

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET

TENA RIMAY

MOGUĆNOST VIŠEBOJNOG
OTISKIVANJA NA POLIKARBONATU U
TEHNICI BEZVODNOG OFSETA

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2017.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

TENA RIMAY

MOGUĆNOST VIŠEBOJNOG
OTISKIVANJA NA POLIKARBONATU U
TEHNICI BEZVODNOG OFSETA

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc. dr. sc. Igor Majnarić

Studentica:

Tena Rimay

Zagreb, 2017.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu dan je opći pregled polikarbonata kao moguće tiskovne podloge na koju se zbog neupojnosti najčešće tiska tehnikom bezvodnog ofseta uz primjenu UV sušećih boja. Za potrebe eksperimentalnog rada na četverbojnom stroju su otisnuti PC otisci uz dvije varijacije postavki stroja, sa i bez hlađenja tiskovne jedinice te s primjenom jedne ili tri UV lampe pri sušenju. Da bi se ustanovili učinci samog hlađenja tiskovne jedinice, odnosno broja aktivnih lampi, konstruirane su krivulje kolorne reprodukcije. Jedan uzorak je izložen i dodatnom procesu laminacije. Time je ispitan učinak laminiranja na krivulje reprodukcije. Na svim otisnutim uzorcima provedena su spektrofotometrijska i kolorimetrijska mjerenja uređajem X-Rite eXact nakon čega su izrađeni sljedeći dijagrami: denzitometrijske krivulje reprodukcije za CMYK otiske, 3D krivulje obojenja CMYK otisaka, kolorne razlike CIELAB ΔE . Iz dobivenih rezultata vidljivo je kako se najveći prirasti ostvaruju u svijetlim tonskim područjima svih kolornih separacija. S porastom pokrivenosti površine prirasti opadaju, a općenito su vrijednošću najizraženiji kod crne separacije ($\Delta Z_{sr}=12,64$). Također, najveće iznose prirasta su najčešće postizali uzorak ostvaren bez hlađenja i uz sušenje s tri UV lampe i uzorak ostvaren uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe. Proces laminacije je doveo do dodatnog rasta prirasta, najprimjetnijeg u svijetlim tonskim vrijednostima i najizraženijeg kod žute separacije ($\Delta Z_{10\%}=16,39$).

KLJUČNE RIJEČI: polikarbonat, bezvodni ofset, hlađenje tiskovne jedinice, laminiranje otiska, krivulje reprodukcije

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO.....	2
2.1.Polimerni materijali kao tiskovne podloge	2
2.2.Polikarbonat	3
2.2.1. Proizvodnja polikarbonata	4
2.2.2. Sinteza polikarbonata.....	4
2.2.3. Oblikovanje polikarbonata.....	5
2.2.4. Svojstva polikarbonata.....	6
2.2.5. Usporedba polikarbonata i polivinil-klorida.....	9
2.2.6. Svojstva polimernih pločastih materijala u ovisnosti o različitim faktorima	11
2.2.7. Polikarbonatne višeslojne kartice	14
2.3.Otiskivanje na polikarbonatu	16
2.3.1. UV inkjet.....	17
2.3.2. Bezvodni ofset	19
2.3.2.1.Tiskovna forma za tehniku bezvodnog ofseta	22
2.3.2.2.Tiskarska boja za tehniku bezvodnog ofseta	24
2.3.2.2.1. UV sušeće boje	25
2.3.2.3.Dodatno hlađenje tiskovne jedinice za bezvodni ofset.....	27
3. EKSPERIMENTALNI DIO	30
3.1.Metodologija rada	30
3.2.Korišteni strojevi i materijali	32
3.2.1. Heidelberg Speedmaster XL 106	32
3.2.2. Spektrofotometar i denzitometar X-Rite eXact	33
4. REZULTATI I DISKUSIJA	34
4.1.Denzitometrijska mjerenja	34
4.2.Kolorimetrijska mjerenja	41
5. ZAKLJUČCI.....	54
6. LITERATURA	56
Popis slika i tablica	58

1. UVOD

U ovom diplomskom radu biti će dan opći pregled polikarbonata (PC) kao moguće tiskovne podloge, uz opis njegove proizvodnje, općih svojstava i mogućnosti uporabe u grafičkoj industriji. Zbog svoje neupojnosti, na polikarbonat se najčešće tiska tehnikom bezvodnog ofseta uz obaveznu primjenu UV sušećih ofsetnih boja. Bezvodni ofset je tehnika u kojoj se ne koristi otopina za vlaženje. Stoga se postižu kontrastniji otisci sa izdašnjom kolornom vrijednošću. Problem u proizvodnji očituje se u ostvarivanju porasta temperature tiskovne jedinice koja nastaje uslijed trenja (povećanjem broja otisaka raste temperatura tiskovne jedinice što za posljedicu ima smanjenje viskoznosti boje i njene ljepljivosti). Zbog toga je tiskovnu jedinicu obavezno potrebno hladiti. U eksperimentalnom dijelu rada će se stoga analizirati kolorna reprodukcija UV sušeće boje na hladenoj i nehladenoj tiskovnoj jedinici. Na višebojnu reprodukciju u UV bezvodnom ofsetu presudnu ulogu ima proces sušenja. Tako će u radu dodatno biti ispitan učinak većeg broja UV sušećih lampi na proces sušenja, odnosno njihov učinak na konačnu krivulju reprodukcije. Kako se otisci na polikarbonatu dodatno mehanički učvršćuju potrebno ih je na kraju podvrgnuti povišenoj temperaturi (temperaturi taljenja).

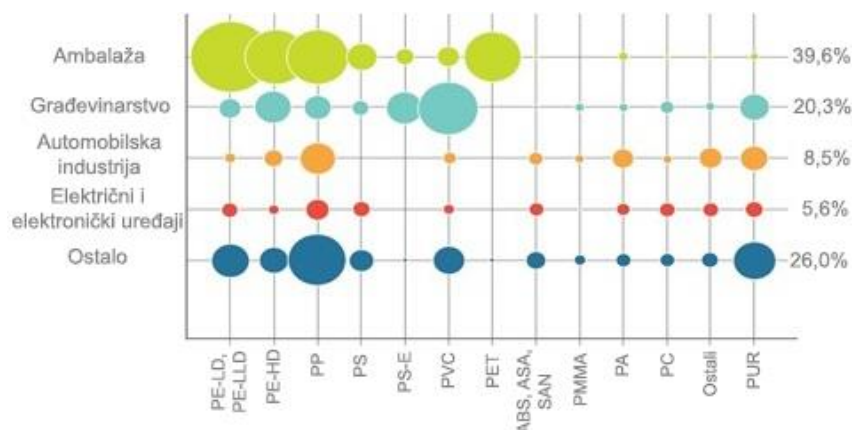
Od svih polimernih materijala sve veću industrijsku primjenu ima polikarbonat. Zbog svoje specifične krutosti pogodan je za proizvodnju grafičkih proizvoda s najduljim rokom trajanja. Stoga otisci na neupojnoj polikarbonatnoj podlozi zahtijevaju specijalan tretman sušenja što je jedan od glavnih ciljeva ovog istraživanja. Samim time, hipotezom je povezano utvrđivanje kolorne prihvatljivosti PC otisaka te definiranje moguće korekcije devijacija u ostvarenim prirastima krivulje reprodukcije u odnosu na standard ofseta (otisak na papiru za umjetnički tisak). Tako će se na kraju rada analizirati učinak toplinskog prešanja na prethodno otisnute CMYK površine.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Polimerni materijali kao tiskovne podloge

Polimerni materijali koriste se preko 200 godina. Isprva, čovjek je koristio biopolimere kao što su vuna, svila, koža i pamuk. Prvi umjetno dobiveni polimerni materijal je guma. Nju je 1839. proizveo Charles Goodyear miješanjem sumpora s kaučukom uz dodatno zagrijavanje. Drugi revolucionarni polimerni materijal izumio je John Wesley Hyatt 1868. godine. Riječ je o celuloidu koji se smatra prvim pravim plastičnim materijalom. Pritom su načinjene izmjene biomaterijala celuloze od koje je izvorno dobiven. Kemičar Leo Baekeland 1907. godine objavljuje otkriće fenolne smole (prvog polimera dobivenog iz potpuno sintetskih materijala). Hermann Staudinger 1922. godine u kemiju uvodi pojam makromolekule. Nakon toga započinje ubrzani razvoj gumarske i automobilske industrije. Samim time započinje era proizvodnje različitih sintetskih polimernih materijala kao što su polistiren (1930.), polivinil-klorid (1931.), najlon-poliamidi (1938.), polietilen-tereftalat (1940.-1950.). Vrhunac razvoja polimerne proizvodnje vezan je za razdoblje između 1950. i 1970. godine. U tom periodu je započela proizvodnja polikarbonata, silikona, epoksi i poliuretanskih smola te kompozitnih materijala kao što su kevlar, staklena vuna...[1]

Polimerni materijali ubrajaju se u najznačajnije tehničke materijale današnjice. Kako je proizvodnja plastomera premašila proizvodnju čelika, 20. stoljeće se naziva i polimerno doba. Najviše se proizvode polietilen (PE), polipropilen (PP), polietilen-tereftalat (PET), polivinil-klorid (PVC) i polistiren (PS) [1]. Na slici 1., prikazan je dijagram najčešće primjene polimernih materijala u industriji, zajedno sa ostvarenim postotnim udjelom.



Slika 1. Današnja upotreba polimernih materijala [2]

Polimerni materijali zbog svojih svojstava služe i kao zamjena za materijale kao što su drvo, staklo, metali, keramika. Svojstva zbog kojih je to tako su otpornost prema vodi, dobra toplinska i električna izolacija, otpornost prema kiselinama i lužinama, otpornost na koroziju, lako oblikovanje, dobro upijanje vibracija i otpornost na trošenje. Na žalost, oni imaju i neke nedostatke. Zbog toga što nisu biorazgradivi, predstavljaju ekološki problem.

U grafičkoj industriji, polimerni materijali imaju veliku ulogu. Koriste se za izradu flekso tiskovnih formi, kao tiskovne podloge, za izradu ambalažnih materijala, folija za laminiranje i sintetskih smola u tiskarskim bojama [1].

2.2. Polikarbonat

Sve važniji materijal u industriji je polikarbonat (PC). On je prvi put dobiven 1898. [3], no zatim je zaboravljen do 1958. godine kada započinje njegova masovna proizvodnja. To je vrsta poliestera, iznimno otporna na udarce, velike vlačne čvrstoće i duktilnosti, dimenzijske stabilnosti i optičke jasnoće. Na tržištu se pojavljuje pod različitim imenima, najčešće kao Lexan ili Makrolon [4]. Upotreba polikarbonata vrlo je široka, koristi se u automobilskoj industriji, u građevinarstvu, medicini, proizvodnji elektroničkih dijelova te u grafičkoj industriji kao tiskovna podloga. Tvrtke koje su vodeće u proizvodnji PC-a su Bayer, Njemačka i General Electric, SAD [3].

2.2.1. Proizvodnja polikarbonata

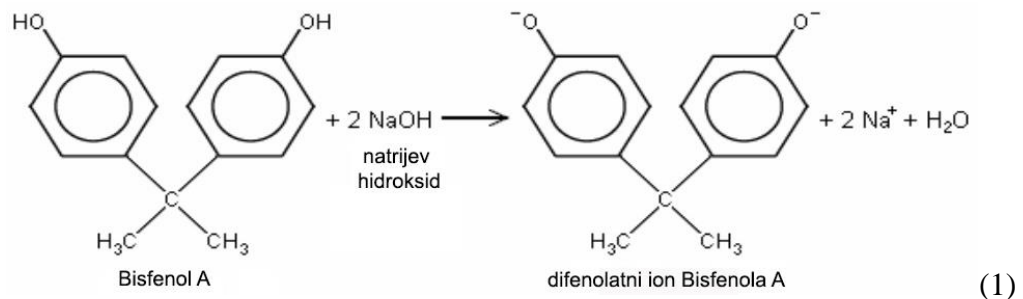
Polikarbonat pripada skupini termoplasta (plastomera) čije je svojstvo da zagrijavanjem omekšaju ili se rastale, a zatim hlađenjem očvrstnu, ne mijenjajući pritom svojstva. Osnova lanca sadrži karbonatnu grupu i Bisfenol A. Bisfenol A sadrži dva aromatska prstena koji polikarbonatu daju krutost. Također, Bisfenol A doprinosi nemogućnosti kristalizacije polikarbonata. Zbog toga je polikarbonat amorfan materijal (atomi nemaju uređenu strukturu, svojstva su jednaka u svim smjerovima), što mu daje karakterističnu transparentnost [5].

2.2.2. Sinteza polikarbonata

Polikarbonat se najčešće sintetizira (proizvodi se planiranim kemijskim procesom sintezom, čija je svrha nastanak novog spoja iz dva ili više reaktanata) iz Bisfenola A i fozgena polimerizacijom u tri stupnja. Pritom dolazi do eliminacije kloridnih iona svaki put kada monomeri kemijski reagiraju [5]. U pitanju je stupnjevita radikalska reakcija koja se sastoji iz tri koraka, poznata po nazivu kondenzacijski proces. Ta tri koraka su inicijacija, propagacija i terminacija.

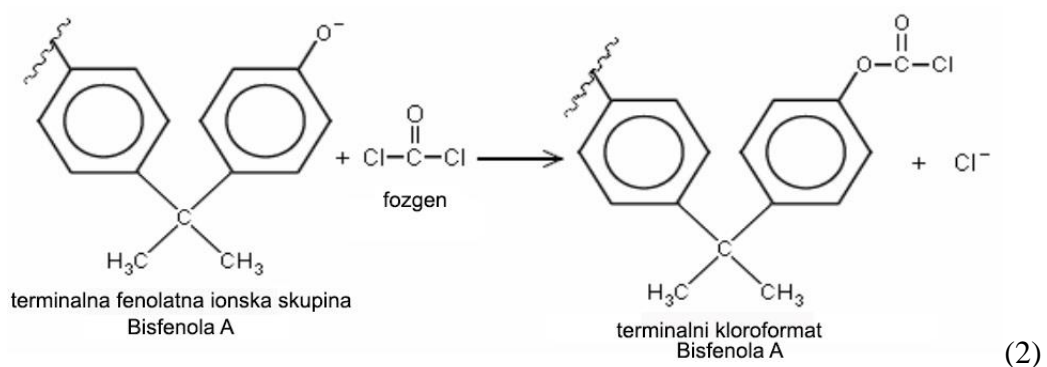
1. Stupanj reakcije - inicijacija

Bisfenol A reagira sa protonskim akceptorom – natrijevim hidroksidom kako bi nastale polimerizacijske funkcionalne skupine [5].



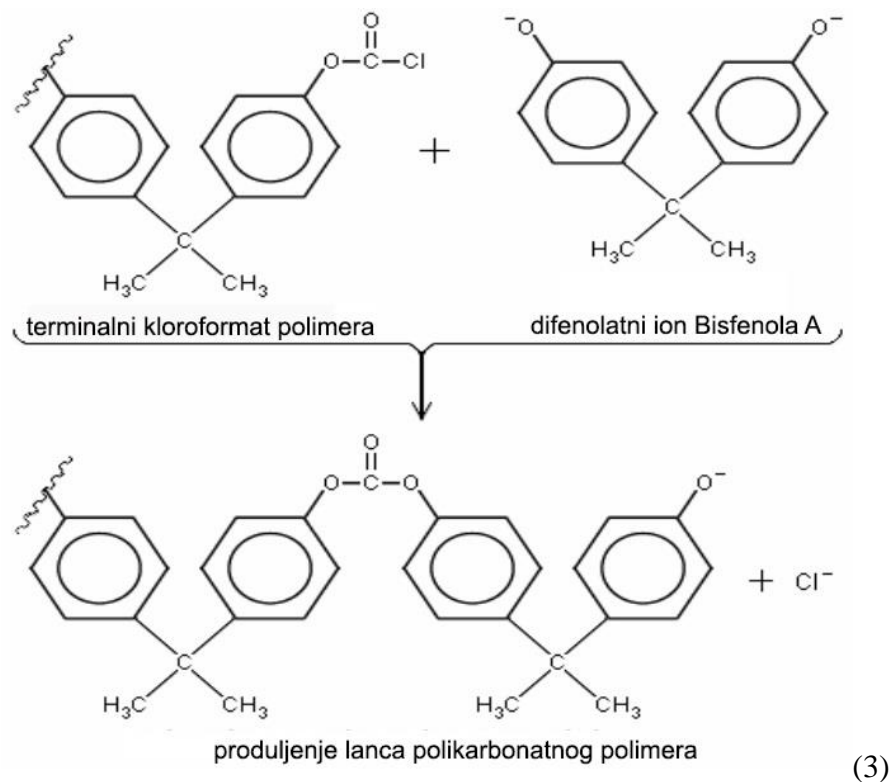
2. Stupanj reakcije - propagacija

Deprotonirani Bisfenol A zatim reagira s fozgenom, uz prisustvo katalizatora (najčešće piridina). Pritom, reakcija mora biti vođena pri kontroliranoj temperaturi od 25 do 30°C. Tako će se formirati polikarbonatni monomer, dok će se katalizator se eliminirati iz reakcije vežući se uz kloridni ion [5].



3. Stupanj reakcije - terminacija

Nadalje, lanac se produljuje daljnjom reakcijom Bisfenola A i fozgena. Pri tom je potrebno konstantno eliminirati kloridne ione [5].



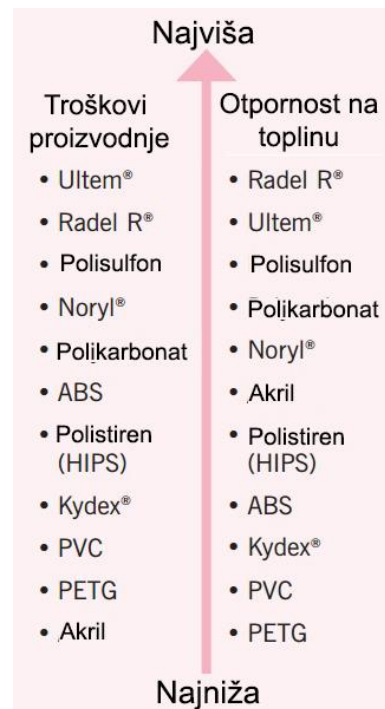
2.2.3. Oblikovanje polikarbonata

Nakon sinteze, dobiveni polikarbonat je u obliku granula. Kako bi se dobio konačni oblik, potrebno ga je rastaliti i pod tlakom utisnuti kroz „grlo“ ekstrudera ili izliti u kalup. Taj postupak se ponavlja više puta (i do 1000 ponavljanja). Procesi ekstruzije i lijevanja u kalupe su slični i razlikuju se u detaljima.

Tako je ekstruzija proces utiskivanja rastaljenog polikarbonata kroz ekstrudersko „grlo“ koje mu daje konačni oblik, nakon čega se brzo hladi. Tako oblikovan polikarbonat koristi se za proizvodnju dugih cijevi i pločnog materijala. S druge strane, lijevanje u kalupe je proces u kojem se rastaljeni polikarbonat lijeva u kalupe koji imaju oblik željenog proizvoda. Hlađenje se provodi u kalupu, čime se dobivaju dijelovi specifičnog oblika. Tako se proizvode različite komponente korištene u automobilskoj industriji i elektrici [5].

2.2.4. Svojstva polikarbonata

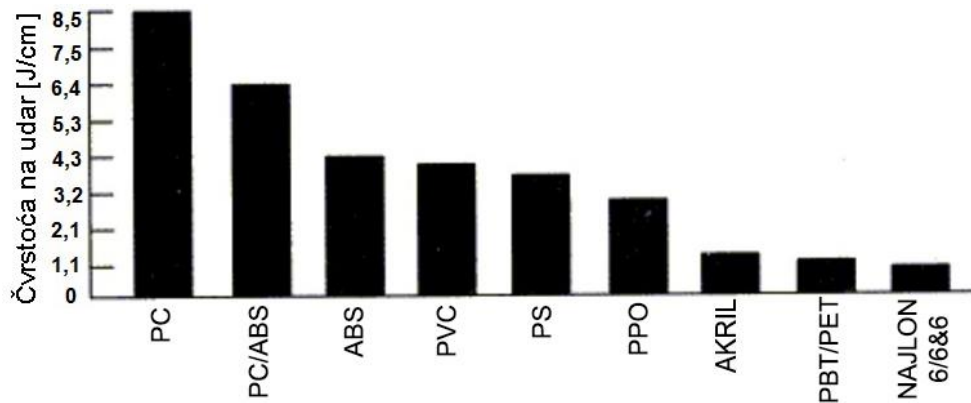
Polikarbonat je jedan od polimernih materijala specifičnih fizikalnih i kemijskih svojstava, što mu omogućuje raznoliku primjenu. Također, ima visoku izdržljivost te je pogodan za izradu proizvoda koji imaju duži vijek trajanja [6]. Na žalost, postoje i određeni nedostaci. U odnosu na druge vrste polimera, nedostaci polikarbonata su slabija kemijska otpornost prema organskim otapalima te relativno visoka cijena proizvodnje [7]. Usporedba troškova proizvodnje polikarbonata i drugih amorfnih termoplasta te njihove termostabilnosti prikazana je na slici 2.



Slika 2. Usporedba troškova proizvodnje i termostabilnosti amorfnih termoplasta [8]

Iz grafikona na slici 2., vidljivo je kako najvišu cijenu ima Ultem, dok je najniža cijena Akрила. Ukoliko se pogleda otpornost na toplinu (termostabilnost), najveća je kod Radela R, dok je najniža kod PETG-a. Polikarbonat se po pitanju cijene nalazi na petom mjestu, a po termostabilnosti na četvrtom. Iz navedenoga, može se zaključiti kako je kod polikarbonata postignut dobar omjer cijene i termostabilnosti.

Polikarbonat ima mnogo više prednosti nego nedostataka. Jedna od najvećih je čvrstoća na udar. Istraživanjem čvrstoće na udar polikarbonata i njegovih mješavina bavili su se mnogi autori (T.Kunori i P.H. Geil, E. Sacher, H. Suarez, J.W. Barlow i D.R. Paul...) koji su pokazali izvrsne rezultate polikarbonata u odnosu na druge polimere. Na slici 3., prikazana je čvrstoća na udar polikarbonata i drugih vrsta polimernih materijala.



