



FLEKSOGRAFINIŲ ATSPAUDŲ ANT PVC IR PET PLĖVELIŲ OPTINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Jana VALAUSKAITĖ¹, Rimantas STONKUS²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹j.valauskaite@gmail.com; ²rimantas.stonkus@vgtu.lt

Santrauka. Eksperimentiškai ištirtos fleksografiniu spaudos būdu atspausdintų atspaudų ant susitraukiančių plėvelių optinės savybės. Tyrimui naudotos dvi pagrindinės susitraukiančioms plėvelėms naudojamos medžiagos: PVC ir PET, užspausdintos ultravioletiniais (UV) dažais. Išnagrinėti spalviniai pokyčiai, atsirandantys plėvelei besitraukiant. Tyrimai atlikti su CMYK ir PANTONE sistemų spalvomis. Nustatytos spalvinės charakteristikos CIE $L^*a^*b^*$ ir spalvų skirtumas ΔE , plėvelei susitraukiant skirtingai. Nustatyta, kad, plėvelėms besitraukiant, spalvos tamsėja. Rastruotuose vaizduose tai susiję su rastrinių taškelių deformacija, tarpų tarp rastrinių taškelių sumažėjimu ir kitais veiksniais. Didžiausi spalviniai pokyčiai CMYK spalvinėje sistemoje nustatyti *Yellow* (geltonoje) spalvoje, o tarp tirtų PANTONE sistemos spalvų – mėlynoje (P 290) spalvoje, mažiausi pokyčiai CMYK sistemoje nustatyti *Cyan* spalvoje, o PANTONE sistemoje – baltoje spalvoje.

Reikšminiai žodžiai: fleksografinė spauda, CMYK spalvinė sistema, PANTONE spalvinė sistema, PET plėvelė, PVC plėvelė, UV dažai.

Įvadas

Šiais laikais spaudoje plačiai naudojamos įvairių rūšių plėvelės, kurių kiekviena turi savo paskirtį (Spring 1996). Plėvelių medžiagos yra įvairios ir skiriasi savo susitraukimo galimybėmis bei ekologiškumu (Behar 2001: 78). Įvairiose pramonės šakose (maisto, farmacijos, gėrimų, skalbimo miltelių ir kt.) plačiai naudojamos susitraukiančios etiketės (angl. *Shrink sleeve*), gaminamos iš šilumai jautrios plastikinės plėvelės, kuri šildoma aptraukia indelį ir išryškina jo formą (1 pav.). Susitraukiančios etiketės leidžia visiškai išnaudoti indelio paviršių ir optimaliai pateikti grafinį vaizdą. Dažniausiai naudojamos skaidrios PET (polietilente-reftalato plėvelės) ir PVC (polivinilchloridinės plėvelės). Joms spausdinti įprasta taikyti fleksografinį spaudos būdą (Foundation of Flexographic... 1999; PakMarkas 2010). Tarp įvairių fleksografinių dažų rūšių nemažai pranašumų turi UV dažai. Jie pasižymi gera paviršiaus danga, užtikrindami aukštą atspaudo kokybę. Svarbiausias reikalavimas UV dažams, skirtiems susitraukiančioms etiketėms, yra tampumas. Tai reikalinga tam, kad dažai atlaikytų susitraukimo procesą, kitaip spalva gali pradėti trūkinėti, nubyrėdama nuo plėvelės jai besitraukiant (Genuario 2004). UV dažai yra geresni už vandeninius dažus, skirtus rankovinėms etiketėms, savo traukumo savybėmis, kurios siekia iki 75 %, kai vandeninių – iki 60 % (Sharon 2004: 42–44).

