

*Spectrophotometrical
analysis of color and optical
effects of woven fabrics
with different colors
in warp and weft*

Original Scientific Paper

Received September 2007 • Accepted February 2008

Abstract

*In bicolor woven fabrics, the overall color effect is formed by the optical mixing of light reflected from differently colored threads. The human visual response to optical mixing depends first on color values of threads that comprise warp and weft as well as their combination and also on many observable conditions such as illumination and observation distance. In this work, the use of spectrophotometry for determining the overall color effect of bicolor woven fabrics is presented. Bicolor color mixtures of woven fabrics were identified as follows: 1. numerically with $L^*a^*b^*$ values and 2. graphically in the a^*b^* plane of CIE $L^*a^*b^*$ color space. The chroma and the hue values of the colors in the bicolor patterns were analysed with respect to the changes of weft thread fractions in a color repeat. Moreover, the color and optical deviations between different double-sided weaves with an equal proportion of warp and weft with interlacing points in weave repeats were spectrophotometrically analysed. The results of the research show the importance of knowledge and planning of constructional parameters and color values of colored components in fabrics by defining the overall*

Vodilni avtor/corresponding author:

dr. Helena Gabrijelčič

tel.: +386 1 200 32 78

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

Helena Gabrijelčič, Krste Dimitrovski
Oddelek za tekstilstvo, Naravoslovnotehniška
fakulteta, Univerza v Ljubljani

Spektrofotometrična analiza barve in optičnih učinkov tkanin iz različno obarvanih niti

Izvirni znanstveni članek

Poslano september 2007 • Sprejeto februar 2008

Izvleček

Končni barvni učinek dvoobarvnih tkanin nastane z optičnim mešanjem svetlobe, ki se odbije od različno obarvanih niti. Poleg tega, da je reakcija človeškega vidnega sistema na pojav optičnega mešanja svetlob različnih valovnih dolžin odvisna predvsem od barv niti osnove in votka ter njune kombinacije, vplivajo nanjo tudi pogoji opazovanja, kot sta na primer osvetljenost vzorca in razdalja, s katere opazujemo. V raziskavi je predstavljena uporaba spektrofotometrije za določanje končnega barvnega in optičnega učinka dvoobarvnih tkanin. Pri tem so dvoobarvne tkanine definirane: 1. numerično s pomočjo barvnih vrednosti $L^*a^*b^*$ in 2. grafično v a^*b^* -ravnini barvnega prostora CIE $L^*a^*b^*$. Svetlost, nasičenost in barvni ton barv dvoobarvnih tkanin so analizirani v odvisnosti od sprememb deleža barve votkovnih niti v določenem barvnem sosledju. Poleg tega so bile spektrofotometrično analizirane tudi barvne in optične razlike med različnimi obojestranskimi vezavami z enakim številom osnovnih in votkovnih veznih točk v sosledju vezave, a z različno velikostjo barvnega sosledja. Rezultati raziskave so pokazali pomen poznavanja in načrtovanja konstrukcijskih parametrov in barvnih vrednosti barvnih komponent pri določanju končnega barvnega učinka dvoobarvnih tkanin. Nadaljnje raziskave so pokazale tudi pomen barvnih kombinacij barv osnovnih in votkovnih niti ter pomen razmerja površin in odnosa med kombiniranimi nitmi (barvni kontrast in harmonija). Pri enakomernem spreminjanju konstrukcijskih parametrov so vrednosti svetlosti, nasičenosti in barvnega tona barv dvoobarvnih tkanin pokazale na bolj ali manj nelinearne spremembe končnega barvnega učinka dvoobarvnih tkanin.

Ključne besede: dvoobarvne tkanine, konstrukcijski parametri, barvni toni, nasičenost, a^*b^* -ravnina, barvni kontrast, barvna harmonija.

color effect of a bicolor woven structure. Furthermore, this research also reveals the importance of color combinations of warp and weft threads and the relation between surface-combined colors (color contrast and harmony). The variations in lightness, chroma and hue values in bicolor woven structures showed that the changes of the overall color effect of bicolor woven structures are rather non-linear, even when the constructional parameters are uniformly changed.

*Key words: bicolor woven fabrics, constructional parameters, hue, chroma, a*b* plane, color contrast, color harmony*

1 Introduction

Woven fabrics can be distinguished on the basis of many properties, including constructional, technical, and design parameters. The classification of woven fabrics and subsequent analysis is easier when the variations of one singular parameter or variations of similar parameters are considered. The opposite is true in the case of experiments, where the simultaneous influences of different parameters and their variations should be analysed. Moreover, the interactions between different parameters should be also taken into account as the sum of the influences of different parameters and their additive effects all contribute to the final result. In this paper, the influence of constructional parameters (weave), the original color of threads, and the relation between the colors of warp and weft threads will be analysed. Three different scientific elements are included in the analysis: mechanical properties of woven fabrics, colorimetry and optical properties, and psychophysical properties of human vision. Each scientific element that had been mentioned has a strong theoretical background, which contributes to the starting point of our analyses. For instance, the most important constructional parameters to be considered during optical and color analysis are thread fineness, diameter, and cross-section, the thread density, and the weave [1, 2], which, together with other parameters, determine the geometry of woven fabrics. The wo-

1 Uvod

Tkanine se lahko razlikujejo med seboj po različnih konstrukcijskih, tehničnih in oblikovnih parametrih. Klasifikacija tkanin in posledično njihova analiza je lažja v primeru, ko se kot spremenljivka obravnava en sam parameter oz. skupina podobnih parametrov. Nasprotno je analiza kompleksnejša v primeru eksperimentalnega dela, pri katerem poteka analiza istočasnega vpliva različnih parametrov in njihovih sprememb. Poleg tega je pri takšnih analizah treba upoštevati tudi interakcijo med različnimi parametri oz. skupinami parametrov, saj tudi vsota vplivov različnih lastnosti oziroma njihov aditivni učinek vpliva na končni rezultat. V članku je predstavljena analiza vpliva konstrukcijskih parametrov, izhodiščnih barv osnove in votka ter odnosa med barvami osnove in votka na skupni barvni in optični učinek tkanine. V takšno raziskavo je treba vključiti najmanj tri znanstvena področja: mehanske lastnosti tkanin, barvno metriko in optične lastnosti površin ter psihofizične lastnosti človeškega vidnega sistema. Vsako izmed omenjenih znanstvenih področij ima močno teoretično ozadje, skupaj pa prispevajo k izhodišču raziskovalnega dela. Najpomembnejši konstrukcijski parametri, ki jih moramo upoštevati pri analizi barve in optičnih lastnosti dvobarvnih tkanin, so dolžinska masa niti, premer niti ter oblika in velikost njihovega prečnega prereza, gostota niti in vezava [1, 2]. Našteti parametri oblikujejo skupaj s še nekaterimi lastnostmi geometrijo tkane strukture. Ker je tkanina vse prej kot nezapletena konstrukcija, lahko tako preprosti 2D- [3, 4, 5, 6] kot kompleksni 3D- [7, 8] geometrijski modeli le delno opišejo njeno zahtevno strukturo in geometrijo. Drugo omenjeno področje je barvna metrika, ki je že davno prerasla iz metode za preprosto klasifikacijo v skupine barv z različno svetlostjo, barvnim tonom in nasičenostjo v natančno objektivno metodo, ki upošteva vse pogoje za nastanek barve objektov (svetlobni vir, opazovalec in lastnosti objekta). Ne glede na mnoge standardizirane spektrofotometrične metode, ki omogočajo numerično oceno barv in barvnih vrednosti na različnih medijih (tekstil, papir, kovina) [9, 10, 11], so ostala nekatera interdisciplinarna znanstvena področja skoraj brez primernih objektivnih kolorimetričnih metod. To velja na primer tudi za oceno barvnega učinka na večbarvnih površinah (tkanine iz različno obarvanih osnovnih in votkovnih niti) [12, 13, 14, 15, 16, 17], pri kateri je treba upoštevati tudi nekatere psihofizične procese človeškega vidnega sistema. Seveda je v spektrofotometrično analizo večbarvnih tkanin težko vključiti vse procese človeškega psihofizičnega doživljanja barve, vsekakor pa je treba upoštevati nekatere pomembne barvne in optične učinke, ki prispevajo k enotnemu vizualnemu učinku tkanege izdelka [18, 19].

ven fabric is much more than a simple construction and consequently, basic 2D [3, 4, 5, 6] or more complex 3D [7, 8] geometrical models can only partially describe the complicated structure and geometry. The second scientific element mentioned above was colorimetry, which has already gone beyond simple methods of classification into groups of different hue colors, chroma, and lightness (Munsell, etc.) to objective and exact methods. These more advanced methods consider illumination, the observer, and the properties of object. Without regard to many standardised spectrophotometrical methods, which currently enable the numerical evaluation of colors and color values on different media (e.g. textile, paper, metal [9, 10, 11]), certain interdisciplinary scientific fields do not use adequate objective colorimetric methods. This is the case in the evaluation of the color effect on multi-color surfaces (woven fabrics made of different color warp and weft threads) [12, 13, 14, 15, 16, 17], where some psychophysical phenomenon of color vision also must be considered. Of course, the spectrophotometrical analysis of multi-color woven fabrics can hardly include all phenomena of human psychovision, but it should consider some important color and optical effects that contribute to overall visual effect of woven fabrics [18, 19].

2 Theoretical background

2.1 Color properties of threads and woven fabrics

In general, the color of an object can be defined with three color properties, which include lightness, chroma, and hue. In the CIE color space, the most frequently used in textile technology, lightness is the position of color on the L^* axis, and a^* and b^* are two coordinates, which also enable the definition of the values of chroma and hue. Chroma, C_{ab}^* , represents the saturation of color and in the CIE $L^*a^*b^*$ color space indicates the distance of color from the achromatic axis L^* . Hue, h_{ab} , is expressed in degrees or radians and denotes the position of maximum reflectance of color in the visible light range of the EM spectrum in the a^*b^* plane [11].

2 Teoretični del

2.1 Lastnosti barv niti in tkanine

Na splošno je barva nekega objekta definirana s tremi lastnostmi:

- svetlostjo,
- nasičenostjo in
- barvnim tonom.

V CIE-barvnem prostoru, ki je najbolj uporabljan v tekstilni tehnologiji, je svetlost lega barve na osi L^* , a^* in b^* pa sta koordinati, ki določata vrednosti nasičenosti in barvnega tona. Nasičenost C_{ab}^* pomeni čistost barve in v barvnem prostoru CIE $L^*a^*b^*$ predstavlja oddaljenost barve od nekromatične osi L^* . Barvni ton h_{ab} v kotnih stopinjah oz. radianih predstavlja v a^*b^* -ravnini lego maksimuma refleksije barve v vidnem delu EM-valovanja, torej ali je barva objekta rdeča, zelena, modra, rumena itd. Vse barvne vrednosti barvnega prostora CIE $L^*a^*b^*$ so lahko predstavljene numerično, ker pa so numerične vrednosti koordinat a^* in b^* težje razumljive, se barve najpogosteje opisuje z barvnimi lastnostmi oz. dimenzijami svetlosti L^* , nasičenosti C_{ab}^* in barvnega tona h_{ab} [11].

2.2 Tkanine z različnimi barvami osnovnih in votkovnih niti

Ob upoštevanju vzorca snovanja in tkanja lahko tkanine razdelimo v tri glavne skupine: [12]

- enobarvne tkanine z enako barvo osnovnih in votkovnih niti,
- dvoobarvne tkanine z različnima barvama osnovnih in votkovnih niti in
- večbarvne tkanine z dvema ali več barvami v obeh nitnih sistemih.

Barva dvoobarvne tkanine z različnima barvama v osnovi in votku nastane z optičnim mešanjem svetlobe, ki se odbija od raznobarnih površin tkane strukture. Delež svetlobe, ki se absorbira v osnovne in votkovne niti, je seveda različen zaradi različne kemične sestave barvil obeh nitnih sistemov. Posledično ima svetloba takoj po odboju od obeh nitnih sistemov različne spektralne vrednosti. Med opazovanjem tkanega objekta dosežejo naše oko žarki, odbiti tako od osnovnih kot od votkovnih niti, kar vizualno zaznamo kot vsoto žarkov. Ta vsota je dejansko optična mešanica svetlob različnih valovnih dolžin [13, 14].

Vpliv konstrukcijskih parametrov in barvnih vrednosti niti na celotni barvni učinek dvoobarvnih tkanin se v praksi najpogosteje ocenjuje na podlagi posameznikovih izkušenj. Zaradi izkušenj tako vemo, da je dožemanje enotnega barvnega učinka večbarvne površine lažje, če so niti večje finosti (manjši premer), če je gostota niti večja, če je prepletanje niti pogostejše in flotiranje niti enakomernejše [15]. Optično mešanje svetlobe, ki se odbija od večbarvnih površin, je kompleksen pojav, zato je zahtevno tudi določanje kvantitativnih metod za oceno rezultatov optičnega mešanja.

2.2 Woven fabrics with different color in warp and weft thread system

In general, three main groups of woven fabrics can be defined when considering different warp and weft color patterns parameters: [12] (1) uni-color woven fabrics with uniform color of warp and weft threads, (2) bicolor woven fabrics with different color in warp and weft thread system and (3) multi-color woven fabrics with two or more colors in both thread systems. The color of bicolor woven fabrics with different colors in warp and weft thread systems is formed by the optical mixture of light reflected from different color surfaces in the woven structure. The portion of light that is absorbed in the warp and weft threads is different, because the chemical structures of dyes in the two thread systems differ. Consequently, after the light is reflected from the surface, the spectral values of light reflected from warp and weft threads differ from each other. During the observation of a woven object, both sets of rays of light reach our eyes and their sum is visually perceived. This sum is actually an optical mixture of different colored lights [13,14]. In general, the influence of constructional parameters and color values of threads on the overall optical effect of bicolor woven structures is in practice evaluated on the basis of the experience of the individual. For instance, because of the experiences of our visual responses, we know that the optical mixing of the light reflected from different color threads is easier for threads with higher fineness (smaller diameter) and higher thread density, and for constructions with frequent interlacing and uniform floatings [15]. The optical mixing of reflected light from the multi-color surfaces is a complex phenomenon. Therefore, determining quantitative methods for evaluating the results of optical mixing proves challenging.

2.3 Color repeat and color components of bicolor woven fabrics

Color repeat is similar to the weave of the smallest repeating element in woven structures, which, besides interlacing, also describes the color pattern of warp and weft threads. When the properties of color patterns are considered along with the weave properties, the size of the smallest repeating element in the color repeat is changed

2.3 Barvno sosledje in barvne komponente dvobarvnih tkanin

Barvno sosledje je podobno kot vezava najmanjši ponavljajoči se element tkanine, ki poleg prevezovanja niti opisuje tudi zaporedje barv osnovnih in votkovnih niti. Če poleg barvnih lastnosti niti upoštevamo tudi vezavo, postane najmanjši ponavljajoči se element barvnega sosledja običajno večji, ker vključuje konstrukcijske parametre – vezavo, barvo niti in njihovo ponavljanje. V takšnem barvnem sosledju se ustvarijo posebna razmerja med kompozicijo in barvnim vzorcem osnovnih in votkovnih niti, ki omogočajo določanje površine barvnih komponent in njihovih deležev. Posamezne vezne točke in grupacije več veznih točk so razvrščene na površini tkanine ter glede na svojo barvo in optične lastnosti vplivajo na celotni barvni in optični učinek tkanine [15].