Slika 3. Čvrstoća polimernih materijala na udar [7]

Na slici 3., prikazan je grafikon s čvrstoćama na udar polikarbonata i drugih polimera. Iz grafikona je vidljivo kako polikarbonat ima prosječnu čvrstoću na udar u iznosu od 8,5 J/cm. Za takvo ispitivanje koriste se standardizirane metode ASTM D256 *Izod Notched* (eng. *American Society for Testing and Materials*) te ISO 180 (eng. *International Organization for Standardization*). Metode se temelje na ispitivanju čvrstoće na udar polimernih materijala na mjestu na kojem je materijal prethodno zarezan. Ispitivanje se provodi s ciljem da se spriječi deformacija prilikom udara njihajućeg čekića. Čvrstoća na udar definira se kao kinetička energija potrebna za iniciranje lomljenja te u konačnici i slamanja uzorka. Kako neki materijali, posebno termoplasti, imaju manju čvrstoću na udar pri nižim temperaturama, ponekad se uzorci prije ispitivanja hlade kako bi se testirali pri onim uvjetima u kojima će se koristiti. ASTM D256 i ISO 180 metode razlikuju se po dimenzijama uzoraka, broju mjerenja te iskazivanju rezultata. Tako se kod ASTM D256 metode koristi uzorak dimenzija 64 mm x 12,7 mm x 3,2 mm, pri čemu je debljina ispod mjesta na kojem je zarezan 10,2 mm. Mjerenje se najčešće ponavlja pet puta, a dobiveni rezultati iskazuju u J/m. Kod ISO 180 metode se koristi uzorak dimenzija 80 mm x 10 mm x 4 mm, prilikom čega je debljina ispod mjesta na kojem je zarezan 8 mm. Kod ove metode, mjerenje se najčešće ponavlja deset puta, a rezultati iskazuju u kJ/m² [8].

Karakterističan parametar PC-a je njegova specifična težina. On je izuzetno lagan materijal te se zbog toga često koristi u građevinarstvu. Arhitektima i dizajnerima omogućuje eksperimentiranje, a proizvodni troškovi i troškovi prijevoza finalnih proizvoda manji su nego kod težih polimernih materijala. Također, PC je termostabilan te zadržava svoja fizikalna i optička svojstva na temperaturama u rasponu od -100°C do 135°C, što mu daje primjenjivost u svim klimatskim uvjetima [10]. Otpornost na visoku temperaturu omogućuje njegovo lako održavanje, čime je osigurano postizanje i održavanje visokih higijenskih standarda [6]. U tablici 1., prikazane su testne metode i očekivana svojstva polikarbonata uz definirane brojčane vrijednosti.

Tablica 1. Svojstva polikarbonata i testne metode za njihovo ispitivanje [11]

Svojstva	Testna metoda	Prosječna vrijednost
Specifična težina	ASTM D792	1.20 +/- 5%
Vlačna čvrstoća	JIS K6735; CNS11335	551 kg/cm ²
Elongacija	JIS K6735; CNS11335	50%
Tlačna čvrstoća	ASTM D695	830 kg/cm ²
Modul elastičnosti	ASTM D638	345000 PSI +/- 10%
Čvrstoća na savijanje	ASTM D790	950 kg/cm ²
Indeks žućenja (djelovanjem UV zračenja)	ASTM D1925 (nakon trogodišnje izloženosti sunčevoj svjetlosti)	Ispod 3
Transmisija svjetlosti	Valna duljina 500 nm (UV/VIS)	85%
Penetrabilnost UV svjetlosti (djelovanjem UV zračenja)	Valna duljina 300 nm (UV/VIS)	2.4%
Otpornost na vremenske uvjete (djelovanjem UV zračenja)	Kontinuirana izloženost sunčevoj svjetlosti 3000 h	Indeks žućenja ispod 5
Čvrstoća na udar	CNS11335 (željezna kugla mase 1 kg pada sa 120 cm visine)	Neslomljiv
Zapaljivost	UL 94V2 (kontakt s plamenom od 10 sekundi i odmicanje)	Ugasi se nakon odmicanja od plamena
Temperatura izvijanja	ASTM D648, 18.6	135 °C (kod kontinuiranog korištenja, najviša temperatura je oko 120 °C)
Temperatura loma	ASTM D764	Kod kontinuiranog korištenja, najniža temperatura je oko -30°C)
Koeficijent linearne ekspanzije		Odnosi se kada je koeficijent manji od sintetičkih smola

Ukoliko nije u kristaliziranom obliku, polikarbonat je transparentan. S druge strane, radi li se o debljim pločama (preko 5 cm), zbog veće gustoće postaje žućkast [5]. Prilikom izlaganja polikarbonatnih ploča UV svjetlosti, one u vrlo kratkom vremenskom periodu požute. Kako bi se to spriječilo, ploče prilikom proizvodnje obavezno prolaze postupak tretiranja površine premazom protiv štetnog djelovanja UV svjetlosti. Gustoća također utječe na indeks loma ulazne svjetlosti koji za polikarbonat najčešće iznosi $D=1,584$ [11].

Polikarbonat ima sposobnost apsorpiranja vrlo male količine vode (manje od 0,6%). Međutim, ukoliko se kroz duži vremenski period ne izloži vrućoj vodi, može doći do smanjenja njegove čvrstoće na udar. To je vrlo bitno ukoliko se polikarbonatne ploče koriste za izradu *outdoor* aplikacija kao što su krovovi ili nadstrešnice [11]. Nezanemarivo svojstvo PC-a je mogućnost recikliranja, kao i mogućnost termičkog spaljivanja [6]. Tako se njegovim zbrinjavanjem ne utječe na okoliš jer nije toksičan i biološki je inertan [5].

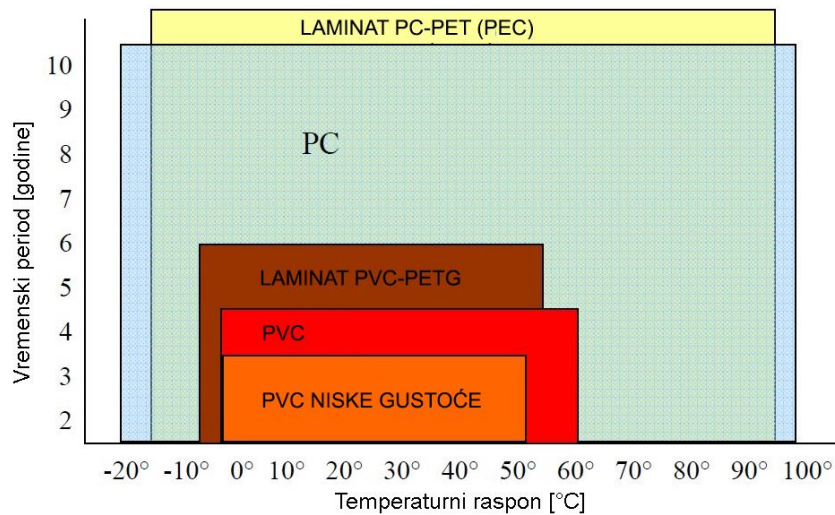
2.2.5. Usporedba polikarbonata i polivinil-klorida

Stoljećima je papir bio glavni materijal za proizvodnju zaštićenih dokumenata. Međutim, od 1970-ih nadalje, plastične podloge su polako zauzele njegovo mjesto. Posebno dizajnirani plastični materijali omogućuju istu kvalitetu otisaka kao i papir uz veću izdržljivost [9]. Uzevši u obzir i njihovu postojanost na vlagu, postali su mnogo praktičniji. S obzirom na debljinu, za proizvodnju plastičnih kartica (osobne iskaznice, vozačke dozvole, bankovne kartice...) najčešće se koriste polikarbonat i polivinilklorid (PVC). U tablici 2. dana je usporedba njihovih mehaničkih svojstava.

Tablica 2. Usporedba mehaničkih svojstava pločastog PC-a i PVC-a [9]

Svojstva	Polikarbonat	Polivinil-klorid
Vlačna čvrstoća [MPa]	65,5	51,7
Čvrstoća na savijanje [MPa]	2378,7	3316,4
Čvrstoća na udar [MPa]	6,4-8,5	0,534
Dielektrična čvrstoća- izolacija [kV/cm]	149,6	214,2

Iz tabličnih podataka vidljivo je kako polikarbonat ima mnogo veću vlačnu čvrstoću i čvrstoću na udar, dok polivinil-klorid ima veću čvrstoću na savijanje i bolja izolacijska svojstva. To nas dovodi i do moguće različite primjene ta dva materijala, koja je izravno vezana uz trajnost konačnih proizvoda. Na slici 4., dani su podaci o trajnosti pločastih materijala proizvedenih od polivinil-klorida i polikarbonata.



Slika 4. Trajnost pločastih materijala korištenih u grafičkoj industriji [12]

Polietilen-tereftalat (PET) se dodaje polikarbonatu kako bi mu se poboljšalo svojstvo kolorne nepromjenjivosti. Od ostalih polimera, slične karakteristike ostvarit će se miješanjem polietilen-tereftalat-glikola i polivinil-klorida [12]. Međutim, takav materijal će imati umanjenu postojanost.

Na grafikonu slike 4. vidljivo je kako će polikarbonatni materijal imati duži vijek trajanja i veći temperaturni raspon zagrijavanja. Samim time, osigurana mu je velika uporaba. Iz tog razloga se polivinil-klorid koristi za proizvodnju zaštitnih programa očekivanog vijeka u trajanju od 3 do 5 godina. Uzrok kraćem vijeku trajanja polivinil-kloridnih materijala je manja otpornost na trošenje vršne površine (grebanje i erozija otiska). Također, kod višeslojnih PVC materijala postoji mogućnost lakšeg odvajanja gornjih površinskih slojeva kartice od ostatka, kemijska neotpornost na otapala, benzin, ulje, nestabilnost otisnute boje pod utjecajem UV svjetlosti te gubitak mehaničkih svojstava uzrokovan personaliziranim laserskim graviranjem. S druge strane, polikarbonat je čvršći i otporniji na toplinu i UV svjetlost. Međutim, njegov je nedostatak sklonost lomljenju pri automatiziranom proizvodnom procesu uslijed čega nastaju sitne pukotine [12].

2.2.6. Svojstva polimernih pločastih materijala u ovisnosti o različitim faktorima

Na trajnost višeslojnih pločastih materijala značajan utjecaj ima centralni dio (tijelo). Na primjer, ukoliko se radi o tijelu bez dodataka, tada oni mogu podnijeti 10 000 do 100 000 savijanja. Broj savijanja tako direktno ovisi o samom korištenju materijala. Proces otiskivanja smanjit će navedene brojke. To znači da se, da bi se životni vijek što više produžio, pomno trebaju analizirati utjecaji laserske personalizacije, otiskivanja s bojama i doradnih grafičkih procesa [12]. U tablici 3., prikazana su svojstva danas najčešće korištenih polimera za izradu tijela višeslojnih pločastih materijala.

Tablica 3. Svojstva polimera koji se koriste za izradu tijela višeslojnih pločastih materijala [12]

Karakteristike	Polimerni materijali					
	PVC	PC	PET	Teslin®	Kompozit	ABS
Toplinska stabilnost	3	1	1	2	2	3
Otpornost na savijanje	3	1	1	1	1	3
Otpornost na UV zračenje	3	2	1	2	1	3
Cijena	1	3	2	2	2	1
Kompatibilnost s kontaktnim čipom	1	1	1	2	1	1
Kompatibilnost s beskontaktnim čipom	1	2	2	3	1	3
Delaminacija	2	1	1	1	1	2
Mogućnost laserskog graviranja	3	1	2	3	1	3
Ukupna ocjena	17	12	11	16	10	19

U tabličnim podacima, svojstva svakog od polimera rangirana su ocjenama od 1 do 3. Pritom je najbolja ocjena jedan (označena zelenom bojom), a najlošija ocjena 3 (označena narančastom bojom). Zbirno najbolju ocjenu ima Kompozit (10 bodova). Nakon njega slijede Teslin sa 11 bodova te PC sa 12 bodova. Ukoliko se analiziraju pojedinačne ocjene polikarbonata, može se vidjeti kako je njegov najveći nedostatak cijena, dok po pitanju toplinske stabilnosti, otpornosti na savijanje, kompatibilnosti s kontaktnim čipom, mogućnosti delaminacije i laserskog graviranja ima odlične ocjene.

Gotovi višeslojni plastični materijali moraju zadovoljiti različita fizikalno–kemijska svojstva. Pritom se u laboratorijskim uvjetima ispituju: kemijska degradacija, utjecaj topline, abrazivnost, utjecaj vlage, utjecaj UV svjetlosnog zračenja te mogućnost delaminacije.

- **Kemijska degradacija**

U većini današnjih novčanika nalaze se dijelovi sa plastičnim prozorom. Da bi se oni formirali, u njihovoj proizvodnji korišteni su različiti plastifikatori. Oni tako mogu doći u kontakt s površinom višeslojnog plastičnog materijala i ekstrahirati boje korištene za otiskivanje vizualnog dizajna. Isti takav utjecaj mogu imati različita kozmetička sredstva, benzin i kemikalije kojima se tretira koža novčanika.

- **Toplina**

Pri korištenju, povišena temperatura može dovesti do izobličenja tijela kartice. Polivinil-kloridnom materijalu mogu naštetiti temperature već od 60° C, dok polikarbonatni materijal podnosi temperature iznad 120° C.

- **Abrazija**

Višestruko provlačenje kartice kroz POS čitač može oštetiti otisak ukoliko on nema dodatnih zaštitnih slojeva ili premaza. Na ovu vrstu mehaničkih oštećenja posebno su osjetljivi embosirani otisci koji na sebi imaju povišene reljefne izbočine.

- **Vlaga**

Vlaga utječe na kompaktnost spoja. Tako ekstremno izlaganje vlazi može oslabiti adheziju površinskih premaza i znatno umanjiti kvalitetu prethodno formiranog laminata.

- **UV svjetlosno zračenje**

Izlaganje višeslojnog pločastog materijala UV svjetlosnom zračenju na duži period može dovesti do izbljeđivanja otiska, pikselizacije slika i nestajanja sitnih dijelova slova. U ekstremnim uvjetima i uslijed dužeg djelovanja UV svjetlosnog zračenja neki otisci mogu i potpuno degradirati. Stoga je odabir tiskovnih boja vrlo važan za degradacijska svojstva konačnog otiska.

- **Delaminacija**

Pri izradi laminata, različiti materijali korišteni za izradu tijela kartice imaju bolju ili lošiju adheziju. Stoga je potrebno pažljivo odabrati vanjske slojeve i njihovo povezivanje s tijelom pločastog materijala.

- **Način uporabe**

Bankovne kartice vrlo se često koriste i izrađuju se od polivinil-klorida jer je očekivani vijek trajanja kraći (od 3 do 5 godina). Osobni dokumenti se koriste rjeđe i izrađuju se od nešto kvalitetnijih materijala (npr. polikarbonat) jer im očekivani vijek trajanja iznosi i preko 10 godina [12]. Pritom, za otiskivanje nisu pogodne sve tehnike. U tablici 4., prikazane su samo one koje ostvaruju dobre rezultate pri otiskivanju na višeslojne pločaste materijale.

Tablica 4. Tehnologije otiskivanja na višeslojne pločaste materijale [12]

Karakteristike	Tehnologije otiskivanja na višeslojne pločaste materijale						
	Direktno obojavanje s izvorno obojenim tekućinama	Indirektno obojavanje s izvorno obojenim tekućinama	Direktno otiskivanje s pastoznim bojama	Indirektno otiskivanje s pastoznim bojama	Inkjet	Lasersko graviranje	EP
Rezolucija	3	3	2	1	3	1	2
Kompatibilnost s pripreminim procesom	1	1	1	1	3	1	3
Cijena utrošenog materijala	2	3	1	3	1	1	2
Adhezija laminata	1	1	1	1	3	1	1
Brzina tiska	2	2	2	2	1	3	1
Složenost tehnološke izvedbe	1	1	1	1	3	3	3
Zaštita	2	3	2	3	3	1	2
Ukupna ocjena	12	14	10	12	17	11	14

Iz tabličnih podataka vidljivo je kako najbolji ukupni zbroj ocjena po pitanju tehnologije otiskivanja na višeslojnim pločastim materijalima ima direktno otiskivanje s pastoznim tiskarskim bojama (10), dok najlošiji ukupni zbroj ocjena ima Inkjet (17). Kao jedine prednosti Inkjeta pokazale su se cijena utrošenog materijala i brzina tiska, dok su prednosti direktnog otiskivanja s pastoznim tiskarskim bojama mnogobrojnije. To su: kompatibilnost s pripreminim procesom, cijena utrošenog materijala, adhezija laminata te složenost tehnološke izvedbe.

Formirani otisak nije stabilan i potrebno ga je zaštititi od raznih uzročnika degradacije. Zbog toga postoje različiti načini zaštite kartica kao što su površinsko premazivanje, nanašanje prozirnih laminata i nanašanje zaštitnih poliesterskih laminata. Poliesterski laminati mogu sadržavati i hologramske slike, zaštitne slike visoke rezolucije te napredne optičke uređaje za zaštitu. Tako se pruža dodatna zaštita od mehaničkih i kemijskih oštećenja, ali i vrhunska zaštita od krivotvorenja [12]. U tablici 5., prikazana su svojstva različitih načina zaštite kartica od mehaničkih ili kemijskih oštećenja.

Tablica 5. Svojstva različitih načina zaštite kartica od meh. ili kem. oštećenja [12]

Karakteristike	Načini zaštite kartice od mehaničkih ili kemijskih oštećenja		
	Površinsko premazivanje od ruba do ruba	Premazivanje valjcima	Selektivno nanašanje poliesteru
Abrazijska otpornost	3	2	1
Kemijska otpornost	3	2	1
Lakoća delaminacije	1	1	3
Permeabilnost (otpornost na lom)	3	2	1
Izgled	2	2	3
Složenost tehnološke izvedbe	2	3	1
Mogućnost ugrađivanja zaštitnih elemenata	2	1	3
Ukupna ocjena	16	13	13

Iz tabličnih podataka može se vidjeti kako su premazivanje valjcima te selektivno nanašanje poliesteru po ocjeni izjednačeni. Izbor jednog od ta dva načina zaštite kartica od mehaničkih ili kemijskih oštećenja ovisi o tome od čega se točno kartica želi zaštititi. Tako će u slučaju abrazijske i kemijske otpornosti te otpornosti na lom selektivno nanašanje poliesteru dati bolje rezultate, dok će u slučaju jednostavnosti delaminacije te mogućnosti ugrađivanja zaštitnih elemenata bolji odabir biti premazivanje valjcima. Površinsko premazivanje od ruba do ruba je samo po lakoći delaminacije dobilo visoku ocjenu, što znači da je ono najlošiji odabir.

Laminati s poliesterskim slojem pružaju najbolju zaštitu od abrazije i kemijskih oštećenja. Oni se mogu nanijeti i preko gotovih kartica koje su prethodno personalizirano otisnute D2T2 termalnom sublimacijom. Ovakva tehnologija izrade osobito se koristi kod izrade važnih dokumenata kao što su osobne iskaznice i vozačke dozvole.

Također važna tehnologija parcijalne zaštite kartica temelji se na premazivanju. Tako će se prozirni površinski premaz debljine 3-4 mikrometra koristiti za zaštitu barkodova, potpisa te logotipa od abrazije i kemijskih oštećenja. Primjer uporabe su različite kartice za javni transport (godišnje, prepaid...) [12].

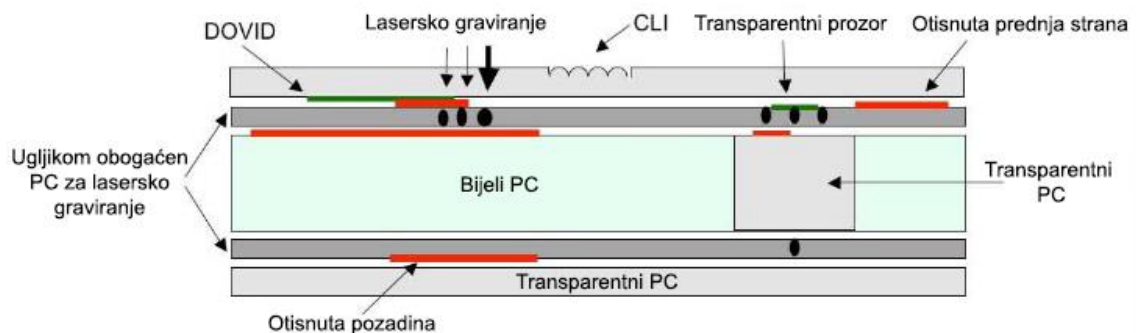
2.2.7. Polikarbonatne višeslojne kartice

Godine 1989., u Finskoj je prvi put uporabljena vozačka dozvola izrađena od polikarbonata. Od tada do danas, polikarbonat je postao jedan od najprimjerenijih materijala za izradu elektroničkih isprava. Tome ide u prilog finska putovnica koja je izdana 1997. te finska osobna iskaznica izdana 1998. [10].

Uz to što podržava tradicionalne sigurnosne značajke kao što su zaštitni tisak, sitotisak s optički varijabilnim bojama (eng. *Optically variable inks–OVIs*), hologrami i difraktivni optički varijabilni slikovni uređaji (eng. *Diffractive optically variable image devices–DOVIDs*), posebnost polikarbonata je u tome što omogućuje i izvođenje vrlo otpornih metoda zaštite od krivotvorenja koje se vide ljudskim okom. Neke od metoda koje se lako mogu provjeriti od strane nadležnih institucija su: varijabilno izrađene laserske slike (eng. *Changeable laser images–CLIs*), laserski ugravirane ireverzibilne informacije te transparentni prozori unutar tijela kartice koji imaju sličan efekt kao vodeni znak u papiru (eng. *clear windows*).

Kada se govori o osobnim dokumentima na polikarbonatu, njih dodatno karakterizira dodavanje velikog broja zaštitnih efekata. Neki od njih su: reljefni tisak u pozitivu ili negativu (koristi se za prepoznavanje dodirrom), *Guilloches*, iris tisak, kinegrami, uporaba UV vidljivih boja.