Gaminant kokybišką etiketę svarbios mechaninės ir optinės savybės – baltumas, spalva (atspalvis), blizgumas, fluorescencinės savybės. Gamintojams svarbu atsižvelgti į mechaninių ir optinių savybių tyrimų rezultatus (Grigaliūnienė *et al.* 2013; Karpavičius 2007; Sharon 2003; Ziminskaitė 2013). Pagrindiniai susitraukiančių etikečių tyrimų rezultatai apibendrinti J. Vainstein disertacijoje (Vainstein 2005), kurioje nagrinėjama vandens pagrindo fleksografinių dažų ir substrato adhezija, dažų išdžiūvimo ir spausdinimo greičio sąveika. Tačiau susitraukiančių etikečių (rankovių) traukumo ir optinės savybės nėra ištirtos išsamiai. Šiuo tyrimu siekta nustatyti galimus spalvinius pokyčius dėl plėvelių deformacijų, atsirandančių susitraukus etiketei ant pakuotės. Žinant spalvų elgseną traukiantis plėvelei, galima lengviau pasiekti norimų spalvinių rezultatų.

Tyrimo metodika

Tyrimai atlikti su dviejų rūšių susitraukiančiomis PET ir PVC plėvelėmis, kurios atspausdintos fleksografiniu spaudos būdu naudojant UV dažus. Spalvinių charakteristikų kaitai nustatyti, plėvelei traukiantis skirtingai, buvo panaudotas kūgis, kuris prieš tai buvo atspausdintas su 3D



1 pav. Pakuotės su susitraukiančiomis etiketėmis
Fig. 1. Packages with shrink sleeve labels

spausdintuvu. Kūgyje buvo apskaičiuotos atskiros padėtys, kuriose plėvelė susitrauktų kontroliuojamu procentu. Buvo pasirinkti 20 %, 35 %, 50 %, 57 % ir 63 % plėvelės susitraukimo lygiai. Vėliau susitraukianti etiketė, pasirinkus atitinkamą jos vietą, kurios spalvines charakteristikas siekta iširti, buvo sukarpyta vienodo dydžio juostelėmis. Jos buvo tvirtinamos prie kūgio paviršiaus lipnia juoste (2 pav.), tuomet nardinamos į vandenį, įkaitintą iki 95–98 °C, kad plėvelės susitrauktų.

Eksperimentams panaudoti fleksografiniai UV CMY (*Cyan*, *Magenta*, *Yellow*) bei balta, geltona (P 116), mėlyna (P 289) ir juoda PANTONE spalvos. Tyrimu siekta nustatyti, kokie spalviniai pokyčiai vyksta traukiantis plėvelėms su ištisine dažų danga bei su rastriniu vaizdu. Tiriamos CMY spalvos yra rastruotuose vaizduose (C – 20 %, M – 20 % ir Y – 40 %), o PANTONE spalvos – su ištisine danga (nerastruotos). Abiejų rūšių plėvelių spalvinės charakteristikos matuotos nedeformuotoje plėvelėje (susitraukimas 0 %), susitraukus 20 %, 35 % ir 50 %, o PET plėvelės dar papildomai ir esant 57 % bei 63 % susitraukimui. Spalvų pokyčiai buvo matuoti ant balto pagrindo. Spalvinių charakteristikų matavimams naudotas „TECHKON SpectroDens“ spektrodensitometras.

Siekiant sužinoti spalvinių charakteristikų CIE $L^*a^*b^*$ (3 pav.) pokytį ir spalvų skirtumą ΔE , plėvelei traukiantis skirtingai, kaip etaloninės imtos reikšmės, esant 0 % plėvelės susitraukčiai.

Spalvų skirtumas apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}, \quad (1)$$

čia L^* – šviesis (0 – juoda ir 100 – balta); a^* – padėtis tarp raudonos ir žalios (neigiamas a^* – žaliau,



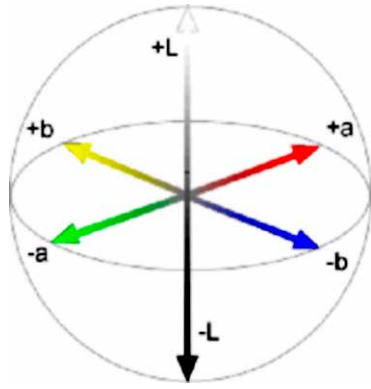
2 pav. Bandinių paruošimas spalvų savybių kaitai matuoti
Fig. 2. Preparation of samples for measurement of changes of color characteristics

teigiamas – raudoniau); b^* – padėtis tarp mėlynos ir geltonos (neigiama – mėlyna, teigiama – geltona) (Sidaravičius 2012; Wikipedia 2015).

