

Cirkularna održivost i razvoj u području kartonske ambalaže

Zdenka Bolanča¹, Ivana Bolanča Mirković², Goran Medek³

¹Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, Kačićeva 48, 10000 Zagreb

²Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, Getaldićeva 2, 10000 Zagreb

³Lana- Karlovačka tiskara d.o.o., Banija 147, 47000 Karlovac

Sažetak: U radu se prikazuju rezultati istraživanja stabilnosti ofsetnih otisaka sa separacijom magenta bojila. U tisku se koriste bojila s različitim udjelom prirodno obnovljive sirovine, a usporedbe radi i konvencionalno bojilo na osnovi mineralnog ulja. Tiskovne podloge su: ekološko prihvatljiv karton iz grupacije GC2 i karton s određenim sadržajem zelenih algi iz laguna Jadranskog mora. Otisci su načinjeni u realnim uvjetima na petobojnom ofsetnom stroju Roland 705. Tiskovna podloga kao i sve serije otisaka izložene su zračenju kroz prozorsko staklo određenom dinamikom. Rezultati istraživanja pokazuju smanjenje spektralne refleksije R457 kartona s algama za 17,9% manje u odnosu na karton GC2 nakon izlaganja 7 dana zračenju kroz prozorsko staklo. Daljnjim izlaganjem taj se postotak smanjuje. U radu se prikazuju utvrđene promjene u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja za otiske, te ΔE vrijednosti u funkciji kemijskog sastava boja i tiskovne podloge, te uvjeta izlaganja uzoraka zračenju kroz prozorsko staklo.

Ključne riječi: cirkularna održivost, ambalaža, grafički materijali, kolorimetrija, stabilnost otisaka

1. Uvod

Kružno gospodarstvo općenito, pa tako i u području kartonske ambalaže doprinosi smanjenju resursa i otpada, potrošnje energije i zatvaranju kružnih tokova materijala i energije [1-3]. Linearni pristup rezultirao je iscrpljivanjem sirovina i viškom otpada i nije rezultirao ponovnom ravnotežom ulaza i izlaza unutar sustava [4,5]. Obrnuta logistika proizvoda na kraju životnog vijeka značajni je segment za primjenu u kružnom gospodarstvu [6]. Melo i koautori studiraju obrnutu logistiku i integraciju u postavke održivog dizajna, razmatraju protokol sustavnog pregleda i predlažu tri okvira za integraciju, te proširuju perspektivu [7].

U posljednje vrijeme radi globalne problematike, nedostataka resursa, klimatskih promjena i drugo, u Evropi je porastao interes za prijelaz na kružno gospodarstvo [8-10]. Eko inovacija prepoznata je kao ključni element u prevođenju linearnog u kružnu proizvodnju i potrošnju [11].

Estetski privlačna ambalaža uz postulate održivosti zahtjeva znanstveni pristup uz veliku dozu preciznosti i vizije. Pakiranje se smatra važnim alatom u marketinškom miks. Ambalaža može poslužiti općenito kao promocijsko sredstvo, pa i u domeni zaštite okoliša. Modeli i alati generativno su vezani za ideje i dizajn, a uključuju integraciju ekološke problematike i vezani su za ranu fazu kreacije proizvoda. Za procjena održivosti i LCA ambalaže odgovorne su kasnije faze u kreaciji proizvoda [12]. Procjenjuje se da se do 80% utjecaja na kvalitetu okoliša može očekivati od proizvodnje ambalaže [13]. Za izradu kružne ambalaže sve počinje dizajnom. Tada je potrebno uzeti u obzir specifikacije materijala, veličinu, težinu i sve ostale elemente do primjene, uključujući opskrbbni lanac i ponovnu upotrebu. Sharmaiz i koautori daju pregled i analizu novih alata za dizajn [14]. Osim toga uključili su dva aspekta održivosti kategorizirane kao alati za djelomični dizajn održivog proizvoda (P-SPD). Liu i koautori utvrđuju područja od interesa u procesu dizajna ambalažnog proizvoda: odabir i razvoj materijala, inovacije procesa dizajna i razvoj alata za validaciju dizajna [15]. Fazu konceptualnog dizajna stavljaju u kontekst: razmatranja višekratne ambalaže, minimalizacije upotrebe više materijala, praćenja čimbenika povezanih s logistikom, preporuka dizajna pojedinačnih i odvojenih komponenti tzv. modularni dizajn-komponente se mogu odvojiti i razvrstati tijekom reciklaže.

Hu i koautori predlažu da okvir dizajna kružne ambalaže sadrži čimbenike: odabir materijala, strategiju dizajna s konceptualnim dizajnom, validaciju dizajna i ocjenu cirkularnosti [16]. U literaturi se mogu naći izazovi u području kružne ambalaže, a odnose se na reciklirane materijale [17]. Escurseks i koautori zaključili su na osnovu svojih istraživanja, da se ambalaža i dalje većinom izrađuje iz neobnovljivih materijala [18]. Neki proizvodni procesi, kao što su aditivna proizvodnja i 3D ispis mogli bi pomoći u optimizaciji volumena i oblika ambalaže, te potaknuti istraživanja obnovljivih materijala za proizvodnju ambalaže. Ibrahim i koautori diskutiraju karakteristike materijala za proizvodnju ambalaže [19]. Na temelju istraživanja zaključuju da je održivu ambalažu moguće proizvesti korištenjem materijala na biološkoj osnovi.

Alge kao sirovina za izradu papira i kartona su inovativno rješenje ekoloških pitanja koja se odnose na krčenje šuma i globalno zatopljenje. Mukherie i koautori navode prednosti i nedostatke algi za izradu papira [20]. S obzirom na nizak sadržaj spojeva sličnih ligninu, celuloza algi može djelomično zamijeniti drvenu celulozu u proizvodnji papira, a sam postupak dobivanja sirovina ekološki je povoljniji. Marala i koautori su načinili papir koji ima karakteristike slične konvencionalnom papiru korištenjem zelene alge *Ulva sp.* i 50% vlakana mekanog drveta [21]. Baghel i koautori istražuju sadržaj celuloze dobiven od: zelene, crvene i smeđe alge [22]. Utvrdili su različitu količinu celuloze u rasponu od 9% do 34%. Zelena alga imala je najveći

udio celuloze. Zaključili su da su svojstva proizvoda od algi usporediva s proizvodima od drveta. Mardiyati i koautori oblikovali su papir različitih gramatura koristeći mikrokristalnu i nanokristalnu celulozu pripremljenu ekstrakcijom celuloze iz alge *Cladophora* i impregnirali epoksidnom smolom [23]. Zabočnicke i koautori navode da je biomasa algi ekološki prihvatljiva u odnosu na smanjenje emisije stakleničkih plinova i pročišćavanje otpadnih voda [24].

Istraživana je uporaba ofsetnih otisaka na kartonu od zelene alge *Ulva sp.* iz laguna Jadranskog mora i FSC vlakana [25-27]. U tisku su korištene boje s različitim udjelom obnovljive sirovine a neke serije otisaka su lakirane s različitim vrstama laka, koji se primjenjuju u proizvodnji ambalaže. Oporaba svih serija otisaka rađena je našom metodom u tri faze, uz trošak manje kemikalija, bez korištenja uređaja za odvajanje frakcija pomoću sita i bez flotacije. Na laboratorijskom uređaju formirani su listovi iz oporabljenih vlakana zadovoljavajuće kvalitete.