Specifičnost polikarbonata je nemogućnost delaminacije. Nemoguće je razdvojiti slojeve jer nisu lijepljeni već su međusobno spojeni primjenom povišene temperature i tlaka. Tijekom laminiranja, molekule u polikarbonatnim slojevima se rastaljuju i hlađenjem spajaju u tvrdi homogenu masu. Rezultat toga je tijelo kartice velike čvrstoće. Sa svrhom čuvanja zaštitnih karakteristika, kod proizvodnje osobnih dokumenata tijelo se izrađuje od više slojeva.. Na slici 5., prikazan je tipičan presjek gotove polikarbonatne kartice.



Slika 5. Presjek izrađene polikarbonatne kartice [10]

Svaki od izrađenih slojeva ima specifičnu ulogu. Tako će centralni sloj (koji je generalno neproziran i bijel) sadržavati antenu koja će omogućiti čitanje elektroničkog čipa bez dodira. Međuslojevi obično nose zaštitne elemente kao što su hologrami i optički varijabilne boje. Pošto se takve boje tiskaju u velikom nanosu, otiskuju se tehnikom sitotiska. Također, često se koristi međusloj s dodatkom ugljika koji podržava lasersku personalizaciju. Na krajevima se nanosi vanjski sloj koji sadrži reljefni tisak. On se osjeti na taktilni dodir čime nadopunjava varijabilnu lasersku sliku.

Svi zaštitni otisci i zaštitni efekti su stapanjem slojeva ugrađeni i zaštićeni unutar krutog tijela polikarbonatne kartice. Tako će svaki pokušaj nezakonitog manipuliranja dokumentom ostaviti vidljive tragove. Tome pridonosi i ireverzibilna personalizacija ostvarena laserskim graviranjem dokumenta koja rezultira stvaranjem vrlo precizne trajne crne oznake. Rezultat laserskog graviranja na polikarbonatu prikazan je na slici 6.



Slika 6. Primjena laserskog graviranja na polikarbonatu [10]

Ova tehnika se prvenstveno koristi za personalizaciju praznog dokumenta s informacijama o posjedniku (realizacijom teksta i fotografije posjednika). Realizirana slova i brojke crne su boje i mogu imati prepoznatljivu teksturu, dok je slika izraženog kontrasta, crno - bijela ili s nijansama sive. *Laser Sealer* proces kombinira izradu *Guilloches* i fotografije na takav način da se svaki daljnji pokušaj laserskog graviranja nakon službene personalizacije dokumenta vrlo lako prepozna.

Suvremene polikarbonatne kartice također omogućuju personalizaciju u boji (kao što je fotografija posjednika). One se kreiraju pomoću stranično neispravnog tiska baziranog na D2T2 tehnici termalne sublimacije. Međutim, ukoliko se koristi smjesa polikarbonata i nekog drugog polimernog materijala, neće se osigurati svojstvo nemogućnosti delaminiziranja te će biti smanjena mogućnost očuvanja zaštitnih karakteristika otiska [10].

2.3. Otiskivanje na polikarbonatu

U grafičkoj industriji se u posljednjih 20-ak godina može uočiti porast korištenja UV tehnologije otiskivanja, čime je osigurano trenutno sušenje na neupojnim tiskovnim podlogama. Za aktivaciju sušenja obavezno se koristi kratkovalno UV zračenje čiji elektromagnetski spektar leži unutar valnih duljina od 200 nm do 380 nm. Radi lakše analize, UV spektar se dijeli na tri područja: UV-A, UV-B i UV-C.

UV-A područje je najbliže vidljivom dijelu spektra (od 315 nm do 380 nm) i koristi se za sušenje debelih nanosa lakova jer može prodrijeti u duboke slojeve otiska. UV-B područje je kraćih valnih duljina (od 280 nm do 315 nm) te se koristi za sušenje debljih nanosa boja i lakova. UV-C područje je područje najkraćih valnih duljina (od 200 nm do 280 nm) i trenutno može osušiti gotovo sve UV boje i premaze, no samo na površini otisnutog sloja [13].

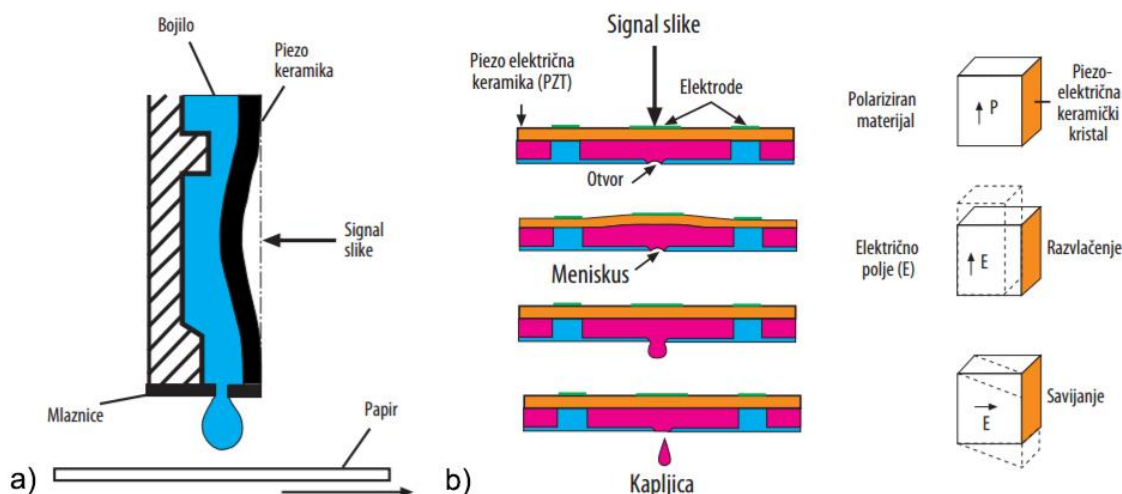
Zbog neupojnosti podloge, tisak na polikarbonat vrlo je zahtjevan tiskarski proces. To znači da se klasične tiskarske boje koje suše oksipolimerizacijom i upijanjem ne koriste za tu namjenu, već se koriste UV sušecije boje. Njegovo otiskivanje se najčešće vrši tehnologijom bezvodnog ofseta s UV sušecim bojama. Međutim, danas je moguće i otiskivanje beskontaktnom Inkjet tehnologijom s UV sušecim bojama.

2.3.1. UV Inkjet

Kod Inkjet tiska tekuća se boja u obliku kapljica (pomoću mlaznica) izbacuje na tiskovnu podlogu tvoreći tako pojedinačne tiskovne elemente. Prema principu špricanja, ovu tehniku može se podijeliti na kontinuiranu i diskontinuiranu - DOD (eng. *Drop on Demand*). Unutar te podjele postoji mogućnost dodatnog rangiranja, a to je da kod kontinuiranog Inkjeta postoje sustavi višestrukog i binarnog skretanja, a kod diskontinuiranog Inkjeta tri načina formiranja kapljica (Piezo, termalni/*Bubblejet* i elektrostatski Inkjet).

Za razliku od konvencionalnih tehnika tiska, kod Inkjeta se boja ne prenosi na podlogu direktnim kontaktom, već oslobađanjem sićušnih kapljica tekućine iz mlaznica. Pritom se rasterski elementi značajno povećavaju te su u odnosu na veličinu kapljice dvostruko veći kada je otisak formiran. Prilikom udara kapljice u podlogu obavezno dolazi do raspršenja, a dodatno proširenje kapljice događa se prilikom penetracije boje u papir. U konačnici, tek s isparavanjem otapala iz boje formira se konačni otisak [13].

Kod Piezo Inkjet tehnologije, kapljice se formiraju mehaničkom deformacijom mikronske mlazne komore. Da bi ta deformacija nastala, u komori se nalazi piezo kristalni element. On je polarizirani materijal koji mijenja oblik tijekom promjene električnog polja. Po primitku signala iz računala, piezo kristal mijenja oblik, a time i volumen mlazne komore. Povratkom u prvobitni oblik ostvaruje se povećanje pritiska u komori, što dovodi do izbacivanja boje kroz mlaznicu (slika 7) [14].



Slika 7. Princip piezo Inkjeta: a) presjek jedne mlaznice, b) formiranje kapljice uslijed pomaka piezoelektričnog kristala [14]

Kod Inkjet pisača, koriste se rijetke boje dinamičke viskoznosti od 1 do 10 mPa·s koje najčešće suše penetracijom i hlapljenjem. Konačni nanos Inkjet boja na tiskovnoj podlozi najčešće je debljine oko 0,5 μm . Zbog takvog mehanizma sušenja, za postizanje kvalitetnije reprodukcije potrebno je koristiti posebne tiskovne podloge (veće površinske upojnosti) kako bi se spriječio nastanak efekta „površinskog mrljanja“. Karakteristike Piezo Inkjet tehnologije su dijametar kapljica od 5 μm do 30 μm te volumen kapljica od 2 pl do 14 pl. Otisci dobiveni tom tehnologijom imaju određene nedostatke. To su: nedovoljna otpornost na temperaturu, vlagu i svjetlost [14].

U tehnologiji Piezo otiskivanja mogu se koristiti različiti tipovi boja. Samim time mogu se koristiti i agresivnije UV boje čiji sastav ne djeluje na ispisne glave [14]. Za mogućnost produktivnijeg tiska tako neće biti potrebno mijenjati karakteristike ispisne glave, već njihov broj po dužnoj površini. To znači kako će unutar jednog modula biti povezano i nekoliko stotina pojedinačnih ispisnih glava.

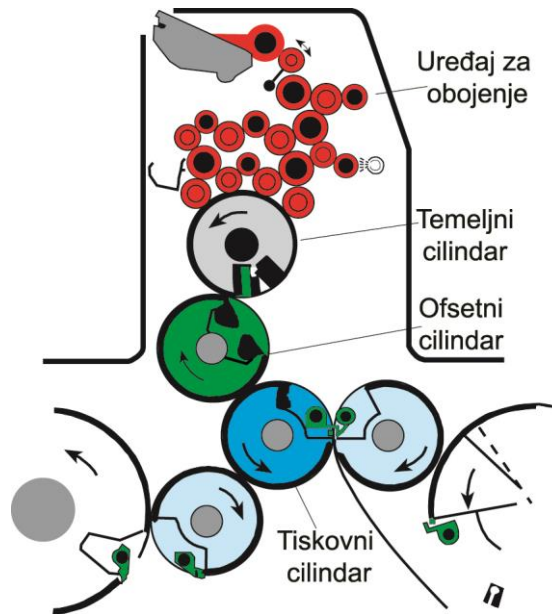
Kako bi boja bila prilagođena tehnici otiskivanja, mora imati kontroliranu viskoznost. To znači da tijekom tiska mora imati i točno definiranu temperaturu (sobna temperatura). Bitna je i površinska napetost Inkjet boje koja također mora biti prilagođena tipu korištene pisaće glave. Debljina nanosa boje ostvarene ovom tehnologijom može iznositi i do 15 μm . Međutim, za ostvarivanje tako velikih nanosa, mora se provoditi UV sušenje sa niskim elektromagnetskim valovima. Stoga stvaranje optimalne količine boje mora biti u

korelaciji s koncentracijom fotoinicijatora u boji. Ukoliko se radi o višebojnom tisku, nanos Inkjet boje može iznositi i do 20 μm , što zahtjeva još veću izloženost UV zračenju za sušenje. Na žalost, to može dovesti do zagrijavanja tiskovne podloge. Za sušenje polikarbonata najčešće se koristi kombinacija sva tri područja UV spektra. To znači da u prvom sušaču lampe emitiraju dugovalno UV zračenje (osiguravaju adheziju boje na podlogu), a u drugom sušaču lampe emitiraju kratkovalno UV zračenje (suše površinski sloj boje). Kako je frekvencija izbacivanja kapljica mala (između 5 i 40 kHz), mala je i brzina produktivnog tiska (oko 0,5 m/s) [13].

2.3.2. *Bezvodni ofset*

Za razliku od konvencionalnog ofseta, kod bezvodnog ofseta ne koristi se otopina za vlaženje. Zbog toga se koristi posebna metalna tiskovna forma, obavijena silikonskim slojem koji se tijekom izrade tiskovne forme uklanja sa osvijetljenih područja i stvara tiskovne elemente. Mjesta koja su neosvijetljena tako ostaju nepromijenjena i stvaraju slobodne površine.

Kao i u konvencionalnom ofsetnom tisku, slika i tekst se sa tiskovne forme zatim prenose na cilindar s ofsetnom gumenom navlakom te se s njega boje otiskuju na podlogu (najčešće papir). Razvijanjem tehnike bezvodnog ofseta, došlo se do mogućnosti tiska na sve vrste papira i kartona. Tako je moguć dobar tisak na hrapave papire i kartone, kao i na tanke visokotransparentne papire, premazane i mat papire te mnoge druge papire koji su namjerno ohrapavljeni u svrhu postizanja različitih strukturnih efekata. Također, ovom tehnikom je moguće vršiti otiskivanje tankih plastičnih folija, laminata i materijala kaširanih aluminijskom folijom. Samim time, bezvodni ofsetni tisak može se koristiti u tisku ambalaže i različitih pločastih polimernih materijala [15]. Na slici 8., prikazana je tiskarska jedinica bezvodnog ofsetnog tiskarskog stroja.



Slika 8. Tiskarska jedinica bezvodnog ofsetnog tiskarskog stroja [16]

U mnogim istraživanjima provedenim od strane Međunarodne udruge za bezvodni ofset uspoređeni su otisci otisnuti klasičnim ofsetom i bezvodnim ofsetom s ciljem određivanja kvalitete reprodukcije. Pritom su korištene iste podloge, kao i isti uvjeti. Zamijećeno je da se kod bezvodnog ofsetnog tiska javlja manji prirast rastertonskih vrijednosti. Rubovi rasterskih elemenata su oštrije otisnuti i ranije se postiže željena gustoća obojenja čime otisak izgleda nešto sjajnije. Ostvareni manji prirast rasterskih točkica omogućuje bolju reprodukciju sitnih detalja te tisak većih linijatura rastera (kod bezvodnog ofseta do 300 lpi, dok se kod klasičnog ofseta postiže oko 200 lpi). U klasičnom ofsetu linijature veće od 200 lpi ostvaruju veće priraste (eng. *dot gain*) što dovodi do zapunjenja rastera i smanjenja tonske reprodukcije. Isto tako, uočljivo je kako se kod tehnike bezvodnog ofsetnog tiska postiže bolji tiskarski kontrast i veća jasnoća otiska [15]. Na slici 9., prikazani su primjeri otisaka višebojne reprodukcije te usporedba kvalitete između otisaka bezvodnog i klasičnog ofsetnog tiska.



Slika 9. Primjeri otisaka višebojne reprodukcije te usporedba kvalitete između otisaka bezvodnog i klasičnog ofsetnog tiska [15]

Budući da se kod bezvodnog ofseta ne koristi otopina za vlaženje, postiže se veća kvaliteta otisaka na recikliranim i nepremazanim papirima. Samim time ne može doći do nekontroliranog rastezanja papira i pomicanja pasera što je posljedica prevelike količine vode na tiskovnoj formi. Zbog toga što nema utjecaja sistema za vlaženje ne dolazi do varijacije nanosa boje tijekom tiska.

Bezvodni ofsetni tisak smatra se ekološki prihvatljivijim od klasičnog ofsetnog tiska. Jedan od razloga je nekorištenje 2-propanol alkohola koji se smatra jednim od najvećih onečišćivača u grafičkoj industriji. Drugi je razlog veliko smanjenje potrošnje vode (oko 250 000 litara po četverobojnom stroju godišnje). Oba ta faktora omogućuju bržu pripremu stroja što dovodi do manjih količina makulature, a time i uštede papira.

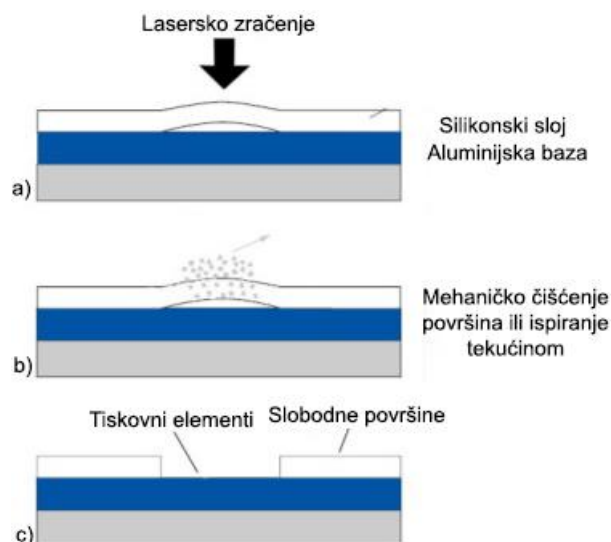
Bezvodni ofset ima i svoje nedostatke. Oni se mogu pronaći u manjoj izdržljivosti tiskovne forme i isplativosti samo pri tisku manjih naklada. Da bi se bezvodni ofset koristio, potrebno je koristiti skuplji repromaterijal, kao i skuplje tiskarske boje. Također, nedostatak su i strojevi koji su manjih formata i manjih radnih brzina. Posebni nedostatak je i manjak educiranog osoblja. Zbog malog broja instalacija nije jednostavno naći radnike koji bi radili na ovakvim strojevima te ih je potrebno dodatno educirati [15].

2.3.2.1. Tiskovna forma za tehniku bezvodnog ofseta

Tiskovna forma za bezvodni ofsetni tisak potpuno je drugačije građe od konvencionalnih monometalnih formi za plošni tisak. Kod nje se tiskovni elementi nalaze gotovo u ravnini sa slobodnim površinama, stvarajući tako mikronski plitke udubine u kojima se zadržava tiskarska boja (koja se odbija od silikonskih površina). Tiskovni elementi su pritom oleofilni, a slobodne površine oleofobne.

Osnova tiskovne forme izrađuje se od aluminijskog lima, a na nju se nanosi sloj fotoosjetljivog polimera. Na samom kraju nanosi se sloj silikonske gume. Kako bi se spriječilo ljuštenje aluminijske baze, između aluminijskog lima i sloja fotoosjetljivog polimera može se pronaći i međusloj. Osnovni sloj morat će apsorbirati svjetlo reflektirano od baze, što je važno za postupak izrade tiskovne forme. Na samom vrhu tiskovne forme nalazi se zaštitna folija koja štiti silikonski gumeni sloj od oksidacije i ogrebotina te se skida neposredno prije kopiranja [15].

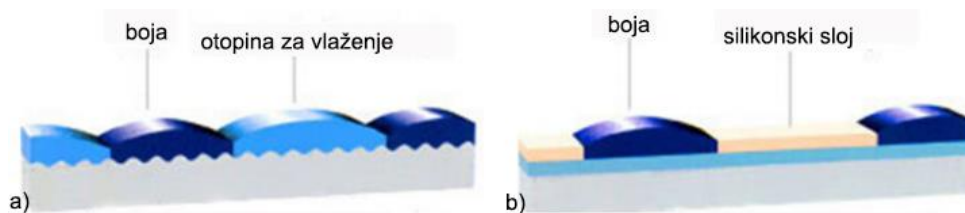
Kod bezvodnog ofseta tiskovna forma obavezno sadržava oleofobni silikon. Kako bi se dobili tiskovni elementi, potrebno je skinuti površinski silikonski sloj. To se može provesti klasičnom metodom, ali i računalno upravljanim toplinskim laserom. Ukoliko se laserska glava smjesti uz tiskovnu jedinicu, rezultat je automatska izrada tiskarske forme u stroju koja je poznata pod nazivom „*Computer to Press*“ (CtP). Na taj način, priprema stroja i izrada tiskovne forme izvršavaju se za svega 15 minuta, čime višebojni ofsetni tisak postaje ekonomski isplativ i u manjim nakladama [16]. Na slici 10., prikazan je proces termalne ablacije na tiskovnoj formi za bezvodni ofsetni tisak.



Slika 10. Proces termalne ablacije na tiskovnoj formi za bezvodni ofsetni tisak [15]

Ovisno o tome koristi li se pozitivski ili negativski predložak, razlikuju se pozitivske i negativske besprocesne tiskovne forme. Tiskovna forma za bezvodni ofset može izdržati oko 15 000 otisaka, a klasična ofsetna ploča oko 200 000. To pokazuje kako je bezvodna tehnika tiska pogodna za tisak samo malih i srednjih naklada.

Da bi prijenos boje s uređaja za obojenje na tiskovnu površinu tiskovne forme bio moguć, adhezija boje na tiskovne elemente morat će biti veća od kohezije unutar boje. Kako se tiskarska boja ne bi hvatala na slobodne površine, adhezija tiskarske boje na njima mora biti manja od kohezije unutar boje. Na slici 11., prikazani su presjeci tiskovnih formi za klasični ofsetni tisak te bezvodni ofsetni tisak, zajedno s ofsetnom bojom koja je prihvaćena od strane tiskovnih elemenata.



Slika 11. Presjek tiskovne forme za: a) klasični ofsetni tisak, b) bezvodni ofsetni tisak [15]

Velik značaj za uspješan proces otiskivanja imaju i suprotnosti površinskih napetosti tiskovne forme i tiskarske boje. Tako je moguće točno odrediti razliku između površinske napetosti silikonskog sloja i površinske napetosti tiskarske boje. Tom razdvajanju (odbijanju) pridonosi i formiranje međusloja (tanak sloj mineralnog ulja na površini tiskovne forme) koji mora biti pravilno raspoređen po tiskovnoj formi kako bi jednolično djelovao na čitav tiskarski arak [15].

2.3.2.2. Tiskarska boja za tehniku bezvodnog ofseta

Uz tiskovnu podlogu, na kvalitetu konačnog grafičkog proizvoda utječe i tiskarska boja. Zbog toga je često potrebno provesti istraživanja vezana uz pogodnost tiskarskih boja i tiskarskih podloga za primjenu u bezvodnom ofsetnom tisku.

