

Numerički i grafički prikaz i usporedba dvobojnih tkanina s različitim modelima boja

Dr.sc. **Helena Gabrijelčič**, dipl.ing.

Prof.dr.sc. **Krste Dimitrovski**, dipl.ing.

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za tekstilstvo
Ljubljana, Slovenija

e-mail: helena.gabrijelcic@ntf.uni-lj.si

Prispjelo 09.02.2007.

UDK 677.016.41:677.024

Izvorni znanstveni rad

*Cilj rada je istražiti mogućnost primjene nekih modela boje za numeričko i grafičko predstavljanje optičkog miješanja na dvobojnim tkaninama. U tu su svrhu odabrane dvobojne tkane strukture koje su imale jednako obojadisanu osnovu i pet različito obojadisanih potkinih niti. Kao referentne su izrađene jednoboje tkanine na kojima su istraženi utjecaji teksture na spektrofotometrijske vrijednosti. Konstrukcijski parametri tkanih struktura su bili različiti, čime su postignuti različiti udjeli obojenih komponenata na površini strukture. Teoretske tristimulusne vrijednosti dvobojnih struktura, određene aditivnim postupkom pomoću spektralnih vrijednosti i udjela obojenih komponenata, služile su za prikaz linearnih položaja mješavina između položaja boje osnovinih i potkinih niti u modelima boja. Stvarne tristimulusne vrijednosti su bile izmjerene spektrofotometrijski. Teoretske i izmjerene vrijednosti refleksije i tristimulusne vrijednosti su uspoređene pomoću metode korelacije te grafičke usporedbe dvobojnih mješavina u xy i $u'v'$ dijagramu te $a*b*$ ravnini. Izračunate su i vrijednosti ukupne razlike u boji, ΔE_{00} . Pomoću rezultata istraživanja omogućena je kritična numerička i grafička analiza primjene različitih sustava boja pri vrednovanju dvobojnih površina, koja je pokazala prednosti i nedostatke svakog obrađenog sustava boja.*

Ključne riječi: dvobojne tkanine, refleksija, XYZ , $L^*u^*v^*$, $L^*a^*b^*$, CIE_{xy} dijagram, razlike u boji

1. Uvod

Temeljne upute metrike boja izdala je međunarodna organizacija CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) 1931 god., a značajnije dopune objavljene su 1976. Dopuna standarda (sustava) metrike boja na znanstvenoj osnovi posljednjih je desetljeća gotovo nepromijenjena [1-3]. Metrika boja je znanost o numeričkom vrednovanju boje i razlika u boji, prije svega na području jednoboje objekata ili površina (tekstil, papir, itd.), dok se područja obrade višebojnih površina razmatraju sa znatno manjom pozornošću. U tom segmentu je istraživač prepušten prethodnim iskustvima i osobnoj kritičkoj procjeni koje metode upotrijebiti za postizanje što objektivnijih rezultata. Mješavine

raznoboje svjetlosti, koje djeluju na načelu aditivnog miješanja i gdje se mogu primijeniti Grassmanovi zakoni, ranije su bile dobro istražene zahvaljujući velikom razvoju optičkih naprava (monitori, televizijski zasloni itd.). Grafičko predstavljanje mješavina obojenih svjetlosti prikazuje se CIE dijagramom xy i $u'v'$. Kod kompleksnijeg subtraktivnog miješanja boji la i pigmenta vrijede složenije jednačbe [4]. Isti izvor napominje da grafička struka koristi psihofizičke pojave optičkih efekata za postizanje željenog opsega boje na obojenoj reprodukciji. To je tzv. autotipijsko miješanje. Poznati su teoretski modeli za procjenu konačnog utjecaja boje različito obojadisanih površina na papiru, koji u

praksi, zbog složenosti pojava, nisu postigli željenu aplikaciju [5].

Na višebojnim površinama su pored različitih boja na površini prisutne i pojave kao: raspoređenost obojenja, veličina i oblik pojedinačnih površina, uzorci i sl., koje dodatno utječu na doživljaj ukupnog efekta boja. Ako su raznoboje površine malene ili ako se objekt promatra s velike udaljenosti, prisutno je i optičko miješanje valencija boja, koje se odbijaju od različito obojanih površina pa se pomoću ljudskog vidnog sustava slijevaju u jedinstven efekt boje. Ova je tema iscrpno analizirana u nekim istraživanjima utjecaja parametara konstrukcije i kompozicije tkanine na optičko miješanje boja na njenoj površini [6-9]. Taj pionirski početak

pokazao je nove mogućnosti prikaza višebojnih tkanih struktura, te istovremeno postavio cijeli niz novih izazova i mogućnosti daljnjih istraživanja. Pri istraživanju i analizi višebojnih površina nije jasno definiran najprimjereniji sustav boja za objektivnu ocjenu ukupnog učinka, te stoga nisu definirani ili standardizirani kriteriji za numeričku ocjenu boja i razlika u boji.

Svrha ovog rada može se podijeliti u nekoliko točaka:

- predstaviti problematiku metrike boja kroz analizu dvobojnih površina na tkanini,
- analiza numeričkih vrijednosti ukupnog učinka boje na dvobojnoj tkanini primjenom različitih sustava boja: spektralnih vrijednosti, XYZ , $L^*u^*v^*$, $L^*a^*b^*$,
- predstavljanje i analiza dvobojnih tkanina pomoću CIE dijagrama boje: xy , $u'v'$ i ravnine a^*b^* ,
- grafički i numerički prikaz razlika u boji (ΔE_{00}) između vrijednosti boje XYZ i $L^*a^*b^*$ dvobojnih mješavina izračunatih linearnim aditivnim načinom i izmjerenim vrijednostima boje dvobojnih mješavina.

2. Teoretski dio

2.1. CIE sustavi boja XYZ , $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$

Spektralne vrijednosti objekta su po CIE teoriji pored standardiziranog načina i standardnog, odnosno normalnog promatrača, najvažniji faktor koji omogućava nastanak boje objekta. Selektivna apsorpcijsko-refleksijska svojstva objekta ovise o fizikalno-kemijskim svojstvima objekta i svojstvima izvora osvjetljavanja. Osnove CIE sustava proizlaze iz aditivnog miješanja spektralnih svjetlosti triju osnovnih boja točno određenih valnih duljina. Standardizirane tristimulusne vrijednosti XYZ u matematičkoj jednadžbi uključuju sva tri faktora nastanka boje u vidljivom dijelu elektromagnetskog zračenja, a istovremeno i vrijednosti iz kojih se određuju koordinate x i y CIE dijagrama boja xy [2]. Mješavine obojenih svjetlosti dviju različitih valnih duljina s različitim x i y koordinatama se u CIE xy dijagramu boja predstavlja dužinom koja povezuje ishodišne boje. Nedostatak CIE xy dijagrama je nejednakost vizualnog opažanja s geometrijskom udaljenošću, što je dovelo do razvoja dijagrama boja CIE UCS i sustava boja CIEL $^*u^*v^*$, gdje su se razlike u vizualnim i geometrijskim udaljenostima prilično smanjile [10]. Uslijedio je razvoj sustava boja CIEL $^*a^*b^*$, koji se u praksi najčešće koristi za numeričko vrednovanje boje, a osim toga je za taj sustav postavljen najveći broj jednadžbi za određivanje razlika u boji. CIEL $^*a^*b^*$ sustav boja nije idealan, jer su u njemu još prisutne nejednakosti vizualne i geometrijske udaljenosti. Usprkos tome, mnogo se upotrebljava za grafički prikaz položaja boje i razlike u boji u a^*b^* , L^*a^* i L^*b^* ravninama $L^*a^*b^*$ koordinatnog sustava [4].

2.2. Učinak boje tkanina od različito obojadisanih osnovnih i potkinih niti

Doživljaj ukupnog učinka boje tkanine od različito obojadisanih osnovnih i potkinih niti posljedica je psihofizičkih reakcija ljudskog mozga pri optičkom miješanju svjetlosti različitih valnih duljina. Kompleksnost pojava dolazi do izražaja pri njihovoj analizi, te je stoga potrebno uvažavati psihofizičke karakteristike ljudskog vidnog sustava, te spektralna i optička svojstva svih komponenata boje, koje utječu na višebojnu površinu. Tristimulusne vrijednosti i odnos boje između obojadisanih niti (međusobni položaj boje osnove i potke u određenom sustavu boja), veličina i raspoređenost obojenih površina (gustoća niti, vez), tekstura (konstrukcijski parametri pređe, vez), utjecaj osvjetljavanja (gustoća niti, vez) samo su neki faktori koji utječu

na vizualni doživljaj optičke mješavine [9]. Posljednje je uvjetovano razlučivanjem vidnog sustava (udaljenost od objekta) i osjetljivosti na svjetlost, spektralne vrijednosti i kontraste [11].