Kot primer lahko predstavimo vezavo platno z velikostjo sosledja vezave 2×2 vezni točki. Z upoštevanjem vzorca snovanja in tkanja lahko definiramo barvno sosledje. V primeru barvnega vzorca 1A1a ali 1A1B 1a1b ($A \neq a$, $B \neq b$) ima barvno sosledje enako velikost kot sosledje vezave 2×2 , razmerje različnih barv (A, B, a, b) pa je različno od razmerja osnovnih in votkovnih točk. Ko dodamo v vzorec snovanja in tkanja še eno barvo (1A1B1C 1a1b1c; $A \neq a$, $B \neq b$, $C \neq c$), se barvno sosledje poveča na šest osnovnih in votkovnih veznih točk, ker se šele na sedmi osnovni in sedmi votkovni vezni točki začne ponavljati zaporedje vezave in barv [14].

V dvobarvni tkanini z različnimi barvami osnovnih in votkovnih niti so tri barvne komponente: osnovne in votkovne niti ter prostor med nitmi. Te barvne komponente se razlikujejo po konstrukcijskih parametrih, barvnih vrednostih in posledično tudi optičnih lastnostih, tako da ima vsaka barvna komponenta svoj prispevek h konstrukcijskim parametrom ter celotnemu barvnemu in optičnemu učinku tkanine. Pri optičnem mešanju svetlobe, ki se reflektira od različnih barvnih komponent dvobarvne tkanine, vsaka barvna komponenta vpliva na skupni barvni in optični efekt s svojim površinskim deležem. Deleži barvnih komponent se lahko izračunajo s pomočjo teoretičnega geometrijskega modela, ki je predstavljen v eksperimentalnem delu članka [14, 20].

2.4 Konstrukcijski parametri in optične lastnosti niti tkanin

Konstrukcijske parametre, ki neposredno ali posredno vplivajo na optične lastnosti tkanin, lahko razdelimo na konstrukcijske parametre linijskih tekstilnih struktur – niti in ploskovnih tekstilnih struktur – tkanine, ki so združene v tkani strukturi. V nadaljevanju bodo omenjeni in opisani le najpomembnejši konstrukcijski parametri. Soodvisnost posameznih konstrukcijskih parametrov niti in tkanin je na splošno težko opisati s preprostim pravilom, zato bodo v teoretičnem delu predstavljene le nekatere splošne povezave [1, 2, 21].

Konstrukcijski parametri, ki definirajo optične lastnosti niti, so: – surovinska sestava,

and usually becomes bigger because it includes constructional parameter-weaves, thread colors, and their repetitions. In the color repeat, specific relations are formed between composition and warp and weft color patterns, which enable the definition of surfaces of color components and their fractions. A single interlacing point and the grouping together of more points are positioned in a defined way on the surface of woven structure. Their color and optical properties have an influence on the overall color and optical effect of the woven structure [15].

The example of a plain weave with a weave repeat 2×2 will now be presented. Color repeat can be determined by also taking into account the warp and weft color pattern. In the case of color pattern $1A/1a$ or $1A1B/1a1b$ ($A \neq a$, $B \neq b$), the color repeat has the same size as weave repeat, 2×2 , but the ratio between different colors (A , B , a , b) differs from the ratio between warp and weft interlacing points. When we add one more color to the warp and weft color pattern so that it is now $1A1B1C/1a1b1c$ ($A \neq a$, $B \neq b$, $C \neq c$), the color repeat includes six warp and weft interlacing points with the same color and interlacing point on the first and seventh warp and weft threads [14].

Bicolor woven fabrics with different warp and weft thread colors are comprised of different color components. These color components differ from each other in the color values, the constructional parameters, and consequently, the optical properties. Therefore, every color component contributes to constructional parameters and the overall color and optical effects of the woven fabric. When optical color mixing of light is reflected from different color components of these woven fabrics, each component influences the overall optical effect. The fractions of color components can be calculated with theoretical geometrical models as presented in the Experimental section [14, 20].

2.4 Constructional parameters and optical properties of threads and woven fabrics

Constructional parameters that directly or indirectly influence the optical properties of woven fabrics can be divided into constructional pa-

- vrsta in prečni prerez vlaken,
- vrsta, oblika, finost in prečni prerez niti.

Lastnosti niti in razmerje med konstrukcijskimi parametri linijskih tekstilnih tvorb (niti, vlakna) se bolj ali manj neposredno prenesajo tudi na lastnosti ploskovnih tekstilnih tvorb (tkanine).

Najpomembnejše lastnosti, ki vplivajo na videz tkanine, so:

- gostota osnovnih in votkovnih niti,
- vezava in njena orientacija,
- vrsta por med nitmi,
- faktor kritja in kompaktnost tkanine,
- vzorec snovanja in tkanja,
- apreturni postopki.

Omenimo lahko še nekatere parametre, ki na barvne in optične lastnosti tkanin ne vplivajo direktno, ampak indirektno preko drugih lastnosti: skrčenje in stkanje niti, površinska masa in napetost niti.

2.4.1 Premer, prečni prerez in finost niti

Finost in premer niti sta soodvisni lastnosti, saj povečanje vrednosti finosti na splošno pomeni tudi povečanje premera niti in površine prečnega prereza niti. Med prevezovanjem osnovne in votkovne vezne točke ležijo tudi na lični strani tkanine in odvisno od svoje finosti, premera in prečnega prereza vplivajo na celotni barvni in optični učinek. Prečni prerez niti direktno vpliva na površino barv niti v barvnem sosledju tkanine. Vizualna in kolorimetrična analiza tkanine v vezavi platno z enako gostoto osnovnih in votkovnih niti ter z zelo finimi nitmi osnove in debelimi nitmi votka bi tako pokazala, da je končni barvni in optični efekt tkanine odvisen predvsem od barvnih in optičnih lastnosti votkovnih niti [14].

2.4.2 Gostota osnovnih in votkovnih niti

Gostota osnovnih in votkovnih niti je določena s številom niti na dolžinsko enoto. Gostota niti je primarnega pomena za mehanske in fizikalne lastnosti tkanin ter skupaj z vezavo določa vpliv flotirajočih niti na celotni barvni in optični efekt tkanine. Večja ko je gostota niti, intenzivnejše so površinske lastnosti in barvni učinek teh niti na površini tkanine. Vrednost gostote niti je odvisna od finosti niti in vezave. Na primer, debelejšje ko so niti (večji premer), večjo površino tkane strukture pokrijejo in posledično je število teh niti na dolžinsko enoto manjše. Nasprotno velja za niti z manjšim premerom in prečnim prerezom. Definicija razmerja vezava-gostota niti je kompleksnejša, lahko pa bi jo na splošno opisali takole: več prevezovalnih točk v vezavi ima za posledico manjšo gostoto niti.

2.4.3 Vezava

Vezava je najmanjši ponavljajoči se element v tkanini, ki opisuje prevezovanje osnovnih in votkovnih niti. Vrsta vezave in njene lastnosti vplivajo na relief in optične lastnosti tkanine ter skupaj z vzorcem snovanja in tkanja tudi na barvo tkanine z naslednjimi lastnostmi: [2, 12, 14]

parameters of linear textile structures-threads and planar textile structures-fabrics, which are connected in the woven structure. In the following sections, only the most important constructional parameters will be explained. The correlation between different constructional parameters of the thread and woven fabrics is generally difficult to explain with a simple model, which is why in this theoretical model, only general connections will be presented [1, 2, 21].

Constructional parameters that determine the optical properties of threads include the raw materials, the type and cross-section of fibers, and the type, shape, fineness, and diameter of the threads. The thread parameters and the relation between constructional parameters of all linear textile forms (thread, fiber) transfer more or less directly on the properties of plane textile form (woven structure).

The most important properties that influence the visual appearance of woven fabrics include the following: (1) warp and weft thread density, (2) weave and its orientation, (3) type of pores between threads, (4) cover factor and tightness of woven fabrics, (5) warp and weft pattern, and (6) finishing. Some other parameters that do not directly influence the color and optical properties of woven fabrics, but directly influence other properties include the crimp of warp and weft threads, the mass per square meter, and the tension of threads.

2.4.1 Diameter, cross-section and fineness of threads

Fineness and diameter are dependent parameters, as the increase in fineness directly increases thread diameter and the thread cross-section surface. During interlacing, warp or weft interlacing points are also placed on the face side of woven structures and the overall color and optical effect depend on the fiber's fineness, cross-section, and diameter. The cross-section of threads directly influences the color surfaces of threads in the color repeat of woven fabrics. For instance, visual and colorimetric analyses of woven fabrics in plane weaves with equal thread density of warp and weft, but very fine warp threads and thick weft threads reveal that the overall optical and color effect of this woven fabric depend mainly on color and optical properties of the weft threads [14].

- velikost sosledja vezave,
- število osnovnih in votkovnih veznih točk ter njihovo razmerje (obojestranske in enostranske vezave v osnovnem in votkovnem efektu),
- razporeditev in grupacija osnovnih in votkovnih niti (relief, vezave, orientirane in neorientirane vezave),
- flotiranje in specialni teksturni efekti,
- velikost in razporeditev barvnih površin (upoštevajoč tudi vzorec snovanja in tkanja).

2.4.4 Prostor med nitmi

Velikost, oblika in orientacija barvnih površin v barvnem sosledju niso določene le s konstrukcijskimi parametri, ampak tudi z velikostjo in porazdelitvijo prostorov med nitmi. Prostori med nitmi so primarnega pomena za tehnične lastnosti tkanin: zračna prepustnost in prepustnost tekočin, kompaktnost, izolacijske lastnosti in transparentnost. Transparentnost pa je obenem pomembna tudi za optične in posledično barvne učinke tkane strukture, ker omogoča barvnim in optičnim lastnostim podlage prehod skozi tkanino in vpliv na skupni barvni in optični učinek tkanine.

Prostori med nitmi v tkanini se lahko razlikujejo po:

- velikosti,
- obliki,
- volumnu,
- številu in porazdelitvi por (ta lastnost je pomembnejša za netkane tekstilije, saj so pore v tkanih strukturah vedno med štirimi prevezujočimi nitmi).

V zelo kompaktnih tkaninah je vpliv podlage vizualno resda zanemarljiv, na splošno pa spektrofotometrične analize raziskav kažejo prisotnost barvnih razlik med tkaninami z različnimi konstrukcijskimi parametri in refleksijskimi lastnostmi podlage [22]. Poleg tega lahko analiza lastnosti podlage razloži tudi nekatere nepričakovane barvne in optične pojave na površini tkanine. Zato je treba podlago obravnavati kot barvno komponento, enakovredno osnovnim in votkovnim nitim, barvne vrednosti in optične lastnosti podlage pa je treba upoštevati pri barvni in optični analizi tkanin [23, 24].

2.5 Odnos med barvami osnovnih in votkovnih niti v dvobarvnih tkaninah

Odnos med osnovnimi in votkovnimi veznimi točkami v dvobarvni tkanini ni le fizičen, temveč zaradi barv niti tudi optičen, kar lahko opišemo z barvnim kontrastom in harmonijo. Pri načrtovanju dvobarvnih tkanin je treba upoštevati prisotnost kontrasta ali harmonije dveh barv barvne kombinacije. Dejstvo je, da je človeško psihofizično dojetje površine dvobarvne tkanine odvisno od barvne kombinacije in barvnih vrednosti vseh barvnih komponent. Kontrastni odnos dveh barv lahko definiramo kot svetlo-temni, toplo-hladni, komplementarni, kvalitativni in kvantitativni. Odzivanje človeškega vidnega sistema na svetle, tople in nasičene

2.4.2 Warp and weft thread density

Warp and weft thread density are defined by the number of threads per unit length. Thread density is of primary importance for mechanical and physical properties of woven structure. Furthermore, together with weave, thread density also influences the overall color and optical effect of woven fabrics. A higher thread density results in a more intense surface properties and surface color effect.

The value of thread density depends on the fineness of the threads and the weave. For instance, thicker threads cover larger surfaces in the woven structure, and consequently, the number of these threads per unit length is smaller. The opposite is true for very fine threads with small diameters and cross-sections. Determining the weave-thread density relation is more complex, but it can be generally defined to reflect that more interlacing points in the weave have a lower thread density.

2.4.3 Weave

A weave is the smallest repeating element in woven fabrics, and they describe the interlacing of warp and weft threads. The weave type and its characteristics influence relief and optical properties and, together with color pattern, also influence the color effect of woven fabrics based on the following properties: (1) the size of weave repeat, (2) the number of warp and weft interlacing points and the ratio between them (double-sided weaves, one-sided weaves in the warp and weft effect), (3) the disposition and grouping of warp and weft interlacing points (relief, oriented and non-oriented weaves), (4) floating and special texture effects, and (5) the size and distribution of color surfaces (considering also warp and weft color pattern) [2, 12, 14].

2.4.4 Space between threads and pores

Size, shape and orientation of color surfaces in color repeats are defined not only by constructional parameters, but also by the size and distribution of spaces between threads. Spaces between threads are great importance with respect to the technical properties of woven structures. Technical properties of woven structures include air and water permeability, tightness, isolation,

barve je intenzivnejše kot v primeru odziva na temne, hladne in nenasičene barve. V primeru barvnih kombinacij dveh barv, ki sta v kontrastnem razmerju (svetlo-temno, toplo-hladno, nasičeno-nenasičeno, kvalitativni kontrast ali komplementarni kontrast), se več vpadle svetlobe odbije od svetlih, toplih in nasičenih barv. Površine teh barv dojemamo intenzivnejše [25, 26, 27].

Pri opazovanju tkanine s harmoničnimi barvami barvnih komponent se odbita svetloba optično meša že pri manjših razdaljah opazovanja in večjih površinah barvnih komponent. Zaradi barvne harmonije oko namreč težje loči barvne komponente med seboj in s pomočjo vizualne adaptacije združi različne barvne površine v enoten barvni dražljaj.

3 Eksperimentalni del

V eksperimentalnem delu sta bili analizirani dve skupini tkanin v obojestranskih in enostranskih vezavah. To je omogočalo primerjavo tkanih konstrukcij z enakim razmerjem osnovnih in votkovnih veznih točk ter konstrukcij s prevladujočimi osnovnimi oz. votkovnimi veznimi točkami na lični in hrbtni strani tkanine. Obojestranske tkanine so bile: platno (PL), štiri- in osemvezni panama (BA4, BA8) ter cirkas (TW). Enostranski vezavi, štirivezni keper (TW4) in osemvezni atlas (SA8), sta bili analizirani na lični in hrbtni strani, s prevladujočim flotiranjem osnovnih in votkovnih niti.