Jedan od problema predstavlja različito prihvaćanje tiskarske boje na različito obrađene površine (uz djelovanje većih sila i velike topline). S obzirom na tiskovnu formu koja na sebi sadrži različite površinske energije, nije moguće koristiti klasične ofsetne boje, već specijalne boje točno prilagođene viskoznosti (većeg koeficijenta dinamičke viskoznosti od onih korištenih kod klasičnog ofsetnog tiska). Kako selektivno prihvaćanje boje na površinu tiskovne forme ovisi o viskoznosti boje, potrebno je da viskoznost bude stabilna kroz cijeli proces. Radni temperaturni raspon tako ne smije utjecati na viskoznost. Kako bi se viskozitet održavao stalnim, valjci za nanos boje moraju biti temperirani te se samom temperaturom razvijajućih valjaka utječe na prijenos boje. Pri niskoj temperaturi valjaka boja je gusta i teže se prenosi na slobodne površine. S druge strane, pri visokoj temperaturi, boja je rjeđa te se loše prenosi na tiskovne elemente [15]. Zbog toga je optimalno održavati boju na radnoj temperaturi od 28°C do 32°C [17].

Također, vrlo je bitno naći odgovarajuće vezivno sredstvo u boji. Boje korištene u ovoj tehnici tiska su brzosušec i suše principom oksipolimerizacije. Zbog toga se mora raditi sa niskoaromatičnim mineralnim uljima te smolama koje se mogu primijeniti samo za proizvodnju takvih boja. Ne postoje ograničenja vezana za tip pigmentata i njihovu količinu. Međutim, iznimka su žuta i crna boja kod kojih postoje određene otežavajuće okolnosti. Naime, kod tiska mokro na mokro, ako se kao prva otiskuje crna boja njena ljepljivost mora biti maksimalna, što dovodi do povećane opasnosti od čupanja papira. Kod žute boje problem je na valjcima za nanašanje gdje se zbog veće pigmentiranosti te velike debljine nanosa boja suši i loše transferira [15].

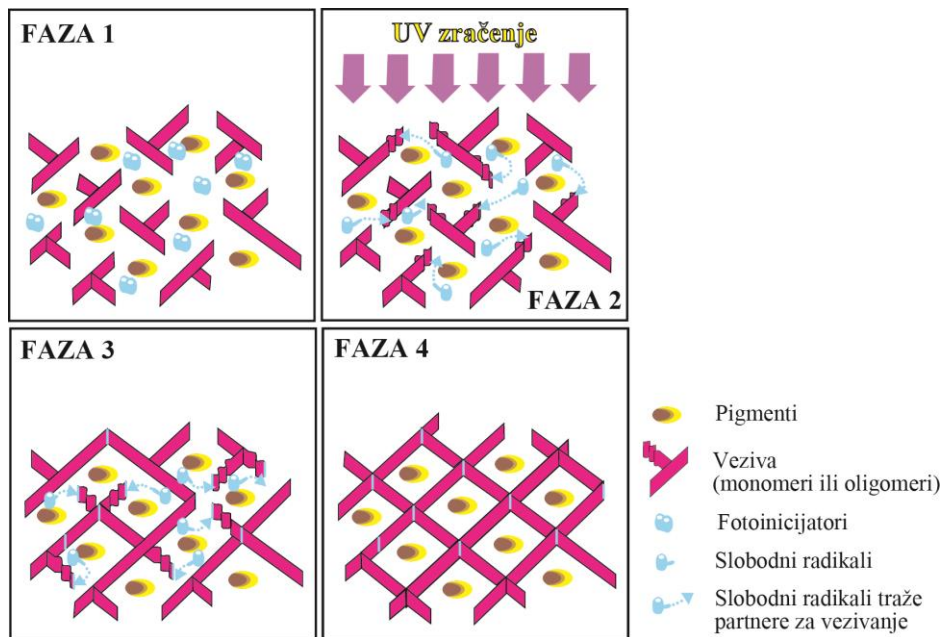
Zbog velike ovisnosti o toplini, pri zagrijavanju se javljaju poteškoće sa toniranjem otiska. Stoga proizvođač boja iz Japana uvodi pojam „indeks kritičnog toniranja“. Pritom su definirana tri područja za tiskarske boje za bezvodni ofset: meke boje (od 33°C do 36 °C), srednje tvrde boje (od 37°C do 40 °C) te tvrde boje (od 41°C do 44 °C).

Kako se kod tehnike bezvodnog ofsetnog tiska ne koristi se otopina za vlaženje, tijekom tiska dolazi do većeg trenja među valjcima i zagrijavanja tiskarske boje. Ponekad učinak trenja i zagrijavanja može biti toliko jak da dovodi do deformacija u tisku te oštećenja tiskovne forme, gumene navlake pa čak i nekih dijelova samog tiskarskog stroja. Kako su gumene navlake na ofsetnom cilindru vrlo bitne u otiskivanju, nedopustivo je da dođe do njihovog oštećenja i gubitka svojstava transfornosti (kompresibilnost i malo adhezijsko djelovanje). Istraživanjima u bezvodnom ofsetu došlo se do spoznaje kako temperatura na površini gumene navlake ne bi smjela prelaziti preko 40 °C, jer se u protivnom mogu javiti problemi sa prihvaćanjem i kasnijim otpuštanjem tiskarske boje što u konačnici utječe na dimenzionalnu stabilnost otiska. Zbog toga, tiskarska boja jednim dijelom mora zamijeniti djelovanje otopine za vlaženje, što se postiže izradom posebnih tipova boja (odgovarajućeg sastava i izborom komponenti netipičnih za klasični ofsetni tisak). Naravno, to dovodi do viših cijena boja i tiskovnih formi za bezvodni ofsetni tisak [15].

2.3.2.2.1. UV sušee boje

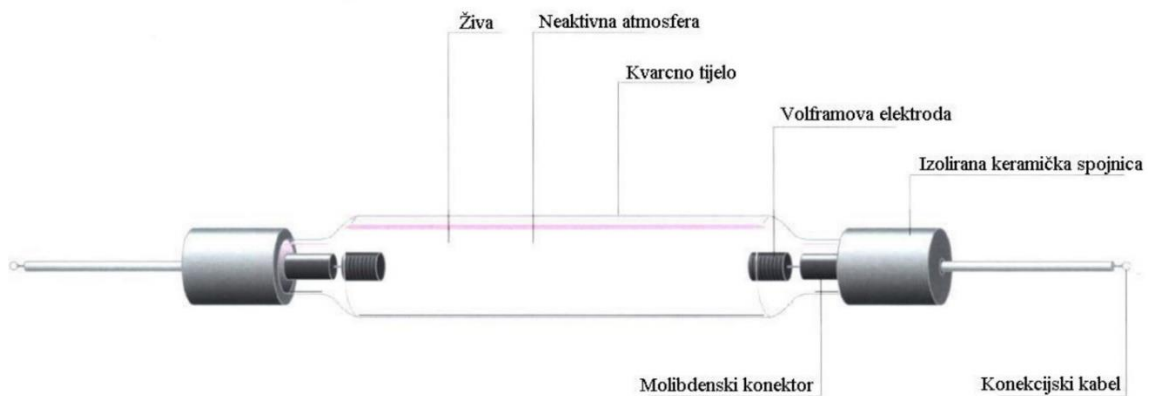
Kod svih UV sušeeh boja sušenje se vrši pomoću UV elektromagnetskog zračenja pri čemu ne dolazi do većeg isparavanja otapala iz boje. Samim time ne dolazi do onečišćenja okoline i smanjenja nanosa boje (otisci su kvalitetniji i postojaniji).

Primjenom UV zračenja u grafičkoj industriji započinje proces aktivacije fotoinicijatora u boji te se nastavlja procesom ionizacije i disocijacije monomernih molekula. Fotoinicijatori se nakon izlaganja UV svjetlosti aktiviraju i pretvaraju u slobodne radikale koji zbog slobodnog elektrona traže vezu za spajanje. Tako dolazi do vezanja slobodnih polimera i oligomera koji u konačnici tvore dugačke lance i između sebe fiksiraju pigmente boje. Faze procesa sušenja UV boja prikazane su na slici 12.



Slika 12. Faze procesa sušenja UV boja [13]

UV tehnologija sušenja prvi put je predstavljena 1960. godine i tada su primijenjene živine elektro-lučne lampe. Od tada do danas, one su postale svojevrsni standard svjetlosnog izvora. Živine elektro-lučne lampe dominantno zrače u UV području, no jednim dijelom i u vidljivom spektru. To se može zahvaliti samoj konstrukciji UV živinih lampi. Na slici 13., dan je shematski prikaz tipične živine elektro-lučne lampe.



Slika 13. Shematski prikaz živine elektro-lučne lampe [13]

Unutar cijevi od kvarcnog stakla (koje je otporno na visoke temperature i propušta preko 90% UV zračenja) nalazi se živa. Sa svake strane cijevi smještene su elektrode (najčešće volframove), a u prostoru između njih se nalazi inertan plin (uobičajeno argon). Oslobođeni elektroni iz katode dovesti će do ionizacije plina, čime dolazi do zatvaranja električnog luka, a plin postaje provodljiv. Do isparavanja žive i emisije svjetlosti u UV području dolazi uslijed zagrijavanja unutrašnjosti cijevi i stvaranja kinetičke energije. Živa emitira širok spektar valnih duljina i zahvaljujući tome omogućuje sušenje raznih premaza i boja. Negativna strana emisije širokog spektra UV valnih duljina jest veća potrošnja energije. Odnosno, aktivacijom lampe dolazi do gubitka svog zračenja koje nije iskorišteno za iniciranje polimerizacije u otisku. Također, nedostatak je i zračenje u UV-C dijelu spektra koji je opasan za ljudsko zdravlje. Dodatna činjenica je da uslijed prekomjernog zračenja i zagrijavanja dolazi do zagrijavanja cjelokupnog sustava, zbog čega je obavezno potrebno hlađenje lampi. Vijek živinih lampi iznosi od 1000 do 5000 sati, što je vrlo malo u usporedbi sa vijekom UV LED izvora svjetlosti koji iznosi više od 10 000 sati. Ipak, živine lampe se vrlo lako održavaju i početna investicija je puno niža od UV LED izvora [13].

2.3.2.3. Dodatno hlađenje tiskovne jedinice za bezvodni ofset

Kako se kod bezvodnog ofseta ne koristi otopina za vlaženje, uslijed trenja dolazi do porasta temperature tiskovne jedinice. To za indirektnu posljedicu ima smanjenje viskoznosti boje. Pritom, promjena temperature od jednog stupnja dovodi do relativne promjene viskoznosti boje od 20% (porast temperature za dva stupnja dovodi do relativne promjene viskoznosti boje od 40%). Iz tog razloga je tiskovnu jedinicu je obavezno potrebno dodatno hladiti. Gotovo isti problem javlja se i kod fleksotiska, međutim, u tom slučaju se rješava hlađenjem aniloks valjaka [17].

Trenutno se na tržištu bezvodnog ofseta primjenjuje nekoliko karakterističnih strojeva. To su: Heidelberg Quickmaster DI 46-4, KBA 46 Karat, Ryobi 3404DI. Oni se međusobno razlikuju po konstrukciji tiskovne jedinice, pri čemu postoje tri karakteristična dizajna: a) satelitska konstrukcija, b) tandem konstrukcija s dva tiskarska kućišta, c) tandem konstrukcija s četiri tiskarska kućišta.

Kod klasičnog ofsetnog tiska, temperatura uređaja za obojenje treba biti kontrolirana u rasponu od 28°C do 32°C, ovisno o tome radi li se o *heatsetnom* ili *coldsetnom* ofsetnom stroju te tome da li je tiskovnu jedinicu potrebno kontrolirati. Ukoliko kontrola temperature nije primijenjena, i kod klasičnog i kod bezvodnog ofseta dolazi do neželjnih posljedica. Tako se u slučaju preniske temperature povećava viskoznost boje što dovodi do debelih nanosa i problema sa sušenjem. Pri niskim temperaturama dolazi i do povećane ljepljivosti boje te do njenog cijepanja i lošeg *trappinga* (lošeg prihvaćanja boje na prethodno otisnutu boju). S druge strane, ukoliko je temperatura tiskovne jedinice previsoka, viskoznost boje se smanjuje čega je posljedica mala gustoća obojenja na otisku. Kod bezvodnog ofseta u slučaju previsoke temperature dolazi do premale ljepljivosti boje što uzrokuje mazanje otiska (selektivno prihvaćanje boje na slobodne površine).

Način temperaturene kontrole direktno ovisi o konstrukciji uređaja za obojenje. Tako se kod klasične (duge) tiskovne jedinice temperatura kontrolira na duktorima i razribačim valjcima. Pritom, je moguća višezonska temperaturna kontrola (hlađenje svih jedinica odjednom) koja se obično koristi i kod tiska na arke i kod tiska iz role. Drugi tip izvedbe je jednozonska temperaturna kontrola (hlađenje svake jedinice zasebno) koja se koristi samo kod visokokvalitetnog tiska na arke.

Kod kratke tiskovne jedinice temperatura se kontrolira na aniloks valjcima i temeljnim cilindrima. Bez obzira na to da li je tisak na arke ili iz role, uvijek se koristi jednozonska temperaturna kontrola te se svaka jedinica hladi zasebno (svaki aniloks valjak i svaki temeljni cilindar se također zasebno hlade). Iznimka je stroj Cortina (hlađenje u parovima). Sustav za hlađenje može biti tvornički ugrađen u stroju. Također, postoji mogućnost dogradnje i naknadnog ugrađivanja od strane proizvođača uređaja za hlađenje. Hoće li izvedba hlađenja biti unutarnja ili vanjska ovisi o formatu, a da li će hlađenje biti jednozonsko ili višezonsko ovisi o brzini primijenjenog tiska [17].

Kontrola temperature može se provoditi hlađenjem i grijanjem te grijanjem na zahtjev. Pritom se u takvim sustavima kontrole temperature prate: individualne temperature (hlađene i grijane tekućine koja struji kroz stroj), tlak i volumen (količina hlađene i grijane tekućine koja je regulirana preko kontrolnog ventila), dovodna ili odvodna temperatura (miješana temperatura tekućine koja izlazi iz centralnog opskrbnog kabineta, „toplinskog

izvora“, i odlazi u tiskarski stroj, „toplinski odvod“), temperatura radne okoline, ciljana temperatura valjaka uređaja za obojenje te povratna temperatura (temperatura vode koja se vraća iz tiskarskog stroja u centralni opskrbeni kabinet). Uz kontrolu temperature i ostvarivanje optimalne viskoznosti boje, prednosti sistema za hlađenje su i u tome što osiguravaju stabilnost ostalih komponenata stroja (cilindri tiskovne jedinice, tiskovne forme, Rilsan valjci, gumeni valjci...).

Vrlo je bitno da sve površine imaju praktično istu temperaturu kako bi reološke karakteristike boje ostale precizno prilagođene (unutar $0,1^{\circ}\text{C}/\text{cm}^2$). Iz toga se može zaključiti kako jedna cirkulacijska temperaturna kontrola nije dovoljna za cijeli tiskarski stroj (održavanje konstantne temperature uređaja za obojenje, tiskovne forme koja se montira bez alata (eng. *keyless*) i aniloks valjaka). Kako ostvarena gustoća punog tona ovisi o devijaciji viskoznosti boje i kontroli temperature aniloks valjaka, vrlo je bitno temperaturu održavati konstantnom. Iz tog razloga, svaka tiskovna forma montirana bez alata, svaki uređaj za obojenje i svaki aniloks valjak moraju biti zasebno temperaturno kontrolirani.

Trenutno na tržištu postoji čitav niz uređaja za hlađenje. Najpoznatiji proizvođači su: Axima, Baldwin, Elettra, Grafic ConTemp, Grapho – Metronic, KBA, Master Flo, MGE Print, Quint sdi, RKJ Druck – temperierung i Technotrans. Ovisno o veličini strojeva i brzini tiska, uređaji za hlađenje mogu se dodatno razlikovati. Tako npr., kod Technotransa postoji nekoliko izvedbi ovisno o tome radi li se o tisku na arke (modeli: alpha.t/.k, beta.t, aplha.c, beta.c, beta.c eco, beta.z), odnosno iz role (modeli: delta.t/.k, gamma.t/.k, delta.c,gamma.c, delta.z) [17].

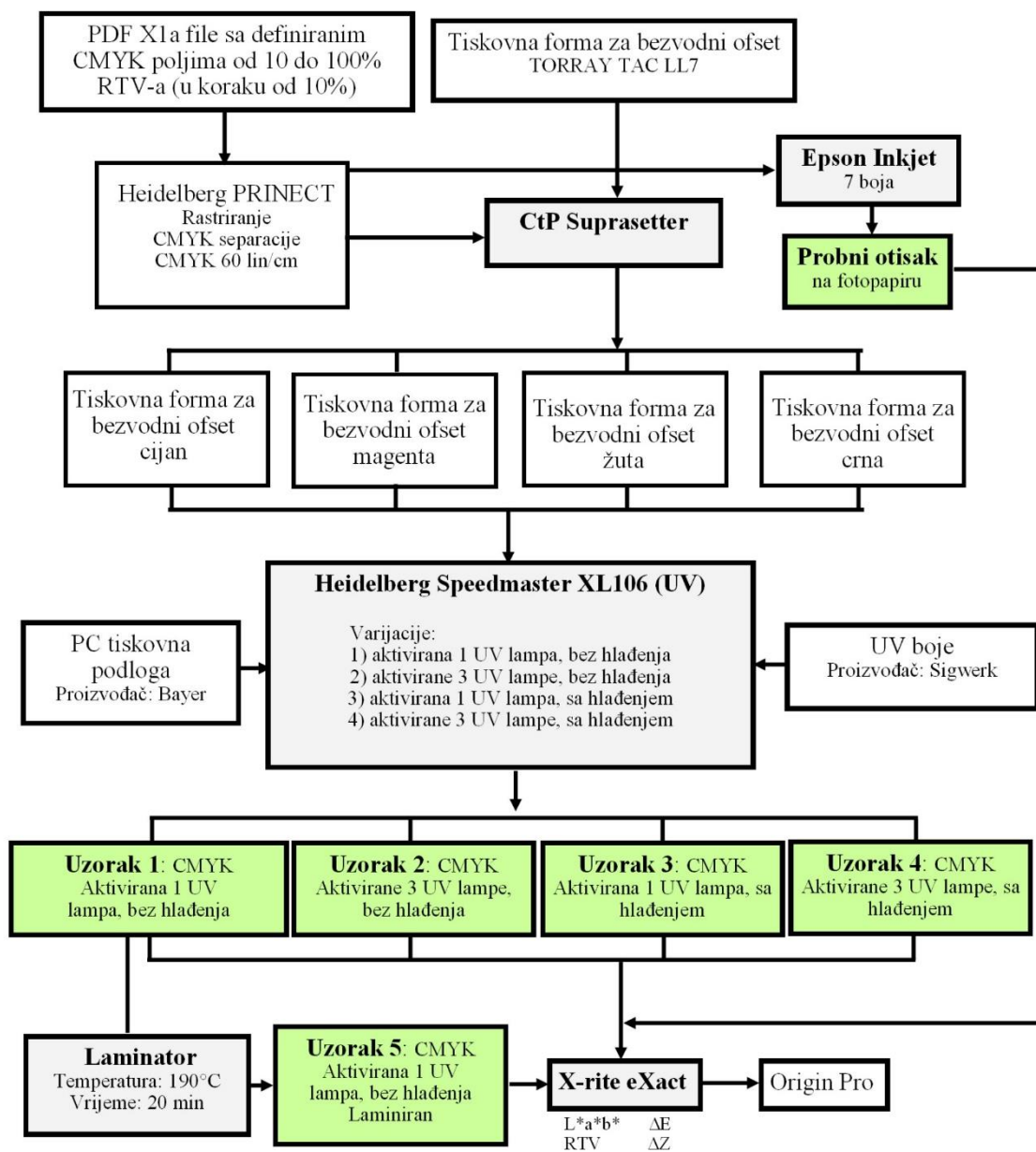
3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Metodologija rada

Za potrebe diplomskog rada napravljena je specijalna CMYK PDF tiskovna forma koja je sadržavala polja od 10% do 100% RTV-a (u koraku od 10%). U formatu PDF X1a prebačena je u RIP Heidelberg PRINECT pri čemu je primijenjen raster od 60 lin/cm. Digitalne CMYK separacije osvijetljene su pomoću termalnog Heidelberg CtP-a, tvorničkog naziva Suprasetter. Tako su formirane 4 tiskovne forme formata B1 za bezvodni ofset (TORRAY TAC LL7).

Otiskivanje je izvršeno na stroju Heidelberg Speedmaster XL 106 uz primjenu UV boja (proizvođač: Sigwerk) i polikarbonatne tiskovne podloge (proizvođač: Bayer). Primjenom dvije temperature hlađenja i varijacijom dvije snage svjetlosnog UV izvora (1 lampa i 3 lampe) ostvarena su 4 karakteristična uzorka (**uzorak 1**: otisak nastao bez hlađenja uz sušenje s jednom UV lampom, **uzorak 2**: otisak nastao bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe, **uzorak 3**: otisak nastao sa hlađenjem uz sušenje s jednom UV lampom, **uzorak 4**: otisak nastao uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe). Uzorak 1 je i dodatno laminiran (izložen povišenom tlaku i temperaturi od 190 °C u trajanju od 20 min) čime je dobiven **uzorak 5**.

Na svim nastalim uzorcima uređajem X-Rite eXact izvršena su spektrofotometrijska i kolorimetrijska mjerenja uz sljedeće postavke: M1 uvjet mjerenja, 2° standarni promatrač, *density* status E. Vrijednosti dobivene mjerenjima uspoređene su s izmjerenim vrijednostima klasičnog probnog otiska otisnutog na Epson Inkjet-u (7 boja) koji kolornim vrijednostima zadovoljava FOGRA PSO standard. Iz izmjerenih vrijednosti u programu OriginPro izrađeni su sljedeći dijagrami: denzitometrijske krivulje reprodukcije za CMYK otiske, 3D krivulje obojenja CMYK otisaka, kolorne razlike CIELAB ΔE . Shematski prikaz izvršenog eksperimenta prikazan je na slici 14.