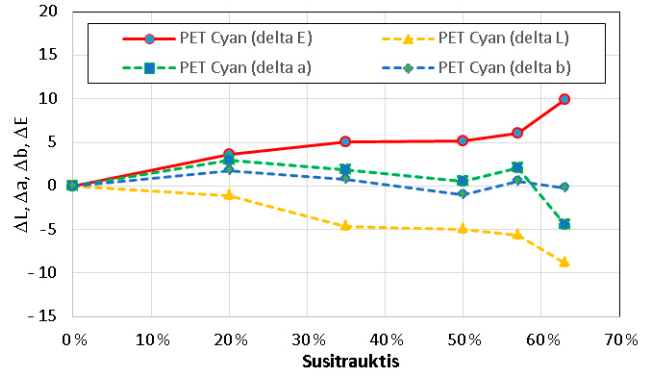
Spalvinių savybių tyrimų rezultatai ir aptarimas

Vienos iš tirtų spalvų – *Cyan* – pokyčiai ant PET plėvelės atspaudu, susitraukiant skirtingai, pateikti 4 pav. Gauti duomenys rodo, kad spalvų skirtumas auga priklausomai nuo susitraukimo lygio, t. y. kuo labiau susitraukusi plėvelė, tuo tamsesnė tampa spalva (mažėjanti ΔL^* reikšmė), tuo spalvos skirtumas yra didesnis. Šiuo atveju *Cyan* spalva, PET plėvelei traukiantis, tampa tamsesnė ir nedaug koreguojasi žalsvesnės spalvos link (mažėjanti Δa^* reikšmė). Plėvelių susitraukimo etapuose atskirų spalvų elgsena tarpusavyje šiek tiek skiriasi. Nagrinėjant matuotų rastruotų CMY spalvos laukelių pokyčius, nustatyta, kad plėvelei traukiantis, labiau kinta *Yellow* spalva, mažiausiai kinta *Cyan* spalva ir šios tendencijos panašios tiek PVC (5 pav.), tiek PET plėvelių atspauduose (6 pav.). Rezultatai rodo, kad CMY rastruotiems ploteliams susitraukiant vos 20 %, žmogaus akis jau matys spalvos skirtumą ir šis skirtumas labiau pastebimas PVC plėvelės atspauduose.

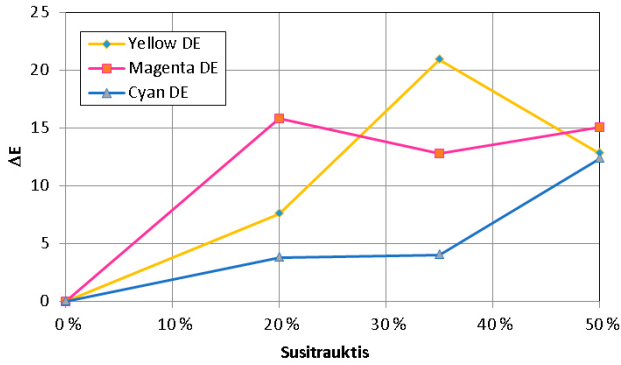
7 ir 8 pav. parodyti ištisinių PANTONE dažų sluoksniu padengtų plotelių spalvų skirtumai ΔE PVC ir PET plėvelių atspauduose, esant skirtingai susitraukčiai. Abiejų plėvelių atvejais geriausiai spalvinį balansą išlaiko balta PANTONE spalva, jos pokytis plėvelėse yra stabilus ir didėja proporcingai. Maždaug iki 30–40 % susitraukimo spalvos skirtumas nuo pradinių $L^*a^*b^*$ reikšmių, nustatytų nedeformuotos plėvelės atspaudu, siekia $\Delta E \leq 3$, o vizualiai toks spalvų skirtumas beveik nepastebimas. Juodos PANTONE spalvos skirtumas PVC plėvelės atspauduose visais susitraukimo lygiais yra minimalus $\Delta E \leq 1$, o PET



