

Приј.	21. V. 1981		
Орг. јединица	Број	Пријава	Вредност
03	10/28		

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО - МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ
ИНСТИТУТ ЗА ФИЗИКУ

MACKO MILOSLAV

FOTOMETRIJSKE МЕТОДЕ ОДРЕДЈИВАЊА И
ПРОГНОЗИРАЊА БОЈА АУТОРЕПАРАТУРНИХ
ЛАКОВА ПРОИЗВОДЊЕ "HEMPRO" (ШИД)

Мако Милошевић, дипл. инжењер хемије, рођен 1956. у Београду, супружник Јелене, син Јована и Јелене, са којима има ћерку Јелену и сину Јован.

Мако је стекао довољно радног искуства у лабораторији хемије на Физичком факултету у Београду, као и у лабораторији хемије на компанији "Хемпро".

Мако је стекао довољно радног искуства у лабораторији хемије на компанији "Хемпро" у Београду, као и у лабораторији хемије на компанији "Хемпро" у Новом Саду, где је радио као технички радник.

NOVI SAD, 1981.

Zahvaljujem se dr Slobodanu Cariću,
red. prof. PMF-a u Novom Sadu, na svesrd-
noj pomoći koju mi je ukazao tokom izrade
ovog rada.

Zahvaljujem se, takodje, i mr. Jo-
vanu Maleševiću, asistentu PMF-a u Novom
Sadu, na korisnim uputstvima tokom rada.

Veliku zahvalnost dugujem i radnim
ljudima razvojne laboratorije RO "HEMPRO"
u Šidu na pripremi uzoraka i omogućavanju
praktične provere rezultata ovoga rada.

1.1. METODA PEGE I GRESAKA	3
S A D R Ž A J	
1.2. METODA KUBALCI - MULKA	4
1.3.1. Prognozirani rezultati	4
Eksperimentalni rezultati	
U V O D	1
1. PRINCIPI REFLEKSIJE	4
1.1. STANDARDNA ZRAČENJA I IZVORI SVETLOSTI - OSVETLJIVACI	6
1.2. USLOVI OSVETLJAVANJA I POSMATRANJA	8
2. BOJE	10
2.1. KOORDINATE BOJE	12
2.2. REFLEKSIONI SPEKTRI (REMISIONE KRIVE)	14
2.3. ODREDJIVANJE KOORDINATE BOJE	16
2.4. DOMINANTNA TALASNA DUŽINA I ČISTOĆA BOJE	19
2.5. METAMERNE BOJE	21
2.6. SMEŠE BOJA	23
2.6.1. Aditivna smeša boja	24
2.6.2. Supstraktivna smeša boja	26
3. EKSPERIMENTALNE METODE ODREDJIVANJA PARAMETARA	28
3.1. METODA MERENJA	31

4.	MOGUĆNOST KORIŠĆENJA SPEKTARA I PARAMETARA ZA ODREĐIVANJE RECEPTURE	33
4.1.	METODA PROBA I GREŠAKA	33
4.2.	ICI SISTEM SMEŠE BOJA	34
4.3.	METOD KUBELKA-MUNKA	35
4.3.1.	Prognoziranje smeša bojila	38
5.	EKSPERIMENTALNI REZULTATI	43
5.1.	MERENJE I REZULTATI	44
5.1.1.	Uzorak 13.	57
5.1.2.	Uzorak 14.	57
5.1.3.	Uzorak 15.	61
5.1.4.	Uzorak 16.	62
6.	ZAKLJUČAK	69
7.	LITERATURA	76

UVOD

U današnje vreme ubrzanog industrijskog razvoja i sve veće ponude raznih proizvoda na tržištu, kao i ogromne konkurenциje, javlja se potreba da proizvod koji se nudi tržištu bude ne samo kvalitetan i funkcionalan, već i estetski oblikovan prema ukusu potrošača. Ambiciozni proizvodjači poklanjaju veoma veliku pažnju psihologiji potrošača, tako da obimno istražuju ponašanje, potrebe, mogućnosti i želje potrošača. Na osnovu rezultata ovakvih istraživanja oni oblikuju svoje proizvode, pakuju ih i nude tom istom potrošaču. Često, međutim, potrošače za kupovinu pre opredeljuje ambalaža ili boja proizvoda nego njegova funkcionalnost i kvalitet. Zbog toga boja samog proizvoda i ambalaže igra i te kakvu ulogu u njegovom plasiraju. Tako se danas mogu sresti gomile raznobojnih i šarenih reklamnih plakata, letaka, fotografija i panoa i za najbanalnije proizvode. Proizvodjači znaju da upadljivo i lepo obojen plakat ili reklamni letak za propagandu više znači, nego naučni eseji o kvalitetu reklamiranog proizvoda. Zato je boja danas i te kako važan faktor u proizvodnji i prodaji svih vrsta proizvoda - od igle do lokomotive.

O bojama, međutim, i njihovom kombinovanju postoji vrlo oskudna literatura, delimično i zbog toga što ne može biti jasno fizički definisana, ali češće i zbog toga što proizvodjači boja drže u tajnosti svoju tehnologiju pro-

izvoānje. īpak, prvi i pravi razlog pomanjkanja literature iz ove oblasti se može ilustrovati jednim citatom Lorda Kelvina: "Često kažem da kada možete meriti ono o čemu govorite, i možete to izraziti pomoću brojeva, vi nešto o tome znate. Ali kada ono o čemu govorite ne možete izraziti pomoću brojeva, vaše je znanje siromašno i nije zadovoljavajuće; to može biti početak, ali teško da ste u takvom slučaju doprli do stadijuma nauke, bez obzira o čemu se radi."¹

Danas kolorimetrija - nauka o bojama, slično kao i psihofizika, koja se bavi istom problematikom, ima načina da boju pređstavi pomoću brojeva, koji se čak sa više ili manje uspeha mogu eksperimentalno izmeriti. Ovo se može tek naslutiti iz sledeće definicije boje, koju je predložio Komitet za kolorimetriju Američkog optičkog društva: "Boju sačinjavaju one karakteristike svetlosti, koje su drukčije od prostornih i vremenskih nehomogenosti; pod svetlošću se ovde podrazumeva energija zračenja koju prima čovek preko vizuelnih osećaja koji nastaju pobudjivanjem mrežnjače njegovog oka."¹

U gornjem tekstu se više puta spominje reč *boja* i ako se njen značenje uzme u smislu prijašnje definicije onda je ono potpuno određeno. Zbog toga će se u daljem tekstu reč boja koristiti samo u tom smislu, a za raznorazne smeše koje se koriste za bojenje (a koje se kod nas pogrešno nazivaju "boja") će se koristiti reči: bojilo, pigment, premaz, supstraktivna smeša boja itd.

U današnje vreme se boja koristi kao itekako važan faktor u proizvodnji raznih industrijskih proizvoda, što naravno, zahteva dobro poznavanje pigmenata i njihovo mešanje da bi se dobilo bojilo odgovarajuće boje. Kod nas se ovo danas najčešće radi zanatski, onako kako to rade slikari, dodaju se različiti pigmenti u smešu sve dotle dok se ne dobije smeša željene boje. Ovaj posao može da bude, zavisno od kvaliteta pigmenata, rastvarača i punila, kao i iskustva i spretnosti onoga koji to radi, veoma mukotrpan i dugotrajan posao. Cilj ovoga rada će biti da istraži mogućnosti objek-

tivnog određivanja recepture bojila, koristeći se metoda-
ma refleksione spektrometrije. Apsolutno objektivno odredji-
vanje recepture za reprodukciju određenog broja poznate bo-
je a nepoznatog sastava pigmenta je veoma potrebno u indust-
rijama svih vrsta bojila, a naročito u industriji reparatur-
nih bojila, bojila koji se koriste za razne popravke bojnih
premaza, gde je važno da boja starog i novog premaza budu
iste. Najširu primenu ovo može naći kod proizvodjača automo-
bilskih reparaturnih emajla.

Čim je objekat podložen svetlosti koja je
određena od boje, posmatrajući stoga, u cilju upoznavanja, samo
je napravio neku sličicu boje jer je boja svojstvo svetlosti
koja se od njega odvija (reflektouje), koja u sebi sadrži
svetlosti svišta, od boje svetlosti koju je objekat
osamio, a svišta i od svetlosti pod kojom se svetlost
reflektoje. Posadač je da se napravi svetlosni priklik našla-
mka na neku preprostu nastavku, prečišćeni na tri načina, da
uprava svetlosti bliski sporbovom, deo nastavke prečišćen
biva prečišćen, a deo sa odgovarajućom refleksijom. Ako je I_0 -
intenzitet spredne svetlosti, I_1 - intenzitet sporbovane, i
intenzitet prečišćene (transmisivne) I_2 , - intenzitet ref-
leksije svetlosti, tada je svih ovih proporcija neke:

$$A + T + R = 1$$

gdje je $A = I_2/I_0$ - koeficijent absorpcije, $T = I_1/I_0$ - koefi-
cijent transmisije i $R = I_0/I_0$ - koeficijent refleksije ili
reflektancije (ovl. koeficijenti su samo nazivavni preostali), iako je intenzitet svetlosti razlikan od svetlosti duži-
ne, prečišćeni su sa svim koeficijentima razvijeni od telesne

1. PRINCIPI REFLEKSIJE

Nejedna članina slike ne može biti dobijena bez refleksije svetlosti, a to je učinak na koji se odnosi, dobro, pripisuju delu nauke koji se bavi reflektivnim i reflektivno-simetričnim oblikima spektralne slike (300-700 nm).

Principi ove pojave su u skladu sa zakonom mogu postaviti.

Čovek sve objekte vidi pomoću svetlosti koja se odbije od njih. Posmatrajmo stoga, u cilju uprošćenja, samo neprovidna tela. Prema napred navedenoj definiciji boje, nije ispravno telu pripisati boju jer je boja svojstvo svetlosti koja se od njega odbije (reflektuje). Boja reflektovane svetlosti zavisi, pre svega, od boje svetlosti kojom je objekat obasjan, a zatim i od uslova pod kojima se svetlost reflektuje. Poznato je da se upadna svetlost prilikom nailaska na neku prepreku nastavlja prostirati na tri načina: deo upadne svetlosti biva apsorbovan, deo nastavlja prostiranje - biva propušten, a deo se od prepreke reflektuje. Ako je I intenzitet upadne svetlosti, I_A - intenzitet apsorbovane, I_T intenzitet propuštene (transmitovane) i I_R - intenzitet reflektovane svetlosti, tada za njih važi Draperov zakon:

$$I = I_A + I_T + I_R$$

ili

$$A + T + R = 1$$

gde je $A = I_A/I$ - koeficijent apsorpcije, $T = I_T/I$ - koeficijent transmitancije i $R = I_R/I$ - koeficijent refleksije ili reflektancija (ovi koeficijenti se često izražavaju procentualno). Pošto je intenzitet svetlosti zavisao od talasne dužine, proizilazi da su i ovi koeficijenti zavisni od talasne

dužine, što znači da je i koeficijent refleksije zavisan od talasne dužine reflektovane svetlosti. S ovog stanovišta ne postoji telo koje reflektuje samo uzan deo spektra (monohromatsku svetlost), nego, naprotiv, većina tela reflektuje svetlost iz čitavog vidljivog dela spektra (380 - 770 nm), nasuprot hromofora koji reflektuju uzan deo spektra. Metodi kojima eksperimentalno određujemo reflektanciju za bilo koju talasnu dužinu, pripadaju delu nauke koji se zove refleksiona spektrofotometrija.

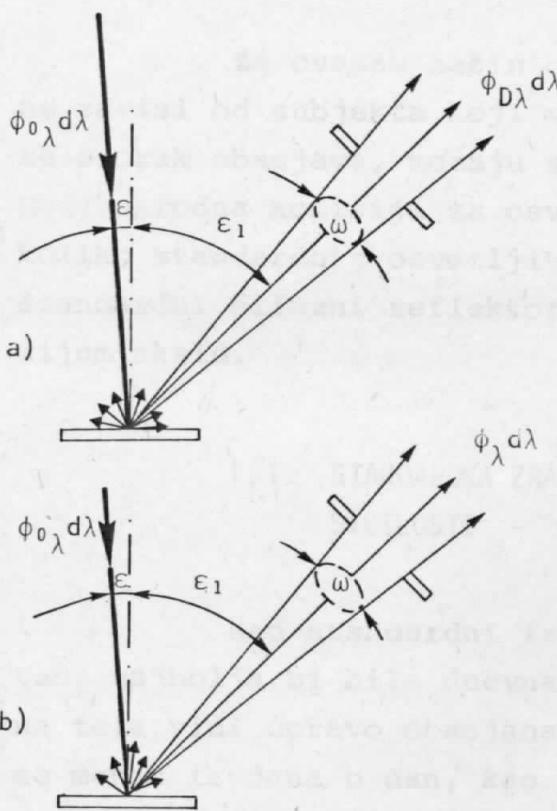
U principu se pred ovakva merenja mogu postaviti dva raznorodna zahteva:

1. Izmeriti fluks odbijene svetlosti u absolutnim jedinicama,

2. Uporediti fluks reflektovan na ispitivanom objektu sa fluksom reflektovanim na nekom standardnom uzorku i

izraziti ga procentualno. Eksperiment se može zadovoljavajuće izvesti za oba ova zahteva, ali je mnogo jednostavnije meriti i interpretirati relativnu reflektanciju, pa će ovde takva metoda i biti korišćena.

Na slici 1.1.² je predstavljena principijelna šema određivanja apturnog spektralnog koeficijenta refleksije. Potrebno je prvo svetlošću iz stabilnog izvora obasjati idealan standard fluksom $\phi_0 \lambda d\lambda$ pod malim upadnim uglom ϵ i izmeriti reflektovani fluks $\phi_D \lambda d\lambda$ (slika 1.1.a.), a zatim pod istim uslovima obasjati ispitivani uzorak i izmeriti reflektovan fluks $\phi_\lambda d\lambda$ u prosto-



Slika 1.1.: a) idealni difuzni reflektor (standard, b) mereni uzorak

rnom uglu ω . Tada je

$$\beta = \frac{\phi_{\lambda}^{(\omega)} d\lambda}{\phi_{D\lambda}^{(\omega)} d\lambda} \quad (1.1.)$$

apretorni spektralni koeficijent refleksije. Ovaj koeficijent očigledno zavisi od ugla posmatranja ϵ_1 i prostornog ugla ω zahvaćenog merenjem. Ako ugao ω teži nuli, tada apretorni spektralni koeficijent refleksije prelazi u koeficijent sjaja, a ako ω teži polusferi ($\omega \rightarrow 2\pi$), tada apretorni spektralni koeficijent refleksije prelazi u spektralni koeficijent refleksije - reflektanciju, pa se obeležava sa $R(\lambda)$. Možemo, dakle pisati:

$$R(\lambda) = \frac{\phi_{\lambda}^{(\omega=2\pi)} d\lambda}{\phi_{D\lambda}^{(0)} d\lambda} \quad (1.2.)$$

Za ovakav način određivanja reflektancije, da ne zavisi od subjekta koji vrši merenje i svetlosti kojom se uzorak obasjava, moraju se uvesti određeni standardi. Međunarodna komisija za osvetljavanje (ICI) je odredila nekoliko standardnih osvetljivača. Takodje je potrebno imati standardni difuzni reflektor - koristi se tabletirani magnezijum oksid.

1.1. STANDARDNA ZRAČENJA I IZVORI SVETLOSTI - OSVETLJIVAČI

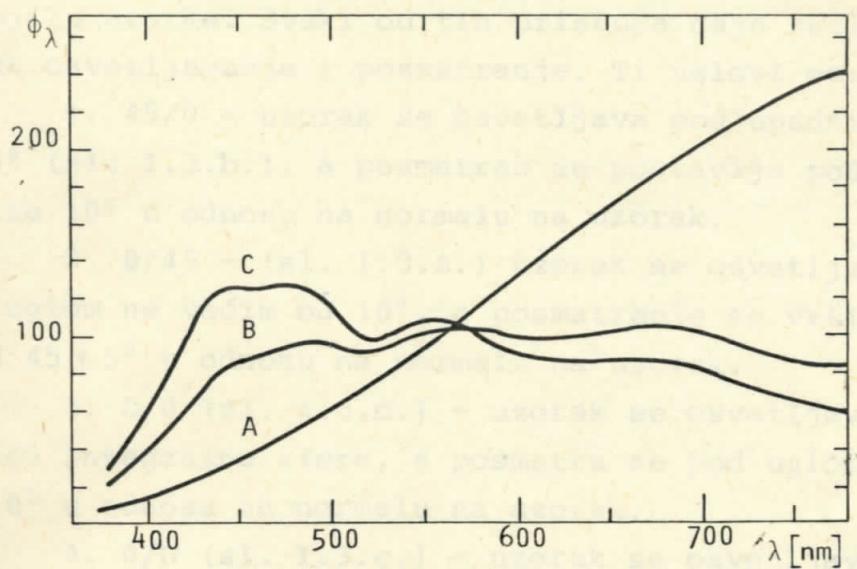
Kao standardni izvor svetlosti, očnosno osvetljivač, najbolja bi bila dnevna svetlost zbog toga što se većina tela vidi upravo obasjana tom svetlošću. No ova svetlost se menja iz dana u dan, kao i sa mesta na mesto i uz to je nepodobna za korišćenje u spektrofotometriji. Zbog svega ovega potrebno je uvesti izvor svetlosti koji bi bio najpribližniji srednjem dnevnom svetlu. Ovakav izvor, jasno je, ne može se napraviti, ali postoje njemu slični.

Zna se da najpovoljniju spektralnu raspodelu u pođručju vidljivog dela spektra daje absolutno crno telo, no na žalost i njega je nemoguće ostvariti, ali neka užarena tela imaju spektralnu raspodelu emitovane svetlosti vrlo sličnu spektralnoj raspodeli crnog tela, koju je dao Plank. Sijalica sa užarenom volframovom niti daje svetlost gotovo iste spektralne raspodele kao i crno telo, samo što je stvarna temperatura niti nešto niža od temperature koju bi za takvu raspodelu imalo absolutno crno telo. Zbog ovoga je korisno uvesti pojам *temperatura bele svetlosti* - kolor temperaturu. Ovo je temperatura pri kojoj je odnos intenziteta zračenja crnog tela za dve dovoljno različite talasne dužine (najčešće iz plavog i crvenog dela spektra) isti kao i u spektru date svetlosti.²

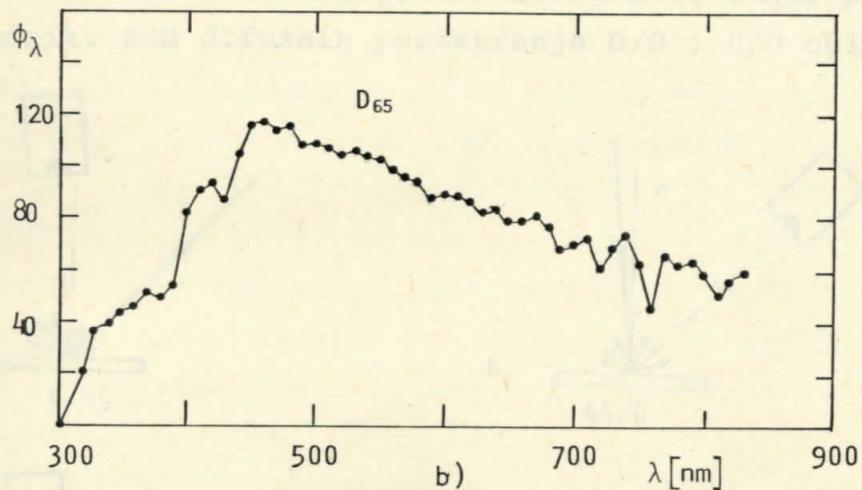
Izvor svetlosti koji je ICI uvela kao standard još 1931. godine je gasom punjena sijalica sa užarenom niti čija je kolor temperatura 2852 K. Ovaj izvor se obeležava sa A. Zračenje ove sijalice odgovara zračenju absolutno crnog tela na temperaturi 2856 K. Kasnije su uvedeni i drugi izvori: B - zrači svetlost koja odgovara direktnom sunčevom zračenju, kolor temperature 4870 K, C - zrači svetlost koja odgovara dnevnoj svetlosti, kolor temperature 6770 K.

Danas se, međutim, najviše koristi standardan izvor svetlosti koji je ICI označila sa D₆₅. Njegova kolor temperatura je 6500 K, što odgovara svetlosti absolutno crnog tela na približno 6504 K. Ovakav izvor daje svetlost koja je ista kao i zbirna svetlost neba i sunca, koja pada na horizontalnu ravan. Na slici 1.2. su date spektralne raspodele izvora A, B, C i D₆₅ iz vidljivog spektra.

Svetlosni intenzitet $I(\lambda)$ za svaki od gore navedenih izvora je izmeren i može se naći u tablicama literaturе koja se bavi ovom problematikom.



a)



b)

Slika 1.2.: a) Spektralne raspodele izvora A, B i C,
b) Spektralna raspodela izvora D₆₅

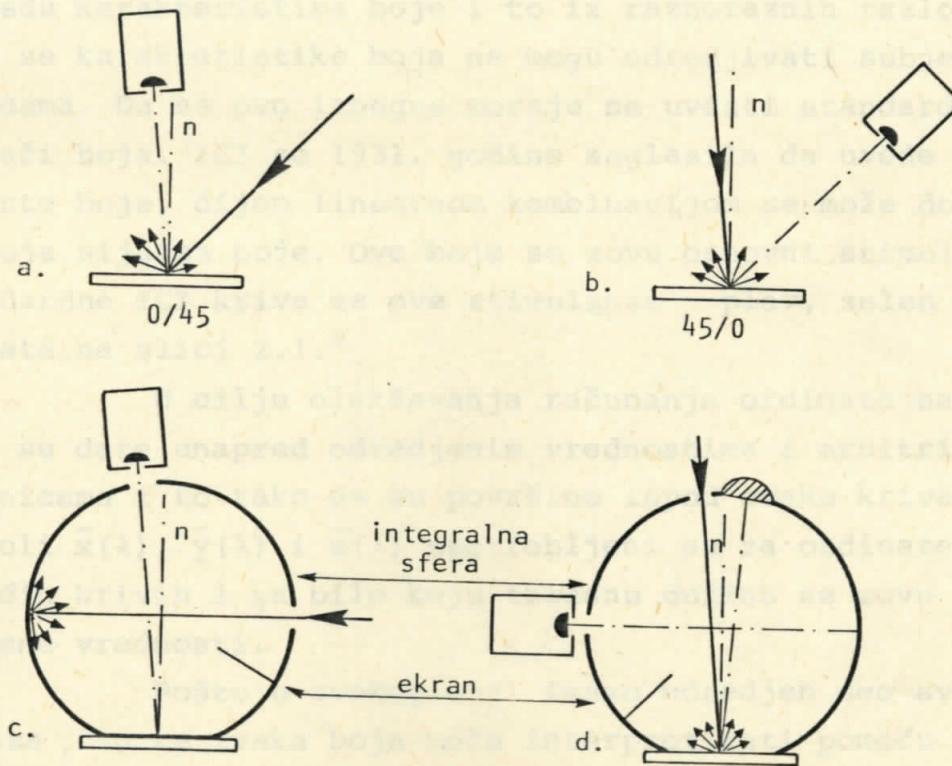
1.2. USLOVI OSVETLJAVANJA I POSMATRANJA

Za određivanje kolorimetrijskih karakteristika neprozirnih uzoraka ICI je uvela četiri različita pristupa

problemu, zavisno od izgleda uzorka i veličine zrna pigmenata u bojilu uzorka. Svaki od tih pristupa daje različite uslove za osvetljavanje i posmatranje. Ti uslovi su:

1. 45/0 - uzorak se osvetljava pod upadnim uglom $45 \pm 5^\circ$ (sl. 1.3.b.), a posmatrač se postavlja pod uglom od najviše 10° u odnosu na normalu na uzorak.
2. 0/45 - (sl. 1.3.a.) uzorak se osvetljava pod upadnim uglom ne većim od 10° , a posmatranje se vrši pod uglom od $45 \pm 5^\circ$ u odnosu na normalu na uzorak.
3. D/0 (sl. 1.3.d.) - uzorak se osvetljava difuzno pomoću integralne sfere, a posmatra se pod uglom ne većim od 10° u odnosu na normalu na uzorak.
4. 0/D (sl. 1.3.c.) - uzorak se osvetljava pod uglom ne većim od 10° , a odbijena svetlost se skuplja pomoću integralne sfere.²

Ni u jednom od ova četiri slučaja ugao konusa kojim se uzorak osvetljava ili posmatra ne sme biti veći od 10° . Za uslove 3. i 4. integralna sfera može imati proizvoljan prečnik. Kod difuznih posmatranja D/0 i 0/D oblik i po-



Slika 1.3.

ložaj uzorka menjaju rezultate eksperimenta, pa stoga treba paziti da se prilikom ovakvih merenja održavaju stalni geometrijski uslovi.

Važno je primetiti da uslovi 0/45 i 0/D daju istovremeno difuzno i ogledalsko odbijanje, i zbog toga se koriste za posmatranje velikih uzoraka (u kolor štampi). Uslov D/0 daje rezultate samo za difuzno odbijenu svetlost i zato je pogodan za fotometrijsko snimanje spektara koje odbijaju uzorci kod kojih su obojenost uslovili sitna zrna (bojadisarstvo, lakovi, emajli, fotografija itd.). Zbog toga će ovaj uslov u eksperimentalne svrhe u ovom radu i biti korišćen.