Finost (8×2 tex), premer (0,187 mm) in zasuki (1040 Z) osnovnih in votkovnih niti so bili med raziskavo konstantni. Različni vpliv posameznih barvnih komponent na celotni optični in barvni efekt tkanin je bil dosežen s spreminjanjem konstrukcijskih parametrov. Sistematično načrtovane spremembe velikosti površin barvnih komponent in posledično faktorja kritja osnovnih in votkovnih niti so bile mogoče zaradi sprememb gostote osnovnih niti (g_o ; 31, 36 in 40 niti/cm) pri vsaki vezavi ter petih vrednosti gostote votkovnih niti (g_w ; od najmanjše do največje vrednosti) za vsako vrednost gostote osnove. Z upoštevanjem sprememb vezave in gostote niti je bilo izdelanih 120 konstrukcijsko različnih tkanih vzorcev.

Površina in deleži barvnih komponent so bili izračunani z geometrijskim modelom, katerega matematična izpeljava je prikazana v referencah [14, 20], enačba (1) pa predstavlja njegovo končno obliko. V enačbi (1) je U teoretični delež barvne komponente barve i (osnove U_o , votka U_w in prostora med nitmi U_p ; $U_o + U_w + U_p = 1$); n je število vseh točk v barvnem sosledju; n_{oi}/n_{wi} je vsota osnovnih in votkovnih točk na osnovnih/votkovnih nitih i -te barve; $u_{on,ot}/u_{on,wt}$ je delež barve osnovnih niti v osnovni/votkovni vezni točki; $n_{ot,oi}/n_{ot,wi}$ je število osnovnih točk na osnovnih/votkovnih nitih i -te barve; $n_{wt,oi}/n_{wt,wi}$ je število votkovnih točk na osnovnih/votkovnih nitih i -te barve; $u_{wn,ot}/u_{wn,wt}$ je delež votkovnih niti v osnovni/votkovni vezni točki.

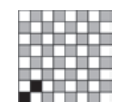


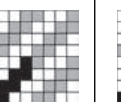
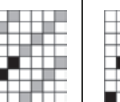
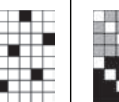
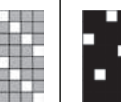

and transparency. Transparency is also an important optical property, and consequently affects the color effect in the woven structure because it enables the color or optical effect of the foundation to pass through the woven structure to influence the overall color and optical effect of the woven structure.

The space between threads in woven structures can differ in: size, shape, volume, number, and distribution of pores. Pore distribution parameters are more important for non-woven textile materials because they are always found between four interlacing threads

$$U_i = \frac{u_{on,oi} \times n_{ot,oi} + u_{on,wi} \times n_{wt,oi}}{n_{oi}} + \frac{u_{wn,ot} \times n_{ot,wi} + u_{vn,wt} \times n_{vt,wi}}{n_{wi}} \quad (1)$$

V preglednici 1 so predstavljeni konstrukcijski parametri tkanin: vezava platno (PL), štiri- in osemvezni panama (BA4, BA8), štirivezni cirkas (TW), lična in hrbtna stran štiriveznega kepra v osnovnem in votkovnem efektu (TW4) ter lična in hrbtna stran osemveznega atlasa v osnovnem in votkovnem efektu (SA8), mejne vrednosti gostote osnovnih ($g_{o \min} \rightarrow g_{o \max}$) in votkovnih ($g_{w \min} \rightarrow g_{w \max}$) niti, mejne vrednosti deležev osnovnih ($U_{o \min} \rightarrow U_{o \max}$) in votkovnih ($U_{w \min} \rightarrow U_{w \max}$) niti, deleži prostora med nitmi ($U_{p \min} \rightarrow U_{p \max}$) in razmerje med številom osnovnih in votkovnih veznih točk v sosledju vezave (os. : vot. v. t.).

Table 1: Weaves, warp and weft thread density, limit values of warp- g_o and weft- g_w thread density and limit values of fractions of warp- U_o , weft- U_w and space between threads- U_p .

Group	1. double-sided weaves				2. one-sided weaves			
	PL	BA4	BA8	TW	Face side	Back-side		
weave	PL	BA4	BA8	TW	TW4	SA8	TW4	SA8
g_o								
g_o	31→40	31→40	31→40	31→40	31→40	31→40	31→40	31→40
g_w	8.5→23	16→41.5	21→65	16→43	16→42	24→59	16→42	24→59
U_o	0.454→ 0.687	0.355→ 0.635	0.257→ 0.600	0.357→ 0.635	0.238→ 0.579	0.001→ 0.454	0.293→ 0.691	0.304→ 0.705
U_w	0.099→ 0.305	0.187→ 0.511	0.246→ 0.743	0.187→ 0.544	0.243→ 0.671	0.406→ 0.999	0.131→ 0.618	0.155→ 0.696
U_p	0.712→ 0.846	0.088→ 0.248	0.000→ 0.201	0.083→ 0.252	0.077→ 0.252	0.000→ 0.233	0.077→ 0.375	0.000→ 0.381
warp: weft i.p.	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 3	1 : 7	3 : 1	7 : 1

In tight woven structures, the influence of foundation is visually insignificant, but in general, spectrophotometrical determination of color values of materials with different tightness has indicated the presence of color differences between fabrics with different constructional parameters and foundation reflectance [22]. Moreover, in some cases, the analysis of the properties of the foundation can also explain unexpected optical and color phenomena in the woven surface. As a result, the foundation should be treated as an equivalent color component in warp and weft threads. Also, its color and optical properties

Vse tkane konstrukcije so bile izdelane s konstantno barvo osnove – modro in šestimi različnimi barvami votkovnih niti (modra, rdeča, rumena, zelena, črna, bela). Ob upoštevanju sprememb konstrukcijskih parametrov in različnih barv niti je bilo tako analiziranih 720 vzorcev. Spektralne in barvne vrednosti osnovnih in votkovnih niti ter dvo-barvnih tkanin so bile izmerjene v skladu s standardom EN ISO 105-J01 s spektrofotometrom Spectraflash SF 600 Plus-CT (D65, kot opazovalca 10°, D/8, 2 cm) in analizirane s programsko opremo Datacolor DC Shell [28]. V preglednici 2 so predstavljene spektralne vrednosti (vrednosti refleksijskega maksimuma in valovne dolžine), vrednosti L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* , h_{ab} osnovnih in votkovnih niti ter vrednosti razlik barvnih vrednosti ΔL^* , Δa^* , Δb^* and ΔE_{00} barv modrih osnovnih in votkovnih niti.

Table 2: Color values L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h_{ab} of threads and color differences between the colors of warp and weft threads.

Color		Blue	Red	Yellow	Green	Black	White
Spekter	reflectance max. (%)	15.46	53.36–67.76	63.76–82.80	15.53	–	144.78
	λ (nm)	440	650–700	540–700	500	–	440
$L^*a^*b^*$	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	16.7	79.36	9.99	-2.03	-17.82
	C^*_{ab}	35.87	50.08	79.36	23.78	2.04	18.39
	h_{ab} ($^\circ$)	285.63	19.48	90.28	155.16	273.55	284.35
	Color difference	ΔL^*	0	14.81	60.56	15.23	8.16
Δa^*		0	37.55	10.06	31.25	9.54	5.11
Δb^*		0	51.25	113.91	44.54	32.52	16.73
ΔE_{00}		0	35.69	79.81	35.06	18.86	65.68

should be considered in color and optical analyses of woven structures [23, 24].

2.5 The relation between colors of warp and weft threads in bicolor woven fabrics

The relationship between warp and weft interlacing points in bicolor woven fabrics is not only physical, but is also optical. These optical properties can be described in terms of color contrast and harmony. During the design of bicolor woven fabrics, the color contrast and harmony must be considered.

The human psychophysical response, in which the surface of bicolor woven fabric is per-

4 Rezultati

Spektrofotometrični rezultati raziskave so zaradi preobsežnega števila numeričnih rezultatov predstavljeni grafično z razmerjem med barvnimi vrednostmi L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h_{ab} in deleži barvne komponente, ki se je najbolj spreminjala s spremembo konstrukcijskih parametrov, tj. deleži barve votkovnih niti U_w .

Na slikah 1 in 2 so predstavljene spremembe svetlosti L^* , ko se je delež barve votkovnih niti spreminjal od vrednosti 0 do 1 (0 do 100 % površine v barvnem raportu). Na slikah 3, 4 in 5 so predstavljene spremembe vrednosti a^* in b^* obojestranskih in enostranskih vezav tkanin, na slikah od 6 do 8 pa so predstavljene spremembe vrednosti nasičenosti C^*_{ab} in barvnega tona h_{ab} v odvisnosti od deleža barve votkovnih niti v barvnem sosledju. Grafične predstavitve so prikazane ločeno za tri skupine vezav: obo-

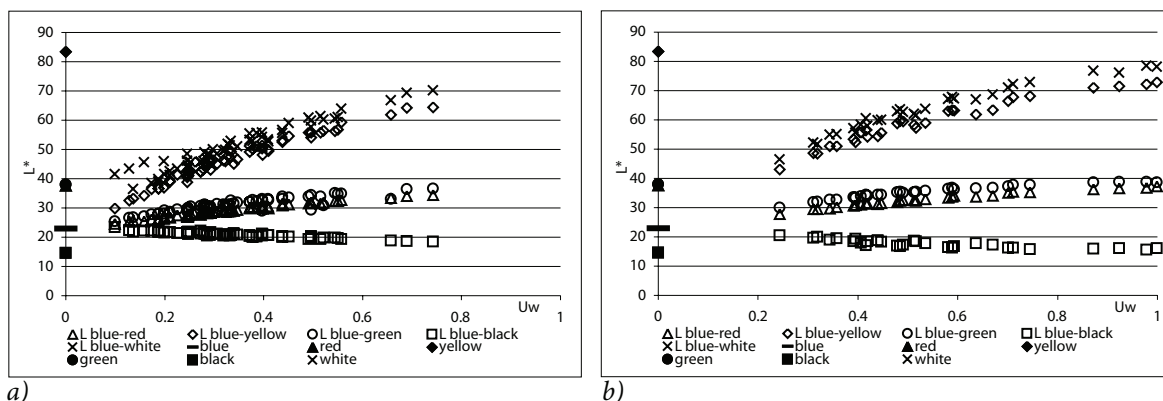


Figure 1: The influence of weft thread color fraction on lightness- L of bicolor woven fabrics: double-sided weaves (a) and the face side of one-sided weaves (b).

ceived, depends on color combinations and color values of all color components. The contrast relation between two colors can be determined as having light-dark, warm-cold, and complementarity contrast as well as quality and quantity contrast. For instance, the visual response to light, "warm", and saturated colors is stronger than the visual response to dark, "cold", and unsaturated colors. In the case of the combination of two colors and taking into account their contrast relation, most of the incident light is reflected from light, warm, and saturated surfaces. Therefore, the surfaces of these colors are perceived more intensely [25, 26, 27].

When woven fabrics with harmonic color components are observed, the optical mixing of reflected light occurs as a result of a short observation distance and larger surfaces of color components. Because of color harmony, the hu-

jestranske ter enostranske v osnovnem in votkovnem efektu. Barvne vrednosti L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h_{ab} dvoobarvnih tkanin so v legendi označene s črkami L, a, b, C, h in praznimi znaki (moder-

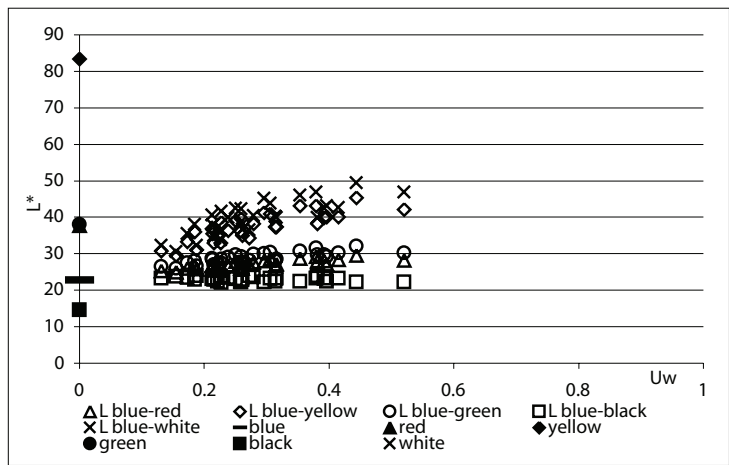


Figure 2: The influence of weft thread color fraction on lightness-L of bicolor woven fabrics on the back side of one-sided weaves.

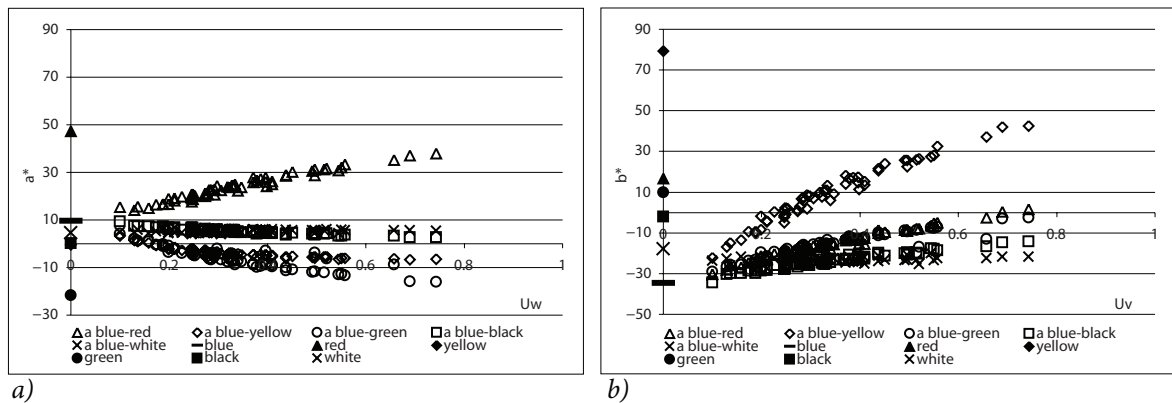


Figure 3: The influence of fraction of weft thread color on a^* (a) and b^* (b) values of bicolor woven fabrics made of double-sided weaves.

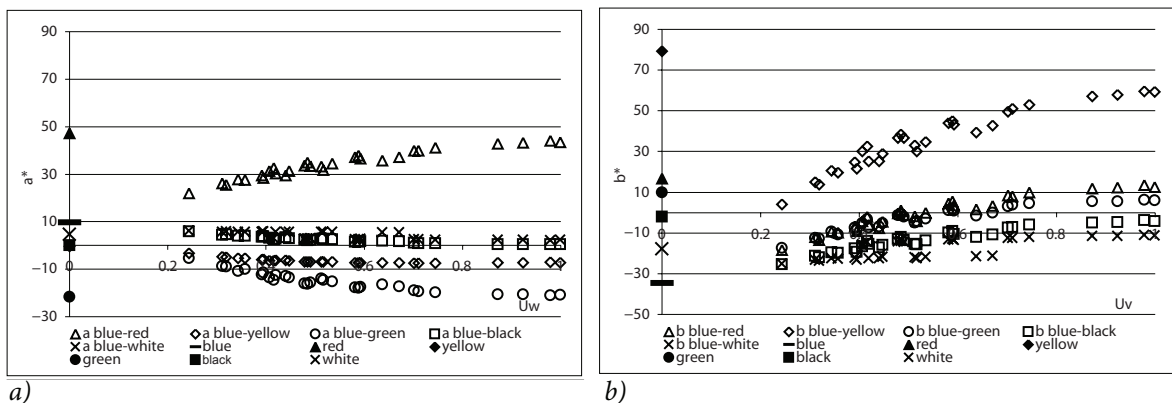


Figure 4: The influence of fraction of weft thread color on a^* (a) and b^* (b) values of bicolor woven fabrics on the face side of one-sided weaves.

man eye has difficulty distinguishing color components of a combination. Therefore, a visual adaptation occurs, which results in the perception of uniform color valence.

rdeč, moder-rumen, moder-zelen, moder-črn, moder-bel), medtem ko so barvne vrednosti niti podane z imenom barve votka (moder, rdeč, rumen, zelen, črn, bel) in polnimi znaki na ordinatni osi y.

