

Multicolor tisak i njegova postojanost na ubrzano starenje

Buhin, Josip

Master's thesis / Diplomski rad

2014

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:765589>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-07**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

JOSIP BUHIN

MULTICOLOR TISAK I NJEGOVA
POSTOJANOST NA UBRZANO
STARENJE

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2014.



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

JOSIP BUHIN

MULTICOLOR TISAK I NJEGOVA
POSTOJANOST NA UBRZANO
STARENJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:
doc. dr. sc. Igor Majnarić

Student:
Josip Buhin

Zagreb, 2014

SAŽETAK

Visoku kvalitetu višebojne reprodukcije nemoguće je zamisliti bez upotrebe dodatnih bojila. Prilikom proizvodnje ekskluzivne ambalaže primjenjuju se dodatne PANTONE boje kojima se omogućuje bolja ponovljivost tiska. U grafičkoj industriji trenutno se koriste 1114 PANTONE nijansi dobivenih miješanjem 15 baznih pigmenata plus crna i bijela. Česta varijanta je da se PANTONE boje pokušavaju realizirati i pomoću standardnih procesnih boja (CMYK) čiji rezultat ponekad nije kvalitetom zadovoljavajući.

U ovom radu usporedila se mogućnost realizacije 6 karakterističnih PANTONE tonova koje u različitim omjerima sadržavaju narančasto i zeleno bojilo (mali, srednji i veliki udio). Pritom su se eksperimentalni PANTONE tonovi realizirati na dva načina: otiskivanjem principom 4/0 (iz CMYK-a) i otiskivanjem 5/0 (CMYK+G i CMYK+O). Preduvjet tome je kvalitetno izvršeno otiskivanje osnovnih bojila. Pritom je nužno utvrditi koliki su ostvareni nanosi bojila (optička gustoća obojenja punog tona) odnosno kakva je krivulja reprodukcije (prirasti rastertonske vrijednosti). Nakon toga se određuju njihova kolorna odstupanja i varijacije u odnosu na standardni PANTONE (digitalni katalog). U drugom dijelu eksperimenta PANTONE otisci se izlažu simuliranom starenju u Solar box 1500 primjenjujući pritom metodu HR ISO 12 040-2004 (UV svjetlost dobivena zračenjem xsenonske lampe snage 550 W/m² uz primjenu 320 nm filtra, temperature zraka od 50°C i relativne vlažnosti zraka od 65%). Drugim riječima vrši se proces ubrzanog starenja (u vremenskim intervalima od 0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h, 144h i 250h) kako bi se utvrdila realna uporaba tako proizvedenih otisaka odnosno buduće kartonske ambalaže.

Nakon provedenog eksperimenta mjerenja su pokazala da žuto bojilo doživljava najveću promjenu tokom starenja, a cijan bojilo se najmanje mijenja od svih mjerenih bojila. Tako se PANTONE tonovi s većim udjelom žutog bojila ne preporučuju tiskati peterobojsnom metodom jer su razlike u odnosu na standardni CMYK zanemarive.

KLJUČNE RIJEČI

Šesterobojsno otiskivanje, Anicolor, Ubrzano starenje, Tisak PANTONE boja

SUMMARY

It is impossible to think about high quality multicolor reproductions without the usage of additional inks. Additional PANTONE inks which enable better reproduction, are added during the production of exclusive packaging. Printing industry currently uses around 1114 PANTONE shades produced by mixing 15 base pigments with black and white inks. Oftenly, PANTONE colors try to be reproduced using only the basic process CMYK inks, but the results are not always satisfactory.

In this paper, the possibility of reproducing 6 characteristic PANTONE shades with different percentages of orange and green ratios has been compared. During the experiment PANTONE shades were produced using two different methods: printing 4/0 (CMYK) and printing 5/0 (CMYK+O and CMYK +G). Basic inks had to have been printed with quality first. It is necessary to establish what are the realised ink densities, and what does the reproduction curve look like (tonal gain). After that the color deviation and the variations to the standard PANTONE (digital catalogue) are determined. During the second part of the experiment PANTONE prints are exposed to simulated aging using Solar box 1500 and applying the principals of HR ISO 12 040-2004 method (UV light gained by using xenon bulbs 550W/ m² with 320 nm filter, ambient temperature of 50°C and relative humidity of 65%). In other words, the process of rapid aging is enforced (in intervals of 0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h, 144h i 250h) to establish the realistic usage of prints produce using this process.

After the experint was over, it was established that the yellow ink is most affected by the rapid aging, and the cyan ink the least. That is why it is not recomend to print PANTONE shades that contain a great amount of yellow using multicolor considering that the differences between multicolor and standard prins are minor

KEY WORDS

Six color printing, Anicolor, Rapid aging, PANTONE color print

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Teorijski dio	2
2.1. Trendovi u tisku.....	2
2.2. Ofsetni tisak.....	3
2.3. Anicolor ofsetni tiskarski stroj	7
2.2.1. Standardno bojilo za ofsetni tisak	10
2.2.2. Boja za Anicolor tisak	13
2.4. Tisak visoke vjernosti.....	14
2.3.1. Modeli HiFi tiska	15
2.3.2. Heidelberg multicolor otiskivanje.....	19
2.5. Pantone katalog boja.....	21
2.6. CIE Lab prostor boja	23
2.7. Ubrzano starenje otisaka.....	25
3. Eksperimentalni dio	29
3.1. Metode korištene za izradu diplomskog rada.....	29
3.2. Uređaji korišteni za izradu diplomskog rada.....	31
3.3. Korištena tiskovna podloga	34
4. Rezultati i rasprava	36
4.1. Denzitometrijska analiza	37
4.2. Kolorimetrijska analiza	43
5. Zaključak	50
6. Literatura	52
7. Popis slika, tablica i formula	55
8. Popis priloga	59

1. UVOD

Realizacija točno definiranih kolornih tonova veliki je izazov za svaku tiskaru. Pogotovo je to izraženo kod tiska kartonske ambalaže koja osim standardnog CMYK-a često zahtijeva otiskivanje dodatnih boja. Za pretpostaviti je da četverbojni i peterbojni otisci imaju drugačiju postojanost. Odnosno da će veći broj nanesenih slojeva (ostvarenih trapingom) biti postojaniji od onih sa manjim brojem otisnutih slojeva. Samim time da će proces ubrzanog starenja (izvršenom metodom djelovanja UV svjetla) dati različite kolorne rezultate. Za detekciju kolornih promjena primijeniti će se kolorimetrijske (CIE $L^*a^*b^*$, ΔE , ΔL , ΔC , ΔH) i denzitometrijske (D, RTV, Z) metode koje će nam dati točna kolorna odstupanja, a samim time i projekciju uspješnog korištenja ofsetom otisnute kartonske ambalaže. Pri toj analizi koristiti će se X-Rite eXact sa ugrađenim PANTONE katalogom. Otisci otisnuti sa četiri i pet boja definitivno nisu jednaki. Samim time i starenje takvih otisaka polučiti će različitom postojanošću. Za pretpostaviti je da će veći nanos (veća pokrivenost) biti stabilnija od manje. Na temelju toga, za očekivati je da se sa simuliranim starenjem u vremenskom periodu od 0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h, 144h i 250h ostvaruju različiti iznosi kolornih promjene. Samim time u radu će se odrediti i kritična vremena korištenja takvih grafičkih proizvoda, te utvrditi moguća kolorna odstupanja.

Da bi se ostvarila viša kvaliteta, standardnom CMYK-u moguće je dodati i 2 dodatna bojila čime ćemo se približiti točnijim kolornim vrijednostima PANTONE definiranih tonova. U našem radu analizirane su šest narančastih nijansi i 6 zelenih nijansi (Pantone 137, Pantone 145, Pantone 1225, Pantone 1505, Pantone 165, Pantone 1788 i Pantone 375, Pantone 354, Pantone 369, Pantone 376, Pantone 377, Pantone 396) koje su realizirane sa četverbojnim (CMYK) i peterbojnim (CMYK+O, CMYK+G) otiskivanjem. Pritom će se za nastajanje otisaka koristiti 350 g/m² premazani višeslojni karton Kromopak GC2 (300 g/m²), otisnut na peterbojanom ofsetnom tiskarskom stroju Heidelberg Speedmaster 74 CD 5/0.

Tijekom eksperimentalnog mjerenja otisaka primijenjuju se kolorimetrijska i denzitometrijska mjerenja uređajem X-Rite eXact koji na temelju ugrađenog PMS (Pantone Matching System) softwarea daje točna kolorna odstupanja primjenjujući pritom standardnu formulu za određivanje $L^*a^*b^*$ ΔE_{2000} kolorne promjene. Drugim riječima uz izračun CIE $L^*a^*b^*$, ΔE , ΔL , ΔC , ΔH varijabli dektektiraju se uzroci pogrešaka, te na temelju njih daje preporuka u kojoj mjeri se multikolorni tisak može uspješno primijeniti pri proizvodnji ofsetom otisnute kartonske ambalaže.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Trendovi u tisku

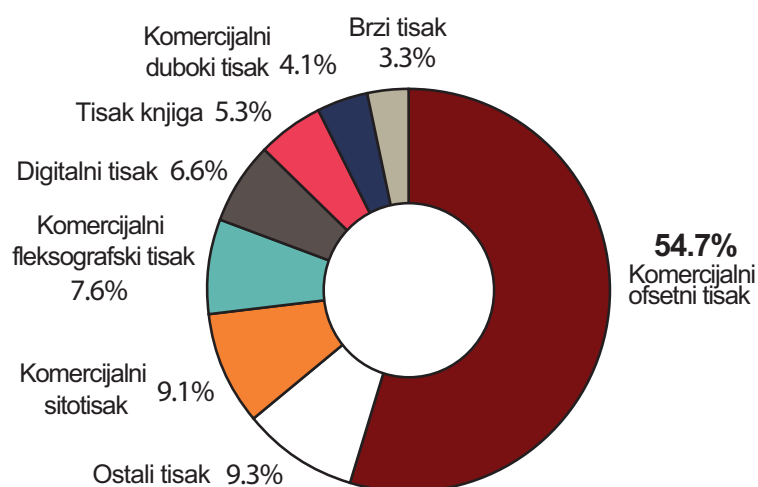
Pri tisku kartonske ambalaže mogu se primijeniti različite tehnike otiskivanja koje u osnovi dijelimo na konvencionalne i digitalne (non-impact) tehnike. Konvencionalne tehnike tiska, odnosno tehnike koje koriste fizičku tiskovnu formu, se dijele na sitotisak, visoki tisak (fleksotisak i knjigotisak), ofsetni tisak (klasični i bezvodni) te duboki tisak. Globalno najraširenija tehnika tiska je tehnika klasičnog ofsetnog tiska koja je svojom pojavom na tržištu marginalizirala sve ostale tehnike tiska (Tablica 1.).

Tablica 1. Ukupna zarada tiskarske industrije prema vrsti tiska

Izvor zarade (bilijuni)	Postotak promjene				
	2000	2006	2012	2012-2000	2012-2006
Ukupno	\$101.0	\$95.8	\$78.0	-22.8%	-18.6%
Ofsetni tisak	\$86.5	\$66.2	\$49.3	-43.0%	-25.6%
Digitalni tisak	\$3.1	\$13.3	\$14.3	357.2%	7.5%
Usluge dodatne vrijednosti	\$10.2	\$10.2	\$10.0	-2.2%	-1.7%

(Izvor: Andrew Paparozzi - *Changing Composition Of Revenue* 18.04.2014.)

U posljednjih 10-ak godina ofsetni tisak bilježi globalno konstantan pad zarade. Tržište se sve više okreće proizvodima manjih naklada i veće kvalitete. Iako ofsetni tisak još uvijek drži najveći udio globalnog tržišta, tokom godina je ova tehnika tiska sve neisplativija. U istom ovom razdoblju produktivnost u grafičkim tvrtkama u stalnom je porastu. Pritom se tijekom godine dana realizira sve veći broj poslova (radnih naloga). Paralelno sa tim kvaliteta samih grafičkih proizvoda postaje sve važnija.



Slika 1. Tržišna raspodjela tiskarskih proizvoda i usluga u 2012. godini
(Izvor: Caitlin Moldvay - *IBISWorld Industry Report 32311, kolovoz 2012*)

Kako bi osigurala tražena kvaliteta, a istovremeno održala visoka produktivnost, strojevi postaju jednostavniji za korištenje, automatizacija procesa je sve veća, pa se i smanjuje broj radnika potrebnih za rad na stroju. Također, ostvaruje se potreba za dodatnim specijalnim efektima u tisku (lakiranje, tisak irocin boja, tisak folijom, embosiranje) ali i upotreba za tiskom na novim tiskovnim podlogama.

Uz ofsetni tisak najveći udio tržišta drže komercijalni sitotisak, fleksografski tisak, te digitalni tisak. Jedina tehnika tiska koja bilježi značajan rast udjela tržišta i zarade jest digitalni tisak, no i digitalne tehnike tiska bilježe usporavanje rasta zarade zbog novijih trendova potražnje u grafičkoj industriji. U grafičkoj industriji trenutni trendovi pokazuju da se proizvodi sve više luksuznijih proizvoda, a u isto vrijeme povećava se potražnja za što jeftinijim, niskokvalitetnim proizvodima. Samim time potražnja za proizvodima srednje kvalitete i relativno velikih naklada konstantno smanjuje. Kako bi se zadovoljile potrebe tržišta za luksuznim proizvodima strojevima se dodaju periferne jedinice za lakiranje, segmentno izrezivanje, perforiranje, laminiranje i slično. Zbog investicija u takve periferne jedinice tiskarama nije više ni isplativo tiskati proizvode srednje kvalitete, odnosno vrijednosti, već proizvode gotovo isključivo luksuzne i niskokvalitetne proizvode. Za proizvodnju luksuznih proizvoda bitno je konstanto stvarati otisak visoke vjernosti, te se zbog toga sve češće implementiraju dodatna bojila u proces tiska.

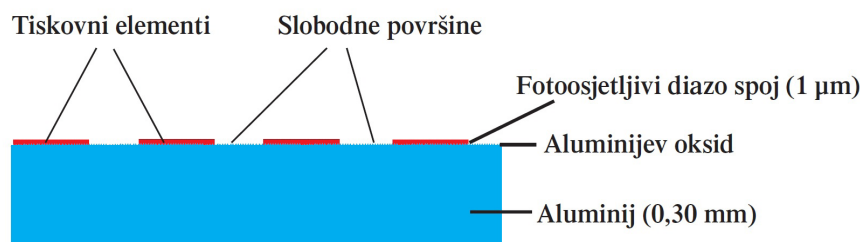
2.2. Ofsetni tisak

Ofsetni tisak je vrsta indirektna tehnika tiska a razvio se od litografskog tiska. Posljednjih tridesetak godina ofset dominira, te je potpuno potisnuo letterset. Razvoj ofseta stimuliran je razvojem višebojne reprodukcije fotografije, digitalizacijom izrade tiskovne forme od CtF-a (Computer to Film - računalo na film) preko CtP-a (Computer to Plate - računalo na ploču) do CtPress-a (Computer to Press - računalo u tisak), te razvojem kontrolne i upravljačke tehnologije poput sustava CPC1-CPC4 (Computer Print Control - računalno upravljanje tiskom). Osim toga to se može zahvaliti i razvoju sustava sušenja koji direktno utječe na porast kvalitete i brzine, odnosno smanjenje vremena pripreme i troškova proizvodnje.

Ofsetni tisak je danas najraširenija tehnika tiska kojom se može otisnuti široka paleta proizvoda. U ofsetu se najčešće tiskaju proizvodi velikih naklada (kao što su: časopisi, plakati, letci, ambalaža, brošure, vizitke i sl.). Međutim, zbog ekonomske neisplativosti ne tiskaju se male naklade. Razvojem Anicolor tiskovne jedinice ofsetni tisak postaje ekonomski isplativ i za tisak manjih naklada. U odnosu na digitalne tehnike veliku prednost ofsetnom tisku daje kvaliteta otisaka uz nisku cijenu proizvoda. Međutim, karakteristična je i brza i laka priprema u odnosu na ostale klasične tehnike tiska [1].

Za razliku od tehnika dubokog i visokog tiska, ofsetna tehnika je specifična zbog tiskovne forme na kojoj tiskovne i slobodne površine leže gotovo u istoj ravni. Razlika između dviju površina je u njihovim različitim fizikalno-kemijskim svojstvima.

Danas se najčešće koriste monometalne tiskovne forme. Takva forma je izrađena od jedne vrste metala (čistog aluminija) [2]. Aluminij je metal svjetlosive boje, koji se za potrebe tiskovne forme mora oplemeniti anodnom oksidacijom, elektrokemijskim postupkom, pri čemu se aluminij prevlači tankim slojem aluminij oksida. Aluminijev oksid je porozan pa je s time povoljan za adsorpciju. Površina aluminijske forme oslojava se fotoosjetljivim slojem čijim osvjetljavanjem i razvijanjem nastaju tiskovne površine.

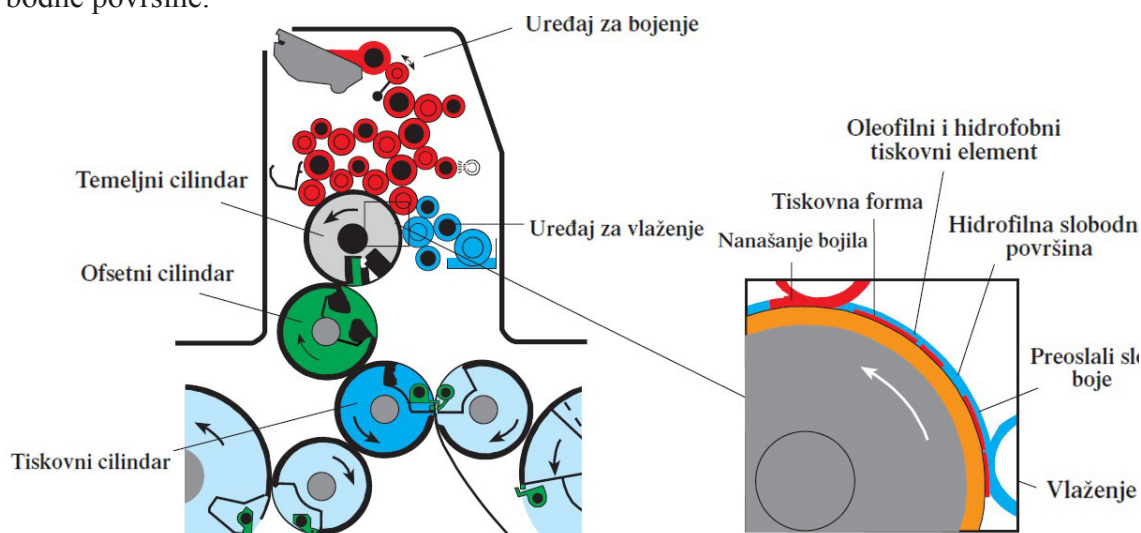


Slika 2. Monometalna tiskovna forma za ofsetni tisak (Izvor: Majnarić I., (2004). Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)

Tiskovne površine na sebi nose kopirni fotopolimerni sloj u tankom nanosu. Upravo taj sloj fotopolimera nakon osvjetljavanja mijenja svoja kemijska svojstva što je iskorišteno za kasnije selektivno prihvaćanje bojila. Slobodne površine su hidrofilne i prihvaćaju na sebe otopinu za vlaženje koja je u najvećem sastavu voda [3]. Načinjene su od aluminijeva oksida koji privlači otopinu za vlaženje. U otopini za vlaženje najveći postotak zauzima voda u koju se dodaju pufri, sredstva za smanjenje površinske napetosti i različiti drugi dodaci. Pufri služe za reguliranje ravnoteže pH vrijednosti otopine, te istu održava konstantnom. Aluminijev oksid ima sposobnost na sebe privući otopinu za vlaženje koja ima manju površinsku napetost od kopirnog sloja. Tiskovne površine tako pokazuju svojstvo oleofilnosti i hidrofobnosti što znači da na sebe vežu samo bojilo koje u svom sastavu sadrži ulje. Originalni kopirni zbog veće površinske napetosti će odbiti otopinu za vlaženje te će na sebe vezati bojilo [4].

Pripremi proces tiska u ofsetu sastoji se od nekoliko osnovnih faza. Dokument koji se tiska mora biti standardno pripremljen i spremljen kao .pdf ili .eps format (sa podešenim parametrima za CtP osvjetljivač na kojem se razvija tiskovna forma). Pripremljena datoteka (separacija) odlazi na RIP (Raster Image Processor) gdje se vrši separacija boja, uz to vrši se i rastriranje svake od separacija, nakon čega se tiskovni elementi osvjetljavanjem prenose na tiskovnu formu. Svaka boja tako zahtjeva zasebnu tiskovnu formu preko koje se vrši buduće otiskivanje.

Osnovna ofsetna tiskovna jedinica sadrži tri cilindra: tiskovni, ofsetni i temeljni cilindar. Proces tiska započinje na temeljnom cilindru gdje se postavlja već osvjetljena i razvijena tiskovna forma. Ona se nalazi u direktnom kontaktu s jedinicom za vlaženje i jedinicom za obojenje. Na tiskovnu formu prvo se nanosi otopina za vlaženje koja će se prihvatiti za slobodne površine. Nakon toga se rotacijom temeljnog cilindra tiskovna forma dovodi u kontakt sa jedinicom za obojenje gdje se bojilo nanosi na tiskovne elemente. Tamo gdje se nalazi otopina za vlaženje, bojilo koje sadrži ulje neće se prihvatiti za slobodne površine.



Slika 3. Princip ofsetnog tiska (Izvor: Majnarić I., (2004). Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)

Nakon prijenosa otopine za vlaženje i bojila na tiskovnu formu, one se zajedno s forme direktnim pritiskom prenose na ofsetni cilindar (ofsetnu gumenu navlaku) koji će daljnjom rotacijom prenijeti bojilo na papir (nalazi se ispod na tiskovnom cilindru). Na podlogu će se tako prenijeti ljepljivo pastozno bojilo, ali i zaostala otopine za vlaženje.

Zbog ovakvog prijenosa bojila (s temeljnog na ofsetni cilindar i ofsetnog cilindra na papir), ofsetna tehnika spada u indirektno tiska. Dobiveni otisak sadrži sloj bojila debljine 0,5 - 1,5 μm , pri čemu se sušenje ofsetnih otisaka vrši oksipolimerizacijom, hlapljenjem i penetracijom bojila [5]. Tokom cijelog procesa tiska, potrebno je voditi računa o radu stroja, o pH otopine za vlaženje, temperaturi i vlažnosti zraka na kojem se tiska, papiru, boji i drugim parametrima kako bi otisak kroz cijelu nakladu bio konstantne kvalitete.

Ofsetni strojevi mogu tiskati ili iz araka ili iz role. Strojevi koji tiskaju iz role koriste se za otiskivanje časopisa, novina i drugih proizvoda za koje je potrebna veća naklada i brzina proizvodnje.

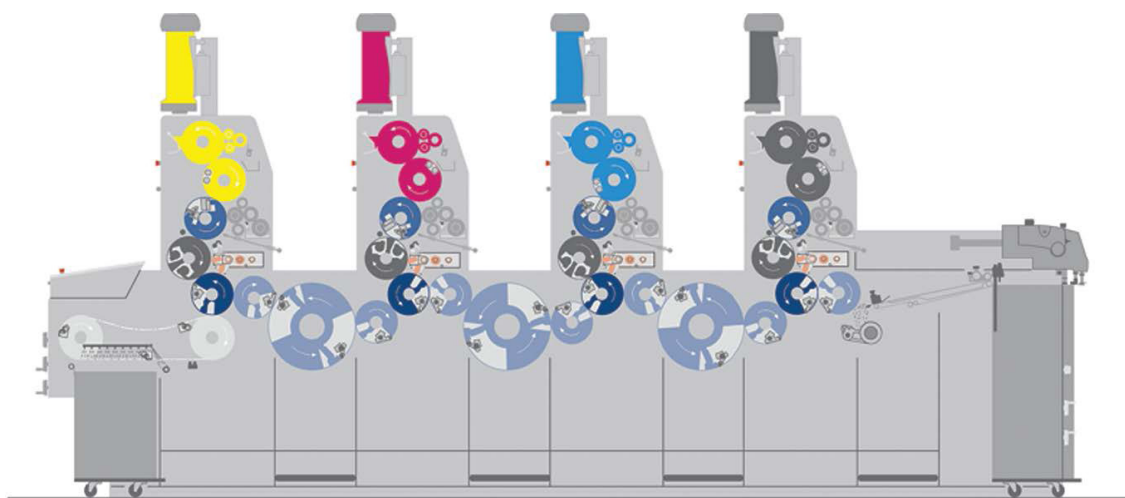
Papir se nakon otiskivanja izrezuje na arke ili dimenzije gotovog proizvoda. Strojevi za tisak iz araka mnogo su češći i razlikuju se po formatu otiskivanja. Ofsetni strojevi na arke mogu se podijeliti na: ofsetne strojeve malog formata (formati A4, A3, B3, B4), ofsetne strojeve srednjeg formata (A2, A1, B2, B1) i ofsetne strojeve velikog formata (formati 0 i veći). Suvremeni ofsetni strojevi imaju mogućnosti obostranog i jednostranog tiska, te tisak jedne ili više boja (dvobojni, četverbojni, peterbojni, šesterbojni...) [2].

Ofsetni strojevi su tokom godina sve više potpomognuti računalima i sensorima kojima se proces tiska kontrolira, upravlja i podešava. Računalni uređaji za podešavanje tiskarskih strojeva omogućuju da rad na stroju postaje fizički lakši, psihička napetost radnika je manja, a produktivnost veća. Računala u ofsetni tisak je započela uvoditi tvrtka Heidelberg još 70-tih godina dvadesetog stoljeća. Takav revolucionaran razvoj uređaja je poznat i pod nazivom CPC1 kojim je omogućeno daljinsko upravljanje raznim podešavanjima stroja s jednog centralnog mjesta. Nakon toga slijedi razvoj CPC2 uređaja za denzitometrijsko praćenje kvalitete tiska (očitanjem stripova na otisku). Uz njega je moguće pronaći i CPC3 uređaj čija funkcija je podešavanja ofsetnog stroja te služi za pretpodešavanje bojanika prije tiska. Za automatsku kontrolu i namještanje pasera se razvio zasebni CPC4 uređaj, dok je vrhunac mjerenja u tisku spektrofotometrijska kontrola otiska (image control koji i očitava i mjeri kompletni otisak) te Inline kontrolom (trenutna spektrofotometrijska kontrola otisaka).

