

Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Igor Majnarić

**KVALITETA DIGITALNIH OTISAKA
UVJETOVANA STARENJEM TISKOVNE PODLOGE**

**THE QUALITY OF DIGITAL PRINTS CAUSED
BY AGING OF PRINTING SUBSTATE**

Magistarski rad

Zagreb, 2004.

UDK: 655.39.062:676.22.019

Znanstveno područje: - područje tehničkih znanosti
Znanstveno polje: - grafička tehnologija
Voditelj rada: - red. prof. dr. sc. Stanislav Bolanča
Broj stranica: - 158
Broj slika: - 87
Broj tabela: - 18
Broj grafova: - 100
Broj literaturnih referenci: - 94
Datum obrane: - 19. travnja 2004.
Sastav povjerenstva za obranu:

Rad je pohranjen: u biblioteci Grafičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Sažetak

Papir, najviše korištena tiskovna podloga u tiskarstvu, podložan je mnogim degradacijskim promjenama. U tim procesima sudjeluju reakcije kisele i alkalne hidrolize, oksidacije ili pak termolize. Najčešća reakcija je ipak hidrolitička degradacija molekula celuloze, kao najvažnije konstitucijske specije u građi papira. Spomenuti mehanizmi izmjenjuju se u procesu prirodnog starenja. Premda individualne vrijednosti ovih reakcija variraju, pretpostavlja se da su vrijednosti degradacijskih procesa povezane s temperaturom. Stoga se smatra da bi rezultati ubrzanog starenja mogli koristiti za stvaranje zaključka o mehanizmu i zakonitostima u uvjetima prirodnog starenja. Takav pristup omogućava praćenje i studiranje posljedica spomenutih pojava na papiru kao i na otisku.

Tiskovne podloge uvrštene u istraživanje su: papir za umjetnički tisak, naravni papir i reciklirani papir. Za otiskivanje su korištene slijedeće tehnike otiskivanja: elektrofotografija (Indigo E-print 1000, Xerox DC 50) i Ink Jet (Epson 1200+). Papiri i otisci ubrzano su ostareni. Daljnja istraživanja rađena su na novim otiscima, ubrzano ostarenim i otiscima načinjenim na papiru koji je prethodno ubrzano ostaren. Praćena je kvaliteta reprodukcije, te mehanička i optička svojstva otisaka. Kolorne vrijednosti 100% otisnutih procesnih boja (CMY) starenjem se također smanjuju. Promjene su najuočljivije na Ink Jet i Xerox otiscima što je specijalno naglašeno na papirima za umjetnički tisak. Vizualnom kontrolom "metodom prosječnog promatrača" potvrđeni su aparativno dobiveni rezultati.

Istraživanja su u znanstvenom pogledu doprinos pojašnjenju optičkih i mehaničkih promjena, te kvalitete reprodukcije u funkciji starenja. Istraživanja su interesantna i u primjeni, posebno u povećanju kvalitete određenog grafičkog proizvoda.

Ključne riječi:

digitalni tisak, ubrzano starenje tiskovne podloge, kolorimetrijske karakteristike otisaka, mehanička svojstva otisaka.

Abstract

Paper the most often used substrate in printing, is subjected to many degradation changes. In these processes many alkaline hydrolysis, oxidations or thermolysis participate. The most often reaction is the hydrolytic degradation of the cellulose molecules as the most important constituent species in the paper structure. The mentioned mechanisms interchange in the process of natural ageing. Although the individual values of these reactions vary, it is supposed that the values of the degradation process are combined with temperature. Because of that it is believed that the results of the accelerated ageing could be useful for creation the conclusion about the mechanism and lawfulness in the conditions of the mentioned phenomena on paper as well as on print.

Printing substrates used in investigations are: fine art paper, natural paper and recycled paper. Following printing techniques were used for printing: electrophotography (Indigo E-print 1000, Xerox DC50) and Ink Jet (Epson 1200+) papers and prints were accelerated aged. Further investigations were performed on the new prints accelerated aged and on the prints made on paper which was accelerated aged before. The qualities of the reproduction, mechanical and optical properties of prints were monitored. Color values of 100% of the printed process colors (CMY) decrease also by ageing. The changes are the most visible on Ink Jet and Xerox prints, which is specially stressed on fine art papers. By visual control, by the method of an average observer the obtained results were confirmed by apparatuses.

In the scientific sense the investigations are the contribution to the explanation of the optical and mechanical changes and the quality of reproduction in the function of ageing. The investigations are interesting in the application, especially in the quality increase of the determined graphic product.

Key words:

digital printing, accelerated ageing of the printing substrate, colorimetric characteristics of the prints, mechanical properties of prints.

| | |
|--|----|
| Sadržaj | |
| Uvod | |
| 1. Svrha rada | 5 |
| 1.1. Problem | 6 |
| 1.2. Ciljevi i zadaci istraživanja | 6 |
| 2. Opći dio | 7 |
| 2.1. Pregled tiskarstva | 7 |
| 2.1.1. Visoki tisak | 8 |
| 2.1.1.1. Knjigotisak | 8 |
| 2.1.1.2. Letterset (indirektni knjigotisak) | 9 |
| 2.1.1.3. Fleksografski tisak | 10 |
| 2.1.2. Duboki tisak | 12 |
| 2.1.3. Plošni tisak | 14 |
| 2.1.4. Sitotisak | 16 |
| 2.2. Digitalni tisak | 17 |
| 2.2.1. Elektrofotografija | 18 |
| 2.2.2. Ink Jet | 20 |
| 2.2.3. Hibridni bezvodni digitalni ofsetni tisak | 22 |
| 2.3. Papir kao najznačajnija tiskovna podloga | 23 |
| 2.3.1. Papir za konvencionalne tehnike tiska | 23 |
| 2.3.2. Papir za digitalne tehnike tiska | 28 |
| 2.4. Starenje papira | 30 |
| 2.5. Tiskarska bojila | 33 |
| 2.6. Određivanje kvalitete otiska | 38 |
| 2.6.1. Vizualna ocjena | 38 |
| 2.6.2. Denzitometrija | 39 |
| 2.6.3. Spektrofotometrija | 40 |
| 2.6.4. Metode određivanja kvalitete otiska | 43 |
| 2.6.4.1. Gustoća obojenja punog tona | 43 |
| 2.6.4.2. Rastertonska vrijednost | 45 |
| 2.6.4.3. Relativni tiskarski kontrast | 47 |
| 2.6.4.4. Pokrivanje boje na boju (traping) | 47 |
| 2.6.4.5. Sivi balans | 48 |
| 3. Eksperimentalni dio | 51 |
| 3.1. Plan rada i metode istraživanja | 51 |
| 3.2. Korišteni strojevi i uređaji | 53 |
| 3.2.1. Indigo E-print 1000+ | 53 |
| 3.2.1.1. ElectroInk | 60 |
| 3.2.2. Xerox DocuColor 50 | 61 |
| 3.2.2.1. Dvokomponentni praškasti toner | 65 |
| 3.2.3. Epson photo 1200 | 66 |
| 3.2.3.1. Tekuće Ink Jet bojilo | 71 |

| | |
|--|-----|
| 3.2.4. Mikroklimatska komora | 71 |
| 3.2.5. Spektrofotometar | 73 |
| 3.3. Korišteni materijali | 74 |
| 3.3.1. Papir za umjetnički tisak | 74 |
| 3.3.2. Bezdrveni naravni papir | 74 |
| 3.3.3. Reciklirani papir | 75 |
| 4. Rezultati istraživanja | 76 |
| 4.1. Optička svojstva papira | 78 |
| 4.2. Mehanička svojstva i pH vrijednost papira | 79 |
| 4.3. Rezultati denzitometrijskih mjerenja | 81 |
| 4.4. Rezultati spektrofotometrijskih mjerenja | 102 |
| 4.5. Vizualna ocjena kvalitete | 105 |
| 5. Diskusija rezultata | 107 |
| 6. Zaključci | 121 |
| 7. Literatura | 124 |
| 7.1. Korišteni standardi | 127 |
| 8. Popis slika, tablica i formula | 130 |
| 9. Prilog | 134 |
| 10. Popis objavljenih radova | 160 |
| 11. Životopis | 161 |

Uvod

Nezadrživi razvoj znanosti i tehnologije posebno je naglašen u području informatike i tiskarstva. Izuzetno nagli razvoj znanosti u grafičkoj tehnologiji dovodi do problema koegzistencije konvencionalnih i digitalnih medija, čime grafička proizvodnja nailazi na probleme s kakvim se još nije susretala.

Svijet postaje globalno selo u kojem informacije putuju veoma brzo. Brza komunikacija, personalizacija i ekonomski opravdana masovna proizvodnja nerijetko se nalaze na oprečnim stranama.

21. stoljeće je era digitalnog tiska. Elektrofotografija i Ink Jet kao najvažniji predstavnici digitalnog otiskivanja nisu još u potpunosti istraženi. Papiri za takve tiskarske tehnike moraju svojim svojstvima biti prilagođeni procesu otiskivanja, te na žalost samo manji broj zadovoljava visoke zahtjeve digitalnog otiskivanja.

U ovom radu, istraživanjem procesa starenja tiskovnih podloga i otisaka, pokušat će se ukazati na mnoge pozitivne i negativne promjene. Ubrzanim starenjem doći će se do odgovora jesu li i u kolikom obimu digitalni otisci otporni na starenje, te kolika je njihova promjena i trajnost.

Svaki dokument koji je u digitalnom obliku lako se može modificirati i ponovno tiskati prema novom zahtjevu. Pri tome se pojavljuje problem momentalnog usaglašavanja raspoloživih tehnika tiska, osnovnih tiskarskih materijala, brzine i ekonomičnosti proizvodnje. Za velike naklade konvencionalnih tehnika tiska gotovo je sve dobro ispitano i uravnoteženo, međutim kod vrlo malih naklada postoje još mnoge nejasnoće koje mogu dovesti do neželjenih posljedica.

Kako osigurati visoku kvalitetu uz prihvatljivu ekonomičnost i eventualnu personalizaciju vrlo malih naklada, je veliko područje istraživanja širom svijeta. Naravno i u Hrvatskoj se pokušava vlastitim istraživanjima dati određeni doprinos u tom svjetskom nastojanju.

Rezultati istraživanja u znanstvenom pogledu su doprino pojašnjenju utjecaja procesa ubrzanog starenja na neka mehanička i optička svojstva papira. Osim toga pojašnjava se utjecaj mikrobioloških faktora, temperature i vlažnosti zraka na obojenost otiska. Osim znanstvenog doprinosa rezultati istraživanja interesantni su i u primjeni, što posebno mogu doprinjeti većoj kvaliteti otisaka ispitanih tehnikama digitalnog tiska.

1. Svrha rada

1.1. Problem

Suvremeno civilizirano društvo postavlja mnoge zahtjeve na kvalitetu grafičkog proizvoda. U realnom svijetu postoje neki više ili manje povoljni uvjeti za dostizanje kvalitetnog proizvoda.

Grafički proizvodi moraju ispunjavati mnoge zahtjeve. Među njima su tehnički zadovoljavajući otisak koji mora imati određenu trajnost u vremenu postojanja. Tu se mora obratiti pažnja na eventualne promjene nastale vremenom u samim grafičkim materijalima. Također događanja u samom procesu tiska pa i nakon tiska, područja su koja još nisu dovoljno istražena. Papiri moraju imati određena tehnička svojstva da bi zadovoljili u tehnološkom procesu tiska, odnosno oni ne zadovoljavaju jednako u različitim tehnikama tiska. Starenjem papirna svojstva doživljavaju promjene. Uslijed toga u tisku dolazi do izvjesnih problema, tehnološke prirode, ali i do poteškoća održavanja kvalitete otiska koji mora biti unutar postojećih standarda. Starenjem gotovih otisaka također dolazi do bitnih promjena. To su optičke i mehaničke promjene uzrokovane kemijskim reakcijama u tiskovnoj podlozi i bojilu. Zavisno o kemijskom sastavu bojila, te kemijskom sastavu i mehaničkim osobinama tiskovne podloge promjene su različite.

Smatra se da se egzaktnim istraživanjem određenih osnovnih tiskarskih materijala u strogo kontroliranim uvjetima može definirati ponašanje istih u uvjetima kakvi se događaju u svakodnevnom tisku. Tim bi se istraživanjem stvorili uvjeti za izbjegavanje korištenja osnovnih tiskovnih materijala koji zbog promjena obuhvaćaju različite mehanizme starenja, te ne mogu zadovoljiti u određenoj proizvodnji, odnosno kao određeni proizvod. Istraživanje bi uputilo i na različita ponašanja istih prilikom otiskivanja različitim tehnikama digitalnog tiska.

1.2. Ciljevi i zadaci istraživanja

Tiskovni materijal i otisci starenjem doživljavaju promjene koje su prepoznatljive u različitim optičkim i mehaničkim svojstvima. Cilj ovoga rada je ustanoviti i kvantificirati neke od tih promjena kod različitih digitalnih tehnika tiska. Izučavat će se svojstva novih i ostarenih tiskovnih podloga prije i poslije tiska. Također bi se istražile neke optičke i mehaničke promjene koje bi se događale starenjem gore navedenih otisaka. Studiranjem izmjerenih vrijednosti relevantnih parametara treba ustanoviti utjecaj vremena starenja za različite tiskarske podloge, odnosno otiske nastale različitim tiskarskim tehnikama u okviru definiranih eksperimentalnih uvjeta.

2. Opći dio

2.1. Pregled tiskarstva

S počecima ljudske pismenosti javlja se potreba otiskivanja. Kroz povijest se kao najpogodnija tiskarska podloga pokazao papir. Počeci proizvodnje papira vezani su uz Kinu (105 godine), iz koje se kasnije rasprostire u ostale dijelove svijeta.

Počeci tiskarstva paralelno slijede razvoj proizvodnje papira. Prvi pisani tragovi o početku tiska datiraju iz 700 godine (najstariji poznati otisak potječe za vladavine Kineske dinastije T'ang). U 11. stoljeću kao prve tiskovne forme u Kini se pojavljuje pomični reljefni drvorez. Značajan napredak u izradi tiskovne forme može se zahvaliti Johannu Gutenbergu koji primjenjuje višenamjenske pojedinačne slovne znakove. Osim toga Johann Gutenberg je ujedno i konstruktor prve tiskarske preše (1444.), kojom započinje era razvoja suvremenog tiskarstva. Postavljajući temelje visokog tiska u to vrijeme u Njemačkoj tiska i prve radove od kojih je najvažnija Biblija otisnuta s 42 retka (Mesić, V, 1970).

Uočavanjem zakonitosti nemješanja masnog bojila i vode, Alois Senefelder otkriva litografiju (1796), prvi način plošnog otiskivanja. Kasnije indirektnim litografskim načinom otiskivanja (bojilo se s tiskovne forme prenosi na gumu, a s nje na tiskovnu podlogu), stvoreni su preduvjeti razvoja ofsetnog tiska. Jednostavna izrada tiskovne forme, sve kvalitetnije tiskovne podloge, specifična ofsetna bojila, te tehnološko najsuvremeniji ofsetni tiskarski strojevi, omogućuju ofsetu danas vodeću ulogu u procesu umnožavanja (Walenski W, 1991).