Pri numeričkom vrednovanju višebojnih površina brzo se uviđa problem da se ono ne može izvršiti s primarnim bojama poznatih valnih duljina, čije bi se tristimulusne vrijednosti lako mogle zbrajati (proizvoljno) u željene kombinacije ako su poznati udjeli pojedinih boja [9]. Kao posljedica ostaje problem odabira primjerenog sustava boja, kojim bi se matematički predstavilo optičko miješanje dviju ili više boja ako je poznat faktor pokrivenosti i tristimulusne vrijednosti.

3. Eksperimentalni dio

Istraživanje je provedeno na uzorcima tkanina različitih konstrukcijskih parametara (gustoća osnove i potke, vez) i konstantnim konstrukcijskim parametrima pređe u osnovi i potki 8x2 tex, 1140/m S, debljina $d=0,187$ mm ($CV=14,18\%$). Analizirani su vezovi s obje strane s jednakim odnosom osnovnih i potkinih točaka u redu veza: platno (PL), četverovezni (PA4) i osmerovezni (PA8) panama vezovi, te cirkas (CI). Vrijednosti gustoće osnovnih niti iznosile su 31, 36 i 40 niti/cm, a gustoća potkinih niti je za svaku gustoću osnovnih niti dostizala pet vrijednosti (od minimalnih do maksimalnih vrijednosti, koliko je omogućavala određena konstrukcija). S promjenom konstrukcijskih parametara mijenjali su se udjeli obojadisanih komponenata (osnovine i potkine niti, prostor između niti) na površini tkanine. Tako se lako kontrolirala promjena vrijednosti boje dvobojne mješavine u ovisnosti o udjelu komponenata boje.

Udjeli obojadisanih komponenata određeni su pomoću geometrijskog modela, uzimajući u obzir debljinu i gustoću niti te veza. Teoretski udjeli komponenata boje, matematički

Tab.1 Konstruktivski parametri tkanih uzoraka.

Vez/ gustoća	PL			PA 4			PA 8			CI		
												
g_o	31,00	36,00	40,00	31,00	36,00	40,00	31,00	36,00	40,00	31,00	36,00	40,00
$g_{p, \min. \rightarrow \max.}$	15→23	11→22	8,5→21	22→41,5	17→32	16→35	28→56	24→53	21→44	21,5→41	20→40	16→34
g_p	19,00	16,80	14,20	29,90	23,40	24,90	42,40	38,20	33,60	29,70	28,80	25,00
s	3,16	4,44	4,93	7,65	5,81	7,25	11,78	10,92	9,61	7,65	7,98	6,96
U_o min.→maks.	0,45→ 0,49	0,53→ 0,60	0,60→ 0,69	0,36→ 0,46	0,47→ 0,57	0,50→ 0,64	0,26→ 0,43	0,34→ 0,52	0,44→ 0,60	0,36→ 0,46	0,42→ 0,55	0,51→ 0,64
U_p min.→maks.	0,20→ 0,31	0,14→ 0,27	0,10→ 0,25	0,29→ 0,55	0,21→ 0,40	0,19→ 0,41	0,37→ 0,74	0,29→ 0,66	0,25→ 0,52	0,28→ 0,54	0,25→ 0,49	0,19→ 0,39
U_{pro} min.→maks.	0,24→ 0,30	0,19→ 0,26	0,15→ 0,21	0,10→ 0,25	0,13→ 0,22	0,09→ 0,18	0,00→ 0,20	0,003→ 0,18	0,05→ 0,15	0,10→ 0,25	0,08→ 0,21	0,09→ 0,18

izraženi jednadžbom (1), pokazali su kod upotrebe jednostavnih vezova (platno, panama, keper), veliki stupanj podudarnosti sa stvarnim površinskim udjelima određenima pomoću fotometrijskih istraživanja [12].

Cjelokupni udio pojedinih boja komponente - i može se izračunati kao [9,13,14]:

$$U_i = \frac{u_{on,oi} \cdot n_{ot,oi} + u_{on,pt} \cdot n_{pt,oi}}{n_{oi}} + \frac{u_{pn,ot} \cdot n_{ot,pi} + u_{pn,pt} \cdot n_{pt,pi}}{n_{pi}} \quad (1)$$

gdje upotrijebljene oznake znače: U_i - udio obojene komponente (i je o-osnova, p-potka i pro-prostor među nitima razmak između niti); $u_{on,oi}/u_{on,pt}$ - udio osnovine niti u osnovinoj/potkinoj točki; $n_{ot,oi}/n_{pt,oi}$ - broj osnovinih/ potkinih točaka na osnovinim nitima i -te boje; $u_{pn,ot}/u_{pn,pt}$ - udio potkine niti u osnovinoj/potkinoj točki, $n_{ot,pi}/n_{pt,pi}$ - broj osnovinih/ potkinih točaka na potkama i -te boje; n_{oi}/n_{pi} - zbroj osnovinih i potkinih točaka na osnovinim/potkinim nitima i -te boje ($n_{oi}=n_{ot,oi}+n_{pt,oi}$; $n_{pi}=n_{ot,pi}+n_{pt,pi}$); n - broj svih točaka u ponavljanju jedinice boja. Konstruktivske parametre tkanih uzoraka i udio komponenata boje prikazuje tab.1, gdje su: g_o, g_p gustoća osnovinih i potkinih niti (niti/cm), srednja vrijednost gustoće potkinih niti (niti/cm), \bar{g}_v min.→maks interval gustoće potkinih niti od

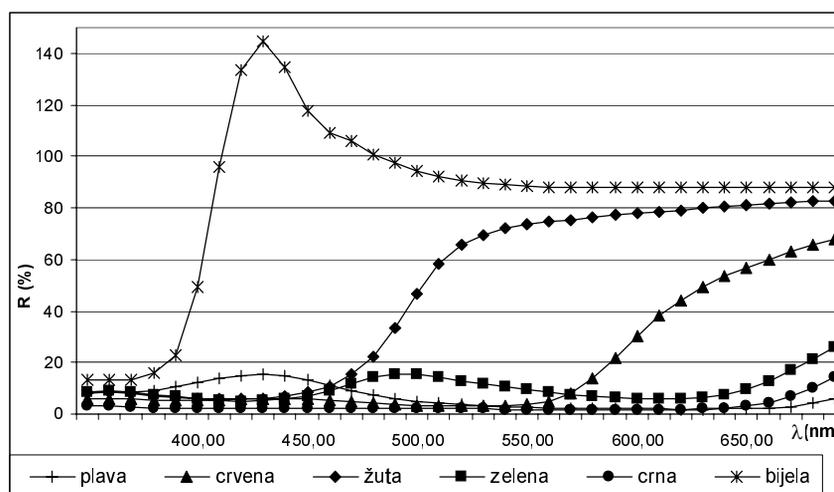
minimalne do maksimalne vrijednosti (niti/cm), s rasipanje gustoće potkinih niti (niti/cm), U_o, U_p, U_{pro} min.→maks. su intervali teoretskih udjela osnovinih niti, potkinih niti i prostora (razmaka) između niti u tkanini od minimalne do maksimalne vrijednosti za određeni vez i gustoću osnovinih niti.

Tristimulusne vrijednosti niti i tkanina izmjerene su prema standardu EN ISO 105-J01 na spektrofotometru Spectraflash SF 600 Plus-CT (D65, 10°, D/8, 2 cm) i programskom opremom Dcshell (Data-color).

Kompozicija boja različitih uzoraka uključivala je skupinu jednobojnih plavo-plavih tkanina i pet različitih dvoboјnih kombinacija, koje su imale plavo oboјadisanu osnovu

(PLA) i različito oboјadisanu potku. Boje potke su bile kromatične: plava (PLA), crvena (CRV), žuta (ŽU), zelena (ZE), i nekromatične: crna (CR) i bijela (BI). Jednobojne plave tkanine su bile izrađene u različitim vezovima u svrhu analize spektrofotometrijskih razlika između boje niti određene boje i tkanine koja je istkana od niti iste boje. Boje potkinih niti bile su izabrane na temelju različitih tonova boje i zasićenosti, tako da su pokrivala različite dijelove CIEL*a*b* prostora boja. Vrijednosti refleksije R(%) osnovinih i potkinih niti prikazane su na sl.1. Vrijednosti XYZ, L*u*v* i L*a*b* niti osnove i potke date su u tab.2.

