

OSNOVE O BOJI

3. dio

Kontrola boja - od percepcije do mjerenja

dr.sc. Maja Strgar Kurečić

SADRŽAJ PREDAVANJA



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



Kolorimetrija i mjerenje boja

“Mjerenje boja” - oksimoron!

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

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



Kolorimetrija i mjerenje boja

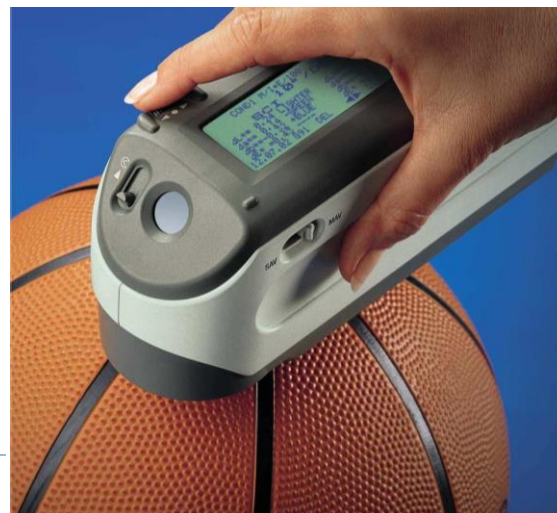
Zašto je uopće bitno mjerenje boja?

- potreba za objektivnim uspoređivanjem boja,
- kontrola boja na reprodukciji,
- određivanje tolerancija za reprodukciju pojedinih boja u tisku,
- kontrola pojedinih faza u reproduksijskom procesu,
- kalibracija ulaznih i izlaznih uređaja, i dr.



Mjerni uređaji za kontrolu kvalitete reprodukcije

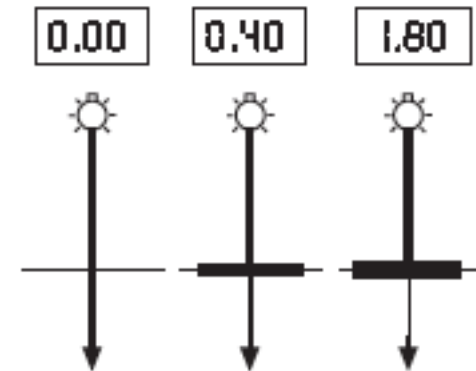
1. Densitometar
2. Kolorimetar
3. Spektrofotometar



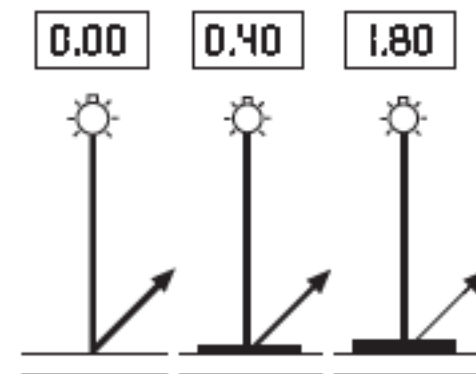
Denzitometar

- Uređaj koji mjeri faktor refleksije ili transmisije, odnosno omjer između upadnog svjetla usmjerenog na uzorak i reflektiranog ili propuštenog svjetla koji dođe do fotoćelije u uređaju.
- Dvije vrste:
 1. transmisijski denzitometar
 2. refleksi denzitometar

Transmission densitometer



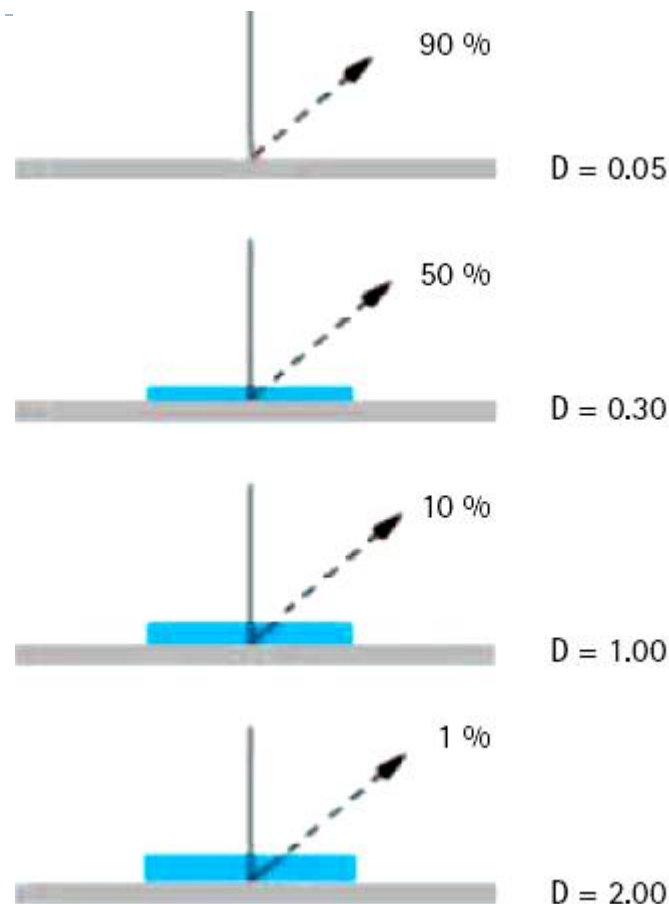
Reflection densitometer



Denzitometar

- Na osnovi dobivenih informacija, denzitometar izračunava **optičku gustoću (D)**, izraženu u obliku logaritamskih vrijednosti.
- Optička gustoća matematički se definira kao logaritamska vrijednost opaciteta (neprozirnosti). Dakle, optička gustoća je stupanj do kojeg materijali apsorbiraju svjetlo. Što je više svjetla apsorbirano, tj. što je manja refleksija ili transparentcija površine, optička gustoća je veća.
- *Dakle, denzitometar mjeri apsorbirani dio svjetla!*

Logaritamske jedinice se koriste zato što bolje odgovaraju razlikama u tonovima kako ih vidi ljudsko oko. (Konstanta klina izražena u log jedinicama otprilike odgovara vizualnoj konstanti!)