2. BOJE

Ako bi jedan obojeni uzorak, recimo, pokazali nekolicini ljudi, svako od njih bi najverovatnije o boji tog uzorka imao drugačije mišljenje i dao različite karakteristike te boje. Dakle, ljudsko oko i psiha su velike "varalice" u pogledu karakteristika boje i to iz raznoraznih razloga. Zbog toga se karakteristike boja ne mogu određivati subjektivnim metodama. Da se ovo izbegne moraju se uvesti standardni posmatrači boja. ICI se 1931. godine saglasila da uvede tri komponente boje, čijom linearnom kombinacijom se može dobiti bilo koja nijansa boje. Ove boje se zovu osnovni stimulansi. Standardne ICI krive za ove stimulanse - plav, zelen i crven su date na slici 2.1.²

U cilju olakšavanja računanja ordinate na slici 2.1. su date unapred određenim vrednostima i arbitriranim jedinicama i to tako da su površine ispod svake krive jednake. Simboli $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$ upotrebljeni su za ordinate odgovarajućih krivih i za bilo koju talasnu dužinu se zovu tristimulusne vrednosti.

Pošto u svakoj boji imamo određen deo svakog stimulusa, to se svaka boja može interpretirati pomoću tri tristimulusne vrednosti. Ovo, međutim, otežava posao jer je za

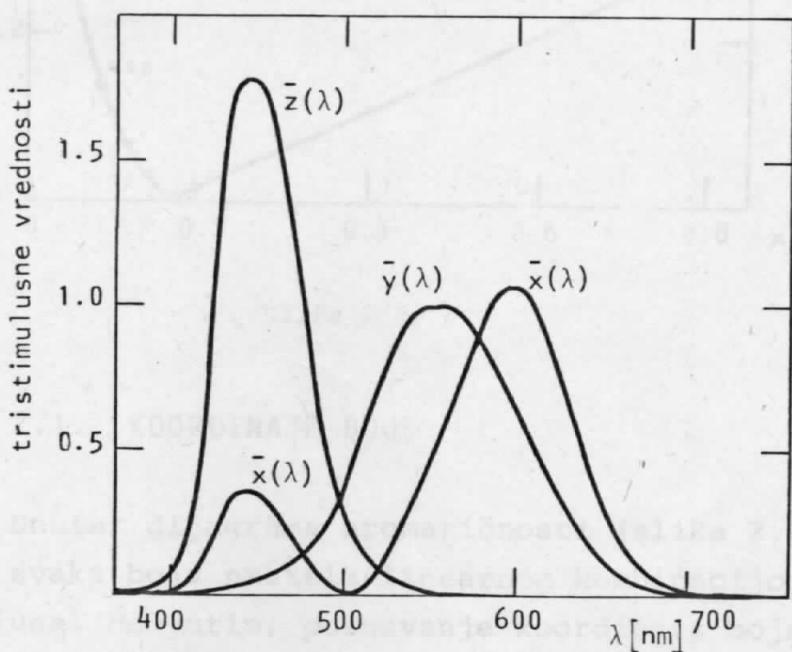
grafičko predstavljanje boje pomoću tristimulusnih vrednosti potreban trodimenzionalan dijagram. Da se izbegnu ove teškoće uvode se tri nove veličine pogodnom transformacijom:

$$\begin{aligned}x(\lambda) &= \frac{\bar{x}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \\y(\lambda) &= \frac{\bar{y}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)} \\z(\lambda) &= \frac{\bar{z}(\lambda)}{\bar{x}(\lambda) + \bar{y}(\lambda) + \bar{z}(\lambda)}\end{aligned}\quad (2.1.)$$

Veličine $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ i $z(\lambda)$ se zovu trihromatski koeficijenti boje. Iz gornjih transformacija se vidi da je

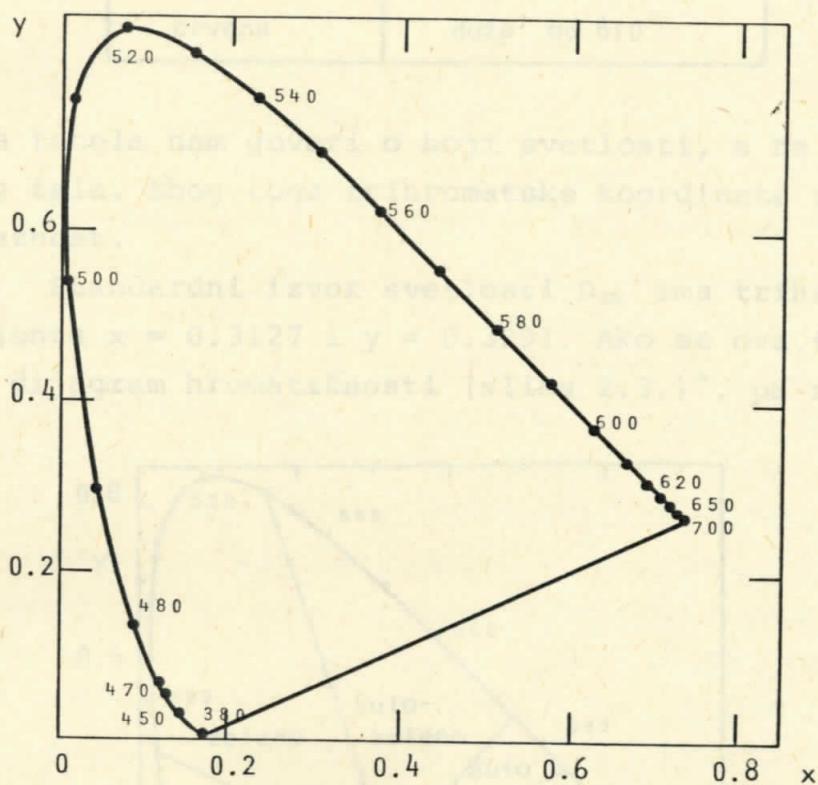
$$x(\lambda) + y(\lambda) + z(\lambda) = 1$$

što znači da su za određivanje neke boje dovoljna samo dva



Slika 2.1.

od tri trihromatska koeficijenta. Za grafičko predstavljanje boje se najčešće uzimaju trihromatski koeficijenti $x(\lambda)$ i $y(\lambda)$. Za standardnog posmatrača I C I 1931. se ove vrednosti mogu naći tabelarno sredjene. Ako se, dakle, nacrti dijagram tako da se na apscisu nanosi trihromatski koeficijent $x(\lambda)$, a na ordinatu $y(\lambda)$, dobija se dijagram hromatičnosti ili *kolorni dijagram standardnog posmatrača* (slika 2.2.).



Slika 2.2.

2.1. KOORDINATE BOJE

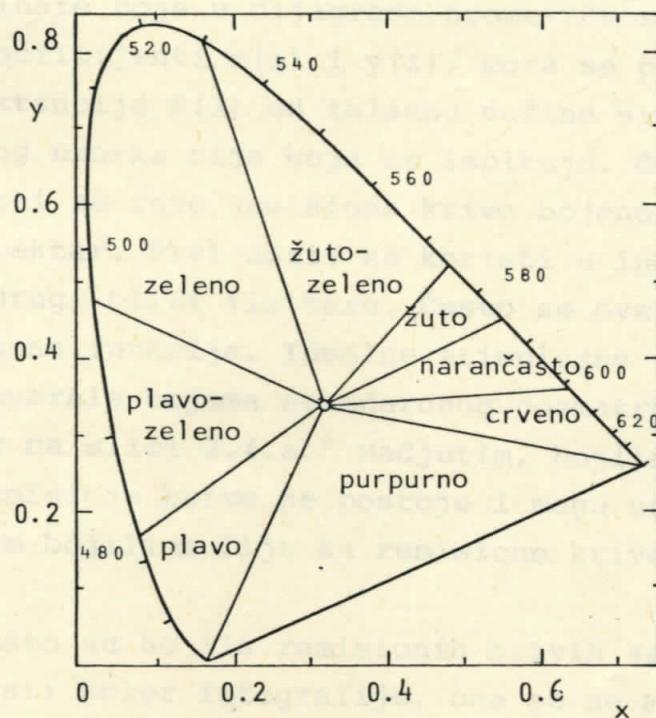
Unutar dijagrama hromatičnosti (slika 2.2.) se može naći svaka boja nastala linearnom kombinacijom osnovnih stimulusa. Međutim, poznavanje koordinata boje bez unošenja u dijagram nam o hromatičnosti te boje veoma malo govori. Laički posmatrano, skloni smo uvek tvrditi da je

ona određena isključivo talasnom dužinom određenog dela spektra, pa onda bojama dajemo imena prema sledećoj tabeli:

Ime boje	Talasna dužina $\lambda [nm]$
ljubičasta	kraće od 450
plava	450 do 500
zelena	500 do 700
žuta	570 do 590
narandžasta	590 do 610
crvena	duže od 610

Ali, ova tabela nam govori o boji svetlosti, a ne i o boji obijenog tela. Zbog toga trihromatske koordinate imaju izuzetnu važnost.

Standardni izvor svetlosti D₆₅ ima trihromatske koeficijente $x = 0.3127$ i $y = 0.3291$. Ako se ova tačka ucrtava u dijagram hromatičnosti (slika 2.3.)³, pa zatim



Slika 2.3.

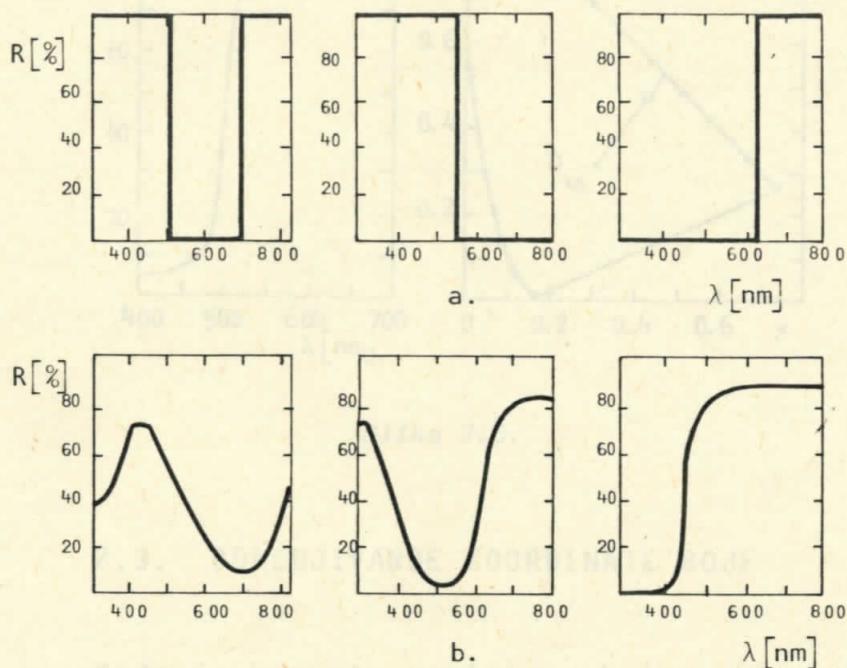
te tačke povuku duži do tačaka na krivoj hromatičnosti, koje dele boje spektra, dobija se dijagram hromatičnosti obojenog tela. Ovakvim dijagramom su sada obuhvaćene sve moguće nijanse boje. Na slici su ispisani i uobičajeni nazivi boja.

Iz ove slike se istovremeno vidi da obojeno telo može imati i boju koja se ne sreće u vidljivom delu spektra elektromagnetskog zračenja - to je tzv. purpurna boja. Linja purpura u dijagramu hromatičnosti zatvara krivu tako što spaja tačke najmanje i najveće talasne dužine.

2.2. REFLEKSIONI SPEKTRI (REMISIONE KRIVE)

Iz prethodnog izlaganja se vidi da svaka boja može da se predstavi tačkom na hromatskom dijagramu i ta tačka će uvek biti unutar krive hromatičnosti. Što je ova tačka bliža tački D₆₅ ton boje je prigušeniji (zagasitiji) a što je bliža krivoj, boja je svetlijia. Da bi se, međutim, našle koordinate boje u dijagramu hromatičnosti, tj. tri-hromatski koeficijenti $x(\lambda)$ i $y(\lambda)$, mora se poznavati zavisnost reflektancije $R(\lambda)$ od talasne dužine svetloti odbijene sa bojenog uzorka čija boja se ispituje. Grafički prikaz ove zavisnosti se zove remisiona kriva bojenog tela ili refleksioni spektar. Prvi naziv se koristi u industriji bojila, dok je drugi bliži fizičaru. Često se ovaj spektar naziva stimulusna funkcija. Idealne stimulusne funkcije boja koje bi odgovarale bojama standardnog posmatrača (sl. 2.1.) prikazane su na slici 2.4.a.⁴ Međutim, bojila koja bi imala ovakve remisione krive ne postoje i mogu se zameniti sa nekim realnim bojilima čije su remisione krive date na slici 2.4.b.¹

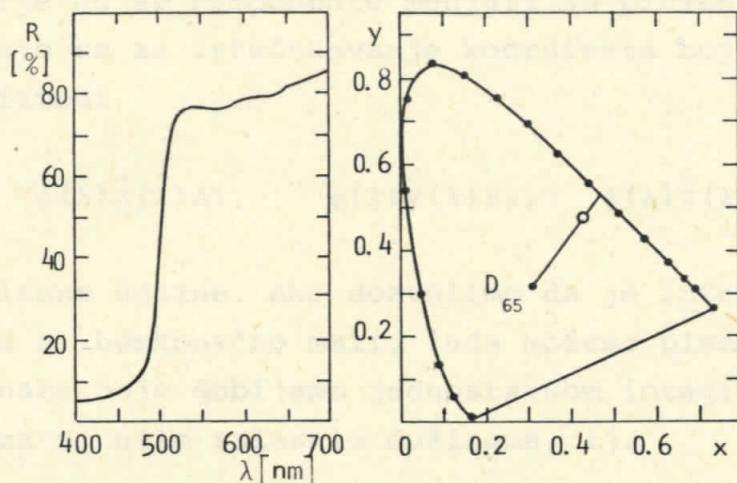
Pošto su bojila remisionih krivih sa slike 2.4.b. uzeta iz oblasti kolor fotografije, ona se ne mogu koristiti u štampi i proizvodnji pigmenata za bojila, a nemoguće je napraviti hemijsko jedinjenje koje bi bilo pogodno za ovo i



Slika 2.4.

imalo neku od ovih remisionih krivih, to se proizvodjači snalaze tako što proizvode najmanje deset osnovnih pigmenta, koji mogu kombinovanjem dati ono što daju tri osnovna stimulansa. Primer remisione krive i dijagrama hromatičnosti realnog žutog brojila koje se koristi u štampi može se uzeti iz knjige: F.W. Sears, Optika, sl. 14.8, str. 284, i prikazan je na slici 2.5.

Kao primeri refleksione spektara i trihromatskih dijagrama realnih pigmenta koje za proizvodnju autoreparativnih emajla koristi RO "Hempro", Šid mogu se dati slike 5.1. - 5.12 i slika 5.17.



Slika 2.5.

2.3. ODREĐIVANJE KOORDINATE BOJE

Kada je poznata remisiona kriva nekog obojenog tela, odnosno zavisnost relativne reflektancije od talasne dužine, može se pristupiti izračunavanju koordinate boje. Pošto je za standardan izvor usvojen D_{65} za dalje izračunavanje je potrebno poznavanje relativne spektralne raspodele energije $I(\lambda)$ ovog izvora. U ovom slučaju funkcija $I(\lambda)$ predstavlja spektralni svetlosni fluks koji pada na jedinicu površine uzorka unutar malog intervala talasne dužine $\Delta\lambda$ koji sadrži talasnu dužinu λ . Spektralni svetlosni fluks koji tada dolazi do oka posmatrača se može predstaviti sa

$$\phi(\lambda)\Delta\lambda = R(\lambda)I(\lambda)\Delta\lambda \quad (2.2.)$$

što se može zaključiti iz relacije (1.1.). Ova relativna spektralna raspodela energije određuje boju tela koje nema osobinu da i samo svetli. Koordinate boja svakog spektralnog stimulansa talasne dužine λ u istoenergetskom spektru su date funkcijama $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$ u zavisnosti od stimulusa posmatrača. Spektralne komponente $\phi(\lambda)\Delta\lambda$ ispitivanih uzoraka

po pravilu neće obrazovati istoenergetski spektar, nego spektar čije će se komponente menjati sa promenom talasne dužine. Zato se za izračunavanje koordinata boja moraju uzeti proizvodi

$$\phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda, \quad \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda, \quad \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

za sve talasne dužine. Ako dozvolimo da je interval talasnih dužina $\Delta\lambda$ beskonačno mali, tada možemo pisati $\Delta\lambda = d\lambda$, pa koordinate boje dobijamo jednostavnom integracijom gornjih izraza po svim talasnim dužinama, tj.

$$x = k \int \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$y = k \int \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.3.)$$

$$z = k \int \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

gde je k konstanta normiranja i iznosi

$$k = \frac{1}{\int I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda} \quad (2.4.)$$

Ovde se trihromatski koeficijenti izračunavaju pomoću izraza (2.1.). Teškoće primene ovog postupka se javljaju u tome što se integracija integrala (2.3.) vrši teško zbog nepoznavanja analitičkog izraza za $\phi(\lambda)$, te se zato pribegava sumiranju, koje može biti veoma komplikovano, ali na današnjem stupnju razvoja računskih mašina vrši se dosta brzo. Naime, ako se $R(\lambda)$ menja glatko, bez oštrih skokova, tada se ceo spektar može podeliti na proizvoljan broj intervala talasnih dužina $\Delta\lambda$ tako da unutar svakog od tih intervala imamo konstantnu reflektanciju $R(\lambda)$. Ovakvom podelom se integrali (2.3.) mogu predstaviti sumama:

$$\begin{aligned} X &= k \sum_{\lambda} \phi(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta \lambda \\ Y &= k \sum_{\lambda} \phi(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta \lambda \\ Z &= k \sum_{\lambda} \phi(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta \lambda \end{aligned} \quad (2.5.)$$

gde je

$$k = \frac{1}{\sum_{\lambda} I(\lambda) \bar{Y}(\lambda) \Delta \lambda} \quad (2.6.)$$

Ovaj metod izračunavanja boja se zove, *metod izabranih koordinata*.⁴ Ovaj metod se primenjuje samo kada su funkcije $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$ standardnog posmatrača, zatim energija svetlosti $I(\lambda)$ i reflektancija $R(\lambda)$ date u istim intervalima zavisnosti od talasne dužine. Ponekad interval $\Delta \lambda$ mora biti 1 nm, a ponekad je dovoljno da on bude i 5 nm, pa čak i 10 nm. Podaci za tristimulusne funkcije i spektralnu energiju standardnog osvetljivača su sredjeni u kolorimetrijskim tablicama² ali najteže je naći tablice gde su ove vrednosti date u intervalima talasne dužine od 1 nm. Jasno je da je ovde $R(\lambda)$ eksperimentalni podatak koji se za svaki uzorak snima pogodnom metodom.

Kada su na ovaj način izračunate koordinate boje X , Y i Z , sada se trihromatski koeficijenti računaju pomoću transformacija koje su već prikazane, samo sada sa drugim vrednostima:

$$\begin{aligned} x &= \frac{X}{X + Y + Z} & y &= \frac{Y}{X + Y + Z} \\ z &= \frac{Z}{X + Y + Z} \end{aligned} \quad (2.7.)$$

2.4. DOMINANTNA TALASNA DUŽINA I ČISTOĆA BOJE

Kao što je već rečeno, samim poznavanjem boje u hromatskom dijagramu o karakteristikama te boje se ne zna mnogo, ali se na osnovu položaja tačke (boje) u dijagramu hromatičnosti mogu odrediti dve karakteristike, koje uz poznavanje reflektancije, u potpunosti određuju boju posmatranog uzorka. Te dve karakteristične veličine su dominantna talasna dužina boje i čistoća boje.

Ako u dijagramu hromatičnosti, u kome je ucrtan položaj upotrebljenog standardnog posmatrača (D_{65}) i položaj boje, povučemo pravu (liniju dominantne talasne dužine) koja spaja ove dve tačke i produžimo je do krive hromatičnosti, mesto na kojem se sekutice ove dve linije imaju odredjenu vrednost talasne dužine. Ova talasna dužina se naziva *dominantna talasna dužina te boje*. Na primer, sa slike 2.5. se vidi da je dominantna talasna dužina te žute boje $\lambda_d = 573.2 \text{ nm}$.

Ovakav postupak za određivanje dominantne talasne dužine boje se može primeniti za svaku boju. Međutim, za boje u purpurnom delu dijagrama hromatičnosti (slika 2.3.) se ne može očitati dominantna talasna dužina, pa se prava koja prolazi kroz dve opisane tačke produžava na drugu stranu sve dok ne preseče krivu hromatičnosti. Talasna dužina ovog preseka se sada uzima kao dominantna talasna dužina, s tim što se kaže da je to "minus" boja. Očigledno je da je upravo svetlost te talasne dužine najintenzivnije apsorbovana u posmatranom uzorku. Ovo je ilustrovano primerom na slici 2.6.¹ za crvenu boju. Dominantna talasna dužina ove boje je $\lambda_d = 494.3 \text{ nm}$, i to je boja "minus" zelena, ili kako se ona inače zove - magenta.

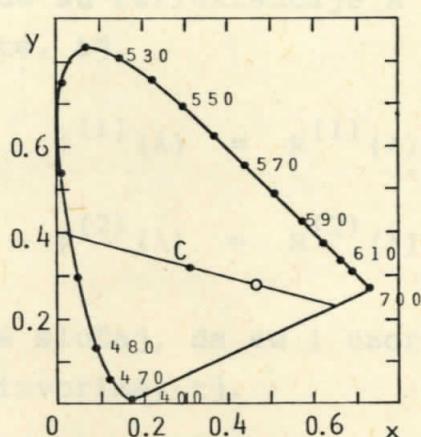
Sa druge strane, sve tačke koje leže na duži izmedju tačke standardnog posmatrača i tačke njenog preseka sa dijagramom hromatičnosti predstavljaju moguće smeše bele boje i boje koja bi bila u tački preseka. Prema tome, što je tačka

bliža krivoj, u njoj je veći udeo te spektralne boje, a što je tačka bliža tački standardnog posmatrača, veći je udeo ahromatske - bele ili crne boje. Eksplicitno izražen udeo spektralne boje u smeši se zove čistoća boje i može se izračunati kao odnos rastojanja tačke boje od tačke standarda i rastojanja tačke standarda od tačke preseka. Ovo je, međutim, skopčano sa veoma preciznim crtanjem i merenjem rastojanja, pa se ovo malo modifikuje. Neka su x, y koordinate tačke boje, x_λ, y_λ koordinate tačke dominantne boje (tj. tačke preseka) i x_s, y_s koordinate standarda, tada se čistoća boje može izračunati na sledeći način

$$p = \frac{x - x_s}{x_\lambda - x_s} = \frac{y - y_s}{y_\lambda - y_s} \quad (2.8.)$$

Čistoća boje se često izražava pomoću procenata i u tom slučaju treba desnu stranu izraza (2.8.) pomnožiti sa 100% (tabela 5.2.).

Sa prethodno definisanim veličinama je, dakle, boja potpuno odredjena, ali je evidentno da se ona može odrediti na dva načina, i to: bilo veličinama x, y, Y , bilo veličinama λ_d, p, Y , s tim što se veličina Y (svetlina boje) često izražava u procentima. U tom slučaju treba i normirajući faktor k (2.6.) izraziti u %.



Slika 2.6.

2.5. METAMERNE BOJE

Često se dešava da dve boje koje imaju različite refleksione spektre (remisione krive) zbog sumiranja (2.5.) imaju iste koordinate u cijagramu hromatičnosti. Naime, sasvim je realno predpostaviti da će za dve različite boje biti

$$\begin{aligned} \int \phi^{(1)}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda &= \int \phi^{(2)}(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\ \int \phi^{(1)}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda &= \int \phi^{(2)}(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \quad (2.9.) \\ \int \phi^{(1)}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda &= \int \phi^{(2)}(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

gde su $\phi^{(1)}(\lambda)$ i $\phi^{(2)}(\lambda)$ spektralne raspodele energije dve boje, a $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ i $\bar{z}(\lambda)$ poznate stimulusne funkcije posmatrača (standarda). Do ove pojave može doći i zato što su uzorci osvetljeni različitim izvorima, tj.

$$\begin{aligned} \phi^{(1)}(\lambda) &= I^{(1)}(\lambda) \\ \phi^{(2)}(\lambda) &= I^{(2)}(\lambda) \quad (2.10.) \end{aligned}$$

ili što je češće, da su reflektancije $R^{(1)}(\lambda)$ i $R^{(2)}(\lambda)$ za dva uzorka različite, tj.