Izmjerene spektralne i tristimulusne vrijednosti su uspoređene s teoret-



Sl.1 Vrijednosti refleksije osnovinih i potkinih niti

Tab.2 Tristimulusne vrijednosti XYZ , $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$ osnovinih niti plave boje (PLA) i potkinih niti plave (PLA), crvene (CRV), žute (ŽU), zelene (ZE), crne (CR) i bijele (BI) boje

Boja niti	Plava (osnova, potka)	Crvena (potka)	Žuta (potka)	Zelena (potka)	Crna (potka)	Bijela (potka)
X	4,21	16,36	59,46	7,16	1,76	89,63
Y	3,75	9,88	62,89	10,11	1,85	91,93
Z	14,02	5,83	10,44	7,72	2,22	128,34
L^*	22,82	37,63	83,38	38,05	14,66	96,79
u^*	-9,95	79,08	34,89	-19,99	-0,60	-5,51
v^*	-41,62	9,26	84,36	15,10	-1,75	-29,12
L^*	22,82	37,63	83,38	38,05	14,66	96,79
a^*	9,67	47,22	-0,39	-21,58	0,13	4,56
b^*	-34,55	16,70	79,36	9,99	-2,03	-17,82

skim vrijednosti dvobojnih mješavina, koje leže linearno između boja osnove i potke. Te su vrijednosti određene aditivno, uzimajući u obzir tristimulusne vrijednosti (spektralnih R (%), XYZ , $L^*u^*v^*$, $L^*a^*b^*$) i udjela niti osnove (U_o), potke (U_p), te prostora između niti (U_{pro}). Bez obzira na nejednolikost upotrijebljenih sustava boja, te su teoretske vrijednosti predstavljale mješavine, kod kojih bi boja osnovinih i potkinih niti ovisno o svom površinskom udjelu utjecala na ukupni optički učinak boja.

Jednadžba (2) predstavlja računsko određivanje ukupnog spektralnog učinka $R_{tkanine(\lambda)}$ (%) iz spektralnih vrijednosti i udjela osnove ($R_{osnova(\lambda)}$ (%), U_o), potke ($R_{potke(\lambda)}$ (%), U_p) i prostora između niti ($R_{prostor(\lambda)}$ (%), U_{pro}) [9,12].

$$R_{tkanine(\lambda)} = (R_{osnova(\lambda)} \cdot U_o) + (R_{potke(\lambda)} \cdot U_p) + (R_{prostor(\lambda)} \cdot U_{pro}) \quad (2)$$

Usporedba aditivno određenih i izmjenjenih spektralnih vrijednosti određena je pomoću metode korelacije i koeficijena korelacije [15]. U slučaju tristimulusnih vrijednos-

ti XYZ i $L^*a^*b^*$ usporedba je izvršena na temelju razlika u boji ΔE_{00} . Te su vrijednosti izračunate radi analize odstupanja izmjenjenih u odnosu na teoretske tristimulusne vrijednosti mješavine, koje leže na ravnim udaljenostima između položaja ishodišnih boja osnove i potke. Vrijednosti XYZ su bile preračunate u koordinate $L^*a^*b^*$ prije primjene jednadžbe CIEDE2000 [16].

4. Rezultati

Minimalne (min.) i maksimalne (maks.) vrijednosti koeficijena korelacije r_{xy} između teoretskih i

izmjenjenih spektralnih vrijednosti različitih uzoraka s različitom bojom potkinih niti prikazane su u tab.3. Na plavožutim uzorcima u platnenom vezu su dobivene negativne vrijednosti koeficijena korelacije, što je u tab. 3 odvojeno od pozitivnih. Rezultati statističke pouzdanosti koeficijena korelacije nisu prikazani posebno, iako je iznimno kod nekih plavožutih tkanina ($r_{xy} < 0,70$), dobivena 99% pouzdanost korelacijske ovisnosti. Koeficijenti korelacije za spektre jednobojnih tkanina nisu dati, jer teoretski proračuni ne uzimaju u obzir spektrofotometrijske razlike zbog različite teksture veza, koji se posljedično nisu promijenili.

Teoretske (t) i izmjerene (m) tristimulusne vrijednosti XYZ , $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$ su prikazane u tab.4. Radi opsežnosti podataka su za svaki model boje i za sve vezove (uzorke) zajedno predstavljene minimalne (min.), maksimalne (maks.), srednje (sred.) vrijednosti i standardno odstupanje (std., s) tristimulusnih vrijednosti od srednjih vrijednosti.

U tab.5 su predstavljene vrijednosti razlika u boji DE_{00} između aditivno-teoretski određenih i spektrofotometrijskih $L^*a^*b^*$. Kod upotrebe standardiziranih tristimulusnih vrijednosti XYZ , te su vrijednosti preračunate u koordinate $L^*a^*b^*$ radi mogućnosti upotrebe jednake jednadžbe za razlike u boji.

Tab.3 Vrijednosti koeficijena korelacije između teoretskih i izmjenjenih spektralnih vrijednosti R (%) za tkanine u različnim vezovima i različitim bojama potkinih niti

Boja potke	r_{xy}	PL	PA4	PA8	CI
		min. → maks.	min. → maks.	min. → maks.	min. → maks.
Crvena	poz.	0,73→0,93	0,74→0,99	0,88→0,99	0,77→0,99
Žuta	poz.	0,15→0,85	0,38→0,97	0,66→0,98	0,23→0,96
	neg.	-0,47→-0,06	-	-	-
Zelena	poz.	0,98→1	0,99→1	0,99→1	0,99→1
Crna	poz.	0,99→1	0,98→1	0,98→1	0,99→1
Bijela	poz.	0,76→0,84	0,8→0,9	0,85→0,94	0,8→0,91

Tab.4 Teoretske (t) i izmjerene (m) tristimulusne vrijednosti XYZ, $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$ dvobojnih tkanina

Trist. vrijed.	Plava				Crvena				Žuta			
	min.	maks.	sred.	std.	min.	maks.	sred.	std.	min.	maks.	sred.	std.
g_p	8,50	56,00	27,16	10,71	8,50	56,00	27,16	10,71	8,50	56,00	27,16	10,71
X_t	4,21	4,21	4,21	0,00	5,74	12,96	8,99	1,60	11,21	44,50	26,18	7,39
Y_t	3,75	3,75	3,75	0,00	4,47	8,08	6,10	0,80	11,22	46,99	27,31	7,94
Z_t	14,02	14,02	14,02	0,00	8,12	13,12	10,87	1,11	11,22	13,66	12,56	0,54
X_m	4,36	4,89	4,57	0,12	5,02	12,56	7,97	1,71	6,17	29,92	14,83	5,39
Y_m	3,87	4,34	4,06	0,10	4,25	8,11	5,84	0,88	6,16	33,50	16,38	6,20
Z_m	14,47	16,36	15,13	0,41	8,42	13,71	11,24	1,14	11,75	14,10	12,92	0,50
L^*_t	22,82	22,82	22,82	0,00	24,69	33,82	28,71	1,99	30,47	67,81	46,90	8,14
u^*_t	-9,95	-9,95	-9,95	0,00	1,30	56,19	25,45	11,97	-4,28	23,36	7,88	6,03
v^*_t	-41,62	-41,62	-41,62	0,00	-35,19	-3,82	-21,39	6,84	-25,70	51,97	8,48	16,93
L^*_m	24,61	34,44	29,06	2,27	24,61	34,44	29,06	2,27	29,86	64,49	46,50	7,79
u^*_m	-14,81	-10,39	-12,39	1,00	-4,86	52,51	18,36	13,02	-8,70	10,90	-0,42	4,48
v^*_m	-64,49	-44,09	-52,96	4,61	-38,86	-5,28	-23,91	7,46	-29,54	51,60	11,60	18,25
L^*_t	22,82	22,82	22,82	0,00	24,69	33,82	28,71	1,99	20,23	67,81	45,82	9,85
a^*_t	9,67	9,67	9,67	0,00	14,41	37,57	24,60	5,05	2,20	8,40	5,67	1,35
b^*_t	-34,55	-34,55	-34,55	0,00	-28,07	3,52	-14,17	6,89	-20,16	50,07	10,75	15,31
L^*_m	23,36	24,89	23,97	0,34	24,61	34,44	29,06	2,27	29,86	64,49	46,50	7,79
a^*_m	8,86	10,12	9,41	0,30	14,09	37,83	23,89	5,71	-6,64	3,37	-3,63	2,10
b^*_m	-36,08	-33,94	-34,80	0,53	-30,37	1,58	-16,19	7,05	-22,33	42,57	8,99	14,39
Tristim. vrijedn.	Zelena				Crna				Bijela			
	min.	maks.	sred.	std.	min.	maks.	sred.	std.	min.	maks.	sred.	std.
g_p	8,50	56,00	27,16	10,71	8,50	56,00	27,16	10,71	8,50	56,00	27,16	10,71
X_t	4,59	6,30	5,36	0,38	2,41	3,91	3,24	0,33	15,07	66,78	38,16	11,47
Y_t	4,53	8,39	6,26	0,86	2,35	3,48	2,97	0,25	14,86	67,99	38,58	11,79
Z_t	9,38	13,34	11,56	0,88	5,46	12,66	9,42	1,60	28,87	98,95	60,16	15,55
X_m	4,66	7,03	5,77	0,56	2,61	4,40	3,38	0,34	7,16	40,83	19,36	7,55
Y_m	4,54	9,34	6,78	1,10	2,61	3,89	3,20	0,25	6,76	40,97	19,19	7,63
Z_m	10,86	13,81	12,39	0,66	5,38	14,59	9,22	1,73	18,77	67,22	36,47	11,20
L^*_t	24,74	34,13	28,88	2,05	16,76	21,79	19,58	1,10	32,17	77,77	52,23	9,94
u^*_t	-17,41	-11,22	-13,94	1,35	-8,77	-3,01	-6,23	1,26	-9,39	-6,65	-8,19	0,60
v^*_t	-34,45	0,52	-19,07	7,62	-36,58	-12,00	-25,77	5,36	-40,04	-32,33	-36,65	1,68
L^*_m	25,48	36,64	30,92	2,47	18,45	23,44	20,90	0,99	36,48	70,19	50,58	7,75
u^*_m	-19,69	-11,49	-15,32	1,80	-9,98	-4,16	-7,20	1,16	-12,96	-6,61	-8,29	1,16
v^*_m	-36,96	-0,80	-19,46	8,24	-42,86	-15,31	-28,25	5,34	-54,33	-31,57	-37,65	4,06
L^*_t	24,74	34,13	28,88	2,05	16,76	21,79	19,58	1,10	32,17	77,77	52,23	9,94
a^*_t	-13,55	5,72	-2,76	4,20	2,58	8,46	5,88	1,28	5,87	9,02	7,64	0,69
b^*_t	-28,92	-1,46	-16,84	5,99	-30,44	-10,39	-21,62	4,37	-32,44	-22,12	-27,90	2,25
L^*_m	25,48	36,64	30,92	2,47	18,45	23,44	20,90	0,99	36,48	70,19	50,58	7,75
a^*_m	-16,14	4,23	-6,17	4,37	2,64	9,40	5,36	1,28	4,00	6,94	5,39	0,74
b^*_m	-29,14	-2,60	-16,51	5,71	-34,47	-14,18	-24,04	3,94	-28,39	-20,04	-23,72	1,81