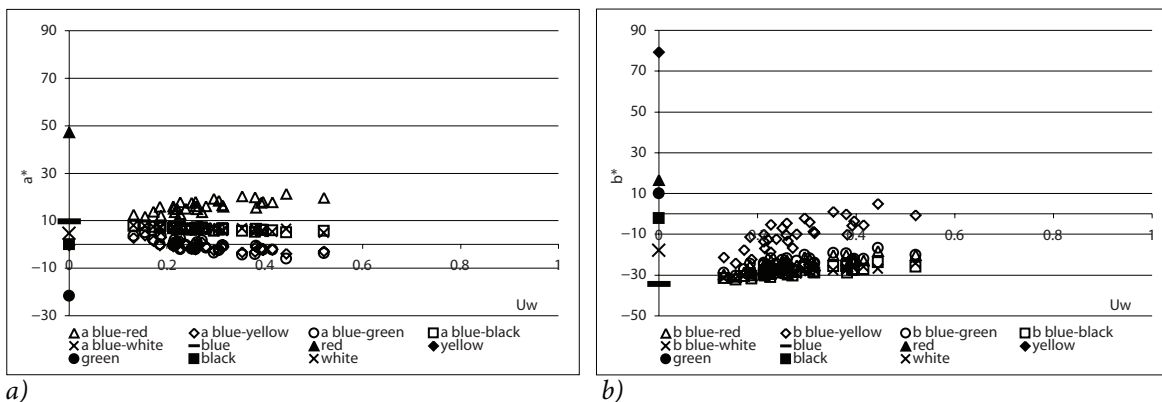


Figure 5: The influence of fraction of weft thread color on a^* (a) and b^* (b) values of bicolor woven fabrics on the back side of one-sided weaves.

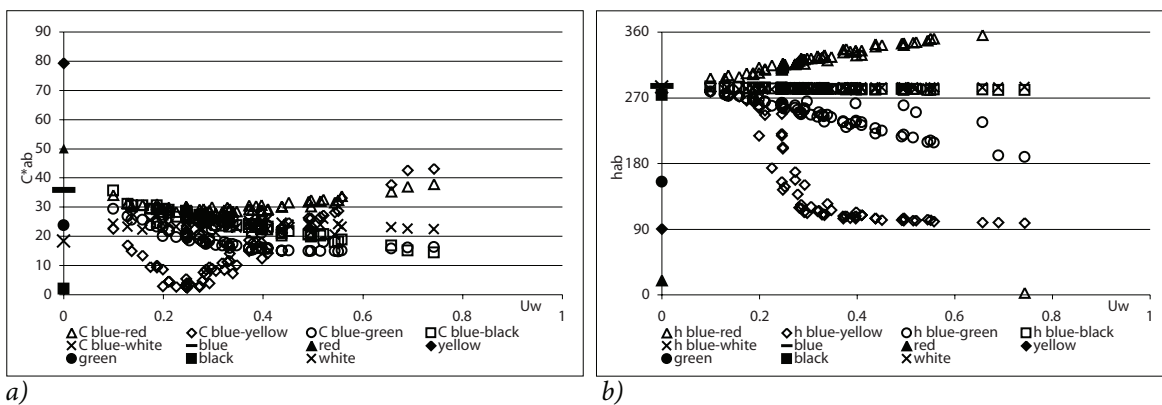


Figure 6: The influence of fraction of weft thread color on chroma-C (a) and hue-h (b) values of bicolor woven fabrics made of double-sided weaves.

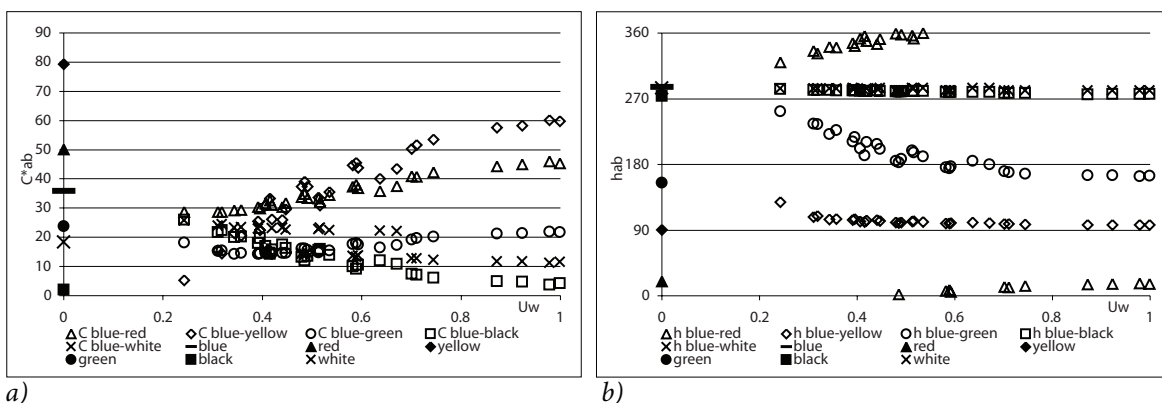


Figure 7: The influence of weft thread color fraction on chroma-C (a) and hue-h (b) values of bicolor woven fabrics: face side of one-sided weaves.

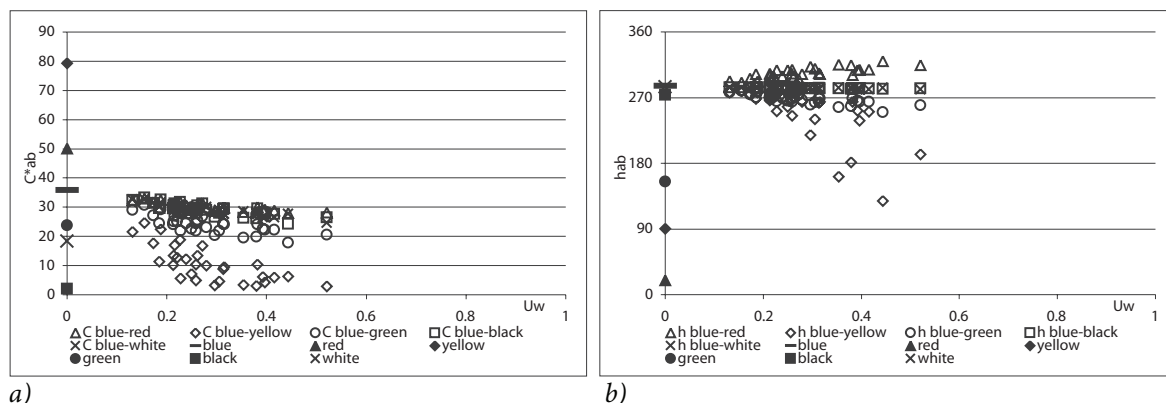


Figure 8: The influence of fraction of weft thread color on chroma- C (a) and hue- h (b) values of bicolor woven fabrics on the back side of one-sided weaves.

3 Experimental

Two groups of woven fabrics were analysed, which included double- and one-sided weaves.

These groups were selected to compare constructions with equal ratios between warp and weft interlacing points and constructions with dominant warp or weft interlacing points on the face and back of the woven structure. Double-sided weaves included plain (PL), four- and eight-end basket (BA4, BA8), and four-end double-sided twill (TW). The one-sided weaves of four-end twill (TW4) and eight-end satin (SA8) were analysed with predominant floating of warp and weft threads on the face- and back-side of the fabric.

The fineness (8×2 tex) and the diameter (0.187 mm) of warp and weft threads were constant. An increase and decrease in the influence of color components on the overall optical and color effects was achieved by varying constructional parameters. The changes in the warp thread density (g_o) of 31, 36, and 40 threads/cm in all weaves and weft thread density (g_w) in five steps from the minimal to the maximal value for each warp thread density caused the systematically planned variations of the size of surfaces of color components. These variations changed the cover factor of warp and weft threads. Altogether, 120 different constructional patterns were prepared including all the variations in weave type and thread density.

The surfaces and fractions of color components were calculated with a geometrical model, whose mathematical derivation is presented in references [14, 20] and is presented in Equa-

5 Razprava o rezultatih

5.1 Odnos med izhodiščnimi barvami osnovnih in votkovnih niti ter barvami dvobarvnih tkanin

Na začetku razprave je treba poudariti, da se spremembe konstrukcijskih parametrov (finost niti, gostota) spektrofotometrično večinoma kažejo kot nelinearne spremembe barvnih vrednosti dvobarvnih tkanin. Ta pojav in njegova analiza sta obširno predstavljena v referencah [14, 15] in ga bomo zato v tej razpravi izpustili. Vsekakor pa je za nadaljevanje razprave treba predstaviti nekatere zaključke omenjenih referenc. Tako kot v primeru kompleksnega človeškega vizualnega sistema optično mešanje na večbarvnih površinah ne more biti predstavljeno povsem aditivno (kot je lahko aditivno mešanje svetlob različnih valovnih dolžin). Poleg tega pa je treba pri uporabi CIE $L^*a^*b^*$ upoštevati tudi neenotnost predstavitve barv in barvnih razlik v barvnem prostoru CIE $L^*a^*b^*$. Obnašanje barv dvobarvnih mešanic v barvnem prostoru CIE $L^*a^*b^*$ je odvisno od $L^*a^*b^*$ -vrednosti izhodiščnih barv in njihove kombinacije. Poleg tega so analiza in rezultati skupnega barvnega učinka dvobarvnih tkanin odvisni od uporabljenega barvnega sistema: $L^*u^*v^*$, XYZ, xy, $L^*a^*b^*$ [14, 15].

Glavna problematika članka je vpliv nekaterih konstrukcijskih parametrov na celotni optični in barvni učinek dvobarvne tkanine, ki ju lahko spektrofotometrično določimo. Razmerja med izhodiščnimi barvami osnovnih in votkovnih niti ter barvami dvobarvnih tkanin kombinacij lahko analiziramo v preglednici 2, kjer so podane razlike barvnih vrednosti ΔL^* , Δa^* , Δb^* , in na slikah od 1 do 8, kjer so predstavljane spremembe vrednosti L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* in h_{ab} . Na podlagi preglednice in slik lahko rečemo, da je pri spreminjanju konstrukcijskih parametrov sprememba barve dvobarvnih tkanin najbolj odvisna od tiste barvne vrednosti oz. tistih barvnih vrednosti, ki se pri izhodiščnih barvah osnovnih in votkovnih niti najbolj razlikujejo od vrednosti 0. Spreminjanje gostote votkovnih niti z veliko vrednostjo b^* posledično tudi najbolj vpliva na barvno vrednost tkanine. Če imamo torej votkovne niti

tion (1). In Equation (1), U is theoretical fraction of color component- i (warp - U_o , weft - U_w and space between threads - U_p , $U_o + U_w + U_p = 1$), n is the number of all points in a color repeat, n_{oi} / n_{wi} is the sum of the warp and the weft points on the i^{th} color warp/weft threads, $u_{on,oi} / u_{wn,wi}$ is the fraction of the warp thread color in the warp/weft interlacing point, $n_{oi,oi} / n_{oi,wi}$ is the number of warp points on the i^{th} color warp/weft threads, $n_{wi,oi} / n_{wi,wi}$ is the number of the weft points on the i^{th} color warp/weft threads and $u_{wn,oi} / u_{wn,wi}$ is the fraction of the weft thread color in the warp/weft interlacing point.

Several constructional parameters of woven fabrics are presented in Table 1 and include the following: (1) plain weaves (PL), (2) four- and eight-end basket weaves (BA4, BA8), (3) four-end double-sided twill weaves (TW), (4) face and back side of four-end one-sided twills (TW4) and face and back side of eight-end one-sided satin (SA8), (5) the values of warp and weft thread density, (6) the limit values (min→max) of warp/weft (U_o , U_w) thread fractions, (7) fractions of space between threads (U_p) (8) and the ratio between the numbers of warp and weft interlacing points in weave repeat.

All woven constructions were prepared with constant color in warp-blue and six different weft colors (blue, red, yellow, green, black, white). After taking into account changes in constructional parameters and different thread colors, 720 patterns were prepared and analysed.

The spectral and color values of warp and weft threads and the bicolour structures were measured according to the standard EN ISO 105-J01 with a Spectraflash SF 600 Plus-CT (D65, 10° observer, D/8, 2cm) and analysed with Datacolor software Dcshell [28]. The spectral values (the values of reflectance maxima and wave lengths), L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* , h_{ab}^* values of warp and weft threads and the differences ΔL^* , Δa^* , Δb^* and ΔE_{00} between colors of weft threads and the blue color of warp threads are presented in the Table 2.

4 Results

The spectrophotometrical results are presented graphically showing the relations between the color values L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* , h_{ab}^* , and the fraction of the color component, which changes the

z majhnimi vrednostmi L^* in a^* , se bo v dvobarvni tkanini najbolj spreminjala prav barvna vrednost b^* . Podobno bi veljajo tudi za barvni vrednosti L^* in a^* . Posledično se sočasni učinek sprememb konstrukcijskih parametrov dveh barvnih komponent na površini (spremembe deležev barv osnovnih in votkovnih niti) spektrofotometrično najbolj kaže v spremembah tiste barvne vrednosti L^* , a^* ali b^* , katere razlika med barvama osnovnih in votkovnih niti je bila največja. Potrditev ugotovitve lahko najdemo na slikah od 1 do 5, kjer so prikazane spremembe barvnih vrednosti L^* , a^* in b^* dvobarvnih tkanin v odvisnosti od deleža barve votkovnih niti. Iz slik lahko razberemo, da se pri spremembi gostote votkovnih niti (deleža votkovnih niti) barvni vrednosti a^* in b^* najbolj spreminjata v primeru modro-rdečih in modro-zelenih tkanin, saj se modra osnova in rdeč ter zelen votek najbolj razlikujeta v legah koordinat a^* in b^* (preglednica 2, $\Delta a_{\text{modra/rdeča}}^* = 37,55$, $\Delta a_{\text{modra/zelena}}^* = 31,25$, $\Delta b_{\text{modra/rdeča}}^* = 51,25$, $\Delta b_{\text{modra/zelena}}^* = 44,54$). Po drugi strani pa je bila koordinata b^* najbolj izpostavljena spremembam v primeru modro-rumenih vzorcev ($\Delta b_{\text{modra/rumena}}^* = 113,91$) in svetlost L^* v primeru modro-belih vzorcev ($\Delta L_{\text{modra/bela}}^* = 73,97$). Modro-črna tkana barvna kombinacija ni bila izpostavljena velikim spremembam barvnih vrednosti med naraščanjem vrednosti deleža barve votkovnih niti, saj je bila razlika med izhodiščnima barvama modre osnove in črnega votka majhna ($\Delta E_{00 \text{ modra/črna}} = 18,86$).