Kao način umnožavanja duboki se tisak, svojom skupom i dugotrajnom izradom tiskovne forme, uglavnom koristi za reproduciranje većih i kvalitetnih poslova. Počeci dubokog tiska kao predstavnika konvencionalnog tiska, započinju umjetničkim bakrotiskom prvenstveno namjenjenom za reproduciranje malih naklada. Prelaz otiskivanja s malih umjetničkih bakrotiskarskih preša na velike bakrotiskarske strojeve nije još u potpunosti objašnjen. Prvi rotacioni strojevi proizvedeni su još 1870. u Amiensu, ali za pravog vlasnika patenta bakrotiskarskog stroja imenovan je škot Thomas Bell (1884), koji svoj stroj koristi za tisak tkanina. Izumom heliogravure (1878.) češkog slikara Karla Kliča postavljene su osnove polutonske reprodukcije. Karl Klič kasnije poboljšava proces otiskivanja pri čemu koristi rakel za skidanje viška bojila s tiskovne forme. Svoj izum u tajnosti prenosi u Englesku (1891.) u kojoj započinje daljnji razvoj dubokog tiska (Ollech B, 1993).

Pri tehnološkom procesu izrade grafičkih proizvoda uočavaju se 3 osnovna proizvodna ciklusa: priprema, osnovna proizvodnja i dorada. U pripremi se izrađuje tiskovna forma, s koje se bojilo prenosi na tiskovnu podlogu (tisak). Na kraju doradnim procesima se formiraju gotovi grafički proizvodi koji se isporučuju naručiocu.

Razvoj računala, Interneta i laserske tehnologije, rezultirao je uvođenjem u tiskarstvo novih Non Impact Printing (NIP) tehnologija (tisak bez pritiska). Predstavnicima takvih tehnologija su elektrofotografija i Ink Jet. Njihovom sve većom uporabom, omogućava se tiskarima proizvodnja novih grafičkih proizvoda baziranih na personalizaciji i manjem nakladnom tisku. Pretpostavlja se da budućnost grafičke industrije upravo leži u takvim tehnologijama.

2.1.1. Visoki tisak

Visoki tisak kao najstarija tehnika otiskivanja, koristi tiskovnu formu s povišenim tiskovnim elementima i slobodnim površinama u osnovnoj ravnini. Najznačajniji predstavnici visokog tiska su: knjigotisak, leterset (indirektni knjigotisak) i fleksotisak.

2.1.1.1. Knjigotisak

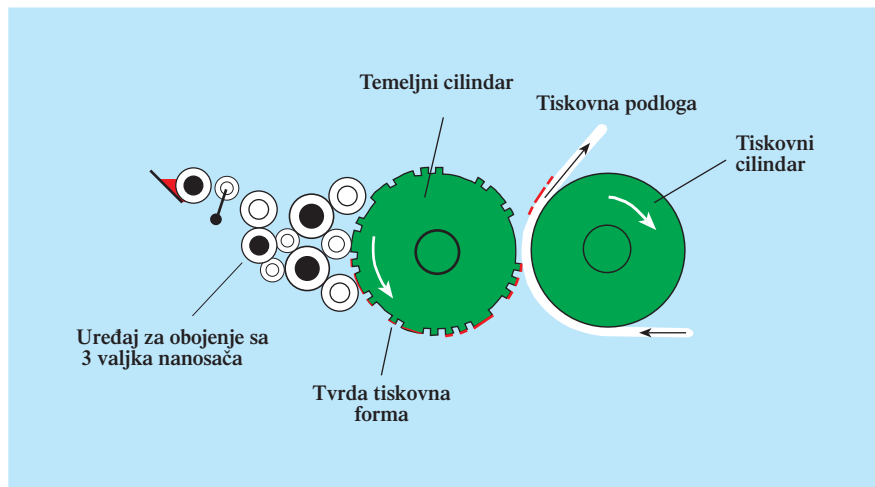
Klasični se knjigotisak kao tehnika tiska danas sve manje koristi u grafičkoj industriji. Razlog tome leži u kompliciranom i dugotrajnom postupku izrade tiskovne forme, i ne baš velikoj kvaliteti tiska.

Konvencionalni knjigotisak kao tehnika otiskivanja koristi različite tiskovne forme sastavljene od pojedinačno složenih slovnih znakova i slijepog materijala. Standardna pismovna visina tiskovnih elemenata iznosi 23,57 mm. Takva tiskovna forma uglavnom se izrađuje od grafičke legure (olovo obogaćeno antimonom i kositrom), dok se za potrebe reproduciranja ilustracija uglavnom koriste cinkovi ili magnezijски klišei.

U novije vrijeme principom otiskivanja cilindar-cilindar, i otkrićem sintetičkih tiskovnih formi tipa Nyloprint (BASF) i Dycril (DU PONT), omogućena je primjena visokog tiska za proizvodnju većih tiraža i novina.

Načinom otiskivanja, knjigotisak pripada skupini direktnih tehnika tiska, što znači da tvrda tiskovna forma pritišće tiskovnu podlogu o mekše protutlačno tijelo (slika 1). Za postizanje vidljivog otiska u dodirnoj zoni koristi se sila pritiska između 1,5 i 3 MPa, te se pritom na papiru ostvaruje nanos bojila

od 0,5 do 1,5 μm . Razlikujemo slijedeće principe otiskivanja: ploča-ploča, ploča-cilindar i cilindar-cilindar. Danas se proizvode samo knjigotiskarski strojevi koji rabe princip otiskivanja cilindar- cilindar.



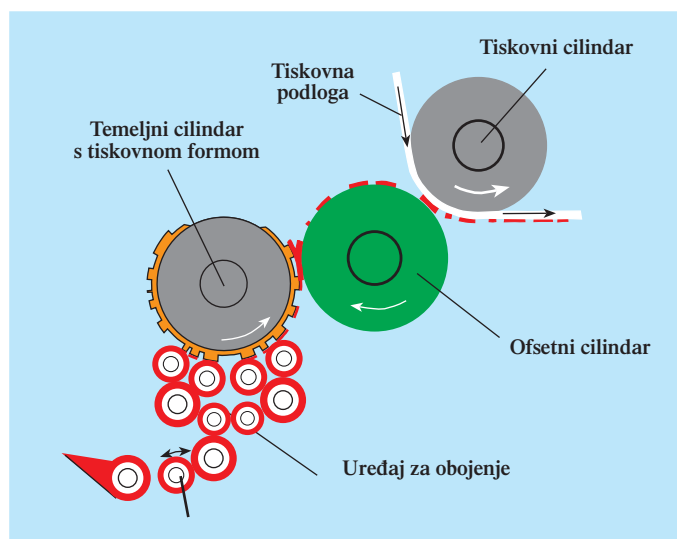
Slika 1. Tiskovna jedinica za visoki tisak (princip cilindar-cilindar)

Osnovni sastojci bojila za knjigotisak su pigmenti, veziva, punila i otapala. Dodavanjem sušila i razrjeđivača (tekuće ili u pastama) knjigotiskarskom se bojilu poboljšavaju tiskarska svojstva. Sušenje knjigotiskarskog bojila na papiru i kartonu je sporo, i vrši se uglavnom oksipolimerizacijom, te penetracijom i djelomično hlapljenjem. Neupojne podloge ne apsorbiraju bojilo u svoju površinu, te se suše principom kemijske oksipolimerizacije i hlapljenjem. Knjigotiskarsko bojilo spada među gušća bojila koja imaju dinamički koeficijent viskoznosti (η) između 50 i 150 Pa·s.

Bojila za novinske visokotiskarske rotacije su nešto niže viskoznosti i glavne komponente su jeftiniji crni pigment čađe i mineralno ulje. Princip sušenja je pretežno fizikalni, odnosno bojilo se uglavnom apsorbira u upojni novinski papir (Wolf, K, 1970).

2.1.1.2. Letterset

Tiskovne forme za letterset su fotopolimerne ploče debljine između 0,8 do 1 mm. Takve tiskovne forme sastoje se od: alumunijske (0,3 mm) ili čelične (0,2 mm) podloge, međusloja (0,2 mm) i fotopolimernog sloja (0,4 mm). Razlika u visini između povišenih tiskovnih elemenata i slobodnih površina koje su u osnovnoj ravnini je između 0,2 i 0,4 mm. Letterset ili suhi ofset je tehnika otiskivanja gdje se bojilo s tiskovne forme nanosi na gumenu navlaku ofsetnog cilindra, s koje se prenosi na tiskovnu podlogu (slika 2). U zoni dodira cilindra sila pritiska je oko 1,5 MPa.



Slika 2. Letterset tiskovna jedinica

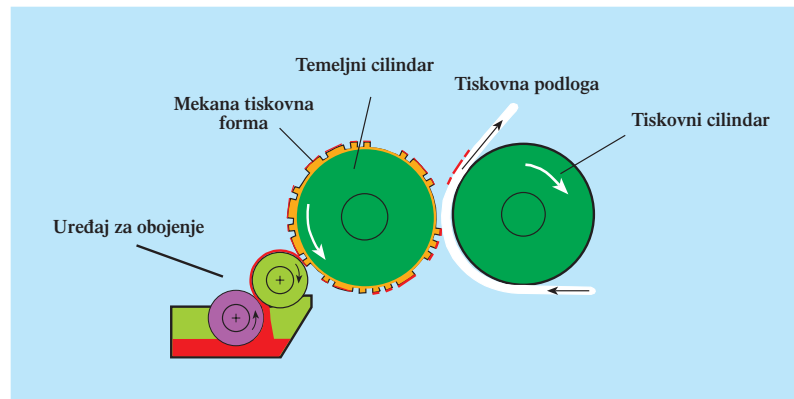
Uređaj za obojenje letterset tiskovne jedinice sadrži veći broj valjaka, što omogućava kvalitetno razribavanje i nanos bojila debljine između 0,5 i 1,5 μm . Takvim uređajem za obojenje dobiva se otisak veće gustoće obojenja i izdašnjijeg kontrasta u odnosu na klasični knjigotisak.

Bojila za letterset su po svojim karakteristikama veoma slična knjigotiskarskim. Razlika se uglavnom očituje u nešto većoj ljepljivosti letterset bojila u kojoj je nešto veća koncentracija tiskarskih smola. Sušenje letterset bojila je isto kao i kod knjigotiska, odnosno provodi se oksipolimerizacijom, hlapljenjem i penetracijom.

2.1.1.3. Fleksografski tisak

Fleksografski tisak je tehnika visokog tiska koja se prvenstveno koristi za tisak na ambalaži. Tiskovna forma izrađuje se od gume ili polimera, na kojoj su tiskovni elementi linijature od 20 do 60 linija/cm. Debljine polimernih ploča mogu biti različite. Za kvalitetne reprodukcije koriste se ploče debljine 1,14 mm, dok se za ambalažni tisak primjenjuju debljine od 2,52 do 6,35 mm.

Tiskovne jedinice fleksografskog tiska rade principom otiskivanja cilindar-cilindar, i sastoje se od: temeljnog cilindra, tiskovnog cilindra i uređaja za obojenje (slika 3). Bojilo se smješta u kadi za bojilo. Valjak duktor je svojom površinom djelomično uronjen u kadu s bojilom, te rotacijom prenosi bojilo na površinu valjka nanosača, i dalje na tiskovnu formu.



Slika 3. Tiskovna jedinica fleksografskog tiska

Novi fleksografski strojevi nanašaju bojilo specijalnim aniloks valjcima građenim od keramike ili kroma. Površina takvih valjaka se rastrira u linijaturama od 75 do 150 lin/cm, te ovisno o upotrebljenoj linijaturi definira se količina i debljina nanijetog bojila na tiskovnu podlogu. U fleksografskom tisku nanos bojila na otisku je između 0,8 i 1 μ m.

Pri tisku ambalaže koriste se tri tipa fleksografskih bojila:

- bojila na bazi alkoholnog otapala
- bojila na bazi vodenog otapala
- UV bojila.

Fleksografska bojila na bazi otapala sadrže: 40-60 % vodenog ili alkoholnog otapala, 15-25% veziva, 10-25% pigmenata i 5-10% aditiva. Količinskim udjelom otapala bojilu se regulira viskoznost, koja se kreće u granicama između 0,05-0,5 Pa·s.

Bojila na bazi alkoholnog otapala primjenjuju se na neupojnim aluminijskim i polimernim folijama. Sušenje takvih bojila vrši se isparavanjem i hlapljenjem otapala, koje se ubrzava izlaganjem svježih otisnutih otisaka povišenoj temperaturi. Bojila s vodenim otapalom primjenjuju se na upojnije tiskarske podloge s hrapavijom površinom (papir i karton). Otisci dobiveni takvim bojilima zahtijevaju nešto duže vrijeme za sušenje.

UV bojila ne sadrže otapala te se sastoje od: 55-80% veziva, 10-20% pigmenata, 5-15% fotoinicijatora i 5-10% aditiva. Izlaganjem otiska UV zračenju dolazi do momentalnog sušenja, tj. osvijetljeni fotoinicijatori započinju polimerizaciju što rezultira skrućivanjem. Takvim se bojilima postižu visoko kvalitetni otisci s dobrim mehaničkim i kemijskim svojstvima, koji su primjenu pronašli u tisku na tiskarskim podlogama tipa: papira, PVCa, aluminijskih folija i laminata.

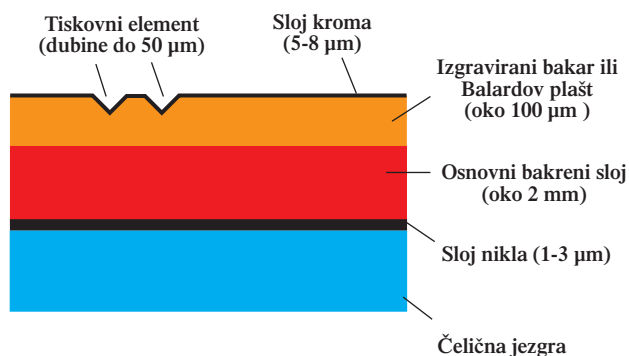
Deformacije rastertonskih vrijednosti ovise o pritisknoj sili između temeljnog i tiskovnog cilindra. U odnosu na ostale tehnike visokog tiska, za postizanje vidljivog otiska potreban je manji pritisak, koji s tvrdim polimernim formama može maksimalno iznositi 1,5 MPa (White, A, 1998).