Tab.5 Razlike u boji između teoretski aditivno određenih i spektrofotometrijskih tristimulusnih vrijednosti tkanina koje imaju plavu osnovu i različito oboјadisane niti potke, gdje su $L^*a^*b^*$ određene iz teoretskih standardnih XYZ vrijednosti

ΔE_{00}	Plava			Crvena			Žuta			
	$L^*a^*b^*$ iz XYZ									
	$g_o=31$	$g_o=36$	$g_o=40$	$g_o=31$	$g_o=36$	$g_o=40$	$g_o=31$	$g_o=36$	$g_o=40$	
PL	$\overline{\Delta E_{00}}$	2,27	2,03	2,14	5,12	5,05	5,47	21,19	20,90	19,41
	s	0,63	0,64	0,77	0,48	0,57	0,45	0,82	0,91	3,42
PA4	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,75	1,76	1,87	3,83	4,35	4,14	17,25	19,88	17,61
	s	0,44	0,25	0,76	0,79	0,59	1,40	1,79	2,12	2,85
PA8	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,10	0,94	0,71	1,92	2,29	2,58	12,29	13,76	14,31
	s	0,27	0,09	0,08	0,77	0,54	0,97	2,19	2,11	2,10
CI	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,00	1,02	0,89	3,38	3,63	4,77	17,36	18,03	20,29
	s	0,37	0,24	0,25	0,73	0,39	0,18	2,13	1,62	0,85
	$L^*a^*b^*$									
PL	$\overline{\Delta E_{00}}$	0,80	0,86	0,62	2,27	2,03	2,14	12,97	15,13	9,68
	s	0,13	0,33	0,14	0,63	0,64	0,77	0,43	1,38	3,09
PA4	$\overline{\Delta E_{00}}$	0,82	0,82	0,87	1,75	1,76	1,87	11,09	12,03	12,73
	s	0,14	0,42	0,09	0,44	0,25	0,76	1,67	0,51	1,99
PA8	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,10	0,95	0,71	1,16	1,20	1,04	8,22	9,56	11,32
	s	0,26	0,08	0,08	0,17	0,15	0,18	1,68	2,39	2,24
CI	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,01	1,02	0,89	1,30	1,26	2,03	11,60	12,54	12,74
	s	0,37	0,24	0,25	0,45	0,50	0,28	1,87	1,61	1,13
ΔE_{00}	Zelena			Crna			Bijela			
	$L^*a^*b^*$ iz XYZ									
	$g_o=31$	$g_o=36$	$g_o=40$	$g_o=31$	$g_o=36$	$g_o=40$	$g_o=31$	$g_o=36$	$g_o=40$	
PL	$\overline{\Delta E_{00}}$	0,90	0,69	0,41	1,30	1,11	0,94	19,02	17,36	16,27
	s	0,21	0,41	0,05	0,24	0,43	0,28	0,50	1,65	3,19
PA4	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,17	1,04	2,01	1,39	1,04	1,22	15,51	17,32	15,53
	s	0,29	0,45	1,55	0,47	0,50	0,48	2,76	1,28	1,75
PA8	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,47	1,36	1,94	1,60	1,24	1,18	12,88	13,80	13,21
	s	0,40	0,29	0,72	0,50	0,35	0,42	1,59	1,14	1,17
CI	$\overline{\Delta E_{00}}$	1,32	1,50	1,23	1,77	1,56	1,28	16,98	16,70	17,35
	s	0,53	0,31	0,38	0,43	0,37	0,36	1,14	0,90	0,81
	$L^*a^*b^*$									
PL	$\overline{\Delta E_{00}}$	4,04	3,39	2,44	1,45	1,26	1,21	4,25	2,80	7,30
	s	0,43	0,86	0,76	0,27	0,46	0,44	0,89	0,69	1,48
PA4	$\overline{\Delta E_{00}}$	3,55	3,57	5,21	1,86	1,44	1,33	4,17	1,98	1,98
	s	0,35	0,84	1,94	0,33	0,31	0,26	0,96	0,60	1,00
PA8	$\overline{\Delta E_{00}}$	3,77	4,90	5,54	2,30	1,98	1,41	3,67	2,60	1,75
	s	0,51	1,99	0,75	0,28	0,36	0,16	1,30	1,11	0,42
CI	$\overline{\Delta E_{00}}$	4,77	5,01	4,51	1,69	1,64	1,47	4,99	3,53	2,81
	s	0,51	0,30	0,73	0,42	0,40	0,36	1,03	1,11	1,15

5. Rasprava

5.1. Prikaz dvoboјne mješavine pomoću spektralnih vrijednosti

Problem prikaza tristimulusnih vrijednosti dvoboјne tkanine od različito oboјadisanih niti osnove i

potke uočava se primjenom spektralnih vrijednosti. Doprinos pojedinih komponenata boje na ukupni spektralni učinak znatno ovisio spektralnim vrijednostima ishodišnih boja osnove i potke, prikazanih na sl.1. Utjecaj same teksture veza na spektralne vrijednosti prikazan je

na primjeru jednoboјnih tkanina koje imaju plavu boju osnove i potke, sl.2a, gdje se lako uočavaju veće izmjerene spektralne vrijednosti tkanina (TKmjer.) od spektra jednoboјnih niti u području spektralnog maksimuma plavih niti (istovremeno je to uzrok za razlike između izmjerenih i teoretskih vrijednosti - TKteor.). Razlika je uistinu minimalna (otprilike 1%), ali ipak dovoljna za značajne razlike u boji, koje će se predstaviti u daljnjoj raspravi.