5.2 Vpliv konstrukcijskih parametrov na lastnosti barv dvobarvnih tkanin

5.2.1 Vpliv deleža barvnih komponent na svetlost dvobarvnih tkanin

Na slikah 1a, 1b in 2 so predstavljene spremembe svetlosti L^* dvobarvnih tkanin obojestranskih in enostranskih vezav. Dve tkani barvni kombinaciji sta kazali večje spremembe svetlosti: modro-rumena in modro-bela, pri katerih je bila velika razlika v vrednosti svetlosti L^* modrih osnovnih in rumenih oz. belih votkovnih niti ($\Delta L_{\text{modra/rumena}}^* = 60,56$, $\Delta L_{\text{modra/bela}}^* = 73,97$). Nasprotno pa se majhne razlike v svetlosti ΔL^* med modro osnovo in barvami rdečega, zelenega in črnega votka kažejo v konstantnejših vrednostih svetlosti L^* dvobarvnih tkanih kombinacij. V primeru vseh barvnih kombinacij in vseh treh skupin vezav lahko vidimo, da svetlost dvobarvnih tkanin variira med vrednostjo svetlosti osnovnih niti in vrednostmi svetlosti votkovnih niti, ki so podane na ordinatni osi. Svetlost dvobarvnih tkanin je tako nekako omejena s svetlostjo izhodiščnih barv osnove in votka.

5.2.2 Vpliv deleža barvnih komponent na nasičenost dvobarvnih tkanin

Na slikah 6a, 7a in 8a je predstavljen vpliv deleža barve votkovnih niti na vrednosti nasičenosti dvobarvnih tkanin. Zaradi različnega razmerja osnovnih in votkovnih veznih točk so prisotne razlike med spremembami vrednosti nasičenosti treh skupin vezav: obojestranskih vezav, lične strani enostranskih vezav (votkovni efekt) in hrbtne strani enostranskih vezav (osnovni efekt). Na

most with the variations in the constructional parameter fraction of weft thread color.

Figure 2 shows the changes in lightness (L^*) of bicolor woven structures when the fraction of weft threads increases from 0 to 1. Figures 3, 4, and 5 present the changes in a^* and b^* values of woven fabrics in double- and one-sided weaves. Figures 6 to 8 display the changes of the chroma and hue values with respect to the fraction of weft thread color in the color and weave repeats. Separate graphical representations are given for three groups of weaves including the double-sided weaves and the face and back side of one-sided weaves. The color values L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h_{ab} of bicolor woven structures are marked in the legend as follows: L, a, b, C, h and empty signs. On the ordinate axis, thread color values are labeled with the weft thread color and full signs.

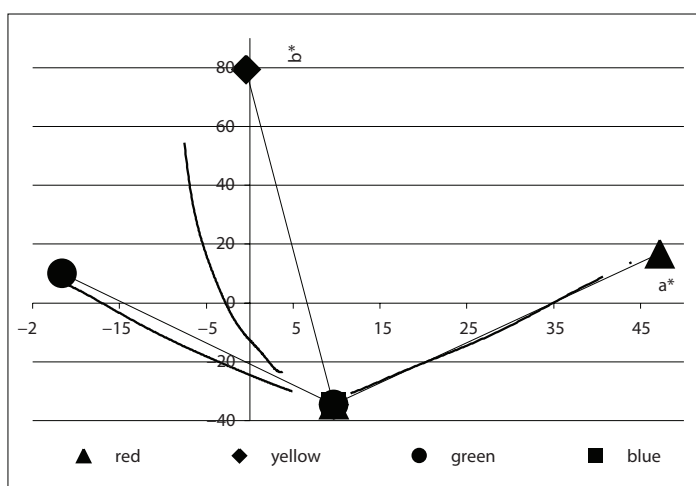
5 Discussion

5.1 The relationship between original warp and weft colors in bicolor woven fabrics

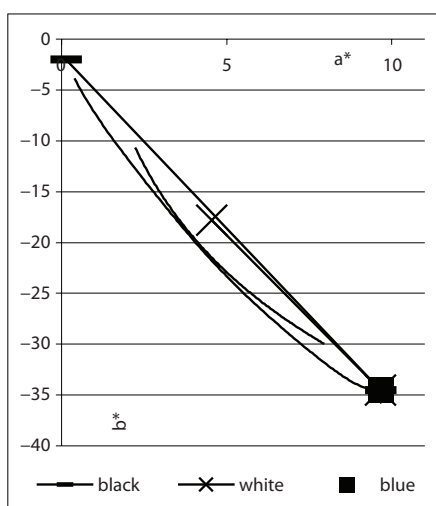
First, it should be noted that the constructional parameters that change with spectrophotometry (e.g. thread fineness, density) result in non-linear changes in color values of bicolor woven fabrics. Results of this phenomenon have been analyzed exhaustively in previous work [14, 15] and therefore will not be discussed in this paper. However, some important conclusions that were drawn from these studies will be presented. In the case of the complex human visual system, the optical color mixture of multi-color surfaces cannot be presented in a completely additive fashion (e.g. the additive color mixture of light). As such, when the CIE $L^*a^*b^*$ color space is used, the non-uniformity of color and color difference has to be considered. The behavior of colors in bicolor woven mixtures in the CIE $L^*a^*b^*$ color space depends on the $L^*a^*b^*$ values of the original colors of warp and weft threads and their combinations. Moreover, the analysis and the results of the overall color effect of bicolor woven structures depends on the color system used, including $L^*u^*v^*$, XYZ, xy and $L^*a^*b^*$ [14, 15].

This paper focuses on spectrophotometrically analysing the problems associated with the in-

splošno se spremembe deleža votkovnih niti kažejo kot nelinearno gibanje točk, ki predstavljajo vrednosti nasičenosti na slikah. Primerjava treh različnih vrst vezav pa kaže, da je nelinearnost najbolj izražena v primeru obojestranskih vezav, pri katerih sta deleža barv osnovnih in votkovnih niti na površini tkanine bolj izenačena. Primerjava nasičenosti izhodiščnih barv osnovnih in votkovnih niti, ki je na slikah podana na y-osi, in vrednosti nasičenosti dvobarvnih tkanin obojestranskih vezav je pokazala, da ima večina dvobarvnih vzorcev z votki v kromatičnih barvah nižje vrednosti nasičenosti kot izhodiščna barva votkovnih niti. Vzrok lahko seveda najdemo v legi izhodiščnih barv osnovnih in votkovnih niti v a^*b^* -ravnini barvnega prostora CIE $L^*a^*b^*$, ki je na sliki 9a podana za barvne kombinacije s kromatičnimi barvami votkovnih niti: rdečo, rumeno in zeleno. Na sliki predstavljajo polni ge-



a)



b)

Figure 9: The positions of original colors of warp and weft threads and bicolor woven fabrics with chromatic weft thread color (a) and achromatic weft thread color (b) in the a^*b^* plane [14, 29].

fluence of a set of constructional parameters on overall color and the optical effects of bicolor woven fabrics. The relationship between original colors of warp and weft threads and colors that comprise bicolor woven combinations are shown in Table 2 (numerical differences are represented as ΔL^* , Δa^* and Δb^*), and in Figures 2 to 8, where the changes of L^* , a^* , b^* , C_{ab}^* and h_{ab} are presented. When constructional parameters change, the variation in color values of bicolor woven structures mostly depend on the color value(s), which vary the most from the value 0 by original colors. Thus, it can be said that when weft threads have high value of coordinate b^* , the changes in weft thread density has the greatest influence on the value b^* of the woven fabric. Therefore, if the color coordinates L^* and a^* of weft threads color have low values, value b^* changes the most in the bicolor woven structure. This occurrence is also possible in the case of color coordinates L^* and a^* . Consequently, the effect of simultaneous changes of constructional parameters for two color components on the surface (warp and weft thread color) spectrophotometrically results in the most variation in the color coordinate L^* , a^* or b^* , whose difference was the most pronounced between the original colors of warp and weft threads.

Confirmation of this statement can be found in Figures 2 through 5, where the changes in the L^* , a^* and b^* values for bicolor woven fabrics are presented with respect to the fraction of weft thread color. In the case of blue-red and blue-green woven fabrics the figures show that when the thread density (fraction of weft thread color) changes, the coordinates a^* and b^* change the most. Blue warp threads differ significantly in both coordinates a^* and b^* in comparison with red or green wefts (Table 2, $\Delta a_{blue/red}^* = 37.55$, $\Delta a_{blue/green}^* = 31.25$, $\Delta b_{blue/red}^* = 51.25$, $\Delta b_{blue/green}^* = 44.54$). On the other hand, coordinate b^* was the most exposed to variations for blue-yellow patterns ($\Delta b_{blue/yellow}^* = 113.91$) and lightness, L^* , in the case of blue-white patterns ($\Delta L_{blue/white}^* = 73.97$). The blue-black color combination did not exhibit great changes of color values when the weft thread color fraction increased, because the color difference between the original colors of blue warp threads and black weft threads was low $\Delta E_{00 blue/black} = 18.86$.

ometrijski znaki lego izhodiščnih barv osnove in votka, ravne dalje predstavljajo razdaljo med izhodiščnimi barvami, krivulje pa predstavljajo nelinearno spreminjanje nasičenosti merjenih barv dvobarvnih kombinacij. Ker ležijo izhodiščne barve osnove in votka v različnih kvadrantih a^*b^* -ravnine, se barve tkanih kombinacij osnove in votka približujejo koordinatnemu izhodišču in prehajajo v področja barv z nižjo vrednostjo nasičenosti. Nasprotno je v primerih tkanih kombinacij z nekromatičnimi barvami votka (črn, bel), pri katerih ležijo izhodiščne barve osnove in votka v istem, 4. kvadrantu a^*b^* -ravnine (slika 9b). V tem primeru je seveda nasičenost dvobarvnih kombinacij povsem odvisna od barve modrih niti. Posledično imajo vse dvobarvne kombinacije večjo nasičenost od nasičenosti izhodiščnih barv črnega in belega votka in z naraščanjem deleža barve votkovnih niti nasičenost dvobarvnih tkanin očitno pada.

V primeru obojestranskih vezav, pri katerih je razmerje med osnovnimi in votkovnimi točkami 1 : 1 in delež barve votkovnih niti narašča od 0,1 do 0,8, so vrednosti nasičenosti dvobarvnih mešanic na splošno manjše od nasičenosti modrih osnovnih niti (slika 6a). Pri vzorcih, pri katerih je nasičenost votkovnih niti večja od nasičenosti osnovnih niti (modra-rdeča, modra-rumena; $C_{ab modra}^* = 35,87$, $C_{ab rdeča}^* = 50,08$, $C_{ab rumena}^* = 79,36$), nasičenost dvobarvnih vzorcev na splošno narašča z večanjem deleža barve votkovnih niti U_v . Nasprotno pa v primeru večanja deleža barve votka nasičenost dvobarvnih modrih in zelenih vzorcev pada, saj je nasičenost zelenih votkov manjša od nasičenosti modrih niti ($C_{ab zelena}^* = 23,78$). Na sliki 6a lahko za te vezave vidimo, da do vrednosti deleža barve votka $U_w = 0,6$ popolnoma vse točke, ki predstavljajo nasičenost dvobarvnih tkanin, ležijo pod vrednostjo nasičenosti osnovnih niti. Spremembe nasičenosti vzorcev z modro osnovo in votkom kromatične barve so bile v vseh primerih nelinearne, kar hkrati potrjuje tudi nelinearno vizualno percepcijo nasičenosti. Konkavno zaporedje leg točk, ki predstavljajo nasičenost, je bilo najbolj izraženo v primeru modro-rumene tkane kombinacije v obojestranskih vezavah, pri kateri je prisoten očitni padec nasičenosti v odvisnosti od naraščanja deleža barve votkovnih niti do vrednosti 0,25. Vrednost nasičenosti tkanih struktur te barvne kombinacije z deležem barve votkovnih niti med vrednostma 0,2 in 0,3 je kritično nizka. Vrednosti nasičenosti so se spustile pod 5, kar je kazalo na nekromatični barvni učinek mešanice. V nadaljevanju, ko površina barve votkovnih niti naraste nad vrednost 0,3, se nasičenost ponovno povečuje in se počasi bliža vrednosti nasičenosti rumenih votkovnih niti. Trdimo lahko torej, da je v našem primeru minimalna vrednost nasičenosti celotnega barvnega učinka barvne kombinacije dveh komplementarnih barv dosežena pri razmerju deležev dveh komponent $U_{o modra} : U_{w rumena} = 0,75 : 0,25$. To razmerje dveh barvnih komponent kaže na sočasno delovanje dveh optičnih pojavov, ki ju imenujemo komplementarni in kvantitativni kontrast. Vrednosti refleksije rumenih votkovnih niti ($R_{max} = 63,76-82,80 \%$) lahko pri bistveno manjših vrednostih de-

5.2 The influence of constructional parameters on color properties of bicolor woven fabrics

5.2.1 The influence of fractions of color components on lightness of bicolor woven fabrics

In Figure 2 (a–c), the changes in the lightness, L^* , of bicolor woven fabrics in double and one-sided weaves is presented. Two woven color combinations exhibit pronounced changes of lightness: blue-yellow and blue-white woven fabrics. The difference in lightness between blue warp and yellow or white weft threads was high ($\Delta L^*_{\text{blue/yellow}} = 60.56$, $\Delta L^*_{\text{blue/white}} = 73.97$). On the other hand, low differences in lightness, ΔL^* , between the color of blue warp threads and the colors of red, green, and black wefts graphically display more constant L^* values for bicolor woven combinations. In the case of all color combinations and all three groups of weaves, it can be seen that the lightness values L^* of bicolor woven range from the value of lightness of warp and weft thread color. These lightness values are presented on the ordinate axis. Thus, lightness values of bicolor woven structures are somehow limited within the defined lightness values of original colors of warp and weft threads.

5.2.2 The influence of fractions of color components on chroma value of bicolor woven fabrics

Figures 6a, 7a, and 8a present the influence of weft thread color fraction on the chroma values of bicolor woven fabrics. Due to the ratio between the warp and weft interlacing points, there are some differences in chroma changes of three groups of woven structures in double-sided and the face (weft effect) and back side (warp effect) of one-sided weaves. In general, the changes in weft thread fraction result in non-linear motions of points showing chroma values. The comparison of three weave groups show that the non-linearity is most distinct in the case of double-sided weaves where the values warp and weft thread color fraction in the woven surface are more equalized.

The comparison of warp and weft thread chroma values is given on the y-axis. The chroma values of bicolor structures in double sided-

leža barve votka (manjša površina barvne komponente votka na celotni tkani površini) vplivajo na celotni barvni učinek kot modra barva osnove, katere refleksijski maksimum je nizek ($R_{\text{max}} = 15,46\%$). Za „nevtralizacijo“ nasičenosti rumenih niti do nekromatične barvne kombinacije je tako v našem primeru potrebna trikrat večja površina komplementarnih modrih niti. Konkavna oblika sprememb nasičenosti se je nekoliko kazala tudi v primeru modro-rdeče kombinacije, pri kateri pa zaradi manjšega kontrasta v refleksijskih vrednostih modrih in rdečih niti ($R_{\text{max}} = 53,36\text{--}67,76\%$) ni bilo prisotne tkane konstrukcije s kritično majhno vrednostjo nasičenosti.