Cilj ovog rada je utvrditi stabilnost otisaka na kartonskoj ambalaži obzirom na činjenicu da se atraktivna početna kvaliteta otisaka i boja s vremenom pod određenim uvjetima može promijeniti, što utječe na njenu tržišnost. Prikazuju se rezultati istraživanja postojanosti separacija magenta ofsetnih bojila s različitim udjelima prirodno obnovljive sirovine na kartonskoj tiskovnoj podlozi. Podloga je ekološki pogodan karton koji spada u grupaciju GC2 i alternativna podloga koja sadrži zelenu algu *Ulva sp.* iz laguna Jadranskog mora i FSC vlakna. Sve serije otisaka izložene su zračenju kroz prozorsko staklo u zatvorenom prostoru u toplom dijelu godine, dinamikom 7, 14, 28, 56 i 112 dana. Sunčeva svjetlost filtrira se kroz prozorsko staklo. Prikaz rezultata obuhvaća svjetlinu tiskovnih podloga, mjereći faktor spektralne refleksije R_{457} . Utvrđuju se promjene prostora boja CIE $L^*a^*b^*$, te odstupanje ΔE u funkciji stabilnosti otisaka, uzimajući u obzir: utjecaj formulacije boja i sastav tiskovne podloge. U diskusiju rezultata uključuje se mehanizam degradacije otisaka s magenta bojilom s obzirom na kemijski sastav, azo-kromofore i hidrazo tautomerni oblik.

2. Eksperimentalno

2.1 Materijali

Korištene su dvije tiskovne podloge. Karton Kromopak-Količevo, Slovenija ima oznaku K1 i pripada GC2 skupini ekološki prihvatljivog kartona. Sastav kartona po slojevima je kako slijedi: prednja strana kartona je troslojni pigmentni premaz, slijedi izbjeljena kemijska pulpa s neotisnutim PIW, treći sloj je mehanička pulpa, zatim se ponavlja sloj koji slijedi, a to je izbjeljena kemijska pulpa s neotisnutim PIW, završava s pigmentnim premazom na stražnjem dijelu podloge [28]. Sastav kartona je 60% djevičanskih vlakana, 30% PIW i 10% pigmentnog premaza. Prema specifikaciji proizvođača, Kromopak je sjajan, ima impresivan rub off i visoki stupanj svjetline kartona.

Druga tiskovna podloga je karton Shiro Alga Carta-Favin, Italija s 10% zelene alge *Ulva sp.* uglavnom rigida i lactuca, a ostatak je FSC celuloza drveta [29]. Ova tiskovna podloga je jednoslojna, a oznaka je K2. Shiro Alga Carta karton sadrži alge *Ulva sp.* iz obalnih područja sjevernog Jadrana. Alge su vidljive na površini kartona, pa tako daju jedinstven prirodni izgled grafičkim proizvodima u ovom slučaju ambalaže. Spomenute alge nastaju eutrofikacijom u morskoj vodi uslijed onečišćenja industrijskim, komunalnim i poljoprivrednim otpadom. Ove alge ugrožavaju ravnotežu morskog ekosustava, pa je njihovo uklanjanje još jedna ekološka podobnost. Alge sakupljene u laguni se isperu vodom, osuše i obrađuju u mlinu do veličine čestica manjih od 500 μm [29]. Pri proizvodnji papira poštuju se načela kružnog gospodarstva i uključuju koncepti održivosti i inovacija.

U ovom radu su korišteni otisci u ofsetnoj tehnici tiska sa separacijom magenta bojila. Bojilo oznake B1 je biljnog porijekla i ne sadrži mineralna ulja. Ono sadrži 78-82% prirodnih obnovljivih sirovina [31]. Bojilo ne sadrži teške metale, pa ni kobalt koji se inače koristi kao sredstvo za sušenje otisaka. Nije prikladno za tisak ambalaže za prehrambene proizvode bez funkcionalne barijere. Bojilo označeno s B2 na biljnoj je osnovi i ne sadrži mineralna ulja. Udio obnovljive sirovine je $< 70\%$ [32]. Pigmenti ne sadrže teške metale. Proces sušenja temelji se na penetraciji i u velikoj mjeri oksidaciji. Bojilo je povoljno za visoku produktivnost u području ofsetnog tiska na arke. Bojilo označeno s B3 je na osnovi mineralnog ulja. Proizvedeno je na osnovi ISO standarda 2846-1 i ISO 12647-2 [33]. Ne sadrži teške metale i katalizatore za sušenje na osnovi kobalta.

2.2 Metode

2.2.1 Tisak uzoraka

Otisci su izrađeni na peteroboju ofsetnom tiskarskom stroju na arke s jedinicom za lakiranje Roland 705, Manroland Sheetfed, GmbH [34]. Na takvim se strojevima tiska najzahtjevnija kartonska ambalaža. Sada se najčešće koristi tiskovna forma za ofsetni tisak monometalna aluminijska ploča. Za tisak je izrađena tiskovna forma 350x500 mm koja sadrži standardne CMYK RGB stepenaste klinove u rasponu od 10-100% RTV, fini raster u niskim i visokim tonskim vrijednostima, dvije ilustracije u boji, tekstualne pozitivne i negativne mikroelemente s klinovima za određivanje sivila i standardni klin s 378 polja.

2.2.2 Izlaganje otisaka sunčevom zračenju kroz prozorsko staklo

Izlaganje otisaka sunčevom zračenju kroz prozorsko staklo u zatvorenom prostoru učinjeno je u skladu sa standardom ISO 877-2:2009 [35]. Za otisak na ambalaži bitna je otpornost na svjetlo i vremenske uvjete [36]. Promjena vizualnog doživljaja otiska,

izgleda i kvalitete tiskovne podloge može ovisiti o geografskoj širini, nadmorskoj visini, klimatskoj zoni izloženosti uzorka, vlažnosti zraka, oblačnosti i sunčevoj insolaciji. Položaj mjernog mjesta je: 4500 29' 34" N, 150 33' 31" E, nadmorska visina 112 MNV, klima je kontinentalna. Meteorološki podaci uključuju temperaturu zraka, relativnu vlažnost zraka i trajanje sijanja sunca, a dobiveni su od DHMZ za citiranu lokaciju.

2.2.3. Mjerenje svjetline uzoraka

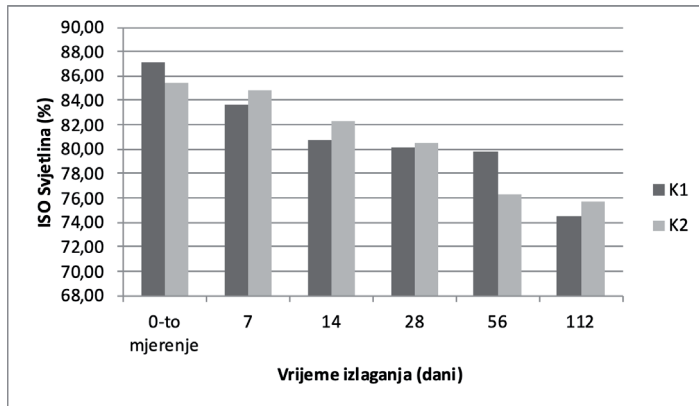
Svjetlina uzoraka se prikazuje faktorom refleksije R457 koristeći ISO standardnu metodu [37]. Određuje se omjer između svjetla reflektiranog s uzorka papira pri točno određenim kutom i svjetla koje je pri identičnim uvjetima mjerenja reflektirano s potpuno bijelog materijala. Dva reflektirana intenziteta se uspoređuju. Instrument se kalibrira na poznatu bijelu referentnu vrijednost, a izmjerena vrijednost uzorka očitava se kao faktor refleksije. Mjerenje optičkih karakteristika kartona izvedeno je s Techidyne Color Touch spektrofotometrom, koji je posebno dizajniran za industriju pulpe i papira [38].

