

UNIVERZA V LJUBLJANI
NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA TEKSTILSTVO
GRAFIČNA TEHNOLOGIJA

MERJENJE BARVE

Seminarska naloga pri predmetu Barvna metrika

Katarina CIMPRIČ

Ljubljana, december 2005

KAZALO

1 UVOD	1
1.1 Standardizirane vrste svetlob	1
1.2 Objekt	2
1.3 Standardizirani opazovalec	3
2 SPEKTROFOTOMETER.....	4
2.1 Zgradba in delovanje spektrofotometra.....	4
2.1.1 Delovanje spektrofotometra	4
2.1.2 Zgradba spektrofotometra	5
2.1.2.1 Difuzno refleksijski del spektrofotometra.....	6
2.1.2.2 Optični del spektrofotometra.....	8
2.1.2.3 Fotometrijski del spektrofotometra	8
3 KOLORIMETER.....	11
3.1 Kolorimetrijske metode.....	12
3.1.1 Aditivni kolorimeter	12
3.1.1.1 Delovanje aditivnega kolorimetra	12
3.1.2 Fotoelektrični kolorimeter	14
3.1.2.1 Delovanje fotoelektričnega kolorimetra.....	14
3.1.3 Kolorimeter z optičnim sistemom iz optičnih vlaken	15
4 ZAKLJUČEK.....	16
5 VIRI.....	17

1 UVOD

V vsakdanjem življenju nas obdaja množica barv. Njihova prisotnost je tako samoumevna, da jih sprejemamo kot naravno danost in ponavadi ne razmišljamo o njihovem nastanku. Doživljamo jih subjektivno, saj je barva definirana kot čutna zaznava, ki jo v možganih sproži v oko vpadla svetloba. Barva torej ni fizikalna lastnost objekta oz. snovi ampak je subjektivna čutna zaznava, odvisna od vrste svetlobe, od sestave in oblike objekta ter od fiziološke in psihološke sposobnosti opazovalca. Subjektivno vrednotenje barv velikokrat zadošča, če pa se z barvami ukvarjamo profesionalno in jih moramo reproducirati, pa je nujno objektivno vrednotenje barv.

Za objektivno vrednotenje barve in barvnih razlik je pomembno dobro poznavanje teorije nastanka čutne zaznave barve, pri katerem sodelujejo svetloba, objekt in vidni organ. Sklop dogajanj pri vidni zaznavi in njihova identifikacija je osnova za preslikavo subjektivnega vtisa o barvi v objektivno numerično vrednotenje barve.

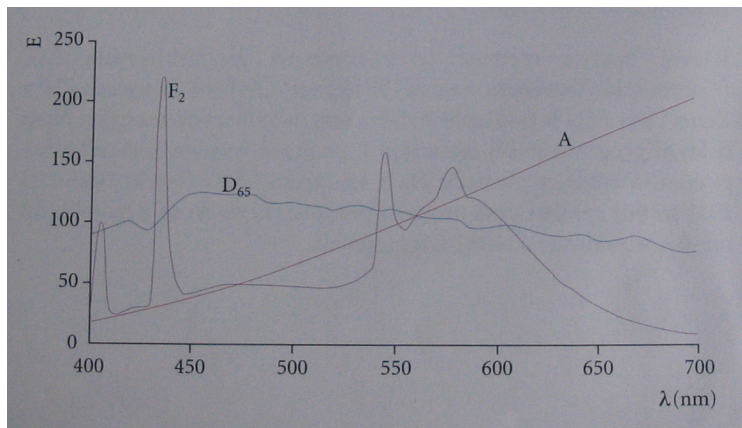
Pri nastanku barve objekta sodelujejo trije faktorji – svetloba, objekt in vizualni sistem.

- ~ **SVETLOBA** – standardne svetlobe: D_{65} , D_{50} , A, F
- ~ **OBJEKT** – merjenje barve je merjenje refleksije
- ~ **VIZUALNI SISTEM** – standardizirani (ali idealni) opazovalec (2° ali 10°)

1.1 Standardizirane vrste svetlob

Za numerično vrednotenje barve je nujna uporaba standardizirane vrste svetlobe. Barva standardizirane svetlobe je opredeljena s t.i. "barvno temperaturo", ki je definirana kot tista temperatura črnega telesa, pri kateri je sevanje črnega telesa po barvi identično sevanju svetlobnega vira. Danes najpogosteje uporabljane standardizirane svetlobe za vrednotenje barv so prikazane na *Sliki 1*, kjer pomeni:

- D_{65} – povprečno dnevno svetlobo z UV sevanjem in barvno temperaturo 6500 K
- A – večerno svetlobo, ki jo seva volframova žarnica, in barvno temperaturo 2856 K
- F_2 – vrsto fluorescentne svetlobe, t.i. hladno bela, ki jo najpogosteje uporabljajo za razsvetljavo poslovnih prostorov

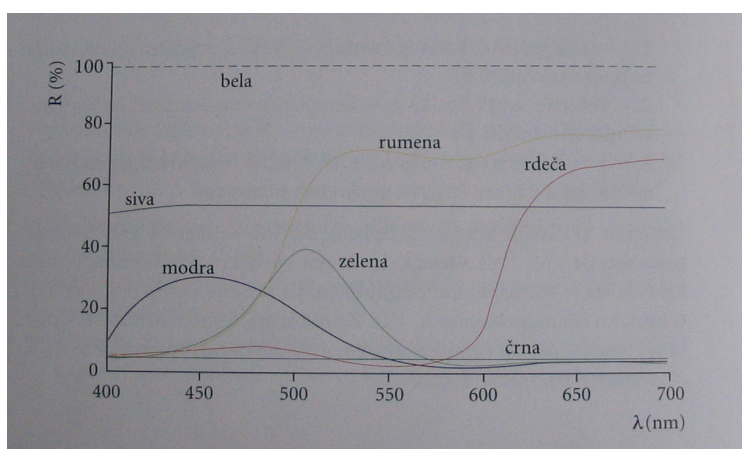


Slika 1: Krivulje sevanja standardizirane vrste svetlobe D_{65} , A in F_2

1.2 Objekt

Ko svetloba pade na nek objekt, se del svetlobe odbije (reflektira), del svetlobe objekt vpije (absorbira) ali siplje, del svetlobe pa prehaja skozenj (transmisija). Razmerje teh veličin je odvisno od spektralne sestave vpadle svetlobe ter od fizikalnih in kemijskih lastnosti objekta. Absolutno črno telo absorbira vso vpadlo svetlobo, absolutno belo telo vso vpadlo svetlobo odbija. Absorbiran del svetlobe se pretvarja v toploto, reflektiran oz. transmitiran del svetlobe povzroča zaznavo barve objekta.

Spektralna sestava odbite svetlobe ni vedno enaka sestavi vpadne svetlobe. Večina objektov odbija del spektra močnejše, zato jih vidimo obarvane. Rdeči objekt odbija rdeči del spektra bele svetlobe, modri ima največji odboj v modrem, kratkovalovnem delu spektra, zeleni pa v zelenem področju spektra.



Slika 2: Refleksijske krivulje

1.3 Standardizirani opazovalec

Numerično vrednotenje barve je osnovano na dejanskem dogajanju pri zaznavi barve, pri katerem ima pomembno vlogo vidni organ s sestavnimi deli – očesom, vidnim živcem in možgani. Pri zaznavi barve sta soudeležena dva procesa – fiziološki, pri katerem se pretvarja svetlobna energija v signale, ki jih živci vodijo v možgane, in psihološki, pri katerem ti signali sprožijo zaznavo barve v možganih.

Za vrednotenje barv je pomembna numerična opredelitev:

- relativne občutljivosti očesa na svetlobo in
- relativne spektralne občutljivosti očesa na barve.

V današnjem času je nujno spremljanje barve tekom proizvodnje in po končani proizvodnji. Pri tem je predvsem pomembna uporaba naprav kot sta spektrofotometer in kolorimeter, ki sta sestavni del naprav za vrednotenje barve.

2 SPEKTROFOTOMETER

Predvsem na področju sodobne grafične industrije je nujno potrebna uporaba spektrofotometrov, vključenih v računalniške sisteme, za določanje barvnih vrednosti in razlik ter receptiranje barv po priloženih vzorcih. Spektrofotometrija ima torej pomembno vlogo na področju grafike, saj omogoča ponovljivo in natančno numerično vrednotenje barv.

Spektrofotometri večinoma omogočajo že nekatere osnovne možnosti obdelave podatkov, ki smo jih izmerili. Poleg tega je večinoma omogočena povezava spektrofotometrov z računalnikom, ki imajo že vključene sisteme za barvno metriko.

2.1 Zgradba in delovanje spektrofotometra

2.1.1 Delovanje spektrofotometra

Objekte običajno vidimo obarvane zato ker spektralna sestava odbite svetlobe ni enaka sestavi vpadle svetlobe, pač pa telo odbije določeni spekter svetlobe močnejše (npr. rdeča površina odbija rdeči spekter svetlobe). S pomočjo analize spektra pred in po interakciji svetlobe z objektom lahko določimo optične lastnosti danega objekta, saj je barva posledica le-te interakcije.