2.1.2. Duboki tisak

Specifičnost dubokog tiska je tiskovna forma, koja sadrži slobodne površine u osnovnoj ravnini u odnosu na snižene tiskovne elemente. Procesima kao što su graviranje ili jetkanje, izrađuje se tiskovna forma kod koje su tiskovni elementi:

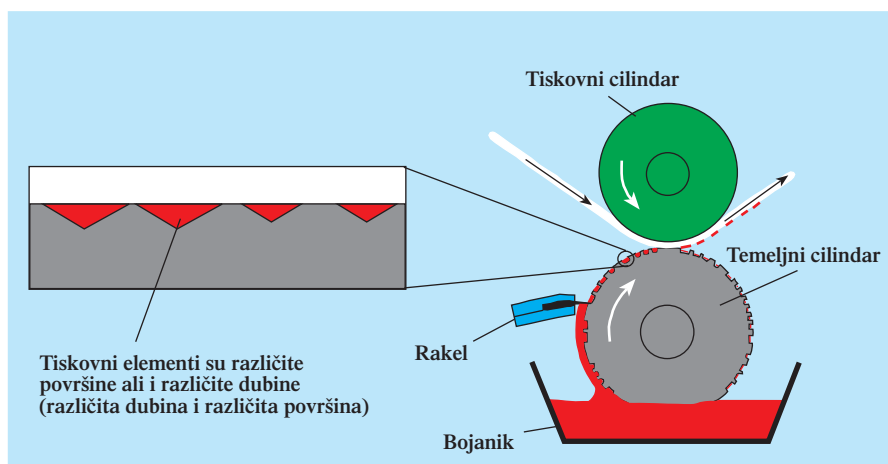
- različitih površina i jednakih dubina
- jednakih površina i različitih dubina
- različitih površina i različitih dubina.

Najznačajniji predstavnik dubokog tiska je bakrotisak. Tiskovna forma za bakrotisak se sastoji od nekoliko nanešenih slojeva najčešće na čelični cilindar (slika 4).



Slika 4. Presjek Balardovog plašta, najčešće tiskovne forme za bakrotisak

Tiskovna jedinica za bakrotisak jednostavne je konstrukcije (slika 5). Jedinica za obojenje sastoji se od veće kade u kojoj je smješteno nisko viskozno bojilo $\eta = 0,01 - 0,2 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Rotacijom temeljnog cilindra uronjenog u bojanik, dolazi do nanašanja bojila u tiskovne elemente i na slobodne površine. Sa slobodnih površina bojilo se odstranja pomoću elastičnog čeličnog noža “rakela”, i vraća nazad u kadu. U zoni dodira između temeljnog i tiskovnog cilindra nalazi se tiskovna podloga koja je pod pritiskom između 4 i 5,5 MPa. Pri tom tlaku bojilo se iz tiskovnih elemenata izvlači adhezijskim silama i prenosi na tiskovnu podlogu (Bolanča, S,1997).



Slika 5. Tiskovna jedinica bakrotiska sa uvećanom površinom temeljnog cilindra

Bakrotiskarska bojila su jednostavnog sastava, i uglavnom se sastoje od pigmentata, veziva i otapala. Pravilan odabir otapala ima velik utjecaj na tiskovnost i kvalitetu otiska. Najčešća otapala korištena za tehniku bakrotiskarska su: toluen, ksilen, petrolejski špirit, etanol, etilacetat i voda.

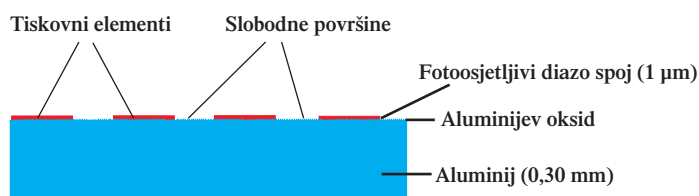
Primjena određenog otapala različita je Europi i SADu. Neke europske države svojim internim normama određuju vlastite standarde proizvodnje boja za bakrotisak. U većini zemalja europske unije za potrebe visokokvalitetnog ilustracijskog bakrotiska kao otapala se uglavnom koriste: toluen ili ksilen ili petrolejski špirit. Ilustracijski je bakrotisak svoju primjenu pronašao kod višebojnog tiska časopisa, kataloga, zaštitnih dokumenata, novca, maraka, plastičnih folija, metalnih folija i sl. Osim toga bakrotiskarska bojila mogu biti i na bazi alkoholnih i vodenih otapala. Ona se danas uglavnom primjenjuju za tisak ambalaže, te grafičkih proizvoda kao što su: papirnate vrećice, omotni papiri i prehrambena bezmirisna ambalaža.

Izrada tiskovne forme za bakrotisak je dugotrajana i skupa. Otisak proizveden u bakrotisku ima visoku kvalitetu i cijenu, tako da je isplativ samo za veće naklade. Proces sušenja otisaka provodi se ishlapljivanjem 70-75% sveukupne mase bojila. Nakon sušenja, nanešen sloj bojila na tiskovnoj podlozi je između 0,8 i 2 μm . Nanos bojila uglavnom je obrnuto proporcionalan koncentraciji otapala u bojilu.

2.1.3. Plošni tisak

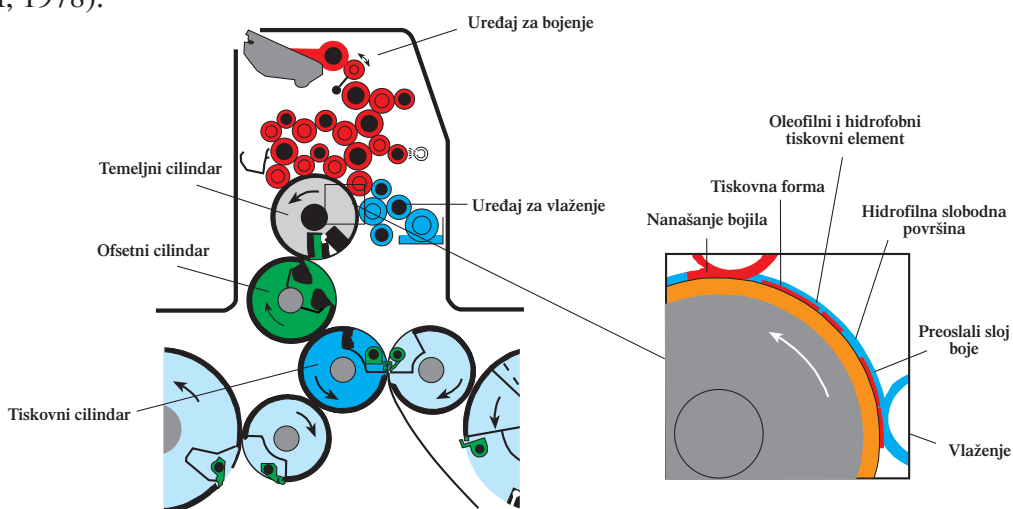
Ofsetni tisak je danas u hrvatskoj grafičkoj industriji najzastupljenija tiskarska tehnika. U njoj se proizvode najreprezentativniji grafički proizvodi kao što su: monografije, višebojni časopisi, brošure, plakati, leci, poštanske marke, diplome, ambalaža, omoti i sl. Razlog takvoj popularnosti su jednostavan pripremni proces i visoko kvalitetna konstrukcija ofsetnih strojeva, kojima se postiže kvalitetan otisak niske proizvodne cijene.

Tiskovna forma za ofsetni tisak (slika 6) ima tiskovne elemente i slobodne površine gotovo u istoj ravnini (razlika je u nekoliko mikrometara). Osnovni princip baziran je na fizikalnoj pojavi močenja.



Slika 6. Primjer tiskovne forme za ofsetni tisak

Danas je najčešće korištena tiskovna forma za ofsetni tisak monometalna aluminijaska ploča. Takve ploče su obično debljine 0,3 mm, i površina im je oslojena tankim fotoosjetljivim diazo slojem. Osvjetljavanjem definiranim svjetlosnim izvorima, te kasnijim razvijanjem, nastaje tiskovna forma sa slobodnim površinama (aluminijev oksid) i tiskovnim elementima (kopirni sloj). Tiskovna se forma montira na temeljni cilindar (slika 7), i tijekom tiska ona je u direktnom doticaju s uređajem za vlaženje i obojenje (Kumar, M, 1978).



Slika 7. Princip ofsetnog tiska

U tekućini za vlaženje najveći udio čini voda tvrdoće ne veće od 8-12 dH. Takva voda se obogaćuje: puferima za stabilizaciju pH vrijednosti, sredstvima za smanjenje površinske napetosti, sredstvima za sprečavanje stvaranja mikroorganizama, i dodacima za sprečavanje stvaranja mulja. Valjcima uređaja za vlaženje voda se nanaša u tankom jednolikom sloju na tiskovnu površinu. Prihvatanje tekućine za vlaženje zbog različitih površinskih napetosti nije jednoliko na cijeloj površini tiskovne forme. Aluminijev oksid (slobodne površine) posjeduje manju površinsku napetost i prihvaća vodu (hidrofilnost), dok diazo sloj (tiskovni element) posjeduje veću površinsku napetost i odbija tekućinu za vlaženje (hidrofobnost) (Gojo, M, 1999).

Uređaj za obojenje se sastoji od većeg broja valjaka. Njegova funkcija je razribavanje i nanašanje što jednoličnijeg sloja bojila na tiskovnu formu. Masno ofsetno bojilo se ne prihvaća na navlažene slobodne površine, već se zbog slabijeg površinskog djelovanja nanaša na suhe tiskovne elemente. Za tiskovne elemente koji prihvaćaju masno bojilo kažemo da su oleofilni, dok su slobodne površine oleofobne. Međusobnim kontaktom tiskovne forme i ofsetnog cilindra dolazi do transfera bojila s tiskovnih elemenata na gumenu ofsetnu navlaku, s koje se bojilo dalje prenaša na tiskovnu podlogu. Sila u dodirnoj zoni cilindra je između 2,5 i 3 MPa.

Otisak dobiven u ofsetnoj tehnici tiska karakterizira sloj bojila debljine 0,5-1,5 μm . Sušenje otiska provodi se oksipolimerizacijom površinskog sloja, hlapljenjem i penetracijom tekućih komponenata bojila u tiskovnu podlogu. Tjekom tiska dolazi do emulgacije ofsetnog bojila s tekućinom za vlaženje, što reducira gustoću obojenja otiska.

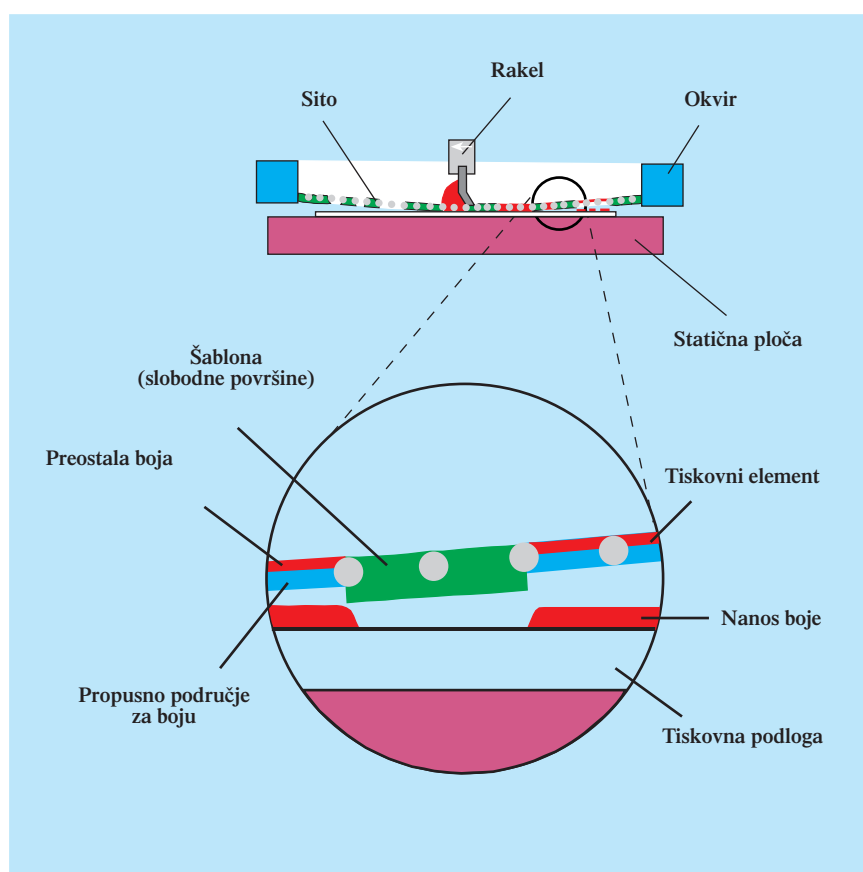
Ofsetna bojila su guste paste dinamičkog koeficijenta viskoznosti $\eta = 40-80$ Pa·s. Takvo bojilo u svom sastavu sadrži: pigmente, otapala, veziva i dodatka. Pigmenti su sitne čestice koje određuju obojenje i njihov udio se kreće između 10-30%. Veziva međusobno povezuju čestice pigmenata stvarajući tako jednu kompaktnu jednoličnu masu. Veziva po kemijskom sastavu najčešće mogu biti: kolofonske smole (20-50%), alkidne smole (0-20%), biljna ulja (0-30%), mineralna ulja (20-40%). Ofsetnim dodacima se poboljšavaju tiskovna svojstva bojila, a kao glavni dodatke koristimo: katalizatore sušenja (kobalt, mangan), voskove za povećavanje otpornost bojila na habanje, agense za sprečavanje preranog sušenja bojila (Walenski, W, 1991).

2.1.4. Sitotisak

Sitotisak je najsvestranija tiskarska tehnika, koja se uspješno koristi i u drugim industrijskim granama (tekstilna industrija, elektronička industrija, auto industrija itd). Dobre osobine sitotiska odlikuju se u mogućnosti tiska na različitim oblicima i vrstama tiskovnih podloga (drvo, tekstil, staklo, keramika, guma, plastika, koža, juta, karton i papir).

Tiskovna forma je fina mrežica, koja je napeta s jedne strane na okvir, i na sebi posjeduje šablonu. Slobodne površine na šablona nastaju uslijed selektivnog zapunjenja mrežice, dok preostali otvori mrežice čine tiskovne elemente (slika 8).

Mrežice za sitotisak su tanke tkanine nastale ispreplitanjem prirodnih, ili sintetičkih ili metalnih niti. Zbog izvrsnih mehaničkih svojstava i povoljne cijene sintetičke mreže (poliesterske, perlonske i najlonske) najviše se primjenjuju za kvalitetnu grafičku reprodukciju. Gustoća tkanja takvih mrežica kreće se između 90 i 120 niti/cm.



Slika 8. Princip sitotiska

Sito se prilikom otiskivanja nalazi nekoliko milimetara udaljeno od tiskovne podloge. Vidljivi otisak u sitotisku se dobiva protiskivanjem bojila gumenim ili sintetskim rakelom. Protisnuto bojilo prolazi kroz otvore na mrežici i nanosi se direktno na tiskovnu podlogu. Ovisno o gustoći mrežice, sili pritiska rakela, brzini tiska, vrsti podloge i konzistenciji bojila u sitotisku se mogu postići različiti nanosi bojila. U sitotisku je moguće postići i deblji nanos bojila (12 μm), za koji je potrebno duže vrijeme sušenja. Vrijeme sušenja otisaka ubrzava se povećanjem temperature zraka u tiskari.