2.2.3. Kolorimetrija i mjerenje boja

Norma HRN, EN ISO/CIE 116664-4: 2019 specificira metodu izračunavanja koordinata prostora boja CIE 1976 $L^*a^*b^*$, uključujući korelacije kromatičnosti, tona i zasićenosti boje [39]. Kako bi percepcija boja bila ne dvosmislena definirana je standardni promatrač i izvor svjetlosti D50 (5000 K). Standardno promatranje može biti pod kutom od 10° ili 2° . Promatranje pod kutom od 2° definirano je za grafičku tehnologiju. Kolorimetrijski opis boja pomoću CIE $L^* a^*b^*$ sustava i citiranog standarda korištena je u ovom radu. Za mjerenje je upotrijebljen spektrofotometar X-Rite DTP 20 [40]. Veza korisnika i uređaja ostvarena je pomoću aplikacije ColorShop 2.6.

3. Rezultati i diskusija rezultata

Ambalaža je značajan alat u marketinškoj strategiji. Ona ima moć poticanja interesa i privlačenja pažnje i zato je ona glavno marketinško sredstvo. Dobro osmišljen dizajn, kvalitetan tisak i atraktivne boje doprinose ostvarenju marketinških ciljeva. Međutim, kvaliteta otiska izlaganjem svjetlosti kroz vrijeme, može smanjiti atraktivnost proizvoda. Doprinos toj problematici su istraživanja koja slijede, a odnose se na izlaganje kartona i otisaka u kontroliranim uvjetima kroz prozorsko staklo. Prozorsko staklo prozirno je 90% za UVA zrake (dugovalno zračenje 400 nm -315 nm, energija zračenja je 3.10-3.94 eV).

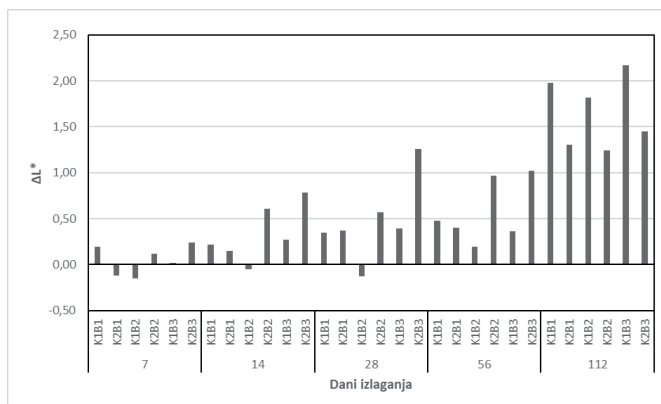


Slika 1: ISO svjetlina kartona K1 i kartona K2 izloženih zračenju kroz prozorsko staklo dinamikom 7, 14, 28, 56 i 112 dana

Općenito bi se moglo reći da je kod oba uzorka prepoznatljiv trend smanjenja ISO svjetline s vremenom izlaganja. Smanjenje ISO svjetline na kartonu K1 iz grupacije GC2 u odnosu na neizlagani uzorak je kako slijedi: 3,46 % 7 dana, 6,38% 14 dana, 7,21% 28 dana, 12,12% 56 dana i 12,56% 121 dan. Karton K2 s algom nešto manje je podložan utjecaju izlaganja. Rezultati smanjenja ISO svjetline u odnosu na neizlagani karton iznose: 0,62% 7 dana, 3,20% 14 dana, 4,98% 28 dana, 9,16% 56 dana i 9,76 % 122 dana. Jedan dio svjetlosti u kontaktu s kartonom zrcalno reflektira, a ostatak prodire u njegovu strukturu. Zrake svjetlosti se reflektiraju od tvari, sastojaka podloge, ali se mogu u vlaknima apsorbirati ili lomiti u drugom smjeru. Difuzno reflektirana zraka svjetlosti dolazi na površinu kartona.

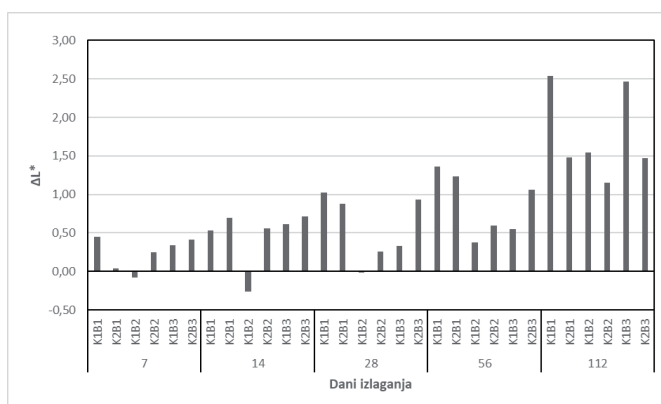
Za izlaganje kartona i prikazane rezultate su odgovorni egzogeni ali i endogeni. Poznat je prirodni proces žućenja papira vremenom, pod utjecajem vlage, temperature ili sunčevog zračenja. Endogeni čimbenici mogu biti sirovine korištene u proizvodnji kartona. Za K1 je poznato da je troslojno premazan s gornje strane i jednoslojno s donje, što treba uzeti u obzir kod valorizacije rezultata.

Ključna istraživanja u pogledu postojanosti, trajnosti i kvalitete otisaka su interakcija bojila i tiskovne podloge. Ovisno o složenosti kemijske strukture mogući su različiti načini interakcija, a ne treba ni zapostaviti energiju vezivanja. U nastavku slijede kolorimetrijska obilježja podloga/bojilo uključujući 100%, 70% i 50% raster tonske vrijednosti. Svaka boja može biti opisana s CIE $L^*a^*b^*$ vrijednostima. Obzirom da je L^* bitna varijabla u CIE sustavu, provodi se rasprava unutar istraženog sustava. U ovom radu ΔL^* predstavlja promjenu svjetline između ne izloženih otisaka i onih izloženih zračenju kroz prozorsko staklo prema određenoj dinamici. Za valorizaciju rezultata bitno je naglasiti da pozitivna ΔL^* vrijednost znači da je izlagani otisak svjetliji od onog ne izlaganog.