U tab.3 su uz rezultate dani i koeficijenti korelacije r_{xy} između teoretskih (aditivno) određenih i izmjerenih spektralnih vrijednosti dvoboјnih tkanina različitih uzoraka. Dvoboјne tkanine se s obzirom na podudaranje rezultata obih skupina mogu podijeliti u tri podskupine prema refleksijskom maksimumu upotrijebljenih oboјenih niti prikazanih na sl.1. Kod plavozelenih i plavocrnih tkanina, gdje su osnove i potkine niti imale razmjerno niske vrijednosti refleksije (niske vrijednosti maksimuma refleksije), visoke su vrijednosti koeficijenata korelacije ($r_{xy} \geq 0,98$) i pokazale su očekivani optički učinak pojedinih komponenata boje (osnova, potka, podloga) na ukupne spektralne vrijednosti. Grafički prikaz plavozelene tkanine u osmeroveznom panama vezu (PA8) je na sl. 2b, gdje izmjereni (TKmjer.) i teoretski (TKteor.) spektar dvoboјne tkanine leži između spektara plave osnove (pređaPLA) i zelene potke (pređaZE). Može se ustvrditi da kod tih dvoboјnih tkanina svaka komponenta boje na površini (osnova, potka, prostor između niti) razmjerno svom udjelu (U_o, U_p, U_{pro}) utječe na konačnu boju tkanine. S povećanjem refleksijskih vrijednosti potkinih niti u dvoboјnoj mješavini (bijele i crvene potke), podudaranje aditivnih i izmjerenih mješavina prelazi iz odličnog u dobro, što pokazuju i nešto niže vrijednosti koeficijenata korelacije r_{xy} između 0,73 i 0,99. Utjecaj pojedinih komponenata boje na ukupni spektar tu nije potpuno srazmjeran sa spektrom i udjelom po-

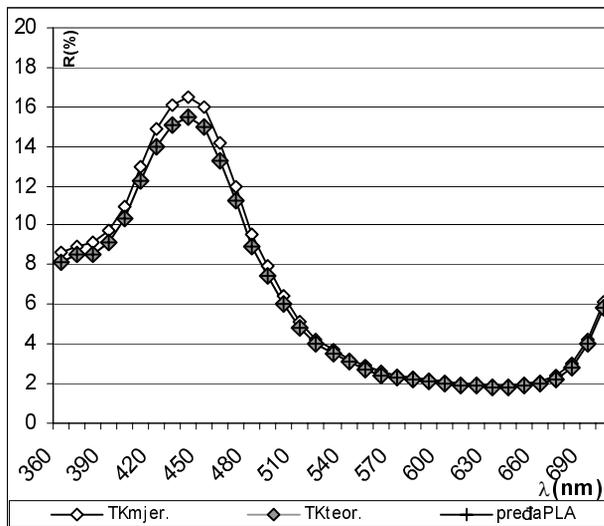
jedinih komponenata. Na sl. 2c dat je grafički prikaz plavocrvene kombinacije, gdje se uočava rasipanje između aditivno određenog (TKteor.) i izmjerenog (TKmjer.) spektra dvobojne mješavine, prije svega na području refleksijskog maksimuma crvenih potkinih niti ($\lambda > 630$ nm), dok se u području refleksijskog maksimuma plave boje prekrivaju. Istovremeno se kod tih obojenih mješavina pokazuju razlike uzrokovane različitim vezovima. Iz tab.3 je vidljivo da su najbolje aditivne dvobojne mješavine veza osmerovezni panama (PA8) s najvećim raportom veza i najvećim površinama pojedinih komponenta

ta boje na površini tkanine ($0,85 \leq r_{xy} \leq 0,99$). Analizom svih rezultata spektralnih vrijednosti najviše istupaju plavožute tkanine, kod kojih su koeficijenti korelacije prilično oscilirali ovisno o vezu, od najnižih do najviših negativnih i pozitivnih vrijednosti, čime su ukazali na neslaganje između očekivanih i izmjerenih spektralnih vrijednosti dvobojne mješavine. Na sl. 2d prikazano je odstupanje aditivnih i izmjerenih spektralnih vrijednosti plavožutih tkanina, koje je očito u području maksimuma refleksije žutih potkinih niti ($\lambda > 520$ nm, sl.1). Ta kombinacija komplementarnih boja os-

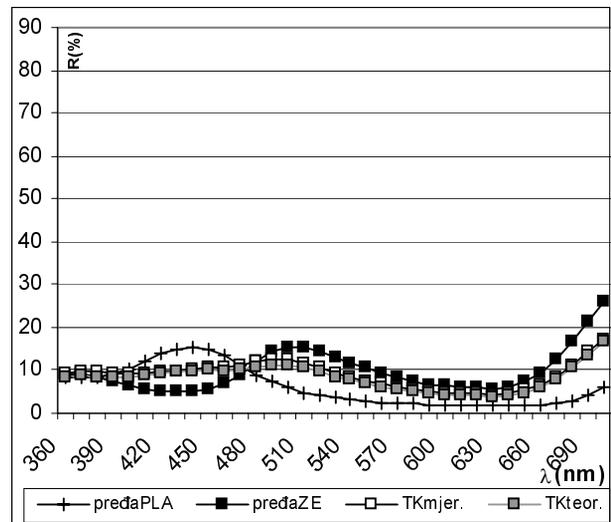
nove i potke je na površini tkanine stvorila optički nekromatičnu mješavinu, u kojoj je učinak spektra žutih potkinih niti u suštini manji nego što je teoretski izračunato na temelju refleksije i udjela žutih niti.

5.2. Prikaz dvobojne mješavine s vrijednostima XYZ, $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$

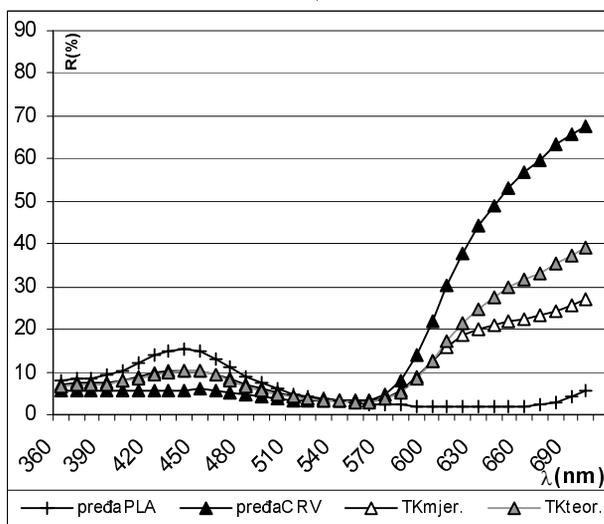
Spektralne vrijednosti su zaista osnovni podatak o refleksijsko-apsorpcijskim svojstvima određenog objekta, pomoću kojih se lako može objasniti što se događa sa spektrom dvobojne površine u cijelom vidljivom području elektromagnetskih



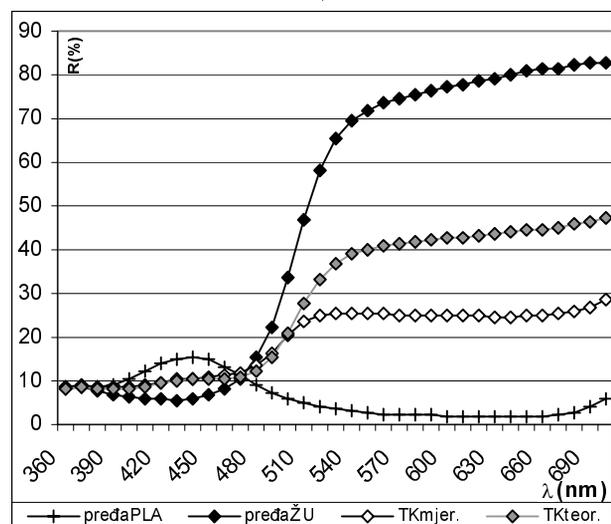
a)



b)



c)



d)

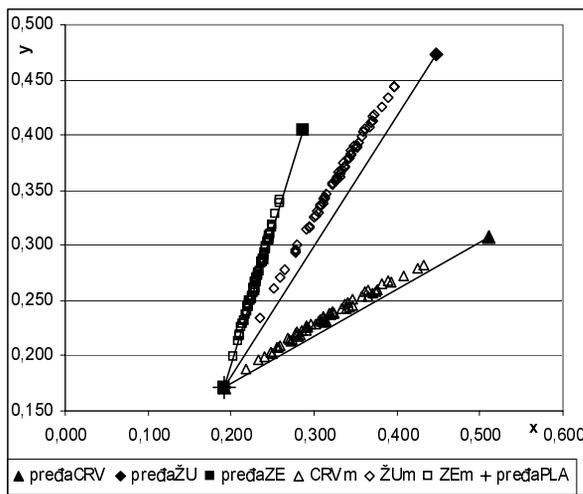
Sl.2 Spektralne vrijednosti niti osnove i potke, teoretski i spektrofotometrijski određeni spektri tkanina

valova. Istovremeno to nije odgovarajući način grafičkog predstavljanja boje i razlike u boji. Stoga se u nastavku ovog istraživanja dvoboјne mješavine prikazuju s tri sustava boja: standardizirane tristimulusne vrijednosti XYZ , $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$, dijagrami xy , $u'v'$ i ravnina a^*b^* . To je grafički prikazano na sl.3, 4 i 5 za dvoboјne tkanine s kromatskim i nekromatskim bojama potki. Teoretski aditivno određene tristimulusne vrijednosti leže na ravnim udaljenostima između polo-