Ker snovi lahko svetlobo reflektirajo (odbijajo), absorbirajo (sprejemajo) ali transmisirajo (prepuščajo) imamo različne načine merjenja svetlobe:

- ~ **REFLEKSIJSKO** (merimo od objekta odbito svetlobo)
- ~ **TRANSMISIJSKO** (merimo svetlobo, ki jo objekt prepušča)
- ~ **ABSORPCIJSKO** (merimo absorbirano svetlobo)

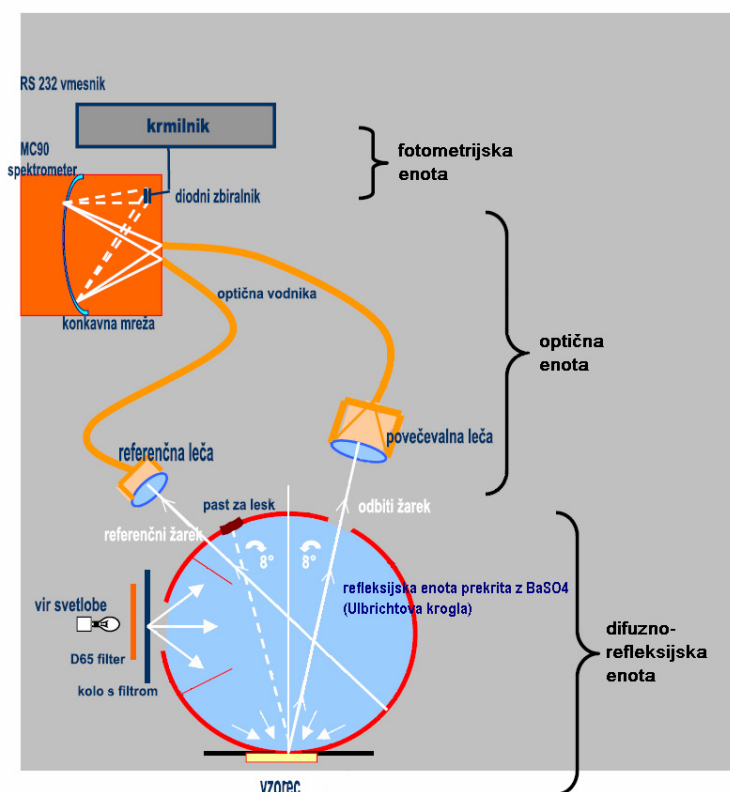
Spektrofotometer je optični instrument, s pomočjo katerega lahko določimo refleksijske vrednosti vzorca v vidnem delu spektra (400-700 nm) na osnovi meritev razlike med vpadlo in od merjenega vzorca odbito svetlobo. Specialni spektrofotometri pa omogočajo merjenje tudi v UV in IR delu spektra. Le-ti so lahko samostojni ali vključeni v računalniške sisteme.

Na trgu lahko najdemo različne spektrofotometre (prenosne, kombinirane stacionarne, refleksijske, transmisijske itd.), ki pa imajo vsi podoben princip delovanja. Na področju barvne metrike se najpogosteje uporabljajo refleksijski spektrofotometri.

2.1.2 Zgradba spektrofotometra

Ne glede na njegovo konstrukcijsko izvedbo je vsak spektrofotometer zgrajen iz naslednjih treh osnovnih delov (*Slika 3*):

- ~ difuzno-refleksijski del
- ~ optični del
- ~ fotometrijski del



Slika 3: Zgradba spektrofotometra

2.1.2.1 Difuzno refleksijski del spektrofotometra

Spektrofotometer moramo umeriti pred izvajanjem meritev (odvisno od tipa instrumenta vsakih 8 ur ali pogosteje) kar lahko storimo z belim ali črnim standardom.

Difuzno-refleksijski del spektrofotometra sestavljajo naslednji elementi:

- ~ vir svetlobe,
- ~ svetlobni filtri,
- ~ Ulbrichtova krogla ali cilinder,
- ~ merilna odprtina,
- ~ izhodna odprtina za merjenje odbite svetlobe,
- ~ odprtina pasti za lesk.

Vir svetlobe so t.i. hladni svetlobni viri (viri, ki sevajo svetlobo na osnovi razelektrenja v plinih ter pri enaki porabi električne energije oddajajo nekajkrat več svetlobe kot žarnica z žarilno nitko). Kot vir takšne svetlobe se uporabljajo npr. halogenske žarnice ali ksenonove bliskavice. Omenjeni svetlobni viri dajejo s prehodom svetlobe skozi filter D_{65} standardizirano svetlobo D_{65} .