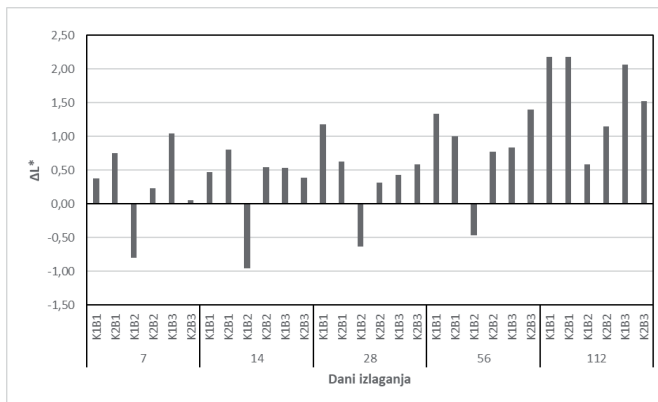
Slika 2: ΔL^* za otiske s magenta bojiлом i 100% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

Otisci sa 100% RTV vrijednosti, s bojilima B1, B2 i B3 na kartonima K1 i K2 izlaganjem zračenju kroz prozorsko staklo većinom imaju pozitivni ΔL^* što znači da postaju svjetliji u odnosu na ne izlagani otisak (Slika 2). Otisak K1B2 izlagan 7 dana ima $\Delta L^* -0,15$, izlagan 14 dana $\Delta L^* -0,05$, izlagan 28 dana $\Delta L^* -0,13$, što znači da su oni tamniji od ne izlaganih otiska. Negativni $\Delta L^* -0,19$ ima i otisak K1B1 izlagan 7 dana. Kod svih otisaka iz serije se zapaža da povećanjem vremena izlaganja se povećava ΔL^* . Najmanji pozitivni ΔL^* od 0,02 u ovoj seriji utvrđen je za sedmodnevno izlaganje otisaka na ekološko povoljnom GC2 kartonu s bojiлом na osnovi mineralnog ulja. Taj otisak u ovoj seriji postiže najveći $\Delta L^* 2,17$ za izlaganje 112 dana. Najmanje pozitivno povećanje u ovoj seriji je ΔL^* od 1,24, a utvrđeno je za izlaganje od 112 dana otiska na podlozi od alge u kombinaciji s bojiлом na biljnoj osnovi sa < 70% obnovljive sirovine.



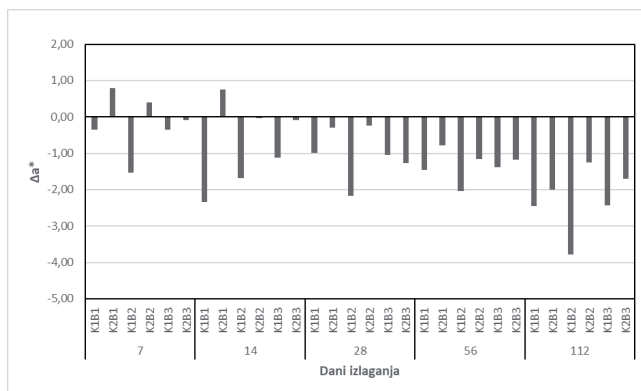
Slika 3: ΔL^* za otiske s magenta bojiлом i 70% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

Usporedbom rezultata ΔL^* serije sa 70% RTV u odnosu na seriju sa 100% RTV dolazi do povećanja ΔL^* za izlaganje 112 dana kod otisaka kako slijedi: 0,56 K1B1, 0,30 K1B3 i 0,14 K2B1 (Slika 3). U ovoj seriji se za otisak K1B2 kod izlaganja 7, 14 i 28 dana utvrđuju negativne ΔL^* vrijednosti, kao i za otisak sa 100% RTV, samo što su ovdje vrijednosti veće za: 0,07 K1B2, 0,30 K1B3 i 0,14 K2B1. Kod svih ostalih otisaka iz te serije ΔL^* za izlaganje 112 dana ima manje vrijednosti. Otisci izlagani 112 dana na tiskovnoj podlozi s algama imaju manji ΔL^* u odnosu na karton K1 iz grupacije GC2 uz ostale iste uvjete: 1,10 B1, 0,39 B2 i 1,41 B3. Istraživanje utjecaja perioda izlaganja otisaka 7 dana prema 112 dana u odnosu na ΔL^* pokazuje manje razlike kada su otisci načinjeni na kartonu K2 s algama u odnosu na drugu podlogu ekološki prihvatljiv karton iz grupacije GC2 označen K1: 2,09 K1B1, 1,62 K1B2, 2,13 K1B3 1,40 K2 B1, 0,90 K2B2 i 0,65 K2B3.



Slika 4: ΔL^* za otiske s magenta bojom i 50% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

U ovoj seriji otisaka kao i u onoj sa 70% RTV sve vrijednosti ΔL^* su pozitivne izuzev za otisak K1B2 (Slika 4). Razlika je u tome što u seriji s 50% RTV negativni ΔL^* utvrđen je za rezultate kod izlaganja uzorka 7, 14 i 28 dana i tada prelazi u pozitivne vrijednosti, dok kod serije s 50% RTV negativne vrijednosti su u cijelom mjernom području: K1B2: $-0,80$ 7 dana, $-0,96$ 14 dana, $0,63$ 28 dana, $-0,47$ 56 dana i $0,59$ 112 dana. Najveće povećanje ΔL^* u seriji otisaka s 50% RTV s obzirom na period izlaganja od 7 dana i 112 dana ima otisak K1B1 s vrijednošću 1,80, a najmanji K2B2 0,9.



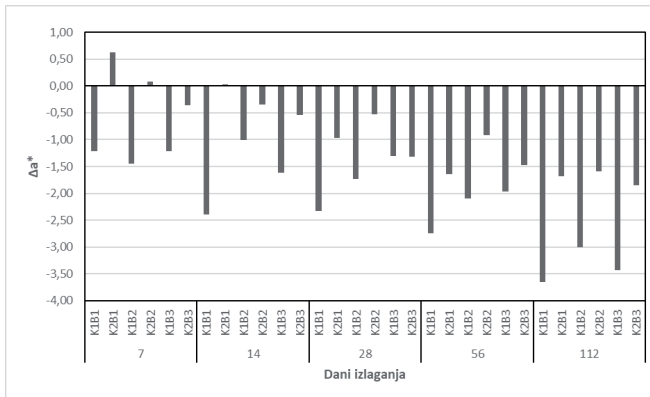
Slika 5: Δa^* za otiske s magenta bojom i 100% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

Kako je već spomenuto prema CIE definiranom prostoru boja, pozitivna a os usmjerena je u pravcu crvenog stimulusa, a os negativna usmjerena je u pravcu zelenog stimulusa. Centar kromatskih osi je akromatičan, a pomicanjem od centra raste kromatičnost boje.

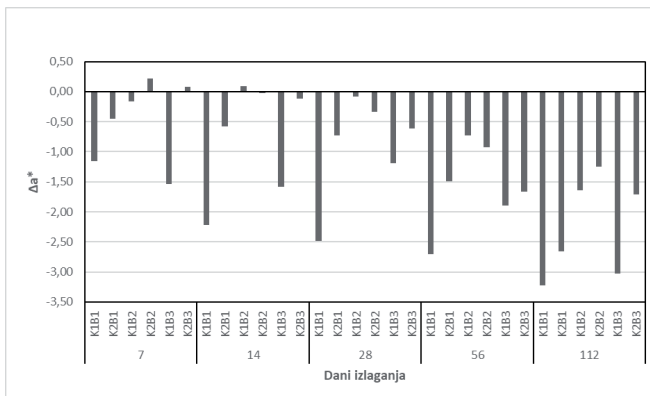
Otisci magente sa 100% RTV imaju negativne Δa^* vrijednosti za uzorke: K1B1, K1B2, K1B3, K2B3, izlagane kroz prozorsko staklo 7, 14, 28, 56 i 112, što znači da su u području zelenog stimulusa (Slika 5). Neki otisci na podlozi s algom imaju pozitivan Δa^* : K2B1 izlagan 7 dana 0,79, izlagan 14 dana Δa^* 0,75, K2B2 izlagan 7 dana, K2B2 izlagan 7 dana Δa^* 0,39, pa se otisci nalaze u području crvenog stimulusa.