Slika 14. Shematski prikaz izvršenog eksperimenta

3.2. Korišteni strojevi, materijali i mjerni uređaji

3.2.1. Heidelberg Speedmaster XL 106

Eksperimentalni uzorci otisnuti su na visokoautomatiziranom stroju Heidelberg Speedmaster XL 106 (slika 15) čija se inovativna rješenja očituju u mogućnosti primjene za tradicionalni komercijalni tisak, tisak ambalažnih proizvoda, tisak naljepnica ili *web-to-print* aplikacija. Time su osigurane visoka produktivnost i efikasnost, uz jednostavno rukovanje.



Slika 15. Heidelberg Speedmaster XL 106 [18]

Speedmaster XL 106 opremljen je za sve izazove u tisku ambalažnih proizvoda. Potrebno je svega pet minuta između zadnjeg arka u nakladi do tiska ambalažnih proizvoda. Njegova velika prednost je brža, jednostavnija i čišća promjena boje, odnosno hitna priprema jedinice za obojenje (CMYK poslovi mogu ići u proizvodnju nakon manje od 60 početnih araka). Uz Prinect Inpress Control 2, prvi mjerni rezultati dostavljaju se nakon 30 araka, poslije čega se podešava registar te kreće kontrola boje. Ukoliko su postignute željene vrijednosti, tada može krenuti proizvodnja (na zahtjev automatski). Također, ovaj stroj je pravi odabir prilikom česte promjene poslova jer između zadnjeg arka u nakladi do prvog dobrog arka prođu samo tri minute. Uz navedeno, moguće je paralelno izvođenje više pripremnih procesa. Tako Hycolor Multidrive skraćuje vrijeme potrebno za pripremu stroja omogućavajući time istodobno pranje uređaja za obojenje te pranje ofsetnog i tiskovnog cilindra ili mijenjanje ploča. Također, nekorišteni uređaj za obojenje može se deaktivirati [19].

Tablica 6. Tehničke specifikacije stroja Heidelberg Speedmaster XL 106 [20]

Brzina otiskivanja (jednostrano)	Brzina otiskivanja (obostrano)	Minimalna veličina arka	Maksimalna veličina arka	Maksimalna veličina otiska
18000 araka/sat	15000 araka/sat	340x480 mm	750x1060 mm	740x1050 mm

3.2.2. Spektrofotometar i denzitometar X – Rite eXact

U radu je korišten denzitometar i spektrofotometar X – Rite eXact. Radi se o prijenosnom ručnom uređaju koji izmjerene vrijednosti sprema u računalo. Za njegovu kalibraciju ne postoji fizički standard, već je on integriran u uređaj, a kalibracija je automatska. Razlikuju se dva izvora svjetlosti: tip A (temperature svjetlosti od 2850 K) te UV LED. Postoje i različiti uvjeti mjerenja: M0 (nepolarizirano, bez filtera, uključen UV), M1 (D50), M2 (sa filterom koji isključuje UV) te M3 (sa polarizirajućim filterom) [13].

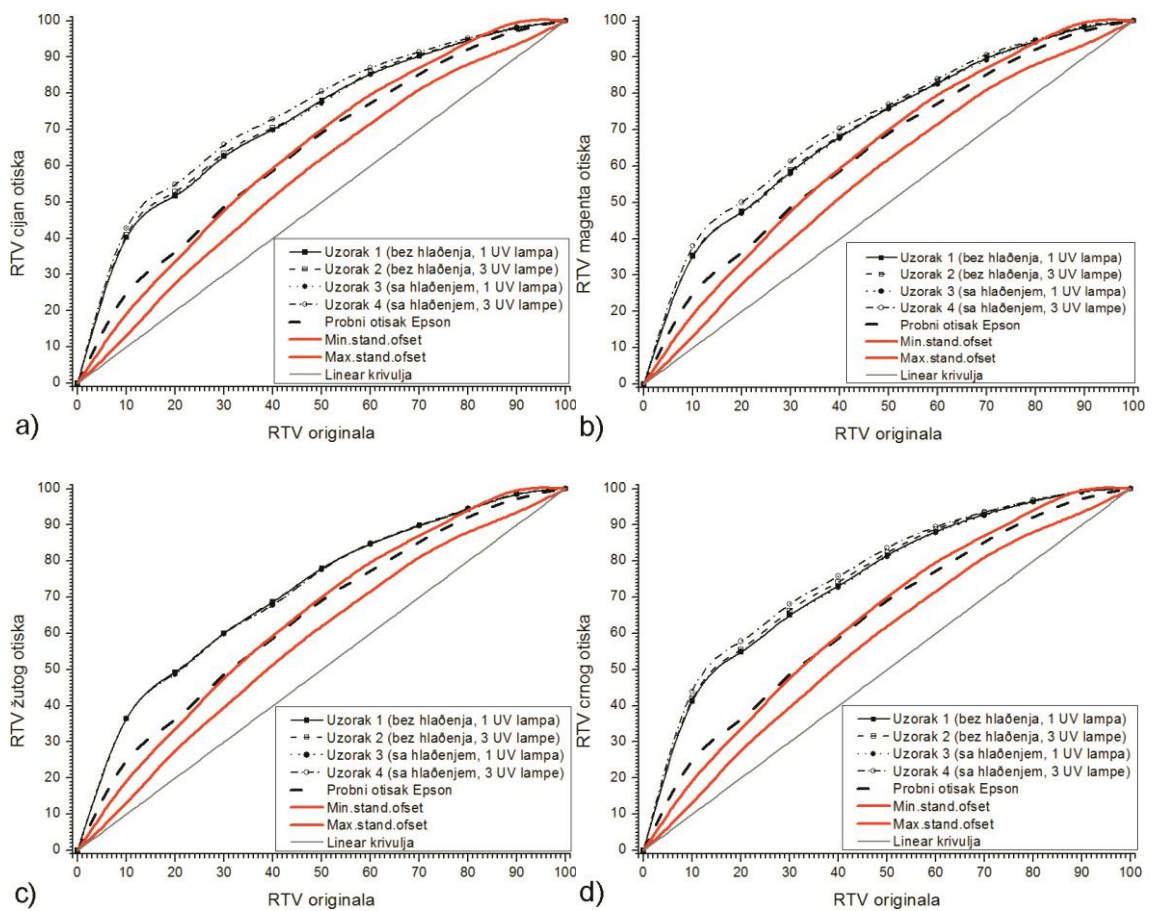
Tablica 7. Tehničke specifikacije uređaja X – Rite eXact [21]

Raspon valnih duljina	Optička razlučivost	Brzina mjerenja	Geometrija	Standardni promatrač	Standard
400-700 nm	10 nm	<1 s	45°/0°	2°/10°	ISO 13655:2009

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Densitometrijska mjerenja

Denzitometrijskom kontrolom tiska moguće je pratiti ostvarene nanose tiskarske boje na otisku. To je indirektna metoda za praćenje nanosa te se koristi samo pri mjerenju procesnih boja (CMYK). Samim time, denzitometrijski rezultati vrijede samo za konkretnu otisnutu boju, korišteni tiskarski stroj i tipični papir. Na slici 16., prikazane su krivulje reprodukcije na polikarbonatnoj tiskovnoj podlozi.



Slika 16. Krivulje reprodukcije otisaka otisnutih na polikarbonatu: a) cijan separacije, b) magenta separacije, c) žute separacije, d) crne separacije

Nakon izvršenog eksperimentalnog otiskivanja za sva 4 kolorna uzorka, uočljivo je kako ostvaruju krivulje reprodukcije koje odstupaju od predviđenog ofsetnog standarda. Te promjene različite su za svaku pojedinu boju, a razlike su vidljive u svim reproduciranim tonskim područjima.

Kod cijan otiska, maksimalna odstupanja u odnosu na linear krivulju u svim tonskim područjima ostvarena su kod uzorka 4 (otisak ostvaren indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe). Ona su najveća u svijetlim tonskim vrijednostima s iznosom $20\%RTV=54,91\%$, nešto manja u srednjim tonskim vrijednostima ($50\%RTV=80,52\%$), a najmanja u tamnim tonskim vrijednostima ($90\%RTV=98,24\%$).

U odnosu na Epson Inkjet probni otisak, najveće promjene ostvario je cijan uzorak 4, dok je najmanje promjene ostvario uzorak 1 (otisak ostvaren bez hlađenja uz sušenje s jednom UV lampom). Uzorak 3 koji je nastao sa eksperimentalnim hlađenjem i sušenjem s jednom UV lampom gotovo je identičan kao uzorak 1. Ako se izvrši analiza prirasta kod uzorka 4, najveće odstupanje ostvareno je u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{20\%}=19,73$), a najmanje u tamnim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{90\%}=1,91$). Srednje tonske vrijednosti koje su najosjetljivije također ostvaruju veliki neželjeni prirast koji iznosi $\Delta Z_{50\%}=13,63$. Općenito se može zaključiti da su prirasti na PC-u izrazito veliki, što zahtjeva obaveznu korekciju za prethodno definirane vrijednosti. To su ujedno i korekcijske vrijednosti koje se moraju izvršiti tijekom pripreme tiskovne forme.

Kod magenta otiska, najveća se odstupanja javljaju kod uzorka 4 (ostvarenog indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe). Ona su vizualno vidljiva u svim tonskim područjima magenta tonova. Maksimalna odstupanja ostvarena su u svijetlim tonskim vrijednostima ($20\%RTV=50,04\%$), a porastom površinske pokrivenosti opadaju. Tako u srednjim tonskim vrijednostima iznose $50\%RTV=76,95\%$, a u tamnim tonskim vrijednostima iznose $90\%RTV=98,57\%$.

Za razliku od ciljanog otiska, kod magenta otiska najveće je promjene ostvario uzorak 4 (ostvaren indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe), dok je najmanje promjene ostvario uzorak 3 (nastao sa hlađenjem i sušenjem jednom UV lampom). On je gotovo identičan uzorku 1 (ostvarenom bez hlađenja uz sušenje jednom UV lampom). Kod uzorka 4, se uočava najveće odstupanje prirasta u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{20\%}=15,39$), a najmanje u tamnim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{90\%}=-1,22$). Kod srednjih

tonskih vrijednosti, također se pojavljuje velik neželjeni prirast koji iznosi $\Delta Z_{50\%}=8,64$. Uzorak 4 je pritom ostvario najveća odstupanja. Izuzetak je RTV od 90%, gdje je najveće odstupanje ostvario uzorak 1 ($\Delta Z_{90\%}=-1,67$).

Usporedbom žutih PC otisaka s linear krivuljom može se uočiti kako se najveća odstupanja u svijetlim tonskim vrijednostima javljaju kod uzorka 2, nastalog bez hlađenja i uz sušenje s tri UV lampe, i uzorka 1, nastalog bez hlađenja i uz sušenje s jednom UV lampom, (20%RTV=49,35% te 20%RTV=49,31%). U srednjim tonskim vrijednostima, odstupanja su manja nego u svijetlim tonskim, s maksimalnom vrijednošću kod uzorka 1 (50%RTV=77,94). U tamnim tonskim vrijednostima odstupanja su najmanja, a vrijednošću su najveća kod uzorka 4, nastalog uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe, (90%RTV=98,54%).

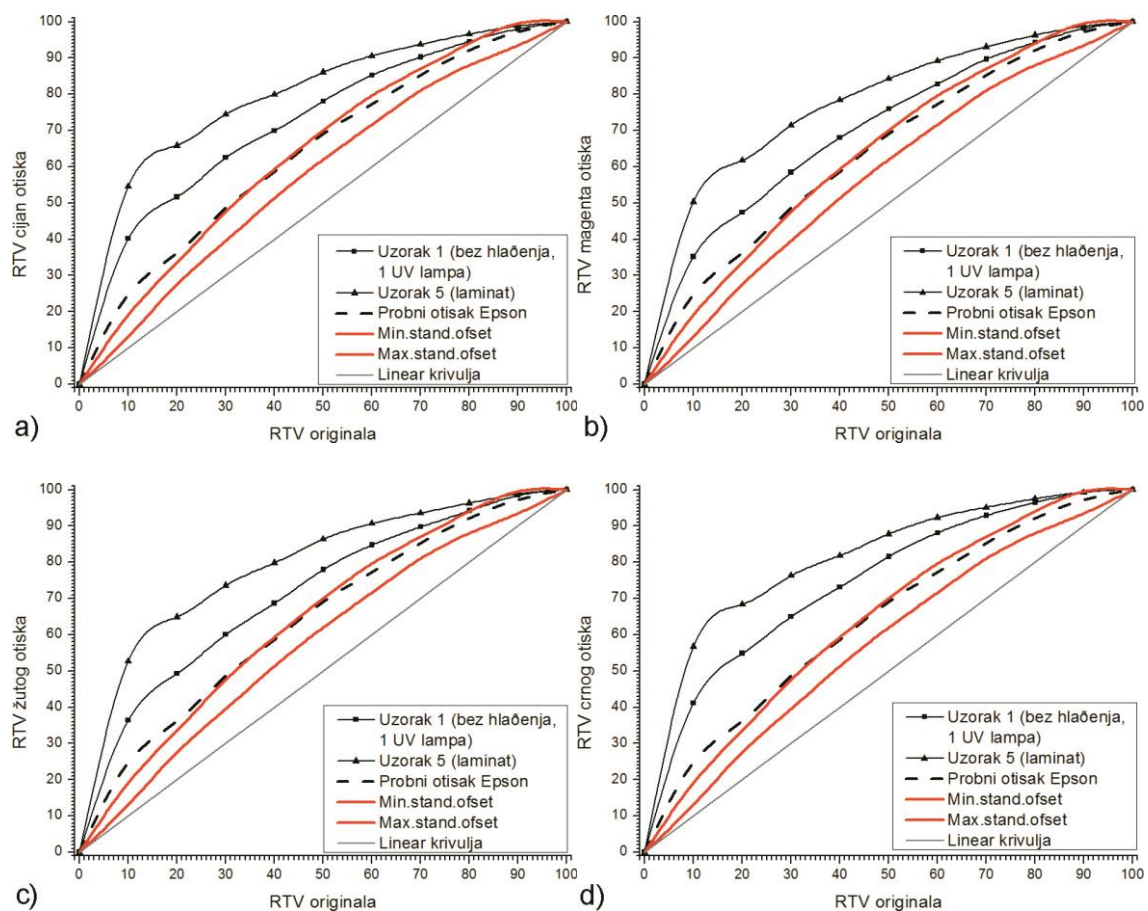
Kod žutog otiska, krivulje reprodukcije svih uzoraka vrlo su blizu jedna drugoj i gotovo se preklapaju. No, isto kao i kod prethodnih slučajeva, najveća odstupanja pojavljuju se u svijetlim tonskim vrijednostima, da bi porastom pokrivenosti površine opadala. Brojčanom usporedbom žutih otisaka sa Inkjet probnim otiskom može se uočiti kako najveći prirast u svijetlim tonskim vrijednostima ostvaruje uzorak 2 ($\Delta Z_{20\%}=15,68$). U srednjim tonskim vrijednostima, najveći prirast javlja se kod uzorka 1 ($\Delta Z_{50\%}=10,04$), a u tamnim tonskim vrijednostima kod uzorka 4 ($\Delta Z_{90\%}=1,46$).

Crni PC otisci imaju najveća odstupanja u svijetlim tonskim vrijednostima (20%RTV=57,80%). Ona su ostvarena kod uzorka 4 (nastalog indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe). U srednjim tonskim vrijednostima najveća vrijednost odstupanja opet se uočava kod istog uzorka (50%RTV=83,65%). U tamnim tonskim vrijednostima najveće odstupanje se ostvaruje sa eksperimentalnom postavkom bez hlađenja i sušenjem jednom UV lampom, odnosno kod uzorka 1, (90%RTV=99,20%). Pritom uzorak 2 (nastao bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe) i uzorak 4 postižu gotovo iste rezultate kao i uzorak 1 ($\Delta Z=0,01\%$).

U usporedbi s ostale tri kolorne separacije, crni eksperimentalni otisci ostvaruju najbližnje rezultate prirasta. Pritom se može vidjeti da se najveće promjene javljaju kod uzorka 4, a najmanje kod uzorka 3 (nastalog uz hlađenje i sušenje s jednom UV lampom) i uzorka 1. Kod uzorka 4 najveći prirast iznosi $\Delta Z_{20\%}=21,56$ (svijetle tonske vrijednosti), a najmanji prirast se ostvaruje u tamnim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{90\%}=1,91$). Srednje

tonske vrijednosti također postižu velik neželjeni prirast u iznosu ($\Delta Z_{50\%}=14,46$). Međutim, u tamnim tonskim vrijednostima, najveći prirast ostvaruje uzorak ostvaren bez hlađenja uz sušenje jednom UV lampom ($\Delta Z_{90\%}=1,94$).

Kako otisak na ovako otisnutom polikarbonatu nije konačan proizvod (već ga je potrebno dodatno laminirati da bi se postigla veća debljina) potrebno je izvršiti proces toplinske laminacije. Proces laminacije odvija se u termalnoj preši pri temperaturi oko 190°C u trajanju od 20 minuta. Pri tome će na eksperimentalnim uzorcima doći do taljenja otisnutog polikarbonata i formiranja debljeg proizvoda. Na slici 17., prikazane su krivulje reprodukcije laminiranih i nelaminiranih CMYK otisaka.



Slika 17. Razlika u krivuljama reprodukcije nelaminiranog i laminiranog otiska: a) cijan separacije, b) magenta separacije, c) žute separacije, d) crne separacije

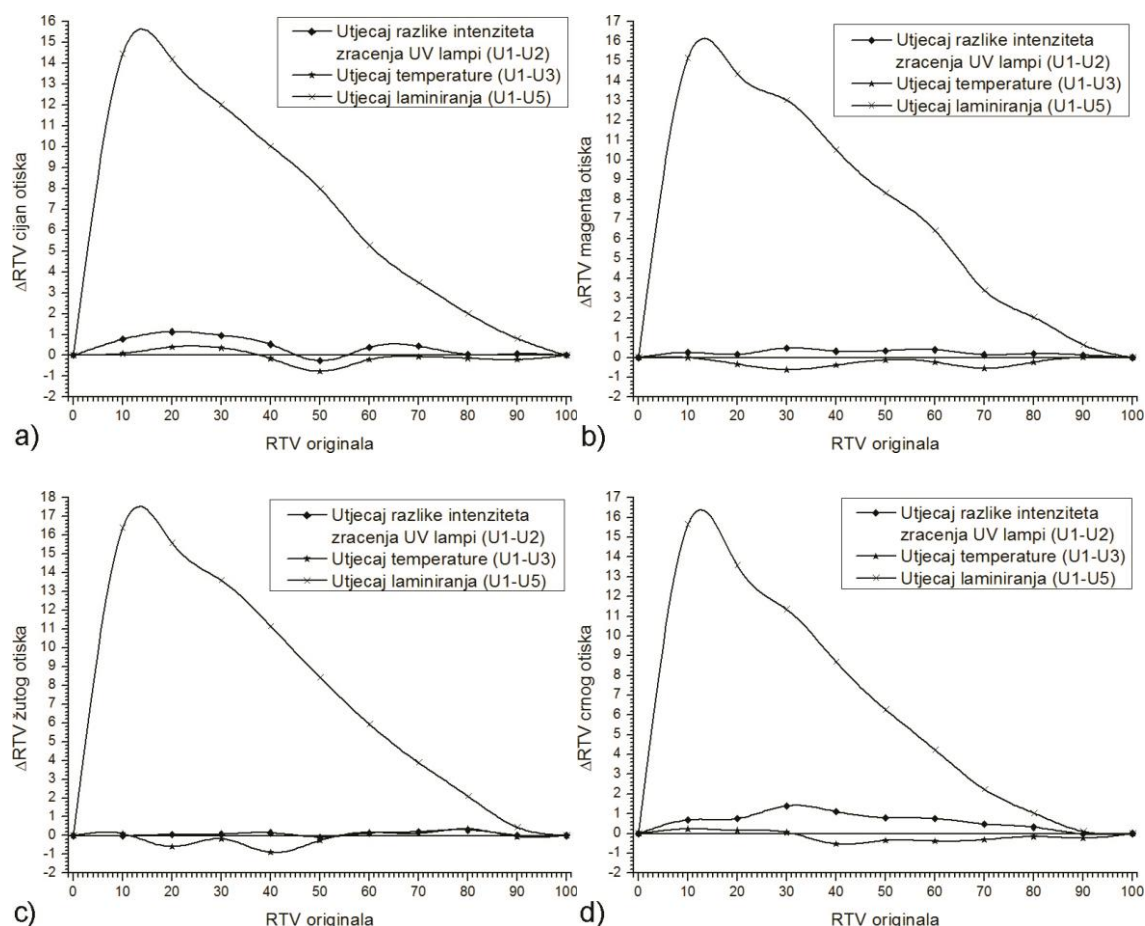
Postupkom laminacije uzorka 1 (djelovanje temperature i tlaka) ostvarit će se dodatno povećanje prirasta cijan rastertonskih vrijednosti. To povećanje će biti najizraženije u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{10\%}=14,46$), upola manje u srednjim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{50\%}=7,99$), a najmanje u tamnim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{90\%}=0,80$).

Magenta otisci ponašaju se slično te postupkom laminacije dolazi do dodanog povećanja RTV-a. To povećanje je najveće u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{10\%}=15,17$). Rastom pokrivenosti otisnute površine, odstupanje se smanjuje. Tako će prirast u srednjim tonskim vrijednostima iznositi $\Delta Z_{50\%}=8,34$, a u tamnim tonskim vrijednostima će iznositi $\Delta Z_{90\%}=0,65$.

Žuta separacija vrijednošću ne odstupa od prethodnih slučajeva te postupkom laminacije dolazi do dodatnog povećanja RTV-a. Povećanje ostaje najveće u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{10\%}=16,39$), a povećanjem površinske pokrivenosti opada. U srednjim tonskim vrijednostima iznosi $\Delta Z_{50\%}=8,42$, a u tamnim tonskim vrijednostima $\Delta Z_{90\%}=0,44$.