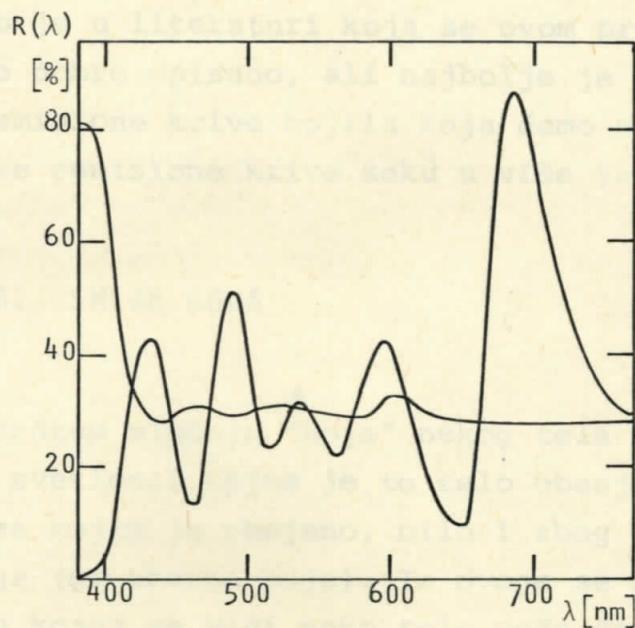
$$\begin{aligned} \phi^{(1)}(\lambda) &= R^{(1)}(\lambda)I(\lambda) \\ \phi^{(2)}(\lambda) &= R^{(2)}(\lambda)I(\lambda) \quad (2.10.1) \end{aligned}$$

ili što je najredje slučaj, da su i uzorci različiti i osvetljeni različitim izvorima, tj.

$$\begin{aligned}\phi^{(1)}(\lambda) &= R^{(1)}(\lambda) I^{(1)}(\lambda) \\ \phi^{(2)}(\lambda) &= R^{(2)}(\lambda) I^{(2)}(\lambda)\end{aligned}\quad (2.10.2)$$

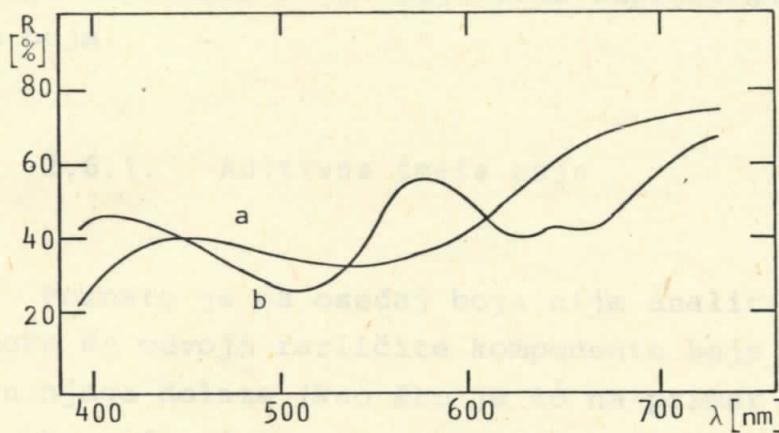
Uzorci opisani relacijom (2.10.) su uglavnom luminiscentni uzorci, a uzorci opisani relacijom (2.10.2) se u praksi izbegavaju, pa se zbog toga u daljem razmatranju zastavimo na uzorcima koji su opisani relacijama (2.10.1).

Dve boje koje imaju različite remisione krive, a iste koordinate u hromatičnom dijagramu su samo uslovno jednake. Ovakve, uslovno jednake boje se zovu *metamerne boje*. Primer metamernih boja je dat na slici 2.7. - dve hipotetične metamerne boje na slici a., i dve takodje hipotetičke boje, ali takve da se slični primjeri mogu sresti i u praksi na slici b.²



Slika 2.7.a

U praksi se još nikada nije javio par metamernih boja kao na slici 2.7.a. i najčešće se kao metamerne boje javljaju boje čije se remisione krive seku u tri tačke (slika 2.7.b.).



Slika 2.7.b.

Ovaj problem metamernosti se javlja kao veoma ozbiljan u pravljenju potrebnih smeša bojila za dobijanje uzoraka čiji refleksioni spektri daju jasne - nemetamerne boje. Pri pravljenju smeša bojila se metamernost može otkloniti, što je u literaturi koja se ovom problematikom bavi prilično dobro opisano, ali najbolje je da se, ako unapred znamo remisione krive bojila koja ćemo mešati, uzmu bojila čije se remisione krive sekut u više tačaka.²

2.6. SMEŠE BOJA

U opštem slučaju "boja" nekog tela može da zavisi bilo od boje svetlosti kojom je to telo obasjano, bilo od "boje" premaza kojim je obojeno, bilo i zbog jednog i zbog drugog razloga (metamerne boje). Iz ovoga se nameće zaključak da boja u kojoj se vidi neko telo može da se dobije na dva načina: a. - da se telo istovremeno osvetli svetlošću različitih izvora (recimo svetlošću osnovnih stimulusa (sl. 2.1.) u izabranim odnosima, i b. - da se telo oboji smešom bojila koja imaju različite refleksione spekture (recimo bojilima sa slike 2.4.) u pogodnim odnosima. Za boju tela u slučaju a. kažemo da je aditivna smeša osnovnih stimulusa,

a u slučaju b. kažemo da je boja tela supstraktivna smeša osnovnih boja.

2.6.1. Aditivna smeša boja

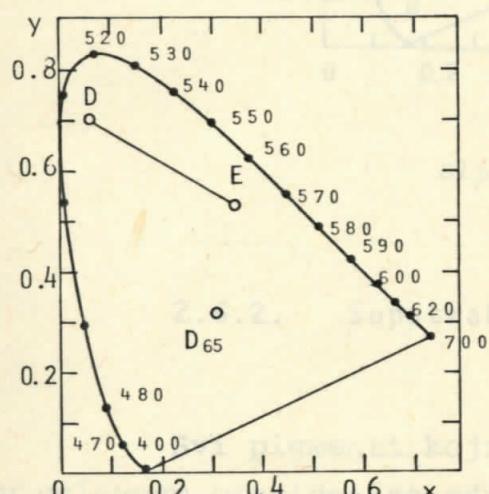
Poznato je da osećaj boja nije analitički. Naime, oko ne može da odvoji različite komponente boje koje istovremeno u njega dolaze (kao što je to na primer slučaj sa uhom i zvukom: dva istovremena različita zvučna tona uho će uvek čuti kao dva različita, čak i ako se čuju istovremeno, a ne srednji ton koji bi nastao slaganjem ova dva). Zbog toga se telo obasjano istovremeno sa više različitih svetlosnih izvora (više stimulusa) vidi u svetlosti odbijenoj od njega, koja istovremeno sadrži boje svih stimulusa, ali u jednoj smeši. Ova smeša se zove *aditivna smeša boja*.¹

Ako se uzmu tri izvora svetlosti koji daju svetlost osnovnih stimulusa (slika 2.1.), tada se smešom, bilo dve od njih, bilo sve tri može dobiti bilo koja boja, koja se nalazi unutar dijagrama hromatičnosti. Koristeći se ovim, može se odrediti smeša komponenti (ovde je komponentom nazvan jedan od osnovnih stimulusa) u nekoj nepoznatoj boji. U pogodnom uredjaju (kolorimetru) se u deo vidnog polja posmatrača dovodi ispitivana svetlost, a u drugi deo smeša komponenti. Dodavanjem ili oduzimanjem pojedinih komponenti može se dobiti čitavo vidno polje osvetljeno istom bojom, pa je nepoznata boja odredjena smešom tih komponenti.² Pri ovome treba voditi računa da se boja koja u smeši nedostaje mora računati kao negativna kada se želi izvršiti proračun. Prilikom reprodukovanja boje mešanjem odredjenih stimulusa, važe neke zakonomernosti koje su date sa tri Grasmanova zakona:

I Sa tri pogodno izabrana osnovna stimulusa može se imitirati bojeni osećaj izazvan bilo kojim bojenim stimulusom. Svaki dati bojeni stimulus može se imitirati samo jednom kombinacijom odredjenih osnovnih stimulusa.

II Ako dva različito bojena stimulusa daju isti osećaj boje, ostaje taj osećaj jednak i kada se intenzitet zračenja oba stimulusa promeni u istom smeru, bez promene spektralnog sastava.

III Dva stimulusa (različitog spektralnog sastava), koji daju isti osećaj boje, vladaju se jednak i pri mešanju sa nekim trećim stimulusom.⁴ Uzmimo jedan primer (slika 2.8.):

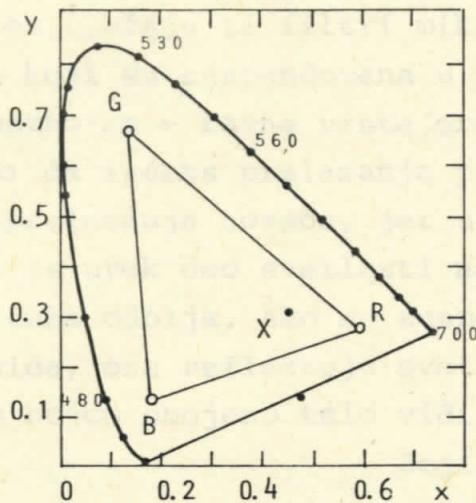


Slika 2.8.

Neka su komponente predstavljene tačkama D i E.

Smeša ovih boja se uvek nalazi na duži koja spaja ove dve tačke. Ako je "težina" svake od ovih boja određena sumom njenih tristimulussnih vrednosti, tada tačka hromatičnosti njihove smeše leži u njihovom "centru mase" (slike 5.13.a, 5.13.b i 5.18.). Praktično ovo znači da se tačka pomera u stranu one boje koja se u smešu dodaje. Ako je jedna od dve komponente ahromatska, tj.

bela ili crna, onda se smeša dobija na poseban način (videti deo 2.4.). Dodavanjem smeši bele boje, čitav refleksioni spektar se pomera ka većim reflektancijama, a dodavanjem crne (odnosno oduzimanjem svih boja), spektar se pomera ka manjim reflektancijama. U oba ova slučaja se tačka boje smeše u trihromatskom dijagramu pomera duž linije dominantne talasne dužine prema tački standardnog osvetljivača (slike 5.14.a, 5.14.b, 5.19. i 5.20.). Ako imamo tri osnovne komponente, onda se njihove smeše nalaze unutar trougla koji je određen položajem tačaka u dijagramu hromatičnosti (slika 2.9.).



Slika 2.9.

2.6.2. Supstraktivna smeša boja

Svi pigmenti koji se koriste za dobijanje bojila su uglavnom providni za odredjenu svetlost i svetlost koju oni propuštaju određuje njihovu boju. Dakle, zrnca pigmenata se ponašaju kao sićušni filtri. Radi pojašnjenja procesa koji se dešava u bojilu, uprostimo razmatranje u toliko što ćemo posmatrati dva makrofiltra (jedan plavi A, i jedan žuti - B). Njihovi transmisioni spektri su predstavljeni na slici 2.10.¹ Ako ova dva filtra stavimo istovremeno, jedan za drugim, na put bele svetlosti, tada će svaki od njih propuštati svoju svetlost. Na slici 2.10. kriva C tada predstavlja transmisioni spektar njihove kombinacije. Ovaj spektar se može unapred proračunati tako što se za svaku talasnu dužinu proračuna transmitancija jednog i drugog, a zatim one pomnože. (Primer: na slici 2.10. svetlost talasne dužine 500 nm plavi filter transmituje 69%, a žuti filter 58% od 69%. dakle 40%). Pošto svaki filter oduzima upadnoj svetlosti deo energije, ovaj proces se zove supstraktivni metod

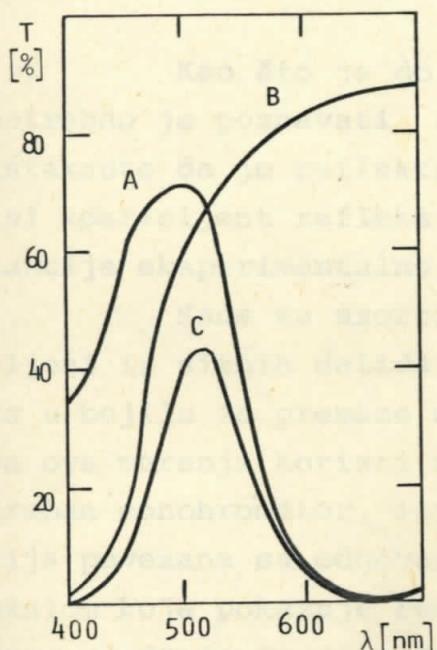
za određivanje boje.

Isti ovakav slučaj se javlja i u slučaju bojila, samo što su u tom slučaju ti filtri mikroskopski sićušna zrnca pigmenata koji su suspendovana u rastvaraču (ili nosaču) koji je bezbojan - razne vrste organskih ulja. Pri ovome je potrebno da indeks prelamanja pigmenata bude različit od indeksa prelamanja nosača, jer u ovakovom slučaju imamo pojavu da se uvek deo svetlosti na graničnoj površini između takvih tela odbija. Ako su suspendovana, recimo zrnca titan oksida, ona reflektuju svetlost iz celog spektra, pa se ovom bojom obojeno telo vidi kao belo.

Bojila u boji se dobijaju upotrebor raznih organskih i neorganskih pigmenata, koji bilo da se sami suspenduju, bilo da se dodaju belom bojilu, koje je opisano gore. U ovakvoj suspenziji svetlost između dve uzastopne refleksije prolazi kroz obojeni pigment, koji joj tada kao mali filter oduzme deo svetlosti, pa se ovo telo u odbijenoj svetlosti vidi u boji koja je određena transmitancijom zrnaca pigmenata. Ako u suspenziji imamo više različitih pigmenta, tada se javlja supstraktivna smeša.

Da supstraktivna smeša boja da dobre rezultate, morale bi primarne komponente za

ovaj proces imati dobro definisane refleksione spekture. Ovo, međutim, u praksi ne može da se sretne, i kao što je napomenuto u poglavljju 2.2., proizvodjači bojila se nalaze na različite načine.



Slika 2.10.

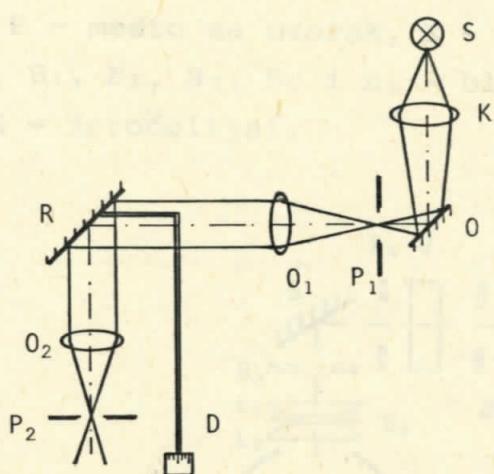
Interesantno je, medjutim, ispitati da li se odnos komponenti u supstraktivnoj smeši može odrediti na isti način kao i kod aditivne smeše. U slučaju da može, onda se pomoću koordinata primarnih komponenti u hromatskom dijagramu može samo na osnovu snimljenih remisionih krivih odrediti svaka supstraktivna smeša boja, pa i prevideti odnos pojedinih komponenti u suspenziji pripremljenoj za bojenje u željenoj boji.

3. EKSPERIMENTALNE METODE ODREDJIVANJA PARAMETARA

Kao što je do sada izneto za određivanje boje potrebno je poznavati reflektanciju uzorka. Na početku je istaknuto da je reflektanca, u stvari, relativni spektralni koeficijent refleksije. Uslovi za određivanje reflektancije eksperimentalno su dati u poglavljju 1.2.

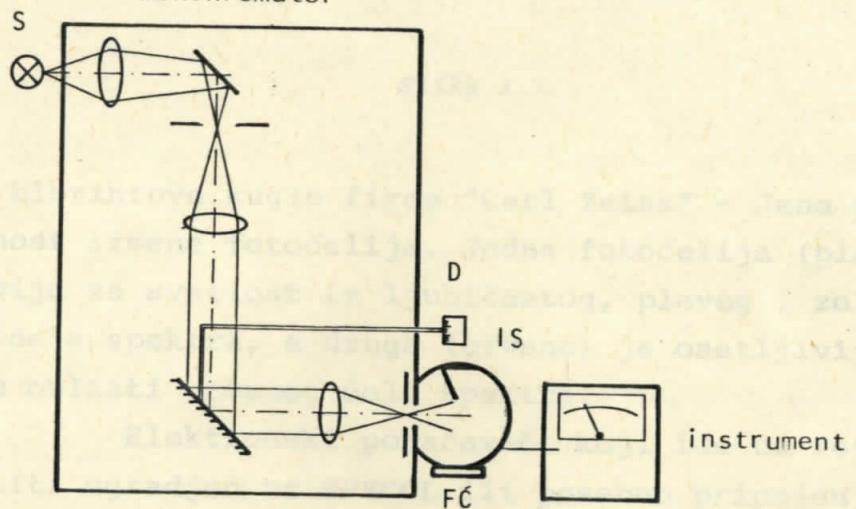
Kada su uzorci čija se reflektancija meri sastavljeni iz sitnih delića, kao što su to npr. zrnca pigmenata u bojilu za premaze na metalima (autolakovi), tada se za ova merenja koristi uslov D/0. Za ovakvo snimanje je potreban monohromator, integralna sfera i fotometar (fotočelijska povezana sa odgovarajućim pojačavačem i preko njega sa skalom koja pokazuje reflektanciju). Principijelna šema ovakvog uređaja je data na slici 3.1. Umesto pojačavača i skale uređaj može imati automatski pisač koji remisione krive ispisuje na pokretnoj hartiji. Na ovakovom uređaju merenje je jednostavnije, pošto se sve vrši automatski, ali je obraća merenih podataka komplikovanija, pa se zbog toga često očituju za ručno merenje - tačka po tačka. Merenja su i za ovaj postupak relativno jednostavna. Pomoću monohromatora se u integralnu sferu doveđe svetlost željene talasne du-

žine (jasno je da izvor svetlosti mora biti jedan od standardnih izvora), postavi standard (ili uzorak) na mesto na integralnoj sferi koje je za to predvidjeno i pomoću uređaja sa skalom očita $\phi_{0\lambda} d\lambda$ (ili $\phi_\lambda d\lambda$), pa zatim pomoću relacije (1.2.) izračuna reflektancija za tu talasnu dužinu. Za sledeće merenje se promeni talasna dužina svetlosti koja se dovodi u sferu i ceo postupak merenja ponovi.



Slika 3.1.

monohromator

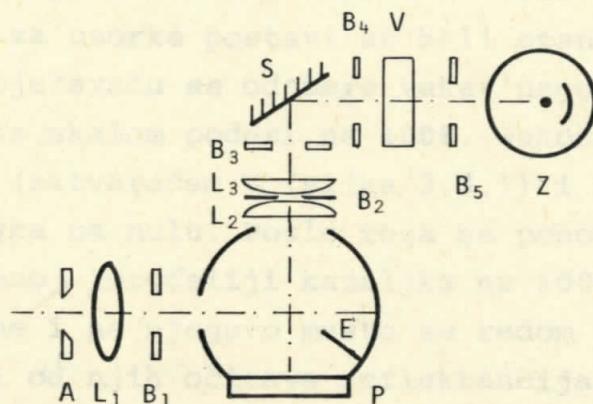


Slika 3.2.

Za ovakva merenja se veoma dobro može iskoristiti monohromator SPECOL ("Carl Zeiss"-Jena) i uređaj za remisi-

siona snimanja D/0 - Ulbrihtova kugla. Optička šema SPECOLA je data na slici 3.2. (S - sijalica, K - kondenzor, O - ogledalo, P₁ - ulazna pukotina, O₁ i O₂ - kolimatorska sočiva, R - refleksiona rešetka sa 650 zareza po milimetru, P₂ - izlazna pukotina i D - mikrometarski zavrtanj za biranje talasne dužine svetlosti).

Šema Ulbrihtove kugle sa fotoćelijom je data na slici 3.3. (A - ulazna pukotina, L₁ - objektiv, L₂ i L₃ - kondenzori, P - mesto za uzorak, E - zaklon od direktnog osvetljavanja, B₁, B₂, B₃, B₄ i B₅ - blende, S - ogledalo, V - zatvarač i Z - fotoćelija).



Slika 3.3.

Kod Ulbrihtove kugle firme "Carl Zeiss" - Jena postoji mogućnost izmene fotoćelija. Jedna fotoćelija (plava) je osetljivija za svetlost iz ljubičastog, plavog, zelenog i žutog dela spektra, a druga (crvena) je osetljivija za svetlost u oblasti crvenog dela spektra.

Elektronski pojačavač, koji ide uz fotoćeliju, može biti ugradjen uz SPECOL ili posebno pripojen aparaturi, kako je u radu i korišćen. Ovaj pojačavač ima više stupnjeva pojačanja tako da se za svako merenje može odabrati najpogodnije pojačanje. Skala na kojoj se vrši očitavanje reflektancije je ugradjena u kućište SPECOLA-a i graduisana u procentima.

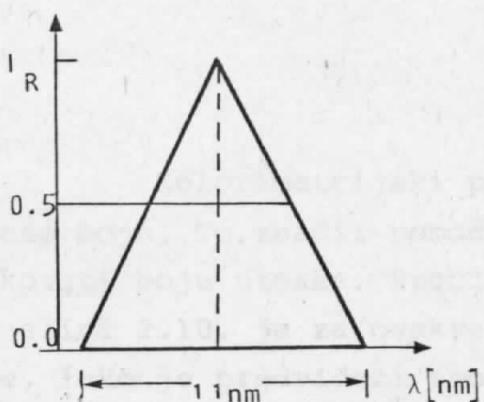
3.1. METOD MERENJA

Sa gore opisanim uredjajem se mogu merenja reflektancije vršiti na razne načine, no kada je u pitanju serija od većeg broja uzoraka (kao što je to ovde slučaj), najpogodniji je sledeći raspored:

Mikrometarskim zavrtnjem monohromatora se odabere svetlost željene talasne dužine i uvede u Ulbrihtovu kuglu. Na mesto za uzorke postavi se beli standard (magnezijum oksid), na pojačavaču se odabere takav napon da se kazaljka instrumenta sa skalom podesi na 100%. Nakon toga se fotočelija zatvori (zatvaračem V (slika 3.3.)) i na instrumentu podesi kazaljka na nulu. Posle toga se ponovo proveri da li je pri otvorenoj fotočeliji kazaljka na 100%. Potom se beli standard skine i na njegovo mesto se redom postavljaju uzorci i za svaki od njih očitava reflektancija direktno sa skale i dobijene vrednosti unose u tabelu. Kada je ovo učinjeno za sve uzorke, ponovo se beli standard stavlja na mesto za uzorke (P na sl. 3.3.), bira svetlost nove talasne dužine i ceo proces ponavlja. Ako uzorci imaju remisione krive bez naglih skokova, onda se interval izmedju dve talasne dužine može uzeti 10 nm (što je u radu i činjeno). Ovakav interval talasnih dužina za koje se vrši merenje se može uzeti i zbog toga što monohromator ima relativno široku rezoluciju (slika 3.4.) i kroz izlaznu pukotinu monohromatora prolazi svetlost iz spektralnog intervala širokog 11 nm.

Reflektanca izmerena na ovakav način je data u procentima i predstavlja veličinu koja je interpretirana izrazom (1.2.), gde je $\phi_0 \lambda d\lambda = 1$. Ako se, međutim, za određenu talasnu dužinu svetlosti nikakvim pojačanjem ne može postići da $\phi_0 \lambda d\lambda$ bude jednako jedinicama, onda se očita koeficijent refleksije za beli standard (otklon kazaljke pri mak-

simalnom pojačanju) i koeficijent refleksije za uzorak, i reflektancija izračuna pomoću relacije (1.2.) i izrazi u procentima.



Slika 3.4.

Iz tabele koja se dobija na ovakav način nacrta se kriva koja predstavlja refleksijski spektar svakog uzorka. Sa remisione krive se tada mogu očitati reflektancije za svaku talasnu dužinu, te se prema tome, na osnovu ranije izloženog, mogu izračunati koordinate boje svakog uzorka i trihromatski koeficijenti. Na osnovu hromatskog dijagrama se tada može odrediti dominanta talasna dužina i čistoća za svaku boju, čime je boja uzorka potpuno određena. Sa-

da se na osnovu supstraktivne smeše osnovnih komponenti mogu praviti recepture za sastavljanje novih bojila.

4. MOGUĆNOST KORIŠĆENJA SPEKTARA I PARAMETARA ZA ODREDJIVANJE RECEPTURE

Kolorimetrijski problem broj 1 je prognoziranje smeše boja. To znači: pomoću raspoloživih pigmenata reprodukovati boju uzorka. Problem koji je ilustrovan primerom na slici 2.10. je za ovakve probleme gotovo trivijalan. Naime, lako je predvideti smešu ako su "težine" boja iste, međutim, reprodukcija boje se najčešće ostvaruje takvom smešom u kojoj pojedini pigmenti učestvuju u različitim koncentracijama, a pigmenata ima više od dve vrste. Čitav problem se ovde sastoji u odredjivanju tih koncentracija. Za ovo odredjivanje se mogu iskoristiti tri metode. Te metode će biti opisane u daljem tekstu.

4.1. METODA PROBA I POGREŠAKA

Samo ime ove metode za sastavljanje smeše pigmenata u bojilo odredjene boje govori da ona nije najpogodnija. Ipak, ova metoda se kod nas danas koristi gotovo bez izuzetaka, iako ona sa naukom o bojama (psihofizikom) nema ništa zajedničko. Današnje tehnologije u proizvodnji bojila za premaze se zasnivaju na starom zanatskom mešanju pigmenata i u tome presudnu ulogu igra oko iskusnog majstora za pravljenje recepture. Svi naši proizvodjači bojila za premaze raspolažu sa najmanje 12 pigmenata različite boje, od kojih jedan mora biti beo a jedan crn, dok ostali pigmenti moraju da su rasporedjeni po celom hromatskom dijagramu (slika 2.3.).