Kako bi se kontrolirao rad samog stroja, danas postoji niz automatiziranih uređaja koji kontroliraju funkcioniranje raznih ključnih mjesta u radu stroja od podmazivanja do uvjeta rada cijelih sklopova. Na nekim se ofsetnim strojevima kontrolira i do 1.500 mjesta. Svi rezultati kontrole mogu se pratiti na dodatnom uređaju komandnog stola (Heidelbergov CPtronic i Heidelberg CP2000). Neki strojevi opskrbljeni su također i s uređajem za automatsku izmjenu ofsetnih ploča. Na taj način je skraćeno potrebno vrijeme za promjenu tiskovnih formi, ali i olakšan rad na stroju. Zbog istih razloga često se ugrađuju i uređaji za automatsko pranje stroja koji se aktivira nakon završetka tiska. Implementacijom svih ovih uređaja dovesti će do ujednačenosti kvalitete, povećanje kvalitete reprodukcije, a u tisku se smanjuje makulatura. Međutim takva računalna oprema zahtijeva i visoku cijenu investicije.

2.3. Anicolor ofsetni tiskarski stroj

Ofsetni tiskarski stroj sa anicolor tiskovnom jedinicom se sastoji od istih osnovnih cjelina kao i konvencionalni ofsetni tiskarski stroj. Početak tiska počinje na uređaju za ulaganje. Horizontalni stol na kojem je naslagan kup araka za tisak podiže se u skladu s odlaskom araka. Tako je gornji arak uvijek na potrebnoj visini za ulaganje. Ulagači uređaj obavezno je opskrbljen vakuumskim i tlačnim uređajem koji gornji arak s kupa prebacuje na kosi ulagači most. Po ulagačem mostu arci u stepenastom poretku putuju pomoću beskonačnih traka do čeonih marki. Kada arak stigne do čeonih marki, uključuje se bočna marka koja dovodi arak uvijek u isti položaj prije ulaganja u tiskovnu jedinicu. S tog se mjesta arak pomoću hvataljki uređaja za predulaganje predaje tiskovnom cilindru [2].



Slika 4. Anicolor ofsetni tiskarski stroj (Izvor: Majnarić I., Mjeriteljstvo u tisku - Predavanje 7 (2011), Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)

Tiskovni cilindar preuzima arak i vodi ga kroz tiskovnu jedinicu. Tu se bojilo s ofsetnog cilindra u izravnom kontaktu prenosi na arak. Pritisak potreban da se obavi otiskivanje dobiva se elastičnom deformacijom gumene navlake u dodirnoj zoni s tiskovnim cilindrom. Iako je osnovni sistem u potpunosti jednak, anicolor tiskovna jedinica je detaljno redizajnirana. Bojanik ima kontinuirani dotok bojila preko handy fill sustava a umjesto mnogo razribačkih valjaka uveden je anilox rastrirani valjak.

Bojanik nema zona pa je uveden nanoseći valjak velikog formata, dok se za vlaženje brine novi alcolor uređaj za kontinuirano vlaženje. Tokom samog otiskivanja kao i za vrijeme boravka arka na tiskovnom cilindru (od trenutka prihvaćanja arka od uređaja za predulaganje, do trenutka predaje arka uređaju za izlaganje), hvataljke tiskovnog cilindra čvrsto drže arak kako se on ne bi pomakao i ugrozio registar. Kod dvobojnih i višebojnih strojeva arak nakon napuštanja prve tiskovne jedinice ne odlazi na uređaj za izlaganje, već se prenosi u slijedeću tiskovnu jedinicu. Tek iz posljednje tiskovne jedinice (ako ona nema ugrađen dodatni uređaj za lakiranje) arak odlazi na uređaj za izlaganje.

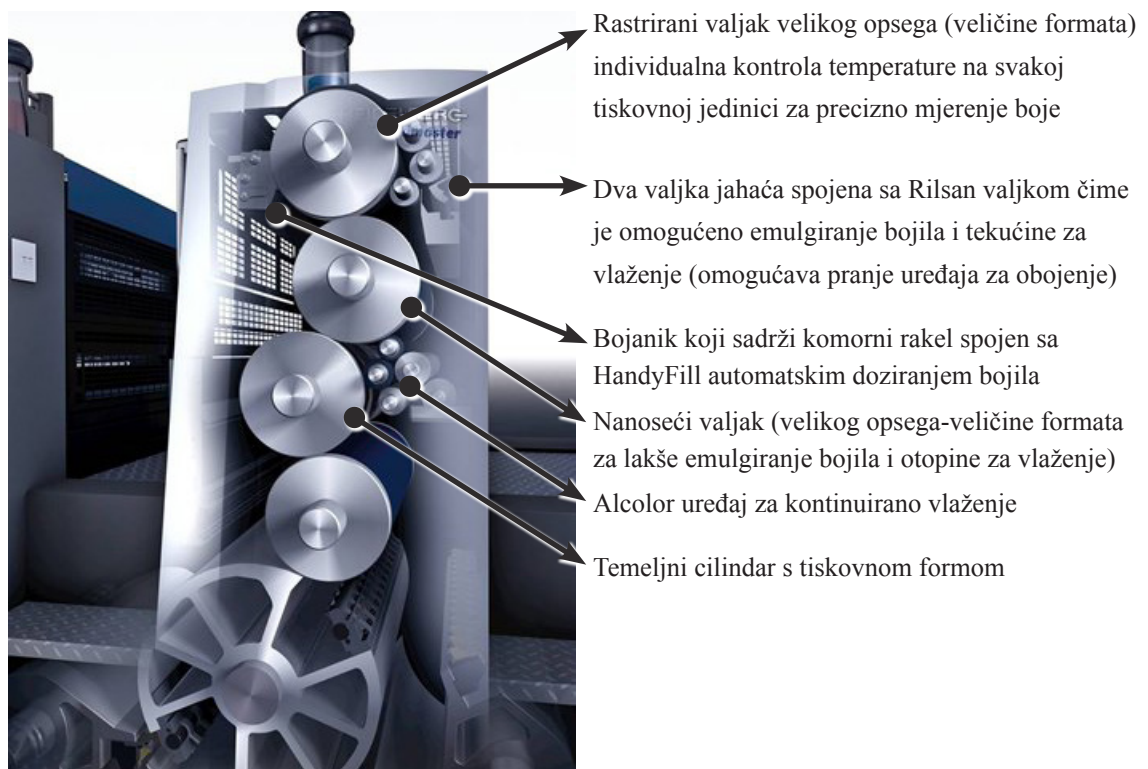
Zadatak uređaja za izlaganje je preuzeti svježe otisnuti arak od tiskovnog cilindra i prenijeti ga i precizno položiti na izlagači stol. Putem, kao i na izlagačem stolu, otisak ne smije biti oštećen. Kod današnjih ofsetnih strojeva srednjeg i velikog formata koriste se isključivo lančasti uređaji. Njihova karakteristika je jedan beskonačni lanac smješten na svakoj bočnoj strani. Lanci su okomito na smjer kretanja povezani nosačima koji na sebi imaju montirane hvataljke koje drže arak za cijelo vrijeme transporta od tiskovnog cilindra do izlagaćeg stola. Hvataljke lančastog uređaja za izlaganje preuzimaju arak od tiskovnog cilindra odmah nakon otiskivanja ili neposredno prije završetka otiskivanja te ga transportiraju do kupa za izlaganje. Tu ispušteni arak zastaje te odgovarajuće usporen liježe na izlagači kup oslonjen na čeonu ravnalo. Izlagači uređaj osim prednjeg i stražnjeg ravnala, ima i dva ravnala koja s bočne strane udarcima poravnavaju arke na vrhu kupa [2].



Slika 5. Handy Fill automatska opskrba bojom (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/071115_anicolor2)

Uz klasične dijelove ofsetnog stroja Anicolor tiskarski stroj implementira i cjelokupni Star sustav perifernih jedinica koje poboljšavaju funkcionalnost i profitabilnost stroja. Ovaj sustav se sastoji od CoolStar uređaja za kontrolu temperature uređaja za obojenje, HydroStar uređaja za distribuciju tekućine za vlaženje, WashStar sustava za pranje i reciklaciju, DryStar konfiguracije sušenja, AirStar uređaja za distribuciju vakuuma i komprimiranog zraka, ScrollStar uređaja za distribuciju komprimiranog zraka, PowderStar uređaja za precizno pudranje, te CleanStar uređaja za uklanjanje pudera.

Princip tiska Anicolor strojeva je u osnovi identičan onom konvencionalnih ofsetnih strojeva, no ovi tiskarski strojevi predstavljaju budućnost ofsetne tehnologije. Problem ofseta u odnosu na digitalne tiskarske strojeve je upravo u onom što se sve više traži na tržištu, a to je tisak više serija malih naklada.



Slika 6. Konstrukcija Anicolor uređaja za obojenje (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/110518_ahlfeldt_printing)

Klasični ofsetni tisak nije ekonomski isplativ pri tisku malih naklada, zato su u tvrtci Heidelberg odlučili prenamijeniti postojeću tehnologiju kako bi strojevi mogli tiskati manje naklade. Da bi se smanjila cijena otiska treba što više smanjiti početnu makulaturu, odnosno broj otisaka koji je potreban da bi obojenje na otisku bilo optimalno. Ključ smanjenja makulature leži u bržem razribavanju boje te miješanju s otopinom za vlaženje. Heidelberg je to riješio inovativnom tiskovnom jedinicom pri kojoj se skratio tok bojila na minimum. Osim tiskovne jedinice, smanjenju makulature pomaže i lakša, preciznija i brža priprema samog stroja za tisak

U usporedbi sa strojem s konvencionalnim bojanikom, prednosti Anicolor tiskovne jedinice se predstavljaju u omjeru 90:50:50. To znači da ova tehnologija rezultira sa 90 posto manjom makulaturom, 50 posto kraćim vremenom pripreme stroja te 50 postotnim povećanjem produktivnosti. Zahvaljujući ekstremno brzom i stabilnom dotoku bojila zadovoljavajući rezultati se mogu postignuti već nakon desetak araka. Samim time Anicolor strojevi će se optimalno koristiti pri tisku od 200 do 5000 araka. Zahvaljujući kratkom toku bojila stroj zauzima malo mjesta, a priprema stroja iznosi maksimalnih 10 minuta (uključujući pranje ofsetne navlake i zamjenu boje i ploča). Anicolor automatska opskrba sa bojilom značajno smanjuje vrijeme pripreme jer se bojilo dodaje na zahtjev. Smanjuje se potrošnja i manji su troškovi odlaganja otpadne ambalaže.

Ugrađen HandyFill sustav omogućuje konstantan nivo bojila u bojanik u što je ključno za daljnje povećanje kvalitete tiska. Također za veliku brzinu pripreme su odgovorni i brzo mjenjanje komornog rakela, brza izmjena kartuše s bojom, zajedničko pranje rastriranog valjka i cijelog uređaja za obojenje te brza i laka promjena rakela u bojaniku (izvlačenjem). Ovakva automatizacija skraćuje vrijeme pripreme za oko 40 posto.

Za razliku od klasičnih strojeva Anicolor strojevi nemaju zone na bojaniku pa se podešavanje i razribavanje boje provodi pritiskom na gumb čime se puni komora bojanika preko Handy Fill sustava. Jedinica za obojenje umjesto zona koristi rastrirani Anilox valjak koji se nalazi između bojanika i nanosećeg valjka te tako prenosi točno definiranu količinu boje. Sa svakim okretom nanoseći valjak nanosi bojilo na cijeli temeljni cilindar, te je time osigurana konstantna kvaliteta tokom cijele naklade. Anicolor sustav sadrži mogućnost odabira tri rastrirana valjka (8 ccm/m²) KCM te četvrti rastrirani valjak (9 ccm/m²) za žutu boju.

S obzirom na činjenicu da Anicolor strojevi nemaju zone, te imaju kratak tok bojila, moralo se naći i alternativni način kontroliranja nanosa i gustoće obojenja na otisku. Pritom se koriste dva osnovna alata - Heidelberg PRINECT i CP 2000 upravljački centar te mogućnost preciznog temperiranja svakog od rastriranih valjaka u svakoj pojedinoj tiskovnoj jedinici. Uz takav sistem se mogu memorirati različite postavke za svaki od poslova čime se također smanjuje vrijeme pripreme.

Nakon podešavanja mijenjaju se temperature svakog od rastriranih valjaka prema postavkama iz PRINECTa, te se time mijenja viskoznost bojila za svaku od separacija. Pritom će se temperatura bojila na rastriranom valjku kretati između 20°C i 45°C.

Konstrukcija Heidelberg Speedmaster SM 52 strojeva može sadržavati 5, 6 i 7 tiskovnih jedinica. Također podržavaju inline otiskivanje i PANTONE spot boje, uz mogućnost izvedbe obostranog tiska. Otiskivanju kvalitetnog otiska preduvjet je posjedovanje sistema za probno otiskivanje tj. prije produktnog otiskivanja potrebno je provjeriti kvalitetu pripremljenih datoteka. Samim time to je ujedno i preduvjet za primjenu Color Managementa (tisak uz primjenu ICC profila).

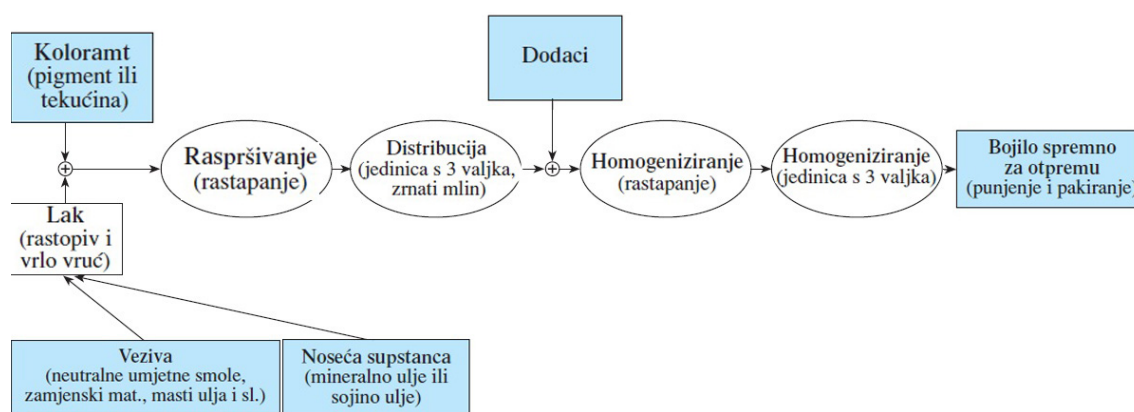
2.2.1. Standardno bojilo za ofsetni tisak

U ofsetnoj tehnici tiska koristi se bojilo specifičnog sastava te je vrlo kompleksno zbog činjenice da tijekom tiska bojilo mora zadovoljiti mnoge uvjete kako bi se nanijelo na tiskovne elemente na formi, ali i prenijelo na ofsetni cilindar i konačno na tiskovnu podlogu.

Ofsetna bojila moraju biti izrazito viskozna, moraju posjedovati povoljnu ljepljivost, dobru disperziju, te ne smiju naginjati prevelikom emulgiranju i toniranju. Dinamička viskoznost bojila se mora kretati u vrijednostima od 40 Pa*s do 100 Pa*s. Otisci dobiveni ofsetnom tehnikom smatraju se vrlo kvalitetnima, a zbog visoke linijature mogu se reproducirati i najfiniji detalji. U svom sastavu bojilo sadrži: pigmente, otapala, veziva i dodatke. Zbog procesa emulgacije te dobrog prekrivanja tiskovne forme, bojila moraju imati veću pigmentiranost (radi bolje otpornosti na vlagu). Ofsetna bojila tako moraju biti izrađena iz organskih pigmenata visoke izdašnosti i visoke koncentracije.

Proces proizvodnje ofsetnih boja prikazan je na slici 7. Pigmenti su sitne čestice koje određuju obojenje i njihov udio se obično kreće između 10-30%. Pored toga ofsetna bojila ne smiju razarati ofsetnu gumu i izazivati njezino bubrenje. Bojilo se ne smije previše razrijediti, jer može doći do slabog prihvaćanja za papir. Pigment je jedna od glavnih komponenti bojila. Najvažnije svojstvo pigmenata je da određuju ton bojila.

U tiskarskim bojilima susreću se tri tipa pigmenata: na bazi čistog ugljika, anorganski pigменти i organski pigменти. Struktura pigmenata obično je kristalna. Velike su čvrstoće te daju bojilu konzistenciju i masu. Pigmenti moraju biti netopivi u vezivu, ali se moraju dobro dispergirati i njime dobro močiti. U klasičnom ofsetnom višebojnom tisku najčešće se koriste tri pigmenta. To su: cijan pigment baziran na bakru (pigment Blue 15 ili bakar ftalocijanin plava), pigmentna magenta (pigment Kalcij 4B ili Pigment Red 57:1.) i žuti pigment baziran na AZO spojevima (pigment Yellow 13) [8]. Kada se govori o cijeni, pigменти su ujedno i najskuplja komponenta bojila.



Slika 7. Proizvodnja bojila za ofset tisak (tisak iz arka) (Izvor: Majnarić I., (2004). Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)

Radi smanjenja cijene u bojilo se dodaje jeftinije punilo kojim se smanjuje koncentracija pigmenta. Takvom promjenom smanjena je izdašnost tonova, međutim još uvijek je i moguće dobiti kvalitetni otisak [9]. Količina punila i dodataka u bojilu ima direktan utjecaj na konzistentnost i cijenu bojila, ali i na kvalitetu samog otiska. Zato je od velike važnosti priprema bojila prije samog korištenja. Prevelika koncentracija pigmenta u bojilu, osim više cijene, djeluje negativno na tiskarska svojstva. Iz tog razloga punila se nazivaju i pomoćni pigmenti. Uloga im je što bolje i kvalitetnije zamijeniti pigmente, no bez utjecaja na izvorni ton bojila.

Smanjenjem koncentracije pigmenta dolazi i do smanjenog intenziteta obojena bojila. Po sastavu mogu biti bijeli ili transparentni anorganski prašci. U današnjoj upotrebi koriste se mineralna punila ili skuplja umjetna punila. Umjetna punila čine bijeli fino zrnati prašak koji nastaje taloženjem teško topivih soli. Umjetna punila posjeduju manju tvrdoću ali i veću disperziju. Zbog toga od je i njihova uporaba veća.

Tablica 2. Mogući dodaci u ofsetnom bojilu

Dodaci		Područja primjene u slučaju problema u tisku														
Tipovi	Međudjelovanje i efekat	Izlaganje	Opuštanje krede (punila)	Odbijanje	Sušenje	Ostajanje boje na ofsetnog gumi	Smeće/Papirna prašina	Valovljenje rubova papira	Čupanje papira	Povećanje otpornosti na habanje	Netočno otisnuta površina	Sušenje u bojaniku	Gretka u odnosu otisak T.F. (ofset)	Nezadovoljavajući rezultati sušenja	Bojilo je prekratko	Bojilo je prelepljivo
Laneno uljni lak - visokog viskoziteta	Gusti sloj laka, ljepljivog i povećane viskoznosti	•				•					•				•	
Tiskarska ulja	Laneno ulje i druga sušuća ulja slabi lak, smanjuje viskoznost, čini bojilo kraćom i rijetkom Za sušenje oksidacijom					•	•	•		•	•					•
Razređivač	Nisko viskozna mineralna ulja, djelomično kombinirana sa sušećim uljima Smanjuje ljepljivost, čineći bojilo kraćim i rijetkim					•	•	•		•						•
Tiskarske paste	Voskovi i slične substance koji su topive u uljima. Smanjuje ljepljivost čini tekućine rijetkim ali bez promjene viskoziteta						•	•		•						•
Tiskarski gelovi (smole)	Želatinski rijedak agent :ljepljiva mineralna ulja i druga ulja sa različitim aditivima koja posjeduju tiksotropna svojstva						•	•		•						•
Ubrzivači sušenja - sikačivi tekućine - sušila krutine	Metalni sastojci raspršeni u otapalu ili uljima Kobalt=površinsko sušilo Mangan= unutarnje sušenje	•								•				•		
Aluminijev hidrat	Veživo sa transparentnim pigmentima. Povećava ljepljivost i svjetloću		•	•		•							•		•	
Pasta otporna na habanje	Voskovi sa oksidativnim sušećim uljima a čini površinu glađom sa smanjenim trenjem	•								•						
Antistaling agent	Sprej, vrlo hlapivo otapalo				•		•	•	•							•

(Izvor: Helmut Kipphan, Handbook of Print Media, 2001)

Veziva međusobno povezuju čestice pigmenata stvarajući tako jednu kompaktnu jednoličnu masu. Veziva daju bojilu dobra kemijska i fizikalna svojstva te osiguravaju dobru kvalitetu prijenosa na podlogu. Osim toga mijenja se viskoznost bojila koja kod lošijih papirnih podloga može uzrokovati čupanje. Vezivo može biti viskozna tekućina (različita ulja) ili smolasta otopina (dobivena otapanjem čvrste smole u organskom otapalu ili u ulju). U svojem sastavu ne sadrže mnogo lako hlapljivih organskih otapala (neugodnog mirisa i štetna za okoliš i ljude). Otapala po kemijskoj strukturi mogu biti: ketoni (acetone), esteri (razni acetati), alkoholi (izopropilni alkohol) i ugljikovodici (toluen, ksilen, nafta). Po kemijskom sastavu veziva najčešće mogu biti: kolofonske smole (20-50%), alkidne smole (0-20%), biljna ulja (0-30%), mineralna ulja (20-40%).

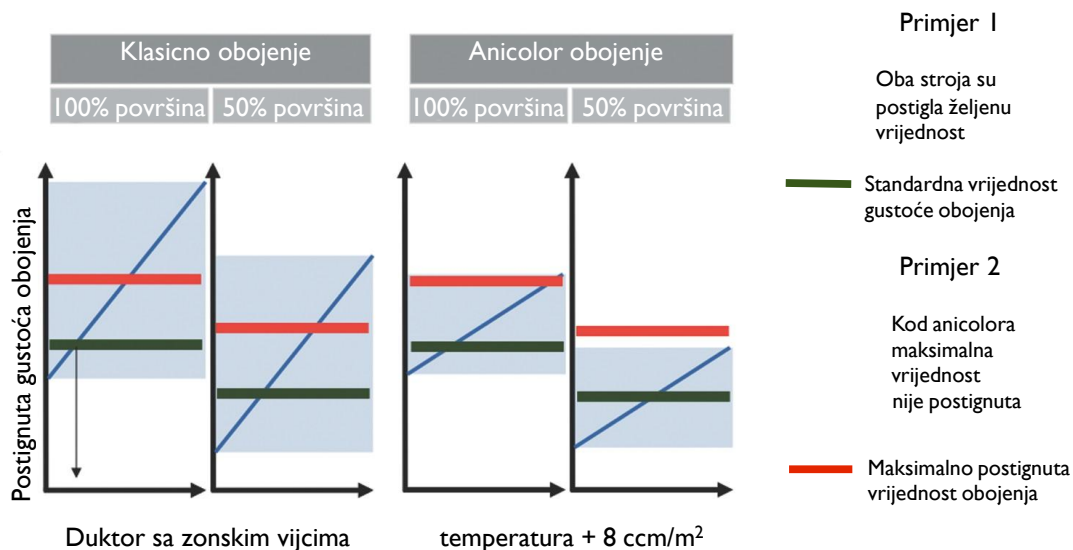
Osim osnovnih komponenata ofsetnom bojilu se dodaju i dodaci. Dodaci služe za podešavanje svojstva bojila, a najčešće se koriste: katalizatori sušenja (kobalt, mangan), sredstva za suzbijanje mikroorganizama, sredstva za kvašenje, voskovi za povećanje otpornosti bojila na habanje te agensi za sprečavanje prebrzog sušenja bojila. Boje za ofsetni tisak najčešće suše oksipolimerizacijom ali kod tiska iz role taj proces nije dovoljno brz pa se u tom slučaju koriste boje nižeg viskoziteta koje suše prodiranjem u podlogu. Ofsetno bojilo moguće je modificirati raznim kemikalijama. Njihovim djelovanjem poboljšati će se proizvodna svojstva te mogućnosti tiska na upojne i neupojne tiskovne podloge (Tablica 2.).

2.2.2. Boja za Anicolor tisak

Da bi otisak korištenjem Anicolor tiskovne jedinice bio kvalitetan, Heidelberg je morao razviti specijalnu boju koja brzo suši, te je osjetljiva na promjenu temperature. Ovakvi strojevi koriste isključivo Saphira Anicolor bojilo koje omogućuje izvrsne rezultate. Saphira bojilo optimalno reagira na promjenu temperature, a postoje 3 serije boja (omogućuju S, H, HD kvalitetu obojenja).

Za optimalne rezultate Heidelberg preporuča korištenje Saphira RM boje. Naziv RM dolazi od Reduced Make-ready, odnosno skraćeno vrijeme pripreme te je ova boja posebno formulirana kako bi što brže reagirala na promjenu temperature tokom rada stroja. Korištenjem ovog bojila lako se postižu standardne gustoće obojenja i na premazanim i na nepremazanim papirima, te nije potrebno mijenjati boju prilikom tiska na različitim papirima. Međutim, nije moguće ostvariti ekstremno velike nanose. [10] Na raznim tiskovnim podlogama ostvaruje se visoka kvaliteta otiska. Ove boje omogućuju i preciznije podešavanje gustoće obojenja. Saphira bojila imaju u sebi termoreverzibilne smole koje će promjenom temperature mijenjati agregatno stanje. Ove boje se proizvode ekskluzivno za Heidelberg te su dostupne samo preko njihovih prodajnih kanala. [11]

Heidelberg je podesio svoje Saphira Anicolor spot boje s Anicolor tehnologijom na temelju Pantone PMS-a (sustava za mjerenje boja). Optimizirane osnovne boje (CMYKR-GB, W, TW, O, V) koriste se za miješanje pojedinih tonova, a one su direktno osjetljive na promjene temperature na raster valjku. Budući da Anicolor uvijek nanosi istu debljinu boje ujedno ima i tehničke prednosti nad konvencionalnim PMS sustavom međutim grafička priprema pritom mora biti savršena.