Neki važni pojmovi i formule

$$R = \frac{I_r}{I_o}$$

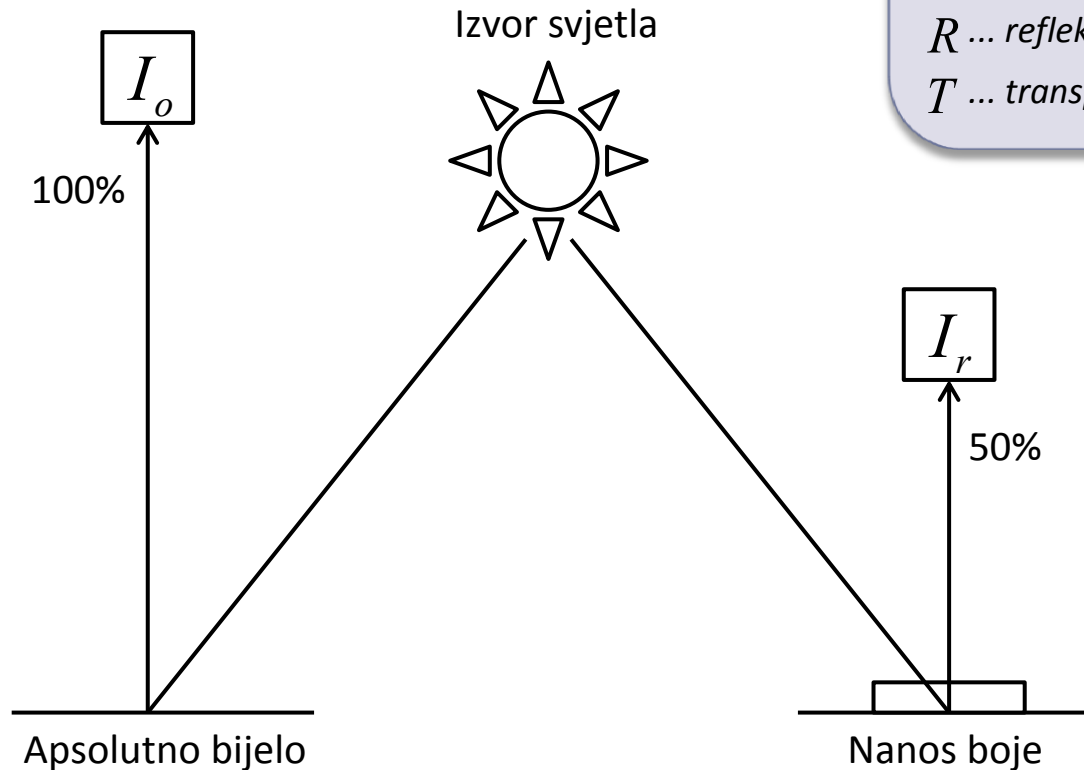
$$T = \frac{I_t}{I_o}$$

$$O = \frac{1}{R}$$

$$D = \log O$$

$$D = \log \frac{1}{R}$$

$$D = \log \frac{1}{T}$$



I_o ... intenzitet upadnog svjetla

I_r ... intenzitet reflektiranog svjetla

D ... optička gustoća

O ... opacitet

R ... refleksija

T ... transparentija

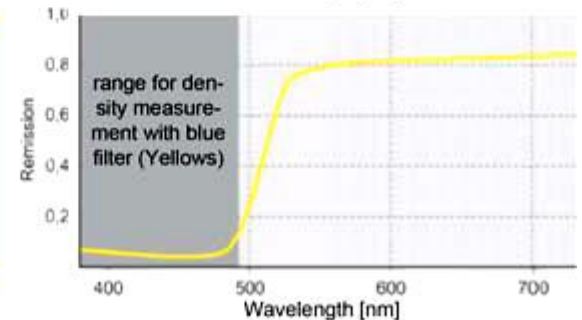
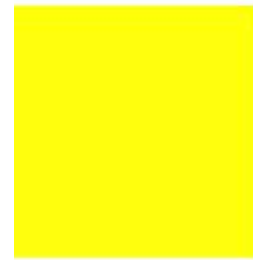
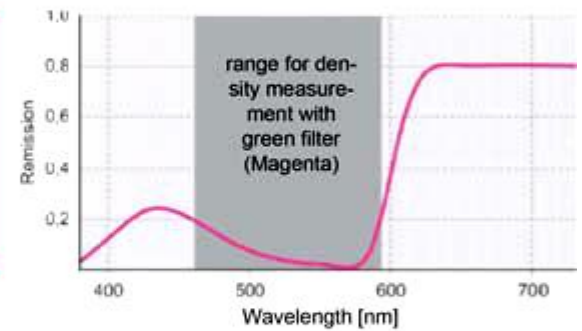
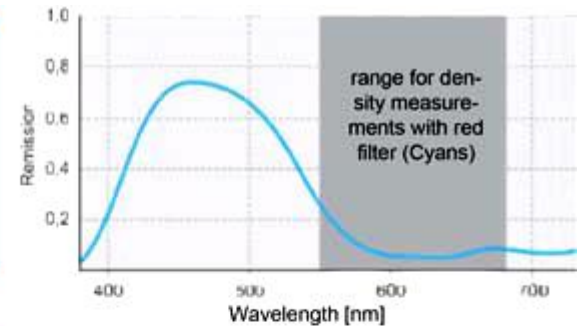
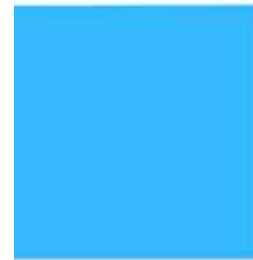
Primjer:

Kolika je gustoća boje
ako je refleksija 50%?

$$D = \log \frac{1}{0.5} = 0.30$$

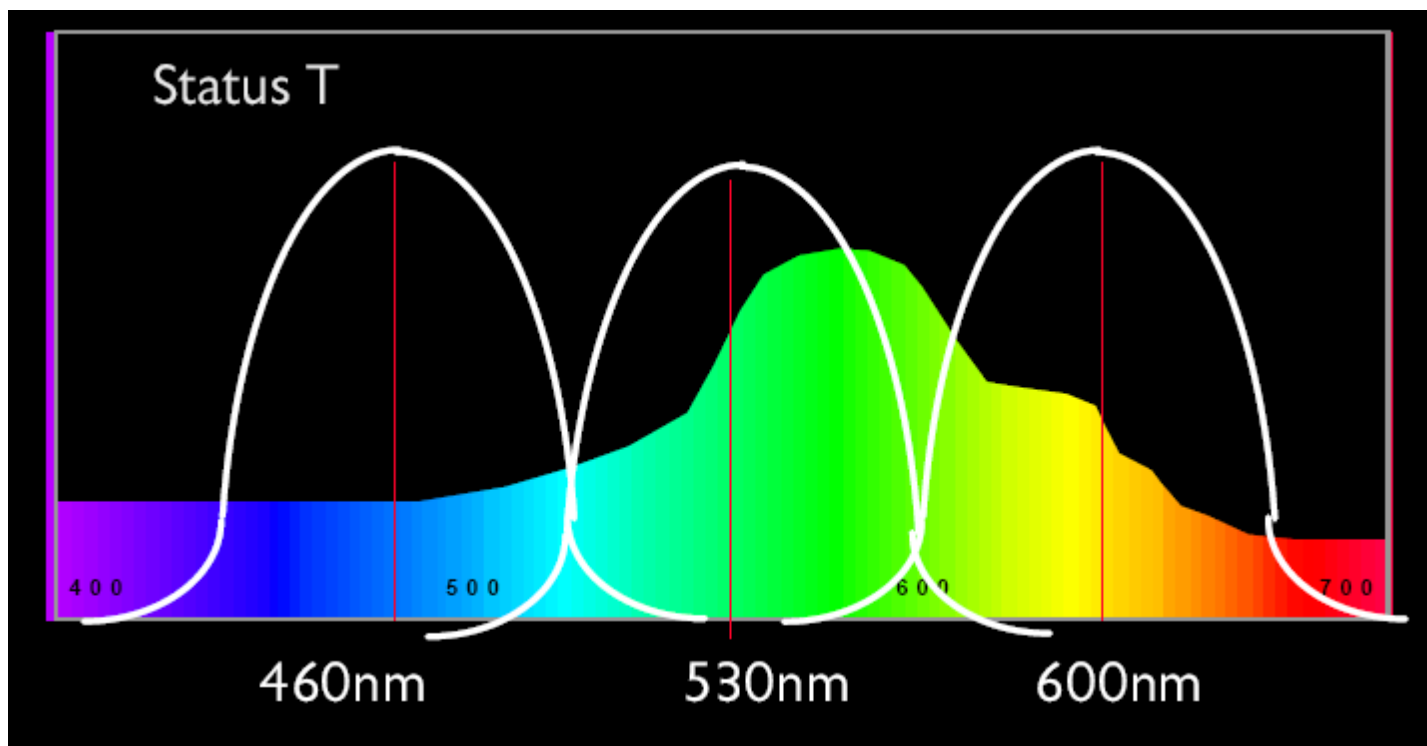
Denzitometar

- Za razliku od spektrofotometara, denzitometri nemaju definirani izvor svjetla.
- Pri mjerenju boja koristi filtere (definiranih karakteristika) komplementarne bojama čije se gustoće mjere. Koriste se filteri boja aditivne sinteze.



