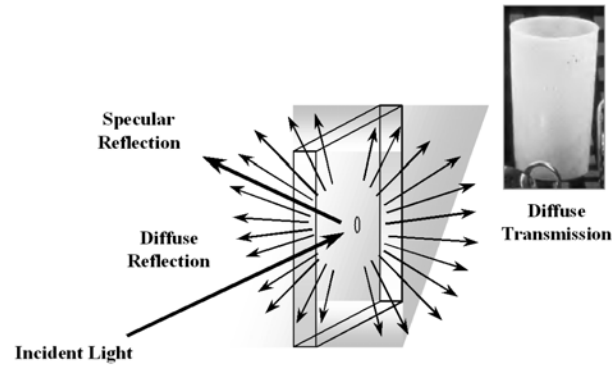
Metal

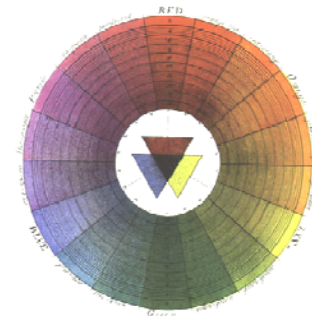


Transparent Material



Translucent Material

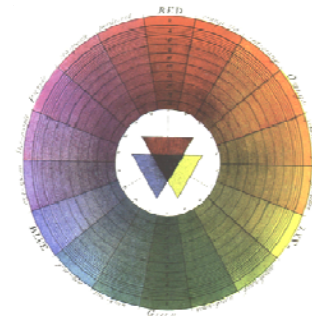




- Glatki metalni uzorci trebali bi biti mjereni sa sfernim instrumentom u modu sa uključenim sjajem (eng.reflectance-specular included (RSIN) mode).

Ako je površina metala grublja, $45^{\circ}/0^{\circ}$ se može upotrijebiti.

- Općenito, obojene metalne površine trebale bi biti mjerene u RSIN modu. Ako uzorak nije sjajni metal, dali koristiti RSIN ili RSEX (eng.reflectance- specular excluded) mode ovisi o tome dali želimo dobiti od naših mjerenja **informaciju o boji kao stvarnom fizikalnom svojstvu** ili želimo dobiti **ukupni doživljaj boje** onako kako ga mi ljudi vidimo.



Sjajna, glatka
površina

Teksturirana
površina

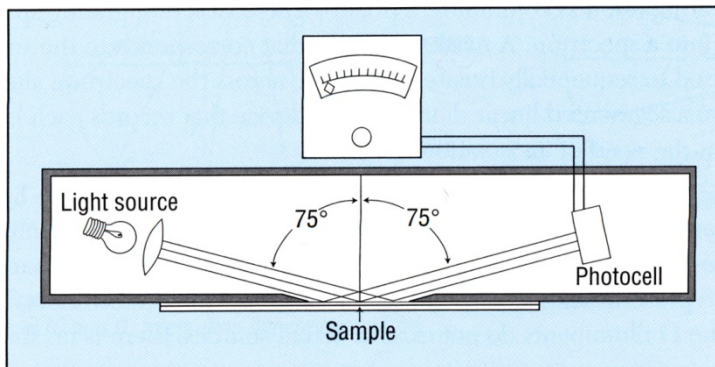
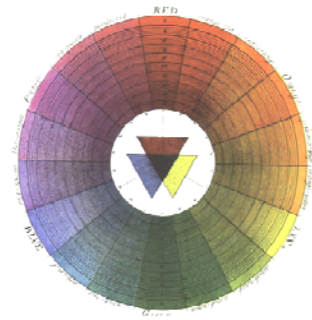