Slika 8. Kretanje gustoća obojenja u odnosu na klasične uređaje za obojenje (Izvor: Majnarić I., Mjeriteljstvo u tisku - Predavanje 7 (2011), Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)

2.4. Tisak visoke vjernosti

Tisak visoke vjernosti ili High Fidelity (Hi-Fi) tisak definira se kao tehnologija reproduciranja koja podiže kvalitetu tiska iznad prihvatljivih ograničenja klasičnog četverbojnog tiska. To podrazumijeva neke promjene u odnosu na standardni četverbojni proces koje će omogućiti otiskivanje šireg raspona boja. Temeljna svrha Hi-Fi tiska je postići što bolju reprodukcijску točnost. [12]

Ideja o Hi-Fi kolornoj reprodukciji započela je 1972. godine objavom Harald Kupper-ove teorije opisane u dijelu „Die Farbenlehre der Fernseh – Foto – und Drucktechnik“. U njoj je definirana primjena osnovnih bojila za tisak uz dodatak crvene, zelene i ljubičasto-plave. Na temelju tog sistema njemački proizvođači bojila ubrzo su razvili tzv. „Kupper colorant set“ (CMYK+RGB), odnosno set od sedam osnovnih boja za kolorni tisak. Međutim, Hi-Fi tisak se počeo upotrebljavati tek početkom devedesetih godina dvadesetog stoljeća, ali do danas nije postigao sveukupnu komercijalnu upotrebu.[13]

Prednosti Hi-Fi tiska ubrzo su prihvaćene od strane grafičkih dizajnera s obzirom da Hi-Fi proširena paleta omogućuje prikaz vjernijih i življih tonova. Najčešće se koristi pri tisku ambalaže (posebice luksuzne), zaštitnom tisku i tisku visoko kvalitetnih i luksuznih grafičkih proizvoda. Iako jedan dio stručnjaka u industriji vjeruje da je Hi-Fi tisak samo trik i nikada neće postati komercijalno uspješan, drugi pak smatraju da je bilo i uvijek će biti tržište za tiskanje otisaka najvišeg ranga i kvalitete. Pritom se mora imati na umu da prijelaz na Hi-Fi tehnologiju povećava troškove tiska za 20% jer se koristi 5-8 tiskovnih jedinica ili se mora tiskati u više prolaza kroz stroj s manje tiskovnih jedinica. Veći troškovi očituju se i dodatnim vremenom pripreme stroja, troškovima izrade dodatnih filmova odnosno tiskovnih formi. Ekonomska prednost Hi-Fi tiska (prema tvrtki Pantone) je štednja zbog upotrebe jeftinijeg papira za tisak jer se može tiskati i na papirima lošije kvalitete, a zbog Hi-Fi mogućnosti prikaza većeg broja tonova, otisak još uvijek može rezultirati visokom kvalitetom.[12]

Zbog visoke cijene finalnog proizvoda se Hi-Fi manje koristi pri konvencionalnim tehnikama, međutim kod suvremenih digitalnih tehnika ima sve veću primjenu. Razlog tomu je primjena jeftinijih satelitskih konstrukcija koje se može lagano uključivati i isključivati (bez dodatnih troškova i dodatne pripreme). Još jedan od problema koji se javlja vezan je uz AM rastriranje i pojavu moarea. Uz samu kvalitetu rastriranja vrlo važan faktor je i postizanje izrazito preciznog pasera jer vrlo mali pomaci u paseru također mogu dovesti do velikih problema s pojavom moarea.[13]

2.3.1. Modeli HiFi tiska

Za provođenje Hi-Fi tiska predlažu se dva načina specijaliziranog otiskivanja. Prvi način je temeljen na standardnom CMYK tisku uz dodatak bojila sa različitim koncentracijama pigmenata. Svijetla magenta (Lm), svijetli cijan (Lc) i svijetla crna (Lk) uvijek se koriste kao dodatna bojila kako bi se optimizirala glatkoća prijelaza, a time i prikaz detalja od svijetlih tonova do tamnih. Ovakav sistem primjenjuje se i kod photo Inkjet printera čiji su otisci toliko kvalitetni da konkuriraju i standardnoj fotografiji. Drugi je način gdje se pored standardnog CMYK tiska koriste bojila potpuno drugačijeg tonaliteta koje je nemoguće dobiti rasterskim mješanjem iz CMYK-a (dodaju se spotna bojila velike kolorne zasićenosti). [14]

Gamut četverobojnog CMYK otiska je još uvijek ograničen u usporedbi s gamutom monitora ili prirodnog obojenja. Ideja Hi-Fi tiska je da se proširi gamut otiska i da se što više približi gamutu prikaza boja na monitoru ili bojama u prirodi. Reproduciranje tonova boja kao što su: narančasti tonovi, ljubičasti, određeni crveni, plavi, purpurni i neki zeleni nije moguće konvencionalnim CMYK tiskom.[14] Za postizanje većeg gamuta u tehnici

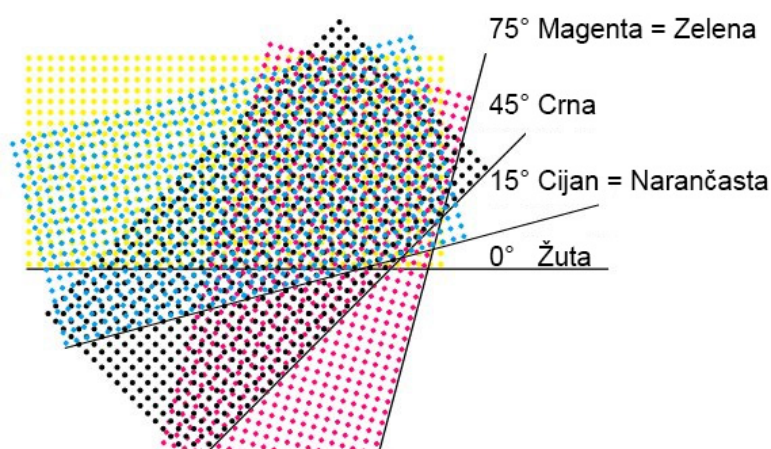
Hi-Fi tiska moguće je upotrijebiti više različitih metoda, od kojih se najčešće koriste:

- Hexachrome
- Opaltone tisak
- MaxCYM
- Tisak s dodatnim svijetlim bojilima
- HP IndiChrome tehnike

Hexachrome tisak - Hexachrome tisak je tisak s četiri osnovna bojila zajedno s narančastim i zelenim bojilom (CMYK+OG). Razvijen je 1994. godine od tvrtke Pantone, a u konvencionalnim tehnikama tiska je jedan od najkorištenijih. Hexachrome tisak povećava narančasti, zeleni i djelomično plavi dio gamuta koji u ljudskom oku može izazvati osjećaj znatnog povećanja kvalitete tiska. Isto tako za Hexachrome tisak nije potrebno imati više od šest tiskovnih jedinica što spada u jeftinije varijante Hi-Fi tiska. [13]

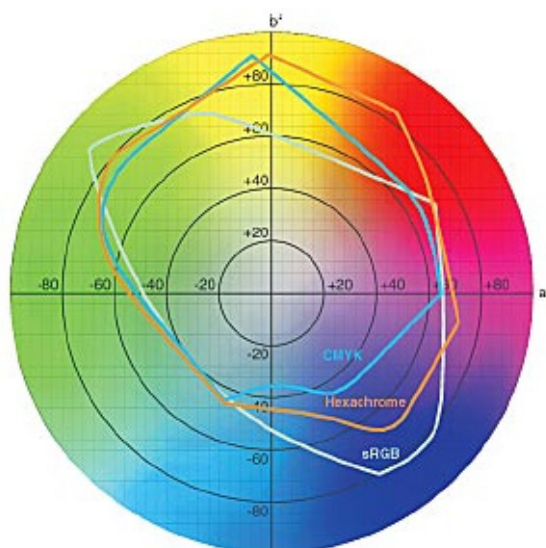
Pri izvedbi ovakvog tiska mogu se koristiti specijalno prerađene CMK boje. Pantone specificira set specijalnih bojila koje se moraju upotrijebiti za Hexachrome tehniku. Testiranja bojila za ovakvu metodu Hi-Fi tiska dovela su do kombiniranja fluorescentnih i konvencionalnih pigmenata kod žute, magente i narančaste, dok su zelena, cyan i crna bez fluorescentnih pigmenata. Nanašanja ovih šest boja izvodi se sljedećim redoslijedom: crna, cyan, zelena, magenta, žuta i narančasta.

Hexachrome metoda tiska može reproducirati 90% svih Pantone Matching System tonova dok se u konvencionalnom CMYK tisku može reproducirati svega 55% tonova. Pri generiranju slike Hexachrome tisak ponavlja dva kuta rastera kako bi se smanjio moare efekt kod AM rastriranja. Narančasta je tiskana s istim kutem kao i cijan, dok je zelena tiskana pod istim kutem kao magenta. [12]



Slika 9. Kutevi rastriranja pri Hexachrome tisku

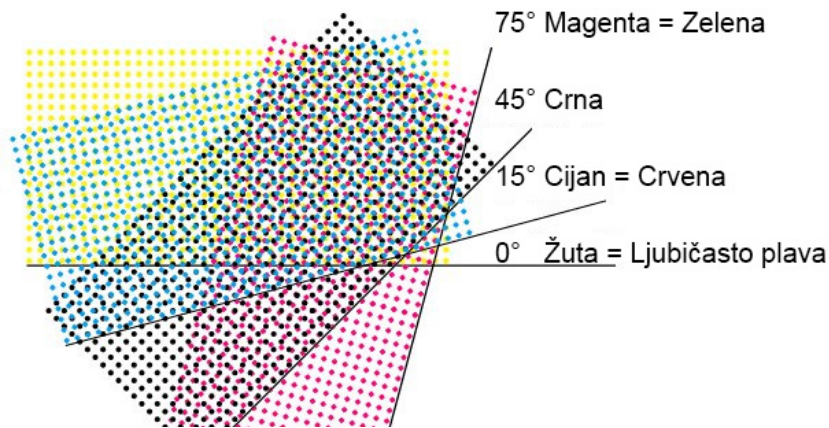
Značajan problem koji se pritom javlja je kako kontrolirati ukupnu količinu nanešenog bojila. Tisak s 600% nanosom bojila je nemoguć, te predstavlja problem sa sušenjem. Nažalost, to je slabost Hexachrome tiska. HexWrench (software koji kontrolira Hexachrome proces) je jedini način kojim se može kontrolirati ukupni nanos bojila. Uz pomoć njega su moguće samo tri opcije: normalni nanos (0); tanki nanos (-2) i debeli nanos (+2). [12] Hexachrome tisak ima veći učinak na reprodukcijama koje na sebi imaju narančaste, zelene ili plave tonove dok na reprodukcije koje ih nemaju nažalost nemaju veliki učinak.



Slika 10. Usporedba presjeka gamuta dobivenog Hexachrome tiskom, CMYK tiskom i sRGB gamutom (Izvor: <http://cerig.efpg.inpg.fr/memoire/2008/hexachromie.htm>)

Opalstone tisak - Opalstone Hi-Fi tisak je razvijen 1998. godine i predstavlja kombinaciju četverbojnog tiska s dodatkom crvenog, zelenog i ljubičasto-plavog bojila (CMYK+RGB). Ovisno o motivu prilikom izvođenja Opalstone tiska moguće je koristiti i manje od sedam boja, te se zbog toga može upotrijebiti kombinacija četverbojnog tiska i samo jednog ili dva dodatna bojila. Ovakav sedmerbojni tisak temelji se na metodi Harald Kuppersa koji se zasniva na logici da se na mjesto šarenih boja koje se preklapaju stavi boja koja rezultira njihovim preklapanjem. Dodatna prednost ove metode je mogućnost zamjene CMY boja uz korištenje GCR metode. Na taj način još se više smanjuje utrošak boje u tisku. [13]

Opalstone tisak se može izvoditi i u konvencionalnim tehnikama i u digitalnim tehnikama tiska (Opalstone inkjet). Ako se koristi AM rastriranje, tada crvena ima isti kut rastera kao i cijan, zelena ima isti kut rastera kao i magenta, dok ljubičasto-plava ima kut rastera kao i žuta da bi se ublažio efekt moarea.



Slika 11. Kutevi rastriranja pri Opaltone tisku

MaxCYM tisak - MaxCYM je metoda Hi-Fi tiska koja dodaje CMYK bojila standardnom CMYK procesu tiska (CMYK+CMYK). MaxCMY pristup prvi je primijenio Royal Zenith (danas ICG kompanija), a temelji se na DuPont HyperColor programskoj podršci. Ovom metodom Hi-Fi tiska prošireni raspon boja postiže se povećavanjem nansa bojila, odnosno koriste se dodatne tiskovne jedinice koje ponavljaju jednu ili sve četiri separacije.[12]

Tisak s dodatnim svijetlim bojilima - Za postizanje otisaka fotografske kvalitete nije dovoljno koristiti standardna CMYK procesna bojila. U kolornim otiscima udio cijana (C) i magente (M) je vrlo visok i primjena dodatnih svijetlih (Lm i Lc) bojila poboljšavaju kontrast ukupne kolorne reprodukcije te se na efektivan način reducira vidljivost raster-skog elementa i omogućuje glatki prijelaz iz svijetlih u tamnije tonove. Pri proizvodnji svijetlih (Lc i Lm) bojila, standardnom cijan bojilu i standardnom magenta bojilu ponekad se dodaju bijeli pigmenti. U nekim sustavima Inkjet printera može se susresti veći broj svijetlih bojila, između ostalog i crna (Lk), a takvi sustavi su najčešće specijalizirani za ispis visoko vjernih fotografija.

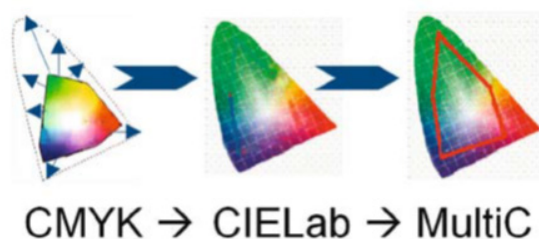
HP IndiChrome tisak - IndiChrome je zaštićeni HP-ov (Hewlett-Packard) naziv za njihov Hi-Fi tisak gdje se koriste dodatna spotna bojila i svijetla bojila kako bi se uz standardna electroink bojila (CMYK) postigao veći kolorni gamut. Sustav HP IndiChrome moguć je samo s HP Digitalnom Kolor Ofset tehnologijom koja primjenjuje jedinstveno tekuće elektrofotografsko bojilo. HP IndiChrome sustavom može se otiskivati u više opcija i sve one povećavaju raspon tonova na višebojnim otiscima:

- onPress (CMYK+OV), odnosno tisak standardnog CMYK-a s dodatnim bojama narančastom i ljubičastom
- Plus (CMYK+OVG), odnosno tisak standardnog CMYK-a s dodatnim bojama narančastom, ljubičastom i zelenom

- offPress (CMYK+OVG + refleksno plava, jarko žuta, rodamin crvena, florescentna narančasta)
- HP Special Effect Inks (bijela, svjetla cyan. svjetla magenta, digital mat lak)

2.3.2. Heidelberg multicolor otiskivanje

Kako bi odgovorio na zahtjeve tržišta za Hi-Fi tiskom, Heidelberg razvija vlastitu tehniku kontroliranog tiska pod nazivom PRINECT Multicolor. Tipična područja primjene ovog načina tiska je pri tisku visoko kvalitetnih proizvoda te umjetničkih reprodukcija pri kojima se najčešće koriste nepremazani papiri na kojima standardan CMYK jednostavno ne može dovoljno vjerno otisnuti traženi motiv. Za tu primjenu Heidelberg razvija veći broj bojila (pigmenata), te specijalna visoko pigmentirana bojila. U PRINECT Multicolor sustavu koristi se 5, 6 i 7 bojila (dodatne narančasta/crvena, zelena, plava/ljubičasta). Uz tiskarski stroj potreban je i Multicolor workflow kako bi se istaknuo prošireni gamut, bolji kontrast, bolja reprodukcija saturiranih boja te bolja reprodukcija spotnih tonova.



Slika 12. Usporedba CMYK i Multicolor gamuta unutar Cie Lab sustava (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf)

Da bi se moglo implementirati multicolor iz standardnih CMYK profila izdvaja se CIE Lab kolorni prostor iz kojeg se definira multicolor profil.

U grafičkoj pripremi potrebno je upotrijebiti slijedeće programe i strojeve kako bi sve to radilo:

- Prinect Signa Station - kombinira datoteke za tisak i kontrolne elemente za formu
- Prinect Prepress Manager Classic. Color CarverPlus sa MultiColor opcijom - priprema workflow za kompletnu automatizaciju grafičke pripreme od unosa datoteka do izrada tiskovnih formi
- Prinect MetaDimension - omogućuje pripremu i kalibraciju multicolor separacija za probni tisak
- ColorProof Pro u kombinaciji s Prinect MetaDimension - za izradu probnih otisaka
- Prinect Color Toolbox 3.5 sa MultiColor opcijom - sastoji se od alata za kalibraciju i alata za kontrolu tona

Osim toga u procesu tiska je potrebno i primijeniti:

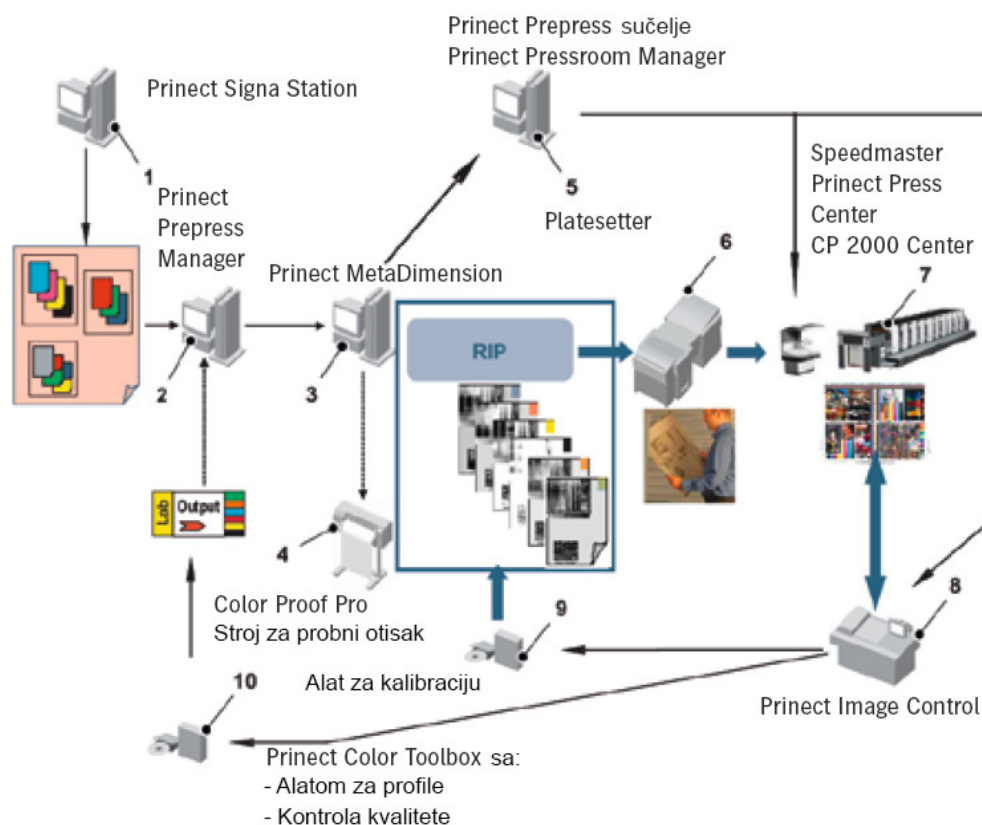
- Tiskarski stroj s Prinect PressCenter/Prinect CP2000 Center, opremljen s pet, šest ili sedam tiskovnih jedinica. Multicolor tisak je isplativ samo ako se radi u jednom prolazu.
- Prinect ImageControl software - sustav za mjerenje boja za kontrolu kvalitete u tisku

Tip FM rastriranja nije uvijek najbolji izbor. Mnoge tehnike visoke vjernosti koriste FM rastriranje kako bi se izbjegao problem moiréa, međutim FM rastriranje komplicira nije za provedbu od AM rastriranja, te je potrebno mnogo iskustva u proizvodnom procesu. Multicolor workflow uglavnom koristi AM rastriranje, a osnova su mu Prinect IS Classic/Prinect Hybrid raster i Heidelberg multicolor profili. [14]

Tablica 3. Podešavanje kuteva rastriranja dodatnih boja u Heidelberg Multicolor Workflowu

Prostor boje	Prva boja	Kut rastriranja za prvu boju	Druga boja	Treća boja	Četvrta boja
Narančasta/crvena	Narančasta/crvena (72°)	Kao i Cijan (72°)	Žuta (0°)	Magenta (12°)	Crna (45°)
Zelena	Zelena (12°)	Kao i Magenta (72°)	Žuta (0°)	Cijan (72°)	Crna (45°)
Plava	Plava/Ljubičasta (12°/45°)	Kao i Magenta (12°) Kao i Crna	Magenta (12°)	Cijan (72°)	Crna (45°)

(Izvor: http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf)



Slika 13. Heidelberg Multicolor Workflow (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf)

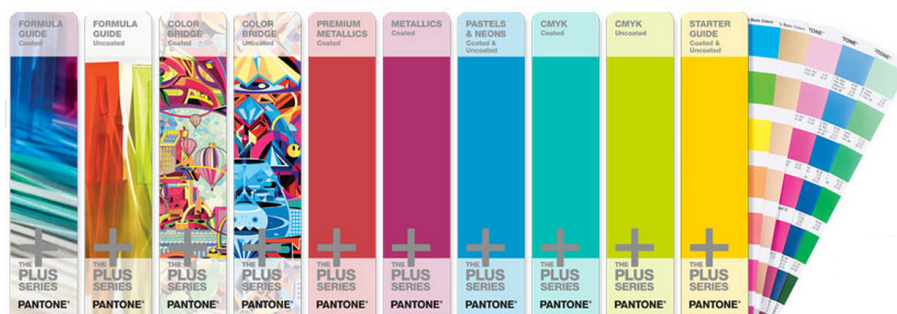
Za djelotvornost sustava potrebno je posebno obratiti pažnju na kalibracijski proces i izradu profila jer proizvođači boja će najčešće formulirati standardne boje kako bi se postiglo optimalne rezultate sa nanosom od 0.8 do 1.0 μm . Spotne boje postižu optimalne rezultate pri nanosu od 1.4 do 1.8 μm . Preporuča se da se u početku ograniči broj boja na 5 jer je razlika u odnosu na standardni CMYK minimalna.

Redoslijed tiska bi trebao biti slijedeći: crna, cijan, magenta, žuta, spotna boja. Kako bi se uspješno otisnulo sedam boja potrebno je precizno slijediti definirani i standardizirani proces pripreme za tisak od strane Heidelberga. Na slici 13. prikazan je Heidelbergov multicolor workflow.

2.5. Pantone katalog boja

PANTONE je svjetski poznat katalog za kolornu komunikaciju između dizajnera, proizvođača bojila, prodavača grafičkih proizvoda i krajnjih kupaca. Vodeći je proizvođač kalibratora i kataloga boja uz pomoć kojih se osigurava konzistencija boje od zamisli do finalnog proizvoda. Još je 1963. Lawrence Herbert, osnivač Pantone-a, kreirao inovativni sustav identificiranja i uspoređivanja boja kako bi riješio problem grafičkih umjetnika s postizanjem točno određenih nijansa boja. Njegovo shvaćanje činjenice da spektar boja svaki individualac vidi drugačije, dovelo je do stvaranja inovativnog PANTONE® Matching system-a (knjige standardiziranih boja u formatu lepeze). Kao vodeći proizvođač kolornih sustava s više od 45 godina iskustva, predstavlja garanciju kvalitete svima koji se bave grafičkim dizajnom, izdavaštvom, izradom tekstila, plastikom ili arhitekturom. [15] PANTONE katalog boja je skala koja je vrlo popularna za korištenje u različitim dijelovima svijeta prvenstveno u Europi i Americi.

Katalog se sastoji od 1114 različitih nijansi boja koje su otisnute na sjajnom premazanom i naravnom papiru. PANTONE katalog osim što prikazuje navedene boje na različitim papirima, prikazuje i tonove koji su dobiveni iz CMYK boja što se koristi kada je neku PANTONE boju potrebno tiskati iz CMYK-a (PANTONE solid to proces guide). Takav katalog ispod svake boje ima recepturu u postotnom omjeru za svaku CMYK boju. Korištenjem navedenih omjera uz optimalno obojenje i kontrolirani prirast RTV moguće je uvijek dobiti navedenu boju. Nažalost, zbog nesavršenosti tiskarskog procesa većina od tih boja ustvari se ne mogu precizno dobiti korištenjem samo CMYK boja, već se za precizniju reprodukciju svih Pantone boja koristi 13 osnovnih bojila (pigmenata) i akromatska crna.



Slika 14. Različite PANTONE lepeze boja (Izvor: <http://www.pantone.com/pages/Pantone.aspx?pg=21141&ca=1&from=hpsilo>)

Boje su složene u lepezastim nizovima, čime su njihovo korištenje i prijenos olakšani. Navedeni PANTONE-ovi brojevi precizno specificiraju svaku pojedinu boju čime je pogreška u odabiru i prepoznavanju boje zbog nesavršenosti ljudskog oka eliminirana.