Daljnijim izlaganjem Δa^* poprima negativne vrijednosti. Povećanjem perioda izlaganja otisaka zračenju kroz prozorsko staklo povećava se Δa^* . Otisak K1B2 nakon 112 dana izlaganja ima Δa^* $-3,79$, te je najviše udaljen od sjecišta osi, tako da u ovoj seriji otisak ima veću kromatičnost. Otisci na podlozi s algama nakon izlaganja 112 dana imaju manji Δa^* u usporedbi s onima na kartonu koji spada u grupaciju GC2. Najveća je razlika u kombinaciji boje B2 s podlogom K1 $-3,79$ u odnosu na podlogu K2-1. Najmanju $-\Delta a^*$ ima otisak izlagan 14 dana na podlozi od alge s bojom B2 i to Δa^* je $-0,03$, što znači da se približava akromatičnom području.

Otisci magente sa 70% RTV izlagani 7, 14, 28, 56 i 112 dana zračenju kroz prozorsko staklo u većini slučajeva imaju negativnu Δa^* vrijednost (Slika 6). Izuzetak su isto kao i kod otisaka s 100% RTV otisci K2B1 sa Δa^* 0,62 izlagan 7 dana i izlagan 14 dana s Δa^* 0,03, te K2B2 izlagan 7 dana s Δa^* 0,08. Općenito, otisci sa 70% RTV imaju veću Δa^* nakon izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo u odnosu na one sa 100% RTV, što upućuje na njihovu veću kromatičnost. Kod otisaka na kartonu CG2 u odnosu na karton s algom ta razlika za neke odabrane primjere je kako slijedi: Δa^* $-0,35$ K1B1 100% RTV i Δa^* $-1,22$ K1B1 70% RTV, izlaganje u oba slučaja 7 dana, Δa^* $-0,09$ K2B3 100% RTV i Δa^* $-0,36$ K2B3 70% RTV.



Slika 6: Δa^* za otiske s magenta bojilima i 70% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

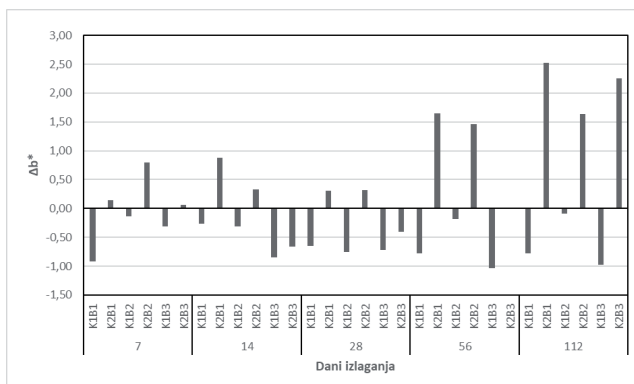


Slika 7: Δa^* za otiske s magenta bojilima i 50% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

Otisci magenta bojila s 50% RTV imaju negativan Δa^* pri izlaganju 7, 14, 28, 56 i 112 dana, izuzev otisaka: K1B2 izlaganog 14 dana (Δa^* 0,09) na podlozi od kartona iz grupacije CG2 (Slika 7). Na kartonu K2 s algom vrijednost Δa^* je pozitivan za otisak K2B2 (Δa^* 0,22) izlagan 7 dana, a za otisak K2B3 (Δa^* 0,08) izlagan 7 dana. Najveća ovisnost Δa^* o vremenu izlaganja utvrđena je za otiske: K2B1 (Δa^* 0,45) izlaganje 7 dana i izlaganje i 112 dana (Δa^* 3,23).

Otisak K1B2 je specifičan u odnosu na kinetiku procesa: $-\Delta a^*$ se povećava za izlaganje 14 dana Δa^* $-1,06$ u odnosu na sedmodnevno, da bi nakon toga daljim izlaganjem varijacije bile relativno male Δa^* za otiske s magenta bojilima i 50% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo, 28 dana $-2,41$, 56 dana $-2,70$ i 112 dana $-2,66$. Kod drugih otisaka u ovoj seriji to nije bio slučaj.

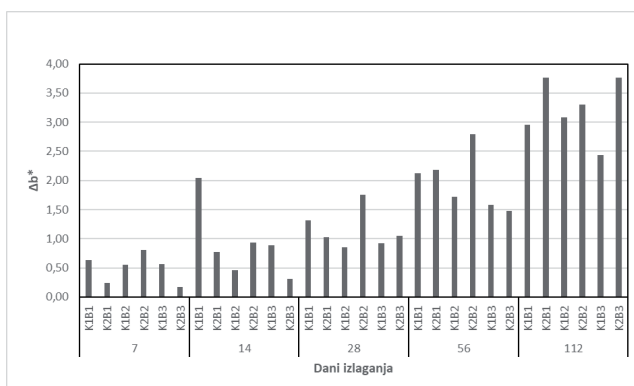
Jedna od kromatskih osi definiranih u CIE L*a*b* prostoru boja je b kromatska os. Ona ima orijentaciju žuto-plavo. Pozitivna b os je u pravcu žutog stimulusa, a negativna b os usmjerena je u pravcu plavog stimulusa. Vrijednost Δb^* je razlika izlaganog otiska umanjenog za vrijednost ne izlaganog.



Slika 8: Δb^* za otiske s magenta bojilima i 100% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

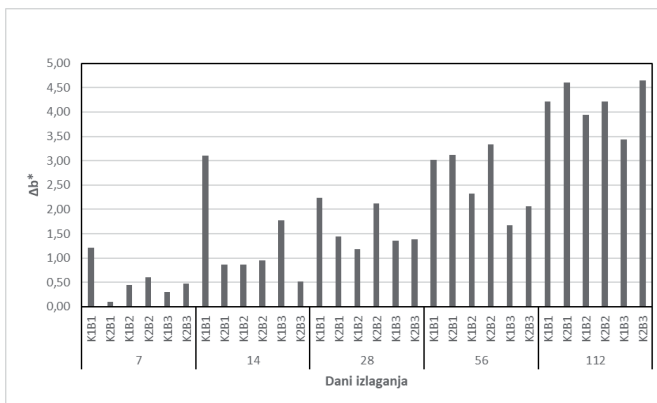
Uzorci na kartonu K1 koji spada u grupaciju GC2, nakon izlaganja 7, 14, 28, 56 i 112 dana imaju negativne Δb^* vrijednosti, pa se nalaze u području plavog stimulusa, za razliku od uzoraka na kartonu s algama koji većinom imaju pozitivan Δb^* i nalaze se u području žutog stimulusa (Slika 8). To se odnosi na uzorke: K2B3 izlagan 14 dana (Δb^* 0,66) i izlagan 28 dana (Δb^* -0,41).

U ovoj seriji otisaka manje je izražen pravilni tok vrijednosti.