Sliki 7a in 8a, ki predstavljata prevladujoči učinek osnovnih in votkovnih niti enostranskih vezav (lična in hrbtna stran), neka-ko nadaljujeta razlago odnosa med deležem barve votkovnih niti in nasičenostjo dvobarvnih tkanin. Skupina vzorcev enostranskih vezav v votkovnem efektu (lična stran), predstavljena na sliki 7a, kaže, da povečanje deleža barve votkovnih niti ($0,25 > U_w < 1$) povzroča skoraj enakomerne (linearne) spremembe nasičenosti dvobarvnih tkanin in se izraža tudi v približevanju vrednosti nasičenosti votkovnih niti. Vrednosti nasičenosti vseh dvobarvnih tkanin z votki kromatičnih barv so nižje od nasičenosti votkovnih niti. To velja tudi za vzorce modro-bele tkane kombinacije v atlasovi vezavi, ki imajo nižjo vrednost nasičenosti kot vzorci v enostranski keprovi vezavi v votkovnem efektu in kot izhodiščna bela barva votkovnih niti. Skupina enostranskih vezav v osnovnem efektu na sliki 8a kaže v primerjavi z vzorci v votkovnem efektu manjše razlike v vrednostih nasičenosti različnih barvnih kombinacij, za kar je vzrok konstantna modra barva osnovnih niti. Tudi v tem primeru enostranskih vezav se izkaže, da ima rumena barva votkovnih niti bistveno večji vpliv na celotni barvni in optični učinek tkanine kot druge barve votkovnih niti. To je razvidno na sliki 8a, kjer ima tkanina z modro osnovo in rumenim votkom na splošno minimalne vrednosti nasičenosti med vrednostmi deleža barve votka $0,2 > U_w < 0,4$, ne glede na to, da ima ta tkanina enake konstrukcijske parametre in enaka razmerja med osnovnimi in votkovnimi veznimi točkami kot tkanine z drugimi kromatičnimi barvami votka.

5.2.3 Vpliv deleža barvnih komponent na barvni ton dvobarvnih tkanin

V tem poglavju nadaljujemo z analizo sprememb barvnega tona dvobarvnih tkanin. Na podlagi slik 6b, 7b in 8b lahko na splošno trdimo, da večanje vrednosti deleža barve votkovnih niti od 0,1 do 1 pri vseh barvnih kombinacijah pomeni približevanje vrednostim barvnega tona votkovnih niti, ki so predstavljene na ordinatni osi y. Oblika sprememb vrednosti barvnega tona pa je za različne barvne kombinacije različna. Pričakovano kaže primerjava treh skupin vezav na slikah 6b, 7b in 8b skoraj konstanten barvni ton modro-črnih in modro-belih kombinacij. Dejstvo je, da je barvni ton modre osnove in črnega ter belega votka zelo po-

weaves show that the major part of bicolor woven patterns with the combination of chromatic thread colors have lower chroma values than the original color of weft threads. The cause of this lies in the position of the original colors of the warp and weft threads in color space, as is presented in Figure 9a for color combinations with chromatic colors in weft thread system (red, yellow and green). In that figure, full geometric signs represent positions of original colors of warp and weft, straight lines represent the plane distance between the positions of original colors. The curves present the non-linear changes of chroma values of measured colors of bicolor woven fabrics. Because the original colors of warp and weft threads are found in different quadrants of the a^*b^* plane, the colors of their combinations approach the zero point of the coordinate system and pass over the positions with lower chroma values. This result does not occur for patterns with achromatic weft threads (black, white). In this case, the positions of blue-warp and black/white-weft colors are present in the same- the fourth quadrant of the a^*b^* plane (Figure 9 b). The chroma values of bicolor structures depend completely on the color of blue warp threads. Consequently, all bicolor structures have chroma values higher than the chroma values of original weft colors (black, white). By increasing the weft thread color fraction, the chroma values of the bicolor mixture obviously decrease.

In the case of double-sided weaves where the ratio between warp and weft interlacing points is 1 : 1, and the fraction of weft thread color changes from 0.1 to 0.8 (U_w), the chroma values of bicolor mixtures are generally also lower than chroma values of blue-warp threads (Figure 6a). However, in the patterns where the chroma value of weft threads is higher than chroma of warp threads (blue-red and blue-yellow patterns, $C_{ab\ red}^* = 50.08$, $C_{ab\ yellow}^* = 79.36$), the chroma value of bicolor patterns increases by a larger fraction of the weft thread color U_w . The opposite is true in the case of blue-green patterns where, because of the low chroma value of weft threads ($C_{ab\ green}^* = 23.78$), the chroma value of bicolor woven structures decreases when the weft fraction U_w increases. In Figure 6a, it can be seen that for weft color fractions up to $U_w = 0.6$, all points representing chroma values of

doben ($h_{ab\ modra} = 285,63^\circ$, $h_{ab\ \text{crna}} = 273,55^\circ$, $h_{ab\ bela} = 284,35^\circ$), posledično pa spremembe deleža barvnih komponent bistveno ne vplivajo na barvni ton dvobarvne kombinacije. Na sliki 9b lahko vidimo lego barv modrih, črnih in belih niti, ki ležijo skoraj na isti liniji, medtem ko spektrofotometrično določeni barvni ton barv dvobarvnih kombinacij leži pri nekoliko nižjih vrednostih a^* in b^* . Na drugi strani pa grafična predstavitev vrednosti barvnega tona barv tkanin kombinacij z rdečim, zelenim in rumenim votkom kaže na bolj ali manj nelinearno spremembo barvnega tona med spremembami deleža barve votkovnih niti. Linearost sprememb barvnega tona je najbolj izražena v primeru modro-rdečih vzorcev, medtem ko modro-rumena kombinacija ponovno kaže posebno in drugačno obnašanje vzorcev te barvne kombinacije. Glede na grafično predstavitev na sliki 6b povzročajo vrednosti deleža rumene barve votkovnih niti od $U_w = 0,2$ do $U_w = 0,3$ zelo veliko spremembo barvnega tona, tj. za približno eno tretjino barvnega kroga (od 240° do 120°). Na sliki 9a, kjer je predstavljena a^*b^* -ravnina, lahko vidimo, da je lega barve ravno teh modro-rumenih vzorcev zelo blizu točke 0 koordinatnega sistema. Ob tem lahko opomnimo, da so to vzorci, ki so obenem imeli tudi kritično minimalno vrednost nasičenosti (slika 6a). Zanimivo je, da nadaljnja analiza pokaže, da imajo modro-rumene konstrukcije obojestranskih in enostranskih vezav (lična stran) z deležem barve votka, večjim od 0,3, skupni barvni efekt s skoraj konstantno vrednostjo barvnega tona (sliki 6b in 7b) ter z manjšimi spremembami barvnega tona v primerjavi z modro-rdečimi in modro-zelenimi kombinacijami. Kot v primeru nasičenosti je tudi v primeru barvnega tona vzrok za specifično obnašanje barvne kombinacije lega izhodiščnih barv osnove in votka v barvnem prostoru. Na splošno lahko trdimo, da se v primeru sistematičnih sprememb deležev ene ali več barvnih komponent dogajajo spremembe barvnega tona ter posledično celotnega barvnega in optičnega efekta dvobarvne tkanine v barvnem prostoru v smeri od ene do druge barvne komponente. Vendar pa je vizualno odzivanje na spremembo barvnega tona (linearno, nelinearno) povezano z medsebojno lego barv osnovnih in votkovnih niti. Optično mešanje dveh barvnih komponent dvobarvne tkane strukture, ki ležita blizu druga drugi v barvnem prostoru CIE $L^*a^*b^*$ in imata podobne vrednosti barvnega tona, daje na določen način predvidljive rezultate. Po drugi strani pa lahko večja razdalja med legami barv barvnih komponent v barvnem prostoru CIE $L^*a^*b^*$ in posledično večje razlike v barvnih lastnostih (barvni ton, nasičenost) povzročijo nepričakovane in specifične barvne in optične učinke na površini.

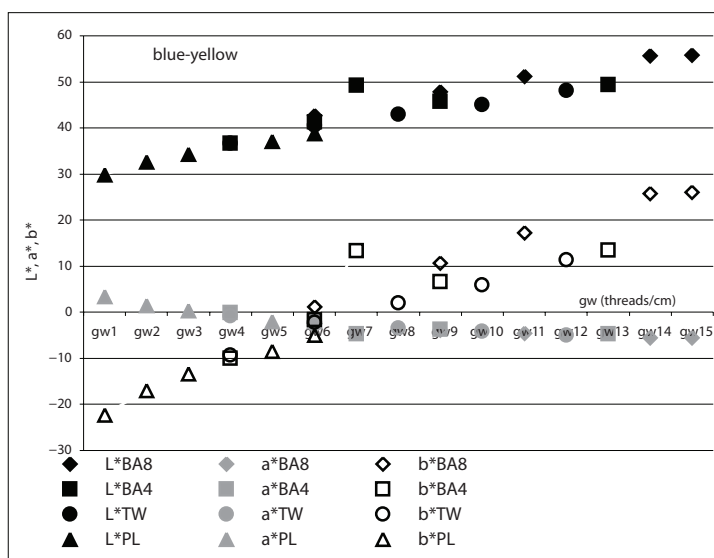
5.2.4 Vpliv velikosti in porazdelitve površin barvnih komponent na skupni optični in barvni učinek dvobarvnih tkanin

Površina barvnih komponent, njena velikost, oblika in porazdelitev, je odvisna predvsem od konstrukcijskih parametrov niti in tkanine. Na tej točki bi bilo treba omeniti mnoge konstrukcijske

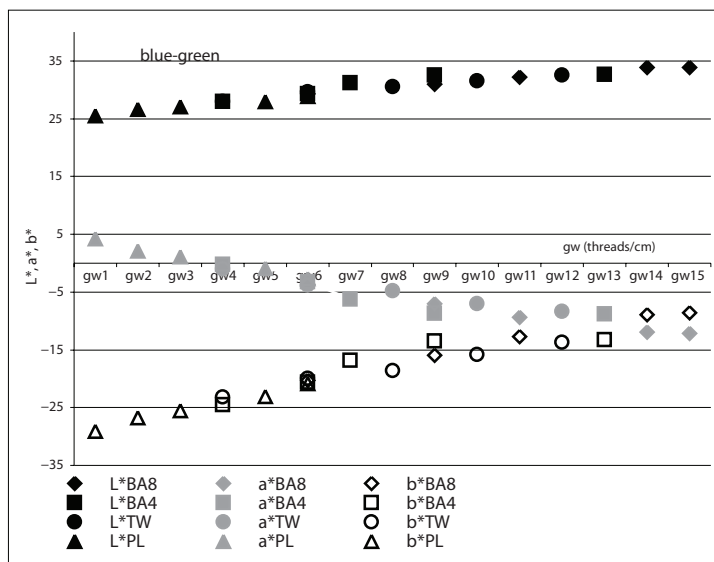
bicolor structures can be found below the chroma value of the warp threads. The changes of chroma values of patterns with blue-warp and chromatic weft threads shown were all non-linear. Chroma changes are another element that influences the non-linearity of human visual perception. The concave sequence of chroma point positions was most pronounced in the case of blue-yellow woven combinations in double-sided weaves. Here, the obvious decrease in chroma value is present when the weft color fraction increases up to 0.25. In the woven structures of this color combination, in which the weft thread fraction falls between 0.2 and 0.3, the critical-low values of chroma are distinct. Here, the chroma values of bicolor combinations were lower than 5, indicating an achromatic color effect of the mixture. Furthermore, when the surface of the color of weft threads in the color repeat is greater than 0.3, the chroma value slowly approaches the chroma value of the original yellow weft thread color. Thus, it can be said that in our case, the minimal chroma value of the overall color effect of bicolor combination of two complementary chromatic colors is reached when the ratio of the fractions of two color components $U_{o\text{ blue}} : U_{w\text{ yellow}} = 0.75 : 0.25$. This ratio of two color components indicates two optical phenomena, which are called the complementary contrast and the contrast of quantity. The reflectance values of yellow weft threads ($R_{\text{max}} = 63.76\text{--}82.80\%$) can actually influence the overall color effect at much lower values of weft color fraction (smaller surface of wefts color component in the overall woven surface), which is similar to the blue-warp thread color that has a low reflectance maximum value ($R_{\text{max}} = 15.46\%$). To neutralize chroma values of yellow threads to an achromatic color combination, it is necessary for the complementary blue thread to have a surface area three times larger than that of the yellow thread. The concave shape of chroma changes was also slightly distinct in the blue-red combination, but as blue and red thread colors have similar reflectance values ($R_{\text{max}} = 53.36\text{--}67.76\%$) there are no bicolor construction critical values. Figures 7a and 8a, which present the warp and weft effects of one-sided weaves (front and back side), continue the explanation of the relationship between the fractions of the weft thread color and the chroma value. The group of patterns of one-

parametre, vendar bodo analizirani samo najpomembnejši, ki so predstavljeni v teoretičnem delu: finost in premer niti, vezava in gostota niti.

Namen tega dela raziskave je bila primerjava spektrofotometrično določenih optičnih učinkov dvobarvnih tkanin v različnih obojestranskih vezavah z enakim razmerjem osnovnih in votkovnih veznih točk 1 : 1. Analizirane so bile vse barvne kombinacije. Natančneje pa bosta predstavljeni le dve barvni kombinaciji (modro-rumena in modro-zelena), da bi razložili vpliv barvnih lastno-



a)



b)

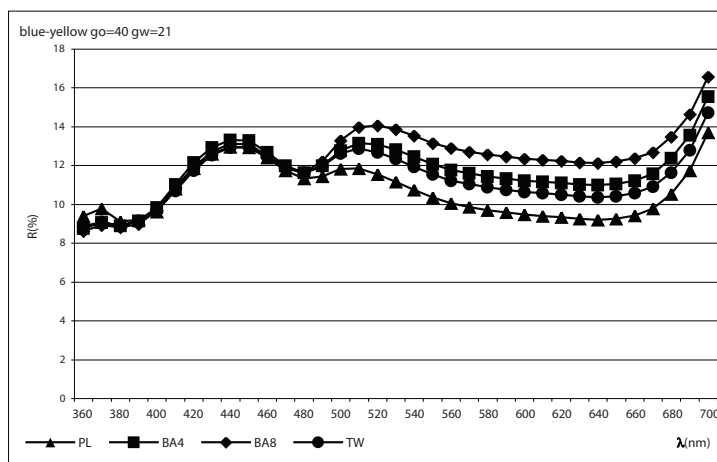
Figure 10: Spectrophotometrically determined color values $L^*a^*b^*$ of blue-yellow (a) and blue-green (b) double-sided weaves with warp thread density $g_o = 40$ niti/cm and different weft thread density ($g_{w1} - g_{w15}$).

sided weaves with weft thread floating (face side), presented in Figure 7a, shows that the increase of fraction of weft thread color ($0.25 > U_w < 1$) causes almost constant (linear) changes in the chroma of bicolor woven fabrics, which eventually approaches the chroma value of weft threads. However, the chroma values of all bicolor woven structures are generally lower than the chroma values of the weft thread color. This result is also true in the case of the blue-white color combination in a satin weave, which has lower chroma values than the patterns in one-sided twill weaves as well as the original white color of weft threads. The group of patterns of one-sided weaves with warp thread floating (warp effect) in Figure 8a are shown in comparison to weaves in weft thread floating with smaller differences between the chroma values of different color combinations due to the constant blue color of warp threads. Also in these cases of one-sided weaves, the yellow color of weft threads has more influence on the overall color and optical effect than other weft thread colors. This result can be seen in Figure 8a, where in spite of equal constructional parameters and equal ratio between warp and weft points in woven structures with different wefts colors, the woven combination with blue warp and yellow weft threads have minimal chroma values between weft color fractions $0.2 > U_w < 0.4$.