Mat površina

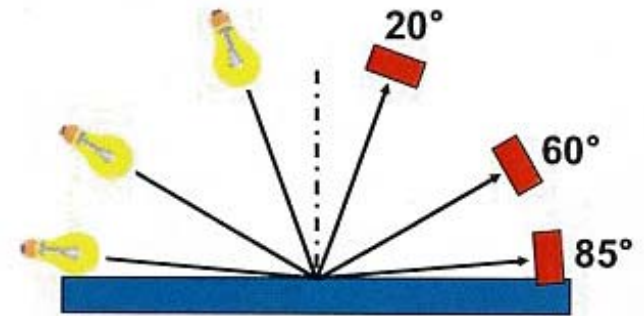


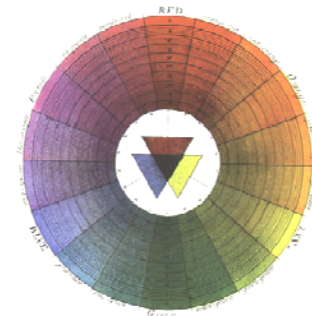
- Na prošloj slici vidjeli smo **istu boju** na uzorcima koji se **razlikuju samo u teksturi** površine. Boja je ista na sva tri uzorka, ali je *tekstura ta koja čini da oko boju te površine doživljava drugačijom*.
- Sjajne *glatke* površine doimaju se *tamnije i zasićenije* nego mat i teksturirane površine.
- Ako su sve tri površine mjerene sa sfernim instrumentom u RSEX modu, različiti doživljaj bi dobili sa mjernim instrumentom. Ako bi u drugom slučaju, površine bile izmjerene u RSIN modu, mjerenjem cjelokupnog svjetla koje se reflektira sa površine, izmjerene vrijednosti bi pokazale da se radi o istoj boji na sve tri površine.
- **Dakle, ako želimo da naš instrument izmjeri doživljaj i razliku u doživljaju koje registrira oko, uzimajući u obzir efekt teksture, potrebno je mjeriti u RSEX modu. Ako nas zanima stvarna boja tada bi trebalo koristiti RSIN mode.**

Glossmeter (uređaj za mjerenje sjaja)



Principle of the glossmeter.

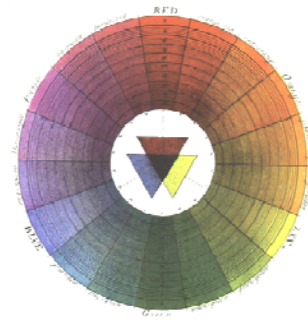




Tablica vrijednosti za nivo sjaja boje

MPI Standard		Gloss at 60 degrees		Sheen at 85 degrees
Gloss Level 1	a traditional matte finish - flat	maximum 5 units	and	maximum 10 units
Gloss Level 2	a high side sheen flat - a 'velvet-like' finish	maximum 10 units	and	10-35 units
Gloss Level 3	a traditional 'eggshell-like' finish	10-25 units	and	10-35 units
Gloss Level 4	a 'satin-like' finish	20-35 units	and	minimum 35 units
Gloss Level 5	a traditional semi-gloss	35-70 units		
Gloss Level 6	a traditional gloss	70-85 units		
Gloss Level 7	a high gloss	more than 85 units		

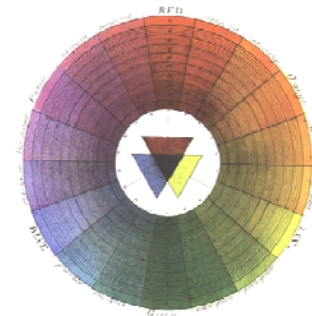
IZBOR UREĐAJA ZA MJERENJE BOJE



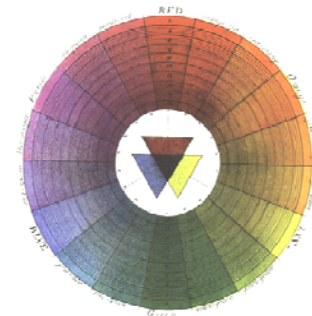
Pri izboru uređaja potrebno je razmotriti sljedeće zahtjeve:

- Koji se spektralni podaci zahtijevaju mjerenjem;
- Uobičajeno je da su uređaji za mjerenje konstruirani za jednu vrstu CIE standardne rasvjete i uvjete promatranja;
- Najčešće CIE rasvjeta C ili D65 i 1931. standardni promatrač;
- Većina mjerenja zahtjeva spektralne podatke;
- Spektralni podaci osiguravaju informaciju o sastavu sirovina, ukazuju na problem pojave metemerije, mogućnost računanja kolorimetrijskih podataka za stvarnu raspodjelu energije zračenja spektra za svaki primjenjivi izvor svjetla;
- Na taj način se postiže bolja korelacija između instrumentalnog i vizualnog mjerenja;
- Treba odlučiti o izboru geometrije mjerenja;
- Procjena preciznosti i točnosti;