Svetloba, ki potuje skozi filtre, pade v t.i. Ulbrichtovo kroglo. Le-ta je znotraj prevlečena z ne-selektivnim premazom (MgO , $BaSO_4$). Svetloba se od premaza difuzno odbije. Krogla ima naslednje tri odprtine:

- ~ odprtino za vzorec,
- ~ odprtino za merjenje odbite svetlobe s površine vzorca in
- ~ odprtino za izključitev/vključitev leska vzorca.

Geometrija merjenja (oz. konstrukcijska izvedba spektrofotometra) določa medsebojni položaj prvih dveh odprtin.

Geometrija merjenja določa:

- ~ vrsto osvetlitve vzorca;
- ~ kot merjenja odbitih žarkov

(glede na pravokotnico oz. normalo merjene površine, glej *Slika 3* in *Slika 4*).

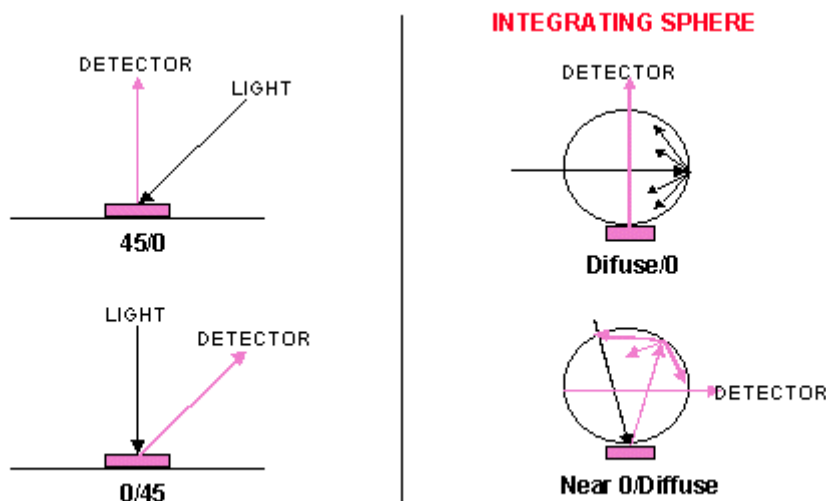
Pri tem ločimo naslednja dva principa geometrije merjenja (*Slika 4*):

- ~ difuzno osvetlitev vzorca pod kotom 0° ali pod kotom 8° : (označimo z $d/0^\circ$ oz. $d/8^\circ$);
- ~ direktno osvetlitev vzorca, pri čemer je kot pod katerim svetloba pada na predmet 45° , kot odbite svetlobe pa 0° (označimo z $45^\circ/0^\circ$); kot pod katerim svetloba pada na predmet je lahko tudi 0° , kot odbite svetlobe pa 45° (označimo z $0^\circ/45^\circ$).

Glede na lastnosti oz vrsto merjenega vzorca izbiramo ustrezne geometrije merjenja (oz. konstrukcijske izvedbe spektrofotometra), saj za določene vzorce potrebujemo ustrezno osvetlitev.

Tako je na primer:

- ~ za strukturirane površine vzorca je primerna difuzna osvetlitev $d/0^\circ$ in $d/8^\circ$, vpliv leska pa lahko odpravimo s pomočjo t.i. pasti za lesk, ki absorbira zaradi leska odbito svetlobo;
- ~ za svetlečo in gladko površino je primerna geometrija $45^\circ/0^\circ$, saj s pomočjo le-te izključimo vpliv leska, svetloba se tu odbije po odbojnem zakonu pri čemer je odbojni kot enak vpadnemu).



Slika 4: Shematski prikaz geometrij merjenja

2.1.2.2 Optični del spektrofotometra

Optični del spektrofotometra je sestavljen iz:

- ~ sistema dveh zbiralnih leč (skupaj z vstopno režo v gorišču) in
- ~ monokromatorja.

Sistem zbiralnih leč je lociran za Ulbrichtovo kroglo. Leče pri tem zbirajo difuzno odbito svetlobo s površine vzorca. Samo tisti svetlobni žarki, ki so se vzporedno odbili pod kotom 0° ali 8° (glede na normalo merjenega vzorca), po prehodu skozi prvo lečo, padejo na drugo lečo skozi vstopno režo. Vstopna reža se nahaja v gorišču obeh zbiralnih leč. Dobimo vzporedno svetlobo, ki izhaja iz druge leče in nato pada na monokromator.