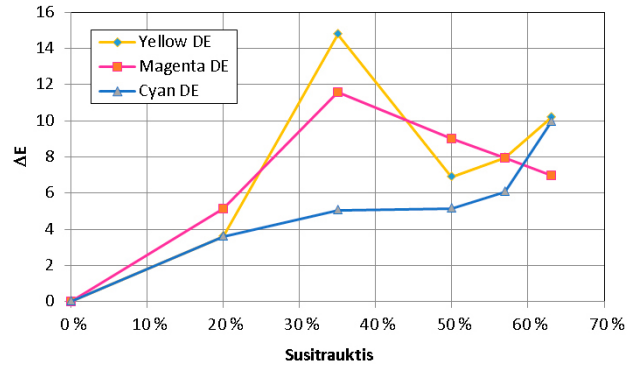
3 pav. CIE $L^*a^*b^*$ spalvų sistema
Fig. 3. CIE $L^*a^*b^*$ color system



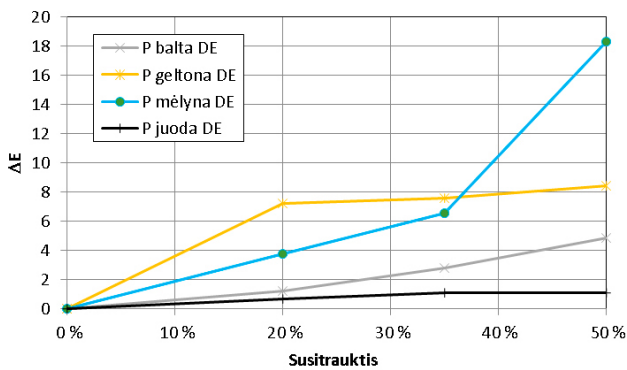
4 pav. Cyan spalvos pokyčiai dėl susitraukimo PET plėvelėje
Fig. 4. Changes of Cyan color depending on shrink level in PET film



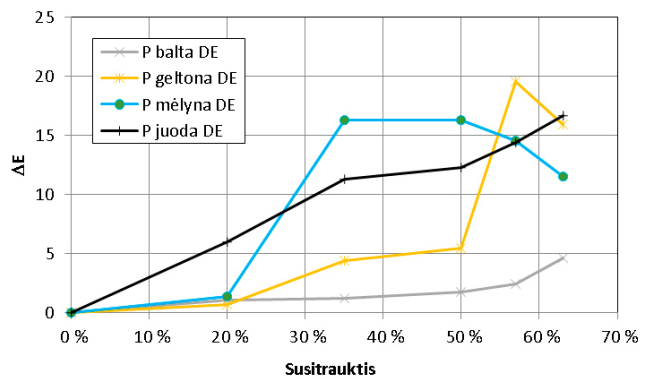
5 pav. CMY spalvų skirtumo ΔE pokyčiai dėl susitraukimo PVC plėvelės atspauduose
Fig. 5. Color differences ΔE of CMY colors in prints of PVC film depending on shrink level



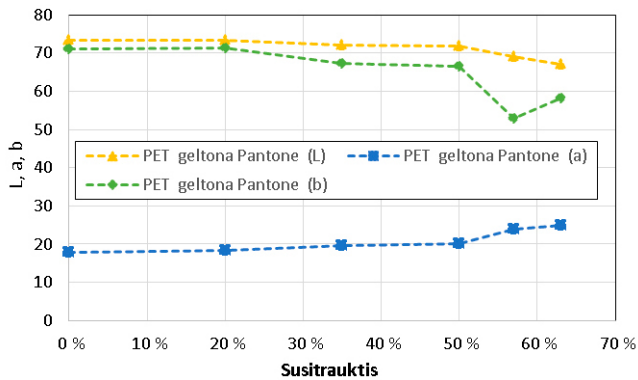
6 pav. CMY spalvų skirtumo ΔE pokyčiai dėl susitraukimo PET plėvelės atspauduose
Fig. 6. Color differences ΔE of CMY colors in prints of PET film depending on shrink level



7 pav. PANTONE spalvų skirtumo ΔE pokyčiai dėl susitraukimo PVC plėvelės atspauduose
Fig. 7. Color differences ΔE of PANTONE colors in prints of PVC film depending on shrink level