Postupak laminacije otisaka crne separacije dodatno povećava RTV. Povećanje je opet najveće u svijetlim tonskim vrijednostima i iznosi $\Delta Z_{10\%}=15,64$. U srednjim tonskim vrijednostima dolazi do pada prirasta RTV-a koji iznosi $\Delta Z_{50\%}=6,28$, dok u 90% rastera iznosi minornih $\Delta Z_{90\%}=0,11$. Iz navedenoga je vidljivo kako površinska pokrivenost igra veliku ulogu u kreiranju proizvoda i da se svijetle tonske vrijednosti moraju obavezno dodatno korigirati.

Na neupojne PC tiskovne podloge u procesu tiska često se primjenjuju bezvodna ofsetna tiskovna jedinica i UV sušuća ofsetna boja. Tijekom eksperimenta, dodatno je ispitivana tiskovna jedinica hlađena zrakom, kao i proces sušenja (otisci su sušeni različitom energijom UV zračenja, što je postignuto aktivacijom 1 i 3 UV lampe uz konstantnu efektivnu snagu zračenja od 60%). Na slici 18., prikazani su utjecaji hlađenja tiskovne forme i snage zračenja UV lampi na CMYK otiske.



Slika 18. Grafički prikaz utjecaja hlađenja tiskovne forme i snage zračenja UV lampi na: a) RTV cijan otiska, b) RTV magenta otiska, c) RTV žutog otiska, d) RTV crnog otiska

Kod cijan otiska, aktivacijom većeg broja lampi (tri lampe), primjećuje se negativan trend rasta RTV-a. Samim time uočen je i pad prirasta RTV-a koji se javlja samo kod površina sa srednjom površinskom pokrivenošću, odnosno u području gdje je omjer rasterskih elemenata i slobodnih površina 50:50 ($\Delta Z_{50\%} = -0,26$). Isti trend rasta prirasta javlja se kod ostalih površinskih pokrivenosti. Tako će kod 80% RTV-a iznositi $\Delta Z_{80\%} = 0,04$, a kod 20% RTV-a $\Delta Z_{20\%} = 1,13$. Direktno hlađenje tiskovne jedinice zrakom rezultira pozitivnim trendom rasta prirasta koji će se ostvariti u području od 10% RTV-a do 30% RTV-a. Kod područja od 10% RTV-a on je minimalan ($\Delta Z_{10\%} = 0,09$), dok je u području od 20% RTV-a maksimalan ($\Delta Z_{20\%} = 0,40$). Negativan trend kretanja RTV-a nastaje u području između 40% i 90% RTV-a. Pritom će najveća oscilacija prirasta biti ostvarena pri 50% RTV-a ($\Delta Z_{50\%} = -0,77\%$), a minimalna pri 70% RTV-a ($\Delta Z_{70\%} = -0,07\%$). Samim time, eksperimentom je ustanovljeno da će djelovanje UV izvora svjetlosti više utjecati

na reprodukciju svjetlijih dijelova rastrirane slike. Dodatnim procesom laminacije izrazito će se utjecati na ostvarene priraste RTV-a polikarbonatne podloge. Posebno se ističe područje od 10% RTV-a gdje nastaje prirast od $\Delta Z_{10\%}=14,46\%$. Povećavanjem pokrivenosti otisnute površine ostvareni prirast rapidno opada. Tako će na području od 50% RTV-a iznositi $\Delta Z_{50\%}=7,99\%$, a pri području od 90% RTV-a $\Delta Z_{90\%}=0,80\%$. Sam proces laminacije tako se može opisati linearnom funkcijom sa najvećim oscilacijama u svijetlim tonskim vrijednostima, a najmanjim u tamnim tonskim vrijednostima. Da bi se to spriječilo, pri proizvodnji PC proizvoda potrebno je izbjegavati dizajn koji sadrži svjetlije nijanse (partije) i po mogućnosti ih izbaciti sa slika. To pravilo vrijedi i za ostale kolorne separacije, tj. tip pigmenata u bojama jednako utječe na proces laminacije.

Kod magenta otiska može se uočiti kako će aktivacija većeg broja UV lampi ostvariti maksimalni prirast pri 30% RTV-a ($\Delta Z_{30\%}=0,48\%$). Minimalni prirast ostvaruje se na površini sa pokrivenošću od 90% RTV-a i iznosi $\Delta Z_{90\%}=0,12\%$. U ovom slučaju, ne dolazi do pojave negativnog trenda rasta prirasta. U slučaju hlađenja tiskovne jedinice, magenta otisci ostvaruju pozitivan trend rasta prirasta samo kod površine pokrivenosti od 90% RTV-a ($\Delta Z_{90\%}=0,01$). U ostalim slučajevima, trend rasta prirasta je nepromijenjen i minimum postiže pri 10% RTV-a ($\Delta Z_{10\%}=-0,01\%$), a maksimum pri 30% RTV-a ($\Delta Z_{30\%}=-0,62\%$). Kao i kod cijan otiska, proces laminacije ima velik utjecaj na prirast RTV-a. Taj prirast se posebno ističe pri pokrivenosti površine od 10% RTV-a te iznosi $\Delta Z_{10\%}=15,17\%$. Povećanjem pokrivenosti s tiskovnim elementima značajno opada te ta devijacija pri 50% RTV-a iznosi $\Delta Z_{50\%}=8,34\%$, a pri 90% RTV-a iznosi $\Delta Z_{90\%}=0,65\%$.

Kod najmanje kontrastnog žutog otiska eksperimentalnom aktivacijom većeg broja lampi dolazi do pojave minimalnog trenda pada prirasta u područjima pokrivenosti od 10% RTV-a i 50% RTV-a ($\Delta Z_{10\%}=-0,01$, $\Delta Z_{50\%}=-0,08$). Pozitivan trend rasta prirasta prisutan je kod svih ostalih površinskih pokrivenosti. Pritom, prirast ne postoji pri 90% RTV-a ($\Delta Z_{90\%}=0,01$), što ne vrijedi i za 80% RTV-a ($\Delta Z_{80\%}=0,30$). Ukoliko se tiskovna jedinica dodatno hladi, do pozitivnog trenda rasta prirasta dolazi pri pokrivenosti površine od 10%, 60%, 70% i 80% RTV-a, a do negativnog pri 20%, 30%, 40%, 50% i 90% RTV-a. U slučaju pozitivnog trenda rasta prirasta, maksimum je postignut pri 80% RTV-a ($\Delta Z_{80\%}=0,34$). Negativni trend rasta prirasta varirat će od minimalne vrijednosti pri 90% RTV-a ($\Delta Z_{90\%}=-0,06$) do maksimalne vrijednosti pri 40% RTV-a ($\Delta Z_{40\%}=-0,90$). Proces laminacije i kod žutog otiska ima veoma značajan utjecaj na neželjeni prirast u svijetlim

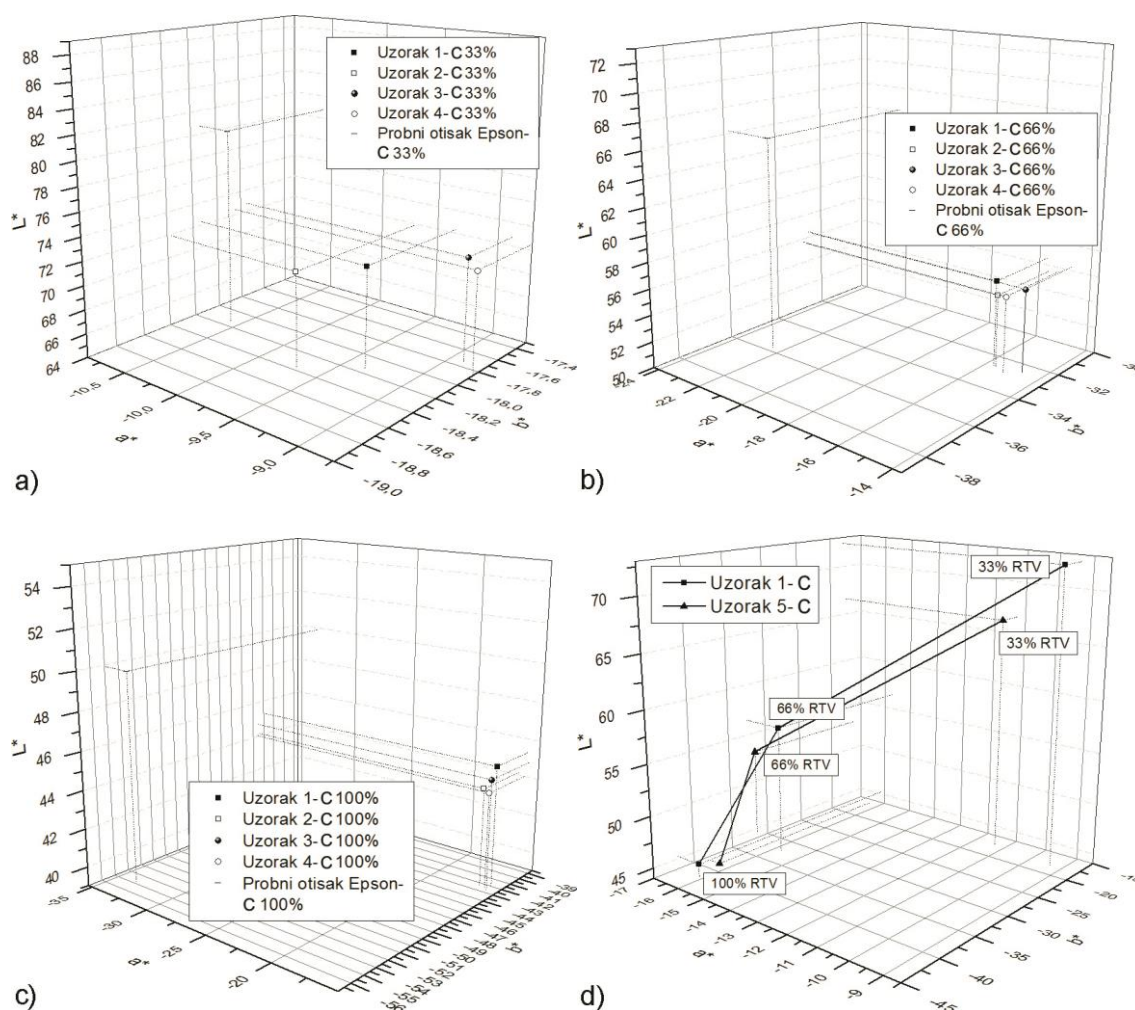
tonskim vrijednostima. On tako iznosi $\Delta Z_{10\%}=16,39\%$. U srednjim tonskim vrijednostima, prirast je puno manji ($\Delta Z_{50\%}=8,42\%$), dok je u tamnim tonskim vrijednostima gotovo zanemariv ($\Delta Z_{90\%}=0,44\%$).

Nakon denzitometrijskih mjerenja crni otisci pokazuju najveća odstupanja. Uporaba tri umjesto jedne UV lampe, dovodi do pojave minimalnog negativnog trenda rasta prirasta samo pri 90% RTV-a ($\Delta Z_{90\%}=-0,03$). U ostalim slučajevima, djelovanje veće energije UV svjetlosti pokazuje trend rasta koji je pozitivan. Minimalnom vrijednošću se ističe 80% RTV-a ($\Delta Z_{80\%}=0,32$), a maksimalnom 30% RTV-a ($\Delta Z_{30\%}=1,4$). Kod dodatnog hlađenja tiskovne jedinice, pozitivan trend rasta prirasta javlja se u području od 10% RTV-a do 30% RTV-a, dok je negativan u području od 40% RTV-a do 90% RTV-a. Tako se maksimalan pozitivan trend rasta pojavljuje pri 10% RTV-a ($\Delta Z_{10\%}=0,23$). Negativan trend rasta prirasta minimum postiže pri 80% RTV-a ($\Delta Z_{80\%}=-0,15$), a maksimum pri 40% RTV-a ($\Delta Z_{40\%}=-0,53$). Kako u prethodnim slučajevima, tako i kod crnog otiska proces laminacije izrazito utječe na prirast RTV-a. On je ekstreman pri 10% RTV-a i iznosi $\Delta Z_{10\%}=15,64\%$. Sa porastom pokrivenosti RTV-a, neželjeni se prirast smanjuje te pri 50% RTV-a iznosi $\Delta Z_{50\%}=6,28\%$, a pri 90% RTV-a $\Delta Z_{90\%}=0,11\%$.

Ovakvi iznosi prirasta mogu se protumačiti s relativno malim brojem otisnutih otisaka. Stoga bi za detaljniju analizu bilo potrebno otisnuti veću nakladu. Ipak, tendencije u prirastu znanstveno dokazuju utjecaj temperature i tiskovne jedinice na kolornu reprodukciju.

4.2. Kolorimetrijska mjerenja

U odnosu na denzitometriju, kolorimetrijska analiza u tisku puno je preciznija jer se, osim podataka o apsorpciji svjetlosti, dobivaju i vrijednosti pojedinog obojenja. Trenutno najpoznatiji sustav za prikaz i komparaciju obojenja je trodimenzionalni sustav CIELAB koji je definiran sa četiri kolorne koordinate: $-a$ (zeleno), $+a$ (crveno), $-b$ (plavo), $+b$ (žuto). Akromatska koordinata L (svjetlina) definirana je vrijednostima od 0 do 100, pri čemu je vrijednost 0=bijelo, a vrijednost 100=crno. U kolorimetrijskom ispitivanju, analizirani su cijan (C), magenta (M), žuti (Y) i crni (K) uzorci otisnuti s pokrivenošću od 33% RTV-a, 66% RTV-a i 100% RTV-a. Na slici 19., prikazane su CIELAB vrijednosti svih eksperimentalnih uzoraka te probnog cijan otiska.



Slika 19. CIELAB vrijednosti cijan eksperimentalnih otisaka i cijan probnog otiska:
a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a,
d) razlika nelaminiranih i laminiranih cijan otisaka

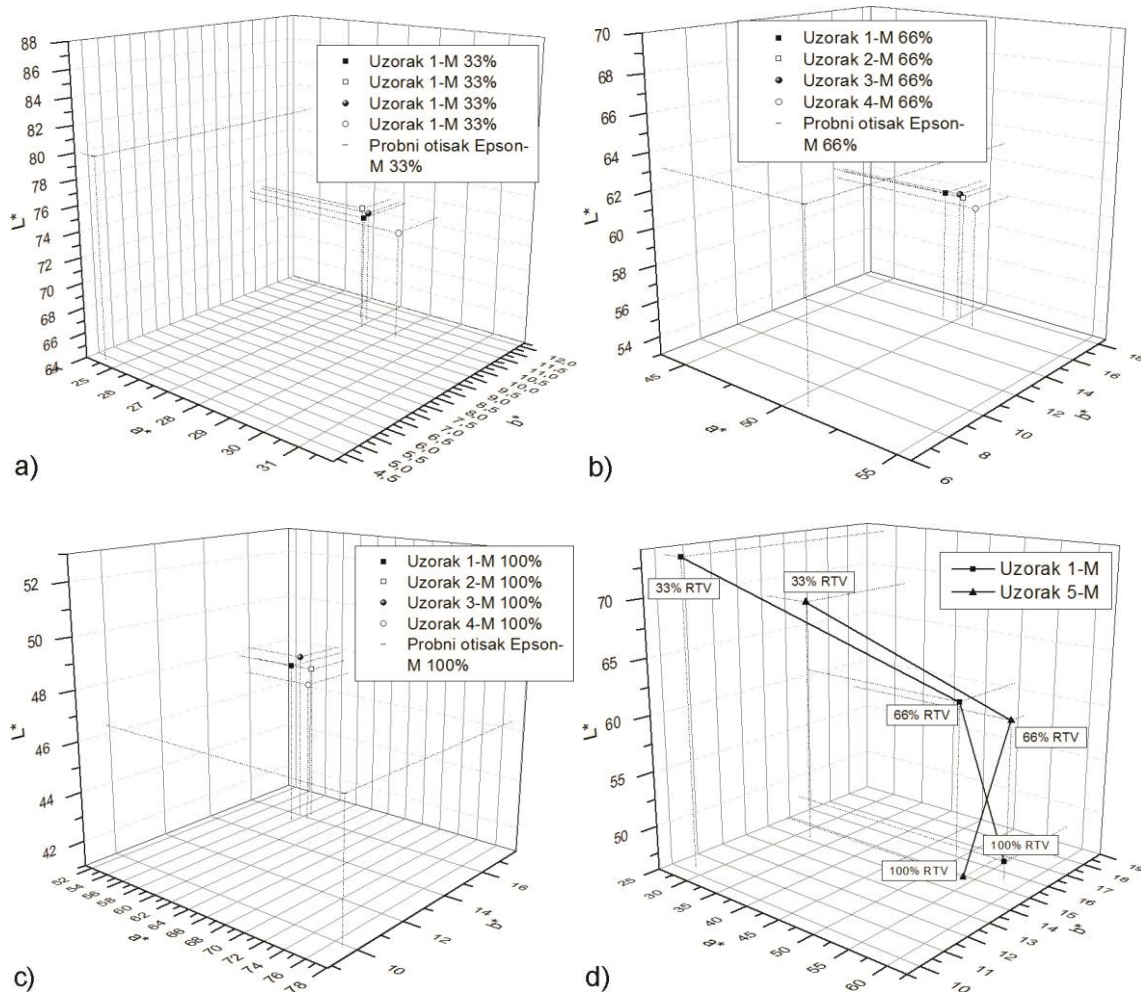
Analizom slike 19., može se vidjeti kako je kod svih eksperimentalno otisnutih uzoraka svjetlina manja od svjetline probnog otiska. Također, pri većoj pokrivenosti otisnute površine (66% RTV-ai 100% RTV-a), kod svih uzoraka je zamijećena promjena koja stremlji prema akromatskom središtu CIELAB sustava. To znači da je cijan obojenje manje zasićenosti. Samo pri pokrivenosti površine od 33% RTV-a kod uzorka 1 (ostvarenog bez hlađenja uz sušenje s jednom UV lampom) te uzorka 2 (ostvarenog bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe) dolazi do većeg zasićenja, tj. promjene u –b smjeru kromatske osi. Tako će probni otisak ima vrijednost $b=-18,14$, uzorak 1 vrijednost $b=-18,15$, a uzorak 2 vrijednost $b=-18,38$.

Da bi se kolorne promjene mogle vizualno predočiti, potrebno je izračunati razliku u obojenju (CIELAB ΔE_{00}). Razlika u obojenju između referentnog uzorka i otiska se računa prema jednadžbi (4), pri čemu se izračunava razlika ostvarena po koordinatama ΔL^* , Δa^* i Δb^* [22].

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

Između probnog otiska i eksperimentalnih otisaka, u slučaju cijan površine od 33% RTV-a, najmanju promjenu ostvario je uzorak 3, nastao sa hlađenjem i sušenjem s jednom UV lampom, ($\Delta E_{00}=5,88$), dok je najveću promjenu ostvario uzorak 2 ($\Delta E_{00}=6,40$). To je velika kolorna promjena, nastala više zbog promjene u svjetlini (L^*), a manje zbog promjene po kromatskim osima (c^*). Porastom pokrivenosti površine (66% RTV-a), raste i ostvarena ΔE promjena. U ovom slučaju, ona je najmanja kod uzorka 1 ($\Delta E_{00}=9,00$), a najveća opet kod uzorka 2 ($\Delta E_{00}=9,83$). Ovdje osim velike promjene u svjetlini postoji i pomicanje prema akromatskom središtu po $-a$ osi. Pri najvećoj pokrivenosti površine (100% RTV-a), ostvarena promjena nešto je manja. Vrijednošću je najmanja kod uzorka 1 ($\Delta E_{00}=8,99$), a najveća kod uzorka 4, nastalog indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe, ($\Delta E_{00}=9,56$). Razlog tome je pomicanje točaka prema akromatskom središtu (po $-a$ i $-b$ osi), a ne ostvarena razlika u svjetlini.

Razlike između laminiranog i nelaminiranog uzorka manje su od razlike između otisnutih uzoraka i probnog otiska (slika 19.d). Ostvarene promjene vidljive su po osima b i $-a$. To ukazuje na to da postupkom laminiranja dolazi do smanjenja kromatičnosti u plavom području i povećanja u zelenom području. Također, PC podloga i otisak lagano tamne, pri čemu je krivulja kraća. Samim time, ukazuje se na gubitak informacija originalnog uzorka 1 (nastalog bez hlađenja uz sušenje jednom UV lampom). Direktnom usporedbom uzorka 1 i laminiranog uzorka vidljivo je kako ostvarena kolorna promjena opada porastom pokrivenosti otisnute površine. Tako kod pokrivenosti površine od 33% RTV-a kolorna promjena iznosi $\Delta E_{00}=4,77$, kod pokrivenosti površine od 66% RTV-a $\Delta E_{00}=4,05$, a kod pokrivenosti površine od 100% RTV-a $\Delta E_{00}=2,14$. Na slici 20., prikazane su CIELAB vrijednosti svih magenta eksperimentalnih uzoraka te magenta probnog otiska za pokrivenosti od 33% RTV-a, 66% RTV-a i 100% RTV-a.