Monokromator je naprava, ki se uporablja za razstavljanje svetlobe na posamezne valovne dolžine. V rabi so predvsem različne uklonske mrežice ali filtri. Uklonsko mrežico sestavljajo enake reže/odprtine, ki so enako oddaljene. Število teh rež je veliko (do 1000 na mm). Na režah se vzporedna svetloba, ki pade na mrežico ukloni, pri čemer se kot uklona svetlobe povečuje z valovnimi dolžinami vpadle svetlobe (najmanjši uklonski kot ima modra svetloba, največji pa rdeča).

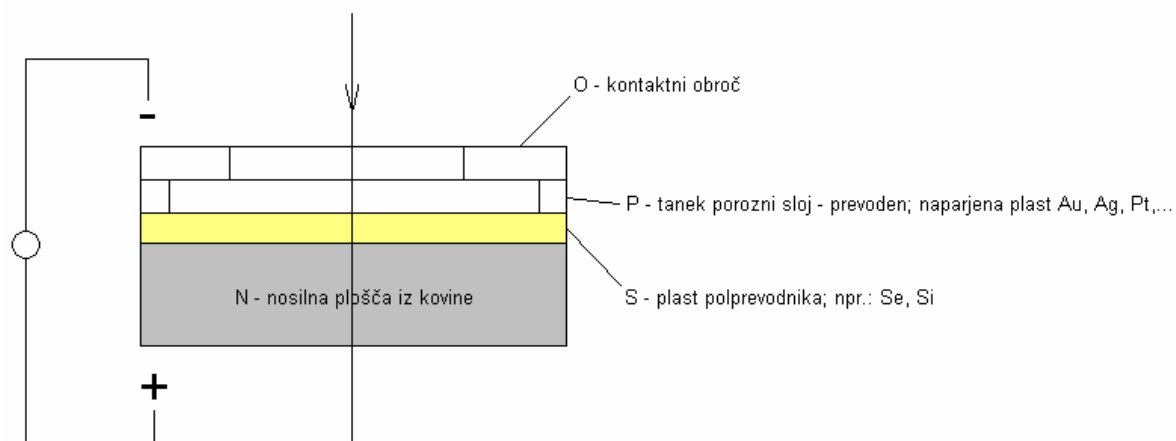
2.1.2.3 Fotometrijski del spektrofotometra

Fotometrijski del spektrofotometra je zgrajen iz:

- ~ fotoelektričnih sprejemnikov in
- ~ analogno-digitalnega pretvornika.

Pri tem so fotoelektrični sprejemniki fotoelementi za merjenje odbite svetlobe s površine vzorca, ki je spektralno razdeljena in vpada v Ulbrichtovo kroglo.

Merjenje svetlobe, kot elektromagnetnega valovanja, lahko poteka le indirektno s pretvorbo v električno energijo. Pri tem gre za pojav, ki je vzrok te pretvorbe in ga imenujemo fotoefekt (definiran kot medsebojni vpliv med sevanjem in materijo; ta vpliv označujeta absorpcija fotonov in nastanek prostih elektronov). Princip delovanja fotoelementa in njegovo zgradbo prikazuje *Slika 5*.



Slika 5: Shematski prikaz zgradbe in delovanja fotoelementa

Pri tem deluje fotoelement na principu fotoefekta zapornega sloja. Tanka plast polprevodnika (S) je nanesena na osnovno nosilno kovinsko ploščo (pozitivni pol fotoelementa). Zelo tanek svetlobno prepustni sloj iz zlata, srebra ali platine (P) pa je neparjen na polprevodno plast. Na prepustnem sloju je vtisnjen kontaktni obroč (O), omenjeni sloj pa hkrati tudi predstavlja negativno elektrodo fotoelementa.

Svetloba potuje skozi kontaktni obroč (O) in tanek porozni sloj (P) do polprevodniške plasti (S). Tu se svetloba absorbira in sproščajo se negativni elektroni (*Slika 5*). Elektroni prehajajo skozi zaporni sloj oz. stično ploskev med prevodnim (P) slojem in polprevodno plastjo (S) proti nosilni kovinski plošči (N). Vpadajoči svetlobni tok in upornost celotnega tokokroga določata fotoelektrični tok oz. število izločenih elektronov pod vplivom svetlobe.

Najpogosteje so v rabi selenski in silicijevi fotoelementi (izbira polprevodnika). Pri tem je selenski fotoelement bolj občutljiv na svetlobo krajših valovnih dolžin, torej je njegova občutljivost podobna občutljivosti očesa pri dnevnem gledanju. Silicijev fotoelement je bolj občutljiv na svetlobo daljših valovnih dolžin (torej odstopa od krivulje občutljivosti očesa).