Stručnjak koji meša pigmente i pravi recepture (nazovimo ga "nijanser"), dobija obojeni uzorak o kojem ne zna nikakve podatke, sem što ga vidi. Na osnovu sopstvenog iskustva o kvalitetu pigmenata nijanser napravi od njih smešu koja bi po njegovom mišljenju trebala da odgovara boji uzorka. Tu smešu suspenduje u nosač, napravi premaz i čeka da se osuši. Kada je premaz suv, nijanser uporedjuje svoju reprodukciju boje sa uzorkom. Gotovo je raritet da se već nakon ovog pokušaja boje uzorka i reprodukcije međusobno ne razlikuju. Ako se boja reprodukcije, po proceni nijansera, razlikuje od boje uzorka (što je gotovo pravilo), tada on, opet po sopstvenom iskustvu, suspenziju koju je pravio za prvu reprodukciju dodaje pigmente koje već ima u njoj, ili neke druge, ponovo pravi premaz, suši ga i drugu reprodukciju uporedjuje sa uzorkom. Dešava se najčešće da ni ova reprodukcija ne odgovara uzorku, pa nijanser nastavlja posao dodavanjem i oduzimanjem pigmenata. Ako znamo da za sušenje premaza treba bar jedan dan, onda samo iz ovog razloga posao može da se otegne u nedogled. Pri tome nijanser mora stalno da beleži količine pigmenata koje dodaje u smešu. Desi li se da neko dodavanje nije upisao ili je pogrešio pri upisivanju, može doći do toga da kada se njegova receptura primeni u masovnoj proizvodnji, boja ne bude ista kao i boja uzorka, čime može nastati velika šteta. Ovde su navedene samo dve otežavajuće okolnosti za primenu ove metode. Uzme li se u obzir da ovakav način pravljenja recepture zahteva ponekad da se u smešu ugradi i 6-7 pigmenata, ili da su ugradjeni pigmenti jako skupi, ili pak da su lošeg kvaliteta, eto novih razloga za istiskivanje ove metode iz proizvodnje i uvođenje novih - naučnih metoda.

4.2. ICI SISTEM SMEŠE BOJA

Za boje koje se dobijaju smešom standarnih pigmenata Medjunarodna komisija za osvetljavanje je napravila sistem koji se u tom slučaju uspešno koristi. Napravljen je tzv.

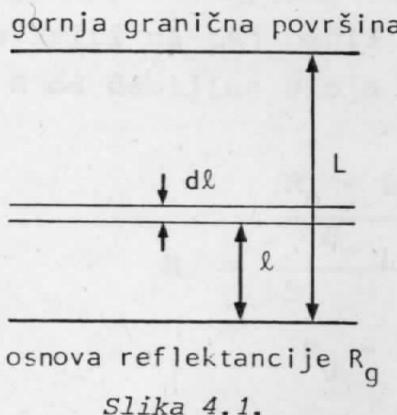
"grm" boja - svojevrsna vrsta atlasa boja koji sadrži više hiljada uzoraka dobijenih varijacijama osnovnih komponenti. Za svaki od ovih uzoraka data je receptura, koja je prilično široka i zasniva se na hromatskim karakteristikama komponenti (koordinatama boje), bilo tristimulusnim koordinatama X,Y,Z, bilo trihromatskim koeficijentima x, y i sjajem Y. Ako se želi dobiti određena boja, onda se odrede koordinate te boje i na osnovu atlasa dobije prva reprodukcija, koja se veoma malo razlikuje od uzorka, tako da je potrebna još samo vrlo mala korektura da se dobije bojilo željene boje.⁴

Ovaj sistem je, međutim, primenljiv samo u slučajevima kada su pigmenti koji se koriste za dobijanje boja standardni i kađa se mogu naći u atlasu boja. Ako ovo nije ni približno slučaj, tada se ovaj metod ne može primeniti.

4.3. METOD KUBELKA - MUNKA

Teorija Kubelka-Munka², koja se bavi proučavanjem rasejanja svetlosti na neprovidnim slojevima, daje mogućnosti predviđanja recepture za smešu boja. Čitava ova teorija je razradjena za primenu u štampi i bojenju tekstila, iako se može primeniti i kod raznih emajl-bojila i plastičnih masa.

U cilju prikaza teorije Kubelka-Munka posmatrajmo



Slika 4.1.

sloj bojenog premaza (slika 4.1.). Na slici je L - debљina sloja premaza, dl - debљina elementarnog sloja i l - rastojanje elementarnog sloja od osnove. Neka je sa i obeležen fluks svetlosti koja se prostire prema osnovi, on će biti oslabljen

za $K \cdot dl$. Ako sa j obeležimo fluks svetlosti koja se prostire od osnove, tada se rasejani fluks svodi na $S \cdot jd\ell$, (ovde je K - koeficijent prigušenja, a S - koeficijent rasejanja bojenog sloja). Iz ovoga se ukupna promena fluksa svetlosti, koja se prostire prema površini sloja, može izraziti pomoću relacije:

$$dj = - (S+K)jd\ell + Sid\ell \quad (4.1.)$$

a ukupna promena fluksa svetlosti koja se prostire prema površini

$$- di = - (S+K)id\ell + Sjd\ell \quad (4.2.)$$

Integracija ovih jednačina svodi se na sabiranje svih dl sa povećanjem ℓ , pri čemu je $\ell = 0$ za neosvetljenu stranu bojenog sloja. Ovaj sistem diferencijalnih jednačina (4.1. i 4.2.) potpuno opisuje promenu fluksa upadne svetlosti i rasejane svetlosti. Ako su nam poznati fluksevi svetlosti i u bilo kom elementarnom sloju (na primer pri gornjoj graničnoj površini) i ako su nam poznati koeficijenti prigušenja (K) i rasejanja (S), koji karakterišu pigment u nosaču bojila, može se preći sa jednog na drugi sloj (kako nadole, tako i nagore) i predstaviti sve flukseve u funkciji rastojanja ℓ .

Gornje diferencijalne jednačine se mogu u eksponentijalnoj formi, (kao što su to uradili Kubelka-Munk), predstaviti na taj način što se nadje zavisnost reflektanije R od debljine sloja L :

$$R = \frac{\frac{R_g - R_\infty}{R_\infty} - R_\infty(R_g - \frac{1}{R_\infty}) \cdot e^{SL(\frac{1}{R_\infty} - R_\infty)}}{R_g - R_\infty(R_g - \frac{1}{R_\infty}) \cdot e^{SL(\frac{1}{R_\infty} - R_\infty)}} \quad (4.3.)$$

gde je R_∞ reflektancija bojenog sloja takve debljine da daje njeno povećavanje ne menja reflektanciju, a R_g reflektancija osnove. Koeficijent prigušenja ovde ne učestvuje direktno, nego je uračunat u R_∞ , koja zavisi od odnosa K/S na sledeći način

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R_\infty)^2}{2R_\infty} \quad (4.4.)$$

Ovaj izraz ima ogroman značaj u određivanju recepture bojila. Odnosi K/S su izračunati i nalaze se u tablicama priručne literature.

Treba voditi računa da relacija (4.3.) ne uzima u obzir refleksiju od gornje granične površine sloja, pa eksperimentalna merenja treba prilagoditi ovome. Drugo ograničenje ove relacije je u tome što smatra da su koeficijenti K i S isti u celom sloju. Pored toga, ova relacija se ne može primeniti na tanke slojeve, naročito ako su zrnca pigmentata u obliku pločica i ako su rasporedjena paralelno površini. Četvrto ograničenje je u tome što se primena ove relacije može sprovesti jedino ako je upadni fluks svetlosti idealno difuzan. Poslednje i najvažnije ograničenje primene ove relacije je u tome što ona ne daje dobre rezultate ako koeficijenti K i S zavise od talasne dužine svetlosti. No, bez obzira na ova ograničenja primene relacije (4.3.), teorija Kubelka-Munka ima univerzalan značaj, naročito zbog toga što operiše veličinama koje su bliske tehnologiji bojenih premaza.

Diferencijalne jednačine (4.1. i 4.2.) mogu se rešiti i hiperbolički, odakle proizilazi više relacija koje su značajne u sastavljanju recepture. Najznačajnija je relacija koja povezuje koeficijent rasejanja sa debljinom sloja L i reflektancijama R, R_g i R_∞ :

$$SL = \frac{1}{b} (\operatorname{arc th} \frac{a-R}{b} - \operatorname{arc th} \frac{a-R_g}{b}) \quad (4.5.)$$

gde je $a = (S+K)/S$, a $b = (a^2 - 1)^{\frac{1}{2}}$, ili u funkciji reflektancije sloja (R_0) proizvoljne debljine L i R_{∞} :

$$SL = \frac{1}{b} \operatorname{arc th} \frac{1-aR_0}{bR_0} \quad (4.6.)$$

Za praktičnu primenu ove teorije potrebno je fotometrijsko merenje reflektancija uzorka (R), osnove (R_g) i uzorka (R_{∞}). Primenom se pokazalo da se koeficijenti prigušenja i rasejanja za smeše boja mogu izračunati aditivno, znajući ove koeficijente za pojedine komponente p, q, r, \dots prema sledećim relacijama:

$$K = (cK_1)_p + (cK_1)_q + (cK_1)_r + \dots \quad (4.7.)$$

$$S = (cS_1)_p + (cS_1)_q + (cS_1)_r + \dots$$

Na ovaj način može tehnolog naći takve pigmente koji ovakvom sumom koeficijenata daju koeficijente K i S željenog bojila. Pri ovome su c_p, c_q, c_r, \dots koncentracije pojedinih pigmenata. Ukoliko je bojeni sloj neprovidan i sadrži stalnu koncentraciju pigmenata koji rasejavaju svetlost (belih pigmenata), čitav problem je pojednostavljen.

4.3.1. Prognoziranje smeša bojila

Iz prethodnog izlaganja se vidi da se na osnovu teorije Kubelka-Munka može prognozirati smeša boja. Za preciznu primenu ovog metoda potrebna je pomoć savremenih računskih mašina, jer su razna sumiranja koja treba vršiti za određivanje koordinata boje u hromatskom dijagramu (2.5. i 2.6.) često vrlo obimna. Oslanjajući se na ovakav način obrade podataka Džad i Višecki daju svojevrstan "algoritam" za postupak određivanja recepture smeše pigmenata.²

1. SAKUPLJANJE OSNOVNIH ULAZNIH PODATAKA

- 1.1. Izrada standardnih uzoraka sa zadanim komponentama pri zadanim koncentracijama
- 1.2. Odredjivanje reflektancije standardnih uzoraka pomoću spektro-fotometra
- 1.3. Proračun osnovnih optičkih karakteristika standardnih uzoraka
- 1.4. Uvodjenje osnovnih optičkih karakteristika u računsku mašinu

2. PRORAČUN RECEPTURE

- 2.1. Odredjivanje reflektancije i koordinata boje uzorka koji treba reprodukovati
- 2.2. Uvodjenje parametara uzorka u računsku mašinu
- 2.3. Izvod osnovnih optičkih podataka odgovarajućeg skupa standardnih uzoraka za odredjivanje potrebnih komponenti
- 2.4. Proračun recepture, tj. neophodnih koncentracija komponenti smeše

3. KONTROLA PROGNOZIRANE SMEŠE BOJA

- 3.1. Izrada reprodukcije uzorka na osnovu proračunate recepture
- 3.2. Odredjivanje koordinata boje reprodukcije i bojnih razlika
- 3.3. Odredjivanje dozvoljenih bojnih razlika izmedju reprodukcije i uzorka

4. KOREKTURA RECEPTURE (AKO JE POTREBNA)

- 4.1. Uvodjenje razlike izmedju koordinata boje reprodukcije i uzorka na matricu za korekciju za dobijanje odgovarajućih dopuna u koncentracijama komponenti
- 4.2. Dodavanje proračunatih dopuna koncentracija prvobitnoj recepturi da bi se dobila korigovana receptura
- 4.3. Ponavljanje operacije počev od 3.1.

Uspeh željenog prognoziranja zavisi od tačnosti merenja reflektancije standardnih uzoraka - osnovnih komponenti. Ista takva tačnost zahteva se i u merenju reflektancije

uzorka koji se želi reprodukovati.

Za izračunavanje recepture (operacija 2.4.) iz relacije (4.4. i 4.7.) dobija se

$$\frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} = \frac{K}{S} = \frac{(cK_1)_p + (cK_1)_q + (cK_1)_r + \dots}{(cS_1)_p + (cS_1)_q + (cS_1)_r + \dots} \quad (4.8.)$$

U ovoj relaciji se koeficijenti rasejanja mogu proizvoljno izjednačiti sa jedinicom, smatrajući ih istim za sve pigmente, pa onda, u slučaju da su koeficijenti prigušenja $K_1 p$, $K_1 q$, $K_1 r$, ..., odredjeni u odnosu na koeficijente rasejanja $S_1 p$, $S_1 q$, $S_1 r$, ..., relacija postaje jednaka jedinici ako koncentracije c_p , c_q , c_r , ... u zbiru daju jedinicu. Ovo omogućuje da se izračunaju ove koncentracije. (Indeksima p, q, r... označeni su pigmenti koji učestvuju u smeši).

Prema ovako izračunatoj recepturi pravi se reprodukcija i uporedjuje sa uzorkom. Može se desiti da neće odgovarati u potpunosti uzorku, pa tada treba pristupiti operaciji 4.1.

Za korišćenje korekturne matrice, kojom se mogu izračunati dopune koncentracija, treba odrediti razlike izmedju koordinata uzorka i reprodukcije, ΔX , ΔY , ΔZ . Ako su X , Y i Z koordinate uzorka, a X' , Y' , i Z' koordinate reprodukcije, tada je:

$$X' = X + \Delta X, \quad Y' = Y + \Delta Y, \quad Z' = Z + \Delta Z \quad (4.9.)$$

Ako je dominantna talasna dužina uzorka i reprodukcije ista, ovaj proračun se uprošćava jer za standardni osvetljivač D_{65} je:

$$X_{D_{65}} : Y_{D_{65}} : Z_{D_{65}} = 0.9502 : 1 : 1.0884$$

odakle se odmah vidi da je $\Delta X = 0.9502$ $\Delta Y = 1$ i $\Delta Z = 1.0884$, pa je tačka:

$$X' = X + 0.9502\Delta Y, \quad Y' = Y + \Delta Y, \quad Z' = Z + 1.0884\Delta Y \quad (4.10.)$$

Za svaki drugi slučaj se razlike ΔX , ΔY , ΔZ moraju računati ponaosob. Ukoliko su ove razlike sa koncentracijama c_p , c_q , c_r , ... povezane linearnom zavisnošću, imamo:

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial c_p} \Delta c_p + \frac{\partial X}{\partial c_q} \Delta c_q + \frac{\partial X}{\partial c_r} \Delta c_r + \dots$$

$$\Delta Y = \frac{\partial Y}{\partial c_p} \Delta c_p + \frac{\partial Y}{\partial c_q} \Delta c_q + \frac{\partial Y}{\partial c_r} \Delta c_r + \dots \quad (4.11.)$$

$$\Delta Z = \frac{\partial Z}{\partial c_p} \Delta c_p + \frac{\partial Z}{\partial c_q} \Delta c_q + \frac{\partial Z}{\partial c_r} \Delta c_r + \dots$$

gde su koeficijenti $\partial X / \partial c_p$, ... parcijalni izvodi koordinata boje uzorka po koncentracijama komponenti koje se javljaju u smeši. Ovi koeficijenti mogu biti izračunati sa dovoljnom tačnošću ako su promene koordinata X, Y i Z izazvane malim promenama koncentracija (reda 1%). Mađo složeniji metod se sastoji u određivanju $\partial R(\lambda) / \partial c_p$, ..., a zatim preračunavanje ovih koeficijenata u one koji su upotrebljeni u relacijama (4.11.). Ovaj postupak daje preciznije rezultate.

Sistem jednačina (4.11.) se može rešiti po Δc_p , Δc_q , Δc_r , ... za poznate vrednosti ΔX , ΔY , ΔZ , ali samo u slučaju da se ne menja više od tri komponente. Kada se napravi receptura prema ovim korekcijama, reprodukcija bi u potpunoći morala odgovarati uzorku i dalja korekcija nije potrebna. Ako se ipak dogodi da se druga reprodukcija razlikuje od uzorka, tada se sa izabranim komponentama ne može da dobije taj uzorak, pa treba uzeti druge komponente za prvu reprodukciju i ceo postupak ponoviti. Jasno je da se primenom sistema (4.11.) mogu varirati sve koncentracije i da se može dobiti i više receptura za istu reprodukciju.

U praksi se može izbeći upotreba relacija (4.8.)

tako što, ako su koordinate boje u hromatskom dijagramu takve da se njena tačka nalazi izmedju tačaka dva standardna uzorka (dva osnovna pigmenta), onda se prema "težini" tih boja i centra masa, (kao kod aditivne smeše boja), mogu odrediti prve koncentracije c_p , c_q , c_r , tri pigmenta, od kojih je jedan beo ili crn, a ostala dva pigmenta bliska uzorku. U ovom slučaju se iskustvu tehnologa prepusta izbor belog ili crnog pigmenta, koji on vrši u zavisnosti od toga da li je uzorak svetao ili taman. Često ovaj metod daje dobre rezultate već u prvom pokušaju, ali ako to nije slučaj može se na dobijenu recepturu primeniti korekturna matrica, i to bilo varijacijom samo ta tri pigmenta ili uvodjenjem novih pigmenta i njihovom varijacijom.

U primijenjenim autoreparativnim tiskovačima većina učinkova se pojavljuje u obliku "mreže". Ovoj proizvodnji se protivstavlja autoreparativna mreža kočica i četiri osnovna pigmenta (bez crnog) premaši godinama (1960-1970).

U primijenjenim autoreparativnim tiskovačima većina učinkova se pojavljuje u obliku "mreže", jer se na primjenjenim autoreparativnim tiskovačima ne može dobiti dovoljno karakteristične boje i teksturne. U ovom slučaju moguće je, neđavši sasvim u primijenjenoj gravi, metoda koja je opisana u prethodnoj dijelu, da se na tisku autoreparativne mreže primijeni mreža kočica i četiri osnovna pigmenta (bez crnog) premaši godinama (1960-1970). Kako je uvedeno, u primijenjenim autoreparativnim tiskovačima većina učinkova se pojavljuje u obliku "mreže", tako je uključujući i mrežu kočica, u tiskovačima autoreparativnih tiskovača uobičajeno da se ilustriraju u obliku mreže.

U laboratorijskim razvijalama "Murepo" je bio u upotrebljavanju, da ovog mrežu koristiti tiskovače na belog kartona, a ne na specijalnoj mreži koja je imala dešavati da se u tisku tiskovača i koristi, u kojoj se mogu pojavljati ravnopravne oblike u obliku mreže, a ne u obliku mreže kočica. Ako se u mreži kočica od nekih mrežnih tiskovača suspendovat će, a ne u obliku mreže, tada će postati u mreži kočica mreža kočica, a ne mreža kočica. Tako je uključeno u mrežu mrežu, a ne mrežu kočicu.

5. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Kao predmet eksperimentalnog proučavanja poslužili su obojeni premazi, koje je za ovaj rad ustupio proizvodjač boja i lakova "HEMPRO" iz Šida. Ovaj proizvodjač za proizvodnju autoreparaturnih emajla koristi 12 osnovnih pigmenata (Prilog 5.1., premazi pod brojem 1. - 12.).

U proizvodnji autoreparaturnih lakova je veoma važno da reprodukcija bude što vernija originalu, jer se na popravljanom automobilu ne sme videti da su pojedini delovi njegove karoserije bojeni naknadno. U ovoj radnoj organizaciji se, međutim, recepture za reprodukciju prave metodom koja je opisana u poglavlju 4.1., te je za nju veoma interesantna mogućnost usavršavanja proizvodnje uvodjenjem automat-skog pravljenja recepture. Cilj ovog rada je da upravo dokaze mogućnost uvodjenja naučnih metoda u pravljenju recepture i da ga ilustrije sa nekoliko primera.

Laboratorija za razvoj u RO "HEMPRO" - Šid je za eksperimentalni deo ovog rada napravila premaze na beloj hartiji pomoću specijalnog valjka, koji se inače u svetu za ovake svrhe i koristi, a koji obezbedjuje ravnomernu debljinu nanesenog sloja. Premazi su napravljeni od osnovnih pigmenata suspendovanih u nosač, koji se i inače koristi u proizvodnji za kontrolne uzorke (koje treba reprodukovati) nasumice su odabrana četiri, od nekoliko hiljada, koliko je inače u stanju da napravi ovaj proizvodjač.

Hemijski sastavi osnovnih pigmenata sa njihovim nazivima su dati u tabeli 5.1.

TABELA 5.1.

<i>Redni broj</i>	<i>Naziv pigmenta</i>	<i>Sastav</i>
1	TiO ₂ RG 67	TiO ₂ 98%
2	TiO ₂ RG 67	TiO ₂ preko 95%
3	Lemon chrome CUG	olovni hromat*
4	Sicominrot 5LLG	olovni hromat sa sadržajem molibdata*
5	Fe-oksid 910	Fe ₂ O ₃ **
6	Sicomarron 60M	*
7	Sicoechtblau BSN	bakarni ftalocijamin*
8	Fe-oksid 130m	Fe ₂ O ₃ **
9	Sicoechtgrün G	polihlor-bakarni ftalocijamin*
10	Čadj	čadj (C)
11	Sicomingelb 62C	olovni hromat*
12	Turchese segnale lule	bakarni ftalocijamin*

* - u prospektima nema bližih podataka

** - Fe₂O₃ se razlikuje samo po načinu obrade, dok mu je hemijski sastav isti

5.1. MERENJE I REZULTATI

Eksperimentalno određivanje remisionih krivih za pigmente 1. - 12. i uzorke 13. - 16. su mereni pomoću uređaja opisanog u glavi 3. metodom opisanom u poglavlju 3.1. Na osnovu izmerenih reflektancija nacrtane su remisione krive, tj. refleksioni spektri (slike 5.1. - 5.16.). Reflektancije svih pigmenata i uzoraka su merene u spektralnom

intervalu od 380 do 700 nm sa intervalom od 10 nm.

Za osvetljavanje izvora je korišćen izvor A, a za izračunavanje tristimulusnih koordinata boje X, Y, Z (2.5.) i (2.6.) korišćene su vrednosti $I(\lambda)$, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ za standardni osvetljivač D_{65} koji se inače ne može naći, ali su rezultati dati u odnosu na njega. Ove vrednosti su date u tabeli 5.4.²

Na osnovu ovako određenih brojnih vrednosti koordinata boje X, Y, Z su izračunati trihromatski koeficijenti x, y, z za sve pigmente i uzorke, što je prikazano na dijagramu hromatičnosti (sl. 5.17.) Sa ovog dijagrama se sada mogu odrediti dominantna talasna dužina i čistoća pojedinih pigmenta i uzorka. U tabeli 5.2. dati su svi eksperimentalni rezultati za sve osnovne pigmente i uzorke.

TABELA 5.2.

Red. br.	X	Y	Z	x	y	$\lambda_d [nm]$	p [%]	slika
1.	83.68	88.97	90.18	0.3184	0.3384			5.1.
2.	83.89	89.50	93.66	0.3384	0.3233			5.2.
3.	65.58	70.01	11.80	0.4449	0.4750	575.5	77.94	5.3.
4.	34.62	22.39	8.45	0.5289	0.3421	605.5	64.04	5.4.
5.	29.53	28.14	11.19	0.4289	0.4086	582	54.73	5.5.
6.	15.25	10.07	7.85	0.4597	0.3037	494	35.88	5.6.
7.	6.78	6.65	11.48	0.2721	0.2670	468	21.03	5.7.
8.	14.66	11.68	8.72	0.4181	0.3331	608	30.35	5.8.
9.	6.27	6.59	8.21	0.2977	0.3127			5.9.
10.	6.88	9.53	11.49	0.2465	0.3417	494.5	25.00	5.10.
11.	62.52	65.69	12.02	0.4459	0.4684	576	76.46	5.11.
12.	6.76	5.93	13.64	0.2568	0.2252	462.5	34.87	5.12.
13.	43.40	32.46	10.65	0.5017	0.3752	595	65.77	5.13.
14.	17.33	12.28	8.47	0.4558	0.3215	630	37.72	5.14.a.
15.	29.90	28.52	12.68	0.4206	0.4011	582	50.00	5.15.
16.	11.98	8.68	8.18	0.4154	0.3011	495	29.54	5.16.

* U tabeli nisu date vrednosti za dominantnu talasnu dužinu belih i crnog pigmenta, pošto se za ove boje ove vrednosti ne određuju.