Bojila za sitotisk pripremaju se neposredno prije tiska. Za tiskovne podloge koje posjeduju veću površinsku moć apsorpcije, primjenjuju se tzv. jednokomponentna sitotiskarska bojila. U takvo originalno gusto bojilo kao dodatak se dodaje razrjeđivač, koji ujedno i regulira viskoznost. Jednokomponentno bojilo se primjenjuje za tisak na upojne tiskarske podloge koje se suše penetracijom, hlapljenjem i oksipolimerizacijom.

Za tisak na neupojne tiskovne podloge koriste se specijalna dvokomponentna brzосушећа bojila. Takvim bojilima se dodaje katalizator, kojim započinje proces sušenja. Hlapljenjem i isparavanjem površinskog sloja bojila na tiskovnoj podlozi rezultira osušenim otiskom (Hudoklin, V,1978).

Kvaliteta sitotiska u usporedbi s ostalim konvencionalnim tehnikama nije velika. Reproducirane rasterske točkice nisu pravilnog oblika, što je rezultat nepravilne mrežaste strukture na mjestima preplitanja mrežnih niti. Sitotisk se danas uglavnom koristi za otiskivanje: naljepnica, tapeta, ambalaže i gigantografije (tisak velikih formata).

2.2. Digitalni tisak

Digitalni tiskarski sustavi rade uz pomoć računala koje je direktno spojeno s tiskarskim strojem. Pripremljene stranice u standardnim grafičkim aplikacijama se najprije prevode u specijalan digitalizirani oblik "PostScript" (PS), koji se u Raster Image Procesoru (RIP) uređaju i pretvaraju u rastriranu površinu izdvojenu u 4 osnovna izvatka boje. Izripana datoteka se tada koristi za izradu (osvjetljavanje) tiskovne forme. Tako organizirana tiskarska proizvodnja poznata je pod nazivima: Computer to Plate, Computer to Press i Computer to Print.

Digitalni tisak je sinonim za takozvane "Computer to Print" i "Computer to Press" tehnologije. U skupinu "Computer to Print" ubrajamo tzv. NIP tiskarske tehnike. Beskontaktno otiskivanje (NIP) karakterizira mala sila

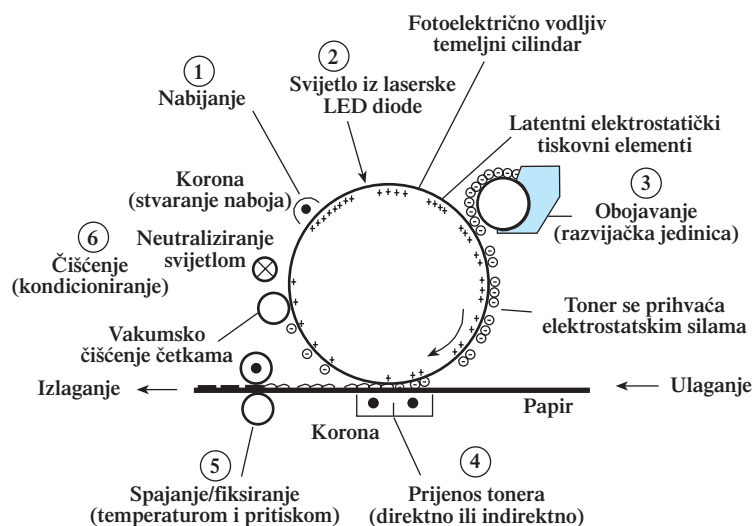
pritiska u zoni otiskivanja. Tiskovna forma je virtualna, i za vrijeme otiskivanja nalazi se u neznatnom (ili nikakvom) međusobnom kontaktu s tiskovnom podlogom. Virtualna NIP tiskovna forma sadrži tiskovne elemente i slobodne površine koje se razlikuju u energetske potencijalu. Nanosom bojila suprotnog energetske potencijala na tiskovne elemente (razvijanje) tiskovna forma postaje vizualno vidljiva, i spremna za otiskivanje.

“Computer to Press” tehnologija mnogo je sličnija konvencionalnom načinu otiskivanja. Takvi tiskarski strojevi zadržali su sve komponente klasične tiskarske jedinice, te se razlikuje samo u dodatnom uređaju za automatsko osvjetljavanje tiskovne forme (laserska glava spojena s računalom). Priprema stroja i izrada tiskovnih formi izvršava se za 15 minuta i provodi se u samom tiskarskom stroju (Kotera,H,1995).

2.2.1. Elektrofotografija

Elektrofotografski način otiskivanja patentirano je Chaster Carlson 1942. Osnovni princip elektrofotografije temelji se na fotoelektričnom efektu, dok se sam proces provodi u 5 faza (slika 9):

1. Nabijanje tiskovne forme
2. Osvjetljavanje tiskovne forme
3. Obojavanje tiskovne forme tonerom
4. Prenos tonera na tiskovnu podlogu
5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi
6. Čišćenje tiskovne forme od ostataka tonera.



Slika 9 Osnovni princip elektrofotografije

Ovisno o načinu otiskivanja, u elektrofotografiji se formira virtualna tiskovna forma na pozitivski ili negativski način. Danas su u primjeni najčešće zastupljeni stolni laserski printeri.

Proces otiskivanja započinje fazom nabijanja bubnja statičkim elektricitetom. Pri toj fazi se električki nabija fotoosjetljiva površina bubnja, čime se stvara homogeno nabijena površina. Zatim površinu bubnja selektivno osvjetljava laser. Laser svojom definiranom svjetlošću izbija nosioce elektrostatskog naboja, čime takva površina postaje nižeg potencijala (najčešće nula). Krajnji rezultat je virtualna tiskovna forma, s tiskovnim elementima i slobodnim površinama različitog energetskog potencijala.

Specijalna bojila za elektrofotografski tisak se nazivaju toneri. U 80% slučajeva toneri su u praškastom obliku, a preostali dio su tekućine. Praškasti toneri (jednokomponentni ili dvokomponentni) su zrnate strukture čija se veličina čestica kreće između 6 i 35 μm . U najčešćim slučajevima toneri su permanentnog negativnog elektropotencijala, te se tada prihvaćaju za pozitivnije djelove temeljnog cilindra. Nanašanja tonera na tiskovne elemente naziva se razvijanje (Nothmann, A. G, 1989).

Prijenos tonera s tiskovne forme na tiskovnu podlogu pomaže nabijena korona, koja svojim elektrostatskim silama privlači toner. Otisak s praškastim tonerom je nestabilan, lako se može skinuti i potrebno ga je fiksirati. Najčešće se fiksiranje izvodi tako da se površinski nanešen toner dovede u kontakt sa zagrijanim valjcima. Oni ga rastale i fiksiraju na površini papira.

Debljina sloja tonera kod elektrofotografije se obično kreće između 5 i 10 μm . Po završetku otiskivanja temeljni cilindar se mehanički i električki čisti, čime se priprema za slijedeći ciklus nabijanja i otiskivanja (Johnson, J.L, 1998).

Ovakav način otiskivanja pogodan je za proizvodnju do sada u tiskarama neisplativih:

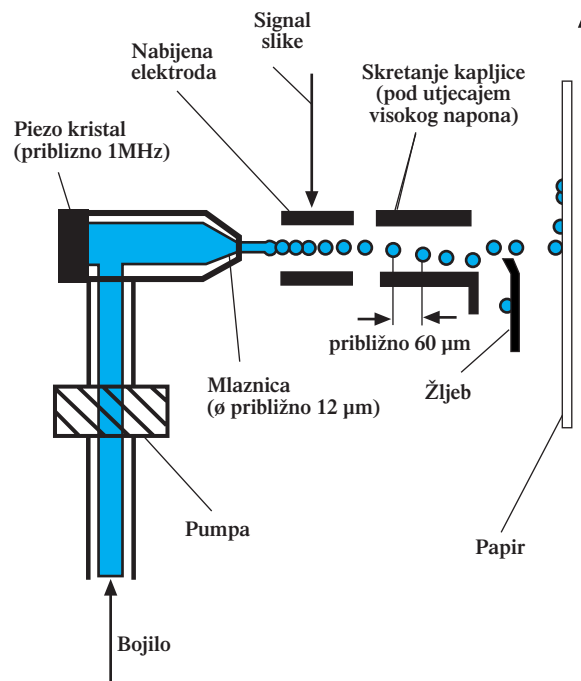
- vrlo malih naklada
- često ponavljanih vrlo malih naklada
- personaliziranih naklada.

Elektrofotografske tiskarske strojeve karakterizira mogućnost tiska na: tiskovne podloge gramatura od 70 do 300 g/m^2 , precizan registar, i mogućnost reproduciranja višebojnih otiska najčešće izlazne rezolucije od 600 DPI. Mogući nedostaci mogu se pronaći u: malom formatu tiskovne podloge, ograničenom broju vrsta papira pogodnih za kvalitetno otiskivanje, i nezadovoljavajućoj reprodukciji većih jednotonskih površina (Flagan, A, 1998).

2.2.2. Ink Jet

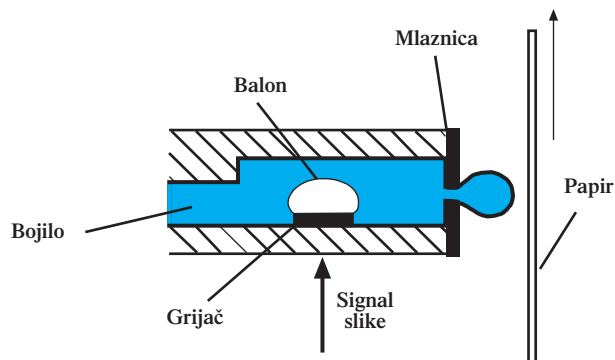
Ink Jet je tiskarska tehnika kod koje se uređaj za otiskivanje ne nalazi u direktnom kontaktu s tiskovnim podlogama. Ink Jet bojilo je tekućina dinamičkog koeficijenta viskoznosti (η) između 1 i 20 mPa·s, koja se mlaznicama štrca na tiskovnu podlogu. Obzirom na način formiranja kapljice, Ink Jet tehnologija se dijeli na: Ink Jet koji formira kapljice na zahtjev i kontinuirani Ink Jet (Nilson, J,1993).

Kod kontinuiranog Ink Jeta (slika 10) bojilo konstantno struji dovodnim kanalom. Elektroda, ovisno o signalu dobivenom iz računala, selektivno nabija kapljice, koje u svojoj putanji selektivno mijenjaju smjer i vraćaju se u spremnik. Nenabijene kapljice slobodno prolaze mlaznicom, ne mijenjaju smjer i završavaju na tiskovnoj podlozi (Teylor, G. I, 1969).



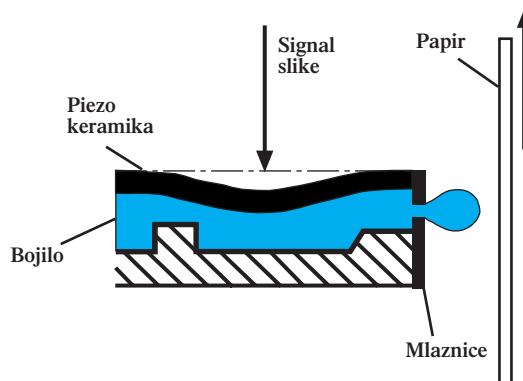
Slika 10. Osnovni princip kontinuiranog ink jeta

Osnovni predstavnici tehnologije Ink Jeta koji rade principom formiraju kapljice na zahtjev su: piezo Ink Jet i termalni Ink Jet. Takvi Ink Jet pisači posjeduju minijaturne komore, u kojima su elektronički elementi spojeni s računalom, pomoću kojeg formiraju pojedinačne kapljice bojila. Termalni Ink Jet pisači (slika 11) formiraju kapljice selektivnim zagrijavanjem mikrogrijača, što rezultira formiranjem zračnog mjehura koji izbacuje kapljicu bojila. Veličina formirane kapljice proporcionalna je veličini mjehura odnosno temperaturi mikrogrijača.



Slika 11. Osnovni princip termalnog ink jeta

Piezo Ink Jet tehnologija formira kapljicu bojila deformacijom mlazne komore. Aktiviranjem signala dobivenog iz računala piezo električni kristalić selektivno mijenja volumen mlazne komore. Smanjenjem volumena u komori povećava se pritisak koji rezultira izbacivanjem bojila kroz mlaznicu (slika 12). Dobivena kapljice proporcionalna je deformiranom volumenu, odnosno komornom tlaku (Loye W. J; Taub H. H, 1988).



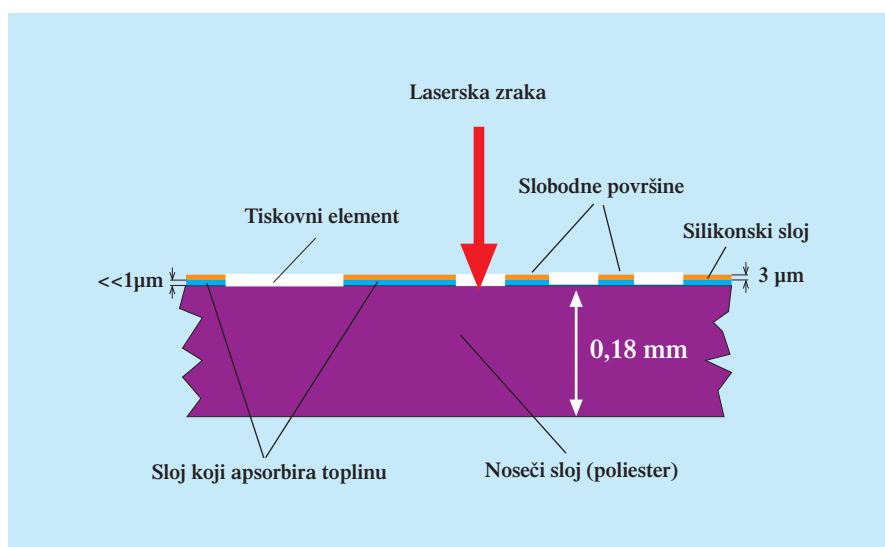
Slika 12. Osnovni princip piezo ink jeta

U Ink Jetu debljina prosječno nanijetog bojila na tiskovnoj podlozi je oko $0,5 \mu\text{m}$. Otisak se na papirima osim hlapljenjem suši i penetracijom bojila u strukturu tiskovne podloge. Pritom dolazi do raspršivanja jednog djela bojila u širinu tiskovne podloge, što dovodi do reducirane reprodukcije rasterskih elemenata. Za postizanje kvalitetnog probnog otisaka preporuča se specijalna tiskovna podloga s povećanom kapilarnom upojnošću, koja omogućava kvalitetno sušenje i sprečava površinsko razlijevanje. Zbog male brzine otiskivanja i niske cijene Ink Jet pisača, ova tehnologija je pronašla primjenu u stolnom izdavaštvu i tisku velikih formata (Hue, P. L, 1998).