Kljub temu se v spektrofotometrih uporablja predvsem silicijev fotoelement, zlasti zaradi njegovih ostalih dobrih lastnosti kot so: počasno staranje, nizka občutljivost na temperaturo itd. Da bi prilagodili spektralno občutljivost fotoelementa krivulji občutljivosti očesa, uporabljamo posebne barvne filtre ali ustrezne korekcijske faktorje.

Elektronski del spektrofotometra je zgrajen iz analogno – digitalnih pretvornikov. Le-ti pretvarjajo analogne signale fotoelementov v digitalne (signale v binarni obliki), ki jih potrebujemo za računalniško obdelavo.

3 KOLORIMETER

Kolorimeter je naprava za merjenje barv ali strokovno povedano, inštrument s katerim merimo količino svetlobe absorbirane pri določeni valovni dolžini, ki se nahaja v vidnem spektru elektromagnetnega valovanja. Deluje približno kot človeško oko, saj meri svetlobo in jo razstavi v osnovne komponente. Izmerjene vrednosti nato pretvori v številčni barvni zapis CIE sistema X, Y, Z.

Matematični zapis zveze posameznih faktorjev v spektralnem območju od 400 do 700 nm omogoča izračun standardiziranih barvnih vrednosti X, Y in Z, ki določajo barvo:

$$X = k \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda)$$

$$Y = k \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda)$$

$$Z = k \sum_{400}^{700} S(\lambda) \cdot R(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda)$$

Pri čemer so:

$S(\lambda)$ – spektralna porazdelitev sevanja

$\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ – spektralna občutljivost očesa

$R(\lambda)$ – refleksija predmeta

Za delo s kolorimetrom moramo poznati oziroma določiti karakteristike barv, ki jih bomo merili. Mednarodna merila predpisujejo vsaki barvi tri karakteristike: ton, nasičenost in svetlost barve.

- ~ **TON** določa vrsto barve (zelena, modra, rdeča,...) in nam pove kakšna je selektivna absorpcija barve in kako neko barvo zazna človeško oko.
- ~ **NASIČENOST** določa količino bele barve, ki se nahaja v barvi. Maksimalno nasičene barve ne vsebujejo nič bele.
- ~ **SVETLOST** je karakteristika, ki kaže koliko svetlobe neka barva prepušča. Svetlost določa vsebnost črne barve v barvnem vzorcu.

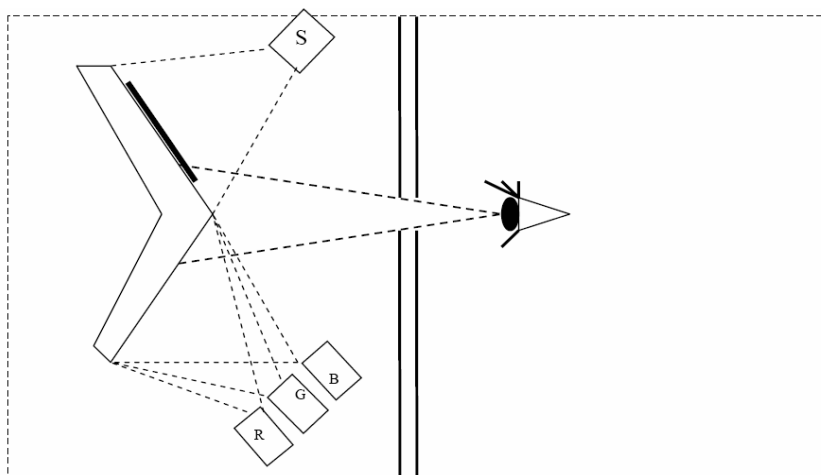
Ton in nasičenost določata kvaliteto, svetlost pa kvantiteto barve.

Najpreprostejši kolorimetri so sestavljeni iz svetlobnega vira, barvnih filtrov (RGB), optičnega sistema za usmerjanje svetlobe, tipala za pretvarjanje barvnih dražljajev v električne signale, zaslonke za omejitev merskega polja in zaslona za prikaz vrednosti.

3.1 Kolorimetrijske metode

Kolorimetrijske metode merjenja barv bazirajo na dejstvu, da človeško oko zaznava barve s pomočjo treh različnih oblik receptorjev, kar pomeni, da vsako barvo lahko dobimo s pomočjo mešanja treh primarnih barv. Mešanje in primerjanje primarnih barv z zadano barvo vršimo s pomočjo kolorimetra, ki je lahko vizualni ali fotoelektrični, aditivni ali subtraktivni.