Denzitometar

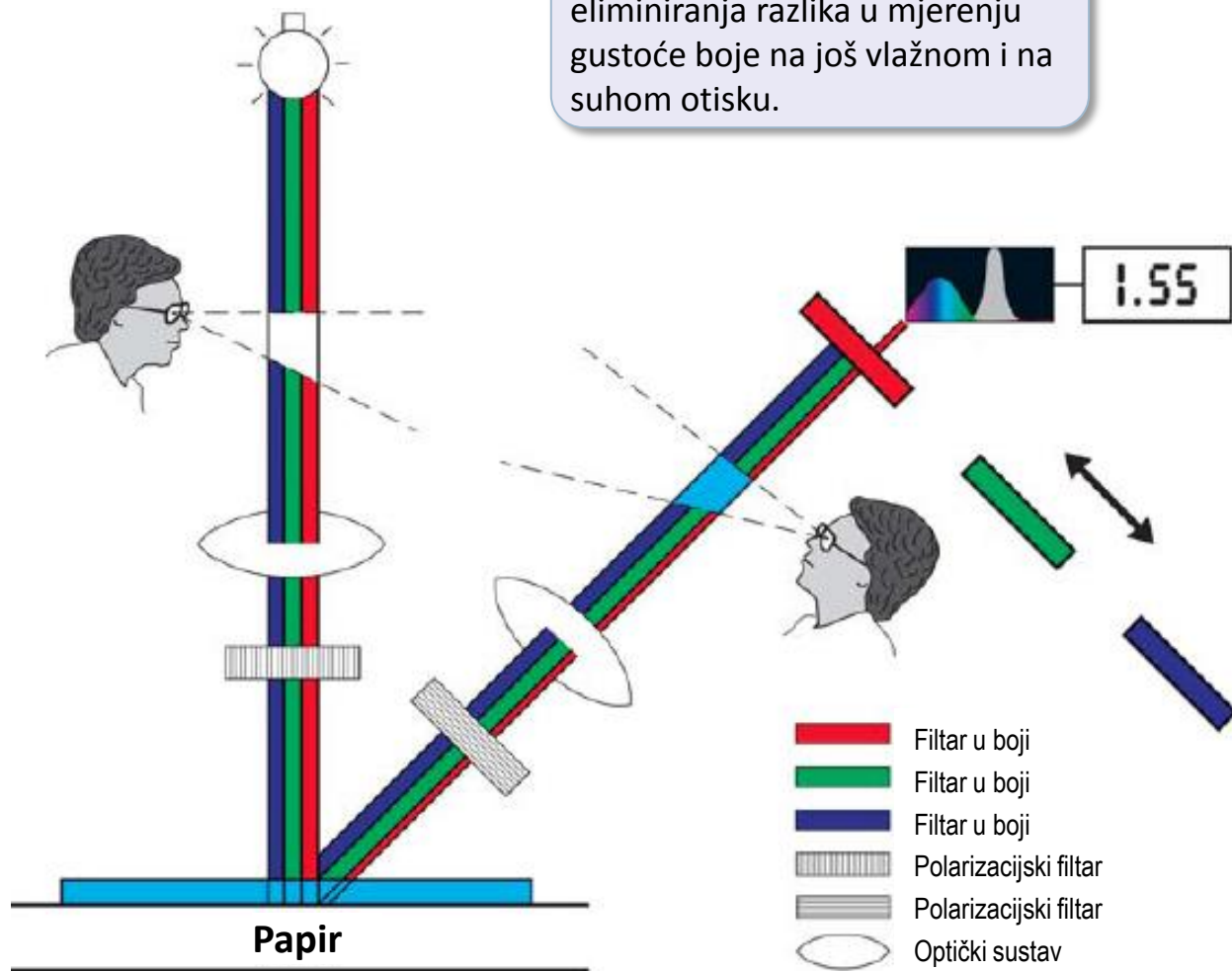
- Područje mjerenja



Denzitometar - princip rada

Iz usmjerenog izvora svjetla svjetlost prolazi kroz leću i polarizator i osvjetljava otisnutu površinu. Ovisno o koncentraciji pigmenata i nanosu bojila dio svjetla se apsorbira. Neapsorbirano svjetlo s površine se reflektira pod kutom od 45° i kroz sustav leća dolazi u fotodiodu. Fotodioda pretvara reflektirano svjetlo u impulse električne energije, koje elektronički sklop uspoređuje s izmjerenom vrijednošću referentnog bijelog standarda. Dobivena razlika predstavlja apsorpciju izmjerenog nanosa bojila i prikazuje se na ekranu.

Polarizacijski filtar se koristi radi eliminiranja razlika u mjerenju gustoće boje na još vlažnom i na suhom otisku.

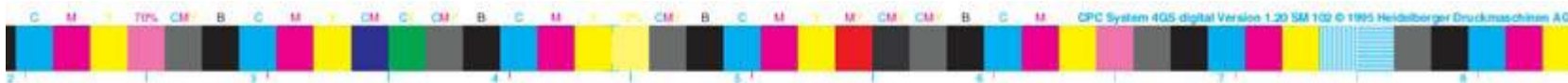


Denzitometar - primjena



We measure **DENSITY** to check press variables... a densitometer is colorblind!!!

- Optička gustoća (D)
- Integralna gustoća zacrnenja (D_i)
- Relativni tiskarski kontrast (*Print Contrast*)
- Prirast rasterskog elementa (*Dot Gain, Ton Value Increase*)
- Sivi balans (*Grey Balance*)
- Greška tona i sivoća (*Hue error/Grayness*)
- Prihvaćanje bojila (*Trapping*)



Kontrolni strip sadrži polja za kontrolu punog tona, otiska u rasteru, sivog balansa i polja za kontrolu tiska boje na boju.

Denzitometar - primjena

U tiskarama se koriste za mjerenje punih polja procesnih boja, jer vrijednosti gustoća ukazuju na to da li se količina bojila u procesu tiska treba povećati ili smanjiti.

U četverbojnom tisku važni su točni omjeri CMY-a, jer ako oni nisu dobro podešeni neće biti moguće postići *sivi balans*!

Typical Wet Ink Densities for North America:

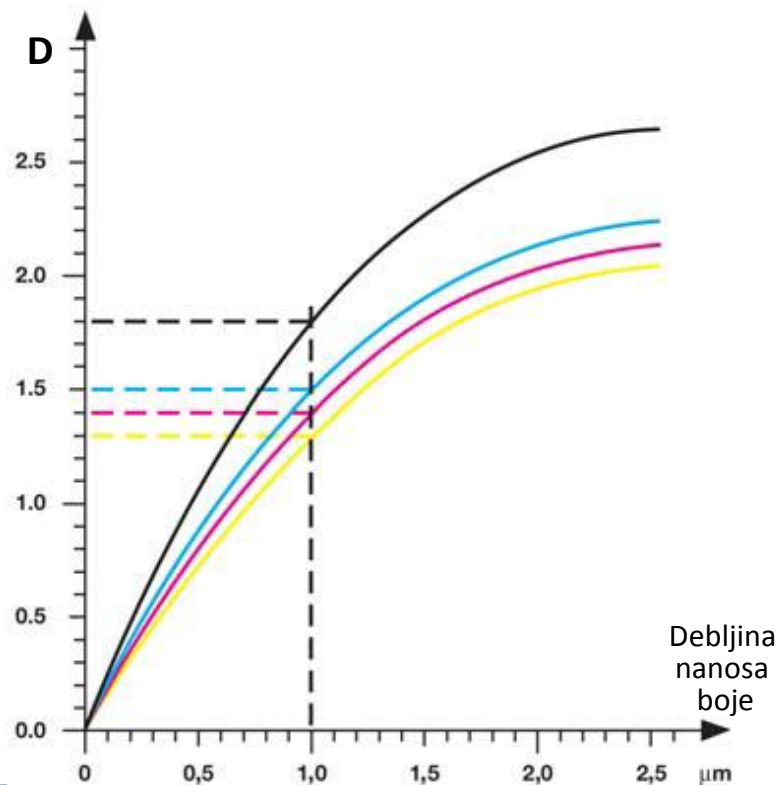
	BLACK	CYAN	MAGENTA	YELLOW
SHEET-FED, OFFSET	1.70 D	1.40 D	1.50 D	1.05 D
WEB-OFFSET, Magazine	1.60 D	1.30 D	1.40 D	1.00 D
NON-HEATSET WEB, Newspaper	1.05 D	0.90 D	0.90 D	0.85 D