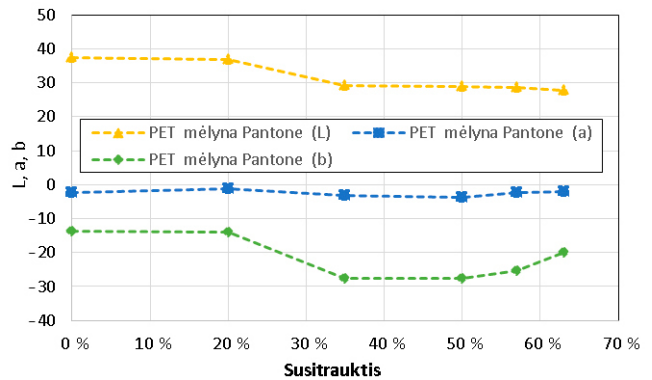


8 pav. PANTONE spalvų skirtumo ΔE pokyčiai dėl susitraukimo PET plėvelės atspauduose
Fig. 8. Color differences ΔE of PANTONE colors in prints of PET film depending on shrink level



9 pav. Geltonos PANTONE (P 116) spalvos $L^*a^*b^*$ spalvinės koordinatės PET plėvelės atspauduose

Fig. 9. Color characteristics $L^*a^*b^*$ of yellow PANTONE (P 116) in prints of PET film



10 pav. Mėlynos PANTONE (P 289) spalvos $L^*a^*b^*$ spalvinės koordinatės PET plėvelės atspauduose

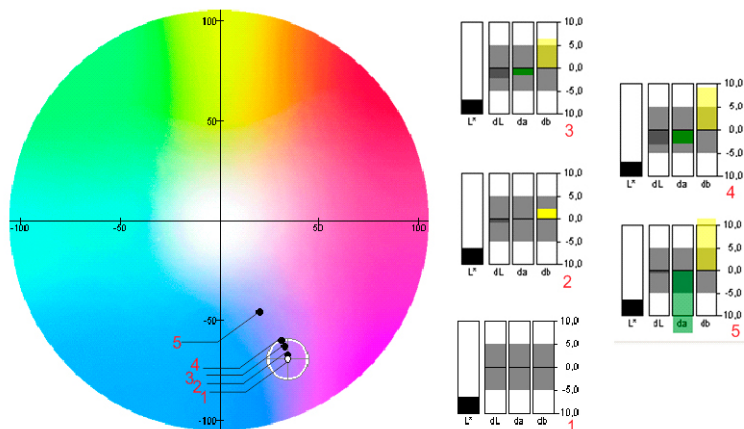
Fig. 10. Color characteristics $L^*a^*b^*$ of blue PANTONE (P 289) in prints of PET film

plėvelės atspauduose jo pokytis tolygus ir, viršijus 30 % susitraukties lygį, siekia $\Delta E \geq 10$, tai jau labai didelis ir gerai pastebimas skirtumas. Tokio didelio spalvos skirtumo priežastis iš dalies susijusi su skirtinga plėvelių sudėtimi, jos blizgumo savybėmis, be to, išmatuotos šios spalvos nedeformuotoje plėvelėje šviesis L PET plėvelėje yra didesnis, o, plėvelei traukiantis, labiausiai mažėja būtent ši spalvinė koordinatė, tamsindama spalvą. Mėlynos PANTONE (P 289) iki 20 % susitraukties lygio spalvinis pokytis nedidelis, tačiau esant didesnei susitraukčiai spalvos skirtumas tampa gerai pastebimas abiejų tipų plėvelėse. Geltonos PANTONE (P 116) iki 50 % susitraukties lygio spalvinis pokytis yra vidutinis. Tų pačių nagrinėtų spalvų PVC ir PET plėvelių atspauduose išmatuotų spalvinių charakteristikų gaunamus skirtumus galėjo paveikti skirtinga plėvelių sudėtis ir jos blizgumo savybės. Norint išsamiau išnagrinėti kiekvieną spalvą, reikalingi papildomi tyrimai. Todėl mažiausiai stabilių spalvų (P 116 ir P 289) spalviniai nuokrypiai $L^*a^*b^*$ išnagrinėti 9 ir 10 pav. Diagramose matyti, kad, didėjant plėvelių susitraukimui, abiejose PANTONE spalvinės sistemos spalvose mažėja šviesis (L^*). Vadinasi, kuo labiau plėvelė susitraukia, tuo PANTONE spalvos