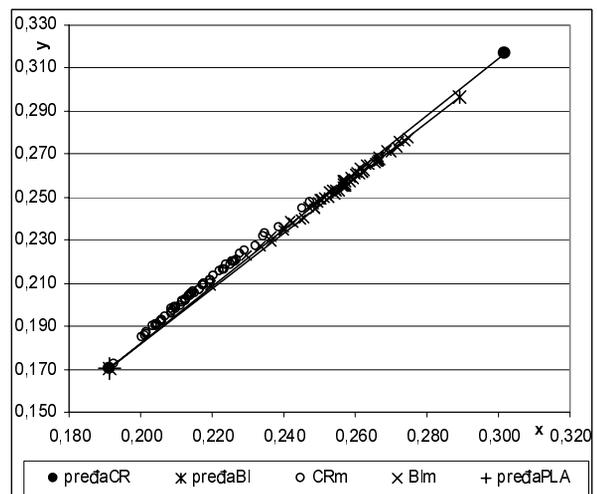
žaja ishodišnih boja osnove i potke (pređaCRV, pređaŽU, pređaZE, pređaCR, pređaBI i pređaPLA), Spektrofotometrijski određene vrijednosti su predstavljene točkama u ravninama (CRVm, ŽUm, ZEm, CRm, Blm). Na sl.6 su grafički prikazane i srednje vrijednosti razlika u boji ΔE_{00} između teoretski (aditivno) određenih i izmjerenih tristimulusnih vrijednosti $L^*a^*b^*$ dvoboјnih tkanina. U prvom primjeru su $L^*a^*b^*$ vrijednosti određene iz aditivno izračunatih standar-

diziranih vrijednosti XYZ zbog mogućnosti primjene jednadžbe CIEDE2000. Srednje vrijednosti za uzorke određene kombinacije boje se izračunaju na temelju tab.5 za sve vezove zajedno.

Na sl.3 i 4 prikazane su dvoboјne mješavine u xy i $u'v'$ dijagramu i praktički potvrđuju zaključke do kojih se došlo analizom mjerenih refleksijskih vrijednosti dvoboјnih tkanina. Položaji vrijednosti boja plavozelenih i plavocrnih mješavina leže na teoretskim udaljenostima

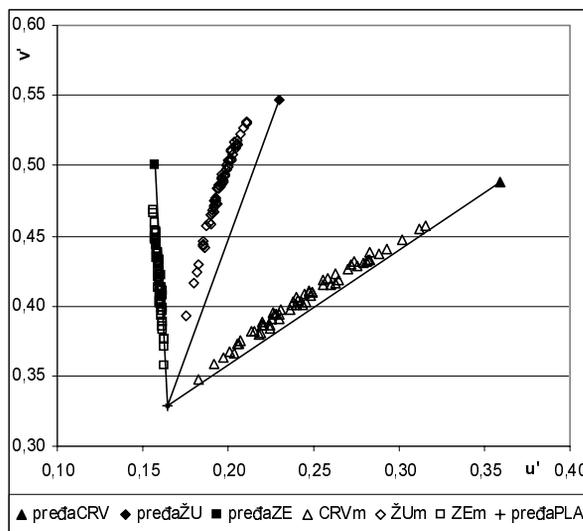


a)

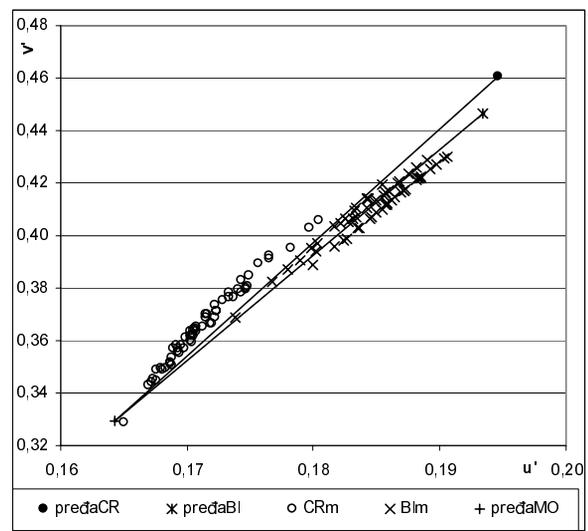


b)

Sl.3 Grafički prikaz plavocrvenih, plavožutih i plavozelenih a), te plavocrnih i plavobijelih b) dvoboјnih tkanina u dijagramu kromatičnosti xy

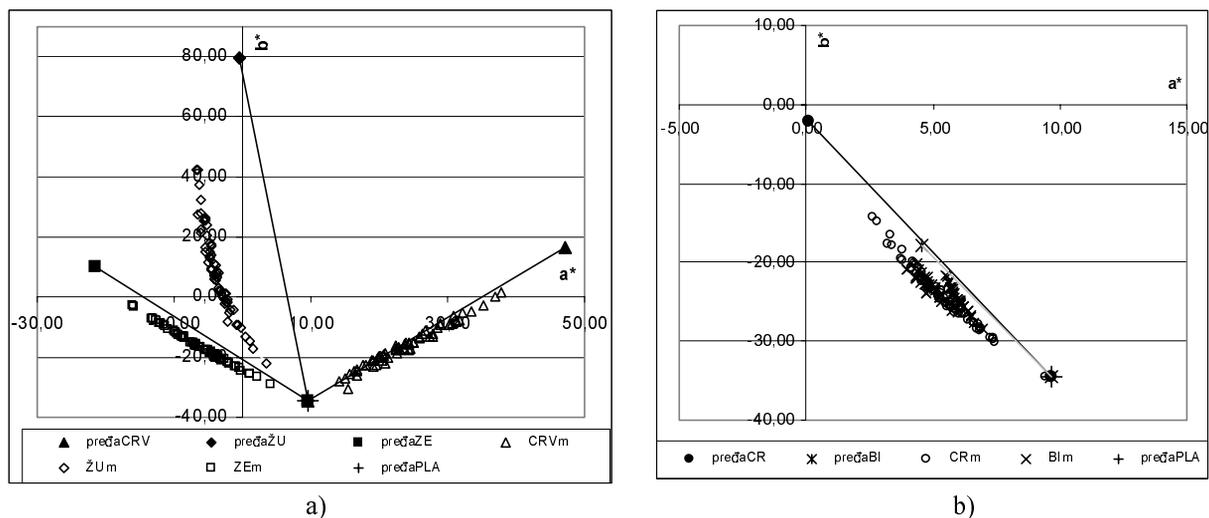


a)



b)

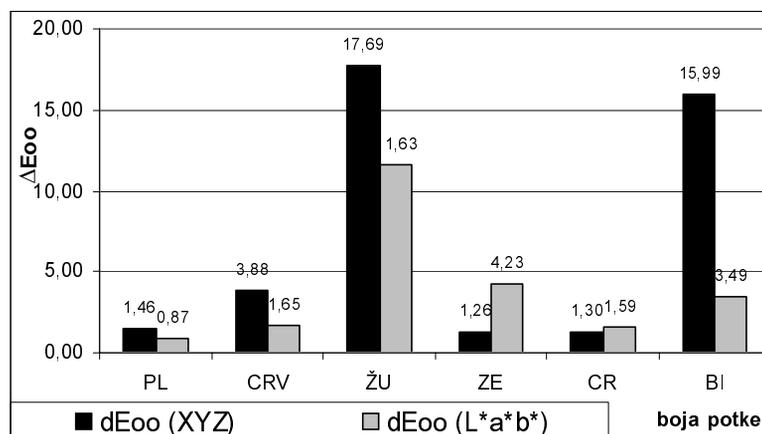
Sl.4 Grafički prikaz plavocrvenih, plavožutih i plavozelenih a), te plavocrnih i plavobijelih b) dvoboјnih tkanina u $u'v'$ dijagramu boja



Sl.5 Grafički prikaz plavocrvenih i plavozelenih a), te plavocrnih i plavobijelih b) dvobojnih tkanina u a^*b^* ravnini

koje povezuju ishodišne boje osnovnih i potkinih niti. Pojedine komponente boje su također utjecale na ukupnu optičku mješavinu razmjerno svom udjelu pokrivenosti. To rezultira također manjim srednjim vrijednostima ukupne razlike u boji ΔE_{00} na sl.6 ($dE_{00}XYZ$), gdje je za plavozelene tkanine izračunata srednja ukupna razlika u boji $\Delta E_{00}=1,26$, a u slučaju plavocrnih $\Delta E_{00}=1,30$.