Table 1: Values are Status-T, Density Absolute (paper included) as reported from GRACoL...

Typical Wet Ink Densities for Europe:

	CYAN	MAGENTA	YELLOW E	BLACK	YELLOW T
HIGH GLOSSY PAPER	1.45	1.40	1.40 E	1.85	1.00 T
COATED PAPER, mat	1.35	1.30	1.30 E	1.75	0.95 T
UNCOATED PAPER, News Print	1.20	1.15	1.20 E	1.55	0.85 T

Table 2: Values are recommended from UGRA / FOGRA with Polarization Filter and E response.



Krivulje koje prikazuju zavisnost optičke gustoće i debljine nanosa za sve četiri procesne boje

Denzitometar - ograničenja

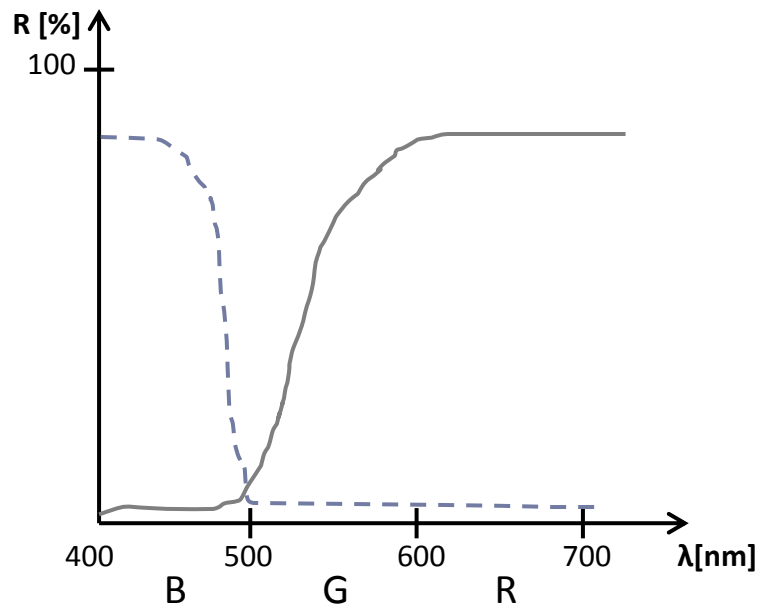
- Denzitometri daju relativnu mjeru za optičku gustoću boje, no oni ne mogu otkriti ništa što bi bilo povezano sa ljudskom percepcijom boje. Ta činjenica najviše ograničava njegovu širu primjenu.
- Nema definirani izvor svjetla, mjeri boje kroz 3 filtera (R,G,B). Kod otisaka koji ne sadrže samo procesne boje, nije moguće adekvatno izmjeriti dodatne spot boje.
- Problem se javlja i kod mjerenja gustoće sivih (rasterskih) polja koja su dobivena iz C,M,Y boja. Mjerenje takvih polja sa sva 3 filtera dat će gustoće obojenja različite od onih koje bi se dobile da se sve 3 boje mjere zasebno.

Denzitometri su korisni za praćenje kvalitete u odjelu tiska kad se koriste 4 osnovne procesne boje.



Zadatak sa ispita

Za neku boju denzitometrom su izmjerene slijedeće gustoće obojenja: $D_R=0.10$, $D_G=0.13$, $D_B=1.17$. Koja je to boja? Nacrtaj njenu SPF krivulju refleksije. Koja je njoj komplementarna boja? Navedite moguće gustoće obojenja te boje.



$$D = \log \frac{1}{R}$$

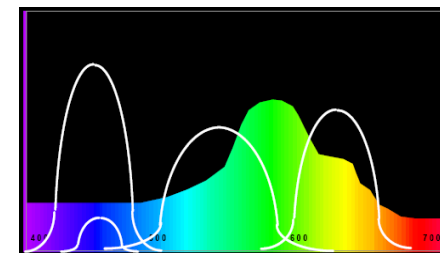
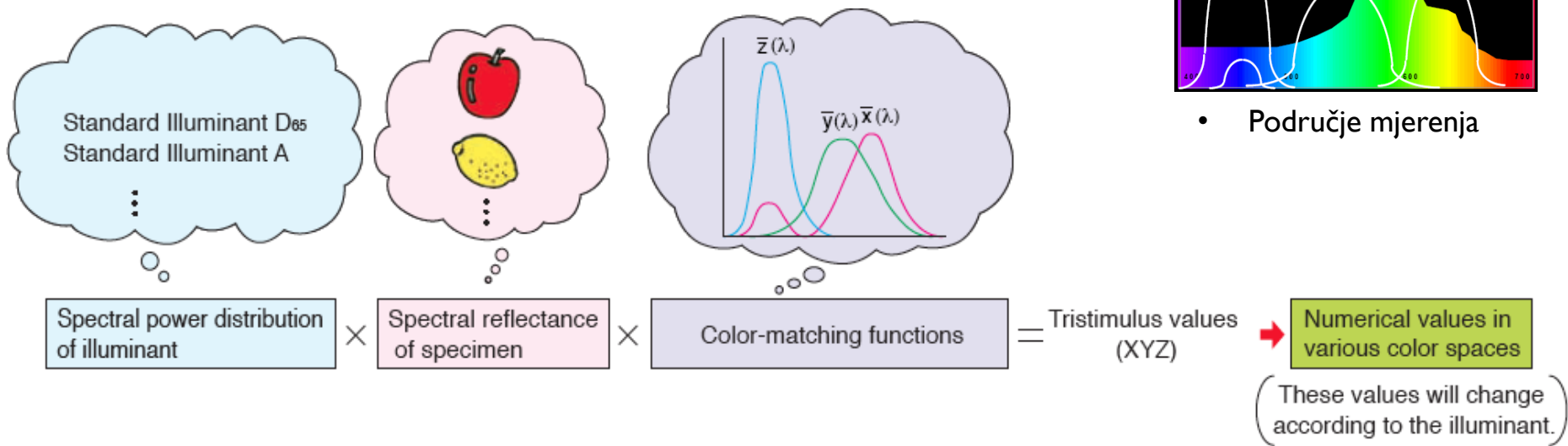
Tražena boja je žuta, a njoj komplementarna je ljubičasto plava.

Moguće gustoće obojenja ljubičasto plave boje:

$$D_R=1.16, D_G=1.10, D_B=0.15$$

Kolorimetar

- Uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja (na način sličan ljudskom doživljaju boja), u pravilu podešenom prema krivulji standardnog promatrača.
- Mjerenje boja kolorimetrom temelji se na uspoređivanju ispitivane boje s bojom nastalom u kolorimetru miješanjem osnovnih boja aditivne sinteze, prema Grassmanovim zakonima.