1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11



12



13



14



14 - 1



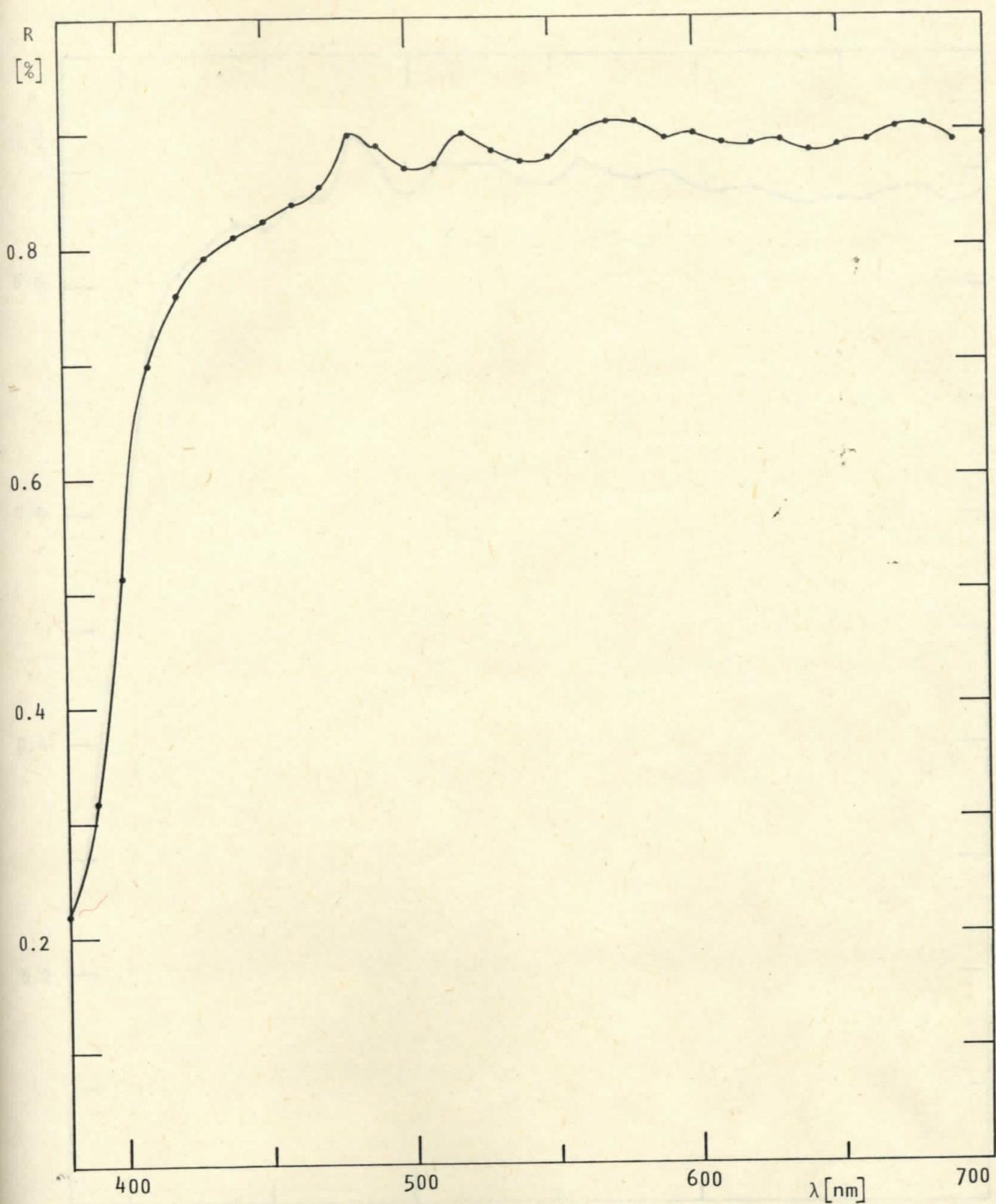
15



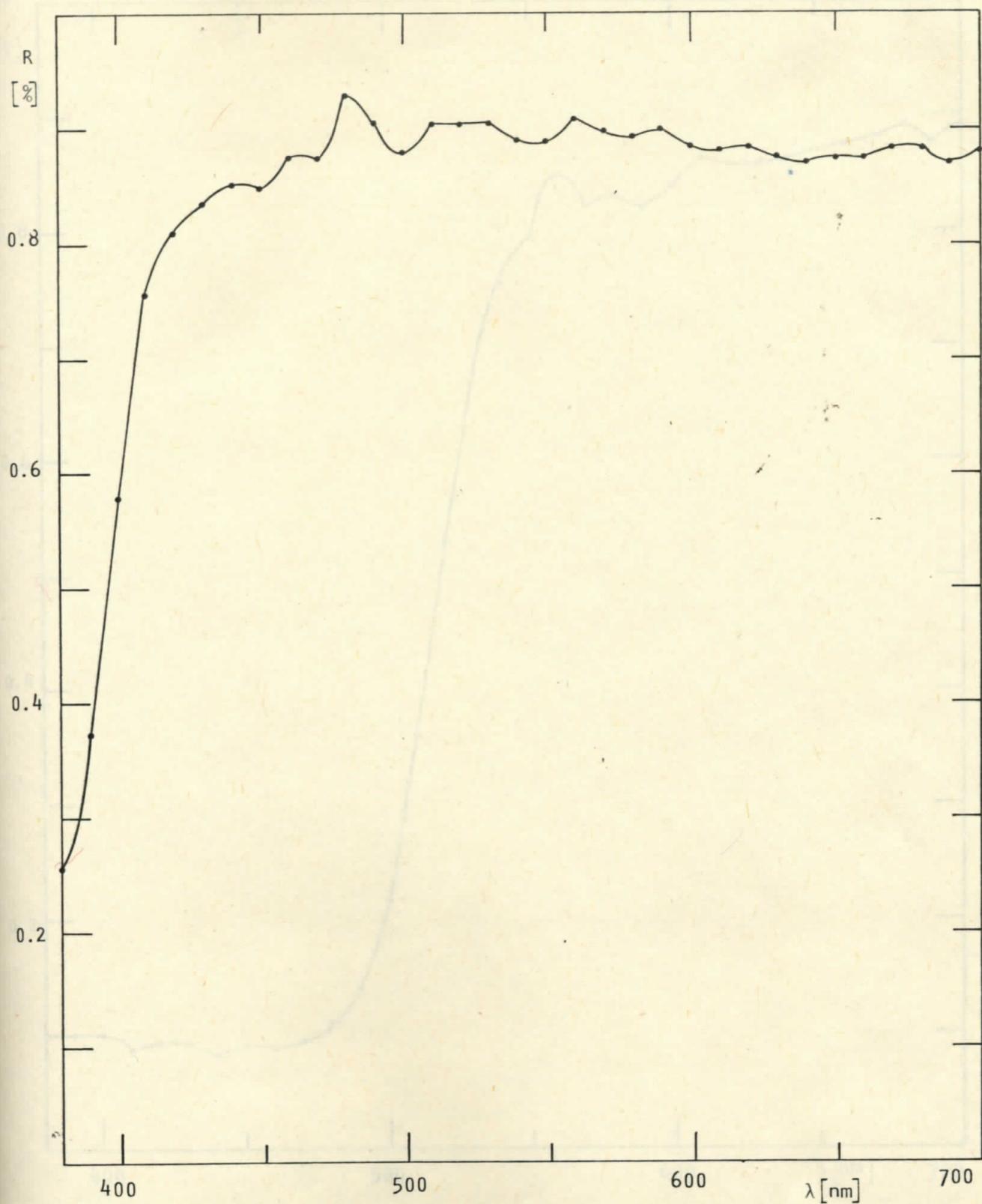
16



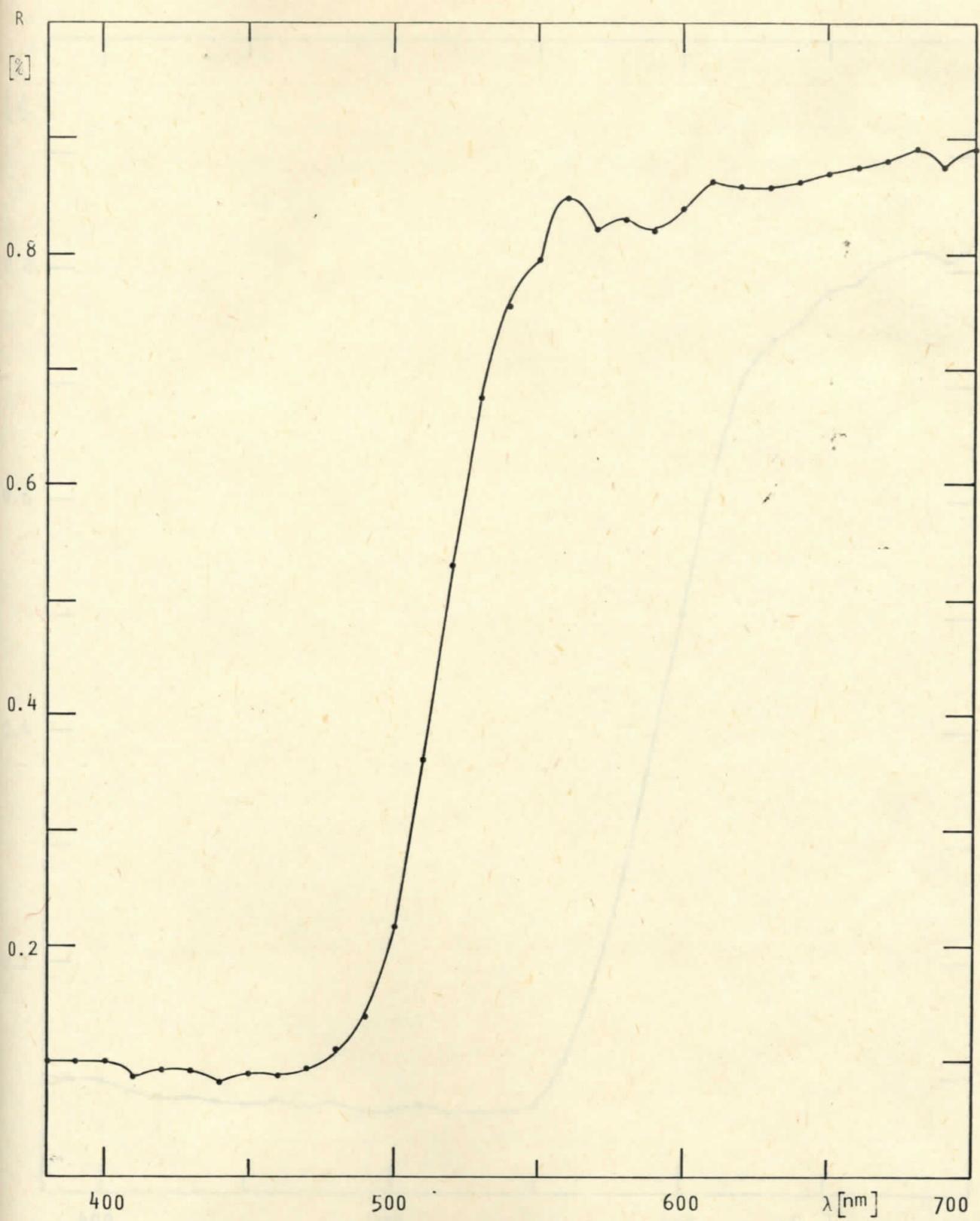
16 - 1



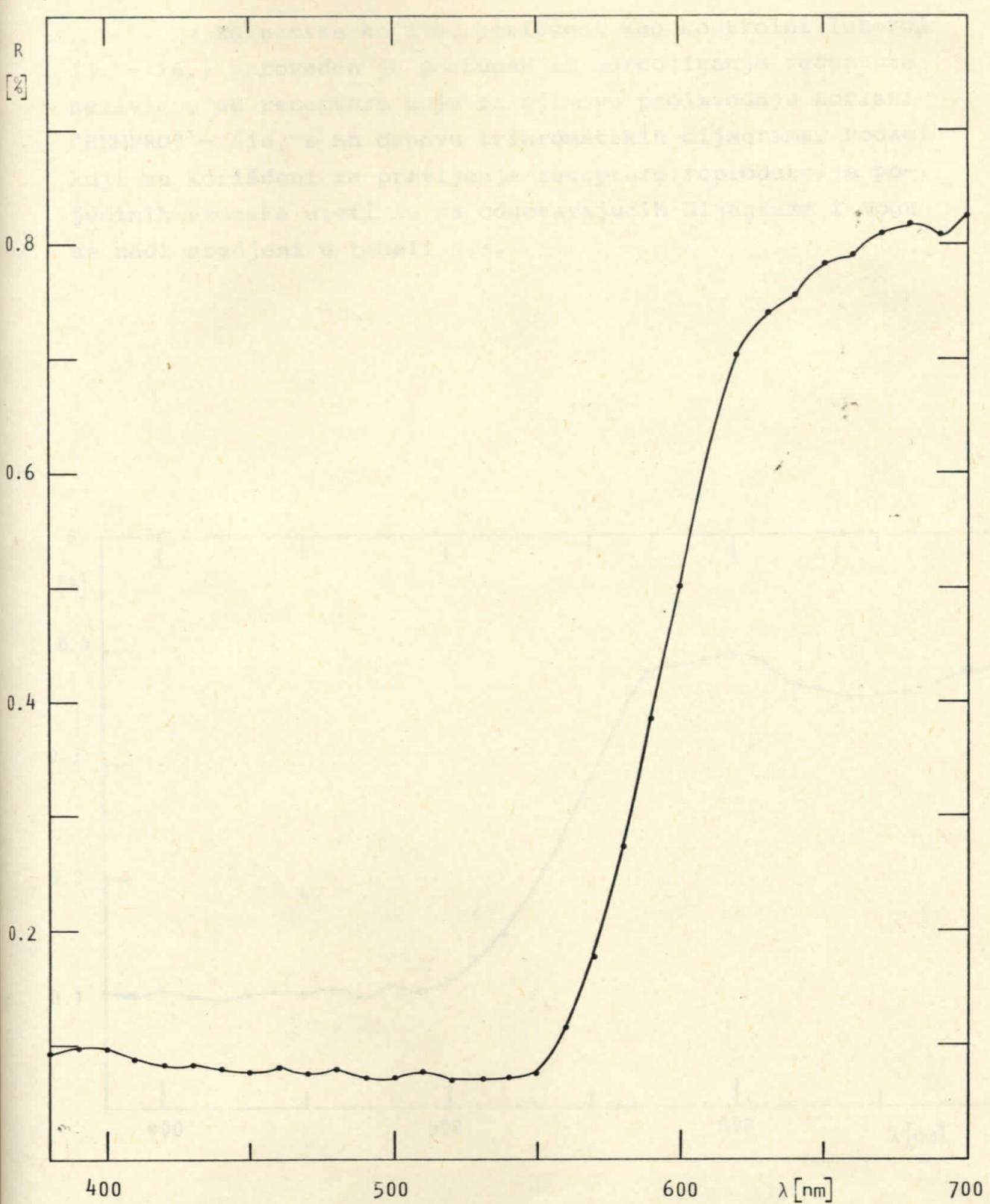
Slika 5.1.



Slika 5.2.

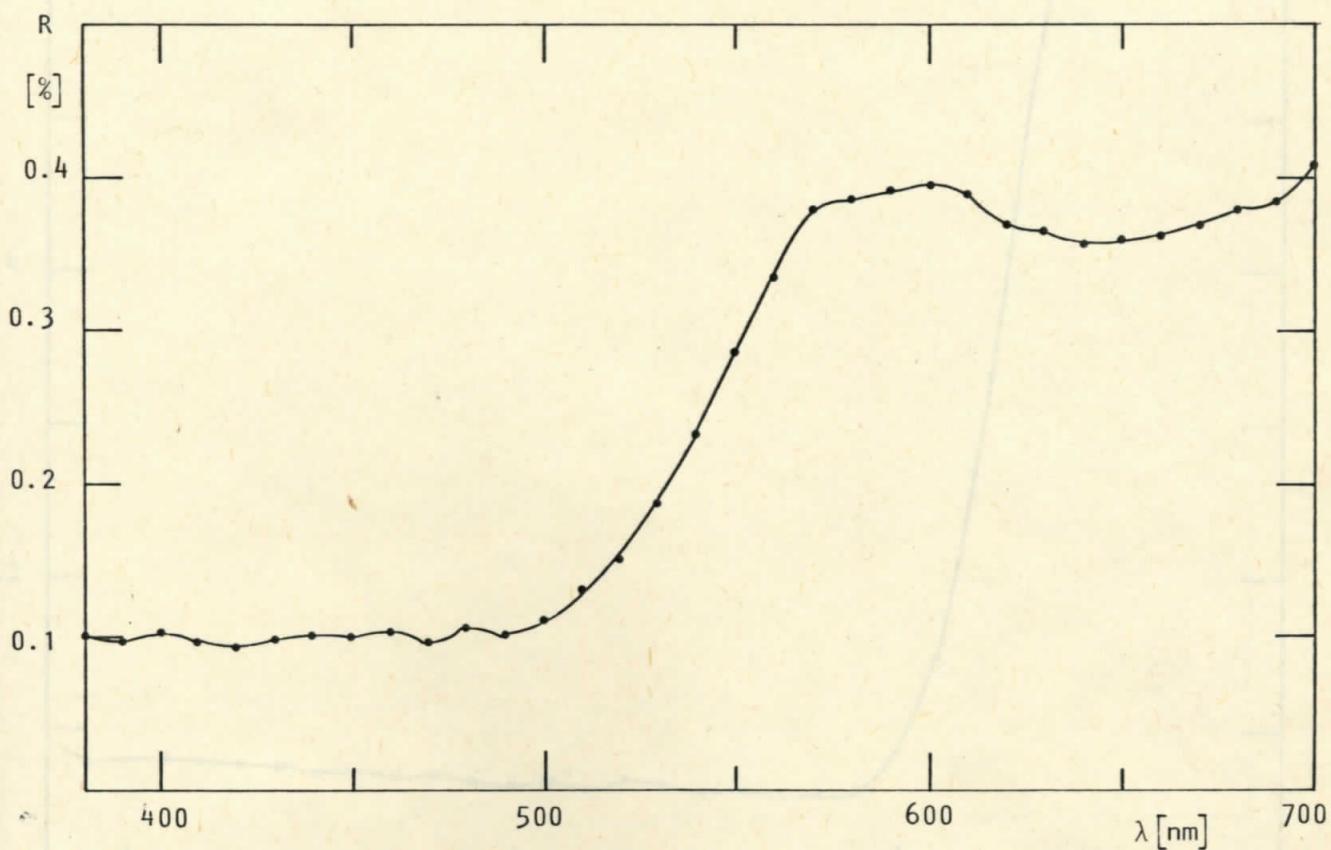


Slika 5.3.

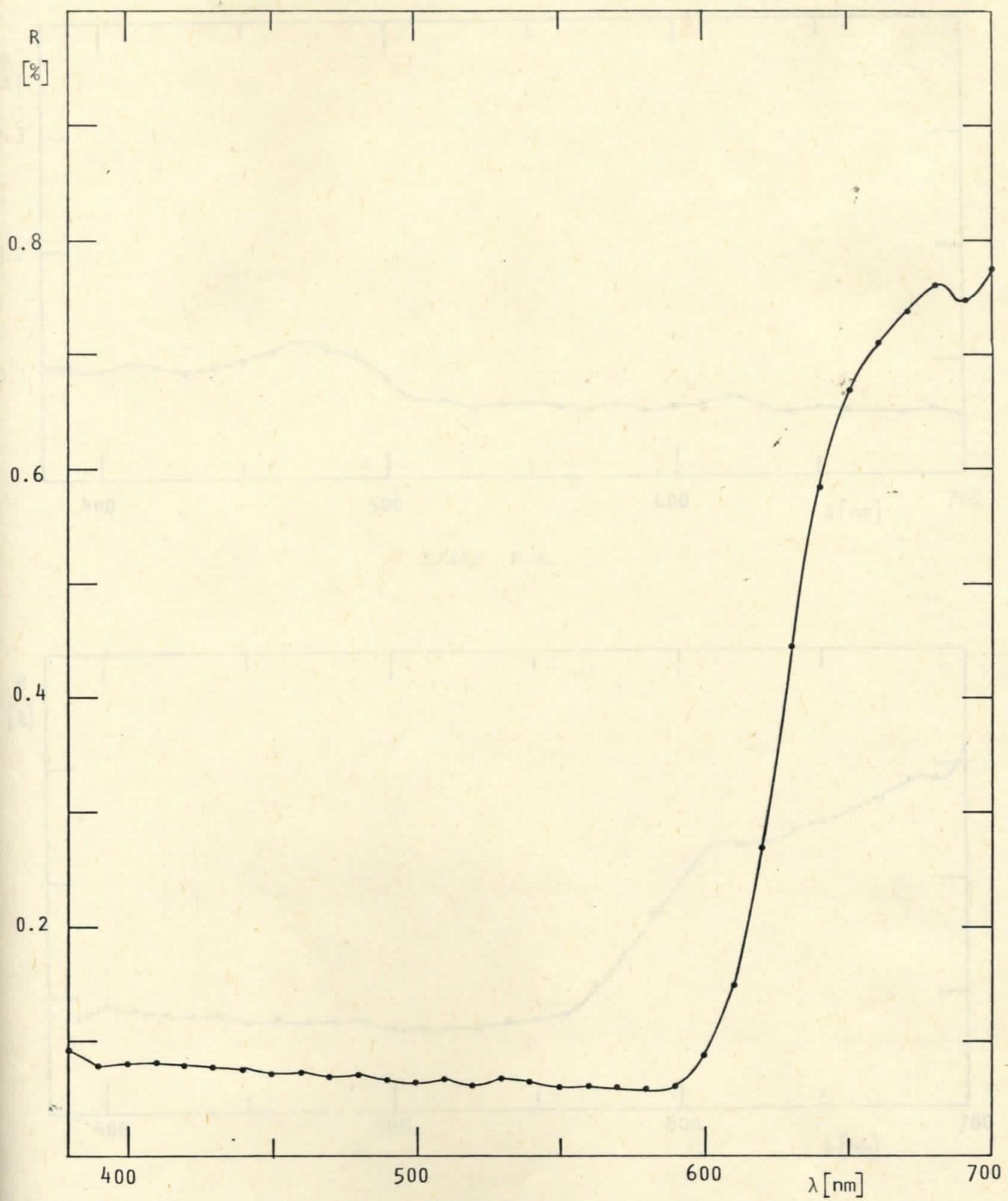


Slika 5.4.

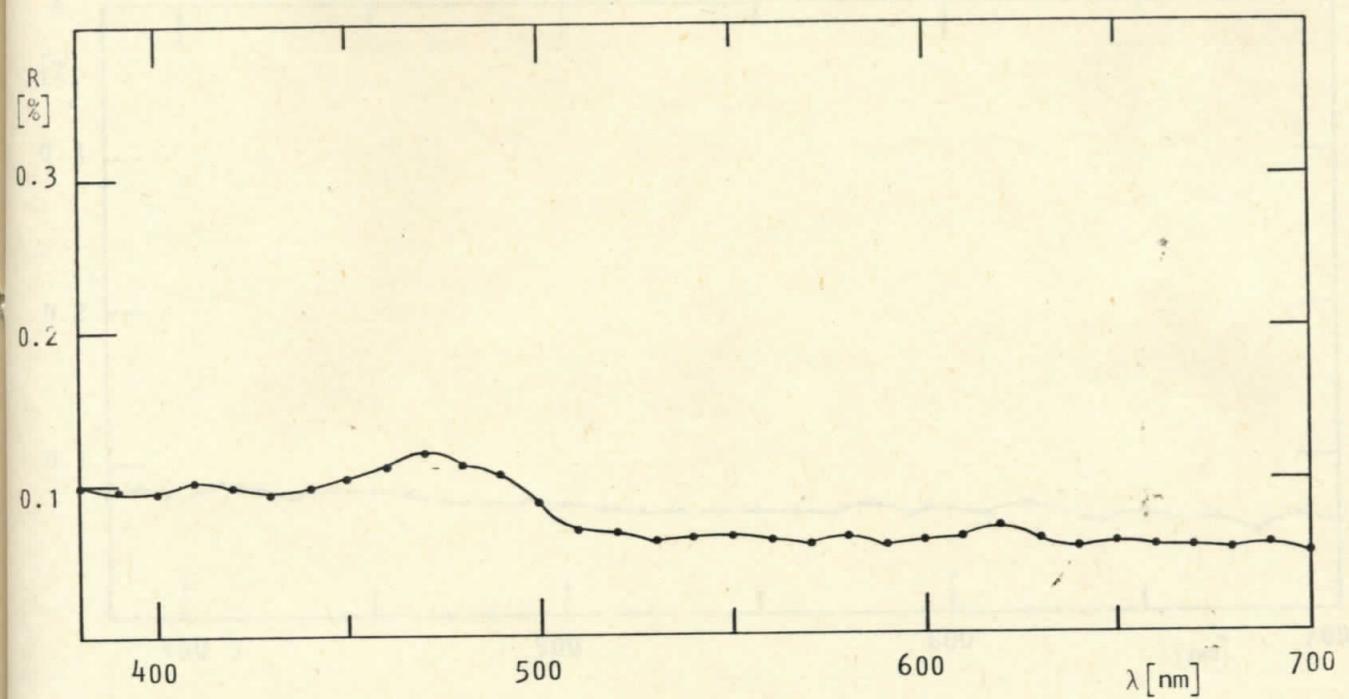
Za uzorke koji su korišćeni kao kontrolni (uzorci 13. - 16.) sproveden je postupak za određivanje recepture nezavisno od recepture koju za njihovu proizvodnju koristi "HEMPRO" - Šid, a na osnovu trihromatskih dijagrama. Podaci koji su korišćeni za pravljenje recepture reprodukcije pojedinih uzoraka uzeti su sa odgovarajućih dijagrama i mogu se naći sredjeni u tabeli 5.3.