Zbog navedenih formula za miješanje, eliminirana je i mogućnost pogreške kod miješanja i spravljanja boja. Svaka je boja prikazana zajedno s njezinim Pantoneovim brojem i formulom za dobivanje miješanjem čime je eliminirana mogućnost pogreške u postizanju dobivanja boje.

Pantone Color Bridge Set (coated and uncoated) je osnovni set alata u području dizajna, pripreme za tisak. On daje uvid u konačan izgled Pantone boja kada su reproducirane u CMYK sustavu. Color Bridge Set tako prikazuje izgled Pantone-ovih boja reproduciranih u CMYK sustavu, čime štedi vrijeme i novac i omogućava optimalan prikaz boja na monitorima i internetskim stranicama. [15]

CMYK Coated & Uncoated katalozi sadrže 2,868 CMYK nijansi i idealne su za vizualizaciju i kontrolu boja logotipa, pozadina i drugih grafičkih rješenja. Vodič na sjajnom i na običnom papiru daje pregled kako pojedina boja izgleda ovisno o papiru na kakvom je ispisana. Također pruža mogućnost odabira, specificiranja i uspoređivanja 1,341 različite Pantone boje. Svaka je boja označena formulom za dobivanje miješanjem i njezinim Pantone brojem.

Do 2001. godine Pantone je proširio paletu boja na 1757 boja te su pokrenuli The-RightColor diviziju s ciljem da stvori univerzalni svjetski jezik boja, odnosno da stvori standardiziranu paletu boju s pripadajućim standardnim formulama za miješanje svake od boja. Od 2007. godine za cijenu od 180 milijuna dolara vlasnik Pantone-a postaje X-rite, proizvođač mjernih instrumenata i softwera. [16] Sada se u spektrofotometre ugrađuje digitalni PANTONE katalog koji uz PSO standard omogućuje standardizirano vođenje produkcijskog tiska.

2.6. CIE Lab prostor boja

CIE Lab je trodimenzionalni prostor boja, u kojem je svaka boja definirana točno određenim koordinatama. Samim time CIE Lab ima i mogućnost prikazivanja boja nastalih kao posljedica uvođenja kromatske adaptacije. Sustav je neovisan o uređaju, a bazira se na zasićenju i tonalitetu koji je ovisan o percepciji boja ispitanika i osvjetljenju. Doradjeni model temeljen je na trodimenzionalnom sustavu koji se sastoji od akromatske komponente L^* (luminance) i dvije kromatske, crveno-zelene (na osi a^*) i plavo-žute (na osi b^*). Tako će vrijednost osi svjetline vrijednosti 1 označavati crnu, a vrijednosti 100 bijelu, dok za svojstvo zasićenja vrijednost 100 označava veću zasićenost, a vrijednost 0 najmanju zasićenost.

Samim time svojstva boja opisani su svojstvima svjetline, kromatičnosti i tona boje. U CIE Lab sustavu sva ta svojstva mogu se prikazati i matematički. Kromatičnost je tako definirana izrazom:

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (1)$$

dok je kut tona ili ton boje h_{ab} definiran sa:

$$h_{ab} = (180^\circ / \pi) \arctan x (b^*/a^*) \quad (2)$$

Kut tona prikazuje točan položaj unutar jednog kvadranta u ravnini boje, te pokazuje informaciju o tonu boje. Kolorimetrijska razlika ili razlika u obojenju (ΔE) je razliku između dvije koordinate u CIE sustavu. Definira se kao razlika između obojenih koordinata za dva poznata položaja referentnog (R) i uspoređivanog (S) [17].

Iz toga se može definirati razlika za sva tri svojstva boje.

$$\Delta L^* = L_S^* - L_R^* \quad (3)$$

$$\Delta a^* = a_S^* - a_R^* \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b_S^* - b_R^* \quad (5)$$

Sveukupna razlika obojenja određene boje ili ΔE_{ab}^* izračunava se preko Pitagorinog poučka;

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

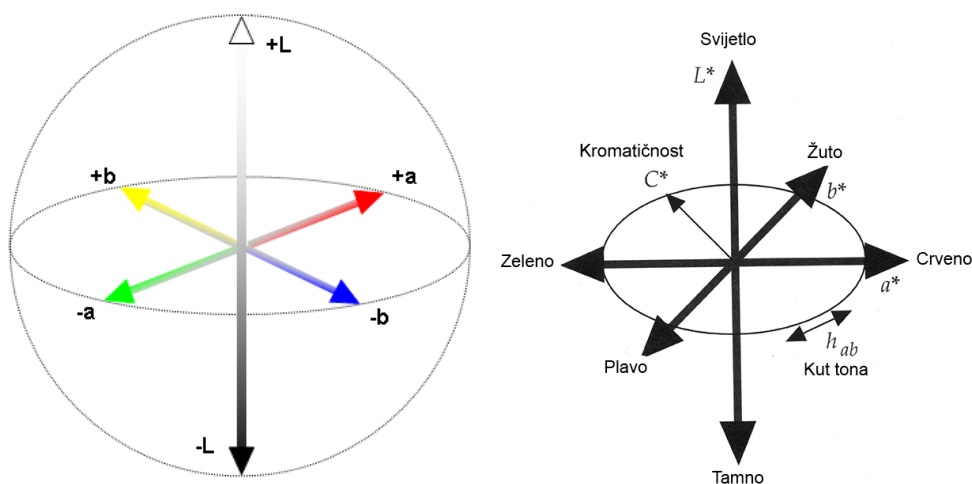
pri tome je:

$\Delta L^* = L_S^* - L_R^* = > 0$ svjetlije, < 0 tamnije
 $\Delta a^* = a_S^* - a_R^* = > 0$ crvenije,
 < 0 zelenije
 $\Delta b^* = b_S^* - b_R^* = > 0$ žuće, < 0 plavije

$$\text{Odnosno: } \Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2 + (\Delta H^*_{ab})^2} \quad (7)$$

gdje je: C^* - vrijednost kromatičnosti H^* - vrijednost tona

Svi uzorci koji imaju vrijednost ΔE manju od <1 imaju toliko malu razliku koju prosječno ljudsko oko ne vidi. Vrijednosti u granicama od 1 do 2 predstavljaju vrlo malu razliku koja je ujedno i optimalna za proces ofsetnog tiska. Otisci sa vrijednosti ΔE od 2 do 3,5 spadaju u područje srednjih razlika, dok otisci s vrijednostima ΔE od 3,5 do 5 spadaju u područje velikih razlika. Svi uzorci s vrijednosti ΔE većom od $5 >$ prikazuju ekstremnu razliku odnosno prikazuju potpuno drugi ton i smatraju se neprihvatljivima [18].



Slika 15. Definicija osi u CIE sustavu i odnos kromatičnosti, tona i svjetline (Izvor: http://www.codeproject.com/KB/miscctrl/RevisedKnownColorsPalette/CIE_Lab.png; <http://www.cis.rit.edu/research/thesis/bs/2000/ochs/Image10.gif>)

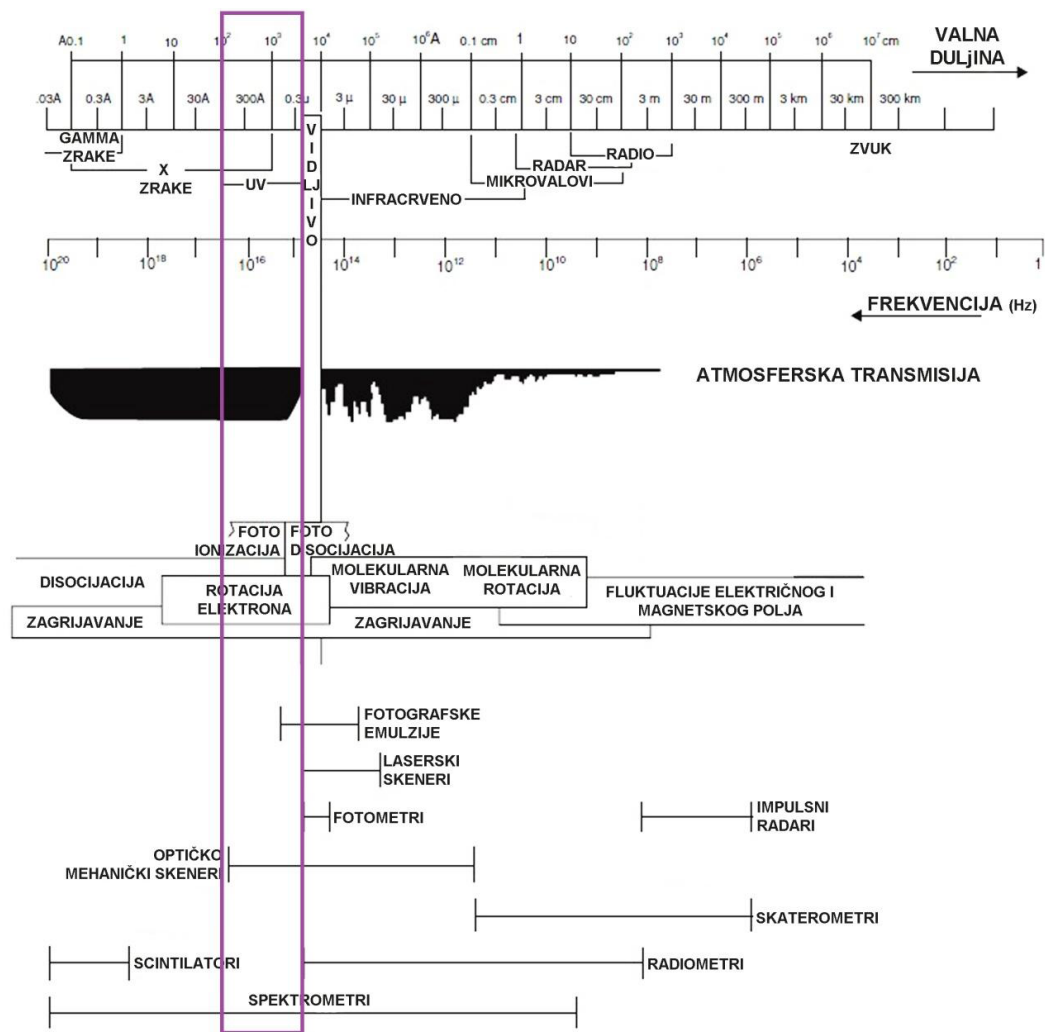
2.7. Ubrzano starenje otisaka

Do prirodnog starenja bojila i materijala dolazi zbog utjecaja različitih prirodnih fizikalno-kemijskih čimbenika na materijal. Trajnost materijala ovisi o kemijskoj otpornosti komponenti unutar samog materijala na utjecaj vanjskih faktora. Postojanost ovisi o karakteristikama sirovina, dodataka i punila koji su korišteni u izradi papira, plinovima iz okoliša, zračenja, temperaturi i vlazi, mikroorganizma [19]. Ubrzano starenje otisaka je proces ispitivanja materijala koji se provodi radi utvrđivanja svih promjena koje bi nastale prirodnim starenjem tijekom dužeg vremenskog perioda. Promjene dobivene u procesu ubrzanog starenja nikako ne mogu zamijeniti dugotrajno prirodno starenje, ali mogu ukazati na moguće ponašanje materijala.

Za razne proizvođače grafičkog materijala važno je stvoriti proizvode koji mogu izdržati što dulje izlaganje vanjskom svjetlu. Uređaji za ubrzano starenje su dizajnirani kako bi simulirali prirodno svjetlo te se koriste za istraživanja i razvoj, kontrolu kvalitete i certificiranje materijala. Oni mogu dati brže i ponovljive rezultate. Vrsta i količina oštećenja materijala ovisna je o spektralnoj osjetljivosti. Spektralna osjetljivost je svojstvo koje opisuje kakva je šteta učinjena svjetlošću, odnosno kako ona varira ovisno o valnoj duljini. Samim time njome se određuje dali je materijal osjetljiv na kratkovalno, dugovalno ili oba zračenja [20].

Laboratorijski se najčešće ispituju fizikalne i kemijske karakteristike materijala, koji su izloženi utjecajima procesa kao što su: temperatura, vlaga, prisutnost i utjecaj ozona, utjecaj sunčevog svjetla, vibracija. Ispitivanja materijala provode se u standardiziranim uvjetima unutar laboratorija, no moguće je i provesti dugotrajnije prirodno starenje (vremenski period od jedne ili par godina). Pri laboratorijskom ubrzanom starenju materijal je izložen umjetnom elektromagnetskom zračenju. Elektromagnetsko zračenje je fizikalna pojava kod koje dolazi do širenja električnih i magnetskih valova (fotona). Sunčeva svjetlost je zapravo elektromagnetski val, koji predstavlja istodobno širenje električnog polja (E), i magnetskog polja (H) u prostor. Ta dva polja su međusobno okomita [20].

Fotoni svjetlosti su čestice bez mase koje se gibaju brzinom svjetlosti i sadrže određenu količinu energije. Energija fotona, veća je što je veća frekvencija titraja valova i što je kraća valna dužina. Elektromagnetsko zračenje se može podijeliti na široki spektar zraka s točno određenim granicama valnih duljina. Pritom će se na lijevoj strani nalaziti energetske snažnije zračenje (Y-zrake i X-zrake), dok je na desnoj strani energetske niže zračenje (mikrovalovi i radiovalovi).



Slika 16. Elektromagnetski spektar zračenja i mogućnost njihova mjerenja (izvor: Focal Encyclopedia of photography, ur. Michael R. Peres, Elsevier, 2007.)

Ionizirajuće zrake su valovi velikih energija koje mogu iz atomske ljuske izbacivati elektrone. Ionizirajuće zrake su rendgenske (X-zrake), gama zrake, kozmičke zrake. Zrake manje energije: radiovalovi, mikrovalovi, vidljiva svjetlost, infracrvene i ultraljubičaste zrake nemaju ionizacijsku jačinu i zato se zovu ne ionizirajuće zrake. Kod ubrzanog starenja elektromagnetskim zračenjem ističe se čestična priroda kod koje na promjene utječu paketi energije, fotoni. Oni su definirani formulom:

$$E = h \cdot \nu \quad (8)$$

- pri čemu je: E = energija fotona, ν = frekvencija, h = Planckova konstanta

Fotoni koji se detektiraju u infracrvenom području spektra su male energije. Spособni su uzrokovati samo određene fotokemijske reakcije. Smanjenjem valne duljine, približavamo se vidljivom dijelu plavog i bliskog ultraljubičastog dijela spektra, gdje je energija fotona veća.

Prema tome se može utjecati na pojavu fotokemijskih reakcija, što se može prikazati formulom:

$$\nu = c / \lambda \quad (9)$$

Valna duljina (λ) i frekvencija fotona (ν) su obrnuto proporcionalne, odnosno smanjenjem valne duljine povećava se frekvencija fotona, a s time i energija fotona. Grotthuis - Draperov zakon definira fotokemijsku reakciju, koja se odvija kada određeni spoj apsorbira foton ili dovoljnu količinu energije koja će uzrokovati tu reakciju. Taj zakon ne vrijedi za sve tipove reakcija, odnosno fotokemijske reakcije ne može uzrokovati bilo koji dio elektromagnetskog zračenja.

Stupanj degradacije materijala ovisi o prisutnosti elektromagnetskog zračenja. Smanjenjem valne duljine, približavanje plavom, ljubičastom i ultraljubičastom dijelu spektra, povećava se energija fotona. Što je veća energija fotona, veći je utjecaj na degradaciju otisaka. Ključni faktor kod procesa degradacije otisaka je vrijeme. To ukazuje na to da koliki god intenzitet djeluje na otisak, dovoljno dugim izlaganjem dolazi do degradacije otisnutog sloja. Osim vremena, značajno je spomenuti i visoku temperaturu koja također ima utjecaj na degradaciju. Ako se uzima u obzir da je valna duljina odgovorna za pojavu fotokemijske reakcije, tada govorimo o tzv. aktiničnom području. Istraživanjima se pokazalo da se kod veliki valnih duljina (točnije u infracrvenom dijelu spektra), mogućnosti pojave fotokemijskih reakcija približavaju nuli. Razlog tomu su fotoni koji iz tog dijela spektra posjeduju malu energiju i nisu u stanju prouzročiti fotokemijsku reakciju.

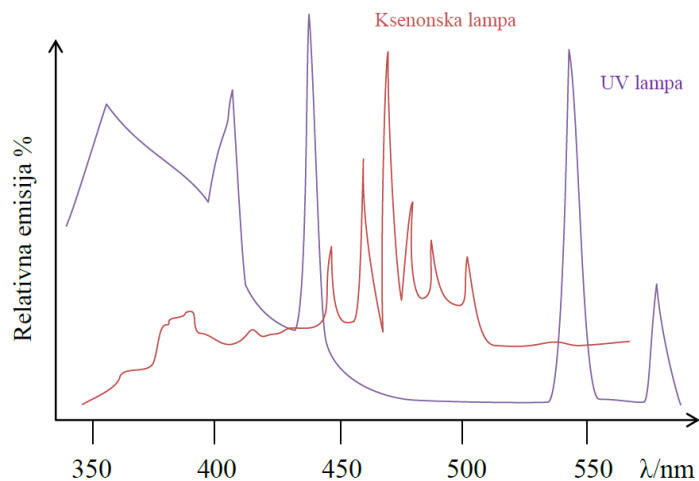
Bez obzira na njihov mali intenzitet, s vremenom će se otisak ipak degradirati. To ovisi o vremenu u kojem će tiskovna podloga biti izložena.

Stupanj elektromagnetske degradacije također ovisi i o svojstvima tiskovne podloge i bojila. Materijali poput bojila i pigmenta vrlo će brzo reagirati na UV zračenje. Promjene se prepoznaju kao pucanje i blijedenje dijelova otiska na kojem je nanoseno bojilo. Uređaji za ispitivanje ubrzanog starenja papira, konstruirani su kako bi uspješno simulirali prirodno svjetlo, te se koriste za kontrolu kvalitete, istraživanje i razvoj. Usporedba ubrzanog starenja s prirodnim zahtjeva usporedbu sa Solarnim maksimumom (sunčeva svjetlost točno u podne pri normalnoj učestalosti za vrijeme ljetnog solsticija). Solarni maksimum je najekstremniji prirodni rezultat koji se može dogoditi na otvorenoj površini i kao takvo postavlja granicu izdrživosti. Dvije najčešće metode simuliranog starenja su starenje s UV svjetlom pri čemu se koriste skuplje živine lampe ili jeftinije ksenonske lampe.

Testovi sa ksenonskim lampama odgovaraju čitavom sunčevom spektru uključujući UV zračenje, vidljivi spektar i IR zračenje. Time se pokušava simulirati i onaj neproduktivniji dio spektra. Plin ksenon u suštini pokušava reproducirati cijelo sunčevo zračenje. Simulacijska komora sa ksenonskom lampom zahtjeva mnogo električne energije, a kao posljedica javlja se oslobodjenje velike količine topline koja se mora odvoditi ventilacijom zraka ili vodenim hlađenjem.

UV A lampe koriste se za uspoređivanje različitih vrsta polimernih tiskovnih podloga. Razlog tome je što spektar ne sadržava valne duljine ispod 295 nm. One ne degradiraju materijale brzo kao UV B lampe. UV A lampe daju puno bolju korelaciju sa stvarnim vanjskim uvjetima odnosno u potpunosti se preklapa sa sunčevim kratkovalnim zračenjem. Zračenje UV B lampi uključuje najkraće valne duljine koje emitira prirodno sunce. One se koriste izazivanje brzih promjena uz minimalne simulacijske troškove.

Sve UV B lampe emitiraju neprirodne kratkovalne duljine UV zračenja, koje se nalaze ispod sunčevog praga od 195 nm. S ovakvim lampama postoji visoka mogućnost pojavljivanja netočnih rezultata.



Slika 17. Spektralne osjetljivosti ksenonske i UV lampi (Izvor: forme.grf.unizg.hr/media/Forme_1/Dizajn_3.pps)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Metode korištene za izradu diplomskog rada

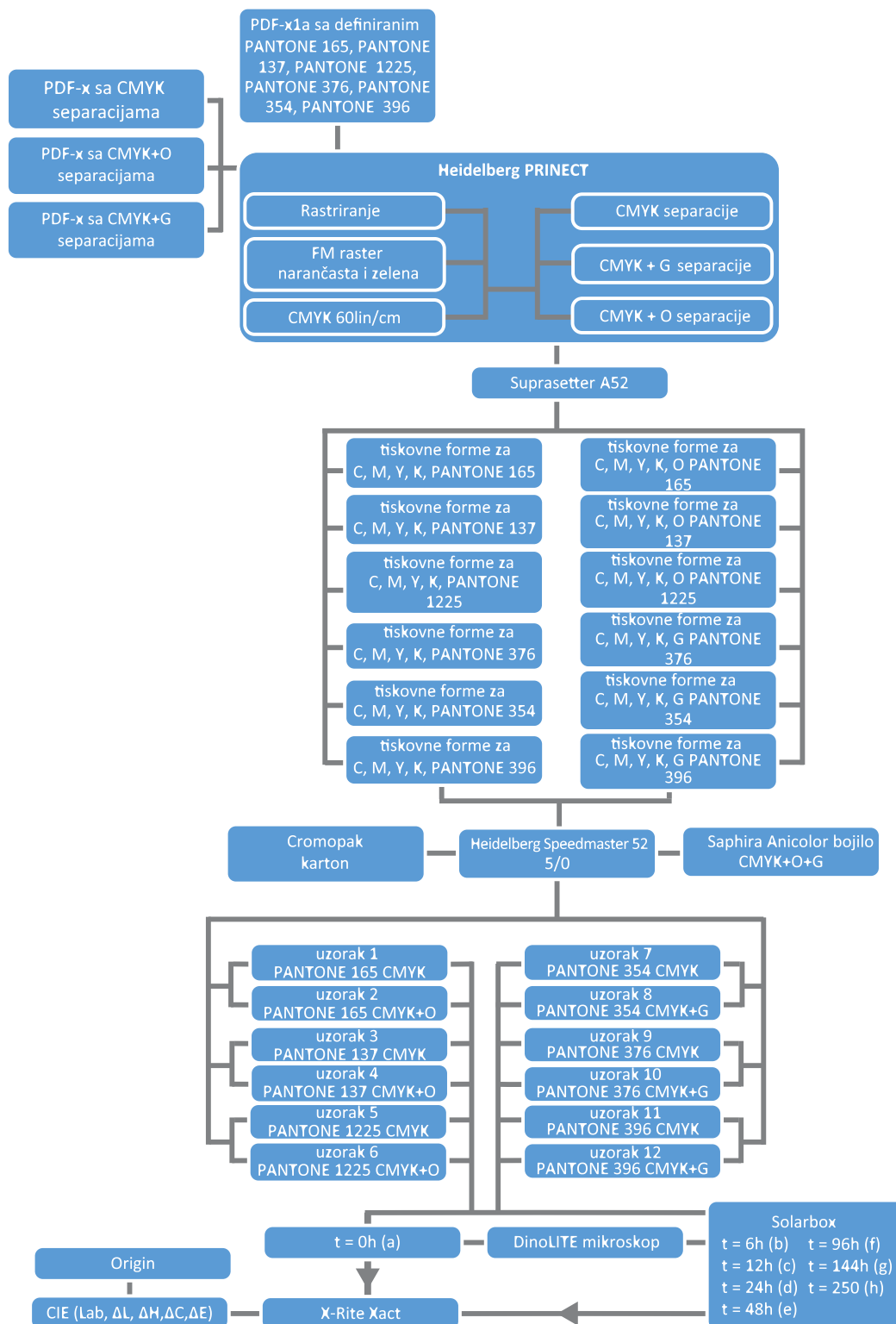
Ovim diplomskim radom opisan je postupak praćenja i ispitivanja starenja specifičnih uzoraka tiskanih na Heidelberg peterobojom stroju. Analizirali su se otisci tiskani klasičnim CMYK bojama u usporedbi s otiscima tiskanim s dodatnom zelenom odnosno narančastom bojom. Slikovnom analizom i kolorimetrijskim metodama su se ispitivali kontrolni stripovi otisaka kao i polja boja specifičnih za reprodukciju PANTONE zelenih i PANTONE narančastih tonova.

Svaka od boja je promatrana kroz period umjetnog starenja od 250 sati uz konstantan nadzor u standardom propisanim intervalima (kako bi se mogla utvrditi postojanost svake od boja korištenih pri stvaranju navedenih otisaka). Pritom su se pratile oscilacije u gustoćama obojenja (CMY boja), promjene rastertonskih vrijednosti u odnosu na original te kolorimetrijske vrijednosti unutar CIE $L^*a^*b^*$ sustava. Svaka od mjerenih boja prikazana je pripadajućim dvodimenzionalnim i trodimenzionalnim grafovima kako bi se što kvalitetnije prikazale nastale promjene tokom starenja otisaka.

Stroj korišten za izradu eksperimentalnih otisaka analiziranih u ovom radu je Heidelberg Speedmaster 52 (stroj s Anicolor tehnologijom otiskivanja) povezan sa Heidelberg Prinect sustavom upravljanjem tiska. Motiv koji je otiskivan je kutija za lijekove s vidljivim PSO klinom, a kao tiskovna podloga koristio se je 300g/m² Cromopak karton. Bojila koja su se koristila u ovom otiskivanju su specijalna Saphira Anicolor serija formulirana isključivo za korištenje na Heidelberg Anicolor tiskovnom jedinicom. Stroj korišten za otiskivanje bio je peterobojan, čime su ostvarene dvije različite kartonske kutije, jedna s otisnutim CMYK bojilima, dok je druga forma otisnuta CMYK bojilima uz dodatak osnovne PANTONE narančaste, odnosno osnovne PANTONE zelene. Na takav su se način otisnula dva seta uzoraka nijansi PANTONE 165, PANTONE 137, PANTONE 1225, PANTONE345, PANTONE 376 i PANTONE 396.