- Područje mjerenja

Kolorimetar

- Većina kolorimetara prikazuje vrijednosti u jednom od CIE prostora boja (XYZ, LAB ili LCH).



L*a*b* color space

L* = 43.31
a* = 47.63
b* = 14.12

L*C*h* color space

L* = 43.31
C* = 49.68
h = 16.5

XYZ (Yxy) color space

Y = 13.37
x = 0.4832
y = 0.3045

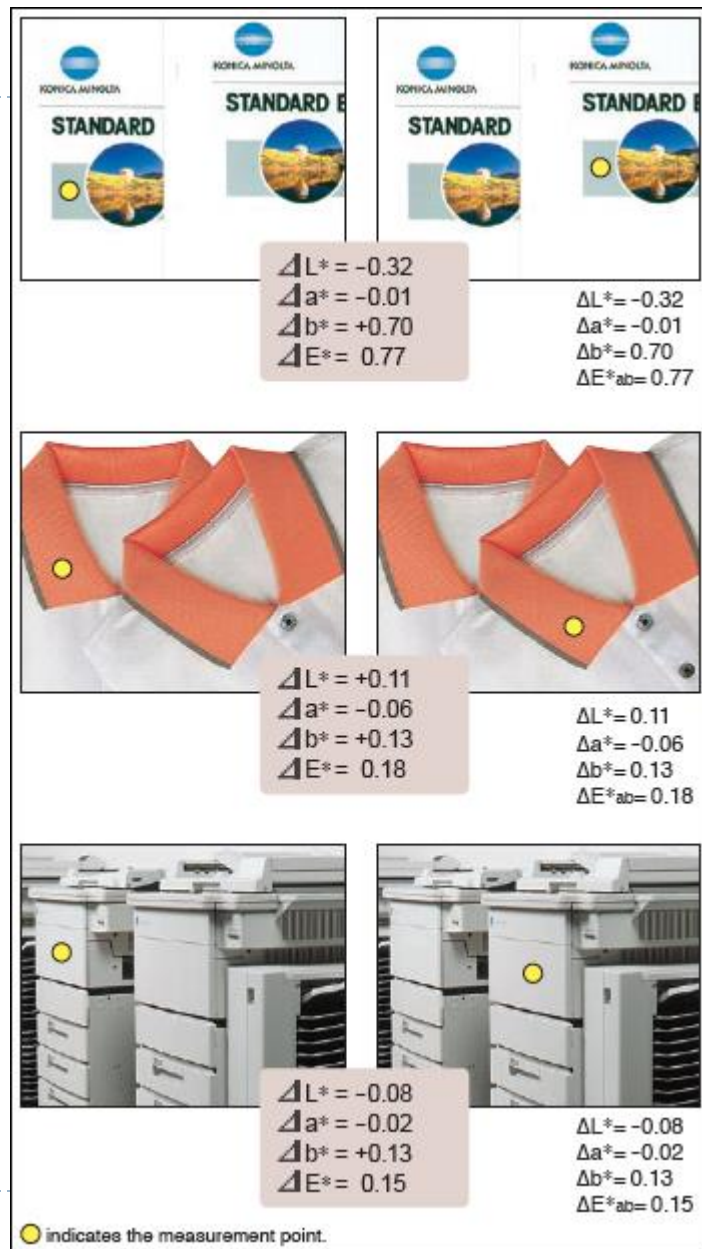
Kolorimetar

- Jedna od najvažnijih prednosti kolorimetra je da omogućava izračunavanje ΔE razlike boja, na temelju razlika u svjetlini, tonu i kromatičnosti.
- Dozvoljena odstupanja su standardizirana i specificirana za različite vrste proizvoda.

Media Standard Print

Specifications and tolerances for digital proofing

	ΔE
Mean ΔE for all $L^*a^*b^*$ color distances of color patches	4
Maximum ΔE for all $L^*a^*b^*$ color distances of color patches	10
Tolerance for primary colors	5
Maximum deviation of substrate	3



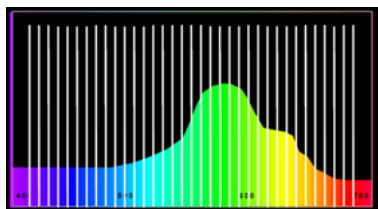
Kolorimetar - ograničenja

- Glavni nedostatak kolorimetra je nemogućnost registriranja metamernih boja. Oni su ograničeni na standardnog promatrača i na samo jedan standardni izvor svjetla (A ili D65), pa ne mogu provjeriti da li se dva različita uzorka boja vizualno poklapaju pod različitim izvorima svjetla.

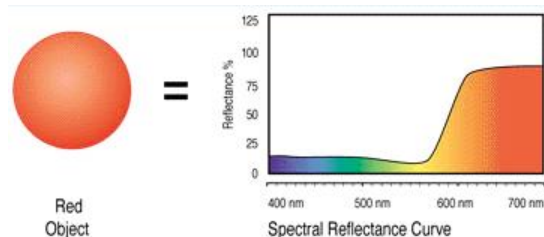


Spektrofotometar

- Uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih dužina vidljivog dijela spektra.

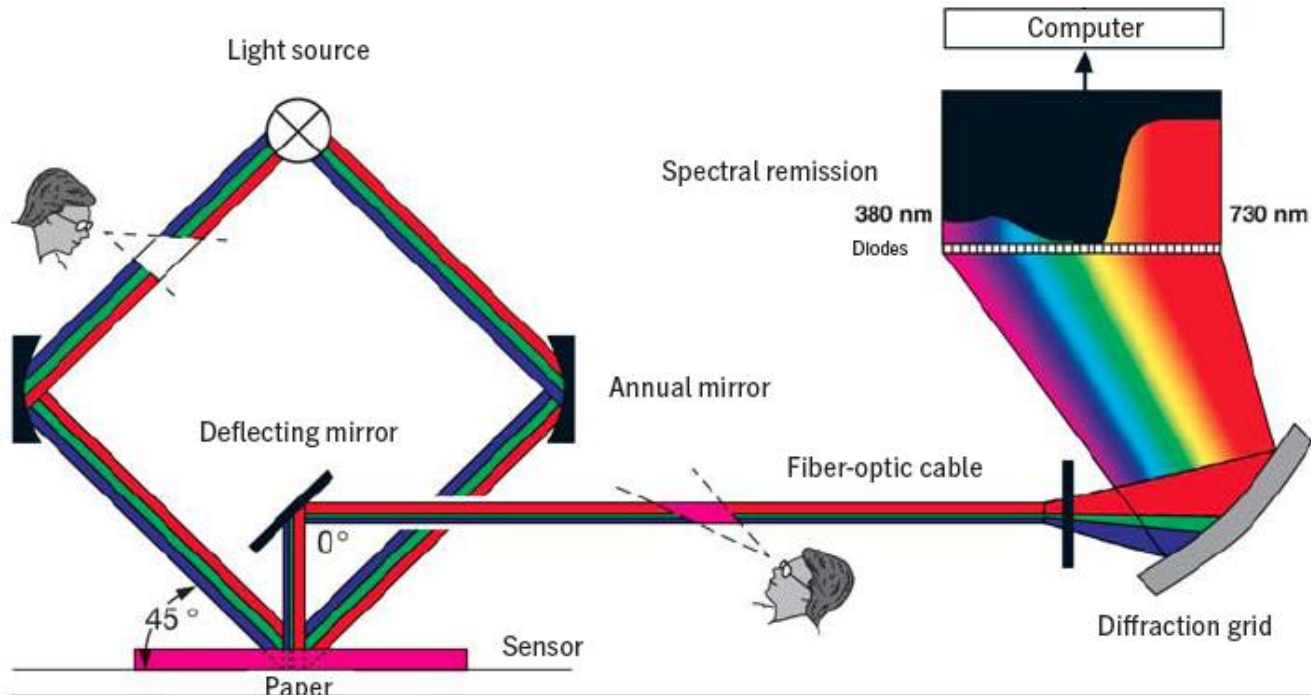


- Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja. (U grafičkoj industriji najčešće se koriste spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 350 nm do 750 nm.)