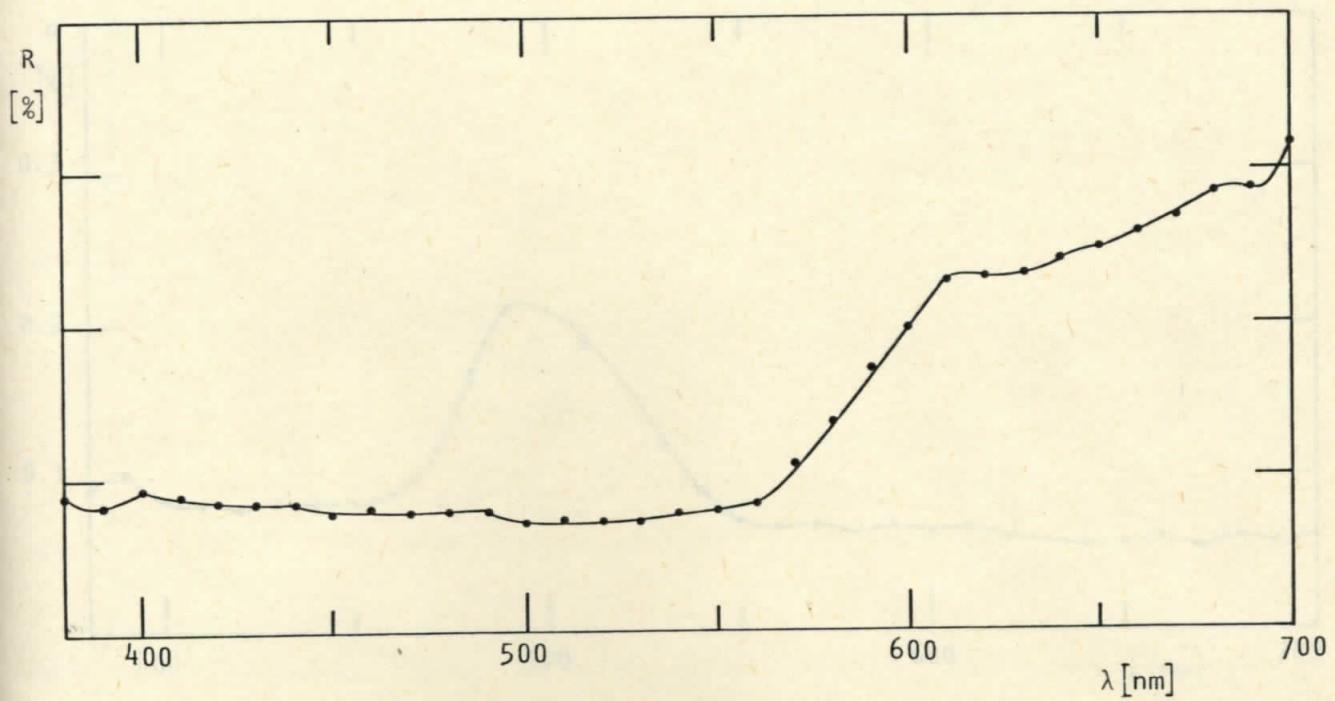
Slika 5.5.



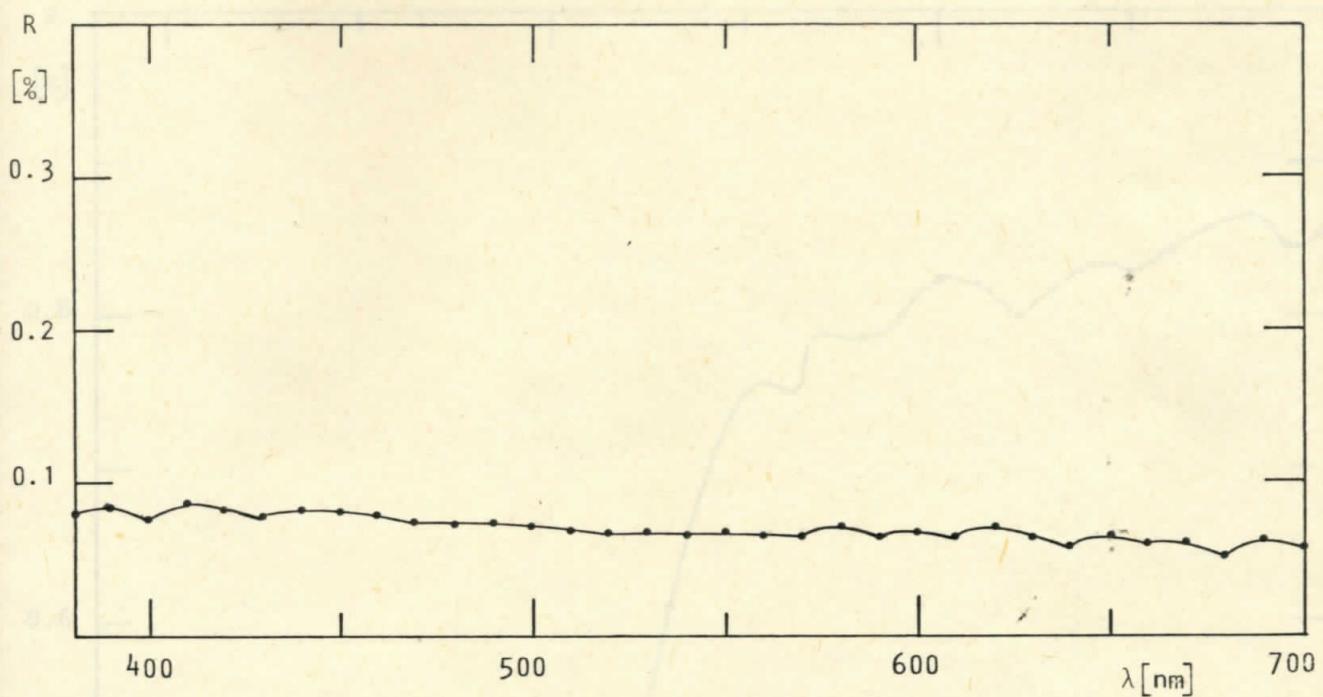
Slika 5.6.



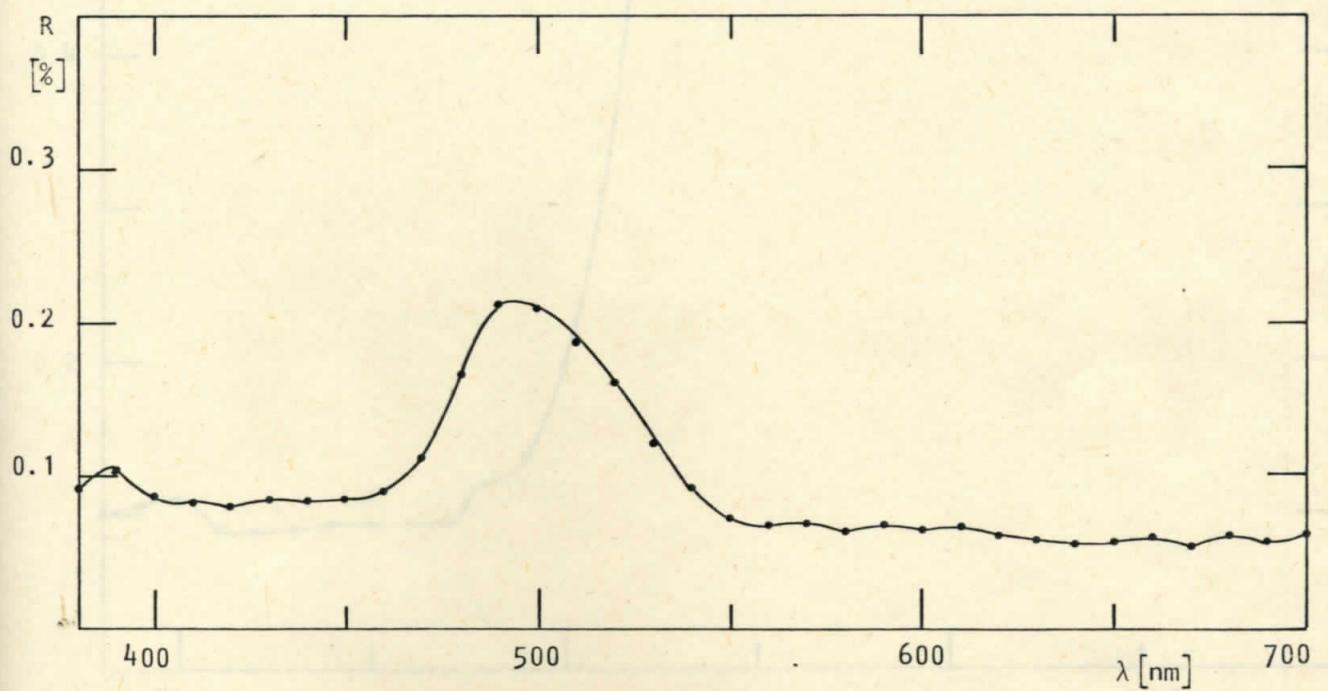
Slika 5.7.



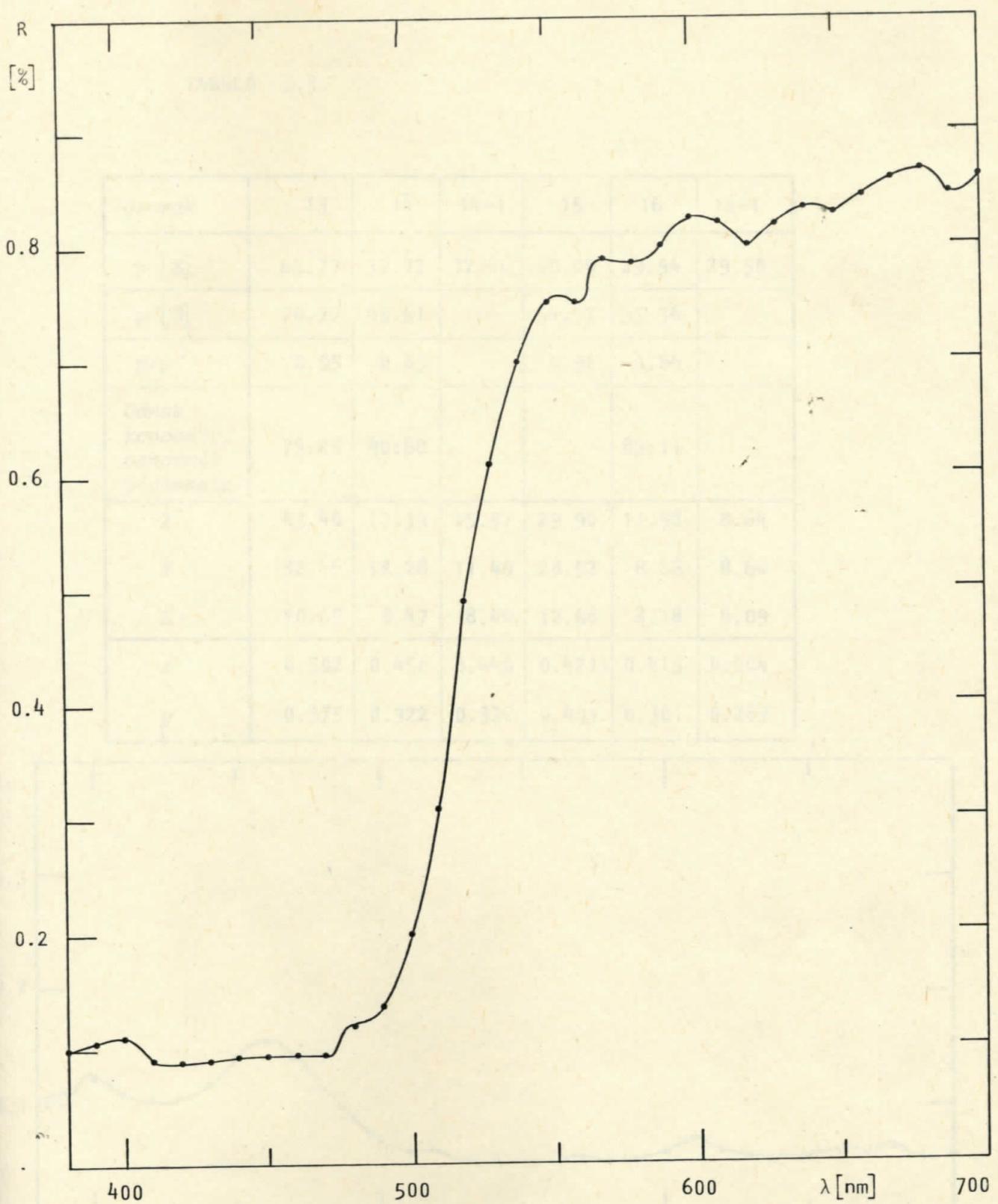
Slika 5.8.



Slika 5.9.



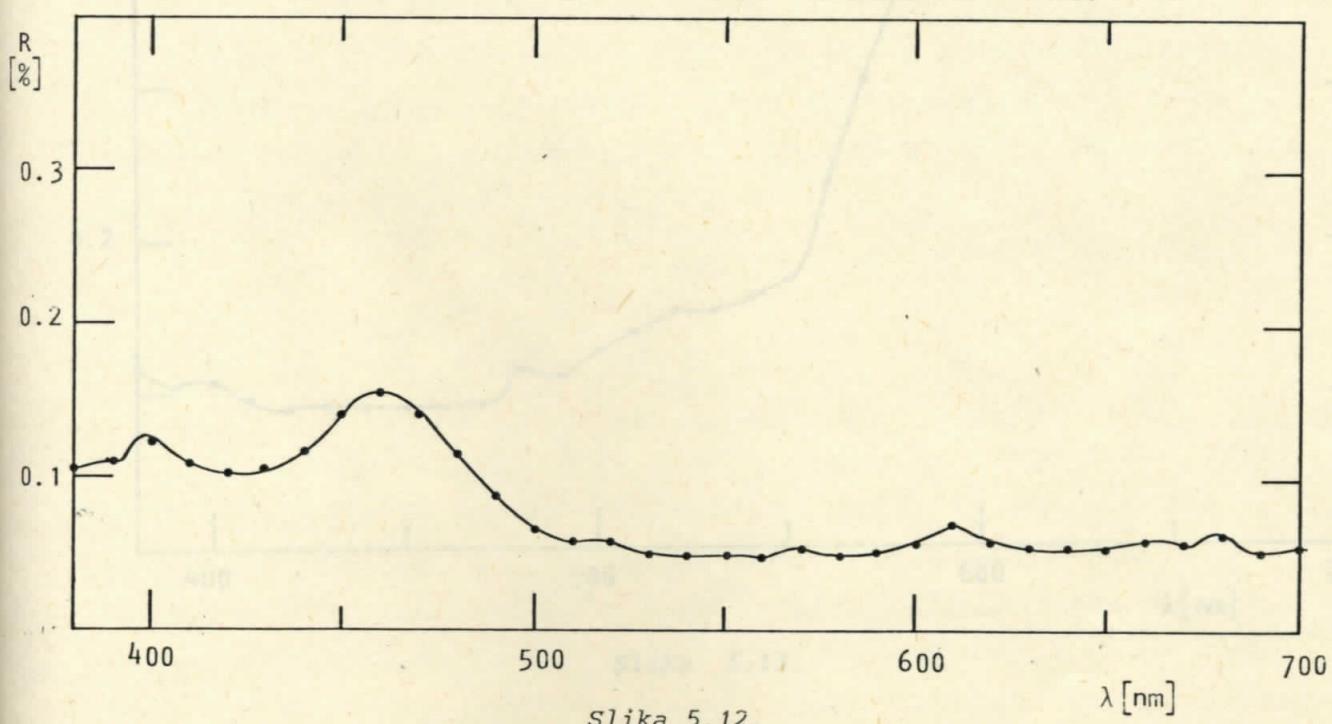
Slika 5.10.



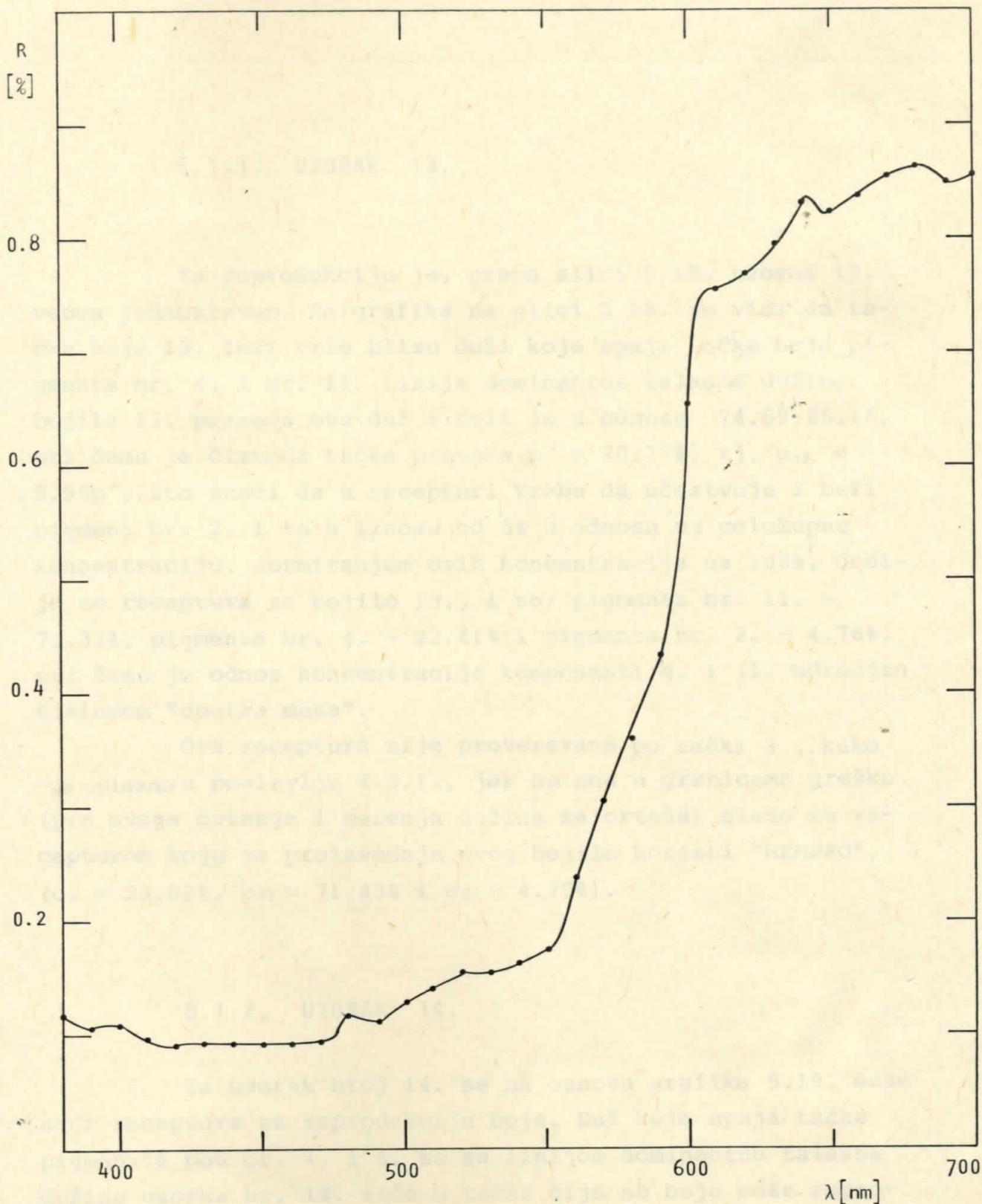
Slika 5.11.

TABELA 5.3.

Uzorak	13	14	14-1	15	16	16-1
p [%]	65.77	37.72	32.46	50.00	29.54	29.50
p' [%]	70.77	45.61		54.73	35.36	
p/p'	0.95	0.83		0.92	0.84	
Odnos koncentr. osnovnih pigmenata	75:25	40:60			89:11	
X	43.40	17.33	15.57	29.90	11.98	8.64
Y	32.46	12.28	11.40	28.52	8.68	8.64
Z	10.65	8.47	8.40	12.68	8.18	8.09
x	0.502	0.456	0.440	0.421	0.415	0.404
y	0.375	0.322	0.322	0.401	0.301	0.287



Slika 5.12.



Slika 5.13.

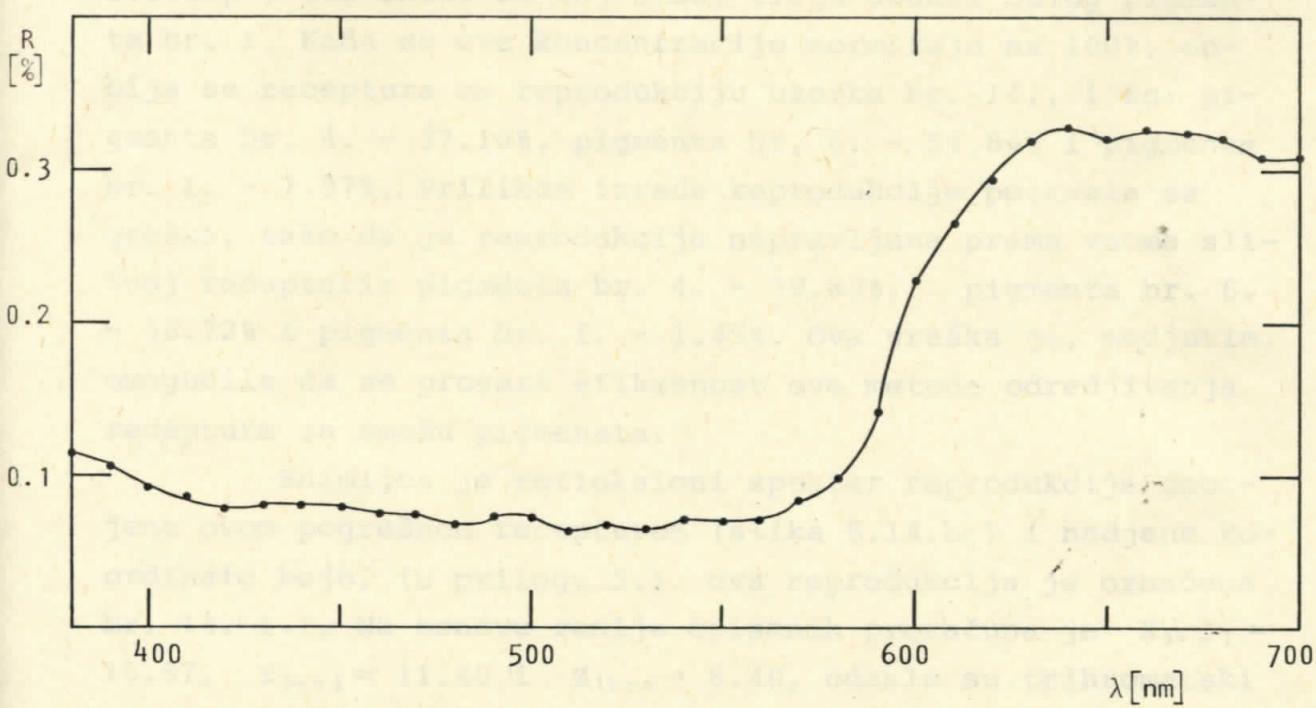
5.1.1. UZORAK 13.

za reprodukciju je, prema slici 5.18. uzorak 13. veoma jednostavan. Sa grafika na slici 5.18. se vidi da tačka boje 13. leži vrlo blizu duži koja spaja tačke boja pigmenta br. 4. i br. 11. Linija dominantne talasne dužine bojila 13. preseca ovu duž i deli je u odnosu 74.89:25.11, pri čemu je čistoća tačke preseka $p' = 70.77\%$, tj. $p_{13} = 0.95p'$, što znači da u recepturi treba da učestvuje i beli pigment br. 2. i to u iznosu od 5% u odnosu na celokupnu koncentraciju. Normiranjem ovih koncentracija na 100%, dobija se receptura za bojilo 13., i to: pigmenta br. 11. - 71.32%, pigmenta br. 4. - 23.41% i pigmenta br. 2. - 4.76%, pri čemu je odnos koncentracija komponenti 4. i 11. određen sistemom "centra masa".

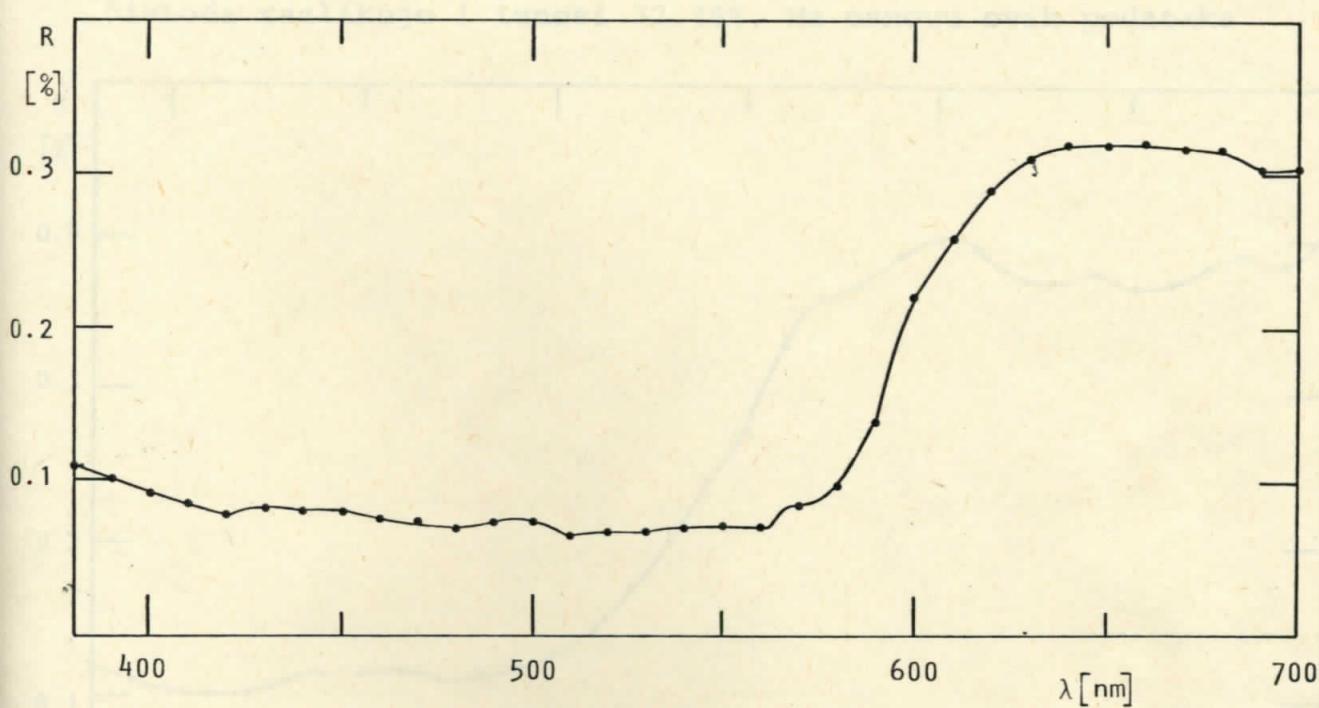
Ova receptura nije proveravana po tački 3., kako je opisano u poglavlju 4.3.1., jer se ona u granicama greške (pre svega crtanja i merenja dužina sa crteža) slaže sa recepturom koju za proizvodnju ovog bojila koristi "HEMPRO", ($c_4 = 23.82\%$, $c_{11} = 71.43\%$ i $c_2 = 4.75\%$).