3.1.1 Aditivni kolorimeter



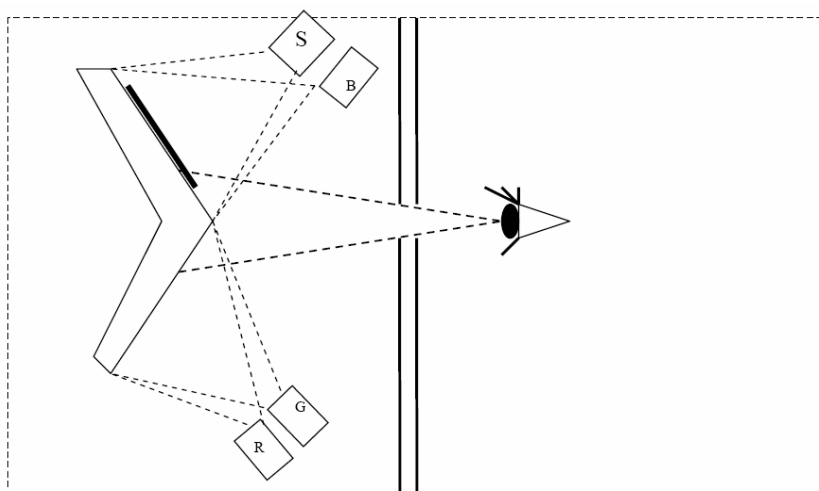
Slika 6: Princip delovanja aditivnega kolorimetra

3.1.1.1 Delovanje aditivnega kolorimetra

Kot je razvidno iz *Slike 6*, svetloba, ki pade na zgornjo polovico belega zaslona, pride iz izvora svetlobe (S), ki predstavlja belo svetlobo, medtem, ko je spodnji del zaslona osvetljen s pomočjo modre, rdeče in zelene komponente bele svetlobe, ki pridejo iz treh različnih

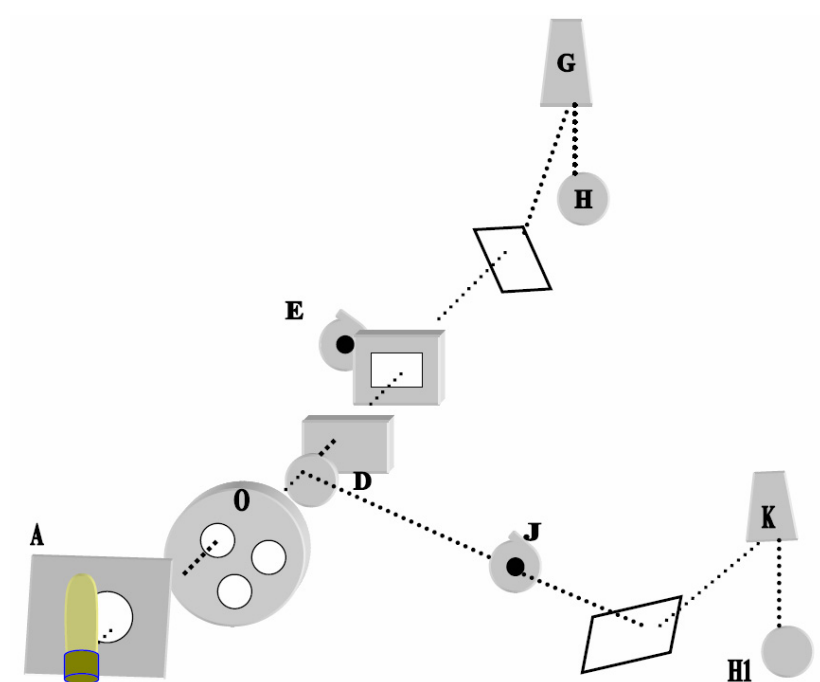
izvorov (R-Red, G-Green, B-Blue). Eno in drugo polovico zaslona opazujemo skozi zaslon skupaj. S pomočjo uravnavanja posameznih komponent lahko na spodnji polovici zaslona dobimo tako barvo, ki je skoraj popolnoma enaka barvi na zgornji polovici zaslona, glede na barvo vzorca katerega želimo (odebeljena črta na zgornji strani zaslona).

S pomočjo primarnih komponent barv RGB lahko primerjamo skoraj vse barve, ampak vedno obstajajo tudi take, ki jih z nobeno kombinacijo primarnih svetlob ne moremo primerjati. To je zaradi tega, ker so te barve bolj zasičene kot barve, ki jih lahko dobimo v kolorimetru. Ta problem rešujemo tako, da barvo, ki smo jo primerjali, osvetlimo s komplementarno svetlobo, ki jo s spodnje strani zaslona premestimo na zgornjo. Tako postane barva manj nasičena in jo lahko primerjamo z mešanico preostalih komponent (*Slika 7*).