Spektrofotometar - princip rada

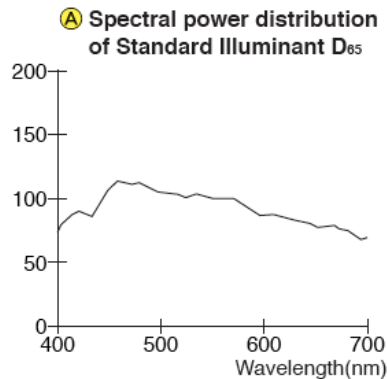
- Rad uređaja temelji se na rastavljanju bijelog svjetla na pojedinačne valne dužine pomoću monokromatora (prizma ili optička rešetka). Njima se osvjetljava ispitivani uzorak boje i bijeli standard (najčešće magnezij-oksidi). Postupak se provodi redom s monokromatskim svjetlima duž čitavog spektra. Reflektirano svjetlo dolazi do fotočelije, koja ih pretvara u električne impulse. Impulsi se dalje preračunavaju tako da se na skali mogu očitati faktor refleksije ili transmisije, pri određenoj valnoj dužini, u odnosu na bijeli standard. Kao grafički prikaz mjerenja dobije se spektrofotometrijska krivulja.



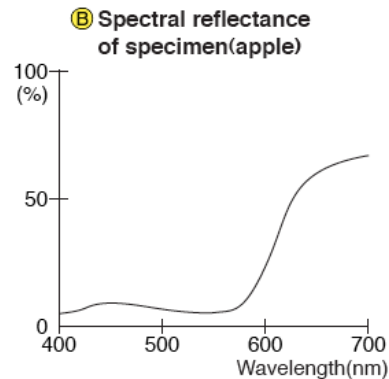
Spektrofotometar

- Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se predvidjeti koji će izvori svjetla dovesti do pojave metamerije.

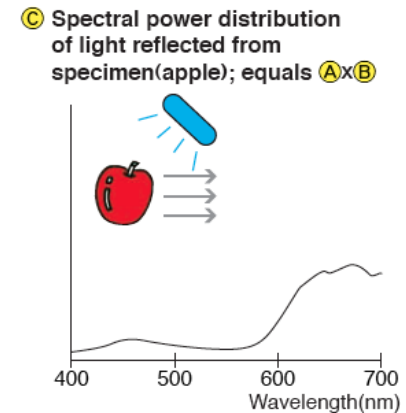
Example 1



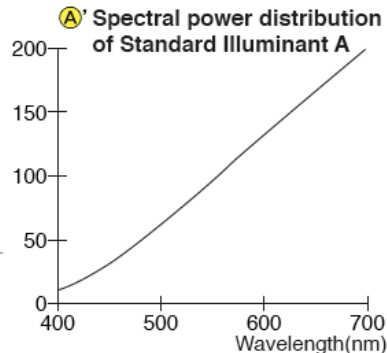
×



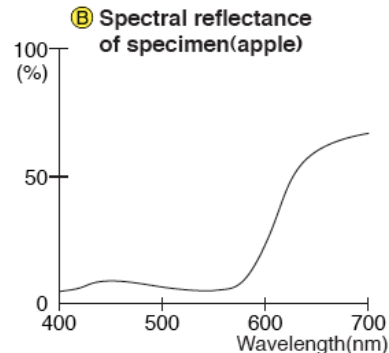
=



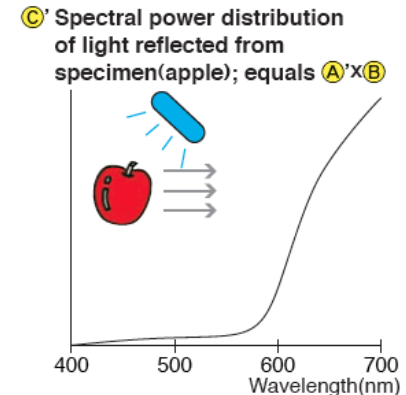
Example 2



×



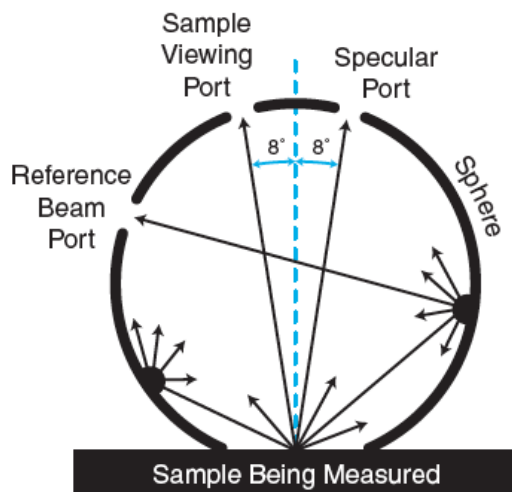
=



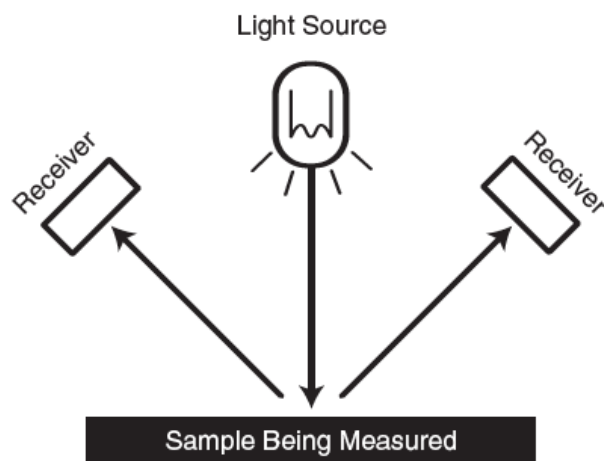
Spektrofotometar

Tri načina (geometrije) mjerenja:

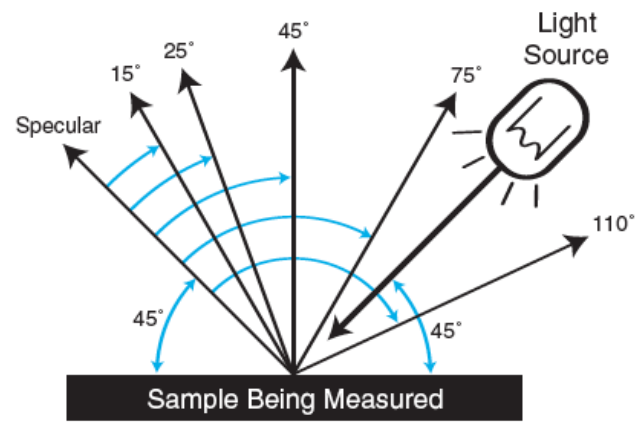
1. **sferna** - svjetlost je jednolično raspršena (difuzna) unutar sfere (unutrašnjost je obojana bijelom bojom, barijev sulfat). Pri mjerenju može uzeti u obzir sjajnost. Izbor kad je uzorak teksturiran, grub, hrapav ili pak jako sjajan. Npr. tekstil.
2. **0/45** ili **45/0** - svjetlost na uzorak dolazi samo sa jedne strane. Mjeri boju na način na koji bi ju vidjelo (doživjelo) ljudsko oko. U mjerenju zanemaruje sjaj.
3. **multi-angle** - najnoviji način koji se koristi za mjerenje specijalnih boja (auto industrija).