2.2.3. Hibridni bezvodni digitalni ofsetni tisak

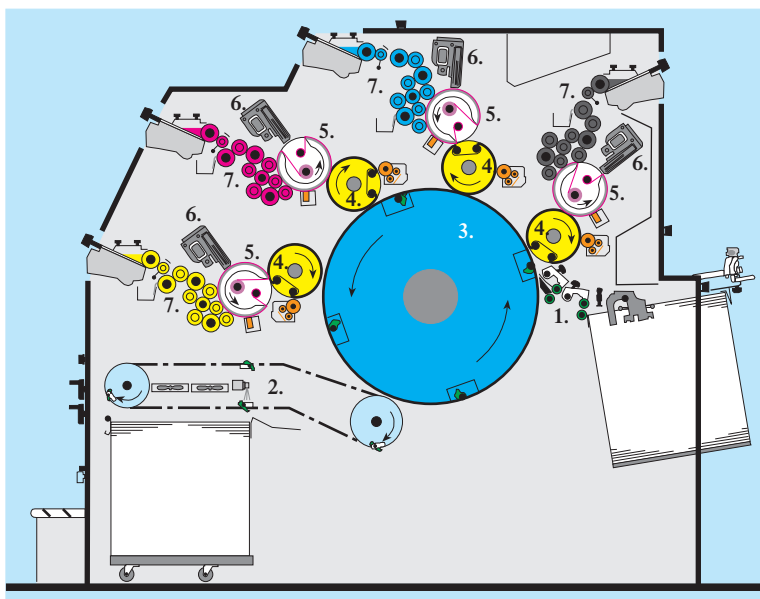
Najznačajniji predstavnik hibridnih tehnika tiska je bezvodni ofset. Sam naziv “bezvodni ofset” govori da je to tehnika modificiranog klasičnog ofsetnog tisaka, koja pri radu ne koristi uređaj za vlaženje, odnosno princip otiskivanja baziran je samo na pojavama oleofobnosti i oleofilnosti.

Početak ere bezvodnog ofseta omogućen je s patentom specijalne tiskovne forme na bazi oleofobnog silikona (slika 13).



Slika 13. Tiskovna forma za bezvodni ofset

Skidanje površinskog silikonskog oleofobnog sloja moguće je provesti kompjuterski upravljivim toplinskim laserom. Smještajem laserske glave uz tiskovnu jedinicu, dobiva se tiskarski stroj s automatskom izradom tiskovne forme u stroju. Takva tiskarska tehnologija poznata je pod nazivom “Computer to Press”. Takvom tehnologijom, priprema stroja i izrada tiskovne forme se izvrše za 15 minuta, što omogućuje ekonomski isplativ višebojni ofsetni otisak i u manjim nakladama. Predstavnici takve tehnologije su strojevi: Heidelberg Quickmaster 46 DI (slika 14), Heidelberg Speedmaster 72 DI, Karat 46 DI, Karat 74 DI (Birkenhaw, J, 1994).



Heidelberg Quickmaster 46DI

1. Uređaj za ulaganje
2. Uređaj za izlaganje
3. Tiskovni cilindar
4. Ofsetni cilindri
5. Temeljni cilindri
6. Laserske glave
7. Uređaji za obojenje

Slika 14. Heidelberg Quickmaster 46 DI bezvodni ofset

2.3. Papir kao najznačajnija tiskovna podloga

2.3.1. Papir za konvencionalne tehnike tiska

U grafičkoj industriji najčešće korištena tiskovna podloga je papir. Papir je tanka plošna tvorevina dobivena ispreplitanjem celuloznih vlaknaca, kojima su dodana punila, keljiva i boje.

Sirovine od kojih se proizvode celulozna vlaknaca mogu biti različite. Najčešće su to: drvo, jednogodišnje biljke, krpe i stari papir (tablica 1).

Tablica 1. Sirovine i procesi pri proizvodnji papira

| Sirovine | Drvo | | Jednogodišnje biljke (slama, trska, pamuk) | Krpe | Stari papir | Punila (kaolin, kalcijkarbonat, titan dioksid, itd) |
|---|---|-------------------|--|---|--------------------------|--|
| Proizvodnja | mehanički sjeckanje | kemijsko brušenje | kemijski | kemijski/mehanički | reciklacija | |
| Proizvedeno vlakno | smljevena kaša | pročišćena kaša | kemijska kaša | čista celulozna vlakna | reciklirana vlakna | |
| | primarno vlakno | | | | sekundarno vlakno | |
| Završni proizvod s dominantnim udjelom vlaknaca | novine, papir za časopise, pisači/tiskovni papiri, srednje fini papir i papir sa sadržajem drva | | pisači papir, tiskovni papir (premazan i nepremazani), papirnate vreće (bezdrveni papir) | papir za novce, zaštitni papiri, časopisni papiri | novine, kartonske kutije | udio punila je do 30 %. |

Ovisno o vrsti celulozne sirovine, kao i njezinom načinu razvlaknjivanja, dobivaju se kasnije papiri raznih mehaničkih i kemijskih svojstava. U proizvodnji papira, dodatkom punila, keljiva i bojila, papiru se poboljšavaju i optička svojstva. Općenito, papiri se prema sastavu dijele u četiri skupine:

- bezdrvni papire
- papiri s većinskim udjelom drva
- papiri rađeni od starog papira
- papiri od krpa.

Pri proizvodnji bezdrvnog papira, celulozno razvlaknjivanje se vrši u kemijskoj pulpi. Pritom u sastavu udio drvenjače ne bi smio biti veći od 5%. Vlakanca dobivena na takav način koriste se za proizvodnju različitih tiskovnih i pisaćih papira.

Papiri s većim udjelom drvene sirovine uglavnom su proizvedeni iz mehaničke pulpe. Papiri proizvedeni iz takve sirovine u sastavu sadrže i veću količinu lignina. Papir koji u svom sastavu posjeduje veći udio lignina, pri dužem izlaganju svjetlosnom zračenju značajno mijenja bjelinu (žuti), zbog čega se ne upotrebljava pri proizvodnji kvalitetnijih grafičkih proizvoda. Novinski papir je glavni predstavnik koji se proizvodi na takav način.

Reciklirani se papir proizvodi iz sekundarnih sirovina. Potreba za takvim papirom je u stalnom rastu, te je sveukupna današnja proizvodnja recikliranog papira oko 60% ukupne proizvodnje. Zahvaljujući deinking postupku (djelomičnom odstranjivanju boje s već otisnutih vlakanaca), stari se papir može uspješno reciklirati 3 do 5 puta.

Pri projektiranju i proizvodnji različitih grafičkih proizvoda, gramatura (g/m^2) ima veoma važnu ulogu. Na papirnom stroju gramatura se određuje količinom nanijete vlaknaste suspenzije. Takvim načinom dolazi do formiranja različitih gramatura papira koje se u praksi nazivaju: papiri, kartoni i ljepenke (tablica 2).

Tablica 2. Gramatura papira po KLEMMu

| | |
|-----------|------------------------------|
| Papir: | $< 150 \text{ g/m}^2$ |
| Karton: | od 150 do 500 g/m^2 |
| Ljepenka: | $> 600 \text{ g/m}^2$ |

Osim gramature na kvalitetu budućih otisnutih grafičkih proizvoda presudnu ulogu ima površina papira. Papirnom doradom (premazivanjem, impregniranjem, pergamentiranjem, laminiranjem) dodatno se oplemenjuje površina papira.

Najčešći postupak papirne dorade je premazivanje. U proizvodnji papira ovisno o izvršenoj fazi premazivanja papiri se dijele na:

- nepremazane papire (naravne)
- premazane papire.

Skupinu nepremazanih (naravnih) papira danas čine:

- ofsetni papiri
- listovni papiri
- knjižni papiri
- transparentni papiri
- papiri za Ink Jet.
- reciklirani papiri
- papiri s vodenim znakom
- novčani papiri
- papiri za elektrofotografiju

Naravni se papiri najčešće primjenjuju u visokom, dubokom i plošnom tisku, za čije se potrebe konfekcioniraju u obliku arka ili role (tablica 3).

Tablica 3. Tipovi nepremazanih papira za tisak iz role u ofsetu i bakrotisku (Kipphan, H, 2001)

| Oznaka | Karakteristika kvalitete i primjena |
|-----------------|---|
| WSOP papir | Specijalni papir za ofset iz role, s većim udjelom celuloznih vlaknaca dobivenih iz drvene sirovine, nepremazan i kalandriran. |
| SC-A papir | Nepremazani papir s većim sadržajem celuloznih vlaknaca dobivenih iz drvene sirovine, super kalandriran papir (papir sa sjajem). |
| SC-B papir | Poboljšani nepremazani novinski papir s površinskim sjajem dobivenim "NIP soft" kalanderom. |
| B kašasti papir | Nepremazani kalandrirani papir za ofsetni tisak iz role. Pri proizvodnji takvog papira koristi se: kemijska pulpa, drvena pulpa i punila. Bjelina takvog papira je stalna. |
| NP papir | Nepremazan papir, proizveden iz sekundarnih vlakana. Postoji u standardnoj i poboljšanoj varijanti. Gramatura mu je od 39 do 50 g/m ² , dobrog površinskog sjaja, opaciteta i upojnosti. Kontinuirani papir: Rađen od bezdrvene celulozne pulpe, s manjim dodatkom drvene celuloze i recikliranog papira. Uglavnom se koristi za reprodukciju tekstualnih podataka, i svojstva su mu definirana DIN standardom 6721. |
| SC-HSWO papir | Nepremazani gramaturom specijalno težak ofsetni papir za tisak iz role, Super kalandriran. |

Premazani papir nastaje u doradnoj fazi proizvodnje papira, koja se može provesti: nanašanjem premaza špricanjem, nanašanjem premaza rakelom, nanašanjem premaza četkama i nanašanjem premaza valjcima. Premaz se na papir može nanjeti u nekoliko slojeva jednostrano ili obostrano. Premazi na papire uglavnom se sastoje od mješavine pigmenata, veziva i optičkih dodataka (bjelila). Ovisno o količini nanešenog premaza na papir, razlikujemo slijedeće tipove papira (tablica 4).

Tablica 4. Tipovi obostrano premazanih papira za tisak u ofsetu i bakrotisku (Kipphan, H, 2001)

| Oznaka papira | Karakteristika kvalitete i primjena |
|---|---|
| Premazani papir špricanjem | Papir velikog volumena i zrcalnog sjaja. Uglavnom bijel (obojen) s jedne strane. Koristi se uglavnom za tisak etiketa, omota i visokokvalitetnih ambalažnih kutijica. Gramatura od 70 do 400 g/m ² . |
| Premazani papir za umjetnički tisak | Premazani papir najbolje kvalitete nastao nanašanjem premaza u velikom sloju. Papir jednolične površine i izvrsnih tiskovnih svojstava. |
| Specijalno premazani papir za tisak ilustracija | Premazani papir za zahtjevne visokokvalitetne poslove. Obostrano premazana površina može mu biti sjajna, polusjajna i mat. Izvrsnih je tiskovnih svojstava. |
| Papir za tisak standardnih ilustracija | Papir solidne kvalitete premazan s obje strane. |
| Uobičajan papir za tisak ilustracija | Papir premazan s obje strane namijenjen za manje zahtjevnije poslove. Zaštićenog je sjaja i limitirane je kvalitete. |
| MWC/HWC | Premazani papir srednje težine / velike težine. Sirovina za proizvodnju celuloznih vlakana na bazi je drvene sirovine. Proizvodi se u gramaturi od 80 do 130 g/m ² . |
| LWC papir | Premazani papir male težine koji se najčešće koristi za velike produkcije u ofsetnom tisku. Gramature je 72 g/m ² . |
| LLWC/ULWC | Veoma lagan premazani papir / ultra premazani papir (gramature ispod 45 g/m ²). Koristi se djelomično u ofsetnom tisku i bakrotisku za tisak ilustriranih časopisa sa većim brojem stranica. |
| FC papir | Papiri koji su premazani ili pigmentirani s obje strane. Premazivanje se vrši na velikim premaznim strojevima koji nanos određuju valjcima. |

Proizvođači papira konstantno kontroliraju kvalitetu gotovog papira, koristeći se pritom raznim testovima i mjernim uređajima. Ustanove za standardizaciju, mjeriteljstvo i kontrolu kvalitete (ISO, TAPPI, DIN), u suradnji s grafičkim institutima (GATF, FOGRA, PTS) odredili su razne metode ispitivanja svojstava papira (tablica 5). Takve međunarodno važeće norme detaljno određuju i opisuju: način ispitivanja, potrebnu oprema za ispitivanje, i metodologiju prikaza i analizu dobivenih rezultata.

Na taj način postignut je jedinstven način ispitivanja tiskovnih podloga, što u grafičkoj industriji dovodi do jednostavnijeg i lakšeg praćenja ujednačenosti kvalitete papira i grafičkog proizvoda (Golubović, A, 1984).

Tablica 5. Najvažnije ispitne metode u njemačkoj papirnoj industriji

| Kriterij ispitivanja | Norme za ispitivanje/uredaji za ispitivanje |
|--------------------------|---|
| Vlaženje | Kontaktni kut FOGRA |
| Opornost na prskanje | DIN 53113 ili DIN 53141 |
| Snaga savijanja | Razne metode |
| Otpornost na savijnje | DIN53112 |
| Otpornost na grebanje | DIN 53109, DIN 6723 |
| Cobb test | DIN 53132 |
| Cobb Unger test | FOGRA |
| Gustoća | DIN 53105 |
| Debljina | FOGRA uredaj za mjerenje |
| Dvostruko savijanje | DIN 53112 |
| Otpor na početno kidanje | Napetošću ispitnog uredaja |
| Otpornost na savijanje | TAPPI 423m-25, ISO 526 |
| Obojavanje/obojenje | DIN 53145 ili ISO 2469 |
| Širenje vlage | DIN 53130 |
| Gramatura | DIN 53104 / DIN ISO 536 |
| Sjaj | ISO 2813,ASTM D523 i DIN 67530 |
| Smjer toka vlakana | Testovi savijanja,kidanja,vlaženja |
| Propusnost zraka | ISO 5636 / TAPPI 460 m-46 |
| Mokro produljenje | FOGRA |
| Opacitet | DIN 53146 / ISO 2471 |
| pH vrijednost | DIN 53124 |
| Dužina kidanja | DIN 53112 |
| Raspuklina | DIN 55437 |
| Kovrčanje | FOGRA; DIN 6023 |
| Količina upijanja | Razne metode, DIN 53126 |
| Snaga usisavanja | DIN 53106 |
| Jačina među slojevima | FOGRA |
| Otpornost na kidanje | DIN 53115 |

Za vrijeme otiskivanja interakcija tiskovne podloge i tiskarskog bojila izrazito je važna za produktivnost i tiskovnost. Kvaliteta otiska ovisna je i o svojstvima tiskarske podloge i bojila. Za zadovoljavajući otisak (tablica 6), međudjelovanje svih čimbenika mora biti usklađeno. Ispitujući odnos tiskarski stroj, bojilo i tiskovna podloga promatraju se mnoge karakteristike, od kojih su najvažnije:

- vrijeme sušenja boje
- abrazivna svojstva otisnute tiskovne podloge
- sjaj otisnute boje
- gustoća obojenja na tiskovnoj podlozi ili gotovom proizvodu
- otpornost na čupanje
- otpornost na čupanje kod tiska mokro na mokro
- vrijeme apsorpiranja boje u podlogu(Walenski, W,1994).