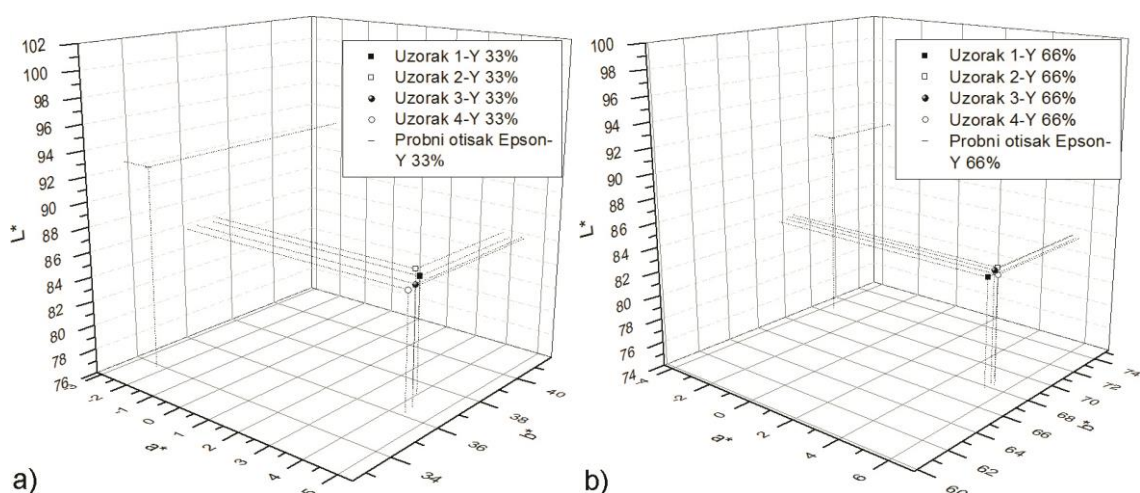


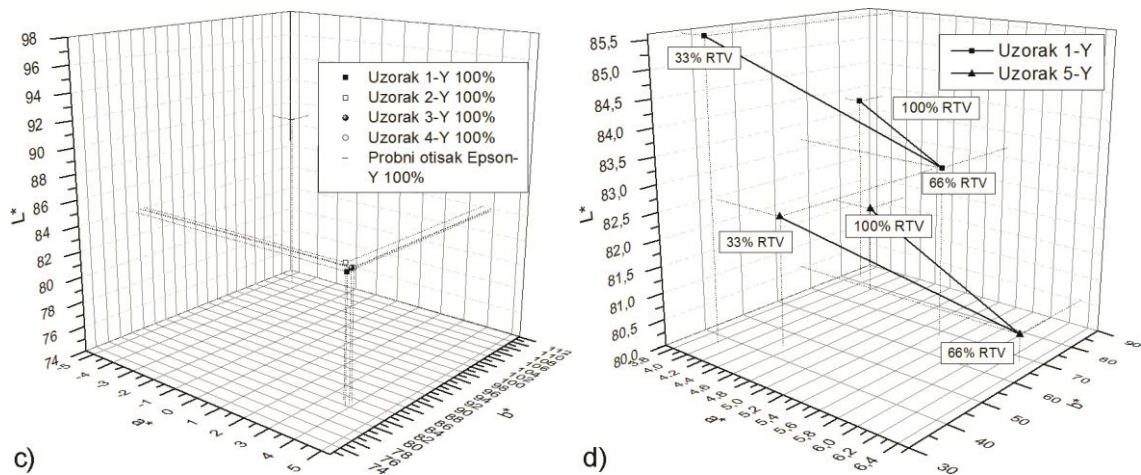
Slika 20. CIELAB vrijednosti magenta eksperimentalnih otisaka i magenta probnog otiska: a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a, d) razlika nelaminiranih i laminiranih magenta otisaka

Iz slike 20., može se uočiti kako je kod magenta eksperimentalnih otisaka situacija uvelike drugačija nego kod cijan otisaka. U ovom slučaju, jedino što je isto je da bez obzira na pokrivenost površine svi uzorci imaju veće zasićenje u +b smjeru kromatske osi od probnog otiska. Ono je najuočljivije pri pokrivenosti površine od 66% RTV-a. Pri pokrivenosti površine od 33% RTV-a svi eksperimentalni otisci imaju veće zasićenje u +a smjeru kromatske osi te manju svjetlinu od probnog otiska. Pri pokrivenosti površine od 66% RTV-a svi eksperimentalni otisci imaju gotovo jednake vrijednosti po +a smjeru kromatske osi kao i probni otisak, no i dalje su tamniji. Pri pokrivenosti površine od 100% RTV-a, svi eksperimentalni otisci imaju manje vrijednosti po +a kromatskoj osi te veću svjetlinu od probnog otiska.

U slučaju magenta površine od 33% RTV-a najmanje promjene se uočavaju kod uzorka 1, nastalog bez hlađenja i uz sušenje jednom UV lampom, ($\Delta E_{00}=6,15$), a najveće kod uzorka 4, nastalog uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe, ($\Delta E_{00}=6,62$). Radi se o vizualno velikoj kolornoj promjeni, nastaloj više zbog odstupanja u svjetlini (L^*) te podjednagog odstupanja po kromatskim osima (c^*). Kod pokrivenosti površine od 66% RTV-a, ostvarene kolorne promjene su manje. Pritom su vrijednošću najmanje kod uzorka 1 ($\Delta E_{00}=5,55$), a najveće kod uzorka 2, nastalog bez hlađenja i uz sušenje s tri UV lampe, i uzorka 3, nastalog uz hlađenje i sušenje jednom UV lampom, ($\Delta E_{00}=5,87$ i $\Delta E_{00}=5,88$). U ovom slučaju na iznos promjene prvenstveno utječe velika razlika po +b smjeru kromatske osi, a manje razlika u svjetlini. Pri najvećoj površinskoj pokrivenosti (100% RTV-a), najmanje odstupanje uočava se kod uzorka 4 ($\Delta E_{00}=5,94$), a najveće kod uzorka 3 ($\Delta E_{00}=6,46$). Razlog tome je vrlo velik pomak prema akromatskom središtu po +a osi te veće zasićenje po osi +b.

Analizom slike 20.d, može se uočiti kako se, bez obzira na pokrivenost površine, postupkom laminacije smanjuje svjetlina. U slučaju manjih pokrivenosti površine, laminirani uzorak pokazuje veće zasićenje na obje kromatske osi (u crvenom i žutom području). Pri pokrivenosti površine od 100% RTV-a situacija je suprotna te je zasićenje po obje kromatske osi veće kod nelaminiranog uzorka. Procesom laminacije dolazi do skraćivanja krivulje, odnosno gubitka informacija originalnog uzorka 1. Porastom pokrivenosti površine, razlika u obojenju opada. Tako je najveća pri površinskoj pokrivenosti od 33% RTV-a i iznosi $\Delta E_{00}=4,52$. Pri pokrivenosti od 66% RTV-a razlika je manja ($\Delta E_{00}=2,90$), dok je minimalna pri najvećoj pokrivenosti (100% RTV-a) i iznosi $\Delta E_{00}=1,98$. Na slici 21., prikazane su CIELAB vrijednosti svih žutih eksperimentalnih uzoraka te žutog probnog otiska za pokrivenosti od 33% RTV-a, 66% RTV-a i 100% RTV-a.



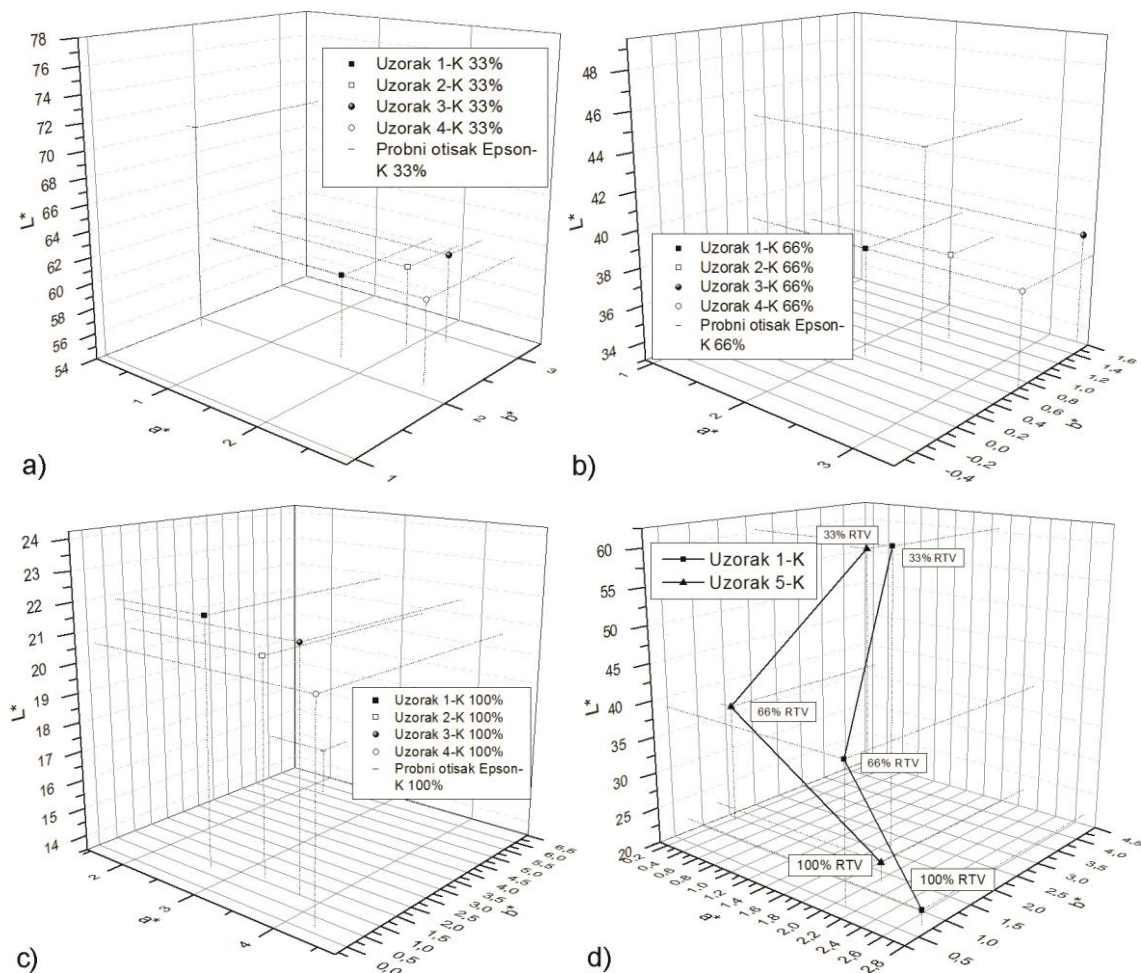


Slika 21. CIELAB vrijednosti žutih eksperimentalnih otisaka i žutog probnog otiska:
 a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a,
 d) razlika nelaminiranih i laminiranih žutih otisaka

Iz slike 21., može se vidjeti kako žuti eksperimentalni otisci pri svim površinskim pokrivenostima imaju manju svjetlinu. Također, bez obzira na površinsku pokrivenost, eksperimentalni otisci po a kromatskoj osi imaju pozitivne vrijednosti, a probni otisak negativne. Ukoliko se promotri b kromatska os, samo pri pokrivenosti površine od 33% RTV-a eksperimentalni otisci imaju veće zasićenje od probnog otiska, dok je pri ostalim pokrivenostima površine vrijedi obratno.

Pri pokrivenosti površine od 33% RTV-a najmanje promjene ostvaruje uzorak 2, nastao bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe, ($\Delta E_{00}=6,37$), a najveće uzorak 4, nastao indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe, ($\Delta E_{00}=6,76$). Pri pokrivenosti površine od 66% RTV-a najmanje promjene uočavaju se kod uzorka 2 i uzorka 3, ostvarenog sa hlađenjem i sušenjem jednom UV lampom, ($\Delta E_{00}=6,94$ i $\Delta E_{00}=6,97$), a najveće kod uzorka 1, nastalog bez hlađenja uz sušenje s jednom UV lampom, i uzorka 4 ($\Delta E_{00}=7,14$ i $\Delta E_{00}=7,17$). Pritom su kolorne promjene tolike zbog razlika ostvarenih po b osi i u svjetlini (L^*). Pri pokrivenosti površine od 100% RTV-a, najmanje promjene ostvario je uzorak 2 ($\Delta E_{00}=7,15$), a najveće uzorak 1 ($\Delta E_{00}=7,53$) i to zbog odstupanja po obje kromatske osi i u svjetlini.

Bez obzira na površinsku pokrivenost, postupak laminacije dovodi do smanjenja svjetline te povećanja kromatičnosti u crvenom tonskom području. Ukoliko se pogleda b kromatska os, postupak laminacije dovodi do porasta kromatičnosti u žutom području samo kod pokrivenosti površine od 33% RTV-a. Pri većim pokrivenostima dovodi do pomaka točaka prema akromatskom središtu (slika 21.d). Razlika u obojenju između laminiranog i nelaminiranog uzorka smanjuje se porastom pokrivenosti površine. Tako je maksimalna pri pokrivenosti površine od 33% RTV-a ($\Delta E_{00}=3,10$). Kod pokrivenosti površine od 66% RTV-a ona se smanjuje ($\Delta E_{00}=1,89$), da bi postala najmanja kod najveće pokrivenosti površine od 100% RTV-a ($\Delta E_{00}=1,66$). Pritom dolazi do skraćivanja krivulje laminiranog uzorka, što ukazuje na manju kvalitetu uslijed gubitka informacija. Na slici 22., prikazane su CIELAB vrijednosti svih crnih eksperimentalnih uzoraka te crnog probnog otiska za pokrivenosti od 33% RTV-a, 66% RTV-a i 100% RTV-a.



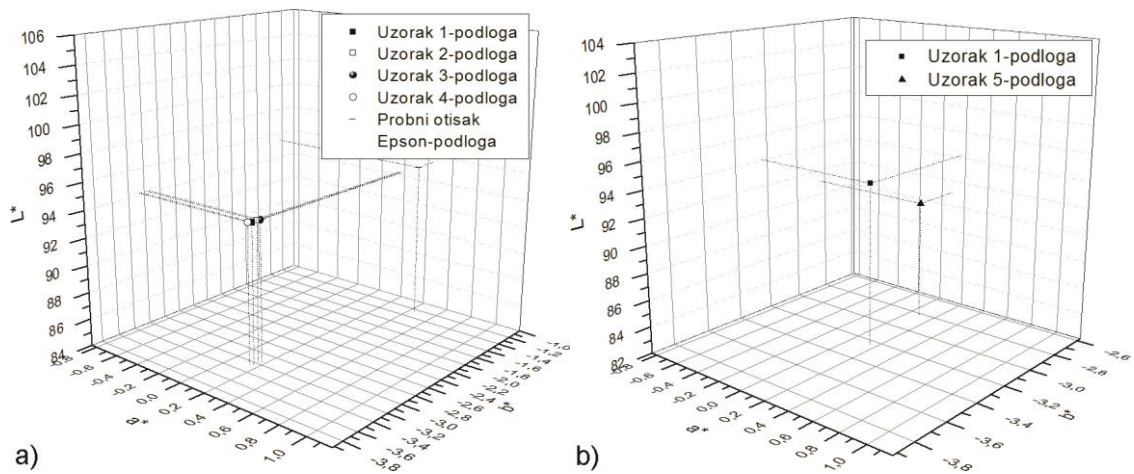
Slika 22. CIELAB vrijednosti crnih eksperimentalnih otisaka i crnog probnog otiska:
a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a,
d) razlika nelaminiranih i laminiranih crnih otisaka

Iz slike 22., može se vidjeti kako crni eksperimentalni otisci imaju manju svjetlinu od probnog otiska pri pokrivenostima površine od 33% RTV-a i 66% RTV-a. To ne vrijedi i za pokrivenost površine od 100% RTV-a. U žutom području sa najmanjom ispitanom površinskom pokrivenošću (33% RTV-a), zasićenje eksperimentalnih otisaka veće je od zasićenja probnog otiska, dok je pri punom tonu zasićenje probnog otiska veće od onog eksperimentalnih otisaka. U srednjim tonskim područjima (66% RTV-a) svi uzorci osim uzorka 1 (nastalog bez hlađenja i uz sušenje s jednom UV lampom) imaju veće zasićenje u žutom, dok uzorak 1 ima skoro identičnu vrijednost kao i probni otisak ($\Delta E_{U1-\text{probni otisak}}=0,01$). U crvenom koordinatnom dijelu svi eksperimentalni otisci imaju veće zasićenje od probnog otiska. Izuzetak je pokrivenost površine od 66% RTV-a gdje uzorak 1 i uzorak 2 (nastao bez hlađenja i uz sušenje s tri UV lampe) imaju manje zasićenje od probnog otiska.

Pri pokrivenosti površine od 33% RTV-a, najmanje odstupanje ostvaruje uzorak 3, nastao uz hlađenje i sušenje jednom UV lampom, ($\Delta E_{00}=7,90$), a najveće uzorak 4, nastao uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe, ($\Delta E_{00}=8,60$). Tomu je tako zbog ostvarene velike razlike u svjetlini i zasićenju u crvenom području. Pri pokrivenosti površine od 66% RTV-a, najmanje odstupanje opet ostvaruje uzorak 3 ($\Delta E_{00}=5,23$), a najveće uzorak 2 ($\Delta E_{00}=6,19$). Do tolike kolorne promjene dolazi prvenstveno zbog razlike u svjetlini te podjednagog odstupanja po obje kromatične osi. Pri najvećoj pokrivenosti površine (100% RTV-a), najmanje odstupanje javlja se kod uzorka 2 ($\Delta E_{00}=5,76$), a najveće kod uzorka 4 ($\Delta E_{00}=6,78$). Pritom je kolorna promjena uzrokovana većom svjetlinom i manjim zasićenjem laminiranog uzorka u žutom području.

Kod crnog otiska, kao i kod svih prethodnih, razlika u obojenju između laminiranog i nelaminiranog uzorka smanjuje se porastom pokrivenosti površine. Postupkom laminiranja crnih otisaka (sve ispitanе pokrivenosti površne) dolazi do povećanja zasićenja u crvenom području, a smanjenja u žutom. Ukoliko se promotri samo svjetlina, procesom laminacije dolazi do njenog smanjenja pri manjim površinskim pokrivenostima, dok se pri najvećoj površinskoj pokrivenosti (100% RTV-a) ona povećava. Razlika u obojenju maksimalna je kod površine pokrivenosti od 33% RTV-a ($\Delta E_{00}=4,87$). Kod površine pokrivenosti od 66% RTV-a je manja i iznosi $\Delta E_{00}=3,23$, a minimalna je kod najveće pokrivenosti (100% RTV-a) gdje iznosi $\Delta E_{00}=1,20$.

Na kolornu reprodukciju nastalu iz transparentnih CMYK boja presudnu ulogu ima tiskovna podloga. Pritom će veća bjelina tiskovne podloge dati bolje zasićenje kolornog obojenja. Na slici 23., prikazane su CIELAB vrijednosti svih PC podloga te podloge za probno otiskivanje (foto papir).

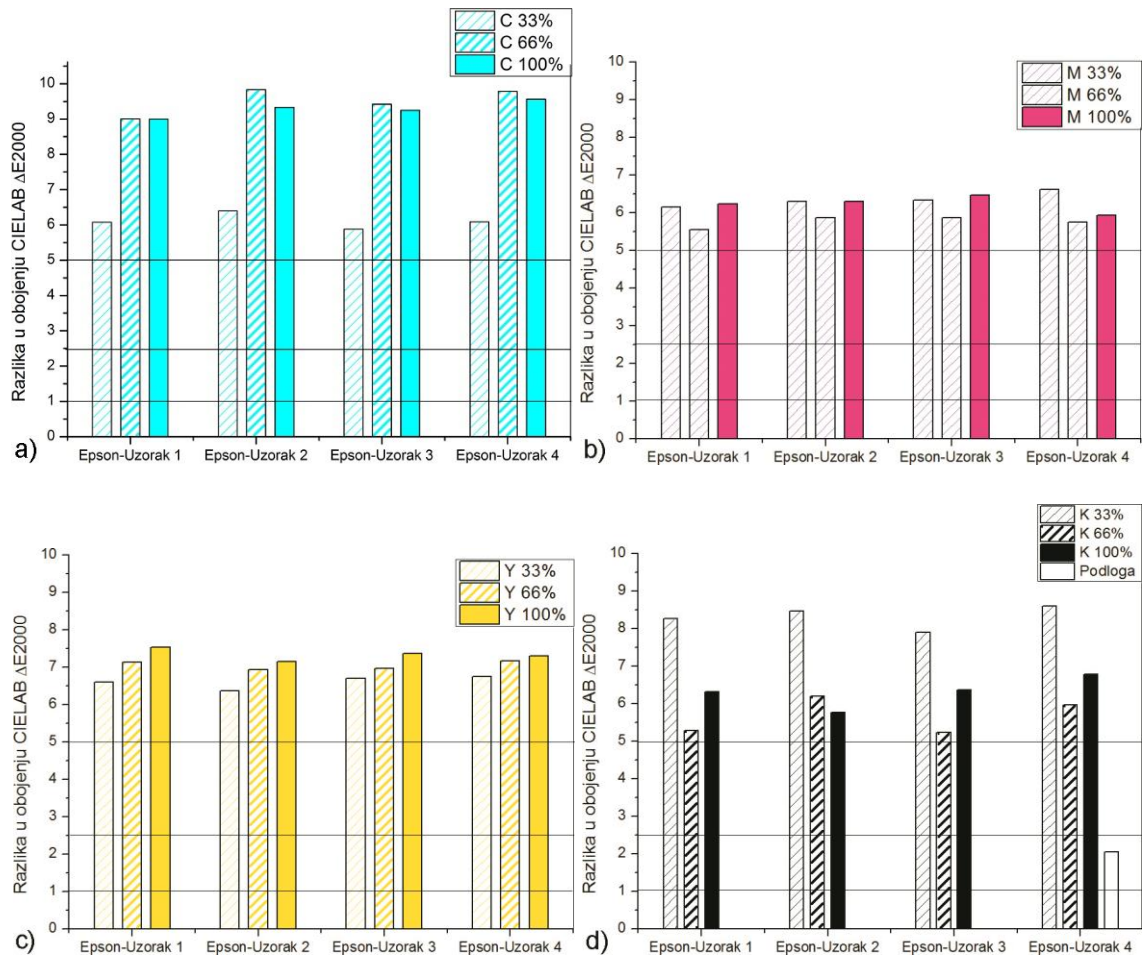


Slika 23. CIELAB vrijednosti korištenih tiskovnih podloga: a) PC uzoraka 1, 2, 3 i 4 te papirnog probnog otiska, b) nelaminiranog i laminiranog PC uzorka 1

S obzirom na to da je podloga ista kod sva 4 uzorka, može se uočiti kako polikarbonat u odnosu na papir na kojem je otisnut probni otisak ima manju optičku svjetlinu. To dovodi do razlike koja u prosjeku iznosi $\Delta E_{00}=2,00$. Vizualno gledano, to je mala kolorna razlika i može ju uočiti samo educirana osoba (promatrač).