PRECIZNOST I TOČNOST MJERENJA



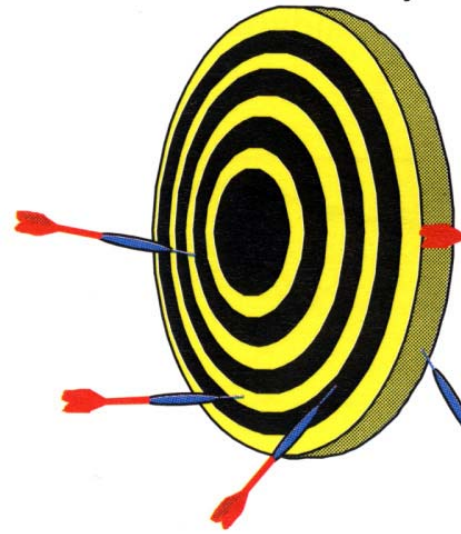
- Spektralnifotometri rezultate mjerenja prikazuju kao numerički izraz faktora spektralne refleksije i transmisije kod pojedine CIE geometrije;
- Kolorimetri i premošteni spektralnifotometri konstruirani su tako da mjere kolorimetrijske karakteristike materijala, a rezultate prikazuju slično navedenim;
- Spektoradiometar, fotometar, kolorimetar, premošteni spektralnifotometar konstruirani su za mjerenje svjetla oslanjajući se na rezultate mjerenja izražene kao numerički sustav koji izražava spektralne gustoće usmjerenog zračenja i ozračenosti;
- Svi ti brojni sustavi su internacionalno definirani;
- Razvijene su metodologije za prijenos vrijednosti s minimumom nesigurnosti kod mjerenja;



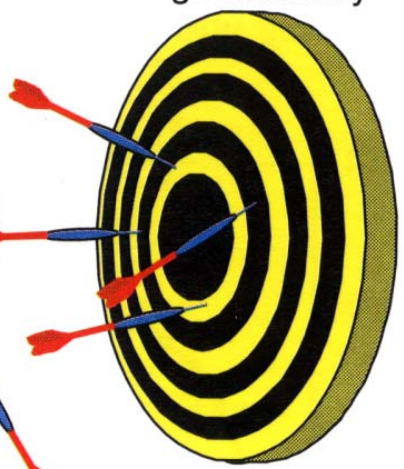
- Nesigurnost mjerenja se može pojaviti u nedostatku preciznosti i točnosti;
- Nesigurnost mjerenja može se podijeliti u dvije kategorije (preciznost i točnost);
- Bacanje strelica u metu uobičajen je način objašnjavanja preciznosti i točnosti;
- Disperzija strelica oko mete opisuje preciznost;
- Što je grupiranje strelica izvedeno na manjoj površini preciznost je poboljšana;
- Prosjek grupiranja uspoređen s centrom mete opisuje točnost;
- Što je grupiranje bliže centru mete bolja je točnost;
- Često je moguće jednostavnije poboljšati točnost nego preciznost;
- Ciljana podešavanja mogu korigirati točnost.