5.1.2. UZORAK 14.

Za uzorak broj 14. se na osnovu grafika 5.19. može naći receptura za reprodukciju boje. Duž koja spaja tačke pigmenata pod br. 4. i 6. se sa linijom dominantne talasne dužine uzorka br. 14. seče u tački čija se boja može reprodukovati sistemom centra masa, te je prema odnosu presekom dobijene dve duži potrebno za nju uzeti pigmente 4. (40.42%) i 6. (59.58%). Čistoća ove tačke je $p' = 45.61\%$, tj. $p_{14} =$



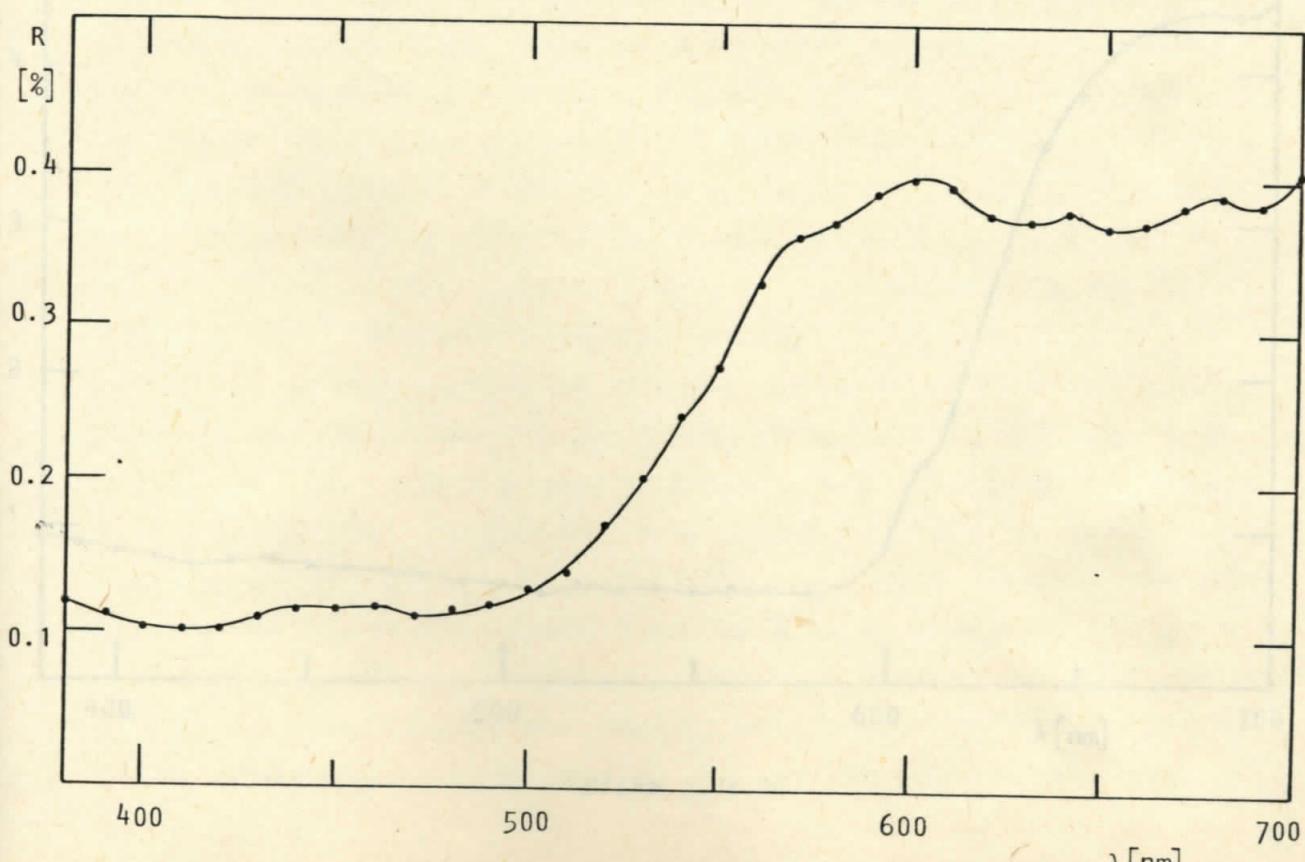
Slika 14.a.



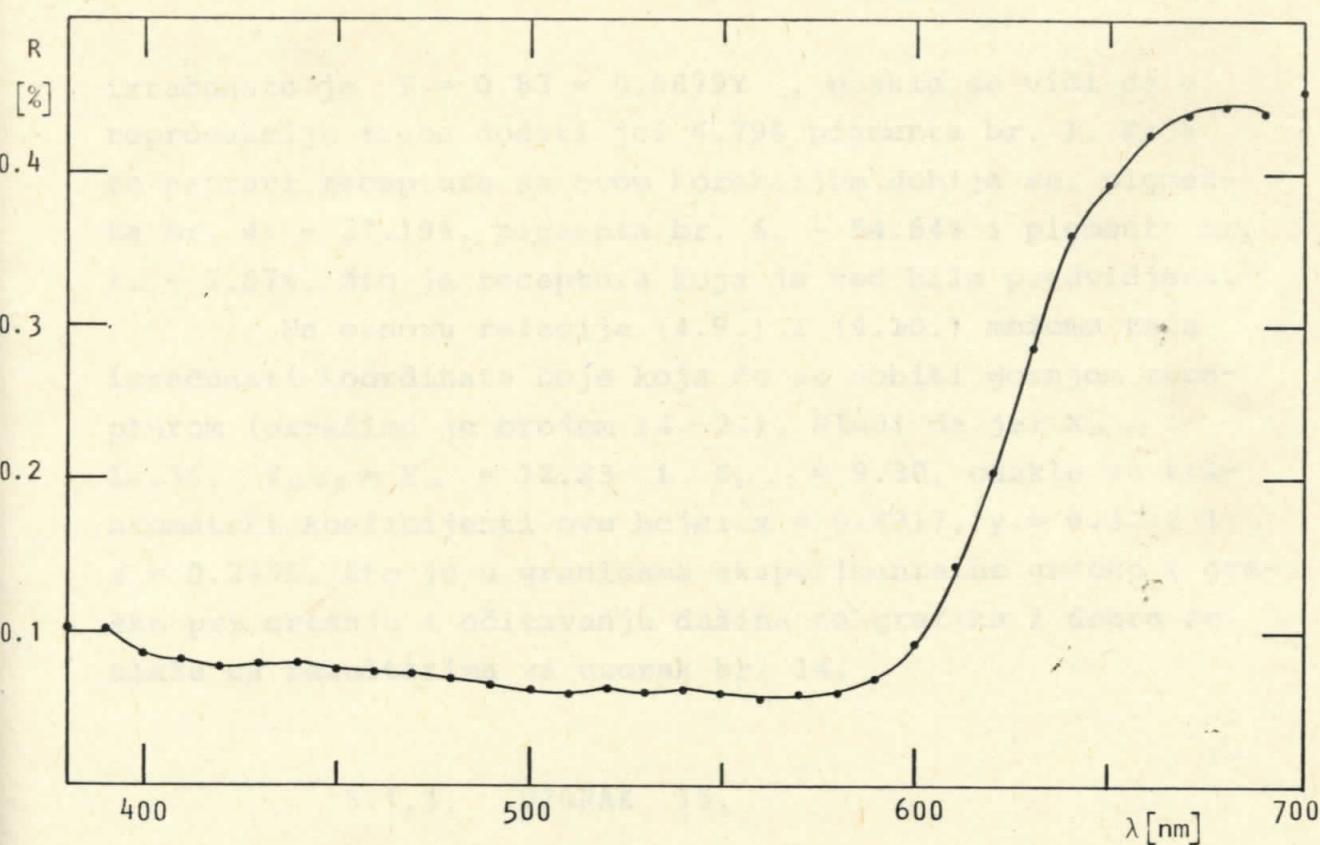
Slika 14.b.

$0.8269 p'$, što znači da toj smeši treba dodati belog pigmenata br. 1. Kada se ove koncentracije normiraju na 100%, dobija se receptura za reprodukciju uzorka br. 14., i to: pigmenta br. 4. - 37.19%, pigmenta br. 6. - 54.84% i pigmenta br. 1. - 7.97%. Prilikom izrade reprodukcije potkrala se greška, tako da je reprodukcija napravljena prema veoma sličnoj recepturi: pigmenta br. 4. - 39.83%, pigmenta br. 6. - 58.72% i pigmenta br. 1. - 1.45%. Ova greška je, međutim, omogućila da se proveri efikasnost ove metode određivanja recepture za smešu pigmenata.

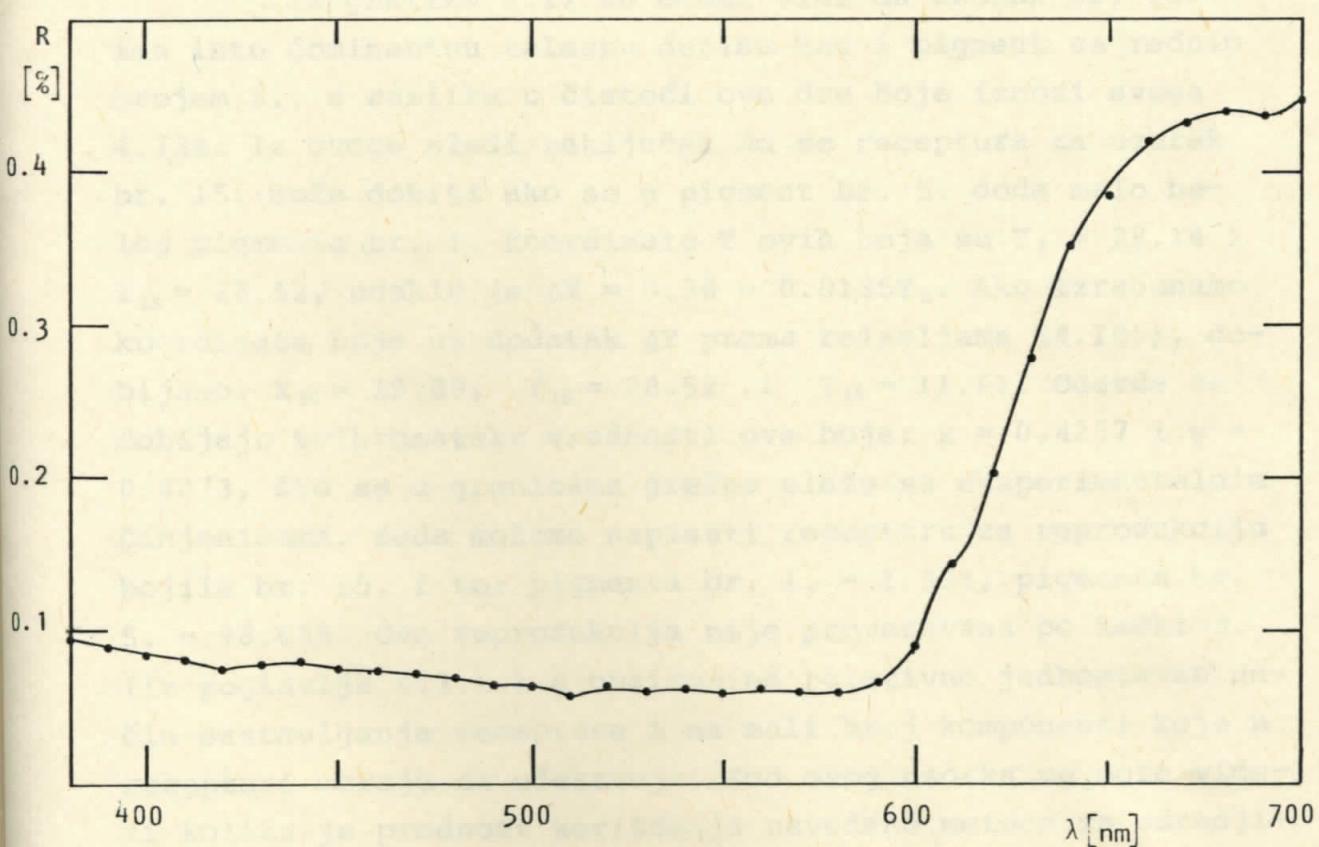
Snimljen je refleksioni spektar reprodukcije dobijene ovom pogrešnom recepturom (slika 5.14.b.) i nadjene koordinate boje. (U prilogu 5.1. ova reprodukcija je označena br. 14.-1.). Na osnovu ranije opisanih proračuna je $X_{14-1} = 15.57$, $Y_{14-1} = 11.40$ i $Z_{14-1} = 8.40$, odakle su trihromatski koeficijenti $x = 0.4401$, $y = 0.3224$ i $z = 0.2325$. Iz grafika hromatičnosti se vidi da je dominantna talasna dužina ove reprodukcije 630 nm (ista kao i za uzorak br. 14.), dok se čistoća razlikuje i iznosi 32.46%. Na osnovu ovih podataka



Slika 5.15.



Slika 5.16.a.



Slika 5.16.b.

izračunato je $Y = 0.83 = 0.0679Y$, odakle se vidi da u reprodukciju treba dodati još 6.79% pigmenta br. 1. Kada se napravi receptura sa ovom korekcijom dobija se: pigmenta br. 4. - 37.19%, pigmenta br. 6. - 54.84% i pigmenta br. 1. - 7.97%, što je receptura koja je već bila predvidjena.

Na osnovu relacija (4.9.) i (4.10.) možemo tađa izračunati koordinate boje koja će se dobiti gornjom recepturom (označimo je brojem 14.-2.). Sledi da je: $X_{14-2} = 16.36$, $Y_{14-2} = Y_{14} = 12.23$ i $Z_{14-2} = 9.30$, odakle su trihromatski koeficijenti ove boje: $x = 0.4317$, $y = 0.3228$ i $z = 0.2455$, što je u granicama eksperimentalne greške i greške pri crtanjtu i očitavanju dužina sa grafika i dobro se slaže sa rezultatima za uzorak br. 14.

5.1.3. UZORAK 15.

Iz grafika 5.17 se odmah vidi da uzorak br. 15. ima istu dominantnu talasnu dužinu kao i pigment sa rednim brojem 5., a razlika u čistoći ove dve boje iznosi svega 4.73%. Iz ovoga sledi zaključak da se receptura za uzorak br. 15. može dobiti ako se u pigment br. 5. doda malo belog pigmenta br. 1. Koordinate Y ovih boja su $Y_5 = 28.14$ i $Y_{15} = 28.52$, odakle je $\Delta Y = 0.38 = 0.0135Y_5$. Ako izračunamo koordinate boje uz dodatak ΔY prema relacijama (4.10.), dobijamo: $X_{15} = 29.89$, $Y_{15} = 28.52$ i $Z_{15} = 11.61$. Odavde se dobijaju trihromatske vrednosti ove boje: $x = 0.4257$ i $y = 0.4073$, što se u granicama greške slaže sa eksperimentalnim činjenicama. Sada možemo napisati recepturu za reprodukciju bojila br. 15. i to: pigmenta br. 1. - 1.35%, pigmenta br. 5. - 98.65%. Ova reprodukcija nije proveravana po tački 3. (iz poglavlja 4.3.1.) s obzirom na relativno jednostavan način sastavljanja recepture i na mali broj komponenti koje u recepturi moraju da učestvuju. Kod ovog uzorka se može videti kolika je prednost korišćenja navedene metode za određivanje recepture reprodukcije, jer za reprodukovanje ovog

uzorka "HEMPRO" svojim metodama pravi recepturu u kojoj učestvuje čak šest osnovnih pigmenata, od kojih neki u veoma malim količinama.

5.1.4. UZORAK 16.

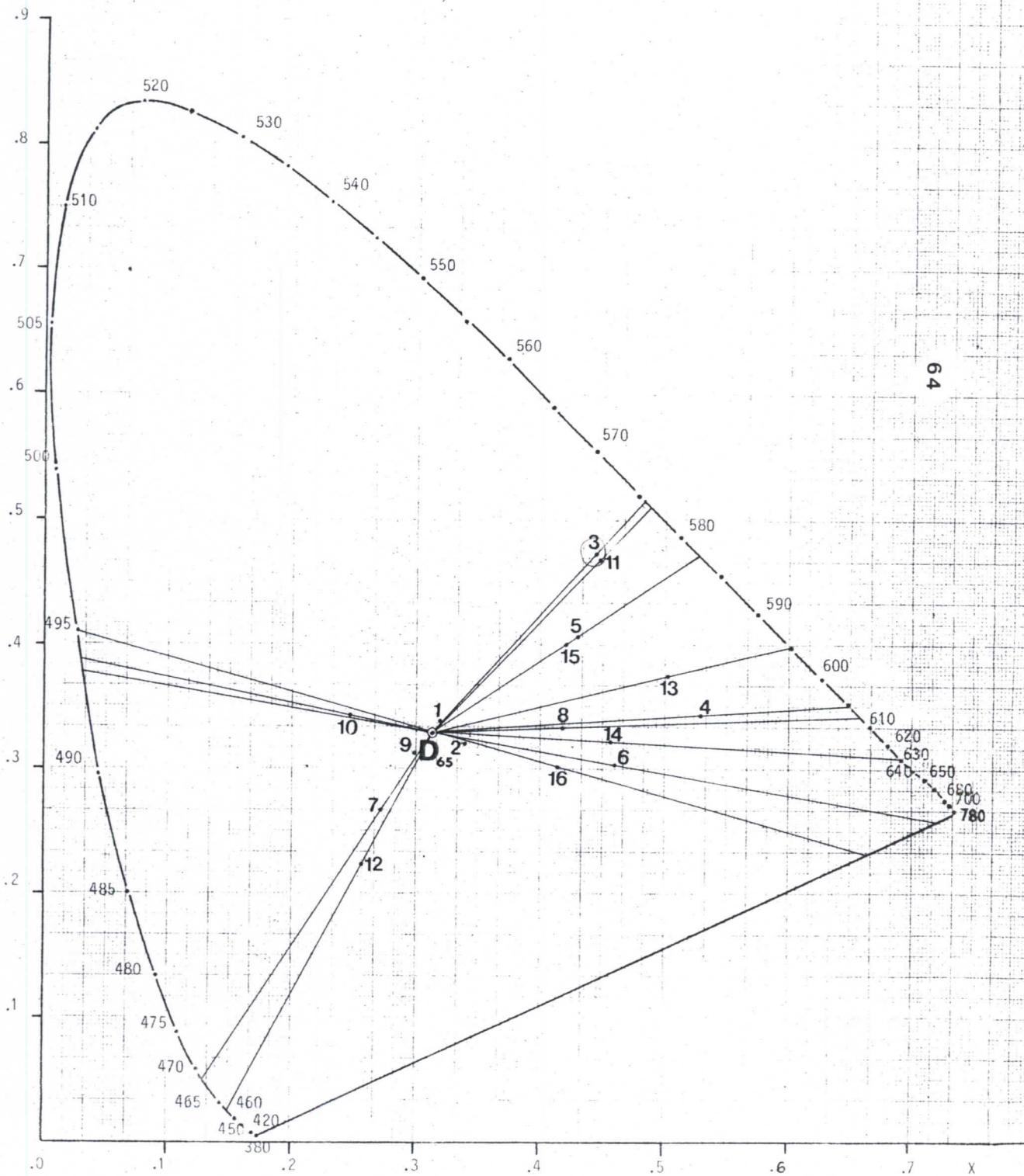
Prema grafiku sa slike 5.20. može se odrediti receptura za reprodukciju uzorka br. 16. Linija dominantne talasne dužine uzorka br. 16. seče duž izmedju tačaka pigmenta br. 6. i br. 12. u odnosu 88.68 : 11.32, pri čemu je čistoća tačke preseka $p' = 35.36\%$, tj. $p_{16} = 0.8353p'$, što znači da u recepturi reprodukcije treba da učestvuje i beli pigment (ovoga puta br. 2.) i to u iznosu 16.47% u odnosu na ukupnu koncentraciju pigmenata, što znači da recepturu treba normalizati na 100%. Na osnovu ovoga imamo recepturu reprodukcije uzorka br. 16 (označena br. 16.-1.) i to: pigmenta br. 6. - 76.14%, pigmenta br. 12 - 9.72% i pigmenta br. 2. - 14.14%.

Prema ovoj recepturi je napravljena reprodukcija i snimljen je njen refleksioni spektar, koji je prikazan na slici 5.16.b. Na osnovu ovih rezultata su izračunate koordinate boja i dobijeno $X_{16-1} = 11.86$, $Y_{16-1} = 8.64$ i $Z_{16-1} = 8.09$, odakle su trihromatski koeficijenti $x = 0.4149$, $y = 0.3021$ i $z = 0.2830$. Kada se ova tačka unese u dijagram hromatičnosti, ona se gotovo u potpunosti slaže sa tačkom uzorka br. 16. Razlike su neznatne i verovatno potiču od greške u crtanju grafika i merenju dužina sa njega.

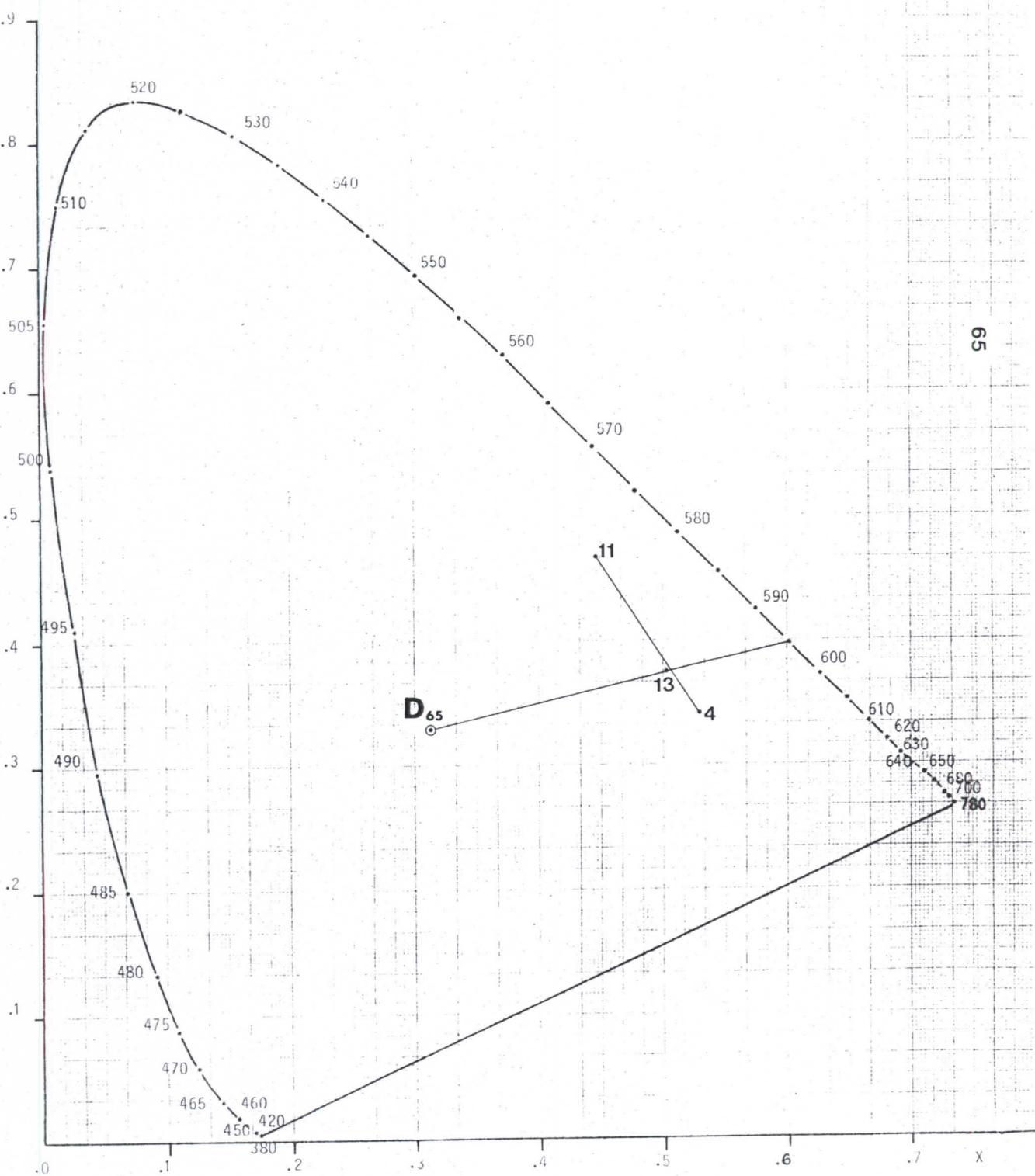
Metamernost boja 16. i 16.-1. se može proveriti tako što se njihove koordinate izračunaju u odnosu na različite izvore i uporede. Tek ako i tada dobijemo poklapanje tačaka, uz istu dominantnu talasnu dužinu, onda su boje uzorka br. 16. i reprodukcije 16.-1. iste. Ovo je učinjeno u odnosu na izvor C, za koji su vrednosti za $I(\lambda)$ uzete iz tabele 5.1.² Izračunati su trihromatski koeficijenti u odnosu na ovaj izvor i oni iznose: $x_{16} = 0.4037$ i $y_{16} = 0.2860$, odnosno $x_{16-1} =$

= 0.4040 i $y_{16-1} = 0.2870$, što znači da se tačke ovih boja poklapaju i u odnosu na ovaj izvor. Pošto je i dominantna talasna dužina (slika 5.21.) ista za izvore D₆₅ i C, možemo smatrati da ove boje nisu metamerne.