Tablica 6. Papirna svojstva koja utječu na produktivnost i kvalitetu otiska

| Pogodnost za tisak | Produktivnost | Papirne karakteristike |
|----------------------------|---|--------------------------------|
| Prihvaćanje boje | Otpornost na rastezanje | Sušenje tiskarskog bojila |
| Sjaj | Širenje vlage | Otpornost na čupanje (picking) |
| Glatkost | Čvrstoća namatanja | Vrijeme apsorpcije |
| Glatkost površine | Ljuštenje | Nabiranje |
| Nesagoreni ostatak (pepeo) | Čvrstoća na kidanje (otpornost na rastezanje) | Naljeganje |
| Kompresibilnost | Mikro ljuštenje | pH vrijednost |
| Postojanost na svijetlo | Pucanje papirne role | Šupljikavost |
| Apsorbicije | Mehaničko razvlačenje (uzdužno i poprečno) | Sadržaj vlage |
| Količina premaza | | Prašenje papira |
| Oblačnost (mottling) | | |

2.3.2. Papir za digitalne tehnike tiska

Za postizanje kvalitetnih otisaka papiri za digitalni tisak u potpunosti moraju biti prilagođeni tehnologiji digitalnog otiskivanja. To znači da papir za elektrofotografski načina otiskivanja mora zadovoljiti dva osnovna preduvjeta: posjedovanje većeg površinskog električnog otpora i da u svom sastavu sadrži relativno malo vlage.

Električna provodljivost i električni otpor presudni su čimbenici kvalitete i izvodljivosti otiskivanja. U elektrofotografiji toner se prenosi na površinu papira nabijanjem papira naponski visokom koronom, te što je naboj papira veći prijenos tonera je bolji. Prevelika vlažnost odnosno niski otpor papira uzrokuje rasipanje električnog naboja prije nanosa tonera. Ako je otpor iznad određene razine, prijenos više nije ovisan o otporu već samo o dielektričnoj konstanti papira (Anon, A, 2001).

Veća električna konstanta uzrokuje veću učinkovitost prijenosa, ali samo do određene granice poslije koje mogu nastati izobličenja otiska uslijed suvišnog ispuštanja naboja.

Otpor eksponencijalno ovisi o temperaturi i vlažnosti papira. Temperaturna ovisnost temelji se na mehanizmu ionske vodljivosti, a ovisnost o vlazi proizlazi iz činjenice da se prilikom provođenja molekule vode vežu na hidroksilne skupine molekula celuloze. Otpor sa porastom ravnotežne vlažnosti opada, što se uočava i pri rastu temperature (Lamperth C.; Ingvar H., 2001).

Sastav i količina punila u papiru također utječu na električnu provodljivost. Tako kalcijev karbonat kao punilo posjeduje značajno manju dielektričnu konstantu od titan dioksida (Fenton H. M.; Romano F. J., 1998).

Na podobnost za tisak kao i kod konvencionalnih tehnika tiska, može utjecati glatkost papira, opacitet, bjelina i vlaknasti sastav. Papiri izrađeni od recikliranih vlakana daju lošije otiske, te se za digitalni tisak preporučuju papiri rađeni iz primarnih vlakana.

Papiri za elektrofotografiju sadrže relativno malo vlage u svom sastavu. Procesom fiksiranja tonera papir mora podnijeti visoku temperaturu (250 - 300° C), te se nesmije presušiti. Visoke temperature kod nižih gramatura papira (60-105 g/m²) mogu prouzrokovati valovanje papira, dok papiri viših gramatura (115 - 250 g/m²) koji imaju veću debljinu povećava se krutost i otežana mogućnost prolaska kroz stroj.

Od NIP tehnologija ispisa značajno se koristi i Ink Jet tehnologija ispisivanja. Kod papira za Ink Jet postavljeni su potpuno drugačiji zahtjevi, koji su uvjetovani tekućim agregatnim stanjem tonera. Papiri za Ink Jet moraju imati strogo određenu upojnost u odnosu na toner koji se nanosi. Za optimalnu kvalitetu s nikakvim razljevanjem, dobrom oštrinom ispisa, trajnošću ispisa, potrebno je koristiti: specijalno oslojene papire sa sintetskim materijalom, Ink Jet papire sa mat slojem, Ink Jet papire sa lakiranim slojem i Ink Jet transparentne folije.

Papiri koji daju najbolju kvalitetu specijalno su oslojeni. Njihov način izrade strogo je čuvan i zaštićen patentima. Metode koje bi dale više informacija o takvim tiskovnim podlogama nisu nam dostupne (Golubović, A, 2003).

2.4. Starenje papira

Vijek trajanja kod mnogih grafičkih proizvoda nije isti. Grafički proizvodi kao što su monografije, enciklopedije, novčanice, mjenice, dionice i diplome zahtijevaju dugotrajnu uporabu tijekom koje se ne smiju mijenjati. Mnoge tiskarske podloge starenjem na žalost mijenjaju svoja mehanička i optička svojstva, što rezultira nedovoljno kvalitetnim grafičkim proizvodima.

U 18. stoljeću pri ručnoj proizvodnji papira, nakon sušenja, papir se premazivao keljivom (vodenkastom otopinom životinjskog podrijetla). Moritz Fridrich Illig (1806.) primijenio je masovno smolno keljenje čime se dobio papir izrazitijih pisacih svojstava.

Otkrićem papirnog stroja, smolno keljenje papira s kolofonijem dobiva sve veće značenje, čime postaje standard pri tadašnjoj proizvodnji papira. S vremenom se došlo do spoznaje da tako proizveden papir nije postojan na starenje. Čestice keljiva kolofonija vežu se s celuloznim vlakancima putem aluminij sulfata. Aluminij sulfat hidrolizira u prisutnosti vode i s obzirom da je to sol jake kiseline (H_2SO_4) pridonosi kiseloj pH vrijednosti papira - pH 4,5. Opisani uvjeti uzrokuju depolimerizaciju celuloze (Molešić, J; et al, 2002).

Mehanizam degradacije je takav da se tokom reakcije, kiseline ne troše već kataliziraju. Od trenutka kada je stvorena kiselina, unutar kiselokatalitičke reakcije, nastala degradacija je u stvari autokatalitička (Erhart D, 1988).

Ostaci kiseline u papiru na kraju rezultiraju kiselom hidrolizom, što pospješuje: povišena temperatura, povišena vlažnost zraka, UV zračenje, i zagađivala iz zraka (ozon, sumpor-dioksid, dušični-oksidi). Takav papir postaje žućkasto-smeđ, lomljiv i raspada se (Deventer R, 1994).

Da se u budućim grafičkim proizvodima spriječi hidroliza, papirna industrija je sredinom šezdesetih godina počela proizvoditi papire premazane s neutralnim keljivom. "Frankfurtskim zahtjevima" proizvođači papira su 1990. godine dogovorili osnovne kriterije proizvodnje papira i odredili postojanost na starenje:

- prirodni ili grubo premazani papiri moraju biti proizvedeni od 100% izbjeljene celuloze (bez vlakana na bazi drvenjače)
- papiri moraju imati pH od 7,5 do 9
- papir mora sadržavati udio kalcij-karbonata od najmanje 3% (kao dodatna zaštita od štetnih utjecaja okoline).

Papiri otporni na starenje se proizvode s tzv. neutralnim keljivom, pri čemu se umjesto smolastog keljiva upotrebljava alkidni lanac bez alauna. On reagira s OH grupama celuloze. Punilo koje se pritom koristi je alkalni kalcij karbonat s pH vrijednošću između 8 i 9. Alkalni kalcij služi kao zaštita od kiselina iz zraka, koje se na taj način neutralizira (Walenski, W,1994).

U vezi s postojanošću na starenje papira, odbor NPa- AA 21 odlučio je u travnju 1992 uvesti DIN norme 6738, koje "Papire otporne na starenje (LDK)" klasificiraju na:

- LDK 24-85: papiri otporni na starenje
- LDK 12-80: vijek trajanja papira oko 100 godina
- LDK 6-70: vijek trajanja je najmanje 100 godina
- LDK 6-40: vijek trajanja je najmanje 150 godina.

U skupinu papira i kartona otpornih na starenje (DIN 533124) pripadaju svi nepremazani i premazani papiri koji prema sadašnjim tehnologijama proizvodnje papira imaju lužnatost između 7,5 i 9,5 pH, te su izrađeni od žučkaste celuloze i/ili krpa sa sadržajem najmanje 2% kalcij karbonata. U normi DIN 6739 definirani su minimalno postavljeni zahtjevi za probne uzorke starog papira, koje papir mora posjedovati poslije ubrzanog starenja (papir podvrgnut utjecaju odgovarajućih klimatskih uvijeta). Osim DIN norme 6739 važna je i ISO norma 9706. Suprotno od DIN norme, ISO 9706 osim čvrstoće na vlak definira i kemijska svojstva papira (najmanji sadržaj tvari koje sprečavaju reakcije kiselina, maksimalna dopustiva količina lako oksidacijskih materijala, maksimalna i minimalna pH vrijednost ekstrakta hladne vodene papirne suspenzije)(Kolar J; Strlič M, 2001).

U praksi se susreću dva načina označavanja postojanosti papira na starenje:

- prema DINu 6738 podacima oznake proizvođača i klasom vjeka trajanja
- prema ISO 9706 s prikaznim simbolom (slika 15).



ISO 9706

Slika 15. Oznaka papira postojanog na starenje po ISO standardu

U izučavanju životnog vijeka papira odnosno otiska važni su pojmovi postojanost i trajnost. Trajnost ovisi o kemijskoj otpornosti njegovih komponenti na utjecaj vanjskih faktora. Postojanost ovisi o karakteristikama sirovina korištenih pri izradi papira koje uključuju vlakna, punila, keljiva i dodatke (Havlinova B. at al. 2002).

Osim toga na postojanost utječu ioni i neki plinovi iz okoliša, zračenje, mikroklimatski čimbenici (temperatura i vlaga), te mikroorganizmi i gljive.

Općenito čimbenici koji djeluju na promjene starenjem papira i otisaka mogu se podijeliti na one unutarnjeg i vanjskog podrijetla. To mogu biti već nabrojene komponente koje čine sastav papira, te postupci u samoj proizvodnji papira kao što su: priprema pulpe i postupak keljenja (kiseli, lužnati i neutralni). Tu treba istaknuti utjecaj tehnike otiskivanja i vrste tiskarske boje. Treću skupinu čimbenika čine oni iz okoliša prepoznatljivi kao zagađivala u vanjskoj atmosferi SO_2 , NO_x i O_3 (Martin L.R., 1984).

Osnovni procesi u degradaciji papira su kisela ili alkalna hidroliza, proces oksidacije, termoliza, mehanička i biološka razgradnja (Le. P. C.; at. al. 2000).

Kemijske reakcije koje se događaju pri prirodnom starenju nisu do sada jasno objašnjene. Na osnovi kemijskih i fizikalnih analiza prirodnog i umjetnog starenja zabilježene su reakcije koje vode prema degradaciji i gubitku mehaničkih svojstava, a uključuju kiselu hidrolizu, oksidaciju i poprečno vezanje (Park H. J. 2000).

Nova istraživanja pokazuju da kemijske reakcije koje se događaju u uvjetima prirodnog i ubrzanog starenja nisu iste, međutim takvih istraživanja je malo (Erhardt D.; Mecklenburg M. F., 1995).

S druge pak strane osnovna prepostavka starenja je ubrzanje kemijskih reakcija koje bi se dogodile pod uvjetima prirodnog starenja. Ubrzano starenje bi trebalo poslužiti za donošenje interesantnih zaključaka, te utvrđivanje prirode procesa i utvrđivanje mjera u primjeni (Norris T. O., 1994).

Istraživano je i djelovanje ubrzanog starenja na mehanička i neka optička svojstva otisaka konvencionalnog ofsetnog tiska s mineralnim bojilima s različitim udjelima sirovina obnovljivog porijekla (Bolanča Z. at. al. 2002).

Daljnja istraživanja istih autora obuhvaćaju utjecaj vrste tiskovne podloge te digitalnih tehnika tiska Xerox i Indigo (Bolanča Z., 2002).

Mehanizam starenja papira i otisaka obuhvaća veći broj interakcija između stvari u papiru i okoline. Interakcije mogu biti vidljive, a mogu se očitovati u smanjivanju mehaničkih svojstava papira, gubitku kemijske stabilnosti, promjeni optičkih karakteristika papira i otisaka (Kato, L. K.; Cameron, R. E.; 2002).

2.5. Tiskarska bojila

Mogućnost uočavanja obojenja nije svojstvena svakom živom biću. Jedan od osnovnih preuvjeta da čovjek osjeti obojenje, leži u bijeloj svjetlosti valnih duljina između 380 do 720 nm. Čovječji se vidni centar u mozgu sastoji od 3 fotoreceptora, osjetljivih na ljubičasto-plavi, zeleni i crveni podražaj. Selektivnom pobudom fotoreceptora dolazi do takozvanog aditivnog miješanja “primarnih boja” čime nastaju “sekundarne” boje.

LJUBIČASTO-PLAVA + ZELENA = CIJAN

LJUBIČASTO-PLAVA + CRVENA = MAGENTA

ZELENA + CRVENA = ŽUTA

LJUBIČASTO-PLAVA + ZELENA + CRVENA = BIJELA

Aditivno miješanje u grafičkoj industriji primjenjuje se u monitorima u boji i skenerima, odnosno uređajima koji rade sa RGB svijetlošću. Uređaji takvog tipa uglavnom se koriste u odjelu pripreme, gdje služe za prikaz i obradu budućih reprodukcija. Mnogo važniju ulogu u grafičkoj industriji ima suptraktivno miješanje bojila, koje se u tisku koristi za višebojno reproduciranje. Na bijeloj tiskovnoj podlozi suptraktivnim miješanjem cijana, magente i žute nastaju:

CIJAN + MAGENTA = LJUBIČASTOPLAVA

CIJAN + ŽUTA = ZELENA

ŽUTA + MAGENTA = CRVENA

CIJAN + MAGENTA + ŽUTA = CRNA

S otiskivanjem triju osnovnih bojila suptraktivne sinteze (CMY), ne postiže se kontrastna reprodukcija. Dodatkom četvrte crne otisci postaju kontrastniji i ugodniji ljudskom oku (Young, T, 2002).