Spherical



0/45



Multi-angle

Spektrofotometar – rezultati mjerenja

- faktor refleksije (ili transmisije), pri određenoj valnoj dužini (duž spektra od 380 do 730nm), u odnosu na bijeli standard

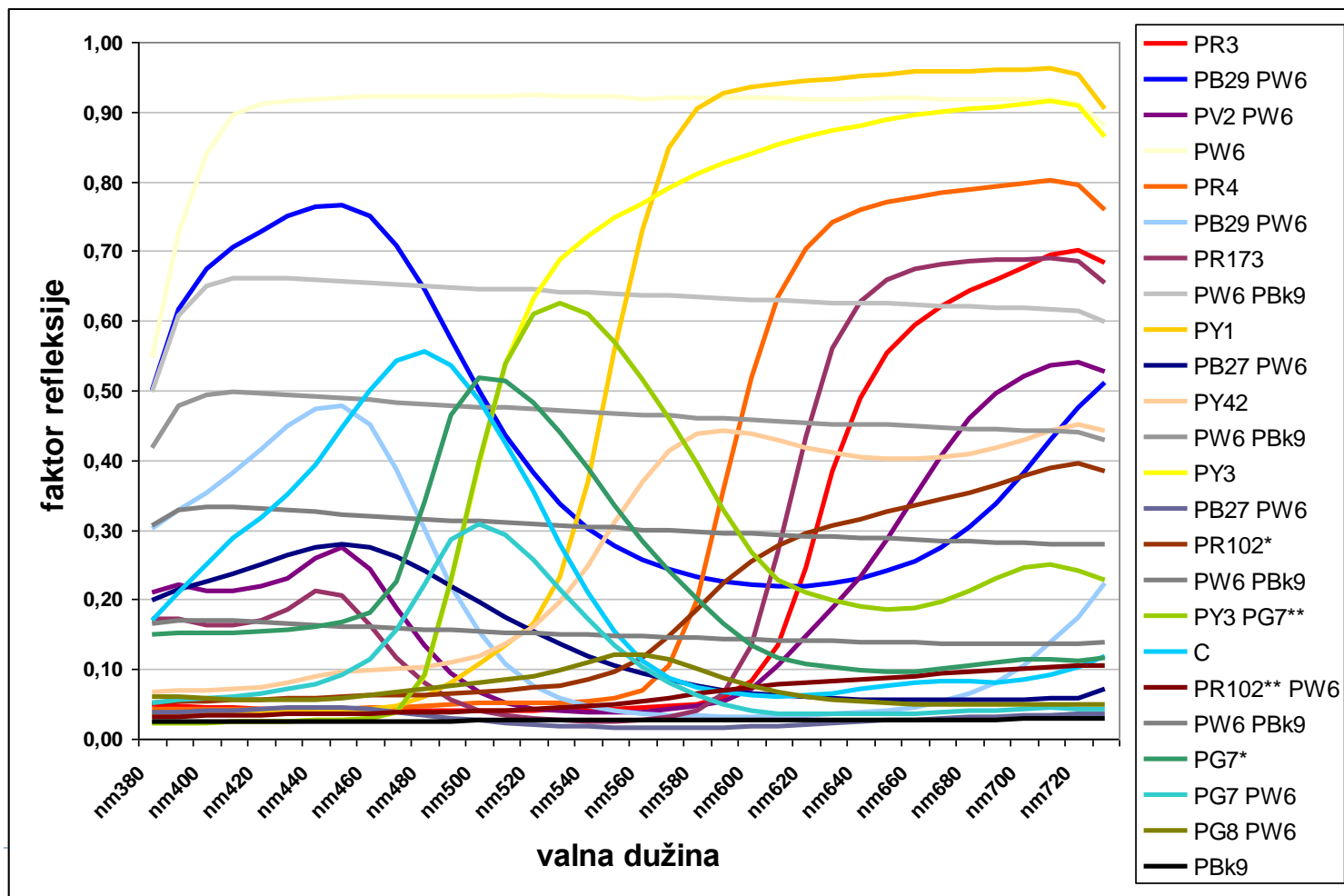
Tablica 1. Refleksije polja sa CGRT24 karte duž spektra od 380 do 730 nm

nm	380	390	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730		
A1	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,13	0,24	0,38	0,49	0,55	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,69	0,70	0,68		
A2	0,50	0,62	0,67	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77	0,75	0,71	0,65	0,57	0,50	0,43	0,38	0,34	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,24	0,26	0,28	0,30	0,34	0,38	0,43	0,48	0,51		
A3	0,21	0,22	0,21	0,21	0,22	0,23	0,26	0,27	0,24	0,19	0,13	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,10	0,15	0,19	0,23	0,29	0,35	0,41	0,46	0,50	0,52	0,54	0,54	0,53		
A4	0,55	0,73	0,84	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,91	0,88	
B1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,10	0,20	0,36	0,52	0,63	0,70	0,74	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,80	0,76		
B2	0,30	0,33	0,35	0,38	0,42	0,45	0,47	0,48	0,45	0,39	0,30	0,22	0,15	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,11	0,14	0,17	0,22	
B3	0,17	0,17	0,16	0,16	0,17	0,19	0,21	0,21	0,16	0,12	0,08	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,07	0,13	0,27	0,43	0,56	0,63	0,66	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,69	0,69	0,68	0,65	
B4	0,50	0,61	0,65	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,60	
C1	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11	0,13	0,17	0,23	0,37	0,56	0,73	0,85	0,90	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,95	0,90	
C2	0,20	0,21	0,22	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,27	0,26	0,24	0,22	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	
C3	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,20	0,25	0,31	0,37	0,41	0,44	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,44	0,43		
C4	0,42	0,48	0,49	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,43	
D1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,09	0,23	0,39	0,54	0,63	0,69	0,72	0,75	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,91	0,86		
D2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
D3	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,10	0,12	0,15	0,19	0,22	0,25	0,28	0,29	0,31	0,32	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,38	0,39	0,39	0,38		
D4	0,31	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	
E1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,09	0,23	0,40	0,54	0,61	0,63	0,61	0,57	0,52	0,46	0,40	0,33	0,27	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,24	0,23		
E2	0,17	0,21	0,25	0,29	0,32	0,35	0,39	0,45	0,50	0,54	0,56	0,53	0,49	0,42	0,35	0,28	0,21	0,15	0,11	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10	0,12	
E3	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	
E4	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	
F1	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,22	0,34	0,46	0,52	0,51	0,48	0,44	0,39	0,33	0,28	0,24	0,20	0,16	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	
F2	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,09	0,11	0,16	0,22	0,29	0,31	0,29	0,26	0,22	0,17	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
F3	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
F4	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	