Slika 9: Δb^* za otiske s magenta bojilima i 70% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

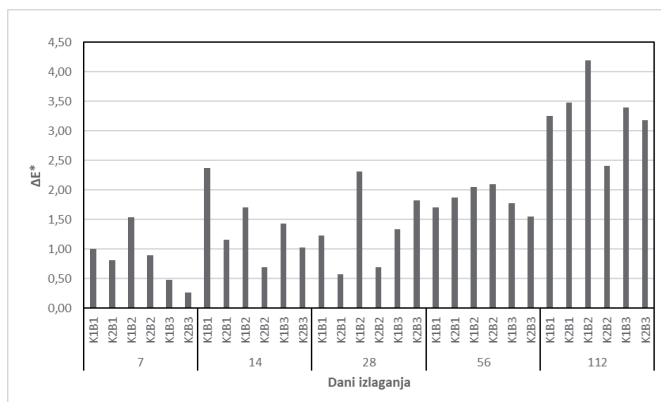
Svi otisci u ovoj seriji s magenta bojilima i 70% RTV imaju pozitivnu Δb^* vrijednost (Slika 9). Povećavanjem dana izlaganja povećava se Δb^* . Otisci na podlozi s algom imaju veće razlike u odnosu na izlaganje 112 dana i 7 dana kako slijedi: Δb^* 3,52 K2B1, Δb^* 2,49 K2B12, Δb^* 3,59 K2B3, Δb^* 2,36 K1B1, 2,53 Δb^* K1B2, 1,87 Δb^* K1B3. Najveći Δb^* je utvrđen; za otisak K2B3 izlaganog 112 dana podlozi s algama (Δb^* 3,69 K2B3). Najmanji Δb^* je izmjeren za uzorak K2B3 na papiru od alge izlagan 7 dana (Δb^* 0,17), što znači da ima manju kromatičnost u odnosu na druge.



Slika 10: Δb^* za otiske s magenta bojilima i 50% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

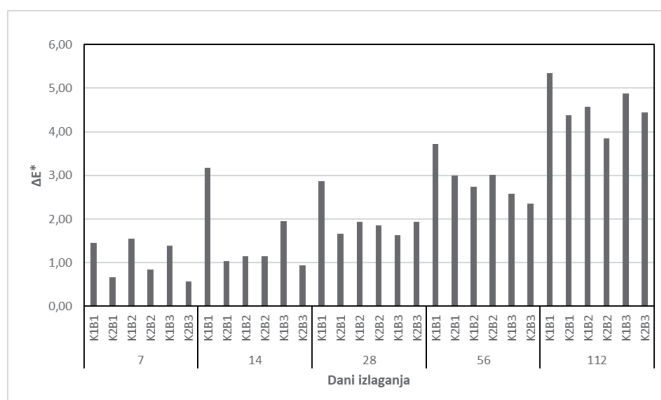
Svi otisci s magenta bojilima 50% RTV imaju pozitivne Δb^* vrijednosti što znači da su u području žutog stimulusa (Slika 10). Veći broj uzoraka imaju veću Δb^* vrijednost u odnosu na otiske sa 70% RTV. Razlika Δb^* kod otisaka s 50% RTV u odnosu na one sa 70% RTV za izloženost 7 dana veća je za: 0,15 K1B1, 0,31 K2B3, a za izlaganje 112 dana veća je za: 0,70 K1B1, 1,30 K1B2, 1,0 K1B3, 0,84 K2B1, 0,91 K2B2 i 1,06 K2B3. Najveći Δb^* utvrđen je za podlogu K1 iz grupacije GC2 kartona za otisak K1B2 Δb^* 4,60 za izlaganje 112 dana i otisak na kartonu K2 Δb^* 4,65.

Razlika boja ΔE^* je značajna za grafičku reprodukciju, jer uspoređuje dva tona. Ona daje informaciju o kvaliteti reprodukcije i odnosi se na devijaciju reprodukcije u odnosu na original. U ovim istraživanjima ΔE^* predstavlja razliku između izlaganih otisaka i onih ne izlaganih utjecaju zračenja kroz prozorsko staklo.



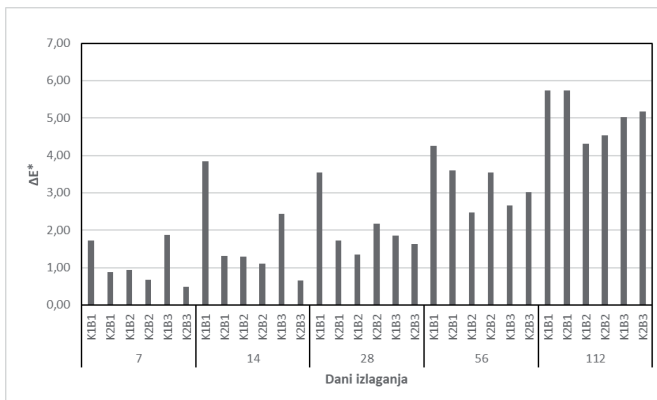
Slika 11: ΔE^* za otiske s magenta bojilima i 100% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

Percipirana razlika u boji manja od $\Delta E^* = 2$ ne primjećuje se golim okom, a razlike $\Delta E^* = 4$ većini ljudi su prihvatljive [41]. U ovoj seriji uzoraka ima šest otisaka na kartonu K2 s ΔE^* manjih od 1 kako slijedi: 0,81 ΔE^* K2B1 izlagan 7 dana, 0,57 ΔE^* K2B1 izlagan 28 dana, 0,90 ΔE^* K2B2 izlagan 7 dana, 0,70 ΔE^* K2B2 izlagan 14 dana, 0,70 ΔE^* K2B2 izlagan 28 dana, 0,27 ΔE^* K2B3 izlagan 7 dana, i jedan otisak na kartonu K1 iz grupacije GC2 i to 0,48 ΔE^* K1B3 izlagan 7 dana (Slika 11). Između ΔE^* 1 i 2 nalaze se 8 uzoraka na kartonu K1 iz grupacije GC2 i 4 uzorka na kartonu K2 s algom. Najveći ΔE^* od 4,20 je utvrđen za uzorak K1B2 izlagan 112 dana. Rezultati pokazuju da je magenta bojilo B2 na biljnoj osnovi s udjelom obnovljive sirovine < 70% stabilnije u odnosu na B1 i B3.



Slika 12: ΔE^* za otiske s magenta bojilima i 70% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

U ovoj seriji uzorci su pokazali manju stabilnost izlaganjem kroz prozorsko staklo u odnosu na seriju sa 100% RTV vrijednosti. Utvrđeno je da nema ni jednog uzorka s ΔE^* vrijednosti manjom od $\Delta E^* = 1$ otisnutog na K1 podlozi iz grupacije GC2 kartona (Slika 12). Međutim na otiscima na kartonu K2 s algom dokazana su 4 otiska u toj klasi veličina: 0,67 ΔE^* K2B1 izlagan 7 dana, 0,85 ΔE^* K2B2 izlagan 7 dana, 0,57 ΔE^* K2B3 izlagan 7 dana i 0,94 ΔE^* K2B1 izlagan 14 dana. Otisaka s ΔE^* 1-2 ima na K1 podlozi ukupno 6: 1,55 ΔE^* K1B2 izlagan 7 dana, 1,14 ΔE^* K1B2 izlagan 14 dana, 1,93 ΔE^* K1B2 izlagan 28 dana, 1,39 ΔE^* K1B3 izlagan 7 dana, 1,95 ΔE^* K1B3 izlagan 14 dana i 1,63 ΔE^* K1B3 izlagan 28 dana, a otisci na K2 podlozi su slijedeći: 1,04 ΔE^* K2B1 izlagan 14 dana, 1,66 ΔE^* izlagan 28 dana, 1,14 ΔE^* K2B2 izlagano 14 dana, 1,85 ΔE^* K2B2 izlagano 28 dana, 1,93 ΔE^* K2B3 izlagano 28 dana. Većina uzoraka izlaganih 112 dana imaju ΔE^* između 4 i 5.