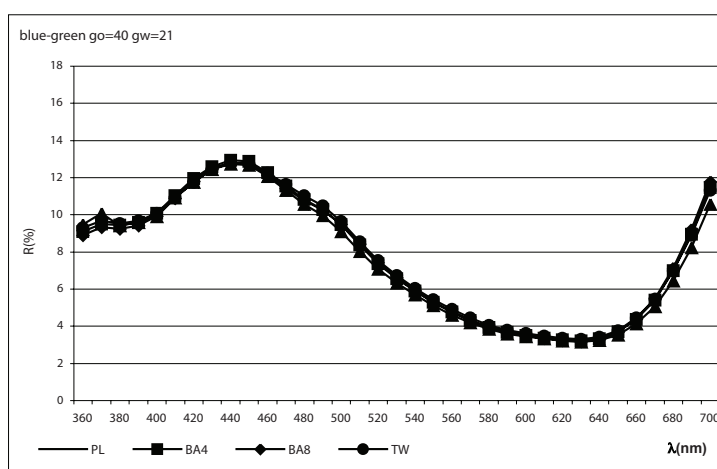
5.2.3 The influence of fractions of color components on the hue value of bicolor woven fabrics

The analysis of the changes of the hue value for bicolor woven fabrics will be presented here. Figures 6b, 7b, and 8b show that the increase in weft thread color fraction from 0.1 to 1 results in values (h_{ab}) near those of the weft thread colors presented on the y-axis. The changes of the hue values, which are more or less linear, vary for different color combinations.

As expected, the comparison of three groups of weaves in Figures 6b, 7b, and 8b show the hue constancy of blue-black and blue-white combinations. In fact, the hue values of blue warp and black and white weft threads are very similar ($h_{ab\ blue} = 285.63^\circ$, $h_{ab\ black} = 273.55^\circ$, $h_{ab\ white} = 284.35^\circ$). Therefore, the variations of the fractions of color components do not significantly influence the hue values of bicolor woven com-



a)



b)

Figure 11: Spectrophotometrically determined reflectance values of blue-yellow (a) and blue-green (b) double-sided weaves with $g_o = 40$ and $g_w = 21$ threads/cm.

sti barvnih komponent na celotni optični in barvni učinek. Na sliki 10a so za modro-rumene in na sliki 10b za modro-zelene tkanine grafično predstavljene spremembe barvnih vrednosti $L^*a^*b^*$ obojestranskih vezav (platna, PL, štiri- in osemvezne vezave pama, BA4 in BA8, in štiriveznega cirkasa, TW) v odvisnosti od sprememb gostote votkovnih niti $L^*a^*b^* = f(g_w)$ ter pri konstantni gostoti osnovnih niti $g_o = 40$ niti/cm. Vzorci obeh slik se med seboj razlikujejo le po barvi votkovnih niti, medtem ko so konstrukcijski parametri vzorcev obeh barvnih kombinacij pri določeni gostoti votka popolnoma enaki. Na osi x je predstavljeno naraščanje vrednosti gostote votkovnih niti in je za vse vezave skupaj podano od minimalne $g_{w1} = 8,5$ do maksimalne vrednosti $g_{w15} = 59$ niti/cm. Pri vrednosti gostote votkovnih niti g_{w6} je za vse vezave podana konstrukcija s popolnoma enakimi vrednostmi osnovnih in

binations. In Figure 9b, it can be seen that the positions of blue, black, and white thread colors lie almost on the same line, while spectrophotometrically defined hue values of colors of bicolor combinations appear with lower a^* and b^* values. Notably, the graphical presentations of hue colors of woven compositions with red, green and yellow weft threads indicate non-linear changes of the hue values with changing weft thread color fraction. The linearity of changes of hue is most evident in the case of blue-red patterns, while blue-yellow patterns show a particular and different behavior in patterns for these color combinations.

According to Figure 6 b, the values of the yellow weft thread fraction from $U_w = 0.2$ to $U_w = 0.3$ result in large hue changes of approximately one third of the color circle (from 240° to 120°). In Figure 9a, where the a^*b^* plane is shown, the color position of these blue-yellow patterns are very close to the zero point in the coordinate system. It is important to remember that these constructions also have minimal chroma values. It is interesting that further analysis shows that the blue-yellow constructions with weft thread fractions greater than 0.3 in double-sided and one-sided weaves (face side) result in the overall color effect with almost constant-valued hues (Figures 6b, 7b). There were some minor variations of the hue values in comparison with blue-red and blue-green combinations.

Similar to chroma values, the specific behavior of color combinations is caused by the positions of original warp and weft colors in the color space. In general, when the fractions of color components are systematically changed, the changes of the hue value and, consequently, the color and the optical effects of the bicolor woven structure in the color space, progress from one color component to another.

The visual response to changing hue values (linear, non-linear variations) is connected to the reciprocal positions of the colors of warp and weft threads. For instance, when two original colors having similar hue values that comprise a bicolor woven structure are positioned close to each other in the CIE $L^*a^*b^*$ color space, the optical mixture of these color components give predictable results. On the other hand, the greater the distance between positions of color components in

votkovnih niti: $g_o = 40$ niti/cm in $g_{w6} = 21$ niti/cm. Za te konstrukcije različnih vezav so na slikah 11a in 11b ločeno predstavljene refleksijske krivulje.

Na slikah 10a in 10b je razvidno, da lahko vezave z enakim razmerjem osnovnih in votkovnih veznih točk ter z različno velikostjo barvnega sosledja optično delujejo kot ena sama vezava, ki omogoča velik obseg vrednosti gostote votkovnih niti (od platna z minimalno do osemvezne vezave panama z maksimalno gostoto votkovnih niti). To je predstavljeno s skoraj linearnimi in enakomernimi spremembami barvnih vrednosti L^* , a^* in b^* , ko se je gostota votkovnih niti platna ter vezav panama in cirkas spreminjala od g_{w1} do g_{w15} . Točke, ki predstavljajo konstrukcije različnih vezav pri enakih gostotah osnovnih in votkovnih niti $g_o = 40$ in $g_{w6} = 21$ niti/cm, se skoraj prekrivajo tako pri modro-rumeni kot pri modro-zeleni kombinaciji ter izpostavljajo spektrofotometrično podobne barvne vrednosti konstrukcij z različno velikostjo barvnega sosledja. Nadaljnja analiza pa je pokazala, da je vpliv površin barv različnih barvnih komponent z enako velikostjo na skupni optični učinek odvisen od refleksijskih in $L^*a^*b^*$ -vrednosti barvnih komponent. Na slikah 10a in 10b lahko vidimo, da so bile spremembe barvnih vrednosti $L^*a^*b^*$ manj enakomerne v primeru vzorcev z rumeno barvo votkovnih niti, poleg tega pa se lege vrednosti L^* , a^* in b^* pri vrednosti gostote votka g_{w6} manj razlikujejo v primeru modro-zelenih vzorcev. Razlago za ta pojav lahko najdemo v analizi refleksijskih vrednosti vzorcev različnih vezav z rumenimi in zelenimi votki pri enakih vrednostih gostote niti $g_o = 40$ in $g_{w6} = 21$ niti/cm. Na sliki 11a so zato predstavljene razlike med refleksijskimi krivuljami tkanin z rumenim votkom v vezavah platno, štiri- in osemvezni panama ter cirkas. Pomembne razlike so prisotne pri višjih vrednostih valovne dolžine, pri katerih imajo rumene niti maksimalno vrednost odbite svetlobe (refleksijski maksimum). Vezava z največjimi površinami barvnih komponent (8-vezni panama) in največjim barvnim sosledjem je omogočala največje vrednosti odbite svetlobe, ki so se spektrofotometrično za 3 % razlikovale od refleksijskega maksimuma dvobarvne tkanine z najmanjšimi površinami barvnih komponent in najmanjšim barvnim sosledjem (platno). Zanimivo je, da so bile spektrofotometrične razlike izražene tudi med dvema štiriveznima vezavama (štirivezna vezava panama in štirivezni cirkas) z orientiranim in neorientiranim flotiranjem votkovnih niti. Štirivezni panama, katerega površina barvnih komponent ni orientirana v tkani strukturi, je kazal nekoliko višje refleksijske vrednosti kot štirivezni cirkas z Z-orientacijo. Vzrok za ta pojav je seveda orientacija odbite svetlobe, katere lastnosti bi bile lahko natančneje analizirane s pomočjo goniometrične metode. Ker uporaba te metode ni namen naše analize, je dovolj na tem mestu poudariti le, da lahko tudi s spektrofotometrijo analiziramo določene optične efekte na tkaninah različnih vezav in z različnimi velikostmi barvnega sosledja. Spektrofotometrične razlike med različnimi obojestranskimi vezavami so bile ugotovljene

the CIE $L^*a^*b^*$ color space, the greater the differences in color dimensions (hue, chroma). This larger difference can result in unpredictable and specific color and optical effects on the surface.

5.2.4 The influence of size and distribution of surfaces of color components on overall optical and color effects of bicolor woven fabrics

The color component surface, size, shape, and distribution depend mainly on constructional parameters of threads and woven fabric. Many constructional parameters could be mentioned at this point, but we have only analysed the most important of these, which are presented in the theoretical section: thread fineness and diameter, weave, and thread density.

The objective of this analysis was to compare spectrophotometrically determined optical effects of bicolor woven fabrics with the same ratio of warp and weft interlacing points in different double-sided weaves. Woven fabrics in all color combinations were analysed, but only two color combinations (blue-green and blue-yellow) will be presented in detail to explain the influence of properties of color components on overall optical and color effects. For this purpose, the changes of color values $L^*a^*b^*$ of double-sided weaves (plain PL, 4-end BA4 and 8-end basket BA8 and 4-end twill TW with respect to changes in weft thread density $L^*a^*b^* = f(g_w)$ and constant warp thread density ($g_o = 40$ threads/cm) are graphically presented together in Figure 10a for the blue-yellow combination and 10b for the blue-green combination. The patterns presented in these two figures differ only in weft thread color, while the constructional parameters are the same. On the x-axis, weft thread density is increased, and range from a minimal g_{w1} to a maximal value g_{w15} . From weft thread density (g_{we}), all weaves have an equal warp and weft thread density: $g_o = 40$ and $g_{we} = 21$ threads/cm. For the constructions in different weaves, the reflectance curves are separately presented (11a and 11b).

In Figures 10a and 10b, it is evident that the weaves with the same ratio between warp and weft interlacing points and different sizes of color repeats can act optically as a single weave, which allows for a wide range of weft thread density (from plain weaves with minimal density to bas-

tudi v primeru dvobarvne strukture z rdečimi in belimi votkovnimi nitmi, torej v vzorcih, v katerih so imele votkovne niti visoke vrednosti refleksijskega maksimuma. Tudi v primeru teh dveh barvnih kombinacij so bila spektrofotometrične razlike med vezavami najbolj izražene v območju valovnih dolžin, v katerem imajo votkovne niti refleksijski maksimum.

Nasprotno se je pokazalo v tkanih strukturah z zelenimi in črnimi votkovnimi nitmi, katerih vrednosti refleksijskega maksimuma niso presegle 20 % vpadle svetlobe. Tu je bila vrednost (vendar ne lega) refleksijskega maksimuma podobna za modre osnovne in zelene votkovne niti ($R_{\max \text{ modro}} = 15,46\%$, $R_{\max \text{ zeleno}} = 15,53\%$), nekromatične črne votkovne niti pa so seveda imele po celotnem vidnem delu EM konstantno nizko vrednost refleksije, ki ni presegala 4 % vpadle svetlobe. Tako se med različnimi vezavami pri enakih vrednostih gostote niti ni pokazala pomembna razlika v refleksijskih krivuljah, kar lahko za modro-zeleno tkano kombinacijo vidimo na sliki 11b.

Tako sta torej velikost in površina barvnih komponent v barvnem sosledju spektrofotometrično pomembni le v primeru, ko ima izmed barvnih komponent dvobarvne kompozicije visoke refleksijske vrednosti in med obema barvnima komponentama obstaja neke vrste kontrastno razmerje. Ta ugotovitev je lahko potrjena tudi z znanim pojavom optičnega mešanja raznobarvnih površin, ki trdi, da se podobnejše (harmonične) barve lažje optično mešajo in pri manjši razdalji opazovanja tvorijo enoten barvni efekt.

6 Zaključki

Poudariti je treba, da predstavljeni zaključki ne morejo biti popolnoma posplošeni, saj izhajajo iz eksperimentalnega dela z majhnim številom barvnih kombinacij in s konstantno barvo osnovnih niti. Ne glede na to je predstavljena raziskava lahko strnjena v nekaj pomembnejših zaključkov, ki predstavljajo nekatere nove pristope in metode za evalvacijo optičnih in barvnih učinkov dvobarvnih tkanih struktur.

- Med načrtovanjem končnega barvnega efekta dvobarvne tkanine morajo biti konstrukcijski parametri skrbno določeni, upoštevati pa je treba tudi njihove spremembe med procesom tkanja in po njem. Posebno pozornost je treba nameniti tkaninam, ki imajo nestabilno strukturo, in tkaninam, katerih konstrukcijski parametri so izpostavljeni večjim spremembam.
- Upoštevati je treba vpliv konstrukcijskih parametrov in njihovih sprememb med procesom tkanja in po njem (finost in gostota niti, vezava) na velikost, obliko in razporeditev površin posameznih barv barvne kompozicije ter na celotni barvni in optični učinek tkanine.
- Celoten barvni učinek dvobarvne tkanine, njene spektrofotometrične barvne lastnosti (svetlost, nasičenost, barvni ton) in lega v barvnem prostoru so odvisni predvsem od barvnih last-

ket 8 with maximal values of weft thread density). This idea is demonstrated by the almost linear and uniform changes of values L^* , a^* and b^* when the weft thread density for plain, basket and twill weaves is changed from g_{w1} to g_{w15} . The points representing constructions in different weaves at equal warp and weft thread density ($g_o = 40$ and $g_{w6} = 21$ threads/cm) almost cover each other for blue-yellow and blue-green combination, which indicates the similarity in spectrophotometrical color values of constructions with different sizes of color repeat. However, further spectral analysis demonstrated that the influence of color surfaces of different color components with equal size on overall optical and color effects depends on reflectance and the color values $L^*a^*b^*$ of the color components.