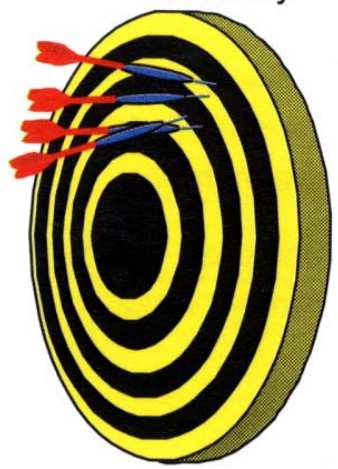
Low precision
Low accuracy



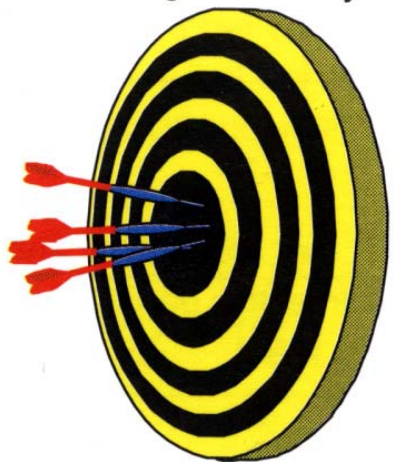
Low precision
High accuracy



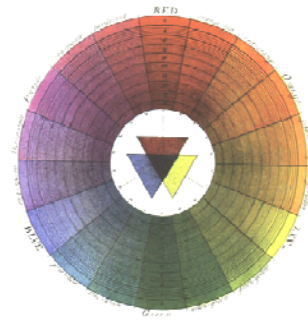
High precision
Low accuracy



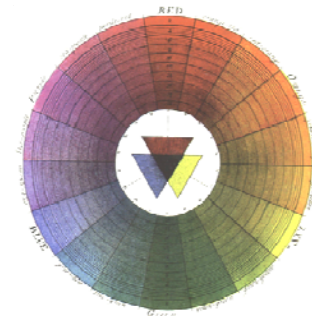
High precision
High accuracy



OCJENJIVANJE TOČNOSTI

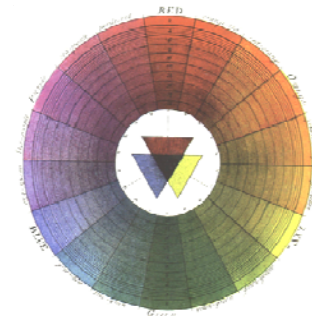


- Točno mjerenje sadrži minimum sistematske greške;
- Postoji mnogo izvora sistematskih grešaka koje uzrokuju nedostatak točnosti;
- Za spektralnefotometre to uključuje greške fotometrijskog brojnog sustava(skale), greške valnih duljina, zalutalo svjetlo, polarizacija i geometrijske greške;
- Moguć je nastanak velikih kolorimetrijskih grešaka;
- Pojava tri sistematske spektrofotometrijske greške:
 - Greška referentnog bijelog standarda;
 - Greška referentnog crnog standarda;
 - Greška valnih duljina;



- Greška *referentnog bijelog* standarda se pojavljuje kod njegove duge vremenske primjene;
- Greška kod *referentnog crnog* standarda se pojavljuje kada svjetlo okolnog prostora ulazi u instrument;
- Promjene nastaju pri mjerenju određenih veličina kod upotrebe «crne zamke» s povećanim faktorom refleksije uzrokovanom godinama, upotrebom i promjenama u elektronici (prijelaz analognog signala u digitalni);
- Greške valnih duljina mogu se pojaviti kod skenirajućih instrumenata kod kojih je mehanički dio istrošen;

PROCJENA PRECIZNOST MJERENJA



- **Ponovljivost**

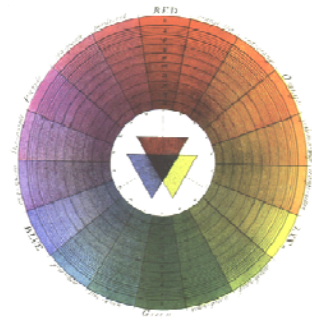
Usko slaganje između rezultata pri uzastopnom mjerenju istog testa uzoraka ili testa uzoraka uzetih nasumce iz homogene skupine, u određenom laboratoriju, kod iste metode mjerenja, operatera i mjernog instrumenta s ponavljanjem nakon određenog vremenskog perioda.

- **Reproducibilnost**

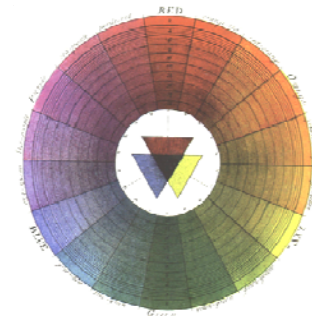
Blisko podudaranje između rezultata uzastopnih mjerenja istog uzorka ili testa uzoraka uzetih nasumce iz homogene skupine, ali kod promjenjivih uvjeta, promjenom operatera, instrumenta kojim se vrši mjerenje, laboratorija i vremena.

Promjene uvjeta moraju biti određene (ASTME 284).