Ukoliko se promotri utjecaj dodatne laminacije na obojenje PC podloge, može se uočiti kako tlak i povišena temperatura u trajanju od 20 minuta djeluju na obojenje PC tiskovne podloge. Samim time ostvaruje se razlika između laminirane i nelaminirane podloge u iznosu od $\Delta E_{00}=1,88$. Kako razliku u obojenju manju od $\Delta E=1$ ljudsko oko ne registrira, ova promjena jedva je primjetljiva, ali zbirno (sa ostalim faktorima) može utjecati na konačnu reprodukciju.

Kako pojedina postavka stroja za bezvodni ofset utječe na višebojnu reprodukciju prikazano je na slici 24. Pritom su dane kolorne razlike između probnog otiska (PSO FOGRA 52) i CMYK PC otisaka sa pokrivenošću od 33% RTV-a, 66% RTV-a i 100% RTV-a.



Slika 24. Razlika u obojenju između otisnutih PC uzoraka i probnog otiska: a) cijan otiska, b) magenta otiska, c) žutog otiska, d) crnog otiska

Kod cijan otiska (slika 24.a), vidljivo je kako se promjene u obojenju povećavaju sa povećanjem pokrivenosti površine. Ostvarene vrijednosti najmanje su kod manje površinske pokrivenosti (33% RTV-a). Najmanja promjena u obojenju javlja se kod uzorka 3, nastalog sa hlađenjem i sušenjem jednom UV lampom, ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=5,88$). Najveća promjena ostvarena je kod uzorka 2, nastalog bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe. Pri pokrivenosti površine 66% RTV-a ona će iznositi $\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=9,83$. Samim time, taj uzorak se ne preporuča za korištenje. Kod svijetlih dijelova slike, najveće kolorne promjene ostvarit će se između uzorka 2 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,40$) i uzorka 3 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=5,88$). Tako se između njih ostvaruje razlika iznosa $\Delta E_{U2-U3}=0,52$. U srednjim tonskim vrijednostima promjene eksperimentalnih postavki dovode do nastanka najvećih promjena između uzorka 2 ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=9,83$) i uzorka 1, nastalog bez hlađenja uz sušenje s jednom UV lampom, ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=9,00$). Samim time, ostvarena razlika

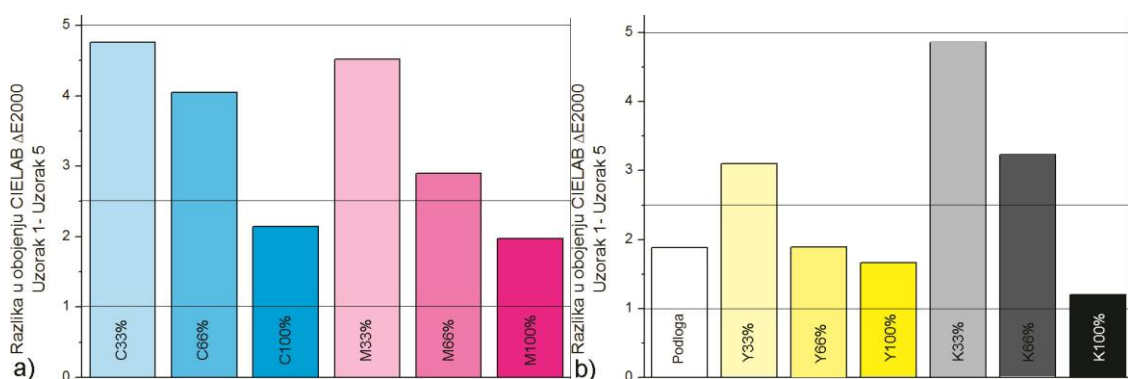
između njih iznosi $\Delta E_{U2-U1}=0,83$. Ako se analiziraju tamne tonske vrijednosti, djelovanje stroja najviše je izraženo između uzorka 4, ostvarenog indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe, ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=9,56$) i uzorka 1 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=8,99$). Pritom se ostvaruje razlika u iznosu od $\Delta E_{U4-U1}=0,57$.

Magenta otisak najveće promjene u obojenju pokazuje pri realizacije svijetlih i tamnih tonskih vrijednosti. Najmanja promjena u obojenju javlja se kod uzorka 1, nastalog bez hlađenja i uz sušenje s jednom UV lampom, (kod srednje tonske vrijednosti) te iznosi $\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=5,55$, dok se najveća promjena javlja kod uzorka 4, nastalog uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe, (kod svijetle tonske vrijednosti) i iznosi $\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,62$. Kod svijetlih tonskih vrijednosti, eksperimentalne postavke će najveću oscilaciju postići između uzorka 4 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,62$) i uzorka 1 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,16$). Oscilacija nije vidljiva okom i iznosi $\Delta E_{U4-U1}=0,46$. U srednjim tonskim vrijednostima najveća se razlika postiže između uzorka 3, nastalog uz hlađenje i sušenje jednom UV lampom, ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=5,88$) i uzorka 1 ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=5,55$), gdje iznosi $\Delta E_{U3-U1}=0,33$. Kod tamnih tonskih vrijednosti, promjena je najizraženija između uzorka 3 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=6,46$) i uzorka 4 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=5,94$). Samim time dolazi do razlike u iznosu od $\Delta E_{U3-U4}=0,52$.

Kod žutog otiska, promjene u obojenju rastu sa porastom pokrivenosti površine. One su najmanje kod svijetlih tonskih vrijednosti, a najveće kod tamnih. Tako se najmanja promjena u obojenju javlja kod svijetlih tonskih vrijednosti kod uzorka 2, nastalog bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe, i iznosi $\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,37$. Najveća razlika ostvarena je kod tamnih tonskih vrijednosti uzorka 1, nastalog bez hlađenja uz sušenje jednom UV lampom, gdje iznosi $\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=7,53$. Promatranjem svijetlih tonskih vrijednosti, može se uočiti kako se najveća kolorna razlika javlja između uzorka 4, ostvarenog indirektnim hlađenjem i sušenjem s tri UV lampe, ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,76$) i uzorka 2 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=6,37$) te iznosi $\Delta E_{U4-U2}=0,39$. U srednjim tonskim vrijednostima, eksperimentalne postavke dovode do najvećih oscilacija između uzorka 4 ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=7,17$) i uzorka 2 ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=6,94$). Tako dolazi do razlike iznosa $\Delta E_{U4-U2}=0,23$. U tamnim tonskim vrijednostima najveće promjene javljaju se između uzorka 1 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=7,53$) i uzorka 2 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=7,15$). Samim time, dolazi do razlike koja iznosi $\Delta E_{U1-U2}=0,38$.

Crni PC otisak najmanje promjene ostvaruje kod srednjih tonских vrijednosti, a najveće kod svijetlih tonских vrijednosti. Tako se vrijednošću najmanje promjene javljaju kod uzorka 3, ostvarenog uz hlađenje i sušenje jednom UV lampom, ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=5,23$) i kod uzorka 1, nastalog bez hlađenja uz sušenje jednom UV lampom, ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=5,29$). Najveće kolorne promjene u odnosu na probni otisak biti će kod uzorka 4 (ostvarenog uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe) i iznose $\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=8,61$. Ukoliko se promotre samo svijetle tonske vrijednosti, promjena postavki stroja dovodi do najveće razlike između uzorka 4 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=8,61$) i uzorka 3 ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=7,91$). U tom slučaju javlja se razlika iznosa $\Delta E_{U4-U3}=0,70$. Kod srednjih tonских vrijednosti, maksimalne oscilacije prisutne su između uzorka 2, nastalog bez hlađenja i uz sušenje s tri UV lampe, ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=6,20$) i uzorka 3 ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=5,23$). Pritom dolazi do kolorne razlike u iznosu od $\Delta E_{U2-U3}=0,97$. U najtamnijim tonским vrijednostima, najveće kolorno odstupanje javlja se između uzorka 4 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=6,78$) i uzorka 2 ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=5,76$). Tako se među njima se ostvaruje razlika iznosa $\Delta E_{U4-U2}=1,02$.

Iz rezultata je zanimljivo uočiti kako se samo kod crnog PC otiska pojavljuje karakteristika da se svi uzorci ne ponašaju jednako (promjena u obojenju vrijednošću nije kod svih uzoraka najmanja kod srednjih tonских vrijednosti). Za razliku od ostalih, kod uzorka 2, ostvarenog bez hlađenja uz sušenje s tri UV lampe, najmanja se promjena u obojenju javlja kod tamnih tonских vrijednosti. Kako proces laminacije utječe na pojedina rastertonska područja prikazano je na slici 25. Pritom su dane razlike u obojenju između nelaminiranog PC otiska (uzorak 1) i laminiranog PC otiska (uzorak 5).



Slika 25. Razlika u obojenju između uzorka 1 i uzorka 5: a) cijan otiska i magenta otiska, b) žutog otiska i crnog otiska te tiskovne podloge

Iz stupčastog grafikona vidljivo je kako proces laminacije izaziva najveće promjene u obojenju na svijetlim tonovima, a najmanje promjene kod tamnih tonova. Iznos ostvarene promjene u obojenju ne prelazi preko gornje granice tolerancije ($\Delta E=5$). Međutim, bitno je naglasiti kako se taj iznos treba promatrati zajedno sa ostalim razlikama u obojenju (između uzorka 1 i probnog otiska). Tako će konačna razlika u obojenju (razlika između konačnog laminiranog proizvoda i probnog otiska) biti dodatno povećana.

Razlika u obojenju između laminiranog uzorka (U5) i nelaminiranog uzorka (U1) je najmanja kod žutog otiska. Ona je vizualno najvidljivija u svijetlim tonskim vrijednostima i iznosi $\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=3,10$. U srednjim tonskim vrijednostima razlika je manja i iznosi $\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=1,89$, da bi na kraju, u tamnim tonskim vrijednostima, iznosila $\Delta E_{100\%}=1,66$. Laminiranje, odnosno nelaminiranje najviše će utjecati na razliku u obojenju cijan otisaka. Ta razlika je maksimalna u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=4,77$). Porastom pokrivenosti površine vrijednosti razlike u obojenju opadaju. Tako će u srednjim tonskim vrijednostima one iznositi $\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=4,05$, a u tamnim tonskim 2x manje ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=2,14$).

Komparacijom laminiranog i nelaminiranog uzorka vidljivo je kako se crni i magenta otisak slično ponašaju. Kod crnog otiska su tako promjene najveće u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=4,87$), a manje su u srednjim tonskim vrijednostima s iznosom $\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=3,23$. U tamnim tonskim vrijednostima promjene su višestruko manje nego u srednjim tonskim vrijednostima ($\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=1,20$). Kod magenta otiska kolorne promjene također su najveće u svijetlim tonskim vrijednostima ($\Delta E_{33\% \text{ RTV-a}}=4,52$), a najmanje u srednjim i tamnim tonskim vrijednostima ($\Delta E_{66\% \text{ RTV-a}}=2,90$, $\Delta E_{100\% \text{ RTV-a}}=1,98$). Ovakve razlike u obojenju mogu se protumačiti s relativno malim brojem otisnutih otisaka. Stoga bi za detaljniju analizu bilo potrebno otisnuti veću nakladu. Ipak, tendencije u razlici u obojenju znanstveno dokazuju utjecaj temperature i tiskovne jedinice na kolornu reprodukciju.

5. ZAKLJUČCI

Ukoliko se promotre dobiveni rezultati, može se uočiti kako promjenom eksperimentalnih parametara (postavki tiskarskog stroja) dolazi do promjene prirasta (promjene veličine rasterskih elemenata). Kod cijan eksperimentalnih uzoraka do najvećih razlika između ostvarenih prirasta pojedinih uzoraka dolazi u svijetlim (20% RTV-a) tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{U4-U1}=3,23$). U srednjim (50% RTV-a) tonskim vrijednostima ostvaruje se gotovo identična razlika ($\Delta Z_{U4-U3}=3,22$). U tamnim (90% RTV-a) tonskim vrijednostima razlika je višestruko manja ($\Delta Z_{U2-U4}=0,27$).

Kod magenta eksperimentalnih otisaka ostvarena razlika u prirastima smanjuje se s povećanjem površinske pokrivenosti. Tako je najveća pri pokrivenosti površine od 20% RTV-a ($\Delta Z_{U4-U1}=3,06$). Pri pokrivenosti površine od 50% RTV-a razlika je višestruko manja ($\Delta Z_{U4-U3}=1,16$). Najmanja razlika ostvaruje se pri pokrivenosti površine od 90% RTV-a ($\Delta Z_{U1-U4}=0,45$).

Kod žutih eksperimentalnih otisaka razlika između ostvarenih prirasta je manja nego kod ostalih eksperimentalnih otisaka. Tako pri pokrivenosti površine od 20% RTV-a iznosi $\Delta Z_{U2-U3}=0,63$. Pri pokrivenosti površine od 50% RTV-a razlika je dvostruko manja i iznosi $\Delta Z_{U1-U4}=0,37$. Kod pokrivenosti površine od 90% RTV-a ona je vrlo mala i iznosi $\Delta Z_{U4-U3}=0,18$.

Kod crnih eksperimentalnih otisaka rezultati su slični cijan i magenta eksperimentalnim otiscima. Najveća razlika u prirastima postiže se kod svijetlih (20% RTV-a) tonskih vrijednosti ($\Delta Z_{U4-U1}=3,05$). Razlika se smanjuje u srednjim (50% RTV-a) tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{U4-U3}=2,46$). Minimum se postiže u tamnim (90% RTV-a) tonskim vrijednostima ($\Delta Z_{U1-U3}=0,24$).

Kolorimetrijski gledano, ovisno o eksperimentalnim postavkama stroja, javljaju se vizualno vidljive kolorne promjene manjeg ili većeg iznosa. Općenito, najmanje će biti kod magenta separacije ($\Delta E_{sr}=6,12$), a najveće kod cijan separacije ($\Delta E_{sr}=8,30$).

Iz rezultata se nameću preporuke da se za realizaciju svih tonskih područja preporučuje korištenje postavki uz hlađenje i sušenje s jednom UV lampom, dok se korištenje postavki uz hlađenje i sušenje s tri UV lampe treba izbjegavati.

Dodatna laminacija utječe na prirast RTV-a. Iz srednjih vrijednosti prirasta, može se zaključiti kako proces dodatne laminacije ima najveći utjecaj na žutu kolornu separaciju ($\Delta Z_{sr}=8,42$), dok je utjecaj najmanji na crnu separaciju ($\Delta Z_{sr}=7,34$).

Također, laminacija dovodi do promjene obojenja PC podloge. Pritom, između laminirane i nelaminirane polikarbonatne podloge dolazi do pojave razlike u obojenju u iznosu od $\Delta E_{00}=1,88$. Laminacija će utjecati i na vizualno vidljive kolorne promjene, najviše izražene kod cijan kolorne separacije ($\Delta E_{sr}=3,65$), a najmanje izražene kod žute separacije ($\Delta E_{sr}=2,22$).

6. LITERATURA

1. <http://materijali.grf.unizg.hr/media/polimerni%20materijali%20uvodno%20predavanje.pdf> (29.06.2016.)
2. http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150227150049-final_plastics_the_facts_2014_2015_260215.pdf (29.06.2016.)
3. <https://plastics.ulprospector.com/generics/25/polycarbonate-pc> (29.06.2016.)
4. <https://www.britannica.com/science/polycarbonate> (29.06.2016.)
5. http://wwwcourses.sens.buffalo.edu/ce435/PC_CB.pdf (29.06.2016.)
6. <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/engineering-plastics/pc.aspx> (29.06.2016.)
7. http://www.ptslc.com/intro/polycarb_intro.aspx (29.06.2016.)
8. <http://www.intertek.com/polymers/testlopedia/notched-izod-impact-astm-d256/> (20.05.2017.)
9. <https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Technical-Resources/Technical-Resources/Plastic-Material-Selection-Guide> (29.06.2016.)
10. http://www.securitydocumentworld.com/creo_files/upload/client_files/polycarbonat_ejuly20081.pdf (29.06.2016.)
11. <http://www.exceliteplas.com/the-chemical-and-physical-properties-of-polycarbonates/> (29.06.2016.)
12. https://www.google.hr/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.datacard.com/downloads/ViewDownload.dyn%3FelementId%3Drepositories/downloads/xml/govt_wp_smartcard_durability.xml%26repositoryName%3Ddownloads&ved=0ahUK Ewjn7-r30rrUAhXDNpoKHbshDJIQFggeMAA&usg=AFQjCNEMKG29QH_RT-8pnjyXulexVojurA&sig2=HCEkKpvf2jM_AE7SYCBnsA (29.06.2016.)
13. Puhalo M. (2014). *Mogućnost primjene Inkjeta pri otiskivanju metalne ambalaže*, diplomski rad, Grafički fakultet Zagreb
14. Majnarić I., Leskovec T. (2009). *CROPRINT*, (rujan, 2009.), pp 48-51, dostupno na: https://bib.irb.hr/datoteka/430673.ink_jet_1.pdf (15.04.2017.)

15. Delač I., Ljevak I., Ramljak S. (2012). *Analiza vrijednosti kod bezvodnog ofsetnog tiska*, seminarski rad, Grafički fakultet Zagreb, dostupno na:
<http://app.eva-sms.com/claroline/claroline/backends/download.php?url=L1NlbWluYXJza2lfcmlkYXZpXzIwMTIvQW5hbGl6YV92cmIqZWRub3N0X2tvZF9iZXoub2ZzZXRhLXNlbWluYXJfMS5wZGY%3D&cidReset=true&cidReq=OTS1516> (21.04.2017.)
16. Majnarić I., (2004). *Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge*, magistarski rad, Grafički fakultet Zagreb
17. Kleeberg D., Kokot J., (2011.), *Waterless sheetfed and web offset - Flexible quality print production not just for niche markets*, BdgW-Agentur, Esslingen
18. https://www.heidelberg.com/global/en/products/press/sheetfed_offset/speedmaster_xl_106/product_information_12/product_information_20.jsp (29.05.2017.)
19. https://www.heidelberg.com/global/en/products/press/sheetfed_offset/speedmaster_xl_106/efficiency_25/speed.jsp (29.05.2017.)
20. https://www.heidelberg.com/global/en/products/press/sheetfed_offset/speedmaster_xl_106/technical_data___equipment_10/technical_data___equipment_40.jsp (29.05.2017.)
21. <http://www.xrite.com/categories/portable-spectrophotometers/exact> (12.06.2017.)
22. Kumar A., Choudhury R. (2014). *Principles of colour and appearance measurement, Volume 2: Visual measurement of colour, colour comparison and management*, Woodhead Publishing, Oxford

Popis slika i tablica

Slika 1. Današnja upotreba polimernih materijala

Slika 2. Usporedba troškova proizvodnje i termostabilnosti amorfnih termoplasta

Slika 3. Čvrstoća polimernih materijala na udar

Slika 4. Trajnost pločastih materijala korištenih u grafičkoj industriji

Slika 5. Presjek izrađene polikarbonatne kartice

Slika 6. Primjena laserskog graviranja na polikarbonatu

Slika 7. Princip piezo Inkjeta: a) presjek jedne mlaznice, b) formiranje kapljice uslijed pomaka piezoelektričnog kristala

Slika 8. Tiskarska jedinica bezvodnog ofsetnog tiskarskog stroja

Slika 9. Primjeri otisaka višebojne reprodukcije te usporedba kvalitete između otisaka bezvodnog i klasičnog ofsetnog tiska

Slika 10. Proces termalne ablacije na tiskovnoj formi za bezvodni ofsetni tisak

Slika 11. Presjek tiskovne forme za: a) klasični ofsetni tisak, b) bezvodni ofsetni tisak

Slika 12. Faze procesa sušenja UV boja

Slika 13. Shematski prikaz živine elektrolučne lampe

Slika 14. Shematski prikaz izvršenog eksperimenta

Slika 15. Heidelberg Speedmaster XL 106

Slika 16. Krivulje reprodukcije otisaka otisnutih na polikarbonatu: a) cijan separacije, b) magenta separacije, c) žute separacije, d) crne separacije

Slika 17. Razlika u krivuljama reprodukcije nelaminiranog i laminiranog otiska: a) cijan separacije, b) magenta separacije, c) žute separacije, d) crne separacije

- Slika 18. Grafički prikaz utjecaja hlađenja tiskovne forme i snage zračenja UV lampi na:
- a) RTV cijan otiska, b) RTV magenta otiska, c) RTV žutog otiska, d) RTV crnog otiska
- Slika 19. CIELAB vrijednosti cijan eksperimentalnih otisaka i cijan probnog otiska:
- a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a, d) razlika nelaminiranih i laminiranih cijan otisaka
- Slika 20. CIELAB vrijednosti magenta eksperimentalnih otisaka i magenta probnog otiska:
- a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a, d) razlika nelaminiranih i laminiranih magenta otisaka
- Slika 21. CIELAB vrijednosti žutih eksperimentalnih otisaka i žutog probnog otiska:
- a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a, d) razlika nelaminiranih i laminiranih žutih otisaka
- Slika 22. CIELAB vrijednosti crnih eksperimentalnih otisaka i crnog probnog otiska:
- a) pokrivenost 33% RTV-a, b) pokrivenost 66% RTV-a, c) pokrivenost 100% RTV-a, d) razlika nelaminiranih i laminiranih crnih otisaka
- Slika 23. CIELAB vrijednosti korištenih tiskovnih podloga: a) PC uzoraka 1, 2, 3 i 4 te papirnog probnog otiska, b) nelaminiranog i laminiranog PC uzorka 1
- Slika 24. Razlika u obojenju između otisnutih PC uzoraka i probnog otiska: a) cijan otiska, b) magenta otiska, c) žutog otiska, d) crnog otiska
- Slika 25. Razlika u obojenju između uzorka 1 i uzorka 5: a) cijan otiska i magenta otiska, b) žutog otiska i crnog otiska te tiskovne podloge

Tablica 1. Svojstva polikarbonata i testne metode za njihovo ispitivanje

Tablica 2. Usporedba mehaničkih svojstava pločastog PC-a i PVC-a

Tablica 3. Svojstva polimera koji se koriste za izradu tijela višeslojnih pločastih materijala

Tablica 4. Tehnologije otiskivanja na višeslojne pločaste materijale

Tablica 5. Svojstva različitih načina zaštite kartica od meh. ili kem. oštećenja

Tablica 6. Tehničke specifikacije stroja Heidelberg Speedmaster XL 106

Tablica 7. Tehničke specifikacije uređaja X – Rite eXact