labiau tamsėja. Geltonos ir mėlynos spalvos kreivės yra šiek tiek banguojančios, tai rodo, kad spalvų nuokrypiai yra pastebimi. 9 pav. matoma kylanti a^* spalvinės koordinatės kreivė rodo, kad, plėvelei traukiantis, P 116 spalvos pokytis krypsta į raudonąją pusę, b^* spalvinės koordinatės kreivės poslinkis į apačią rodo, kad spalva, traukiantis plėvelei, krypsta į mėlynąją pusę. Visa tai lemia pastebimą spalvos pokytį susitraukusios plėvelės atspaude.

Mėlynos PANTONE (P289) spalviniai $L^*a^*b^*$ pokyčiai pateikti 10 pav. Šioje spalvoje, traukiantis plėvelei, pastebimas žymesnis šviesio L^* mažėjimas, pastebimai tamsinantis spalvą. a^* spalvinė koordinatė mažėja nedaug, todėl spalvos poslinkis į žaliąją nepastebimas, tačiau b^* spalvinė koordinatė kinta neproporcingai ir gana daug. Plėvelei traukiantis iki 35 %, spalva krypsta į melsvesnę pusę, bet, pasiekus didesnę nei 50 % susitraukties lygį, spalva ima krypti į geltonąją pusę.

11 pav. vaizdžiai parodyta, kaip kinta mėlynos spalvos atspalviai esant skirtingiems plėvelės susitraukties lygiams: 1 – susitrauktis 20 %, 2 – 35 %, 3 – 50 %, 4 – 57 %, 5 – 63 %. Šalia pateiktuose stulpeliuose matomi a^* ir b^* spalvinių koordinatėlių nuokrypiai, leidžiantys įvertinti, kaip spalva pakito.



11 pav. PET plėvelės atspaudu mėlynos spalvos nuokrypiai CIE $L^*a^*b^*$ sistemoje: 1 – susitrauktis 20 %; 2 – 35 %; 3 – 50 %; 4 – 57 %; 5 – 63 %

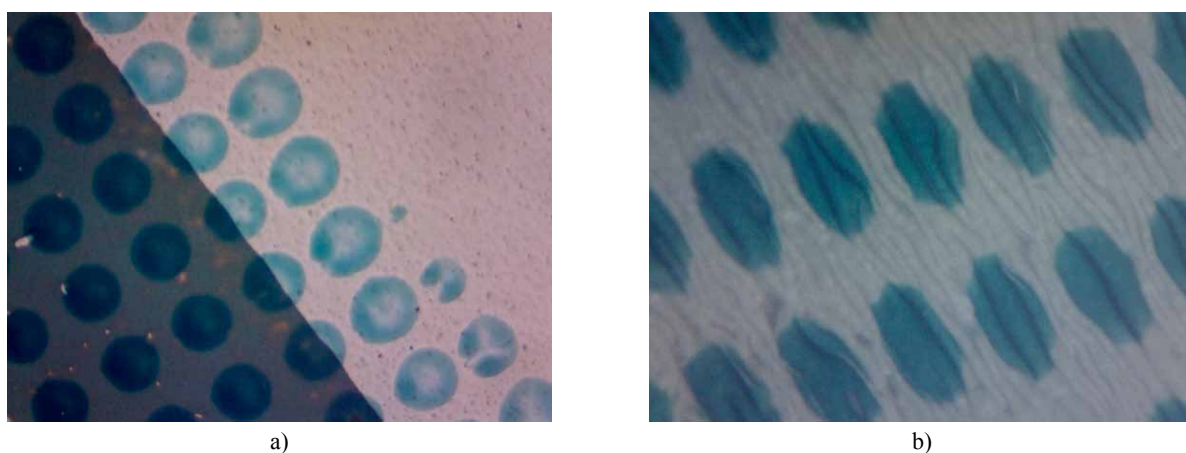
Fig. 11. Deviations of blue color in CIE $L^*a^*b^*$ system in prints of PET film: 1 – shrinking 20%; 2 – 35%; 3 – 50%; 4 – 57%; 5 – 63%