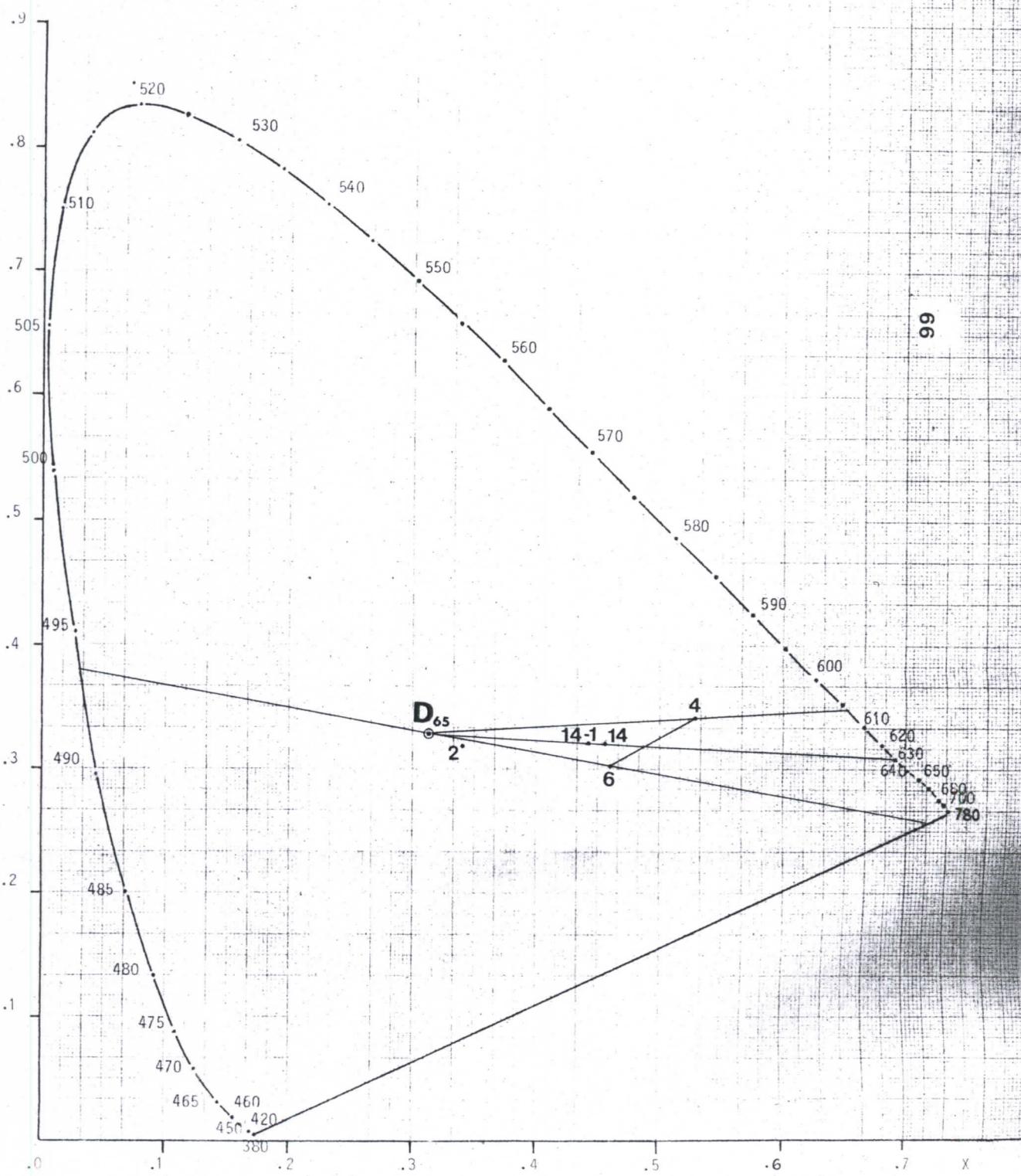
Na ovaj način su, dakle, reprodukovane boje kontrolnih uzoraka. Pri radu neki od uzoraka nisu reprodukovani i proveravani zbog toga što se njihova receprura, određena ovim radom, poklapa sa recepturom koju koristi proizvodjač, ili je veoma prosta, a sama izrada smeše pigmenata i pravljenje uzorka pogodnog za snimanje (premaza) iziskuje dosta vremena, što bi bilo dodatno opterećenje za radnike u laboratoriji "HEMPRA". Ipak, i na osnovu napravljenih i proveravnih reprodukcija uzoraka nameće se zaključak da ovakav metod određivanja recepture za supstraktivnu smešu boja može da se koristi, ako ne sa absolutnom tačnošću, a ono bar u prvom koraku, jer on omogućuje da se odmah utvrde bar osnovni pigmenti, koji u smeši bojila učestvuju u velikim koncentracijama.



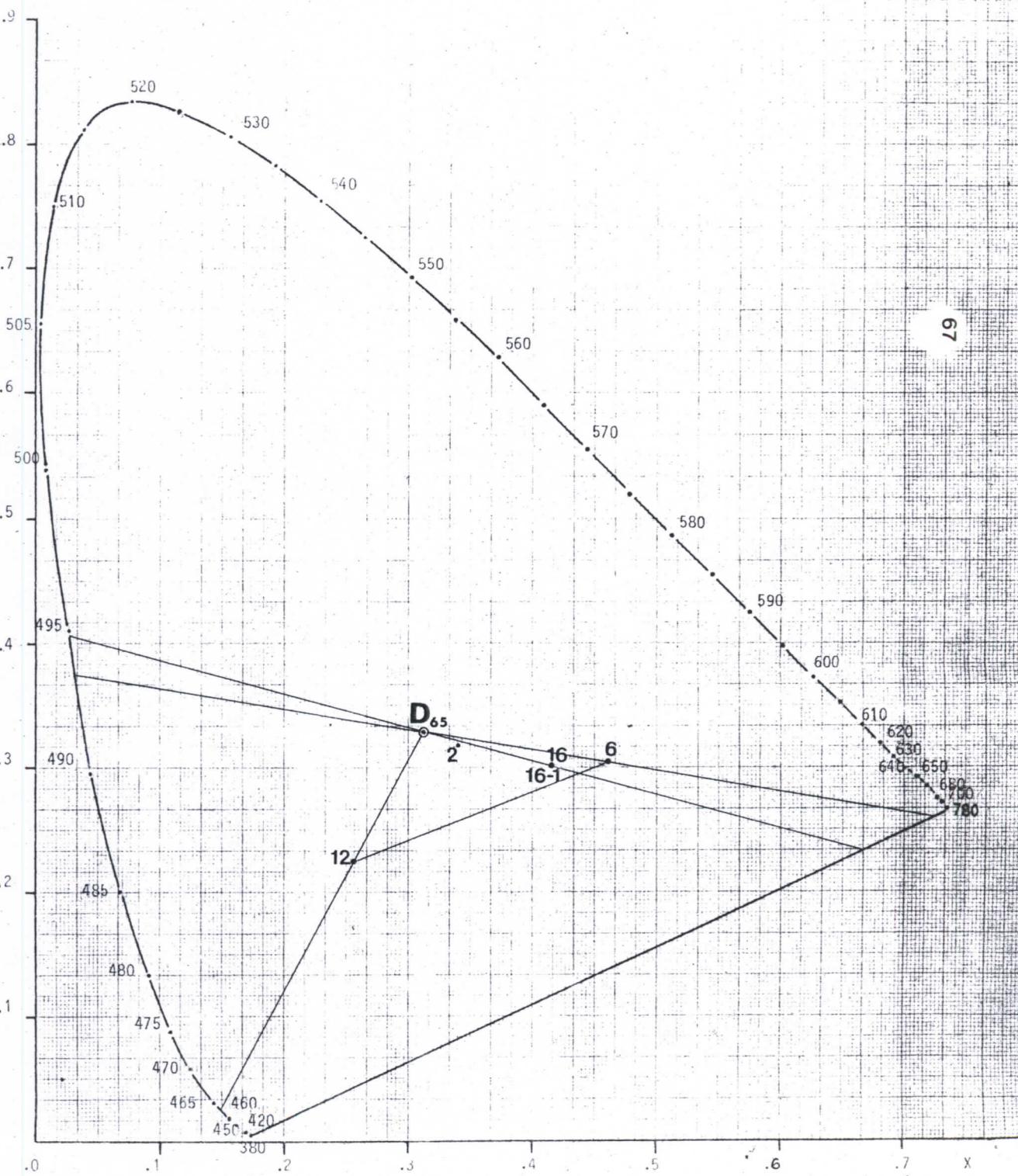
Slika 5.17.



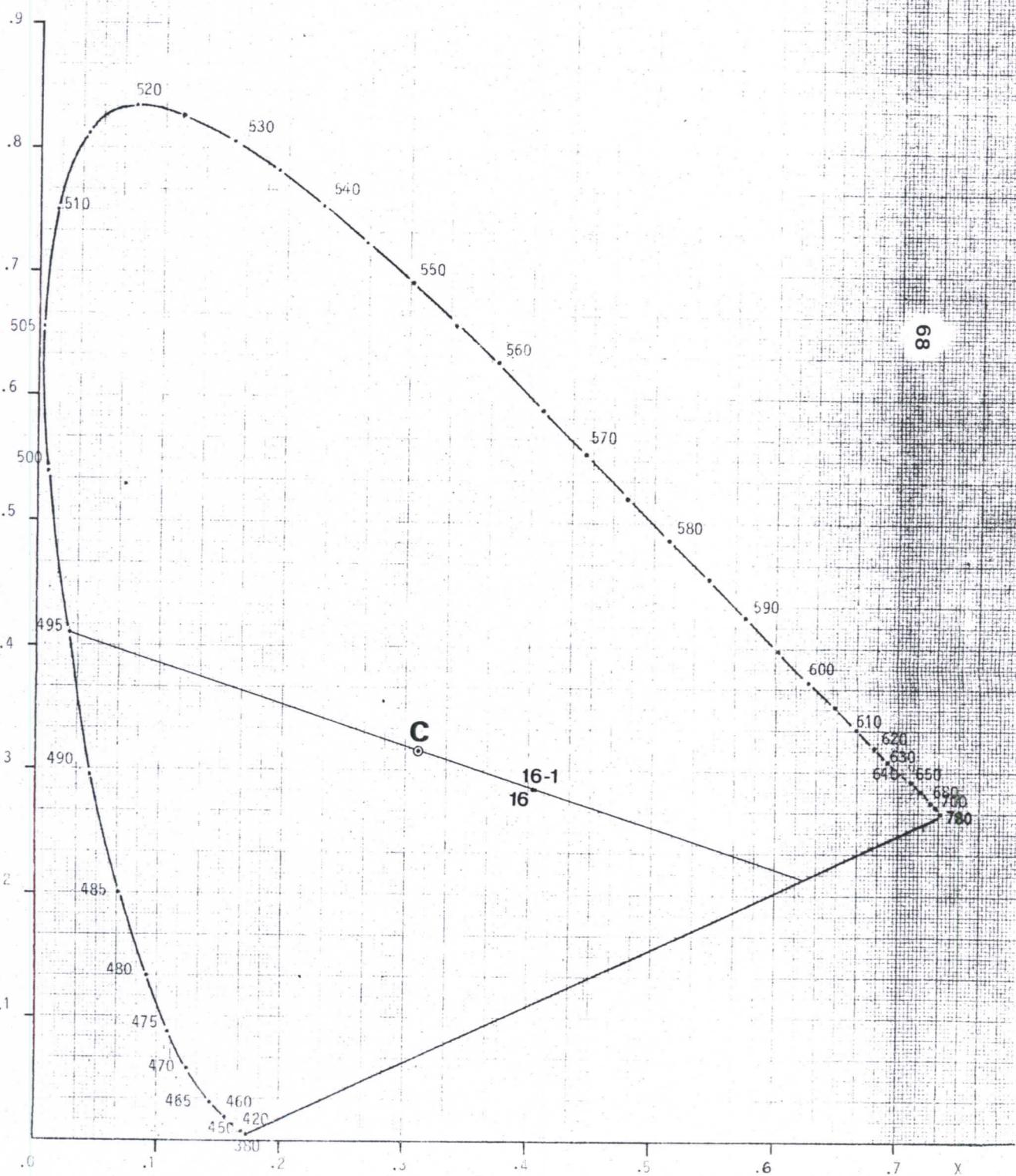
Slika 5.18.



Slika 5.19.



Slika 5.20.



Slika 5.21.

6. ZAKLJUČAK

U poglavljima 1. - 4. ovoga rada opisane su metode za određivanje supstraktivne smeše boja i pravljenje recepture za reprodukciju uzoraka prema dostupnoj literaturi.^{2 4} Međutim, za primenu ove metode potrebni su uredjaji za automatsku obradu podataka, naročito kod obrade relacije Kubelka - Munka. Zbog nemogućnosti da se do ovakvih kompjutera dodje u praktičnom delu ovoga rada, čitava ta teorija nije korišćena, iako ona dobro primenjena, mora da da dobre rezultate.

U radu je korišćena metoda za određivanje recepture supstraktivne smeše boja koja se u literaturi ne sreće u tom obliku, ali se slična metoda navodi za pravljenje aditivne smeše boja. S obzirom na relativno veliki broj pigmenta, medju kojima ima i belih i crnih, ovakva metoda se može koristiti malo modifikovana i za pravljenje supstraktivne smeše. Prva reprodukcija svakog uzorka se može načiniti uvek od najviše tri pigmenta, od kojih je jedan obavezno beli ili crni pigment. Pri tome se odnos dva osnovna pigmenta određuje sa dijagrama hromatičnosti sistemom "centra masa", a treći se ubacuje prema odnosu čistoće uzorka i čistoće smeše prva dva uzorka, što se može utvrditi na osnovu koordinata Y uzorka i ove smeše. Prilikom opredeljivanja da li da treći pigment bude beli ili crni pigment, indikativnu ulogu može da igra koordinata Z boje uzorka. Ona je za zasićene (tamne) uzorke manje, a za svetle uzorke veće vrednosti. Prilikom korišćenja

crnih pigmenata treba imati na umu da njihove i veoma male količine jako zasićuju smešu, te mogu, kada se uzmu u neodgovarajućim koncentracijama, prilično produžiti rad na odredjivanju reprodukcije boje. Sa istom obazrivošću treba koristiti i bele pigmente, jer oni mogu, ako se uzmu u većim količinama da pomere ceo refleksioni spektar prema većim reflektancijama.

Ovaj rad ne treba uzeti kao konačnu mogućnost za pravljenje supstraktivne smeše boja malih uzoraka (pigmenta sitnih zrna) iz više razloga:

1. Prvi korak pravljenja reprodukcije je ovde verovatno slučajno dao veoma dobre rezultate, no može se desiti da boja prve reprodukcije ima čak i dominantnu talasnu dužinu drugačiju od boje uzorka, i u tom slučaju se mora koristiti korekciona matrica (4.11.) za tačnije odredjivanje recepture druge reprodukcije.

2. Pri bilo kom koraku se može desiti da boja reprodukcije i boja uzorka budu metamerne. Tada se koristi metod za korekciju koji ovde nije opisan i može se naći u literaturi.²

3. U dobro opremljenim laboratorijama se ovaj metod čak ne mora ni koristiti, jer postoje spektrofotometri direktno povezani sa računskom mašinom, pa se ceo postupak (od snimanja spektra preko odredjivanja boje uzorka, popravljanja recepture reprodukcije uzorka) vrši automatski. Ovako ceo proces traje nekoliko minuta.

4. U skromnije opremljenim laboratorijama se ovaj metod može koristiti, ali za korekciju je potrebno korišćenje korekcione matrice, a time i računske mašine. Za ovaj rad se može koristiti i komercijalni računski centar, koji je sa laboratorijskim terminalom povezan telefonski.

Veliki svetski proizvodjači bojila danas već uglavnom koriste i gore opisane, i ovde korišćene metode za pravljenje recepture, ali svoj metod svaki od njih drži u tajnosti, čak neće da proda ni licencu jer se na osnovu programa

za jednu recepturu veoma lako mogu napraviti programi za bilo koje recepture. Ovaj rad zato treba shvatiti kao pionirski korak kod nas, i istovremeno kao podstrek proizvođačima bojila da se modernizuju i uhvate "poslednji voz" koji vodi u veće mogućnosti proizvodnje i veću produktivnost. Vreme metode proba i pogrešaka je davno prošlo vreme i svako onaj ko bazira svoju proizvodnju bojila, a naročito reparaturnih emajla, na ovoj metodi je osudjen na stagnaciju i nazadovanje. Međutim, korišćenjem jednog od prostijih i jeftinijih spektrofotometara, proces pripreme se može prilično ubrzati, a uz to se mogu prihvati i poslovi koji su u sadašnjim uslovima proizvodnje prilično komplikovani. Metoda odredjivanja recepture reprodukcije uzorka, korišćena u ovom radu, može u cilju osavremenjavanja proizvodnje reparaturnih emajla da se koristi kao prelaz u periodu pre uvođenja uredjaja za automatsko snimanje remisionih krivih u istraživačke laboratorije.

Za efikasnije odredjivanje ovakve metode odredjivanja reprodukcije boja, svaka laboratorija koja radi na razvoju proizvodnje morala bi da zadovoljava neke elementarne uslove. Na osnovu iskustava iz eksperimentalnog dela ovog rada može se napraviti nacrt projekata razvojne i kontrolne laboratorije proizvodjača bojila.

a. Datoteka

Kao osnova uspešnog rada svake laboratorije je opširna datoteka koja treba da sadrži:

1. - zbirku pigmenata u premazu i zbirku uzoraka koji se proizvode,
- kartoteku sa podacima o pigmentima i bojilima koja se proizvode. Svaka od ovih kartica treba da sadrži osnovne podatke o pigmentu ili bojilu (naziv i hemijski sastav pigmenta, naziv boje pigmenta (prema slici 2.3.), tristimulusne koordinate X,Y,Z i trihromatske koefici-

jente x,y, dominantnu talasnu dužinu i čistoću boje i za bojila koja se već proizvode - recepturu).

2. Uzorke i kartoteku pigmenata drugih proizvođača, koji se trenutno ne koriste, ali mogu postati interesantni.
3. Literaturu iz oblasti fotometrije, kolorimetrije i psihofizike, kao i priručnu literaturu koja sadrži tablice potrebne za izračunavanje tristimulusnih koordinata i proveru metamernosti.

b. Fotometrijska oprema laboratorije

Za opremu laboratorije aparatima uvek postoji širok izbor uredjaja raznih namena, kvaliteta i cena.

1. Skromnije opremljena laboratorijska oprema bi morala imati sledeće uredjaje i aparate:

- spektrofotometar sa pratećim aparatima i odgovarajućim sijalicama,
- priručni uredjaj za aplikaciju bojila prema standardima,
- peć za ubrzano sušenje premaza,
- priručnu manju računsku mašinu,
- uredjaj za stabilizaciju napona električne mreže.

2. Moderno i bogato opremljena laboratorijska oprema može da sadrži i sledeće uredjaje:

- uređaj za rentgenostruktturnu analizu zrna pigmenata i premaza,
- elektronski mikroskop,

- kompjuterizovan spektrofotometar sa mogućnošću automatske obrade podataka i sastavljanje recepture (ovakva laboratorije bi tada morala imati datoteku prilagodjenu korišćenju u mašini za automatsku obradu podataka).

c. Osoblje laboratorije

U skromno opremljenoj laboratoriji bi radno mesto morali imati i stručnjaci raznih profila:

- fizičar - kolorist (psihofizičar),
- inženjer tehnologije bojila,
- inženjer za ispitivanje otpornosti materijala,
- hemičar,
- tehničari nijanseri.

d. Postupak rada

Rad u laboratoriji zahtevao bi poštovanje određenog redosleda vršenja operacija od ispitivanja pigmenata do postavljanja recepture. Kao prvi proces mora se sprovesti ispitivanje uzoraka svakog prispevog pigmenta i to sledećim redosledom:

- rentgenodstrukturna analiza pigmenta (po mogućnosti),
- elektronsko mikroskopiranje zrna pigmenta (po mogućnosti),
- snimanje refleksionih spektara pigmenata suspenzovanih u standardnim nosačima, nanetih standardnim aplikatorima,
- određivanje karakteristika boja pigmenata (tri stimulusne koordinate, trihromatski koeficijenti, dominantna talasna dužina i čistoća),
- pohrana ovih podataka u kartoteku uz oznaku datuma proizvodnje pigmenta, pakovanja iz kojeg je

uzet uzorak i datuma ispitivanja.

Za pravljenje recepture neophodan je sledeći postupak:

- snimanje refleksionog spektra i odredjivanje karakteristika boje uzorka koji treba reprodukovati,
- uporedjivanje karakteristika boje uzorka sa karakteristikama boje sličnih uzoraka (može se desiti da već postoji receptura za takav uzorak),
- odredjivanje refleksionog spektra i odredjivanje karakteristike boje prve reprodukcije i uporedjivanje ove sa karakteristikama boje uzorka,
- ispravka recepture korišćenjem korekcione matrice,
- utvrđivanje eventualne metamernosti i njenog otklanjanje,
- izrada konačne recepture, izučavanje odobrenja za proizvodnju prema recepturi i pohrana podataka u kartoteku.

Pri ovome je važno ispitati svaku isporuku pigmenata, jer se može desiti da pigmenti čak istog proizvodjača, uzeti iz različitih pakovanja, imaju različite karakteristike boja. Ako se ovakva razlika utvrdi, mora se za svaki uzorak u kome takav pigment učestvuje, praviti nova receptura.

Ovaj opis postupaka rada u istraživačkoj laboratoriji bi morao biti rutinski i svaki put obavljan u potpunosti. Ipak, iskustvom i korisnim improvizacijama on se može proširiti ili skratiti.

Na kraju još nekoliko reči o paleti pigmenata koje koristi "HEMPRO" - Šid, a koji su korišćeni u ovom radu. Sa slike 5.17. vidi se da su pigmentima dobro zastupljene oblasti žute, narandžaste, crvene i donekle plave boje, dok je plavozelena zastupljena sa jednim pigmentom, a purpurna, ze-

lena i žutozelena boja nisu zastupljene ni jednim pigmentom. Za efikasnije korišćenje spektrofotometrijske metode pravljenja receptura supstraktivne smeše boja bilo bi potrebno i korišćenje pigmenata čija je boja i u ovim oblastima, pri čemu se pigmenti br. 7., 8. i 5. mogu izbaciti iz upotrebe jer se njihove boje mogu reprodukovati kombinacijom nekih od preostalih pigmenata. Ova napomena je samo usputna konstatacija koja proizilazi iz samih eksperimentalnih merenja, jer cilj čitavog rada nije bio da se ovo (tj. samo ovo) utvrди, već da se izmedju ostalog ukaže i na racionalnije korišćenje pigmenata. Kao značajan faktor se ovde javljaju i cene pigmenata. Često se pogodnim izborom jeftinijih pigmenata može izbeći korišćenje skupih.

Konačan cilj ovog rada neće biti postignut sve dok proizvodjači bojila svih vrsta i za sve namene, a naročito reparaturnih emajla ne shvate prednosti naučne metode pravljenja supstraktivnih smeša boja i ne odluče se za ulaganje u opremu i stručnjake, koji bi koristeći, ne tako bogato iskustvo na ovom polju, uspeli da unaprede proizvodnju bojila i povećaju produktivnost rada. Smatram ovaj rad skromnim doprinosom za ovo unapredjenje i podstrekom za usavršavanje i izgledniju budućnost.

7. LITERATURA

1. Sears, F.W., *Optika, "Naučna knjiga"*, Zagreb, 1963.
2. Джадд, Д., Вышецки, Цвет в науке и технике, (перевод с английского), Изд. "Мир", Москва, 1978.
3. Broz, D., *Osnovi merenja boja, Fotohemiska industrija*, 1, 1972, *Fotokemika Zagreb*.
4. *** *Tehnička enciklopedija, Tom 2.*, Jugoslovenski leksičko-grafski zavod, 1956.
5. Гуревич, М.М., Введение в фотометрию, Изд. "Энергия", Ленинградское отделение, 1963.
6. Бабко, Л.К., Пилипенко, А.Т., Фотометрический анализ, Изд. "Химия", Москва, 1963.