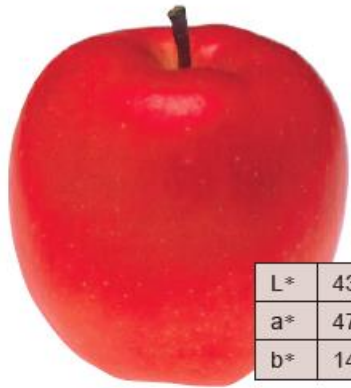


Spektrofotometar – rezultati mjerenja

- Grafički prikaz mjerenja: SPF - spektrofotometrijske krivulje - primjer

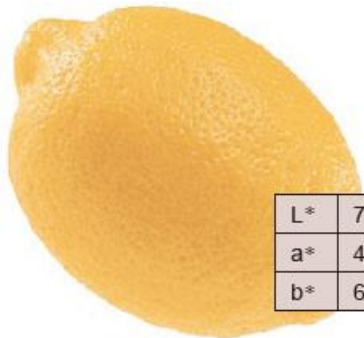
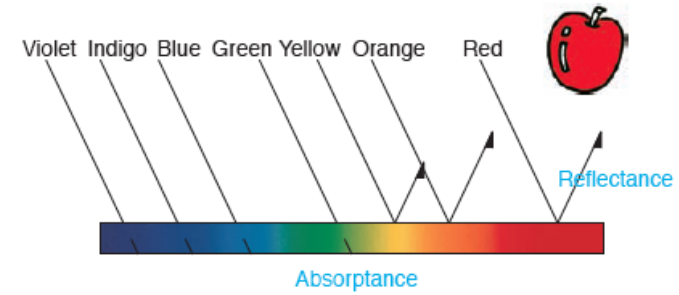
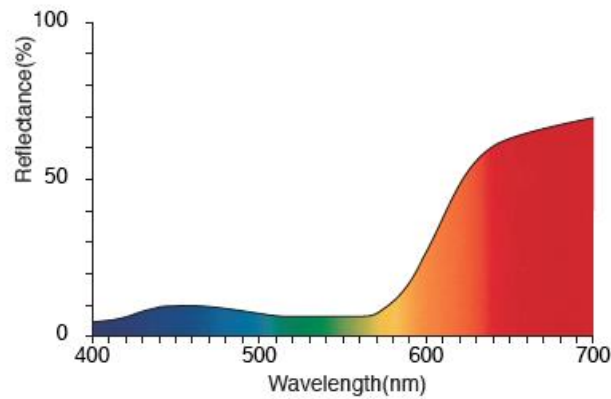


Kolorimeter vs. spektrofotometer

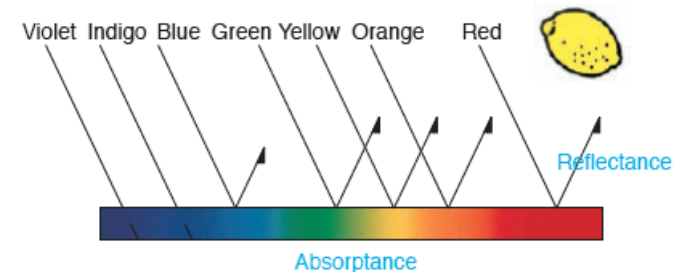
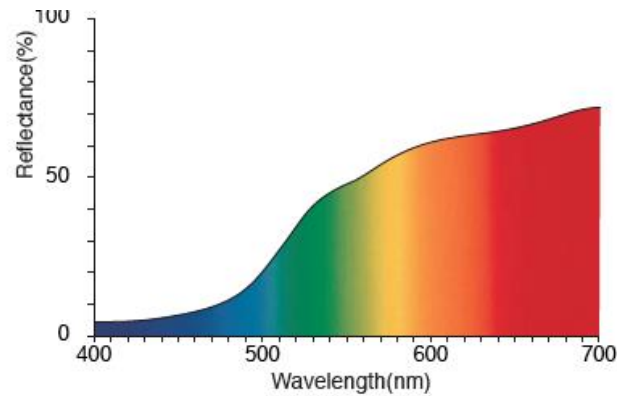


L*	43.31
a*	47.63
b*	14.12

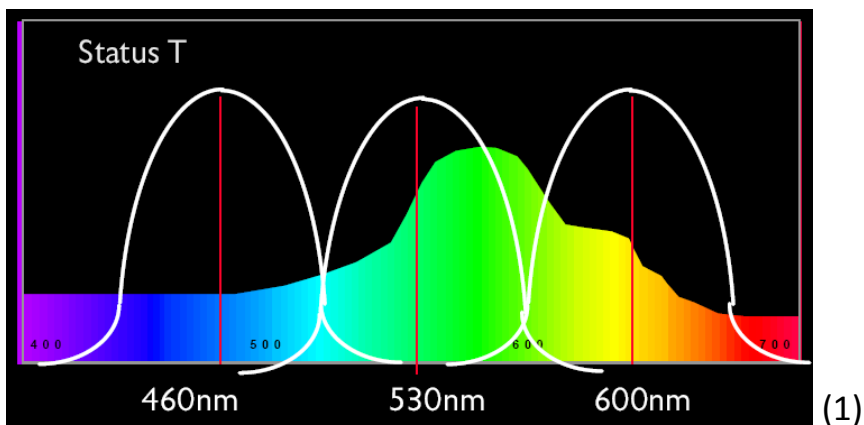
Spectral reflectance graph for an apple



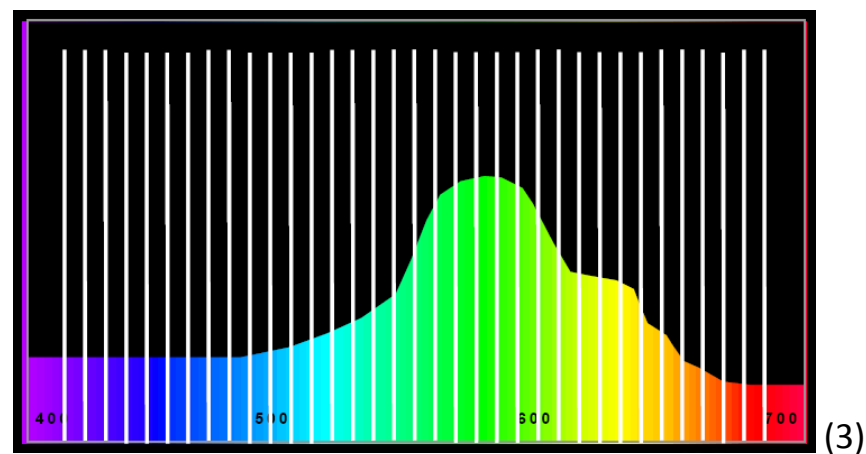
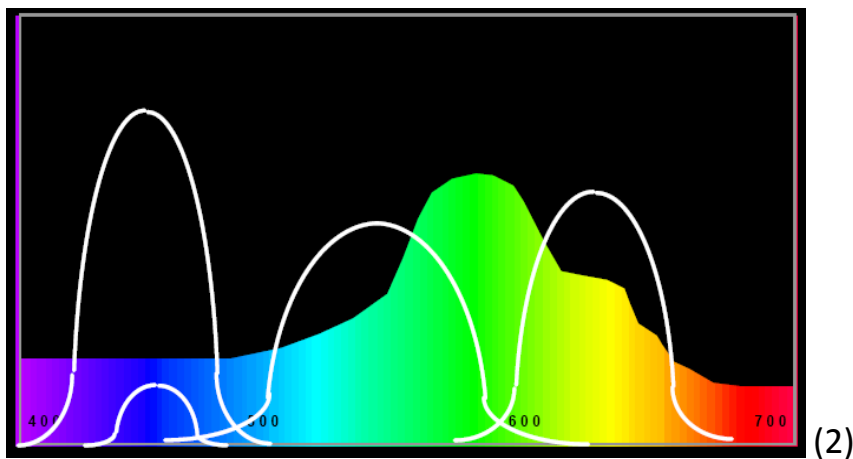
L*	75.34
a*	4.11
b*	68.54



Područje mjerenja: denzitometar (1) – kolorimetar (2) – spektrofotometar (3)



Bitne razlike!



Usporedba ljudskog doživljaja boje, tristimulusne i spektrofotometrijske metode mjerenja