Kako bi se simuliralo starenje korišten je uređaj Solarbox 1500E u kojem su se otisci podvrgnuli ubrzanom starenju u trajanju od 250 h (pri temperaturi od 50°C, zračenju snage od 550 W/m² te relativnoj vlažnosti zraka od 65%). U vremenskim intervalima od 6h, 12h, 24h, 48h, 96h, 144h, 250h izvršena su spektrofotometrijska mjerenja na svim testnim uzorcima kao i samoj tiskovnoj podlozi, kako bi se što preciznije definiralo razlog nastale kolorne promjene tokom eksperimentalnog starenja otisaka. Prilikom mjerenja korišten je prijenosni spektrofotometrijski uređaj X-rite eXact, a $L^*a^*b^*$ rezultati mjerenja su se automatski učitala u spojeno prijenosno računalo.

Izmjerene $L^*a^*b^*$ vrijednosti su zatim uvrštene u Origin Pro 8.0 kako bi se odredio položaj unutar CIE $L^*a^*b^*$ sustava. Također su se iste vrijednosti uvrstile i u CIE Lab ΔE_{00} formulu kako bi se izračunala razlika obojenja između dviju boja. Na slici 18 prikazan je tijek izvođenja eksperimenta.



Slika 18. Proces rada i ispitivanja u svrhu izrade diplomskog rada

3.2. Uređaji korišteni za izradu diplomskog rada

Heidelberg Speedmaster 52 Anicolor 5/0 stroj za tisak

Za stvaranje otisaka mjerениh za svrhu ovog diplomskog rada koristio se Heidelberg tiskovni stroj maksimalne širine otiska 52 sa novom revolucionarnom Anicolor tiskovnom jedinicom za tisak malih naklada. Anicolor je kratka jedinica za obojenje bez zona, dizajnirana za distribuciju jednolične količine bojila na cijelu površinu tiskovnog arka. Jednolik nanos količine bojila se postiže korištenjem rastriranog valjka veličine punog formata koji se nalazi između komornog rakela i razribačih valjaka. Količina bojila se kontrolira promjenom temperature rastriranog valjka. Koristeći provjereni alcolor sustav za vlaženje, konzistentna ravnoteža između bojila i otopine za vlaženje se postiže u roku nekoliko sekunda. Velika prednost Anicolor stroja je korištenje standardnih tiskovnih formi za ofsetni tisak.



Slika 19. Anicolor Speedmaster 52 (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/071115_anicolor1)

Najveće prednosti ovog stroja su: do 40% kraće vrijeme pripreme stroja, do 25% veći tiskovni kapacitet poslova svake godine, do 90% manje škarta, kvaliteta tiska jednaka onoj u klasičnom ofsetnom tisku te jednostavno korištenje bojanika bez zona.

Tablica 4. Tehničke specifikacije Heidelberg Speedmaster SM52 stroja

Max. veličina arka:	Min. veličina arka:	Debljina tiskovne podloge	Margina hvataljki	Brzina tiska:	Visina kupa:
370 mm × 520 mm	105 mm × 145 mm	0.03 mm do 0.40 mm opcija do 0.60 mm	8 mm do 10 mm	Max. 15,000 araka na sat	ulaganje: 915 mm stand. izlaganje: 535 mm visoko izlaganje: 695 mm

(Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/content/products/sheetfed_offset/35x50/speedmaster_sx_52,specs)

Solarbox 1500 E uređaj za simulaciju starenja

Solarbox 1500E je uređaj za simulaciju starenja raznih tiskovnih podloga. U uređaju se nalazi ksenonska lampa koja emitira elektromagnetsko zračenje dvostruko veće količine svjetlosti od dnevnog svjetla. Snaga zračenja može se kretati od 250 do 1100 W/m², u intervalu elektromagnetskog zračenja od 290 do 800 nm. Radijacija se kontrolira preko radiometra. Također, u uređaju se nalaze i razni UV filteri koji u kombinaciji s lampom simuliraju spektar zračenja ekvivalentan realnom vanjskom dnevnom svjetlu. Komora se sastoji od reflektivnih ploha koje usmjeravaju zračenje na uzorak. Drugi kontrolni parametar u ovom uređaju je temperatura. Ona se također može nadzirati i kontrolirati, a toplina se stvara zagrijavanjem same ksenonske lampe. Temperatura se kontrolira preko standardnog crnog termometra koji se nalazi u blizini uzoraka. Temperatura unutar komore su može definirati u rasponu od 35°C do 100°C. Površina za smještanje uzoraka u komoru je dimenzija 280 x 200 mm.



Slika 20. Solarbox 1500 (Izvor: http://www.mesdan.com/english/scheda_lab.php/linea/2/destinazione/29/applicazione/71/prodotto/88)

Tablica 5. Tehničke specifikacije Solarbox 1500 E uređaja za simulaciju starenja

Raspon zračenja	Raspon temperature	Simulacija uvjeta	Standardi: Boja/papir:
250 – 1.100 W/m ² (290 –800 nm)	35°–100°C	vanjskih i unutarnjih	ISO 11798; ISO 12040; ISO 18909; ASTM D3424; ASTM D4303; ASTM D5010; ASTM D6901; ASTM F2366

(Izvor: http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FI-NAL-WEB_v2.pdf)

Spektrofotometar X-rite eXact

Spektrofotometar korišten u ovom radu je X-rite eXact. To je ručni prijenosni spektrofotometar i kolorimetar. Operater može jednim klikom uvidjeti parametre boje te preporuke za izmjene u bojilu prema integriranom PANTONE standardu. eXact scan opcijom mogu se mjeriti kratki ili dugi mjerni stripovi (dužine do 112cm). Sam uređaj može podesiti otvor kamere na četiri različite veličine (1.5, 2, 4 i 6mm). Minimalna površina mjerenja iznosi 3 x 3 mm. Pri mjerenju CIE L*a*b* vrijednosti PANTONE polja svaki se uzorak mjerio pet puta, pri čemu je uređaj automatski izračunao srednju vrijednost mjerenja i spremio u računalno. Uređaj također mjeri gustoću obojenja te rastertonske vrijednosti prethodno definiranih polja.



Slika 21. X-rite eXact (Izvor: www.xrite.com/exact)

Tablica 6. Tehničke specifikacije spektrofotometra X-rite eXact

Raspon valnih duljina	Raspon mjerenja	Brzina mjerenja	Optička razlučivost	Geometrija	Standardni promatrač	Mjerna površina	Standard
400-700 nm	0 – 200 % Reflektancija	2 s	10 nm	45°/0°	2°/10°	Ø1.5, Ø2, Ø4 i Ø6 mm	ISO 13655:2009

(Izvor: http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)

Digitalni mikroskop AM413T Dino-Lite Pro

Digitalni mikroskop DinoLite Pro je korišten za velika slikovnu analizu temeljenu na uvećanju mjernih uzoraka. Uređaj je spojen sa računalom, ima zaseban izvor svjetlosti te je za njegovu upotrebu potreban računalni program Dino Xcope. Ovaj model može uvećavati u području od 20X do 90X povećanja. DinoLite može snimiti slike ili video pri 1.3 megapiksela te tako omogućuje pregled uzoraka s velikom preciznošću.

Uređaj je također opremljen sa 8 bijelih led lampica za osvjetljavanje uzorka koje se mogu uključiti ili isključiti po potrebi. Kako bi se analizirale fotografije izrađene pomoću DinoLite mikroskopa koristi se ImageJ računalni program za slikovnu analizu baziran na Java programskom jeziku.



Slika 22. Digitalni mikroskop DinoLite Pro

Tablica 7. Tehničke specifikacije digitalnog mikroskopa DinoLite Pro

Povećanja:	Detektor:	Osvjetljenje:	Video snimanje	Kamera:
20x–50x, 200x	Color CMOS 1.3 megapiksela	8 LED dioda	30 fps	3.0 megapixel CMOS

(Izvor: http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)

3.3. Korištena tiskovna podloga

Kromopak karton se najčešće koristi za ambalažu za kozmetiku i parfeme, proizvode za osobnu njegu, farmaceutske proizvode i hranu. Proizvodnja kromopak kartona se odvija u Slovenskoj tvornici Količevo, strateški bitnoj lokaciji između istočne, južne i zapadne Europe.

Ovaj karton se proizvodi od visoko kvalitetnog recikliranog papira (post-industrijska vlakna i bezdrveni neotisnuti bijeli papir) u kombinaciji s certificiranom drvenom pulpom. Kromopak karton se odlikuje većom glatkošću u usporedbi s sličnim kartonima. Zbog toga je veza između površine otisnutog materijala i bojila mnogo jača. Prednja strana kartona ima tri sloja premaza, dok tamnija zadnja strana sadrži samo jedan sloj premaza zbog glatke površine i velike bjeline prednje strane.

Kromopak karton je dostupan u gramaturama od 215 - 450 g/m² sa FSC® i PEFC™ certifikatima, a može se naručiti i sa halal certifikatom. Karton korišten u ovom radu je 300g/m² Kromokarton. Ostale tehničke karakteristike navedenoga kartona u svim raspoloživim gramaturama su prikazane u tablici 8.

Tablica 8. Tehničke specifikacije Kromopak GC2 kartona

Gramatura	Debljina	Voluminoznost	Čvrstoća				
			L+W 5°		L+W √(md x cd)	Taber 15°	
			MD	CD		MD	CD
g/m ²	mm	g/cm ³	mHm	mHm		mHm	mHm
215	0,320	1,49	15,0	6,8	10,0	8,4	3,8
230	0,331	1,44	18,0	7,6	11,6	10,0	4,2
250	0,362	1,45	23,4	9,8	15,1	13,1	5,4
275	0,415	1,51	30,5	12,6	19,6	16,4	6,8
300	0,452	1,51	36,0	15,0	23,2	18,9	7,9
325	0,494	1,52	44,6	18,5	28,7	23,4	9,9
350	0,525	1,50	58,2	23,4	36,9	29,1	11,8
400	0,598	1,50	84,0	32,0	52,1	42,2	16,1
450	0,682	1,52	108,0	42,0	67,2	51,2	20,0

(Izvor: <http://www.europapier.com/si/products/grafini-papirji/coated-boards/kromopak-gc2>)

4. REZULTATI I RASPRAVA

Kako bi se moglo uzorke izložiti postupku ubrzanog starenja mora se uzorke pričvrstiti na unaprijed pripremljenu šablonu kako bi uzorci stali u Solarbox. Uzorci PANTONE boja te mjerni stripovi su pažljivo izrezani iz otisaka te su pričvršćeni na tvrđu šablonu pomoću spajalica kako bi pozicija samih uzoraka bila jednolično osvjetljavana.

Eksperimentalno starenje prekidano je 8 puta čime su ostvorena različita izlaganja UV svjetlosti (0h, 6h, 12h, 24h, 48h, 96h, 144h i 250h).

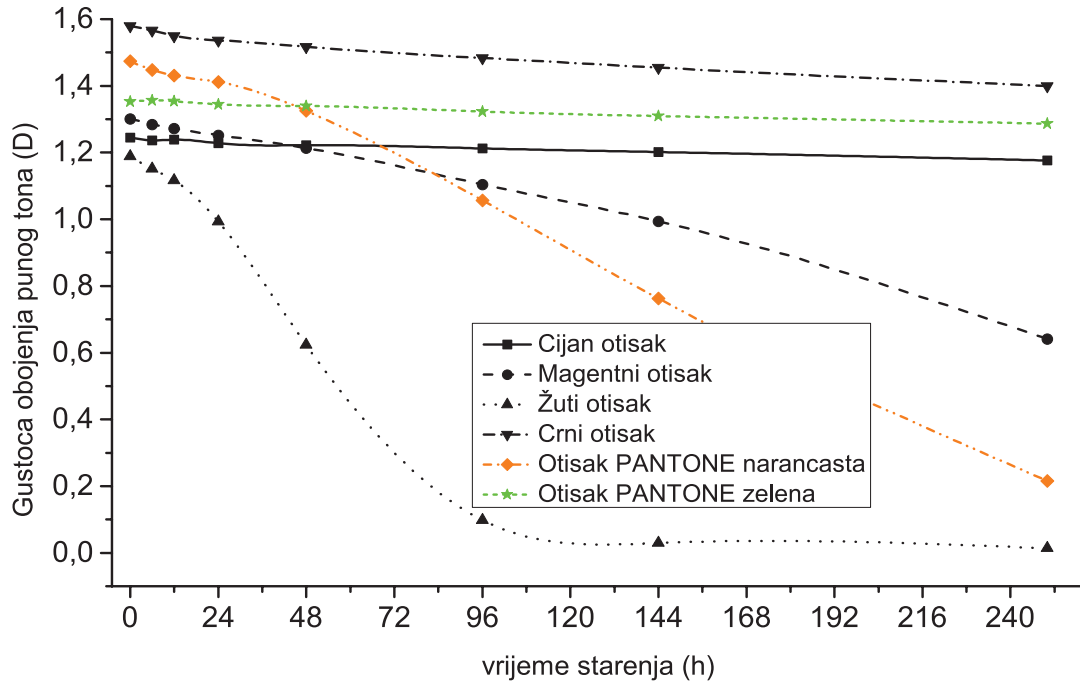


Slika 23. Pripremljene forme za Solarbox prije (gore) i poslije (dolje) postupka ubrzanog starenja

Na slici 23. prikazana je promjena gustoće obojenja na ispitanim uzorcima tokom izvršenog eksperimenta.

4.1. Denzitometrijska analiza

U procesu praćenja kontrole otiskivanja najčešće primjenjivana metoda je denzitometrija. Pritom će veće vrijednosti gustoće obojenja značiti i veći ostvareni nanos. Na slici 24. prikazano je kretanje vrijednosti gustoće obojenja punog tona za CMYKOG otisak.



Slika 24. Grafički prikaz stabilnosti gustoće obojenja svakog od bojila tokom postupka ubrzanog starenja

Na početku eksperimenta ($t = 0h$) visoku gustoću obojenja imaju sva bojila redom. Ona nije apsolutno ista, odnosno varira od najtamnije crne ($D_{100} = 1,58$) do najsvjetlije žute ($D_{100} = 1,18$). U tom međuprostoru smještene su PANTONE narandžasta, PANTONE zelena, magenta i cijan. Međutim, nakon umjetnog starenja ($t = 250h$) gustoća obojenja se smanjuje, pri čemu će najveće vrijednosti redom imati: crna ($D_{100} = 1,4$), PANTONE zelena ($D_{100} = 1,28$), cijan ($D_{100} = 1,17$), magenta ($D_{100} = 0,64$), PANTONE narandžasta ($D_{100} = 0,21$) te žuta ($D_{100} = 0,01$).

Gustoća obojenja kod cijan otiska pokazala se vrlo stabilna kroz cijelo vrijeme starenja. Pritom je promjena od početka testiranja pa do zadnjeg mjerenja (nakon 250 sati u komori za starenje) iznosi $D_{0h-250h} = 0,07$. Samim time cijan se preporučuje za tisak grafičkih proizvoda koji će se koristiti duže vrijeme.

Gustoća obojenja magentnog otiska pada konstantno kroz cijelo vrijeme testiranja. Ukupna promjena iznosi $D_{0h-250h} = 0,66$. Otisci na kojima prevladava magenta se preporučuju za kraća korištenja, jer do tada nema većih denzitometrijskih promjena ($D_{0h-96h} = 0,19$).

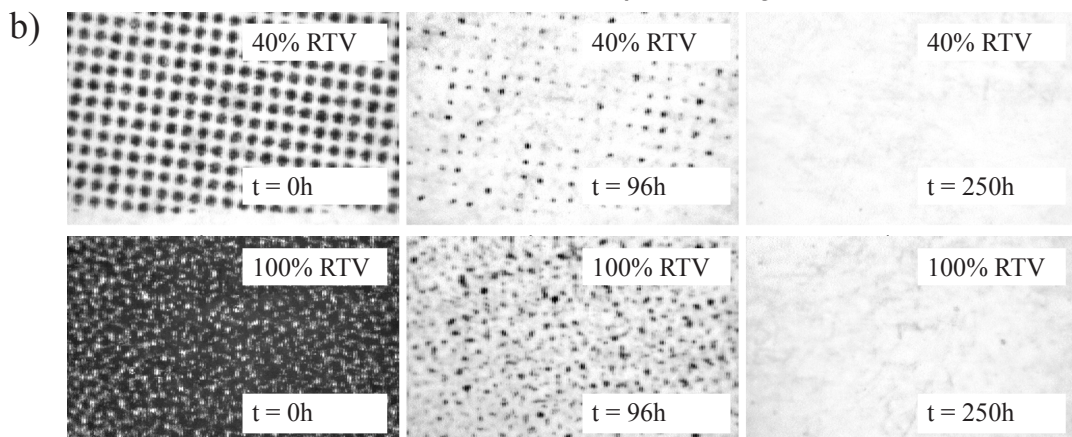
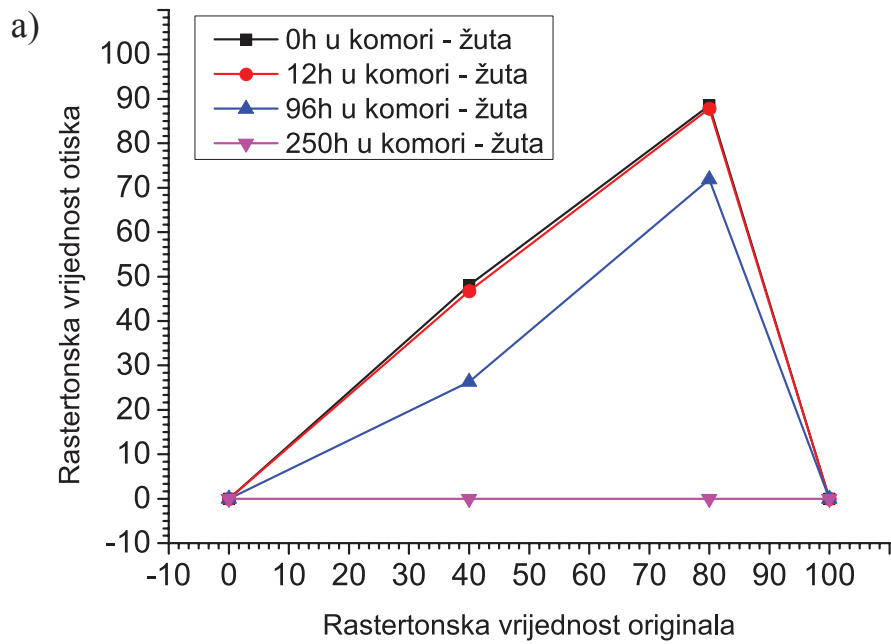
Tokom starenja žuti otisak se pokazao kao najpodložniji denzitometrijskim promjenama. Velika promjena nastaje već kod 4. mjerenja ($t = 96$ sati), te iznosi $\Delta D_{0h-96h} = 1,09$. Nakon toga žuti otisak praktički nestaje sporim konstantnim padom promjene $\Delta D_{96h-250h} = 0,08$. Ovaj pigment (AZO pigment) žutog bojila se ne preporuča za korištenje, te se sugerira njegova zamjena s drugim.

Otisci crnog bojila su se pokazali vrlo ujednačeni. Pad tijekom eksperimenta je mali, pri čemu ukupna promjena gustoće obojenja iznosi samo $\Delta D_{0h-250h} = 0,18$. Stoga se može preporučiti tisak crnim bojilom neovisno o ciljanom vremenu korištenja.

Dodatno otisnuto PANTONE zeleno bojilo se pokazala kao izrazito stabilno. Njena ukupna denzitometrijska promjena (tokom 250 sati) je minorna i iznosi tek $\Delta D_{0h-250h} = 0,06$. Samim time ovako ostvareni ton puno je bolji od verzije sa otisnute dvije boje (100%Y i 100%C).

Dodatna PANTONE narančasta boja nešto je lošija od PANTONE zelene. Ona će unutar 24h u komori ostati stabilna, te će njena denzitometrijska promjena iznositi $\Delta D_{0h-24h} = 0,06$. Nakon toga je slijedi konstantan pad gustoće obojenja koji će u konačnici iznositi $D_{0h-250h} = 1,19$. Samim time tisak pri kojem prevladava PANTONE narančasta se preporuča samo pri otiscima namijenjenim za kraće korištenje.

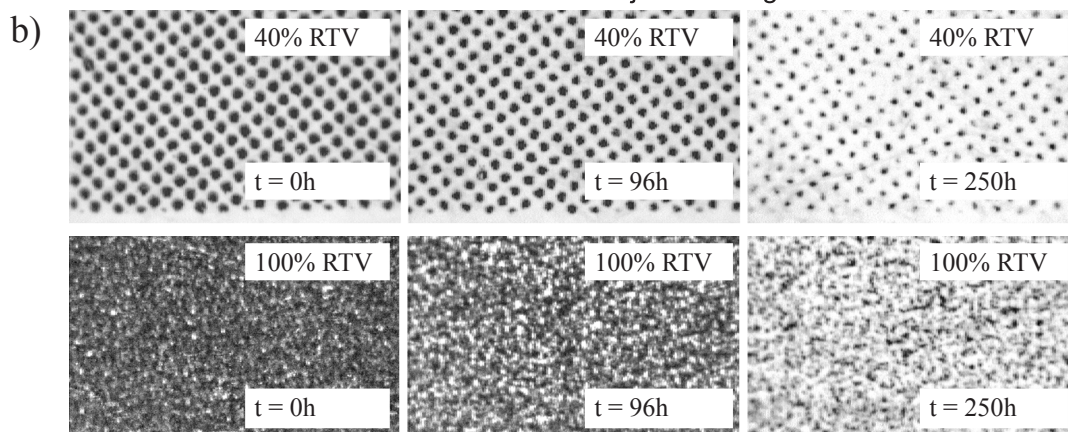
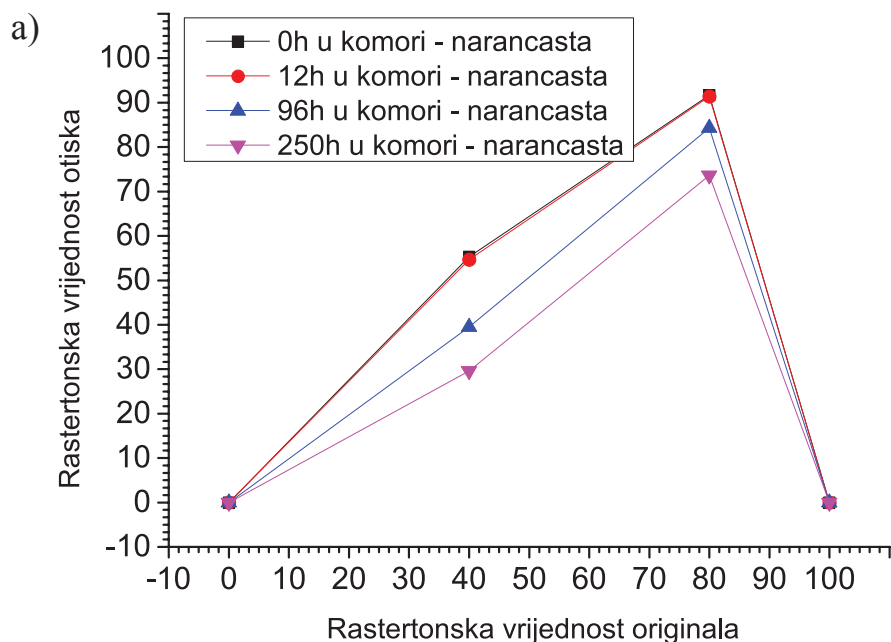
Pri reprodukciji kolornih fotografija vrlo je bitno i kako se reproduciraju međutonovi (svijetle, srednje i tamne rasterske površine). Brojčano gledano najosjetljivije na kolorne promjene su područja od 40% i 80% RTV-a. Pritom se kao najpogodniji za analizu prikazao prirast ostvaren u rasterskoj reprodukciji. Na slikama 25, 26 i 27 prikazane su HiFi krivulje reprodukcije različito starih O, Y i M bojila (kolorno najsvjetlije procesne komponente).



Slika 25. Utjecaj ubranog starenja na rastertonsku vrijednost otiska žutog bojila: a) krivulja reprodukcije, b) Prikaz polja žute boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)

Žuta separacija otisnuta je korektno, što se može vidjeti iz ostvarenih rastertonskih vrijednosti prikazanih na slici 25 a). Pritom će u području srednjih tonova doći do promjene ($40\%RTV_{original} = 48\% RTV_{otisak}$, odnosno $80\%RTV_{original} = 90\%RTV_{otisak}$). Svjetlosnim starenjem dolazi do potpune degradacije žutih rasterskih otisaka pri čemu će doći do smanjenja rasterskih vrijednosti. Na polju od 40% RTV to će iznositi $Z_{0h-96h} = -15,8\%$ (ubranog starenja do 96 sati), te potpuno nestajanje tona nakon 250 sati starenja. Na polju od 80% RTV uočava se još veći pad. U prvih 96 sati on isnosi $Z_{0h-96h} = 16,6\%$ da bi do kraja starenja ton u potpunosti nestao.