Slika 13: ΔE^* za otiske s magenta bojilima i 50% RTV vrijednosti na K1 i K2 kartonu u ovisnosti o dinamici izlaganja zračenju kroz prozorsko staklo

Izlaganjem otisaka s magenta bojama na podlozi K1 i K2 i 50% RTV kroz prozorsko staklo utvrđeno je da 5 otisaka ima ΔE manje od 1 i 9 otisaka manje od 2, pa se kolorimetrijska razlika ne primjećuje golim okom. Razlike u boji odnosno ΔE^* manje od 1 imaju otisci kako slijedi: 0,93 ΔE^* K1B2 izlagano 7 dana, 0,88 ΔE^* K2B1 izlagano 7 dana, 0,68 ΔE^* K2B2 izlagano 7 dana, 0,49 ΔE^* K2B9 izlagano 7 dana. Uzorci s ΔE manjim od 2 su slijedeći: 1,72 ΔE^* K1B1 izlagano 7 dana, 1,29 ΔE^* K1B2 izlagano 14 dana, 1,34 ΔE^* K1B2 izlagano 28 dana, 1,88 ΔE^* K1B3 izlagano 7 dana, 1,85 ΔE^* K1B3 izlagano 28 dana, 1,31 ΔE^* K2B1 izlagano 14 dana, 1,73 ΔE^* K1B2 izlagano 28 dana, 1,10 ΔE^* K2B2 izlagano 14 dana i 1,62 ΔE^* K2B3 izlagano 28 dana.

Samo u ovoj seriji uzoraka u okvirima istraživanja izmjerene su ΔE^* vrijednosti veće od 5 i to za otiske: K1B1, K1B3, K2B1 i K2B3 i to za izlaganje od 112 dana.

Magenta bojilo ima azo-kromofore ($-N=N-$) i hidrazo tautomerni oblik ($=N-NH-$). Kada je otisak sa separacijom magenta bojila izložen svjetlu, postoji sklonost prema oksidacijskoj i fotokemijskoj degradaciji [43].

4. Zaključak

Tržišni uspjeh proizvoda određen je dizajnom ambalaže, prezentacijom i marketingom. Tiskarsko bojilo kao element sudjeluje u životnom ciklusu tog proizvoda vizualizacijom kreativne ideje dizajnera, na selektivni način komunicira s kupcem, pa i utječe na odluku o kupnji. Značajno je da tiskarsko bojilo u dijelu životnog ciklusa koji se odnosi na tržišni miks treba komunicirati kako bi se stvorila pozitivna odluka o kupovini. Ona mora zadovoljiti niz specifičnih uvjeta, uključujući transport, skladištenje i zatvaranje kružnog toka materijala i energije.

Ključno u ovim istraživanjima je u domeni kvalitete, stabilnosti i trajnosti otisaka, promatrajući kroz interakciju bojilo/tiskovna podloga. Razlog tome je složena kemijska struktura i mogući različiti načini međudjelova.

U zatvorenim prostorima, gdje se svjetlost filtrira kroz staklo prozora, spektar vidljive svjetlosti sadrži valne duljine veće od 340 nm, što uzrokuje izravnu fotolizu celuloze. Dolazi do stvaranja reaktivne vrste i to predstavlja glavni izvor svjetlosno inducirane degradacije celuloze. ISO svjetlina podloge K1 iz grupacije GC2 kartona smanjuje se u uvjetima eksperimenta u intervalu 3,46% do 12,56%. ISO svjetlina K2 s algom se smanjuje u istim uvjetima u intervalu 0,62% – 9,76%. Uočeno je da karton K2 s algom u fazi skladištenja povećava ISO svjetlinu što bi moglo biti u odnosu na klorofil iz algi.

U eksperimentalnim uvjetima veća stabilnost otisaka dobivena je uglavnom na podlozi s algom. Razlog možda može biti velika upojnost kartona K2. To svojstvo bi moglo omogućiti bojilu dublje prodiranje u strukturu kartona i time ga zaštititi od utjecaja zračenja.

U uvjetima eksperimenta zapažena je nešto veća stabilnost otisaka s bojiлом B2, koje je na biljnoj osnovi i sadrži > 70% obnovljive sirovine. Na vidljive promjene u boji može se ograničeno djelovati prilikom formulacije bojila, u procesu nanošenja na tiskovnu podlogu i rukovanjem s otisnutim ambalažnim proizvodom.

Za grafičku tehnologiju je značajan doživljaj tonaliteta, koji je definiran s određenim karakteristikama rastera. Istraživanja obuhvaćaju otiske 100%, 70% i 50% RTV. Intenzitet doživljaja tonaliteta ovisiti će o interakciji podloge s rasterom i bojila s rasterom u uvjetima eksperimenta.

Rezultati istraživanja mogu se primijeniti u procesu dizajna ambalažnog proizvoda, pripremi novih formulacija bojila i tiskovnih podloga i zatvaranju kružnih tokova grafičkih materijala.

5. Literatura

- [1] Geissdoefer, M., Savaget, P., Bocken, N.M.P, Hultnik, G.J.: The circular economy new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, **143** (2017) 753-768, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.04.159
- [2] Kirchherr, J., Reike D., Hekkert, M.: Conceptualize the circular economy: An analysis of 114 definitions, *Resources, Conservation and Recycling*, **127** (2017) 221-232, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005
- [3] Kalmykova, Y., Sadagopan, K.B., Rosado, L.: Circular economy: From review theories and practices to the development of implementation tools, *Resources, Conservation and Recycling*, **135** (2018) 190-201
- [4] Försterling, G., Orth, R., Gellert, B.: Transition to a circular economy in Europe through business models: barriers, drivers, and policy-making, *Sustainability*, **15** (2023) 10, 8212 doi: 10.3390/su15108212
- [5] Herrero-Luna, S., Ferer- Serrano, M., Lotorre-Martinez M.P.: Circular economy and innovation: A systematic review, *Central European Business Review*, **11** (2022) 1, 65-84, doi: 10.18267/j.cebr.275
- [6] Mallick, P.K., Salinger, K.B., Pigosso, D.C.A., Aloone, T.C.: Closing the loop: Establishing reverse logistics for a circular economy: Systematic review, *Journal of Environmental Management*, **228** (2023) 117017, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.117017
- [7] Melo, A.C.S., Braga, A.E., Leite, C.D.P.: Frameworks for reverse logistic and sustainable design integration under a sustainability perspective: A systematic literature review, *Research in Engineering Design*, **32** (2021) 225-243, doi: 10.1007/s00163-020-00351-8
- [8] Voicu, D., Madalina, D.: The state of the research on circular economy in the European Union: A bibliometric review, *Cleaner Waste Systems*, **7** (2024) 100127, doi: 10.1016/j.elwas.2023.100127
- [9] European Commission Action Plan, Circular economy 2023c, <https://environment.ec.europa.eu/en/strategy/circular-economy-action-plan>, pristupljeno: 2024-02-15
- [10] Silverio, A.C., Ferreira, J., Fernandes, P.O., Dabić, M., How does the circular economy work in the industry? Strategies, opportunities and trends, *Journal of Cleaner Production*, **412** (2023) 137312
- [11] Sumain, S., Gupta, S., Assad, Y., Wang, Y., Bhattacharya, S.: Eco-innovation for environment and waste prevention, *Journal of Business Research*, **122** (2021) 627-639
- [12] Civancik-Uslu, D., Puig, P., Voig, S.: Improving the production chain with LCA and eco-design: Application to cosmetic packaging, *Resources, Conservation and Recycling*, **151** (2019) 104475, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104475