Slika 7: Primerjanje nasičenih barv

3.1.2 Fotoelektrični kolorimeter



Slika 8: Princip delovanja fotoelektričnega kolorimetra

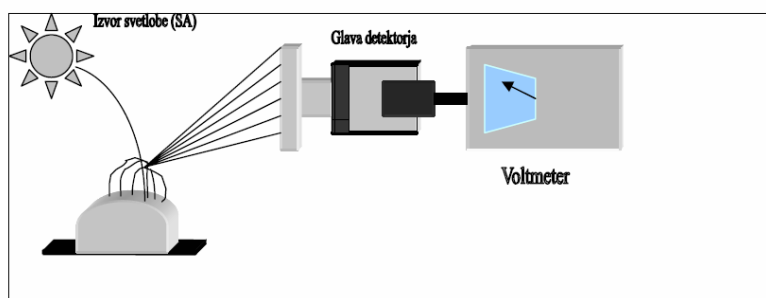
3.1.2.1 Delovanje fotoelektričnega kolorimetra

Svetloba iz žarnice (A) gre skozi filtrski krog in lečo (O) do zrcala (D). Zrcalo je polpropustno, tako da se svetlobni tok deli na dve polovici. Prva polovica vzorca potuje od vzorca (K), druga do referentnega vzorca, oziroma standardnega belega telesa (G). Količino svetlobe, ki pade na vzorce (K) in (G), urejamo s pomočjo zaslonk (E) in (J), odbiti svetlobni tok pa pada na fotocelico (H) in (H1). V računalu se nato vrši primerjanje modeliranih električnih tokov, mi pa lahko na galvanometru odčitavamo vrednosti.

Naprav moramo pred merjenjem ničlari, in sicer na popolnoma belo površino MgO ali BaSO_4 . Šele nato lahko odčitavamo dele primarne komponente na zaslonkah (E) in (J).

3.1.3 Kolorimeter z optičnim sistemom iz optičnih vlaken

Najnovejši kolorimetri delujejo s pomočjo optike iz steklenih vlaken. Merilna glava teh inštrumentov je povsem oddvojena od samega kolorimetra in je zaradi tega premična. To je polkrogla, ki ima sedem odprtih oziroma vhodov, v katere se namestijo optične cevi.



Slika 9: Delovanje kolorimetra z optičnim sistemom iz optičnih vlaken

Ena optična cev povezuje merilno glavo s standardnim izvorom svetlobe SA (oznaka za žarnico, polnjeno s plinom, katera oddaja svetlobo kot črno telo pri 2854 K in sveti pod kotom 90°). Ostalih šest cevi služi za zbiranje reflektirane svetlobe. Nameščene so na merilni glavi pod kotom 45° . V tem primeru gre za difuzno, refleksijsko svetlobo. Z ene in z druge strani teh optičnih cevi se nahajajo korekcijski filtri, ki prilagajajo občutljivost inštrumenta, v primerjavi s spektralno občutljivostjo človeškega očesa. Izhodne optične cevi dovajajo svetlobo v glavo detektorja, katero sestavljata dva cilindra. Notranji je premičen, optične cevi pa so priključene na zunanje. V notranjem cilindru se nahajajo filtri primarnih komponent, ki reflektirano in zbrano svetlobo selektivno absorbirajo in jo pošiljajo do fotopomnoževalke, kjer se pretvori v električni tok, ki premika kazalec na voltmetru.

4 ZAKLJUČEK

Spoznali smo, da obstaja več različnih načinov za opisovanje, vrednotenje in merjenje barv v grafiki. Za uporabo katerekoli izmed naprav za merjenje barv se odločimo na podlagi naših zahtev, potreb in finančnih zmožnosti.

Glede na vse značilnosti je kolorimeter najenostavnejši inštrument za merjenje barv. Pozitivne značilnosti so enostavna zgradba in hitra uporaba, zato je primeren za določanje kakovosti, pa tudi zaznavanje barv je podobno kot pri človeku. Slabe lastnosti pa so slabša dolgoročna ponovljivost, vsebuje samo en svetlobni vir, meri refleksijo/transmisijo/emisijo samo v RGB področju, spektrofotometer pa v celotnem vidnem spektru.

Za bolj natančne meritve uporablja spektrofotometer.

5 VIRI

1. BOŽIČ D., GOLOB D.,... *Interdisciplinarnost barve*. Maribor, 2001
2. GOLOB V., *Barvna metrika*. Maribor, 2001
3. Standardizacija grafičnih procesov (zapiski) – 3. letnik