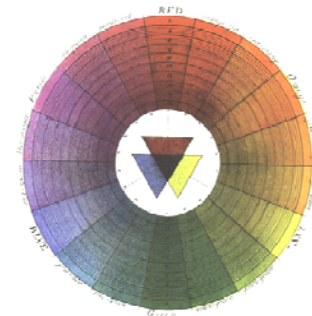
Colour Management System - sustav upravljanja bojom



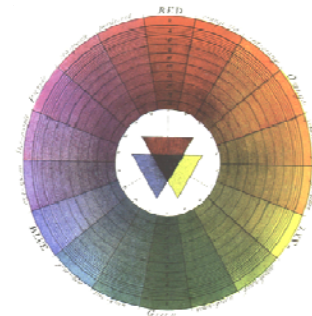
- Svaki uređaj, od skenera do printera, ima svoje sposobnosti i ograničenja prikazivanja boja.
- **Ne postoje** dva uređaja ili procesa s potpuno istovjetnom sposobnošću prikaza boje, tj. gamutom.
- Kako bi se u tom lancu rada s bojom što je moguće točnije zadržale karakteristike originalne slike, koristi se sustav u kojemu se pokušavaju uskladiti boje od uređaja do uređaja.



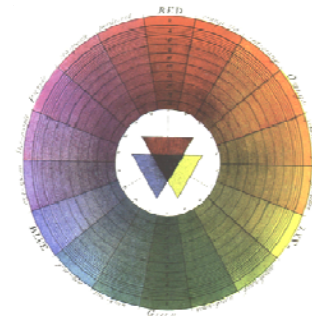
- Kako bismo opisali boju koju vidimo i s kojom radimo, koristimo modele za prikaz boje: RGB, CMYK, CIELAB, CIEXYZ.
- Putem numeričkih vrijednosti modeli za prikaz boje na različiti način opisuju i klasificiraju boju.
- Niti jedan uređaj nije sposoban prikazati raspon boja koji vidi ljudsko oko i ne postoje dva uređaja koja imaju isti prostor boja.
- Kada se slika prenosi od uređaja do uređaja, boje slike će se promijeniti jer svaki uređaj prikazuje RGB ili CMYK vrijednosti u ovisnosti o svom prostoru boja.
- Printer radi u CMYK prostoru boja, dok monitor radi u RGB prostoru boja i njihovi gamuti su različiti.



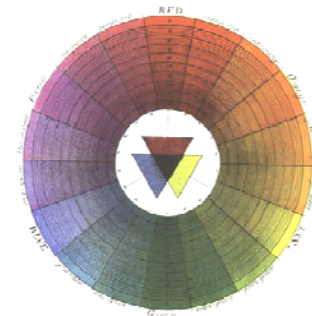
- Neke boje koje su prikazane na monitoru printer ne može proizvesti, a neke boje koje printer može ispisati monitor ne može prikazati.
- Nemoguće je savršeno uskladiti sve boje na različitim uređajima no korištenjem **Color Managementa** one mogu izgledati približno slično.



- Za razliku od RGB i CMYK kolornih sustava, **CIELAB** i **CIEXYZ** su modeli za prikaz boja neovisni o uređaju koji opisuje apsolutnu boju pomoću matematičkog modela.
- Bazirani su na ljudskoj precepciji boje i budući da više opisuju kako boja izgleda nego koji je udjel određenog koloranta potreban uređaju da prikaže boju, smatraju se neovisnima o uređaju.
- Oni definiraju boju na bazi precepcije standardnog promatrača, a ne na mogućnostima uređaja.
- Prostori boja (RGB, CMYK) koji su ovisni o uređaju na kojem se primjenjuju, orijentirani su na fizičke komponente i karakteristike samog uređaja.

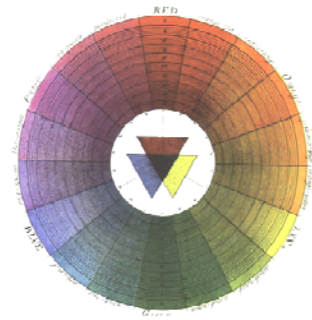


- Većina **Color Management** sustava kao **referentni** prostor boja koristi **CIELAB** prostor boja, koji je prihvaćen kao standard za mjerenje i uspoređivanje boja u grafičkoj industriji.
- Uloga referentnog prostora boja - konverzija boja iz prostora ovisnog o uređaju u CIELAB prostor boja.