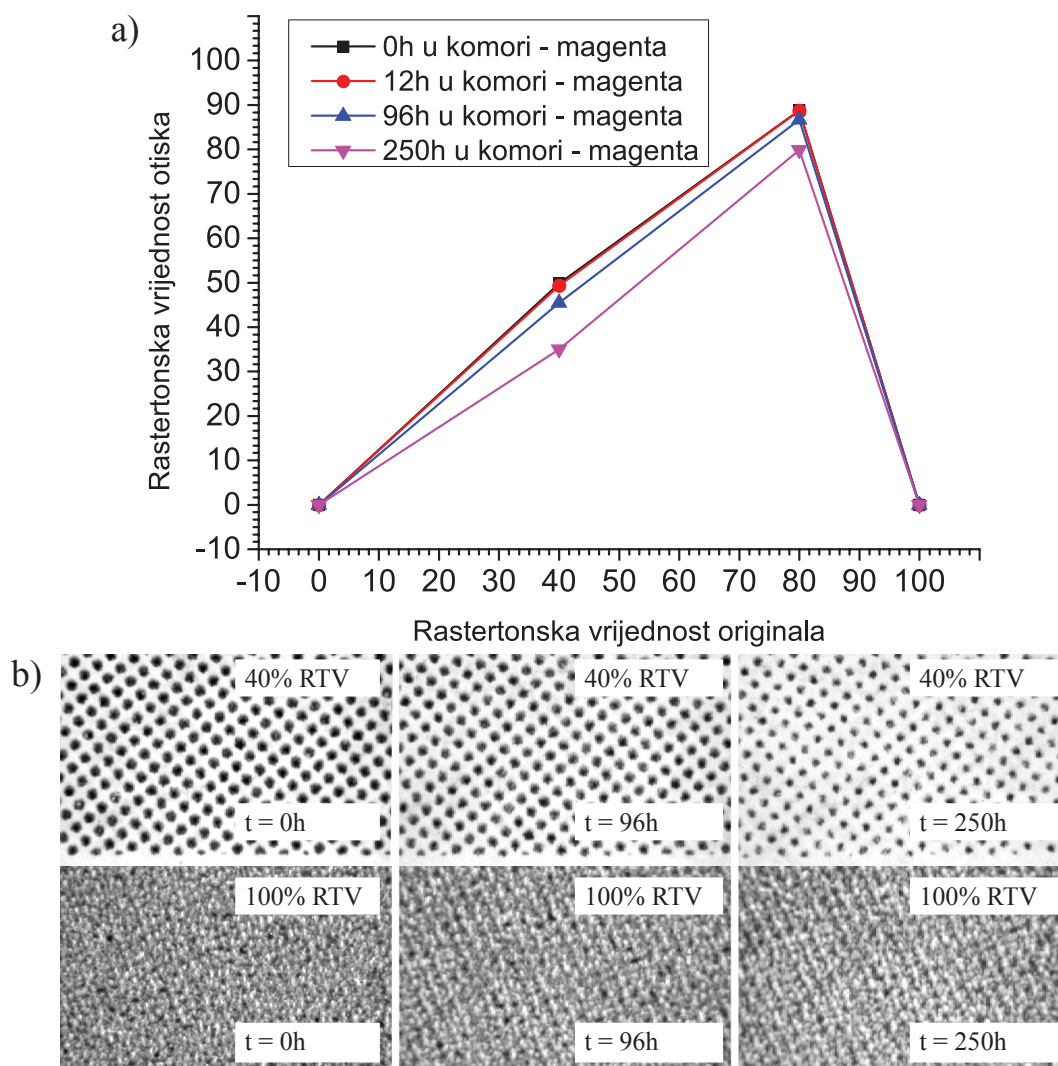
Naravno, takve promjene su vidljive i golim okom pri čemu se na slici 25 b) jasno vidi i kronologija postepenog gubljenja žutog bojila na otisku. Vizualna analiza imageJ softwareom samo potvrđuje rezultate dobivene mjerenjem gustoće obojenja te prikazuje intenzitet smanjenja rastertonske vrijednosti.



Slika 26. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska narančastog bojila: a) krivulja reprodukcije, b) Prikaz polja narančaste boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)

Za razliku od žute, narančasti će otisci doživjeti manje promjene tijekom eksperimentalnog starenja. Kao i žuta separacija i narančasta ima u početku korektan otisak ($40\%RTV_{original} = 55\% RTV_{otisak}$ odnosno $80\%RTV_{original} = 92\%RTV_{otisak}$). Eksperimentalnog starenja do 96 sati će na polju od 40% RTV doživjeti pad od $Z_{0h-96h} = -21,8\%$, te pad od $Z_{0h-9250} = -25,7\%$ do 250 sati. Na polju od 80% RTV se uočava pad od $Z_{0h-96h} = -7,4\%$ (do 96h) te $Z_{0h-250h} = -18,1\%$ do 250h. Unatoč značajnom padu narančasto bojilo je vidljivo stabilnije od žutog.

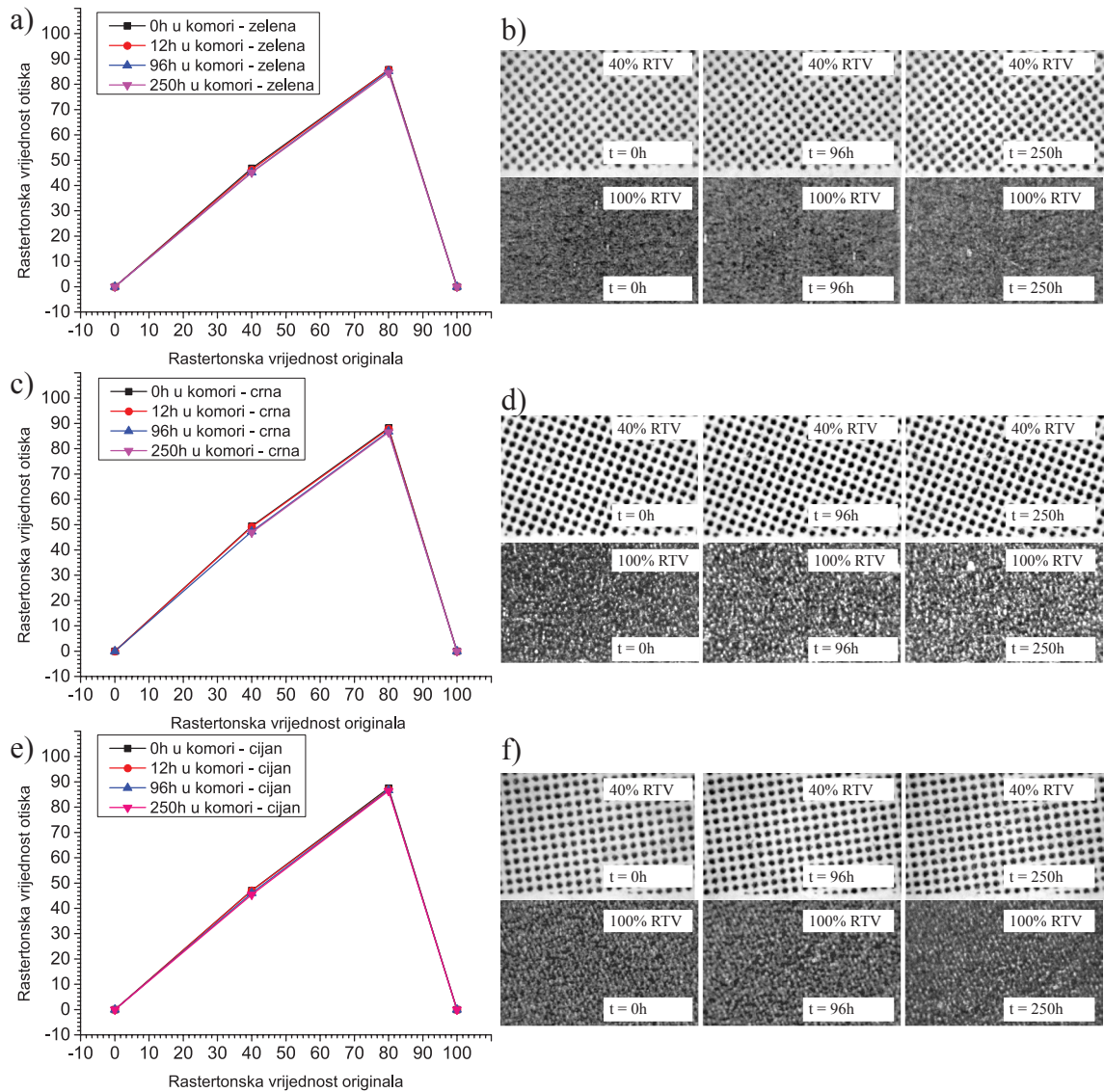
Vizualnom procjenom na slici 26 b) vidljivo je postupno mijenjanje otiska pri čemu dolazi do sve većeg i većeg smanjenja rasterskih točaka. Međutim one ipak ostaju vidljive nakon starenja od 250h. Površina punog tona je vrlo neujednačena (vidljiv je mottling). Tijekom starenja nejednakost se ne mijenja i ostaje prisutan na otisku. Samim time površina punog tona djeluje kao da je rastrirana. Slikovna analiza potvrđuje rezultate mjerenja gustoće obojenja, te uz žuto bojilo djeluje kao najnestabilnije na proces ubrzanog starenja.



Slika 27. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska magenta bojila:
a) krivulja reprodukcije, b) Prikaz polja magenta boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)

Treća najsvjetlija komponenta (magenta) pokazala se najstabilnija. Prije početka procesa ubrzanog starenja rastertonske vrijednosti od 40%RTV_{original} reproducirane su kao 51% RTV_{otisak}, odnosno 80%RTV_{original} kao 91%RTV_{otisak}). Starenjem otisaka dolazi do značajno manjih promjena u usporedbi s, najnestabilnijim, žutim bojiлом. Tako na polju 40% RTV uočavamo pad od $Z_{0h-96h} = -4,3\%$ (do 96 sati ubrzanog starenja), te pad od $Z_{0h-250h} = -14,8\%$ (do 250 sati). Na polju od 80% RTV se uočava manji pad od $Z_{0h-96h} = -2,1\%$ (do 96h) te $Z_{0h-250h} = -8,9\%$ (do 250h). Pad rastertonske vrijednosti na polju od 80%RTV je manji od pada na polju od 40%RTV što je vjerojatno rezultat degradacije samog papira tokom procesa starenja.

Vizualnom analizom na slici 27 a) vidljivo je postupno smanjenje rastertonskih točkica, no ono je značajno manje nego što je slučaj kod narančastog bojila. Na punom polju je također vidljiva degradacija bojila koja se manifestira sve većim prodiranjem bjeline papira kroz otisnuto bojilo.



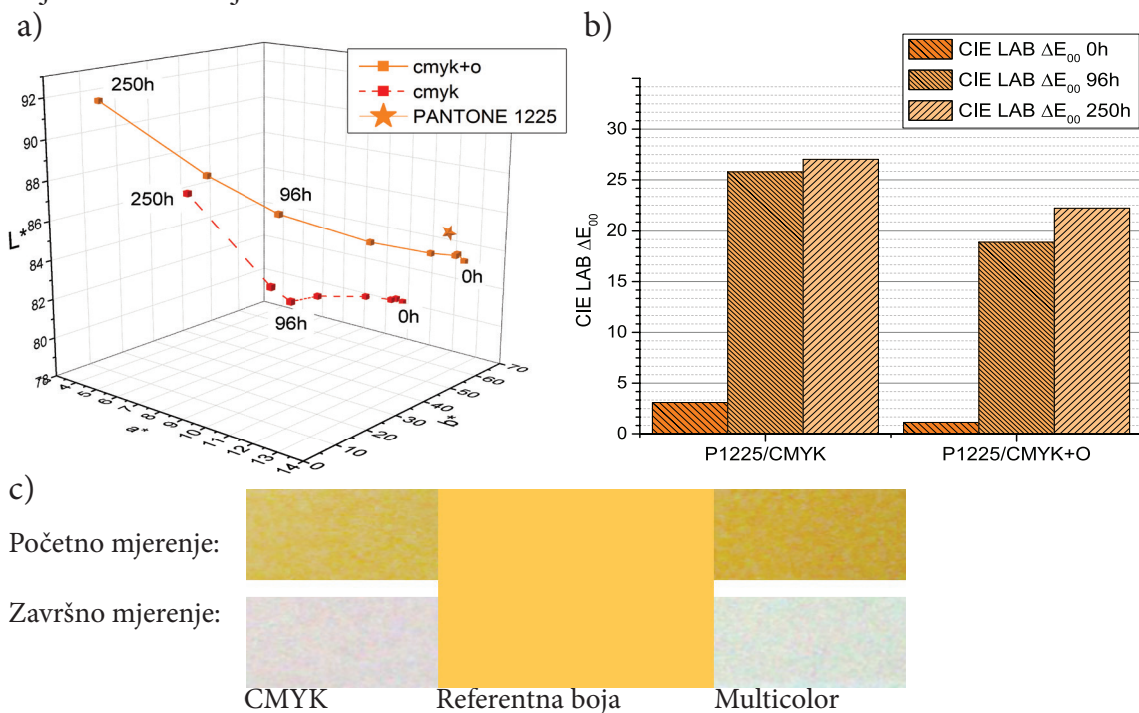
Slika 28. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska a) zelenog, c) cijan i e) crnog bojila te prikaz polja b) zelene, d) crne i f) cijan boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)

Troje kolorno tamnijih procesnih boja gotovo se i ne mijenjaju. Na slici 28. prikazane su kolorne promjene rastertonskog polja u zelenom, crnom i cijan otisku. Sve tri boje su se prikazale izrazito stabilne s minimalnim devijacijama od ciljane rastertonske vrijednosti. Slikovna analiza mjernih polja ovih triju bojila je samo potvrdila stabilnost tijekom procesa ubrzanog starenja pri čemu ja smanjenje pokrivenosti površine na rastriranom polju unutar jedan posto. To je zanemarivo s obzirom na preciznost ove metode analize. Nakon 250 sati ukupni pad rastertonske vrijednosti crne iznosi $Z_{0h-250h} = -2,5\%$ na polju od 40% te $Z_{0h-250h} = -1,7\%$ na polju od 80%. Zeleno bojilo se pri slikovnoj analizi polja punog tona ipak pokazalo je stabilnija te nakon 250 sati pad rastertonske vrijednosti na polju od 40% iznosi $Z_{0h-250h} = -1,7$ a na polju od 80% $Z_{0h-250h} = -1,3\%$. Najstabilnije bojilo tokom eksperimenta bilo je cijan bojilo. Pritom pad rastertonske vrijednosti na polju od 40% iznosi $Z_{0h-250h} = -1,7\%$, a na polju od 80% $Z_{0h-250h} = -1,1\%$.

Iz svih ovih dobivenih denzitometrijskih rezultata nameću se daljnja istraživanja temeljena na varijaciji HiFi primarnih bojila. Drugim riječima, da li će veći nanosi spriječiti degradacijski proces, a samim time produžiti životni vijek svijetlih kolornih komponenti.

4.2. Kolorimetrijska analiza

Iako se u kontroli ostvarenih nanosa najčešće koristi optička denzitometrija, točnu tonsku promjenu moguće je opisati samo kolorimetrijskim mjerenjima. Njihovom prikazu u trodimenzionalnom CIE $L^*a^*b^*$ kolornom prostoru moguće je detektirati stvarnu kolornu promjenu i njen mogući razlog. Na slikama 29.-35. prikazane su kolorne promjene nastale starenjem specifičnih PANTONE tonova ostvarenih u četverbojnom i peterbojnom otiskivanju.

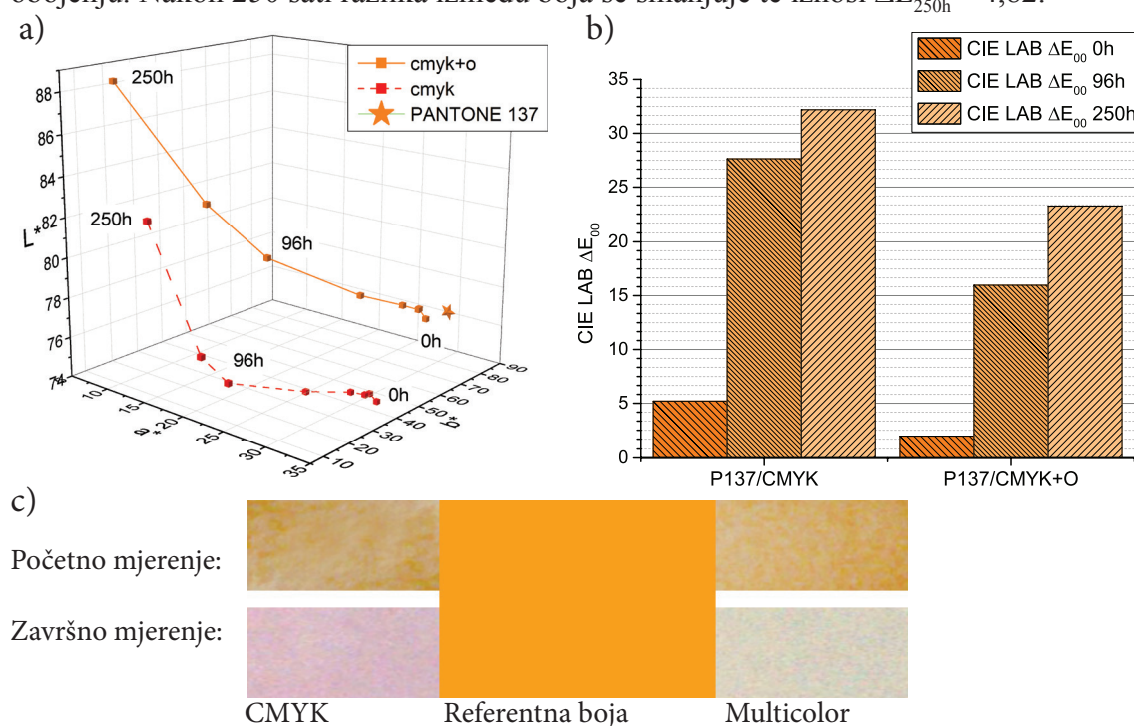


Slika 29. a) Prikaz promjene P1225 iz CMYK i Multicolor boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja;
 b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 1225 tona;
 c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 1225 tona tokom eksperimenta

Od narančastih boja mjerenih za potrebe ovog rada PANTONE 1225 je ton čiji je udio narančaste boje najmanji (25%). Tijekom 24h ubranog starenja na $L^*a^*b^*$ grafu uočava se mala promjena obojenja. Nakon toga se uočava nagla promjena u kromatičnosti prema plavom dijelu, te konstantan porast svjetline (do 96h ubranog starenja). Obje boje se konstantno kreću prema plavom dijelu do 96h ubranog starenja (promjena po b^* osi). Nakon 96h PANTONE otisak ostaje u kombinaciji pri CMYK+O dolazi do nagle promjene u svjetlini te pomaka prema plavo zelenom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boje. Kod PANTONE iz CMYK-a će nakon 96h također doživjeti rapidne promjene u svjetlini.

Pritom se do 96h kromatičnost kreće prema crvenom dijelu, a nakon 96h vidljiv je pomak prema plavo zelenom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boja (nakon 96h starenja $\Delta E_{\text{CMYK}/\text{P1225}} = 26,2$; $\Delta E_{\text{CMYK+O}/\text{P1225}} = 20,7$). Obje boje su jednako podložne promjeni prilikom ubrzanog starenja, no CMYK+O je tonom bliža referentnoj PANTONE 1225 (nakon 250h starenja $\Delta E_{\text{CMYK}/\text{P1225}} = 27,5$; $\Delta E_{\text{CMYK+O}/\text{P1225}} = 22,5$).

Eksperimentalno peterobojno otiskivanje dati će različitu reprodukciju od četvero-bojnog. CIE Lab ΔE_{00} Razlika obojenja između dviju boja (PANTONE 1225 iz CMYK-a I PANTONE 1225 iz CMYK+O) iznosila je $\Delta E_{0h} = 1,96$ prije početka ubrzanog starenja. To je prema tablici vrijednosti i tolerancije ΔE razlike boja vrlo mala razlika. Mjerenjem nakon 96 sati razlika između tonova je iznosila $\Delta E_{96h} = 6,9$ što je vizualno velika razlika u obojenju. Nakon 250 sati razlika između boja se smanjuje te iznosi $\Delta E_{250h} = 4,82$.



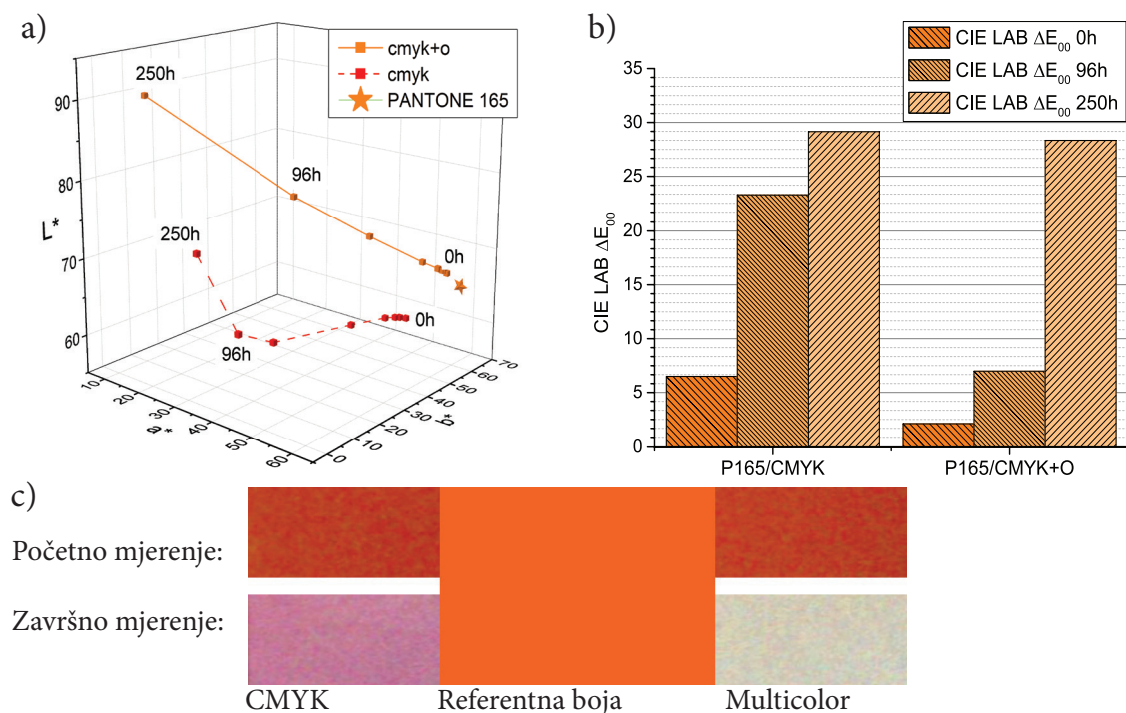
Slika 30. a) Prikaz promjene P137 iz CMYK i Multicolor boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja; b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 137 tona; c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 137 tona tokom eksperimenta

Prije starenja u komori, CIE Lab ΔE_{00} razlika obojenja između dviju boja (PANTONE 137 iz CMYK-a I PANTONE 137 iz CMYK+O) je iznosila $\Delta E_{0h} = 3,26$ što je prema tablici vrijednosti i tolerancije ΔE razlike boja umjerena razlika. Od tonova boja mjerenih za potrebe ovog rada PANTONE 137 je ton s srednjim udjelom narančaste boje (50%) . Slika 30. prikazuje $L^*a^*b^*$ graf na kojem se uočava mala promjena obojenja do 24h ubrzanog starenja nakon čega se uočava nagla promjena u kromatičnosti prema plavom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boja. Kombinacija CMYK+O ima konstantan porast svjetline, dok je otisak iz CMYK-a po svjetlini stabilnija do 144h ubrzanog starenja.

Nakon 96h kod otisaka CMYK+O dolazi do nagle promjene u svjetlini te pomaka prema plavo zelenom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boje (nakon 96h starenja $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 27,6$; $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 15,9$).

PANTONE iz CMYK-a će nakon 144h doživjeti također naglu promjenu u svjetlini, dok se kromatičnost blago kreće prema plavo zelenom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boja. PANTONE137 iz CMYK-a pokazuje veću razliku u odnosu na referentni PANTONE, ali i veću stabilnost kod ubrzanog starenja. Samim time PANTONE iz CMYK+O puno je bliža tonu referentne PANTONE 137 boje, ali je i podložnija promjeni (nakon 250h starenja $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 32,5$; $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 23,5$).

Prilikom mjerenja nakon 96 sati ubrzanog starenja razlika između tonova je iznosila $\Delta E_{96h} = 11,66$ što je velika razlika, odnosno potpuno drugi ton boje. Krajem eksperimenta, pri 250 sati razlika između boja se smanjuje te iznosi $\Delta E_{250h} = 8,96$ što je prema tablici još uvijek velika razlika u tonu.



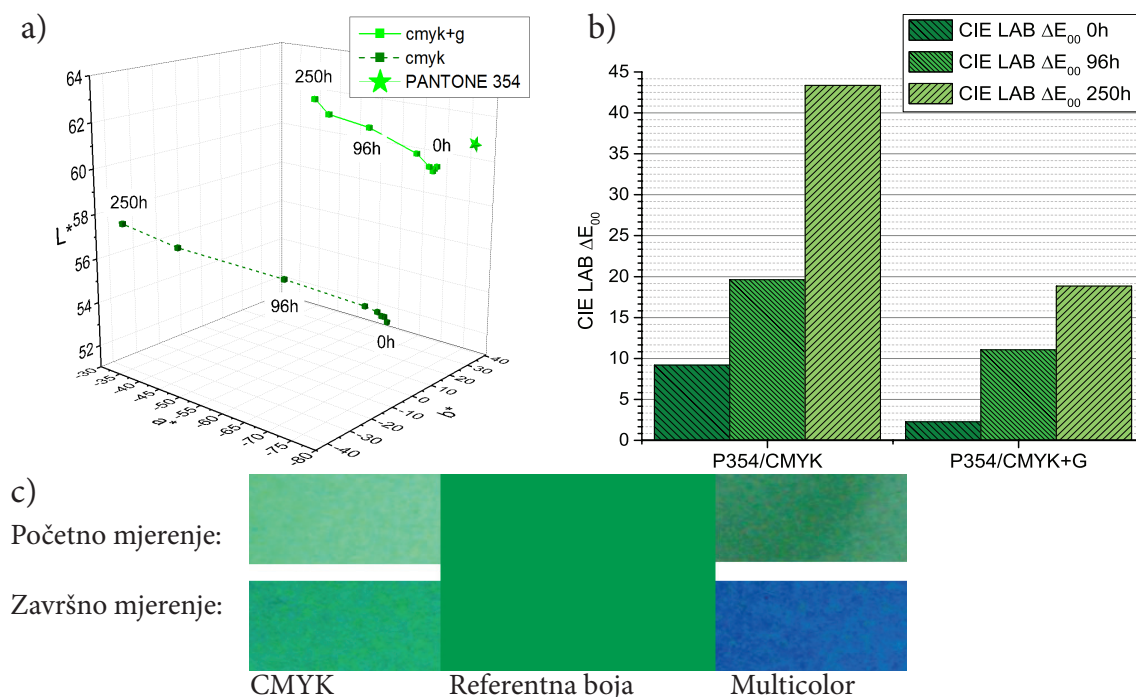
Slika 31. a) Prikaz promjene P165 iz CMYK i Multicolor boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja; b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 165 tona; c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 165 tona tokom eksperimenta

PANTONE 165 je ton s najvećim udjelom narančaste boje (75%). CIE Lab ΔE_{00} razlika obojenja između dviju boja prije ubrzanog starenja (PANTONE 165 iz CMYK-a i PANTONE 165 iz CMYK+O) je iznosila $\Delta E_{0h} = 4,38$ što je prema tablici vrijednosti i tolerancije ΔE razlike vidljiva razlika u tonu.