Kod plavocrvenih tkanina se kao i kod spektralnih vrijednosti ponovno javljaju odstupanja od teoretskih optičkih mješavina boja. Zbog toga se na sl.3 i 4 uočavaju veći pomaci mjernih vrijednosti xy i $u'v'$ od linearnih duljina, vrijednosti ukupnih razlika u boji na sl.6 se u tom slučaju povećavaju u odnosu na srednje vrijednosti za sve vezove $\Delta E_{00}=3,88$ ($dE_{00}XYZ$). Pored plavožute se kao problematična mješavina boja pokazala i plavobijela kombinacija. Na sl.3 i 4 se zato opažaju veća odstupanja položaja mjerenih boja mješavina od ravnih-teoretskih duljina. Odstupanja se grafički prikazuju kao nelinearne promjene vrijednosti xy i $u'v'$ u ovisnosti o jednakomjernim promjenama udjela obojenih komponenata (osnove i potke) i u oba slučaja u smjeru većih vrijednosti na ordinatama osi (y i v'). Stupičasti dijagram srednjih numeričkih vrijednosti razlika u



Sl.6 Razlike u boji ΔE_{00} između aditivno-teoretski i spektrofotometrijski određenim tristimulusnim vrijednostima $L^*a^*b^*$. U prvom slučaju su vrijednosti $L^*a^*b^*$ bile preračunate iz XYZ vrijednosti

boji potvrđuje grafičke prikaze s visokim vrijednostima $\Delta E_{00}=17,96$ kod plavožutih i $\Delta E_{00}=15,99$ u primjeru plavo-bijele tkanine kombinacije.

Dvobojne mješavine u sustavu boja prikazane su i u a^*b^* ravnini (sl.5a i 5b). U slučaju teoretski-aditivno određene vrijednosti a^*b^* leže na ravnoj duljini koja povezuje ishodišne boje osnove i potke. Njihov položaj i blizina ishodišnim bojama ovisi o udjelu obojenih komponenata. Usporedba ravnine a^*b^* s dijagramom xy i $u'v'$ ukazuje na različito pomicanje položaja izabranih dvobojnih mješavina među ishodišnim bojama osnove i potke koje čine ispitivanu kombinaciju

boja. Kromatične kombinacije niti su predstavljene u ravnini a^*b^* , koja predstavlja prije svega ton i kromatičnost boje. U ravnini a^*b^* se ne može ustvrditi da kromatska plavozelena dvobojna kombinacija najbolje slijedi linearni tok duljine između osnove i potke pa je uočljiv blagi pomak položaja dvobojnih mješavina u smjeru negativnih vrijednosti b^* . Posljedica toga bila je izračunata veća srednja vrijednost razlike u boji između teoretskih i izmjerenih vrijednosti ($\Delta E_{00}=4,23$) nego iz standardiziranih vrijednosti XYZ ($\Delta E_{00}=1,26$). S druge strane, u a^*b^* ravnini opaža se prilično linearna promjena položaja boje dvobojnih tkanina u slučaju plavo-

crvenih niti. Postupnim dodavanjem plave osnovine u odnosu na crvene potkine obojene komponente zbivaju se prilično linearne promjene položaja dvobojnih mješavina, koje se bolje, ali manje pomiču po aditivnoj duljini. Posljedica tog ponašanja plavocrvene kombinacije u a^*b^* ravnini rezultira manjim srednjim vrijednostima razlike u boji $\Delta E_{00}=1,65$ između teoretskih boja na duljini i izmjerenim tristimulusnim vrijednostima.

Najveću pozornost ponovno privlači plavožuta kombinacija, gdje se koordinate a^*b^* te dvobojne mješavine u obliku izrazite krivulje pomiču od položaja plave boje osnove ($a^*=9,67$, $b^*=-34,55$) prema koordinatama žute boje potke ($a^*=-0,39$, $b^*=79,36$). Pri tome izmjerene boje mješavine prelaze u području neobojene točke ravnine a^*b^* (mimo koordinatnog ishodišta i osi L^*). Takvo ponašanje ove obojene kombinacije je najvjerojatnije posljedica optičkog miješanja valencija boja dviju komplementarnih boja. Mješavine, koje leže oko osi L^* su optički nezasićene mješavine sivog tona, koje imaju slične vrijednosti kao i udjeli obih prevladavajućih obojenih komponente na površini tkanine (plavih osnovinih i žutih potkinih niti).

Na kraju su rezultati na dvobojnim tkaninama dopunjeni s rezultatima jednobojne tkanine. Razlike u boji ΔE_{00} između niti određene boje i jednobojne tkanine istkane od tih niti kreću se oko vrijednosti 1 ($\Delta E_{00}=1,46$ za $dE_{00}XYZ$ i $\Delta E_{00}=0,87$ za $dE_{00}L^*a^*b^*$) i posljedica su različitih optički-svjetlosnih pojava na pređi i tkanini, koja je izrađena od te pređe (refleksija, sjaj, ispreplitaj). Ta vrijednost razlike u boji između niti i tkanine je prisutna i kod dvobojnih tkanina i potrebno ju je uzeti u obzir kao jedan od uzroka neslaganja aditivno određenih tristimulusnih vrijednosti između ishodišnih boja i spektrofotometrijski određenih tristimulusnih vrijednosti.

6. Zaključak

U radu je dat grafički i numerički prikaz te usporedba optičkih efekata miješanja boja dvobojnih tkanina sa različitim parametrima konstrukcije. Optički efekti miješanja boja osnovinih i potkinih niti u uzorku su karakterizirani spektralnim i standardiziranim tristimulusnim vrijednostima, te $L^*u^*v^*$ i $L^*a^*b^*$ vrijednostima. Dvobojne tkanine su imale skupno ishodište boja jer je boja osnovinih niti bila konstantna. Boja potkinih niti se mijenjala i imala različite položaje u prostoru boja. Istraživanje je pokazalo da je skupni numerički rezultat miješanja dviju boja ovisan o ishodišnim bojama osnovinih i potkinih niti. Odnos među bojama koje se kombiniraju u optičkoj mješavini također utječe na grafički prikaz u određenom sustavu boja. Pokazalo se da optičke mješavine spektralno srodnih boja (što je također praksa u industrijskoj izradi tkanina) nude na površini prihvatljivije rezultate i linearnije promjene tristimulusnih vrijednosti, ovisno o promjeni komponenta boje. Kod nekih mješavina boje osnovinih i potkinih niti su tvorile po tonu i zasićenosti boje prilično kontrastne kombinacije, čije je ponašanje u različitim modelima boja zahtijevalo posebnu pozornost i analizu.

Ograničenja istraživanja su bili konstantno plava boja u osnovinom sustavu niti i manji broj analiziranih kombinacija, što onemogućava apsolutno jednoznačno donošenje zaključaka za različite kombinacije boja. Unatoč tome, prikazane su nove mogućnosti numeričke i grafičke analize obojenih mješavina, koje pri poznavanju ishodišnih boja i konstrukcijskih parametara tkanine omogućuju novi pogled u ponašanje površine, sastavljene od različito obojadisanih elemenata.

Predstavljeni rezultati i njihova rasprava mogu se sažeti u sljedeće zaključke:

- Analiza dvobojnih površina pomoću metrike boja gdje je prisut-

no optičko miješanje boja osnovinih i potkinih niti s tehničkog i istraživačkog aspekta zahtjevnija od standardizirane analize jednobojnih površina. Zbog nedostatka specijaliziranih metoda za analizu višebojnih površina koriste se standardizirane metode metrike boja. Interpretacija rezultata treba biti prilagođena ishodišnim bojama i konstrukcijskim parametrima analizirane tkanine te odabranom sustavu boja.