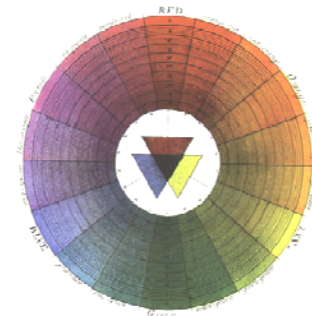


- **Colour Management** sustav koristi profile da bi razumio što RGB ili CMYK vrijednosti znače svakom uređaju.
- **Profili** se dijele na:
 - **generične** koje je kreirao sam proizvođač za karakteristične grupe istih uređaja u kontroliranim uvjetima, i na
 - **korisničke** koji se kreiraju za individualnu upotrebu pomoću standardiziranih testova, mjernih instrumenata, npr. spektrofotometra, te pomoću aplikacija za izradu profila i oni su **točniji i precizniji** od generičnih.
- Profil dodjeljuje apsolutnu vrijednost svakoj boji koju uređaj može proizvesti.
- Profil je veza između uređaja i referentnog prostora boja, tj. veza između strojnog i ljudskog viđenja boja.

Komponente Color Management sustava



- Referentni prostor boja (**PCS** – Profile Connection space)
- **ICC profili**
- Modul za upravljanje bojama (**CMM** – Color Management Module)
- Modeli za smještanje i usklađivanje boja (**Rendering intents**)

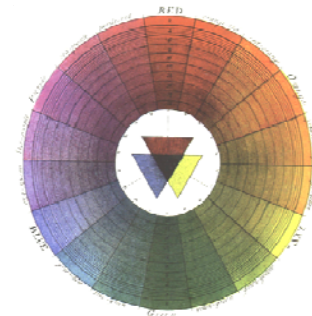


PCS – Profile Connection space

Omogućava da boja dobije jednoznačno numeričko značenje u CIE XYZ ili CIE LAB prostoru boja, koje ne ovisi o različitim uređajima koji se koriste za reprodukciju boja, već definira boju točno onako kako je vidimo.

Kao referentni prostor boja Color Management najčešće koristi CIE LAB prostor boja. CIE LAB prostor boja je neovisan o uređaju, te definira boju na bazi percepcije standardnog promatrača, a ne na mogućnostima uređaja (monitor, skener, printer i sl.) Referentni prostor boje predstavlja vezu između različitih uređaja u reprodukcijском procesu i omogućuje pretvorbu iz prostora boja ovisnih o uređaju (RGB, CMYK) u CIE LAB prostor boja - prostor boja neovisan o uređajima.

Modul za upravljanje bojama (CMM)



Modul za upravljanje bojama –CMM je softver koji obavlja sve kalkulacije potrebne za pretvorbu RGB ili CMYK vrijednosti boja.

Konvertiranje boja radi koristeći CIE LAB podatke o boji koji su sadržani u profilima. CMM osigurava metodu koju Color Management koristi za pretvorbu numeričkih vrijednosti boja iz izvornog prostora boja u referentni prostor boja i iz PCS-a na bili koji izlazni uređaj.

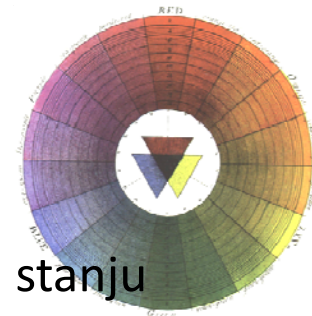
Kod preslikavanja boja iz jednog prostora u drugi (npr. iz RGB u CIE LAB) nastoji se doživljaj boja što manje promijeniti. Kod preslikavanja CMM se osnovno brine o bojama izvornog prostora koje se u ciljanom prostoru boja ne mogu reproducirati. CMM radi na principu interpolacije tj. proračuna nepoznate međuvrijednosti boja pomoću dvije poznate.