L^*a^*b prikazuje malu promjenu obojenja do 24h ubrzanog starenja nakon čega se uočava nagla promjena u kromatičnosti prema plavom dijelu, te konstantan porast svjetline CMYK+O boje, dok je svjetlina CMYK boje stabilnija do 96h ubrzanog starenja. Pri CMYK+O boji dolazi do nagle ali konstantne promjene u svjetlini te pomaka prema plavo zelenom dijelu. To će nakon 96 sati rezultirati slijedećim kolornim promjenama: nakon 96h $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 18,8$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 19,6$.

Kod CMYK boje nakon se kromatičnost kreće prema plavom dijelu, a svjetlina je stabilna do 144h, nakon čega također dolazi do naglog promjena u svjetlini, dok se kromatičnost naglo okreće prema zelenom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boja što (nakon 250h) daje kolornu promjenu od $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 29,2$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 28,4$.

Nakon 96 satnog ubrzanog starenja razlika između dva PANTONE tona je iznosila $\Delta E_{96h} = 16,29$ što predstavlja potpuno drugi ton boje. Nakon 250 sati razlika između boja se drastično smanjuje te iznosi $\Delta E_{250h} = 0,82$ što je razlika koju ljudsko oko ne vidi.



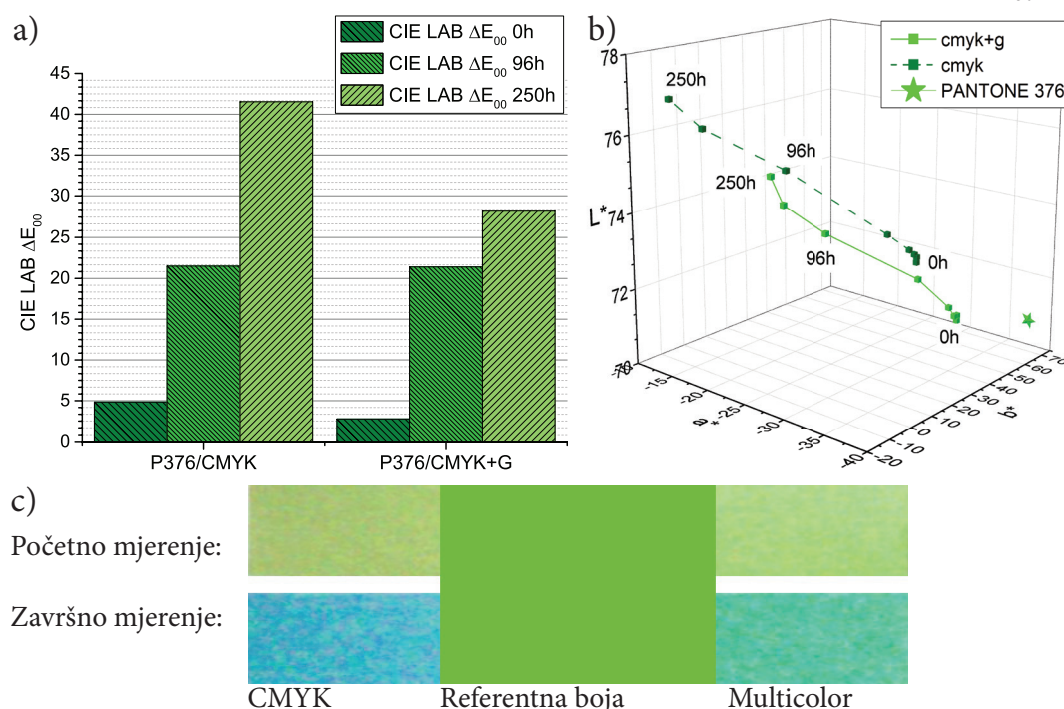
Slika 32. a) Prikaz promjene P354 iz CMYK i Multicolor boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja; b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 354 tona; c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 354 tona tokom eksperimenta

Osim narančastih tonova u ambalaži se vrlo često primjenjuju zeleni tonovi. Od tonova mjerenih za potrebe ovog rada PANTONE 354 je ton s najvećim udjelom zelene boje (75%). Otiskivanje CMYK+G će na $L^*a^*b^*$ grafu b) dati malu promjenu obojenja do 24h ubrzanog starenja. Nakon toga se uočava nagla promjena u kromatičnosti (prema plavom dijelu $L^*a^*b^*$ prostora boja), te konstantan porast svjetline.

Kombinacija boja CMYK+G je mnogo stabilnija po crveno zelenoj osi os (a*). Pri CMYK PANTONU dolazi do nagle ali konstantne promjene u svjetlini te pomaka prema plavo zelenom dijelu L*a*b* prostora. To će nakon 96 sati rezultirati kolornom promjenom od: $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 11$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 21,5$.

Mjerenja nakon 250h pokazuju da PANTONE354 iz CMYK-a pokazuje veću razliku u odnosu na referentni PANTONE. Samim time otisci su nestabilniji tijekom ubrzanog starenja, dok je kombinacija CMYK+G boja tonom bliža referentnoj PANTONE 137 boji, te je manje je podložna promjeni. Tako će nakon 250h promjena iznositi: $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 43\%$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 18,5\%$.

Prilikom početnog mjerenja, prije podvrgavanja ubrzanom starenju u komori, CIE Lab ΔE_{00} razlika između tonova (PANTONE 354 iz CMYK-a I PANTONE 354 iz CMYK+G) je iznosila $\Delta E_{0h} = 6,92$ što je prema tablici vrijednosti i tolerancije velika razlika u tonu. Nakon 96 satnog starenja razlika između tonova porasla je na $\Delta E_{96h} = 8,58$ što je još veća razlika. Nakon 250 sati razlika između boja se povećava te iznosi $\Delta E_{250h} = 24,51$.



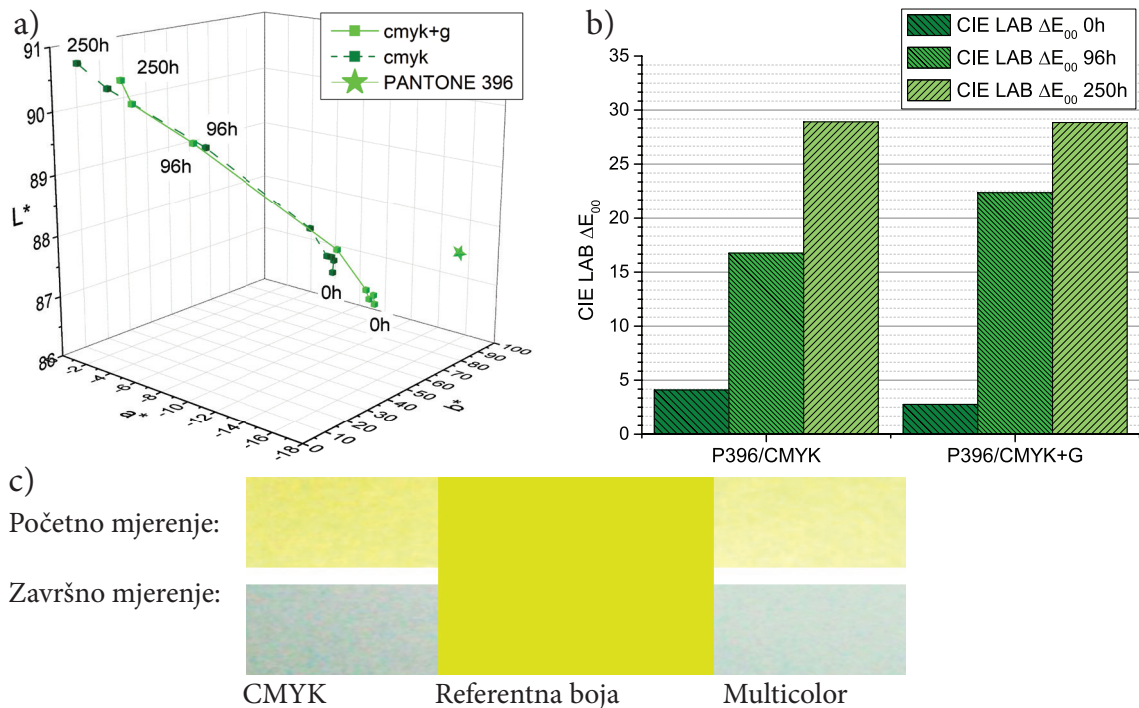
Slika 33. a) Prikaz promjene P376 iz CMYK i Multicolor boja u CIE L*a*b* prostoru boja; b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 376 tona; c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 376 tona tokom eksperimenta

PANTONE 376 je ton s srednjim udjelom zelene boje (50%). Slika 33. a) prikazuje L*a*b* graf na kojem je vidljiva manja promjena obojenja do 24h starenja. Nakon toga se uočava nagla promjena u kromatičnosti u smjeru zeleno plave osi. Nakon 96h promjena u obojenju iznositi će $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 21,3$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 16,7$.

Obje boje pokazuju jednaku podložnost promjenama prilikom ubrzanog starenja i po kromatičnosti i po svjetlini. Nakon 250 sati ubrzanog starenja dolazi do promjene među tonovima te je razlika vidljivija (nakon 250h $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 42\%$; $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 28,7\%$).

CIE Lab ΔE_{00} razlika obojenja između dviju tonova (PANTONE 376 iz CMYK-a i PANTONE 376 iz CMYK+G) prije starenja, iznosila je malih $\Delta E_{0h} = 2,1$.

Nakon 96 sati ubrzanog starenja razlika između tonova porasla je na $\Delta E_{96h} = 0,113$ odnosno razlika koju prosječno ljudsko oko ne razlučuje. Nakon 250 sati razlika između tonova se ipak drastično povećava te iznosi visokih $\Delta E_{250h} = 13,32$.



Slika 34. a) Prikaz promjene P396 iz CMYK i Multicolor boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja; b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 396 tona; c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 396 tona tokom eksperimenta

PANTONE 396 je ton čiji je udio zelene boje najmanji (25%). Kod ovog tona se na $L^*a^*b^*$ grafu do 24h ubrzanog starenja uočava mala promjena obojenja. Međutim, nakon 96 sati ostvaruje se veća kolorna promjena: $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 16,7$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 22,3$.

Ovako otisnuti uzorci koji pokazuje veća odstupanja od referentnog PANTONE tona pritom će tisak kombinacije CMYK+G biti udaljeniji od kombinacije iz CMYK-a.

Obje boje pokazuju sličnu podložnost promjenama prilikom starenja i po kromatičnosti i po svjetlini. Zanimljivo je da se CMYK+G PANTONE boja postupno približava poziciji unutar CIE $L^*a^*b^*$ sustava CMYK PANTONE boji. Tako će nakon 250 sati razlika u obojenju iznositi: $\Delta E_{\text{CMYK/P1225}} = 28,8$ i $\Delta E_{\text{CMYK+O/P1225}} = 28,9$.

Prije podvrgavanja umjetnom starenju, CIE Lab ΔE_{00} razlika obojenja između dviju boja (PANTONE 396 iz CMYK-a I PANTONE 396 iz CMYK+G) je iznosila $\Delta E_{0h} = 1,33$. To je vrlo mala razlika u tonu prema tablici vrijednosti i tolerancije ΔE razlike. Prilikom mjerenja nakon 96 sati ubrzanog starenja razlika između tonova je iznosila $\Delta E_{96h} = 5,58$.

Nakon 250 sati razlika između tonova se smanjuje te iznosi $\Delta E_{250h} = 0,06$. Tto je razlika u tonu koje prosječno ljudsko oko ne vidi, odnosno ova dva tona su gotovo identična. Iz tog razloga može se reći da nema valjanog razloga zašto bi se koristio skuplji i kompliciraniji peterobojni postupak tiska pri izradi otisaka koji zahtijevaju tisak PANTONE 396 tona ako se isti rezultat dobije i tiskom iz CMYK-a.

5. ZAKLJUČAK

Tokom trajanja eksperimenta pratilo se kretanja razine gustoće obojenja punog otisnutog polja. Najmanju promjenu gustoće obojenja pokazalo je cijan bojilo, te je ona iznosila $\Delta D_{250h-0h} = -0,07$. S druge strane, najveću promjenu u gustoći obojenja pokazalo je PANTONE narančasto bojilo, te je njegova promjena iznosila $\Delta D_{250h-0h} = -1,26$. Žuto bojilo je pokazalo nešto manju ukupnu promjenu gustoće ($\Delta D_{250h-0h} = -1,17$), ali je otisak ovog bojila do kraja eksperimenta u potpunosti nestao.

Za PANTONE 1225 ton otisak dobiven iz CMYK-a pokazuje umjerenu razliku tona u odnosu na standard ($\Delta E_{0h} \text{ CMYK} = 3,10$) dok se otisnuti ton iz CMYK+O manje razlikuje od standarda ($\Delta E_{0h} \text{ CMYK+O} = 1,14$). Time je ostvarena međusobna razlika u tonu od $\Delta E_{0h} = 1,96$. Nakon 250 sati starenja razlika između dviju tonova raste te iznosi $\Delta E_{250h} = 4,82$. Ovako velika razlika se ne bi trebala tolerirati te bi se za tisak ovog PANTONE tona trebalo koristiti dodatnu petu narančastu boju za dobivanje kvalitetnog otiska.

Mjerenje uzoraka PANTONE 137 otisnutog iz CMYK-a odnosu na standardni PANTONE, će dati razliku u obojenju od $\Delta E_{0h \text{ CMYK}} = 5,21$, dok će uzorak otisnut iz CMYK+O dati kolornu promjenu od $\Delta E_{0h \text{ CMYK+O}} = 1,95$. Dakle, razlika između dviju tonova prije starenja iznosi $\Delta E_{0h} = 3,26$. Tokom 250h umjetnog starenja razlika između dviju tonova se povećava na $\Delta E_{250h} = 8,96$. Razlika između dvije reprodukcije je velika te se i pri reprodukciji PANTONE 137 tona preporuča korištenje dodatne PANTONE narančaste boje kako bi se dobio kvalitetan otisak.

Uzorak PANTONE 165 dobiven iz CMYK-a pokazuje veliku razliku tona u odnosu na standard ($\Delta E_{0h \text{ CMYK}} = 6,49$). Kombinacija iz CMYK+O samnjiti će razliku u obojenju na $\Delta E_{0h \text{ CMYK+O}} = 2,10$. Razlika u tonu između te dvije reprodukcije biti će $\Delta E_{0h} = 4,38$. Nakon starenja od 250 sati razlika između dviju tonova se smanjuje na $\Delta E_{250h} = 0,82$. Prilikom reprodukcije otisaka PANTONE 165 tona, ako pretpostavimo da će otisak biti dulje u optičaju te tako podložan starenju, nema potrebe za peterobojskim tiskom jer je konačna razlika u tonu zanemariva.

Zeleni PANTONE 354 otisnut iz CMYK-a imati će veliku razliku u tonu u odnosu na standard ($\Delta E_{0h \text{ CMYK}} = 9,20$) dok će kombinacija iz CMYK+G (75% zelene) biti bliža standardu ($\Delta E_{0h \text{ CMYK+G}} = 2,27$). Razlika u tonu između te dvije reprodukcije prije starenja je velika i iznosi $\Delta E_{0h} = 6,92$. Nakon 250 sati starenja razlika između dviju tonova raste na $\Delta E_{250h} = 24,51$. S obzirom da ton dobiven iz CMYK+G tokom starenja drastično manje odstupa od PANTONE standarda u odnosu na kombinaciju iz CMYK+G, reproduciranje otisaka s PANTONE 354 tonom trebalo bi se izvesti s petom PANTONE zelenom bojom.

PANTONE 376 trebao bi se otiskivati na peteroboju stroju. To se temelji na činjenici da PANTONE 376 otisnut iz CMYK-a ima veliku razliku tona u odnosu na standard ($\Delta E_{0hCMYK} = 4,85$). Kombinacija nastala iz CMYK+G manje se razlikuje od standarda ($\Delta E_{0hCMYK+G} = 2,75$). Razlika u tonu između te dvije reprodukcije prije starenja je umjerenjena i iznosi $\Delta E_{0h} = 2,1$. Nakon 250 sati izloženosti starenju razlika između dviju tonova raste te iznosi velikih $\Delta E_{250h} = 13,31$.

Ton s najmanjim udjelom zelene boje (25%) je PANTONE 396. Prije izloženosti ubrzanom starenju uzorci su izmjereni te je razlika između referentnih uzoraka i otiska u kombinaciji iz CMYK-a iznosila $\Delta E_{0hCMYK} = 4,09$. Isti ton dobiven kombinacijom iz CMYK+G imati će razliku u obojenju $\Delta E_{0hCMYK+G} = 2,76$. Razlika između dva uzorka je vrlo mala te iznosi $\Delta E_{0h} = 1,33$. Nakon završetka eksperimenta (250h umjetnog starenja) razlika između dviju uzoraka PANTONE 396 tona se smanjuje te iznosi zanemarivih $\Delta E_{250h} = 0,06$. U ovom slučaju kvaliteta reprodukcija dobivenih iz CMYK-a je jednaka onoj dobivenoj iz CMYK+G pa nema potrebe koristiti dodatno zeleno bojilo da bi se reproducirao PANTONE 396 ton.

Iz ispitanih uzoraka PANTONE 165 i PANTONE 396 su jedini tonovi koji se jednako kvalitetno mogu reproducirati koristeći četveroboju ili peteroboju tisk. Uzrok tome leži u činjenici da ovi tonovi sadrže veće količine žutih pigmenta. Naime, žuti pigment se prilikom mjerenja gustoće obojenja pokazao najnestabilnijim. Starenjem dolazi do potpune degradacije žutih rasterskih otisaka pri čemu dolazi do smanjenja rasterskih vrijednosti. Na polju od 40% RTV pad za $Z_{0h-96h} = -15,8\%$ (do 96 sati ubrzanog starenja), te potpuno nestajanje tona nakon 250 sati starenja. Na polju od 80% RTV pada i više te iznosi $Z_{0h-96h} = 16,6\%$ do 96h starenja da bi do kraja starenja ton u potpunosti nestao. Najmanju promjenu RTV pokazuje cijan otisak (na polju od 40% iznosi $Z_{0h-250h} = -1,7\%$, a na polju od 80% $Z_{0h-250h} = -1,1\%$).

Zbog ovakvih loših rezultata treba izbjegavati tonove koji sadrže veće količine ovog žutog pigmenta jer je jednostavno nemoguće postići kvalitetnu reprodukciju koristeći bojilo čiji pigment nakon starenja u potpunosti nestaje. Tako možemo zaključiti da uvođenje dodatnih, petih bojila koristeći Anicolor tiskovne jedinice ima smisla samo prilikom tiska boja koje ne sadrže veće količine žutog pigmenta. Jedini način koji bi možda mogao ispraviti navedene nedostatke bi bilo tiskanje većih nanosa žutog bojila kako bi se pokušalo produžiti vijek trajanja žutih otisaka, te bi bilo preporučljivo testirati takve mogućnosti.

6. LITERATURA

1. Majnarić I., (2004). *Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge*, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu
2. Korelić O. (1978). *Kemigrafija*, Viša grafička škola - Zagreb, Zagreb
3. Bolanča S. (1997). *Glavne tehnike tiska*, Acta Graphica, Zagreb
4. Kumar M. (1978). *Standardizacija izrade i eksploatacija tiskovne forme za plošni tisak*, Viša grafička škola – Zagreb, Zagreb
5. Kiphan H. (2001). *Hand Book of Print Media*, Springer, Berlin
6. Majnarić I., Jurić N., Puškarić M. (2010), *Influence of different pigmentation electro-ink on formation cyan, magenta and yellow screen elements*, International Symposium on Graphic Engineering and Design; Novi Sad
7. Majnarić I., *Mjeriteljstvo u tisku - Predavanje 7* (2011), Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu
8. Christie R. M. (2001). *Colour chemistry*, Royal Society of Chemistry United Kingdom
9. Thompson B. (2004). *Printing materials: science and technology*, Pira International, Surrey, United Kingdom
10. ***http://www.us.heidelberg.com/www/html/en/binaries/files/products/consumables/saphira_anicolor_rm_ink_sales_sheet_pdf - Heidelberg - *Saphira Anicolor RM Ink Sales Sheet*, 04.09.2014.
11. ***http://www.br.heidelberg.com/www/html/pt/binaries/files/downloads/pdf/press/brochure_speedmaster_sm_52_anicolor_en_pdf - Heidelberg - *Brochure Speedmaster SM52 Anicolor*, 04.09.2014.
12. Fry S. (1999), *Six degrees of separation: A look at the hexachrome™ high fidelity color reproduction system*, Visual Communications Journal
13. Zjakić I. (2007), *Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska*, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb
14. ***http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf - Heidelberg - *Multicolor workflow*, 04.09.2014.
15. ***<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/pantone-inc-history/> - *Funding Universe - Pantone Inc. History*, 04.09.2014.

16. ***http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf - Katedra za reprodukciju fotografiju Grafičkog fakulteta, 04.09.2014.
17. ***<http://www.na.sappi.com/paper-stock-products/euroart-plus-gloss-paper> - *Sappi euroart plus gloss paper specifications*, 04.09.2014.
18. Q-lab (2011) Technical Bulletin - *Sunlight, Weathering and Light Stability Testing*
19. Havlíková B., Babiaková D., Brezová V., Ďurovič M., Novotná M., Belányi F. (2002) *Dyes and Pigments*, Acta Chimica Slovaca
20. Lo, Mei-Chun, Chen, Chang-Lang, Tsung-Hsien (2007), *Characterization of High-fidelity Color Printing Devices Based on both Multispectral and Broadband Approaches*, 9th International Symposium on Multispectral Colour Science, Taipei, Taiwan,
21. ***http://phy.grf.unizg.hr/media/download_gallery/F2_fizikalna%20optika_ppt.pdf - Katedra za fiziku Grafičkog fakulteta, 04.09.2014.
22. Poku Nana, Dharavath H. N. i Kokil Uttam (2013) - *Effect of printing ink sequence (KCMY vs. YMCK) of multicolor offset printing on the color gamut and overall print (image) quality*, Technical Association Of The Graphic Arts
23. Namedanian M., Gooran S. (2010) - *High-Resolution Analysis of Optical and Physical Dot Gain*, Technical Association Of The Graphic Arts
24. Shendye A., Fleming III P. D. , i Pekarovicova A. (2010) - *Metamerism, Color Inconstancy and Chromatic Adaptation for Spot Color Printing*, Technical Association Of The Graphic Arts
25. Sperry, J. ; O Hara, L. (2007) - *An Evaluation of Generic Output Profiles for n-Color Printing*, Technical Association Of The Graphic Arts
26. Ozcan, A. ; Genckaya, E. ; Yenidogan, S. ; Sesli, Y. (2007) - *The Effect of Pigment Ratio in Offset Printing Inks on Lightfastness*, Technical Association of the Graphic Arts
27. Pappozzi A. (2014) - *Changing Composition Of Revenue*
28. Caitlin Moldvay (2012) - *IBISWorld Industry Report*, 32311
29. Peres M. R., (2007) *Focal Encyclopedia of photography*, Elsevier
30. ***http://www.codeproject.com/KB/miscctrl/RevisedKnownColorsPalette/CIE_Lab.png - *Codeproject Revised Known Colors Palette*, 04.09.2014.
31. ***<http://www.cis.rit.edu/research/thesis/bs/2000/ochs/Image10.gif> - *Development of a Linear Version of the CIECAM97s Color Appearance Model*, 04.09.2014.

32. ***<http://cerig.efpg.inpg.fr/memoire/2008/hexachromie.htm> - *Impression multicoloreurs : l'hexachromie et au-delà*, 04.09.2014.
33. ***forme.grf.unizg.hr/media/Forme_1/Dizajn_3.pps - *Predavanja iz kolegija Tiskovne forme*, 04.09.2014.
34. ***http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/071115_anicolor1 - *Heidelberg Speedmaster SM 52 with Anicolor*, 04.09.2014.
35. ***http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/071115_anicolor2 - *Heidelberg Speedmaster SM 52 with Anicolor*, 04.09.2014.
36. ***http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/110518_ahlfeldt_printing - *Ahlfeldt & Company print shop*, 04.09.2014.
37. ***http://www.mesdan.com/english/scheda_lab.php/linea/2/destinazione/29/applicazione/71/prodotto/88 - *SOLARBOX 1500 STANDARD*, 04.09.2014.
38. ***<http://www.pantone.com/pages/Pantone.aspx?pg=21141&ca=1&from=hpsilo> - *About PANTONE*, 04.09.2014
39. ***<http://www.xrite.com/exact> - *X-Rite eXact™ Details*, 04.09.2014.