Rastruotų zonų spalvų skirtumą skirtingose plėvelėse ir spalvos nestabilumą lemia plėvelės blizgumas bei rastrinių taškų pokyčiai, traukiantis plėvelei. Skirtingoms plėvelėms traukiantis, rastrinio taško forma keičiasi nevienodai. Ją taip pat galėjo paveikti įvairūs mechaniniai veiksniai, tokie kaip kūgio paviršiaus nelygumai, temperatūra, naudojama plėvelei traukiantis, bei plėvelės susitraukties lygio skaičiavimo nuokrypiai. 12 pav. pateiktose rastruotos atspaudo zonos mikrofotografijose užfiksuoti rastrinių taškelių ir dažų spalvos pokyčiai dėl plėvelės susitraukimo. 12 pav., a, matoma nedeformuota plėvelė su ištisinės baltos spalvos sluoksniu ir mėlynos spalvos rastriniais taškais, b dalyje pateiktas

tas pats vaizdas, plėvelei susitraukus iki 63 %. Traukiantis plėvelei, traukiasi ir dažai, sukurdami mikronelygumus. Į susidariusius griovelius patenka mažiau šviesos, todėl rastrinis taškas vizualiai tampa tamsesnis. Tamsumą taip pat veikia rastro taškų pasislinkimas arčiau vienas kito. Sumažėję tarpai tarp jų taip pat lemia spalvos patamsėjimą.

Pastebėta, kad mažiausiai pakinta ištisinės pačios šviesiausios ir pačios tamsiausios spalvos. Kitos spalvos pakinta labiau. Kai kurios spalvos gali gerokai pakeisti savo atspalvį, kai plėvelė yra labiausiai susitraukusi.

Tyrime matuotų spalvų CIE $L^*a^*b^*$ reikšmės ir vizualūs spalvos pokyčiai pateikti 1 lentelėje.



12 pav. Rastruotos atspaudo zonos mikrofotografijos: a – rastriniai taškeliai nedeformuotoje plėvelėje; b – rastrinių taškelių pokyčiai susitraukusioje plėvelėje

Fig. 12. Microphotography of the rasterize image areas: a – raster dots on the undeformed film; b – changes of the raster dots on the shrunk film

1 lentelė. Spalvų vizualūs pokyčiai pagal išmatuotų spalvinių koordinatinių reikšmes

Table 1. Color visual changes by the values of measured color characteristics

Spalva	PVC atspaudai					PET atspaudai					
	spalvinės koordinatės CIE $L^*a^*b^*$ nedeformuotoje plėvelėje			spalva nedeformuotoje (0 %) ir susitraukusioje (50 %) plėvelėje		spalvinės koordinatės CIE $L^*a^*b^*$ nedeformuotoje plėvelėje			spalva nedeformuotoje (0 %) ir susitraukusioje (50 %, 63 %) plėvelėje		
L*	a*	b*	0 %	50 %	L*	a*	b*	0 %	50 %	63 %	
Balta PANTONE	89,97	0,67	-3,067			89,49	0,34	-0,85			
Geltona PANTONE	85,24	-5,39	95,92			73,33	17,75	71,04			
Mėlyna PANTONE	18,62	32,41	-67,49			37,41	-2,33	-13,61			
Juoda PANTONE	8,51	-1,11	-2,47			26,26	-1,44	-3,08			
Yellow	84,19	-4,99	39,04			86,59	-5,16	28,98			
Magenta	75,75	19,93	-3,24			77,10	13,85	-3,56			
Cyan	76,03	-11,22	-17,97			81,02	-2,95	-11,85			