ICC PROFILI



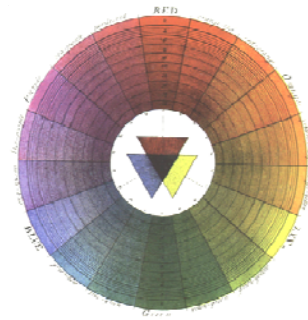
- Profil je veza između uređaja (RGB,CMYK) i referentnog prostora boja. Profili uređaja mogu biti generični, nabavljeni zajedno sa sustavom za upravljanjem bojama CMS, kao sustavni dio drivera koji dolazi zajedno s uređajem, ali pouzdaniji je profil onaj koji izradimo sami pomoću odgovarajućih spektrofotometrijskih mjerenja i programa za proračun profila.

Modul CMM koristi se ovim profilima kako bi transformirao boje prema modelu jednog uređaja u neovisni referentni prostor boja, a nakon toga opet u ovisni model jednog drugog uređaja. Prvi profil naziva se **ulazni ili izvorni profil**, dok je drugi **izlazni ili ciljani profil ICC**.



- Profili uređaja karakteriziraju prostor boja u jednom određenom stanju uređaja. Uređaji mogu, obzirom na podešenost (baždarenje, kalibracija), imati više profila. Profil monitora mijenja se ako se promijeni kontrast, profil printera mijenja se
- promjenom vrste papira ili tiskarske boje. To podrazumijeva pripremanje novih profila uređaja uvijek kada se promijeni njihovo stanje, a s druge strane precizno baždarenje uređaja i standardizaciju tehnoloških procesa.

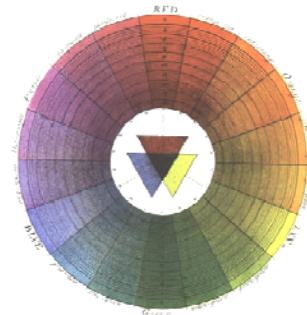
Profile možemo podijeliti u tri kategorije:



- Ulazni profili (za uređaje kao što su skeneri i digitalne kamere)
- Sustavni profili (profili CRT i LCD monitora koji simuliraju vrijednosti boja na ekranu (RGB))
- Izlazni profili (printeri, tisak)

RENDERING INTENTS

- način smještaja i usklađivanja boja



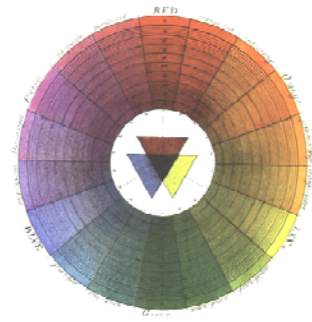
Modul za upravljanje bojama CMM preslikava boje iz jednog prostora boja u drugi, obzirom na odabrani način smještaja i usklađivanja boja (rendering intent).

Modul određuje kako će se reproducirati boje koje se ne mogu naći u ciljanom prostoru.

Svaki uređaj koji se koristi za reprodukciju boja ima određeni opseg boja koji može reproducirati (GAMUT). Ulazni uređaji obično imaju veći gamut od izlaznih uređaja.

Boje sa originala koje se ne mogu reproducirati na određenom izlaznom uređaju smatraju se izvan gamuta i potrebno ih je zamjeniti nekim drugim bojama. Ta metoda se naziva **mapiranje gamuta**.

Mapiranjem gamuta boje se mogu uskladiti na četiri načina:



CILJ RENDERIRANJA	PRIMJENA
Perceptualno usklađivanje	Fotografija
Relativno kolorimetrijsko usklađivanje	Logotipi
Apsolutno kolorimetrijsko usklađivanje	Simulacija boje papira
Saturacijsko usklađivanje	Grafikoni i dijagrami



Figure 26.6 Rendering intents. The image at the top was converted from the ProPhoto RGB colour space to the Euroscale coated V2 CMYK colour space using the perceptual, relative colorimetric and absolute colorimetric rendering intents (left to right, bottom row). The differences in the results are subtle. On close examination, it can be seen that the perceptual intent has caused an overall loss of lightness and saturation, as would be expected from gamut compression. The relative colorimetric intent has produced a slightly better result, by maintaining the appearance of in-gamut colours. The absolute colorimetric intent has maintained lightness and saturation in many colours, but there is a noticeable difference in the hue of the light region in the upper middle of the image, as a result of the medium white point not being mapped to the PCS white point.

'Oaxaca' image © iStockphoto.com/Jeff Morse