7. POPIS SLIKA, TABLICA I FORMULA

Popis slika:

- Slika 1. Tržišna raspodjela tiskarskih proizvoda i usluga u 2012. godini (Izvor: Caitlin Moldvay - IBISWorld Industry Report 32311, kolovoz 2012)
- Slika 2. Monometalna tiskovna forma za ofsetni tisak (Izvor: Majnarić I., (2004). Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)
- Slika 3. Princip ofsetnog tiska (Izvor: Majnarić I., (2004). Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)
- Slika 4. Anicolor ofsetni tiskarski stroj (Izvor: Majnarić I., Mjeriteljstvo u tisku - Predavanje 7 (2011), Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)
- Slika 5. Handy Fill automatska opskrba bojom (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/071115_anicolor2)
- Slika 6. Konstrukcija Anicolor uređaja za obojenje (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/110518_ahlfeldt_printing)
- Slika 7. Proizvodnja bojila za ofset tisak (tisak iz arka) (Izvor: Majnarić I., (2004). Kvaliteta digitalnih otisaka uvjetovana starenjem tiskovne podloge, magistarski rad, Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)
- Slika 8. Kretanje gustoća obojenja u odnosu na klasične uređaje za obojenje (Izvor: Majnarić I., Mjeriteljstvo u tisku - Predavanje 7 (2011), Grafički fakultetu Sveučilišta u Zagrebu)
- Slika 9. Kutevi rastriranja pri Hexachrome tisku
- Slika 10. Usporedba presjeka gamuta dobivenog Hexachrome tiskom, CMYK tiskom i sRGB gamutom (Izvor: <http://cerig.efpg.inpg.fr/memoire/2008/hexachromie.htm>)
- Slika 11. Kutevi rastriranja pri Opaltone tisku
- Slika 12. Usporedba CMYK i Multicolor gamuta unutar Cie Lab sustava (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf)
- Slika 13. Heidelberg Multicolor Workflow (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf)
- Slika 14. Različite PANTONE lepeze boja (Izvor: <http://www.pantone.com/pages/Pantone.aspx?pg=21141&ca=1&from=hpsilo>)

- Slika 15. Definicija osi u CIE sustavu i odnos kromatičnosti, tona i svjetline (Izvor: http://www.codeproject.com/KB/miscctrl/RevisedKnownColorsPalette/CIE_Lab.png; <http://www.cis.rit.edu/research/thesis/bs/2000/ochs/Image10.gif>)
- Slika 16. Elektromagnetski spektar zračenja i mogućnost njihova mjerenja (izvor: Focal Encyclopedia of photography, ur. Michael R. Peres, Elsevier, 2007.)
- Slika 17. Spektralne osjetljivosti ksenonske i UV lampi (Izvor: forme.grf.unizg.hr/media/Forme_1/Dizajn_3.pps)
- Slika 18. Proces rada i ispitivanja u svrhu izrade diplomskog rada
- Slika 19. Anicolor Speedmaster 52 (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/binaries/images/image_library/products/sheetfed/speedmaster_sm_52/071115_anicolor1)
- Slika 20. Solarbox 1500 (Izvor: http://www.mesdan.com/english/scheda_lab.php/linea/2/destinazione/29/applicazione/71/prodotto/88)
- Slika 21. X-rite eXact (Izvor: www.xrite.com/exact)
- Slika 22. Digitalni mikroskop DinoLite Pro
- Slika 23. Pripremljene forme za Solarbox prije (gore) i poslije (dolje) postupka ubrzanog starenja
- Slika 24. Grafički prikaz stabilnosti gustoće obojenja svakog od bojila tokom postupka ubrzanog starenja
- Slika 25. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska žutog bojila: a) krivulja reprodukcije, b) Prikaz polja žute boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)
- Slika 26. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska narančastog bojila: a) krivulja reprodukcije, b) Prikaz polja narančaste boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)
- Slika 27. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska magenta bojila: a) krivulja reprodukcije, b) Prikaz polja magenta boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)
- Slika 28. Utjecaj ubrzanog starenja na rastertonsku vrijednost otiska a) zelenog, c) cijan i e) crnog bojila te prikaz polja b) zelene, d) crne i f) cijan boje pod mikroskopom (40%RTV, 100%RTV)
- Slika 29. a) Prikaz promjene P1225 iz CMYK i Multicolor boja u CIE $L^*a^*b^*$ prostoru boja;
b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 1225 tona;
c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 1225 tona tokom eksperimenta

- Slika 30. a) Prikaz promjene P137 iz CMYK i Multicolor boja u CIE L*a*b* prostoru boja;
b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 137 tona;
c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 137 tona tokom eksperimenta
- Slika 31. a) Prikaz promjene P165 iz CMYK i Multicolor boja u CIE L*a*b* prostoru boja;
b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 165 tona;
c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 165 tona tokom eksperimenta
- Slika 32. a) Prikaz promjene P354 iz CMYK i Multicolor boja u CIE L*a*b* prostoru boja;
b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 354 tona;
c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 354 tona tokom eksperimenta
- Slika 33. a) Prikaz promjene P376 iz CMYK i Multicolor boja u CIE L*a*b* prostoru boja;
b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 376 tona;
c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 376 tona tokom eksperimenta
- Slika 34. a) Prikaz promjene P396 iz CMYK i Multicolor boja u CIE L*a*b* prostoru boja;
b) Usporedba odstupanja CMYK i multicolor otiska od standardnog PANTONE 396 tona;
c) Vizualni prikaz promjene PANTONE 396 tona tokom eksperimenta
- Slika 35. Delta E razlika obojenja svih otisnutih bojila u odnosu na nulto mjerenje

Popis tablica:

- Tablica 1. Ukupna zarada tiskarske industrije prema vrsti tiska (Izvor: Andrew Pappozzi - Changing Composition Of Revenue 18.04.2014.)
- Tablica 2. Mogući dodaci u ofsetnom bojilu (Izvor: Helmut Kipphan, Handbook of Print Media, 2001)
- Tablica 3. Podešavanje kuteva rastriranja dodatnih boja u Heidelberg Multicolor Workflowu (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/binaries/bin/files/dotcom/en/prinect/multicolor_en.pdf)
- Tablica 4. Tehničke specifikacije Heidelberg Speedmaster SM52 stroja (Izvor: http://www.heidelberg.com/www/html/en/content/products/sheetfed_offset/35x50/speedmaster_sx_52,specs)
- Tablica 5. Tehničke specifikacije Solarbox 1500 E uređaja za simulaciju starenja (Izvor: http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)
- Tablica 6. Tehničke specifikacije spektrofotometra X-rite eXact (Izvor: http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)

- Tablica 7. Tehničke specifikacije digitalnog mikroskopa DinoLite Pro
(Izvor: http://www.grf.unizg.hr/wp-content/uploads/2010/09/SMP_KatalogOpreme_FINAL-WEB_v2.pdf)
- Tablica 8. Tehničke specifikacije Kromopak GC2 kartona
(Izvor: <http://www.europapier.com/si/products/grafini-papirji/coated-boards/kromopak-gc2>)

Popis formula

- Formula 1. Kromatičnost: $C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ (Izvor: Katedra za reprodukcijску fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)
- Formula 2. Kut tona: $h_{ab} = (180^\circ / \pi) \arctan x (b^*/a^*)$ (Izvor: Katedra za reprodukcijску fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)
- Formula 3. Svjetlina: $\Delta L^* = L_s^* - L_R^*$ (Izvor: Katedra za reprodukcijску fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)
- Formula 4. Kromatičnost: $\Delta a^* = a_s^* - a_R^*$ (Izvor: Katedra za reprodukcijскую fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)
- Formula 5. Kut tona: $\Delta b^* = b_s^* - b_R^*$ (Izvor: Katedra za reprodukcijскую fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)
- Formula 6. Razlika obojenja: $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$ (Izvor: Katedra za reprodukcijскую fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)
- Formula 7. Razlika obojenja: $\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta C^*_{ab})^2 + (\Delta H^*_{ab})^2}$ (Izvor: Katedra za reprodukcijскую fotografiju Grafičkog fakulteta - http://repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/Color%20Management.pdf)

8. POPIS PRILOGA

Prilog 1. $L^*a^*b^*$ vrijednosti ključnih PANTONE boja tokom eksperimenta

	L	a	b
Pantone 137	76,77	31,04	79,54
cmyk			
0h	71,3043	23,901	74,3806
6h	71,6952	23,1896	73,5567
12h	71,6685	22,9367	72,2411
24h	71,9919	22,3343	67,6282
48h	72,9513	21,6627	49,3968
96h	75,7267	23,483	11,7055
144h	77,4455	23,3079	2,43
250h	82,9981	16,846	2,8288
cmyk+o			
0h	75,9877	28,083	80,9888
6h	76,4637	27,3593	80,5231
12h	76,4489	27,398	79,9316
24h	76,7811	26,5274	75,6458
48h	77,8052	25,1079	60,98
96h	80,7069	22,3998	30,5643
144h	83,2231	17,9621	21,0394
250h	88,5464	8,9878	13,3301

	L	a	b
Pantone 1225	84,63	12,04	66,31
cmyk			
0h	80,36	10,1656	66,1746
6h	80,4992	9,9346	65,678
12h	80,5281	9,8968	63,9772
24h	80,8662	9,4001	58,3607
48h	82,0368	9,6372	38,7423
96h	84,3146	12,4256	8,1677
144h	85,1841	12,2522	3,5649
250h	88,5138	8,716	4,4078
cmyk+o			
0h	83,1218	12,4975	68,4973
6h	83,4055	12,1785	68,7714
12h	83,3908	12,2044	67,6615
24h	83,6226	11,6858	62,6828
48h	84,8751	11,0625	45,2975
96h	87,4802	10,744	17,1664
144h	88,9724	8,4375	12,0051
250h	91,7907	4,1036	8,6948

	L	a	b
Pantone 165	64,73	58,76	65,42
cmyk			
0h	59,0543	47,1031	61,9181
6h	59,2198	46,1689	60,5795
12h	59,2854	45,6209	59,5321
24h	59,5511	44,8289	56,3239
48h	60,4254	43,8767	42,9472
96h	63,0988	44,5912	11,0557
144h	65,5729	43,3113	0,0704
250h	73,7751	32,6734	0,1882
cmyk+o			
0h	65,8107	54,9013	66,2613
6h	66,1599	54,4029	65,8539
12h	66,1638	54,0872	65,5267
24h	66,405	53,3865	64,7963
48h	67,3588	51,0243	61,847
96h	71,0026	43,0231	51,7454
144h	76,4557	31,5049	38,0023
250h	89,3156	7,8315	13,9867

	L	a	b
Pantone 354	60,7	-76,38	39,36
cmyk			
0	51,7086	-60,6204	32,9892
6	52,0004	-60,3311	31,9852
12	52,0401	-60,0104	31,3389
24	52,281	-59,5933	29,9528
48	52,8682	-59,7516	22,6978
96	54,8448	-53,3712	-4,5062
144	56,59	-41,6188	-30,2271
250	57,6726	-34,5321	-41,1264
cmyk+o			
0h	59,3802	-68,5929	38,9886
6h	59,2773	-68,2629	38,4697
12h	59,1866	-68,2094	37,7188
24h	59,4276	-67,9683	36,1708
48h	60,2228	-67,9977	28,9671
96h	61,7487	-65,4693	10,0646
144h	62,4813	-62,1902	-2,1503
250h	63,1345	-60,441	-5,0539

	L	a	b
Pantone 376	70,75	-37,61	73,07
cmyk			
0h	71,8096	-25,0229	64,339
6h	71,9803	-25,1638	63,9353
12h	72,0505	-24,9454	63,4598
24h	72,2496	-25,0283	60,2011
48h	72,9107	-24,998	48,3304
96h	75,0913	-21,3544	11,6772
144h	76,2611	-16,5999	-9,0521
250h	76,9838	-14,1478	-15,1828
cmyk+o			
0h	70,5539	-30,0486	66,3974
6h	70,4393	-30,1849	65,605
12h	70,5638	-30,0088	64,9333
24h	70,8864	-30,0509	61,5563
48h	71,9898	-29,6217	45,9987
96h	73,7033	-26,357	12,2443
144h	74,5079	-23,9991	1,4189
250h	75,2016	-22,8382	-0,186

	L	a	b
Pantone 396	87,43	-15,49	98,55
cmyk			
0h	86,7179	-7,366	88,6687
6h	86,9536	-7,5235	88,1718
12h	87,0236	-7,4742	87,148
24h	87,0704	-7,4604	84,7382
48h	87,7192	-7,7754	73,1701
96h	89,4116	-6,023	32,5984
144h	90,4031	-2,7888	8,6207
250h	90,7771	-1,3922	3,737
cmyk+o			
0h	86,3638	-10,7244	88,0796
6h	86,5388	-10,7523	87,185
12h	86,4787	-10,6012	85,8795
24h	86,7062	-10,8478	82,1889
48h	87,6271	-10,9526	65,1943
96h	89,6692	-7,4489	18,6943
144h	90,2823	-5,2252	5,7537
250h	90,6226	-4,6086	4,7153

Prilog 2. Rastertonske vrijednosti i gustoće obojenja svih bojila za vrijeme trajanja eksperimenta

m	y	k	g	o
1,3010	1,1890	1,5800	1,3530	1,4740
88,8000	88,5000	88,2000	85,8000	91,7000
49,8000	48,1000	49,4000	46,8000	55,3000

m	y	k	g	o
1,2850	1,1510	1,5660	1,3560	1,4480
88,9000	88,4000	88,0000	85,7000	91,6000
49,6000	48,5000	49,5000	46,9000	55,5000

m	y	k	g	o
1,2720	1,1170	1,5500	1,3540	1,4310
88,7000	87,8000	87,8000	85,7000	91,4000
49,3000	46,7000	49,1000	46,2000	54,7000

m	y	k	g	o
1,2520	0,9930	1,5370	1,3450	1,4120
88,5000	86,0000	87,7000	85,1000	90,8000
48,8000	42,5000	48,9000	46,8000	53,4000

m	y	k	g	o
1,2140	0,6240	1,5170	1,3400	1,3250
88,1000	80,5000	87,6000	85,3000	89,3000
48,2000	33,2000	48,6000	46,4000	49,7000

m	y	k	g	o
1,1050	0,0980	1,4840	1,3230	1,0570
86,7000	71,9000	86,8000	85,2000	84,3000
45,5000	26,3000	47,3000	45,2000	39,5000

m	y	k	g	o
0,9940	0,0300	1,4550	1,3100	0,7620
85,6000	90,0000	86,6000	84,7000	79,2000
43,3000	41,1000	47,5000	46,0000	32,9000

m	y	k	g	o
0,6420	0,0140	1,4000	1,2870	0,2150
79,9000	103,3000	86,5000	84,5000	73,6000
35,0000	46,3000	46,9000	45,1000	29,6000

d100%	c	m	y	k	g	o
0	1,2450	1,3010	1,1890	1,5800	1,3530	1,4740
6	1,2370	1,2850	1,1510	1,5660	1,3560	1,4480
12	1,2390	1,2720	1,1170	1,5500	1,3540	1,4310
24	1,2280	1,2520	0,9930	1,5370	1,3450	1,4120
48	1,2220	1,2140	0,6240	1,5170	1,3400	1,3250
96	1,2130	1,1050	0,0980	1,4840	1,3230	1,0570
144	1,2020	0,9940	0,0300	1,4550	1,3100	0,7620
250	1,1770	0,6420	0,0140	1,4000	1,2870	0,2150

rtv80%	c	m	y	k	g	o
0	87,5000	88,8000	88,5000	88,2000	85,8000	91,7000
6	87,2000	88,9000	88,4000	88,0000	85,7000	91,6000
12	87,0000	88,7000	87,8000	87,8000	85,7000	91,4000
24	87,0000	88,5000	86,0000	87,7000	85,1000	90,8000
48	87,0000	88,1000	80,5000	87,6000	85,3000	89,3000
96	86,7000	86,7000	71,9000	86,8000	85,2000	84,3000
144	86,5000	85,6000	90,0000	86,6000	84,7000	79,2000
250	86,4000	79,9000	103,3000	86,5000	84,5000	73,6000

rtv40%	c	m	y	k	g	o
0	47,1000	49,8000	48,1000	49,4000	46,8000	55,3000
6	47,0000	49,6000	48,5000	49,5000	46,9000	55,5000
12	47,0000	49,3000	46,7000	49,1000	46,2000	54,7000
24	46,9000	48,8000	42,5000	48,9000	46,8000	53,4000
48	46,8000	48,2000	33,2000	48,6000	46,4000	49,7000
96	46,0000	45,5000	26,3000	47,3000	45,2000	39,5000
144	45,9000	43,3000	41,1000	47,5000	46,0000	32,9000
250	45,4000	35,0000	46,3000	46,9000	45,1000	29,6000

Prilog 3. Vrijednost gustoće obojenja svih bojila za vrijeme trajanja eksperimenta

h/D	c	m	y	k	g	o
0	1,2450	1,3010	1,1890	1,5800	1,3530	1,4740
6	1,2370	1,2850	1,1510	1,5660	1,3560	1,4480
12	1,2390	1,2720	1,1170	1,5500	1,3540	1,4310
24	1,2280	1,2520	0,9930	1,5370	1,3450	1,4120
48	1,2220	1,2140	0,6240	1,5170	1,3400	1,3250
96	1,2130	1,1050	0,0980	1,4840	1,3230	1,0570
144	1,2020	0,9940	0,0300	1,4550	1,3100	0,7620
250	1,1770	0,6420	0,0140	1,4000	1,2870	0,2150

Prilog 4. DeltaE razlika obojenja PANTONE boja i papira u odnosu na nulto mjerenje

	E(0-P)	E(6-P)	E(12-P)	E(24-P)	E(48-P)	E(96-P)	E(144-P)	E(250-P)
P137CMYK	10,36622	11,09875	12,04005	15,5084	31,79825	68,26211	77,49964	78,26153
P145CMYK	4,067739	4,794782	5,646041	8,811118	24,67496	58,86505	68,30489	69,39695
P1225CMYK	4,665255	4,679278	5,182745	9,182953	27,79346	58,14443	62,74791	62,11292
P1505CMYK	33,73834	34,93356	36,45138	39,66867	52,44511	83,68003	94,71858	97,45908
P165CMYK	13,42982	14,5715	15,39308	17,42514	27,29595	56,20403	67,15611	70,8344
P1788CMYK	9,262557	10,27424	10,86888	12,27873	16,78939	34,56771	45,57083	52,3892
P375CMYK	21,22828	21,45704	21,76773	23,29202	30,87406	64,47642	87,44427	93,23938
P354CMYK	19,23012	19,68852	20,18157	21,00401	24,80866	49,87917	77,89479	90,76603
P369CMYK	16,46876	16,63332	17,27377	18,05577	26,90999	60,68163	80,88843	85,95474
P376CMYK	15,3554	15,48755	15,95115	18,05981	27,85281	63,65664	84,94608	91,53082
P377CMYK	8,557181	8,721017	9,091967	10,23566	16,91774	52,84594	69,97333	73,68485
P396CMYK	12,81197	13,09195	13,94359	15,98029	26,52806	66,65707	90,87045	95,91379

	E(6-0)	E(12-0)	E(24-0)	E(48-0)	E(96-0)	E(144-0)	E(250-0)
Papir	2,095989	2,807122	4,109903	5,77215	7,067158	7,097136	7,205017

	E(0-P)	E(6-P)	E(12-P)	E(24-P)	E(48-P)	E(96-P)	E(144-P)	E(250-P)
P137GO	3,384503	3,822023	3,67704	5,960577	19,51243	49,88759	60,29091	70,77241
P145GO	2,666909	2,980297	3,135765	4,65065	16,25968	40,66503	51,30634	65,13886
P1225GO	2,69597	2,752648	1,840977	3,781123	21,03665	49,24324	54,59722	58,59841
P1505GO	7,55547	7,991896	7,888134	9,080591	12,85064	28,48162	44,89651	78,82949
P165GO	4,094541	4,606214	4,88899	5,662961	8,917285	21,77132	40,3988	76,4431
P1788GO	7,294198	7,580325	7,830137	8,136864	8,811372	13,30083	22,28053	45,22755
P375GO	13,55446	14,09043	14,49001	16,44726	29,30461	63,28227	76,2579	78,35318
P354GO	7,906879	8,288789	8,470102	9,085521	13,3605	31,2788	43,90477	47,25011
P369GO	117,3026	117,0152	116,3045	113,4023	98,82995	69,37992	60,38199	59,22427
P376GO	10,08647	10,53351	11,13637	13,77403	28,25253	61,92833	73,02916	74,86297
P377GO	5,367698	5,531975	5,689559	7,026528	20,47922	54,99098	62,33788	62,93574
P396GO	11,55322	12,34517	13,61422	17,02232	33,66348	80,29076	93,40586	94,51745

Prilog 5. DeltaE razlika obojenja između referentne PANTONE boje i otisnutih boja za vrijeme trajanja eksperimenta

deltaE	0h	6h	12h	24h	48h	96h	144h	250h
P137/CMYK	5,21	5,20	5,26	5,31	8,28	27,64	34,25	32,19
P137/CMYK+O	1,95	2,18	2,05	2,00	4,55	15,97	19,95	23,24
P1225/CMYK	3,10	3,06	3,05	3,42	8,54	25,78	29,48	27,02
P1225/CMYK+O	1,14	1,03	0,89	1,15	6,24	18,88	21,20	22,20
P165/CMYK	3,10	3,06	3,05	3,42	8,54	25,78	29,48	27,02
P165/CMYK+O	1,14	1,03	0,89	1,15	6,24	18,88	21,20	22,20
P354/CMYK	9,20	8,99	9,01	8,92	9,42	19,63	36,45	43,37
P354/CMYK+G	2,27	2,34	2,34	2,25	3,47	11,05	17,17	18,85
P376/CMYK	4,85	4,81	4,91	4,99	7,01	21,50	35,32	41,55
P376/CMYK+G	2,75	2,74	2,83	3,20	7,46	21,39	27,21	28,23
P396/CMYK	4,09	4,03	4,11	4,31	5,80	16,76	26,53	28,91
P396/CMYK+G	2,76	2,83	3,05	3,52	7,13	22,35	28,37	28,84

Prilog 6. DeltaE razlika obojenja svih otisnutih bojila u odnosu na nulto mjerenje

	E(6-0)	E(12-6)	E(24-12)	E(48-24)	E(96-48)	E(144-96)	E(250-144)
100% C	0,370616	0,360838	0,598618	0,853677	1,487816	0,532649	1,343582
80% C	0,744907	0,493333	0,737933	1,033275	1,614051	0,49316	1,147501
40% C	1,295651	0,689645	1,016983	1,3506	1,387043	0,219197	0,869737
100% M	1,143357	0,482942	0,811666	1,139781	3,050874	4,031917	17,1776
80% M	0,865407	0,722721	0,821404	1,231238	2,947091	3,734475	15,26305
40% M	1,467344	0,727721	0,868429	1,289766	1,972738	2,120942	7,514444
100% Y	1,115528	1,371438	6,148157	22,69071	46,84556	8,438371	0,699173
80% Y	0,177953	1,352152	5,552769	18,10583	33,34801	5,266992	0,474162
40% Y	1,262973	0,79102	3,071254	7,974048	9,916896	1,962195	0,231873
100% K	22,66765	22,79433	0,463279	0,77951	1,027975	0,799283	1,559978
80% K	0,774577	0,470986	0,444208	0,670405	1,065845	0,464564	0,550952
40% K	1,662	0,588111	0,71559	0,942697	0,900759	0,154131	0,424931
100% G	1,206524	0,530332	1,688421	3,973825	4,902687	1,531273	0,747749
80% G	0,809008	0,377459	1,719147	2,732486	1,922839	0,933174	0,755035
40% G	0,847992	0,492092	0,404175	0,666435	0,918316	0,44895	0,832854
100% O	0,669972	0,411231	0,713196	3,405471	12,25451	17,18843	41,61559
80% O	0,79499	0,457164	1,348387	3,955972	11,86727	13,57388	27,51698
40% O	1,408634	0,522354	1,019535	2,662473	6,616357	6,066854	8,231933

	E(6-0)	E(12-0)	E(24-0)	E(48-0)	E(96-0)	E(144-0)	E(250-0)
100% C	0,370616	0,304538	0,827109	1,637934	3,112701	3,563085	4,870655
80% C	0,744907	1,198458	1,883014	2,907915	4,521541	4,95182	6,087159
40% C	1,295651	1,976952	2,992883	4,333907	5,704513	5,897637	6,696906
100% M	1,143357	1,622826	2,420279	3,436877	6,046637	10,01233	27,03278
80% M	0,865407	1,57033	2,378991	3,478956	6,131717	9,658129	24,86856
40% M	1,467344	2,192343	3,055628	4,312413	6,084578	7,55109	14,44151
100% Y	1,115528	2,459378	8,600855	31,28773	78,04023	86,42605	86,92822
80% Y	0,177953	1,448772	6,993058	25,09696	58,39037	63,63894	63,90631
40% Y	1,262973	0,497232	2,602901	10,57402	20,48612	22,44434	22,35564
100% K	22,66765	0,858884	1,300459	2,073438	3,099693	3,787623	4,90849
80% K	0,774577	1,222255	1,65573	2,314903	3,213865	3,616381	4,021825
40% K	1,662	2,241834	2,954069	3,875727	4,714027	4,730114	4,823064
100% G	1,206524	1,733661	3,407299	7,332207	12,23251	13,69103	13,8136
80% G	0,809008	1,17659	2,860244	5,427041	7,345717	8,092223	8,053474
40% G	0,847992	1,238927	1,266484	1,384028	2,253383	2,101031	2,818059
100% O	0,669972	1,080818	1,776626	5,179086	17,41618	34,59222	76,16639
80% O	0,79499	0,937565	2,037874	5,81417	17,61343	31,17259	58,66819
40% O	1,408634	1,728537	2,418859	4,36348	10,31959	16,13848	24,2673

Prilog 7. Rastertonska vrijednost svih otisnutih bojila u ključnim dijelovima eksperimenta

cijan				
RTV	0	12	96	250
40%	47,1000	47,0000	46,0000	45,4000
80%	87,5000	87,0000	86,7000	86,4000
100%	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

magenta				
RTV	0	12	96	250
40%	49,8000	49,3000	45,5000	35,0000
80%	88,8000	88,7000	86,7000	79,9000
100%	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

žuta				
RTV	0	12	96	250
40%	48,1000	46,7000	26,3000	0,0000
80%	88,5000	87,8000	71,9000	0,0000
100%	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

crna				
RTV	0	12	96	250
40%	49,4000	49,1000	47,3000	46,9000
80%	88,2000	87,8000	86,8000	86,5000
100%	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

zelena				
RTV	0	12	96	250
40%	46,8000	46,2000	45,2000	45,1000
80%	85,8000	85,7000	85,2000	84,5000
100%	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000

narančasta				
RTV	0	12	96	250
40%	55,3000	54,7000	39,5000	29,6000
80%	91,7000	91,4000	84,3000	73,6000
100%	100,0000	100,0000	100,0000	100,0000