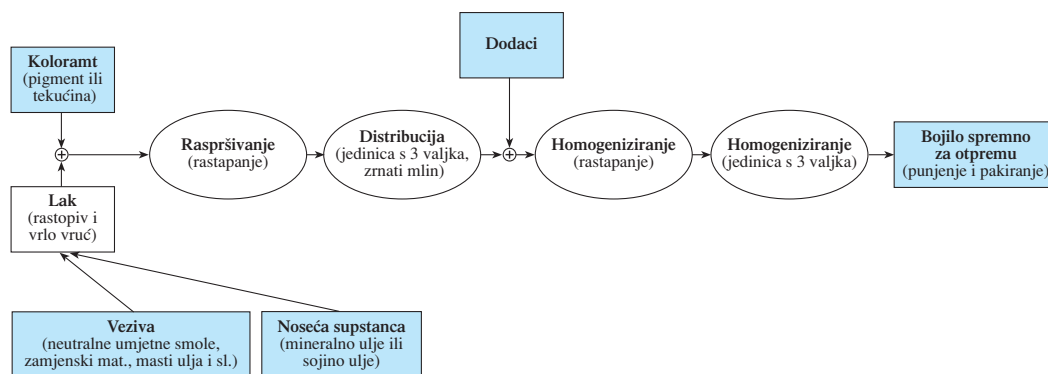
Grafička bojila su tvari koje na tiskovnoj podlozi izazivaju vizualni osjet obojenja. Na tržištu danas egzistira čitav niz tipova grafičkih bojila, koja se međusobno mogu razlikovati:

- u obojenju (kromatske, akromatske, metalne, fluorescentne boje)
- prema tipu tiskarske podloge (papir, PVC, staklo, drvo....)
- prema načinu otiskivanja (arak ili rola)
- mehanizmu sušenja (oksidolimerizacijom, hlapljenjem, penetracijom...)
- tehnikama tiska (bojila za plošni, duboki, visoki, propusni tisak...)

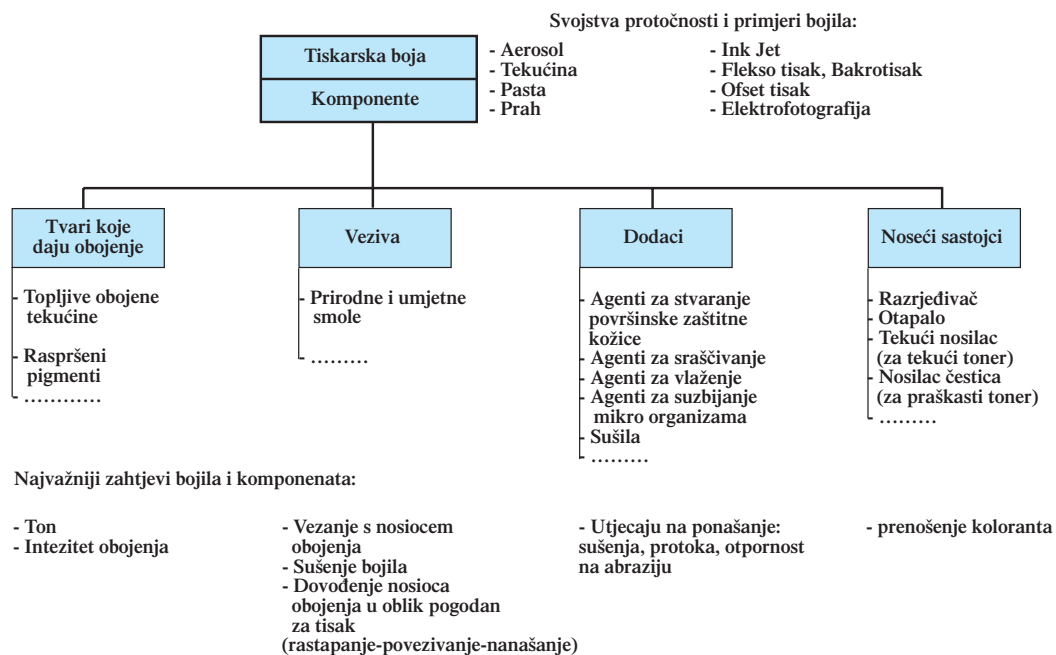
Blok dijagram koji opisuje način proizvodnje jednog ofsetnog grafičkog bojila prikazan je na slici 16. Općenito, za proizvodnju tiskarskog bojila koriste se mnoge organske i anorganske supstance, od kojih su najvažnije:

- tvari koje daju obojenje (pigment ili obojena tekućina)
- veziva
- dodaci
- noseće supstance.

Ovisno o vrsti tiskarskog procesa, bojila mogu biti: tekućine (veće ili manje viskoznosti) ili praškasti toneri. Mehanizam prijenosa bojila, kao i način sušenja odnosno fiksiranja, u potpunosti određuje struktura komponenata tiskarskog bojila (slika 17).



Slika 16. Proizvodnja bojila za ofset tisak (tisak na arak)



Slika 17. Komponente tiskarske boje i njezini zahtjevi

U grafičkim bojilima kao nosioce obojenja susrećemo pigmente i obojene tekućine. Pigmenti su sitne obojene čestice (0,1- 6 μm) koje su netopljive u vezivima. Molekule pigmenata se međusobno povezuju u kristalne strukture, dajući bojilu jednoličnost i kompaktnost. U površinskom sloju otisnute boje nalazi se obično oko 10% sveukupnih pigmenata, tako da preostali pigmenti nemaju funkciju i ne apsorbiraju svjetlo. Osvjetljeni pigmenti raspršuju svjetlost uokolo, tako da na taj način anuliraju moguće nečistoće obojenja (Eldred, N.; Scarlett, T., 1994).

Kao nosioci obojenja, obojene tekućine okružene su tekućim otapalima, te na taj način svaka molekula apsorbira fotone svjetlosti. To u konačnici rezultira jačim obojenim intezitetom i većim rasponom obojenja.

Bojila na bazi pigmenata uvijek sadrže veziva, čime se osigurava vezanje za tiskovnu podlogu. Tekući nosioci obojenja ne zahtjevaju takvu pomoć, već se samostalno prihvaćaju za tiskovnu podlogu. Obojene tekućine kao nosioci obojenja su limitirani sa svjetlostalnošću. Pojačanom oksidacijom tekućih nosilaca obojenja dolazi do izbjeljenja otisaka, što kod pigmentnih bojila nije slučaj.

Zbog jednostavnosti proizvodnje bojila sa pigmentnima su jeftinija od obojenih tekućina. Pigmentna bojila susrećemo gotovo kod svih grafičkih bojila, s iznimkom Ink Jeta i analinskog tiska koji koriste tekuće nosioce obojenja. Organski se pigmenti nalaze u procesnim bojilima, koja su osnova za postizanje višebojne reprodukcije. Anorganski pigmenti se uglavnom koriste pri proizvodnji specijalnih bojila: bijele, metalniziranih bojila i fluorescentnih bojila (Okawara, M., at. al. 1988).

Kod knjigotiska i plošnog tiska upotrebljavaju se smolasta veziva koja su rastopljena u biljnim i mineralnim uljima. Uloga veziva je da povežu čestice pigmenata u što finiju i jednoličniju masu. Djelići pigmenata se pritom zatvaraju u vezivnu masu, gdje ostaju zaštićeni od mogućeg zgrušavanja. Nakon otiskivanja veziva se na tiskovnim podlogama skrućuju zajedno sa česticama pigmenata.

Ovisno o tiskarskoj tehnici, načinu otiskivanja i tiskarskoj podlozi, mogu se bojilu dodati i različiti dodaci. Uglavnom se dodaju sa ciljem: poboljšavanja kvalitete otiska, ubrzavanja vremena sušenja, ujednačenje tona i otpornosti na otiranje.

U nekim bojilima konvencionalnih tehnika tiska, dodaju se često nosioci pigmenata. Oni su jednim svojim dijelom razrijeđena sredstva slična mineralnim uljima, dok u drugu ruku mogu biti dostupna u obliku otapala (kao što je toluen kod bakrotiska).

Noseće supstance imaju važnu ulogu i u NIP tehnologijama kao što su elektrofotografija i Ink Jet. Pri otiskivanju bojilo mora zadovoljiti mnoge zahtjeve, od kojih je najvažniji način prenošenja bojila iz bojanika na tiskovnu podlogu. Transfer bojila može se provoditi:

- razlikom adhezije i kohezije bojila (ofsetni tisak, duboki tisak, visoki tisak)
- nanašanjem sloja bojila pomoću specijalnih folija (prijenos toplinom)
- protiskivanjem bojila kroz otvore (sitotisak)
- štrcanjem bojila u kapljastom obliku bez direktnog doticaja s tiskovnom podlogom (Ink Jet).

Sušenje bojila na tiskovnoj podlozi može se provesti: fizički (apsorpcijom, hlapljenjem, isparavanjem), kemijski (oksidolimerizacijom), te njihovom kombinacijom. Sušenje koagulacijom predstavlja specijalanu karakteristiku, gdje se zagrijano bojilo skrutne uslijed hlađenja.

Bojilo se mora dobro prihvatiti za tiskovnu podlogu. Prihvaćanje se može provoditi na slijedeće načine:

- bojilo se mehanički usidri na površini tiskovne podloge (penetracijom u pore vlakna) uz pomoć većeg pritiska tiskovne forme i tiskovne podloge.
- penetracijom bojila u tiskovnu podlogu uz djelovanje kapilarnih sila tiskovne podloge
- slučaj ekstremno neravne površine gdje se bojilo prihvaća jakim polarnim međudjelovanjem (kemijsko-fizikalni efekt).

Razlike među bojilima mogu se pronaći u reološkim svojstvima. Pojmom konzistencije mogu se opisati različita svojstva tiskarskih bojila od kojih su najvažnija:

- dinamička viskoznost (η) ili ljepljivost je unutarnji otpor protoka tekućine. Jedinica za viskoznost je paskal sekunda ili centi poise ($1 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 1 \text{ CP}$). Jako viskozna bojila su slabe protočnosti i izazivaju probleme sa nanosom pri većim brzinama otiskivanja. U tablici 7 prikazane su vrijednosti dinamičke viskoznosti za klasične i NIP tehnike otiskivanja (Kiphan, H, 2001).

- Tiksotropija je pojava koja se uočava kod nekih bojila da mirovanjem koaguliraju (prelaze u gel), da bi kasnijim miješanjem ponovno postale tekuće. Pojava tiksotropije tumači se kao posljedica električnog naboja čestica koje se zbog toga orijentiraju u pravilne nizove ili mrežice, te se miješanjem takav raspored čestica poremećuje .

- Rastezljivost (Tack) je karakteristika koja opisuje razvlačenje bojila, koje se stvara u dodirnoj zoni između dva valjaka. Veća rastezljivost nastaje na jedinici za obojenje, čime se stvara vlaknasta struktura bojila. Osim toga, rastezljivošću se opisuje i veza bojilo-tiskovna forma, što u konačnici utječe na oštrinu otiska.

- Kratkoća bojila opisuje tečnost bojila. Sile između čestica pigmentata i molekularno većih veziva, određuju bojilu kratkoću ili duljinu. Veoma duga bojila mogu se okarakterizirati velikom pokretljivošću.

Tablica 7. Viskoziteti tiskarskih bojila za konvencionalne i NIP tehnike tiska

| Tiskarski proces (Tip bojila) | Mehanizam prijenosa u tiskarskom procesu | Sušenje | Dinam. viskoznost (η) debljina nanosa na tisk. podlozi | Udio osušenog bojila na tiskovnoj podlozi | Komentar |
|--|---|--|---|---|--|
| Ofset • na bazi ulja • UV bojilo | Cijepanjem bojila, pritiskom od 2,5 do 3,5 MPa u kontaktnoj zoni | Fiz: apsorpcijom Kem: preko veza/ oksipolimerizacijom Zračenjem preko veza | 40 - 100 Pa x s 0,5 - 1,5 μ m | 90 - 100 % 100 % | Sporo sušenje i visoka kvaliteta otiska Trenutno sušenje |
| Bakrotisak • otapalo • UV bojilo | Cijepanje bojila pri pražnjenu vakuole pritiskom od 4 do 5,5 MPa | Isparavanjem otapala (H ₂ O / toluena) Zračenjem preko veza | 0,05 - 0,2 Pa x s 0,8 - 1 (2) μ m 5 - 8 μ m | 25 % 100 % | Reciklacija otapala i papir je absorbent Moguć deblji nanos bojila |
| Flekso tisak • otapalo • UV bojilo | Bojilo se cijepa pri max. pritisku od 1,5 MPa u zoni kontakta | Isparavanjem otapala (H ₂ O / alkohol) Zračenjem preko veza | 0,05 - 0,5 Pa x s 0,8 - 1 μ m veći od 2,5 μ m | 20 - 30 % 100 % | Srednja kvaliteta otiska, reciklacija otapala, većom debljinom nanosa dobija se bolja kvaliteta |
| Knjigotisak | U zoni kontakta cijepanje bojila vrši se pritiskom od 1,5 do 3 MPa | Apsorpcijom i preko veza | 50 - 150 Pa x s 0,5 - 1,5 μ m | 90 - 100 % | Sporo sušenje |
| Sitotisak • otapalo • UV bojilo | Protiskivanjem bojila kroz rupice na mrežici | Ovisno o tipu bojila | Ovisno o mrežici oko 12 μ m | Ovisno o tipu bojila | Niska kvaliteta i višestruka primjena |
| Elektrofotografija • praškasti toner • tekući toner | Elektrostatski (filmom praška) Elektrostatska mješavina djelova tonera u baznoj tekućini | Taljenjem + pritisak Taloženjem, taljenjem + pritisak, isparavanjem tekućeg djela | Prašak 5 - 10 μ m 10 - 20 mPa x s 1 - 3 μ m | 100 % 2 -5% u pripravi, 25% koncentriran | Veliki nanos bojila Odstranjivanje bazne tekućine |
| Ink Jet • termalna tehnologija (DoD) (obojene tekućine / pigmenti su osnovnoj tekućini, voda) • Piezo tehnologija (DoD) - konvencionalan (obojene tekućine / pigmenti su osnovnoj tekućini, voda) | Pritisnim tlakom kapljica 6-30 pl Pritisnim impulsom (diafragmom pumpom) kapljica 4- 30 pl | Isparavanjem, apsorpcijom Isparavanjem, apsorpcijom | 1 - 5 mPa x s < 0,5 μ m 5 - 20 mPa x s < 0,5 μ m | 3 - 5% 5 % | Postoji mrljanje u papiru, te treba spec. papir Postoji mrljanje u papiru, te treba spec. papir |
| - vruće taljiv (pigmenti u taljivim polimerima / vosak, 80 - 100°C) | Pritisnim impulsom volumen kapljice 20 - 30 pl | Stvrdnjavanje hlađenjem | 10 - 30 mPa x s 12 - 18 μ m | 100 % | Deblji nanos osjetljiv na grebanje |
| - UV bojila (pigmenti u tekućim monomerima) | Pritisnim impulsom volumen kapljice 10 - 30 pl | Zračenjem kroz vezu | 15 - 30 mPa x s 10 - 20 μ m | 100 % | Deblji nanos na podlozi koja ne apsorbira |
| • Kontinuirana tehnologija (obojene tekućine su u otapalu, vodi, MEK) | Boja se izbacuje mlazom, razdvojene kapljice od 5 - 100 pl | Isparavanjem, apsorpcijom | 1 - 5 mPa x s < 0,5 μ m | < 5 % | Zahtjeva papire sa spec. premazom |

Dinamički koeficijent viskoznosti (η): Pa-s (Paskal sekunda) ili 1 mPa-s (miliPaskal sekunda)

Mili Paskal (1 mPa-s = 1 CP) (Centi Poise)

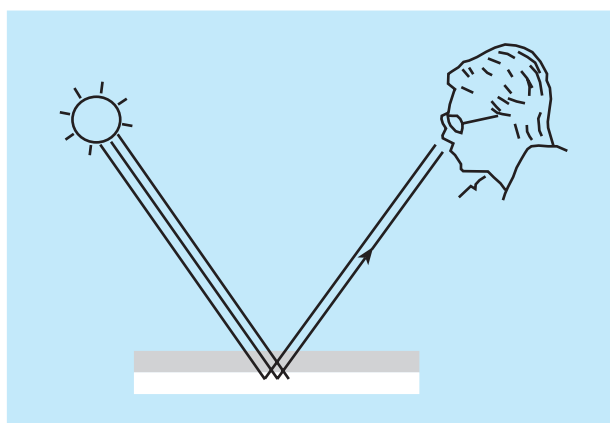
2.6. Određivanje kvalitete otiska

2.6.1. Vizualno ocjenjivanje otiska

Početak tiskarstva jedini način kontrole kvalitete otisaka bio je moguć vizualnom ocjenom. Vizualna ocjena temelji se na promatranju: otisnutih punih površina, jednakomjernosti obojenja, točnosti registra i reprodukcionalnoj sposobnosti niskih tonskih vrijednosti. Osnovni preduvjeti za kvalitetno vizualno ocjenjivanje su standardni promatrač i definirano vidljivo svjetlo pri kojem se izvršava procjena. Vidljivo svjetlo dolazi do otisnutog obojenog sloja, pri čemu nailazi na pigmente. Ovisno o koncentraciji i nanosu, pigmenti u sebe apsorbiraju veći ili manji dio određene valne duljine ulaznog svjetla. Jedan dio svjetlosti dolazi do (bije)le tiskovne podloge, od koje se reemitira do oka promatrača. Veći nanos otisnutog bojila apsorbira veću količinu ulaznog svjetla, što kod promatrača rezultira s vizualnim doživljajem tamnijeg obojenja (Young, T., 2002).