- Kod mjerenja spektralnih i tristimulusnih vrijednosti višebojnih površina valja paziti na dovoljno opsežno obuhvaćanje podataka o boji na površini, da su u mjenom uzorku prisutne sve boje koje doprinose ukupnom učinku (u prvom redu u vezovima s velikom obojenom jedinicom ponavljanja treba upotrijebiti veće mjerne blende na spektrofotometru).
- Za razumijevanje djelovanja pojedinih obojenih komponenta na ukupni učinak boje potrebno je u prvoj fazi poznavati konstrukcijska i optička svojstva pojedinih obojenih komponenta te njihove udjele u pokrivenosti površine, a u daljnjim fazama i uzajamnu ovisnost i interakcije između navedenih svojstava.
- Pojedini elementi višebojne površine nisu "idealni" izvori svjetla, koji zrače svjetlost točno određene valne duljine, te se zato ne mogu isključivo primijeniti sustavi boja koji omogućavaju prikaz aditivnog miješanja (CIExy dijagram).
- Pokazalo se da se spektrofotometrijski određene tristimulusne vrijednosti manje ili više linearno približavaju duljini koja povezuje ishodišne boje osnove i potke. Ovisnost spektrofotometrijskih i teoretskih vrijednosti je pri tome ovisna o ishodišnim bojama, kombinaciji boja i odabranom sustavu boja. Linearniji položaj boje mješavine s obzirom na položaj ishodišnih boja u odabranom sustavu boja znači jednakomjeran i očekivan utjecaj udje-

- la i tristimulusnih vrijednosti ishodišnih boja na ukupni optički učinak.
- Za aditivne proračune ukupnog učinka boje mješavine najprimjerenije su spektralne vrijednosti, iako praćenje spektra u cijelom području tristimulusnih vrijednosti otežava njihovu analizu. Drugi sustavi boja (XYZ , $L^*u^*v^*$, $L^*a^*b^*$) nude jednostavniju aplikaciju na višebojne površine. Pri tome treba imati na umu da uporaba različitih sustava boje izaziva razlike u grafičkom prikazu dvobojnih površina i razlike u boji između aditivno-teoretskih i spektrofotometrijskih tristimulusnih vrijednosti.
 - Grafički prikaz učinka dvobojne optičke mješavine prilično se razlikuje ovisno o tome da li se upotrebljava xy dijagram ili ravnina a^*b^* . Kod upotrebe xy dijagrama najbolje su se aditivno ponašale plavozelena kromatična kombinacija i plavocrna tkanina (što se očekivalo na temelju analize spektralnih vrijednosti mješavine). Plavocrna kombinacija je zadržala aditivnost također i u ravnini a^*b^* , a pored nje se s tim izborom sustava boja za bolje aditivno miješanje boja pokazala plavocrvena kombinacija.
 - Odnos među ishodišnim bojama osnove i potke utječe na ponašanje optičke mješavine i posljedično na spektrofotometrijske rezultate i numeričku analizu. Kombiniranjem dviju komplementarnih kromatskih boja (plave osnove i žute potke) dobivena je optički nezasićena mješavina boja u nezasićenim područjima a^*b^* ravnine (oko osi L^*) i time

udaljeno od linearnog položaja među bojama osnove i potke.

- Linearnost položaja pojedinih kombinacija boja s obzirom na boju osnove i potke u xy dijagramu i a^*b^* ravnini potvrdila se i s upotrebom razlika u boji između spektrofotometrijski i teoretski-aditivno određenim tristimulusnim vrijednostima. Manje vrijednosti ΔE_{00} su značile vizualno bliže primjerenije teoretske i spektrofotometrijske rezultate. Na vrijednosti ukupnih razlika u boji je dominantno je utjecala određena kombinacija boja osnove i potke. Potrebno je uzeti u obzir i interakciju svjetla s različitim teksturama višebojnih površina.

Literatura :

- [1] CIE, International Commission on Illumination, <http://www.cie.co.at/cie/>, [1.12.2006], (2006)
- [2] International Commission on Illumination: Colorimetry : technical report, 3rd ed., Vienna : Commission internationale de l'Eclairage, CIE Central Bureau, (2004)
- [3] Interdisciplinarnost barve. Ed. Jeler, S., Kumar, M. Maribor : Društvo koloristov Slovenije, (2001)
- [4] McDonald R.: Colour physics for industry, Bradford : Society of Dyers and Colourists, (1987)
- [5] Field G.: Color and its reproduction, 2nd ed., Pittsburgh : GATF, (1999)
- [6] Kočevar T.N.: Vpliv parametrov konstrukcije in kompozicije tkanin na optično mešanje barv na njeni površini : doktorska disertacija, Ljubljana, (2000)
- [7] Kočevar T.N.: Vpliv parametrov kompozicije in konstrukcije tkanine

na videz njene površine = Influence of fabric's composition and construction parameters on its surface appearance, *Tekstilec* 45 (2002) 1/2, 15-23

- [8] Kočevar T.N.: Kolorimetrijska analiza i vizualna ocjena boja na dvobojnoj tkanini, *Tekstil* 55 (2006.) 3, 127-134
- [9] Gabrijelčič H.: Razvoj metode za napovedovanje barvnih vrednosti tkanin, doktorska disertacija, Ljubljana, (2005)
- [10] Chamberlin G.J., D.G. Chamberlin: Colour: Its Measurement, Computation and Application, Heyden & Son Ltd, (1980)
- [11] Kalloniatis M.: Psychophysics of Vision. <http://webvision.med.utah.edu/>, [6.12.2006], (2006)
- [12] Gabrijelčič H., K. Dimitrovski: Evaluation of theoretical geometrical model for determining surface of colour components in fabrics, Zbornik radova 5th World Textile Conference, AUTEX 2005, June 2005, Portorož, Slovenia. Faculty of Mechanical Engineering, Department of Textiles, Maribor, (2005), 790-795
- [13] Dimitrovski K., H. Gabrijelčič: Izračunavanje i merenje boja tkanina iz različito obojenih niti, *Tekstil* 50 (2001.) 11, 558-567
- [14] Gabrijelčič H., K. Dimitrovski: Influence of yarn count and warp and weft thread density on colour values of woven surface. *Fibres Text. East. Eur.*, 12 (2004) 1, 32-39
- [15] Kočevar F.: Statistične metode pri tekstilnih preiskavah. II. Izdaja. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovne in tehnologije, (1965)
- [16] Luo M.R.: The CIE 2000 Colour Difference Formula. CIEDE 2000, AIC2001, Rochester: (2001)

SUMMARY

Numerical and Graphical Presentation and Analysis of Two-Color Woven Fabrics with Different Color Models*H. Gabrijelčič, K. Dimitrovski*

The aim of the research was the evaluation of some color models for numerical and graphical presentation of optical mixing on two-color surfaces. The analysis was carried out on two-colour woven fabrics with constant color in warp and five different colors in weft thread's system. As a reference a single-colour fabrics were also prepared and analysed in order to evaluate the influence of texture on spectrophotometrical values. Different fractions of color components were achieved with the changes of constructional parameters on woven surfaces. Theoretical tristimulus values were calculated with additive methods, including spectral/tristimulus values and fractions of color components. These values were used to present the theoretical and linear position of two-color structures between the color of warp and weft threads in different color models. Tristimulus values of two-color woven structures were also spectrophotometrically determined. The comparison of theoretical and spectrophotometrical spectral and tristimulus values was possible with the use of correlation methods and graphical presentation in xy diagram, u'v' diagram and a*b* plane. Color differences ΔE_{00} between theoretical and measured tristimulus values were also calculated. In the results the objective analysis of different color models for evaluation of two-color woven structures was possible, which points out some advantages and disadvantages of each color model.

Key words: two-color woven fabric, reflection, XYZ, $L^*u^*v^*$, $L^*a^*b^*$, CIExy diagram, color difference

University of Maribor, Faculty of Mechanical Engineering

Textile Department

Maribor, Slovenia

e-mail: helena.gabrijelcic@ntf.uni-lj.si

Received February 9, 2007

Numerische und graphische Darstellung und Gegenüberstellung von zweifarbigen Geweben in unterschiedlichen Farbmodelle

Das Ziel der Forschung war die Einschätzung einiger Farbmodelle für die numerische und graphische Präsentation der optischen Mischung auf zweifarbigen Oberflächen. Die Analyse wurde auf zweifarbigen Geweben mit der gleich gefärbten Kette und fünf verschiedenen Farben im Schuss ausgeführt. Als Referenz wurden einfarbige Gewebe vorbereitet, bei denen Textureinflüsse auf spektrofotometrische Werte untersucht wurden. Konstruktionsparameter solcher gewebten Strukturen waren unterschiedlich, wodurch verschiedene Anteile an gefärbten Bestandteilen auf der Strukturoberfläche erzielt wurden. Theoretische Tristimulus-Werte von zweifarbigen Strukturen wurden durch die Additivmethode mittels Spektralwerte und Anteil an Farbenbestandteilen berechnet. Diese Werte wurden zur Darstellung von linearen Positionen der Mischungen zwischen den Farbenstellen der Kett- und Schussfäden in Farbmodellen herangezogen. Tristimulus-Werte von zweifarbigen Geweben wurden auch spektrophotometrisch bestimmt. Theoretische und gemessene Reflexionswerte wurden mittels der Korrelationsmethode und der graphischen Gegenüberstellung von zweifarbigen Mischungen im xy und u'v' Diagramm sowie in der a*b* Ebene verglichen. Farbenunterschiede ΔE_{00} zwischen theoretischen und gemessenen Tristimulus-Werten wurden auch berechnet. In den Ergebnissen war die objektive Analyse von verschiedenen Farbmodellen für die Einschätzung von zweifarbigen Strukturen möglich, was auf Vor- und Nachteile jedes Farbmodells hinweist.