Išvados

1. Nustatyta, kad plėvelėms traukiantis, spalvos tamsėja. Rastruotuose vaizduose taip yra dėl to, kad, traukiantis plėvelei, rastrinis vaizdas deformuojasi, tarpai tarp rastrinių taškelių sumažėja ir ploto vienetu jų tampa daugiau. Tankesnis dažų sluoksnis sugeria daugiau spinduliuotės.
2. Didžiausi spalviniai pokyčiai CMYK spalvinėje sistemoje pastebėti *Yellow*, *Magenta*, o PANTONE spalvinėje sistemoje – geltonos ir mėlynos spalvų, mažiausi spalviniai pokyčiai PANTONE sistemoje – baltos, juodos, o CMYK sistemoje – *Cyan* spalvų.
3. Žinant pakuotės (indelio) geometriją ir būsimą grafini vaizdą ant jo, labiausiai deformuotose indelio vietose pagal nustatytus spalvinių pokyčių nuo susitraukimo laipsnio dėsningumus, galima tiksliau įvertinti, kaip reikėtų valdyti spalvas, kad būtų pasiekiamas laukiamas rezultatas ant galutinio gaminio.

Literatūra

- Behar, H. 2001. The great beverage cover-up, *Beverage World* 120(1706): 75–78.
- Foundation of Flexographic Technical Association. 1999. *Flexography: principles & practices*. 5th ed. Ronkonkoma, N. Y., 45–48.
- Genuario, L. 2004. *Shrink films. Label and narrow web* [online], [cited 11 April 2016]. Available from Internet: http://www.labelandnarrowweb.com/issues/2004-05/view_features/shrink-films-45653
- Grigaliūnienė, S.; Sidaravičius, J.; Turla, V.; Vaitasius, K. 2013. Investigation of the friction of different papers and prints, in *18th International Conference Mechanika*, 4–5 April 2013, Kaunas, Lithuania. Kaunas: Technologija.
- Karpavičius, P. 2007. *Ofsetinės ir fleksografinės spaudos kokybės palyginimas*: baigiamasis magistro darbas. Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Vilnius.
- Sharon, K. 2003. The growing shrink label, *Package Printing* 50(9): 55.
- Sharon, K. 2004. Amazing shrink inks, *Package Printing* 51(4): 42–44.
- Sidaravičius, J. 2012. *Densitometrinė ir kolorimetrinė spausdinimo medžiagų ir atspaudų kontrolė*. Vilnius: Technika. <https://doi.org/10.3846/1365-S>
- PakMarkas. 2010. *Spaudos projektavimo valdymas*. Spauštuvės „PakMarkas“ vidinis dokumentas.
- Spring, R. 1996. *Self – adhesive labelling*. Finat.
- Vainstein, J. 2005. *A study of the conditions and variables that affect the printing of shrink films on waterbased flexography*: Theses. Rochester Institute of Technology.
- Wikipedia. 2015. *Lab color space* [online], [cited 11 April 2016]. Available from Internet: http://en.wikipedia.org/wiki/Lab_color_space
- Ziminskaitė, A. 2013. *Popieriaus paviršiaus ir mechaninių savybių kaitos spausdinant ofsetiniais dažais tyrimas*: baigiamasis magistro darbas. Vilnius Gedimino technikos universitetas, Vilnius.

INVESTIGATION OF THE OPTICAL PROPERTIES OF FLEXOGRAPHIC PRINTS ON PVC AND PET FILMS

J. Valauskaitė, R. Stonkus

Abstract

An optical properties of the flexographic prints on the shrink sleeve has been experimentally investigated. Two main materials of shrink sleeve: PVC and PET were used for the research. Films were printed using UV flexographic inks. The color changes arised during shrinking of the films were analysed. Investigations were done using CMYK and PANTONE color matching systems. Color characteristics CIE $L^*a^*b^*$ and color difference ΔE at different shrink level of the film was estimated. It was found that colors become darker during the shrinking of the film. In the case of rasterize image it is related to the deformation of the raster dots, decrease of the spaces between the raster dots and other factors. The biggest changes in the CMYK color system was determined in the Yellow color, while in the tested PANTONE color system – in the blue (P 290) color. The smallest changes in the CMYK color system was determined in the Cyan color, while in the PANTONE color system – in the white color.

Keywords: Flexographic prints, CMYK color system, PANTONE color system, PET film, PVC film, UV inks.