First, it can be seen that in Figures 10a and 10b, the variations of the color values $L^*a^*b^*$ were less uniform for patterns with yellow weft thread. The positions of the values L^* , a^* and b^* at weft thread density g_{w6} differ less for the case of blue-green patterns. This explanation was found from the analysis of the reflectance values of patterns in different weaves with yellow and green wefts at equal thread density values ($g_o = 40$ and $g_{w6} = 21$ threads/cm).

In Figure 11a, the differences between reflectance curves of woven structures in plain, 4-end and 8-end basket, and twill with yellow weft thread can be analysed. Significant differences are present at higher values of wavelength, where the color of yellow weft threads has the maximum value of reflected light. The weave with the biggest surface size of the color component and the biggest color repeat (8-end basket) results in the attainment of maximal values of reflected light. Such values differ by 3% from the reflectance maximum of the bicolor woven structures with the minimum size of surface color components and the minimum size of color repeat (plain). Interestingly, differences were also pronounced between the two 4-end weaves (4-end basket and 4 end twill) with oriented and unoriented floating of weft threads. Four-end baskets, which have color surfaces of color components that are not oriented in the woven structure, show slightly higher reflectance values than 4-end twill with a Z orientation. The cause for this phenomenon is the orientation of reflected light. The properties of light could be analysed with goniometry. As the application of this method is not the aim of our research, at this

nosti izhodiščnih barv, ki sestavljajo tkanino, in njihovih leg v barvnem prostoru CIE $L^*a^*b^*$. Ko je dvobarvna tkana struktura sestavljena iz barv s podobnimi refleksijskimi/barvnimi lastnostmi in z bližnjo lego v barvnem prostoru, je skupni barvni in optični učinek mešanja bolj predvidljiv, spremembe konstrukcijskih parametrov pa se kažejo v bolj linearnih spremembah vrednosti L^* , C^*_{ab} ali h_{ab} . Po drugi strani pa lahko kombinacija dveh kontrastnih barv (dve kromatični barvi, ki ležita v različnih ali v nasprotnih kvadrantih barvnega prostora) med spreminjanjem deležev barvnih komponent v tkani strukturi povzroči neenakomerne spremembe barvnega tona ali nekromatične optične učinke barvne mešanice.

- Vsaka barvna komponenta vpliva na skupni barvni efekt dvobarvne tkanine s tisto barvno vrednostjo L^* , a^* ali b^* , ki ima največjo numerično vrednost. Pri spreminjanju deležev obeh barvnih komponent dvobarvne tkanine se tako najbolj spreminja tista barvna vrednost L^* , a^* ali b^* , po kateri se najbolj razlikujeta tudi barvni komponenti dvobarvne konstrukcije (osnovne in votkovne niti).
- Sprememba konstrukcijskih parametrov v primeru uporabljenih vezav v raziskavi igra v primerjavi z barvnimi lastnostmi niti sekundarno vlogo pri načrtovanju končnega barvnega učinka dvobarvne tkanine. S temi spremembami se večinoma dosega le določena intenziteta vpliva posamezne barvne komponente ter nekatere variacije optičnih učinkov (odboj in sipanje svetlobe, lesk).
- Med konstrukcijskimi parametri dvobarvnih tkanin je za določanje celotnega barvnega učinka najpomembnejša vezava, ki določa delež barve posamezne barvne komponente na površini tkanine. V našem primeru se je tako izkazalo, da obojestranske tkanine z enakim razmerjem osnovnih in votkovnih veznih točk v sosledju vezave in z bolj izenačenim vplivom barvnih komponent v barvnem sosledju v odvisnosti od barvne kombinacije kažejo na splošno bolj nelinearne spremembe nasičenosti in barvnega tona. V vezavah s poudarjenim osnovnim ali votkovnim efektom se zaradi prevladujočega deleža ene barvne komponente med spreminjanjem gostote niti dogajajo bolj linearne spremembe barvnih lastnosti.
- Med načrtovanjem končnega barvnega in optičnega učinka dvobarvne tkanine je treba upoštevati tudi odnos med barvami barvnih komponent v tkanini. Ti odnosi so lahko opisani numerično z barvnimi razlikami (ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^*) ali opisno kot harmonični in kontrastni. Vrsta odnosa pomembno vpliva tako na subjektivno dožemanje barve in optičnih lastnosti dvobarvne tkanine kot tudi na objektivne spektrofotometrične analize optičnega mešanja na dvobarvni tkanini.
- Barvne komponente z različnimi vrednostmi refleksijskega maksimuma različno vplivajo na skupni barvni in optični učinek dvobarvne tkanine. Ne glede na enako velikost površin različnih barvnih komponent ima barvna komponenta z večjimi

point, it should be emphasized that spectrophotometry allows for the analysis of certain optical effects on woven structures in different weaves and with different color repeat size. The spectrophotometrical deviations of the plain weave from the basket and twill weaves were noticed in the case of bicolour structures with red and white weft threads in the patterns in which weft thread color had a high value of reflectance maximum. Also in case of these two color combinations, the spectrophotometrical deviations between weaves were present at wavelengths where the weft threads had the maximal values of reflectance.

The opposite was observed in the woven structures with green and black weft threads. Its reflectance maximum does not exceed 20% of incident light. Here, the value (but not the position) of reflectance maxima were very similar for blue warp and green vs. black weft threads, because achromatic colors have constant, low reflectance values over the overall visible light spectrum. Achromatic colors do not exceed 4% of incident light. Thus, no significant deviations resulted between the reflectance curves of different weaves at equal warp and weft thread density. This information is apparent in Figure 11b for blue-green woven combination.

In summary, the size of the color component surfaces in a color repeat is spectrophotometrically relevant only in the case when one color component of the bicolour composition has a high reflectance maximum, and also when there is a contrasting relationship between two color components. This finding can also be confirmed with the known phenomenon of the optical mixing of different color surfaces. This phenomenon states that similar colors combine more easily, and at minor observation distance, form a uniform color effect.

6 Conclusions

It should be noted that the presented conclusions result from experimental work that was performed on only a few bicolour combinations with a constant color in the warp thread system. In spite of these simplifications, the research can be summarized in some important conclusions, which present some new approaches and evaluation methods of optical and color effects on the bicolour woven structures.

vrednostmi refleksijskega maksimuma večji spektrofotometrični (in tudi vizualni) vpliv na skupni barvni in optični učinek dvobarvnih tkanin kot barvne komponente z nizkimi vrednostmi refleksijskega maksimuma.

- Velikost in oblika barvne površine določene barvne komponente ter posledično velikost barvnega sosledja vplivajo na refleksijo in barvne vrednosti dvobarvnih tkanin, ampak le v primeru visokih vrednosti refleksijskega maksimuma ene izmed barvnih komponent oz. kontrastnega odnosa med obema barvnima komponentama. Te razlike so lahko med različnimi vezavami tudi spektrofotometrično določene.

Zahvala

Avtorji predstavljene raziskave se iskreno zahvaljujejo Ministrstvu za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, ki je v okviru projekta „Uporaba barvne metrike v tkanju“ (L2-6323) delno financiralo eksperimentalni del raziskave.

7 Literatura

1. ADANUR, S. *Handbook of weaving*. Lancaster, Basel: Sultzter, A technical Publishing book Company, Technomic, 2001.
2. DUBROVSKI-DOBNIK, P. *Računalniško konstruiranje listnih tkanin. Navodila za vaje*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Oddelek za tekstilstvo, Laboratorij za tekstilno tehnologijo in konstrukcijo tkanin, 2004.
3. PEIRCE, F. T. The Geometry of Cloth Structure. *The Journal of the Textile Institute*, 1937, vol. 28, p. 45–96.
4. KOBER, P. Die Gewebegedichte. *Melliand Textilberichte*, 18, 1937, vol. 18 (1), p. 36–37.
5. SATLOW, G. Über die Berechnung der Fadendichte eines Gewebes. *Melliand Textilberichte*, 1949, vol. 29 (7), p. 449–451.
6. KEMP, A. An Extension of Pierce's Cloth Geometry to the Treatment of Non-circular Threads. *The Journal of Textile Institute*, 1958, vol. 49 (1), p. T44–T48.
7. ScotWeave, CAD/CAM-Weave & Printed Textiles, <http://www.scotweave.com/home.htm> [accessed: 27. 7. 2007].
8. Spletne strani podjetja Arahne, d. o. o., <http://www.arahne.si/> [accessed: 30. 7. 2007].
9. CIE, International Commission on Illumination, <http://www.cie.co.at/cie/> [accessed: 1. 12. 2006].
10. *Interdisciplinarnost barve – V znanosti*. Ed. Jeler, S., Kumar, M., Maribor: Društvo koloristov Slovenije, 2001.
11. MCDONALD, R. *Colour physics for industry*. Bradford: Society of Dyers and Colourists, 1987.
12. DIMITROVSKI, K. Barvno oblikovanje pestrih tkanin. V: *Interdisciplinarnost barve – V aplikaciji*. Ed. Jeler, S., Kumar, M.,

- During the planning of the final color effect of bicolour woven structures, constructional parameters should be carefully considered and their changes during and after the weaving process should be taken into consideration.
 - Special attention is needed especially for the woven fabrics with less stable structures and for woven fabrics subjected to variable mechanical and structural properties. When constructional parameters are determined and if variations occur at some point in the weaving process (thread fineness, density and weave), their influence on the size, shape and distribution of surfaces of color compositions on an overall woven surface should be considered.
 - The overall optical effect of bicolour woven fabrics and their color properties (chroma and hue values) depend mainly on the color properties of original color components that compose the woven fabrics and their positions in the CIE $L^*a^*b^*$ color space. When a bicolour woven structure is composed of colors with similar reflectance/color properties and near positions in the color space, the overall effect of color and optical mixture is more predictable, the and change of constructional parameters results in more linear variations of the values L^* , C^*_{ab} or h_{ab} . On the other hand, the combination of two complementary colors in woven structures (two chromatic colors positioned in different or opposite quadrants of the color space) can result in an achromatic optical effect of color mixture or quite non-uniform changes of color hue when the fractions of color components are changed.
 - Every color component influences the overall color effect of a bicolour woven structure the most with the high numerical value for L^* , a^* , or b^* . Upon the changing the fractions of both color components in bicolour woven structures, large changes may occur in that color value L^* , a^* , or b^* , which differs the most between the colors of the two components of the bicolour construction (warp and weft threads). Changing the constructional parameters plays a secondary role in planning the final color effect of a bicolour woven structure. With these changes, only the level contribution of single color components, and some variations in optical effects (light scattering and reflectance, luster) can be manipulated, while the basic color properties
- Maribor: Društvo koloristov Slovenije, 2003.
13. KOČEVAR, T. N. *Vpliv parametrov konstrukcije in kompozicije tkanin na optično mešanje barv na njeni površini: doktorska disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, 2000.
 14. GABRIJELČIČ, H. *Razvoj metode za napovedovanje barvnih vrednosti tkanin: doktorska disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, 2005.
 15. KOČEVAR, T. N. Optično mešanje barv na površini tkanine. V: *Interdisciplinarnost barve – V aplikaciji*. Ed. Jeler, S., Kumar, M., Maribor: Društvo koloristov Slovenije, 2003.
 16. GABRIJELČIČ, H., DIMITROVSKI, K. Influence of yarn count and warp and weft thread density on colour values of woven surface. *Fibres Text. East. Eur.*, 2004, vol. 12, (1), p. 32–39.
 17. DIMITROVSKI, K., GABRIJELČIČ, H. Predicting of colour values of jacquard fabrics, *Tekstilec*, 2002, vol. 45 (7/8), p. 179–194.
 18. ARNHEIM, R. *Art and visual perception. A psychology of the creative eye*. Berkeley, Los Angeles: University of California Press, 1974.
 19. KALLONIATIS, M., LUU, C. Psychophysics of Vision, <http://webvision.med.utah.edu/> [accessed: 5. 9. 2007].
 20. GABRIJELČIČ, H., DIMITROVSKI, K. Evaluation of theoretical geometrical model for determining surface of colour components in fabrics. V: *5th World Textile Conference AU-TEX 2005, Proceedings*. Maribor: Faculty of Mechanical Engineering, Department of Textiles, 2005, p. 790–795.
 21. ŽIBERNA - ŠUJICA, M., GAČNIK, A. *Kompozicija in uporabnost tkanin (I. del)*. Maribor: Univerza v Mariboru, Visoka tehnična šola, VTO strojništvo, 1979.
 22. DIMITROVSKI, K., GABRIJELČIČ, H. Influence of size and distribution of color components on color values of woven fabric. V: *5th International Conference TEXSCI 2003*, Liberec: Technical University of Liberec, 2003, p. 305–312.
 23. DIMITROVSKI, K. Metode za določanje porznosti v tekstilih. *Tekstilec*, 1995, vol. 38 (5), p. 121–126.
 24. NEWTON, A. The Comparison of Woven Fabrics by Reference to Their Tightness. *The Journal of Textile Institute*, 1995, vol. 86 (2), p. 232–239.
 25. TRSTENJAK, A. *Človek in barve*. Ljubljana: Dopisna delavska univerza Univerzum, 1978.
 26. ŠUŠTARŠIČ, N., BUTINA, M., ZORNIK, K., DE GLERIA, B., SKUBIN, I. *Likovna teorija, učbenik za umetniške gimnazije*. Ljubljana: Debora, 2004, p. 148–179.
 27. ITTEN, J. *Umetnost barve*. Jesenice: študijska izdaja, 1999.
 28. EN ISO 105-J01 (Textiles – *General Principles for measurement of surface colour*).
 29. GABRIJELČIČ, H., DIMITROVSKI, K. Numerical and graphical presentation and analysis of two-color woven fabrics with different color models. *Tekstil*, 2007, vol. 56 (4), p. 209–220.

and the positions of color on the overall color effect of bicolor woven structures remain connected with the color values of all threads in the woven fabric. The weave is the most important constructional parameter for determining the overall color effect because it determines the fractions of all color components. In our research, it was found that double-sided weaves with the same ratio between the number of warp and weft interlacing points and more equal influences on all color components in the color repeat display more non-linear changes in the chroma and hue values. The weaves with long warp or weft thread floating have a dominant fraction of one color component. As such, changes of constructional parameters result in more linear variations of color properties. The relationship between the color components in bicolor woven fabric should also be taken into consideration during the planning of final color and optical effects of woven structure. These relations can be described numerically with color differences (ΔE , ΔL^* , Δa^* , Δb^*), and can also be described as harmonic or contrast. The type of relationship of colors significantly influences the subjective visual response to color and optical properties of bicolor woven fabrics. It also influences the objective spectrophotometrical analysis of optical mixing in bicolor woven fabrics. Color components with different values of reflection maxima differently influence the overall color and optical effect in a bicolor woven structure. In spite of the equal amounts of different surface color components, the color component with a higher reflectance maximum has a greater spectrophotometrical (and also visual) influence on the overall color and optical effect of bicolor woven structure than color components with low values of reflectance maxima.

- The size and shape of color surfaces of color components, and the size of color repeats can influence the reflectance and the color values of bicolor woven structures, but only in the case of high values of reflectance maxima of one color component or a contrasting relationship between two color components. These differences between weaves can also be determined spectrophotometrically.