- [13] Ahmad, S., Wong, K.Y., Tseng, M.L., Wong, W.F.: Sustainable products design and development: A review tools, applications and research prospects, *Resources, Conservation and Recycling*, **132** (2018) 49-61, doi: 10.1016/j.resconrec.2018.01.020
- [14] Shamraiz, A., Kann, Y.W., Ming, L.T., Wai, P.W.: Sustainable products design and development: A review of tools, application and research prospects, *Resources, Conservation and Recycling*, **132** (2018) 49-61, doi: 10.1016/j.resconres.2018.01.020
- [15] Liu, Z.W., Zhu, Z., Ye, S.: Design framework for circular packaging (DfCP): design knowledge, Challenger and opportunities, *Circular Economy and Sustainability*, **3** (2023) 2109-2105
- [16] Zhu, Z., Liu, W., Batista, L.: Sustainable design for the circular economy, *Sustainable Production and Consumption*, **32** (2022) 817-832, doi: 10.1016/j.spc.2022.06.005
- [17] Korhone J., Honkasalo, A., Seppälä, J.: Circular economy: the concept and its limitation, *Ecological Economics*, **143** (2017) 37-46, doi: 101016/j.ecolecon.2017.06.041
- [18] Escursells, S., Liorach-Massana, P., Roncero, M., Sustainability in e-commerce packaging: A review, *Journal of Cleaner Production*, **20** (2021) 280, 124314, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124314
- [19] Ibrahim., D., Herman, Y., Sadiku, E.R., Ndamboki, J.M., Kupolati, W.K., Jamiru, T., Eze, A.A., Snyman J.: Need for sustainable packaging: A review, *Polymers*, **14** (2022) 20, 4430, doi: 10.3390/polim.14204430
- [20] Mukherjee, P., Keshri J. P.: Present status and development of algal pulp for handmade paper and technology, *Advances in Plants & Agriculture Research*, **8** (2018) 1, 10-18, doi: 10.15406/apar.2018.08.00284
- [21] Moral, A., Aguado, R., Castello, R., Tijero, A.: Potential use of green alga *Ulva* sp for paper-making, *BioResources*, **14** (2019) 3, 6851-6862
- [22] Baghel, R.S., Reddy, C.R.K., Ravindra, P.S.: Seaweed- based cellulose: Applications and future perspectives, *Carbohydrate Polymers*, **267** (2021) 118241, doi: 10.1016/j.carpol.2021.118241
- [23] Mardiyati, Y., Fauza, A.N., Steven, S., Rachman, O.A., Dirgantara, T., Hariyanto, A.: High-performance *Cladophora* algae based paper for honeycomb core in sandwich-structured composite: preparation and characterizations, *Polymers*, **15** (2023) 6, 1359, doi: 10.3390/polym.15061359
- [24] Zabochnicka, M., Krzywonos, M., Romowowska-Duda, S., Szufa, A., Darkalt, M.: Algal biomass utilization toward circular economy, *Life*, **12** (2022) 10, 1480, doi: 10.3390/life12101480
- [25] Bolanča Mirković, I., Medek, G., Bolanča, Z., Cardboard packaging from algae for environmental sustainability, Book of proceedings, 4th International symposium of Environmental Management-Towards Circular Economy, Katančić, Z., Koprivanec, N., Lončarić, B., Božić, A., Kušić, M., Hrnjak-Murgić, Z., (eds.) Faculty of Chemical Engineering and Technology, Zagreb, (2016) 100-105
- [26] Bolanča Mirković, Ivana; Bolanča, Zdenka; Medek, Goran, Recovery of cellulose fibers by processing prints with innovative inks on a printing substrate with *Ulva* sp, 1st European

- GREEN Conference, Mirna Habuda-Stanić (ur.), Osijek, International Association of Environmental Scientists and Professionals (IAESP), 2023, str. 288-289.
- [27] Bolanča, Z., Medek, G., Bolanča Mirković, I., Material recovering from offset prints on paper with alternative fibers, in Jubilee Annual 2017-2018 of the Croatian Academy of the Engineering, Andročec, V., (Ed.) Croatian Academy of Engineering, Zagreb, (2018) 205-216, ISSN 1332-3482
- [28] Technical specification Kromopak Code No 12172, www.antalisto.com/medias/pdf, pristupljeno: 2024-01-11
- [29] Favini, Shiro Alga Carta, www.favini.com/gs/fine-papers/features-applications, Technical Datasheet, pristupljeno: 2024-01-11
- [30] Favini, Paper from our Ecosystem, www.favini.com, pristupljeno: 2024-01-11
- [31] Technical data sheet, SunLit™ Sun Chemical, www.sunchemicals.com.pl/Diamond/SunlitDiamond.pdf, pristupljeno: 2024-01-24
- [32] Technical data sheet, SunLit® Express, www.sunchemicals.com.pl/Express.pdf, pristupljeno: 2024-01-24
- [33] A Material Safety Data Sheet, www.totalgraphics.co.uk/sunlitskf-technical-information.pdf, pristupljeno: 2024-01-24
- [34] Technical datasheet Machine ROLAND 705, www.rolandsheetfed.com/en-GB/documentspdf, pristupljeno: 2024-01-24
- [35] ISO 877-2:2009 Window glass-filtered solar radiation-Method B, Geneva International Organization for Standardization, 2008, pristupljeno: 2024-01-24
- [36] Sthore, S., Kock, HJ., Light-fastness and weather resistance in packaging printing, <https://yumpu.com>, pristupljeno: 2024-01-22
- [37] ISO 2470-1(2016), Paper, board, and pulps: Measurement of diffuse blue reflectance factor. Indoor daylight conditions (ISO Brightness) <https://www.iso.org/standard/69090.html>, pristupljeno: 2024-01-24
- [38] Technidyne Color Touch 2 spectrophotometer, <https://amlinstruments.co.uk/color-touch-2-technidyne>, pristupljeno: 2024-01-24
- [39] HRN, EN, / ISO/CIE 11664-4:2019, Colorimetry-Part 4: CIE 1976 L*a*b*colour space, <https://repozitorij.hzn.hr/norm/CIE+11664-4+2019>, pristupljeno: 2024-01-24
- [40] X Rite DTP 20 Pulse Spectrophotometer <https://www.xrite.com>, Preuzeto: 24.01. 2024
- [41] Parac-Osterman, Đ., *Osnove boje i sustavi vrednovanja, Drugo izdanje*, Tekstilno-tehnološki fakultet, ISBN 9789537105112, Zagreb, 2013
- [42] Sharma, A., *Understanding Color Management Second Edition*, Wiley, ISBN 978-1-119-22363-4, New York, 2018
- [43] Nicolaous, C., Chemical and Physical Characterization of High-Performance Pigments In Faulkner, BE., Schwartz R. (eds) *High-Performance Pigments*, Wiley Verlag, 2009, Weinheim, ISBN: 9783527314058