Pri otiskivanju osim obojenja tiskar obraća pažnju i na: elemente pasera, registar otiska i ogrebotine i nečistoće na otisku. Vizualna usporedba otisaka naklade i potpisanog arka podložna je subjektivnoj ocjeni tiskara. Vizualnom kontrolom teže se uočavaju pogreške unutar tiska naklade, što rezultira s povećanjem broja makulature.

Objektivnija ocjena kvalitete otisaka i ujednačeniji tisak, danas je moguć uz primjenu denzitometra i spektrofotometra. Vrijednosti dobivene mjerenjem izražene su u numeričkom obliku i moguće ih je kvantificirati (Hunt, R., W., G., 1991).



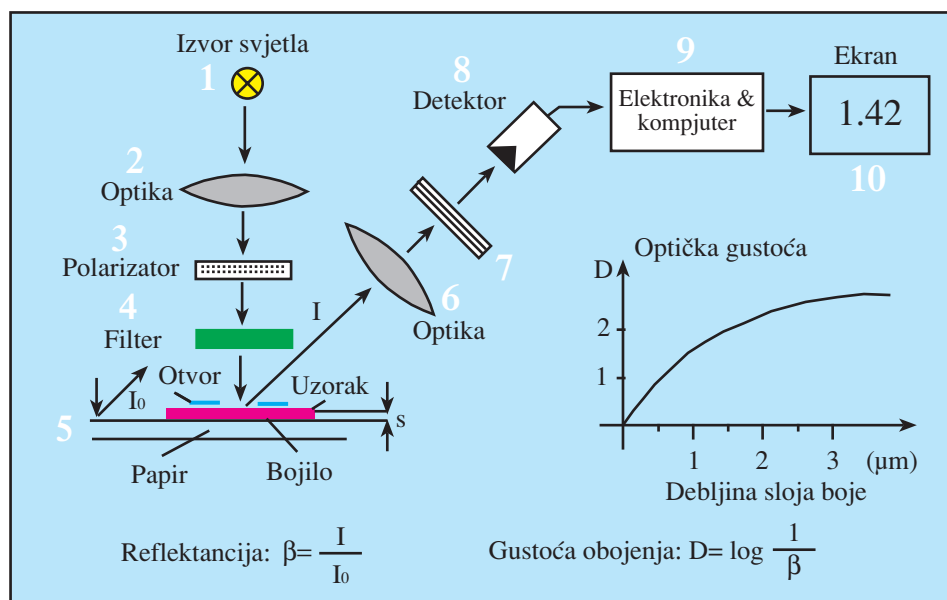
Slika 18. Princip vizualnog ocjenjivanja

2.6.2. Denzitometrija

Da bi se odredila gustoća obojenja nanešenog bojila na tiskovnu podlogu (apsorpcija), razvijeni su specijalni mjerni uređaji denzitometri. Denzitometar radi na slijedeći način (slika 19).

Iz usmjerenog izvora svjetla (1), svjetlost prolazi kroz leću (2), polarizator (3), filter (4) i osvjetljava otisnutu površinu. Ovisno o koncentraciji pigmenata i nanosu bojila (5), dio svjetlosnog obojenja se apsorbira. Neapsorbirano svjetlo s površine reemitira se pod kutom od 45° i kroz sustav leća (6) dolazi u fotodiodu (8). Fotodioda pretvara reemitirano svjetlo u impulse električne energije, koje elektronički sklop (9) uspoređuje s izmjerenom vrijednošću referentnog bijelog standarda. Dobivena razlika predstavlja apsorpciju izmjerenog nanosa bojila i prikazuje se na ekranu (10). Filtar u boji (4) selektivno propušta svjetlo određenih valnih duljina ovisno o mjerenom obojenju uzorka. Neki tipovi denzitometara imaju ugrađene polarizacijske filtere (3) i (7), koji sprečavaju rasipanje mjernog snopa, čime se anuliraju moguće razlike između suhih i mokrih otisaka (slika 19).

Za mjerenje otisaka koriste se refleksijski denzitometri. Gustoća obojenja mjeri se na 100% otisnutim tiskovnim elementima, kao i u željenim rastertonskim područjima. Izmjerenene vrijednosti moguće je izraziti u obliku: krivulja reprodukcije, relativnog tiskarskog kontrasta, trapinga, sivoće i greške tona (Grum, F.; Bartleson, C. J., 1980).



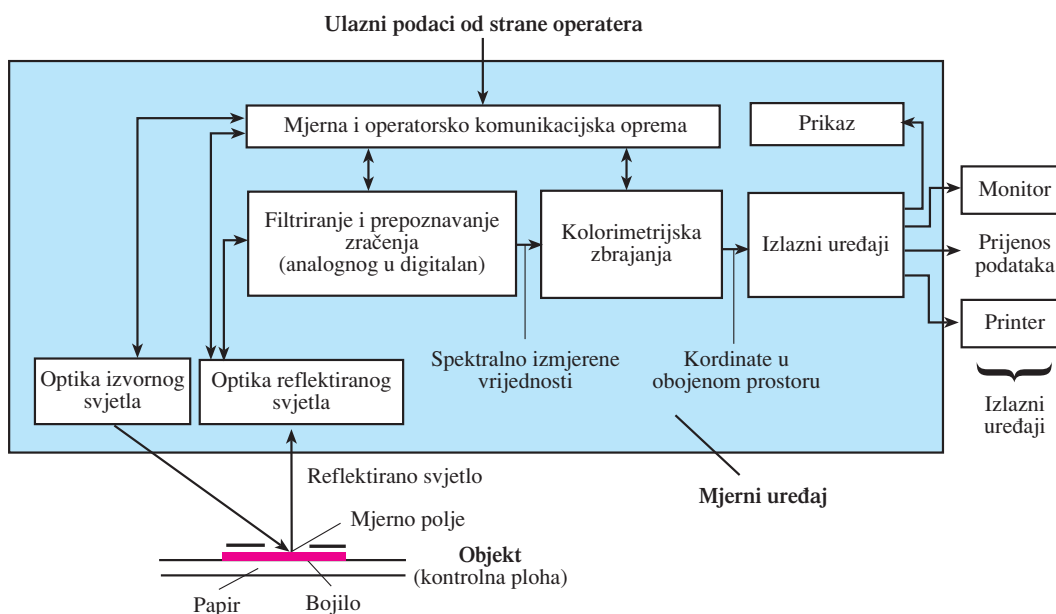
Slika 19. Princip rada refleksijskog denzitometra

2.6.3. Spektrofotometrija

Egzaktno uspoređivanje obojenja punog tona baziranog na denzitometrijskom mjerenju gustoće obojenja (D), moguće je samo za otiske dobivene jednakim tiskarskim tehnikama, na jednakim tiskarskim podlogama i s jednakim grafičkim bojilima. Proizvođači grafičkih bojila i papira nemaju u potpunosti ujednačene proizvodne procese, što u tiskarskoj praksi rezultira otiscima različitih denzitometrijskih karakteristika. Denzitometrijsko mjerenje je danas pogodno za kontrolu mjerenja unutar tiska jedne naklade.

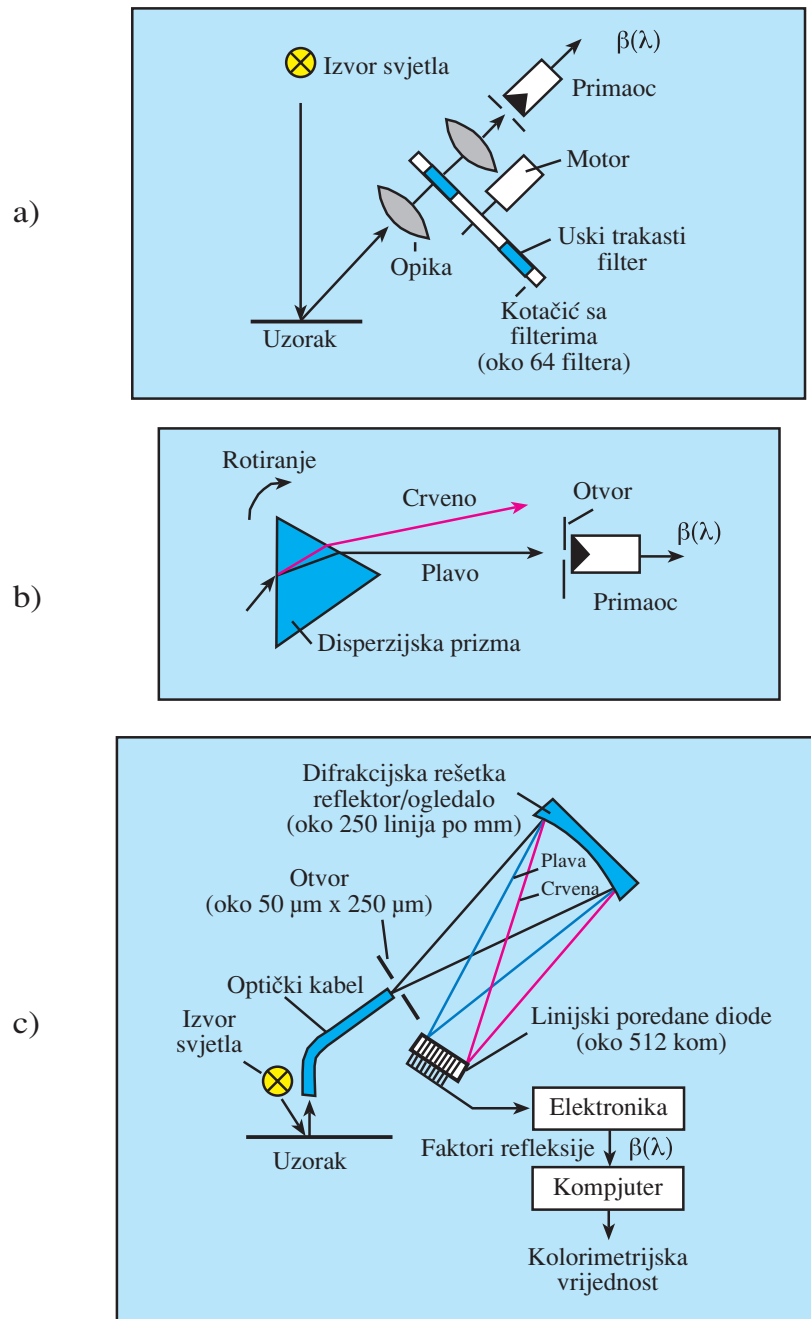
Spektrofotometri su mjerni uređaji koji puno cjelovitije opisuju obojenje. Za razliku od denzitometra, spektrofotometrima određujemo: dominantne valne duljine, zasićenje i svjetlinu obojenja. Najčešće korišteni sustav opisivanja obojenja je L,a,b sustav. Na temelju izmjerenih vrijednosti ova tri parametra određuju se koordinate u trodimenzionalnom prostoru boja. Koordinate obojenja moguće je uspoređivati s bilo kojim obojenim uzorkom (orginal, probni otisak, otisak iz naklade) bez obzira na vrstu tiskovne podloge, tip grafičkog bojila i tiskarskog procesa.

Osnovni princip rada uređaja za kolorimetrijsko mjerenje prikazan je na slici 20. Spektrofotometar s definiranim izvorom svjetlosti osvjetljava obojeni uzorak. Ulazno se svjetlo selektivno reflektira s uzorka i sustavom leća dolazi do filtera. Prolaskom kroz filter vrijednosti magnetskog zračenja se iz analognog zapisa pretvaraju u digitalne, gdje se matematičkim proračunima pretvaraju u vrijednosti (koordinate) određenog prostora boja (Grum, F.; Bartleson, C. J., 1980).



Slika 20. Osnovna struktura spektrofotometra

Spektrofotometrijski uređaji se mogu međusobno razlikovati u konstrukciji. Ovisno o načinu mjerenja spektralne refleksije, spektrofotometre smo podijelili na: spektrofotometre koji rade na principu rotirajućih filtera, spektrofotometre koji rade na principu monokromatora i spektrofotometre koji rade na principu velikog loma svjetla (slika 21).



Slika 21. Principi mjerenja spektralne refleksije

- a) Spektrofotometar koji radi na principu rotirajućih filtera
- b) Spektrofotometar koji radi na principu monokromatora
- c) Spektrofotometar koji radi na principu velikog loma svjetla.

2.6.4. Metode određivanja kvalitete reprodukcije

Zahtjev kupca za što ujednačeniji i kvalitetniji otisak, postavlja se pri tisku svakog grafičkog proizvoda. Održavanje ujednačenosti kvalitete omogućeno je uvođenjem denzitometara, koji se u novije vrijeme sve češće zamjenjuje sa spektrofotometrima.

Potreba za višebojnim grafičkim proizvodima u stalnom je porastu. U europskoj zajednici tehnikom ofsetnog tiska otiskuje se veći dio višebojnih radova. Kvaliteta ofsetnog otiska danas je u grafičkoj industriji gotovo postala standard, i mnogi klijenti žele upravo takvu kvalitetu svojih proizvoda.

Za provođenje bilo kakvih uspoređivanja otisaka, potrebno je na tiskovne forme montirati specijalne kontrolne tiskovne elemente "mjerne stripove". Grafički istraživački instituti FOGRA, GRETAG, GATF i mnogi drugi, konstruirali su mnoge mjerne stripove uglavnom širine 6 mm. Strip ne smije smetati tako da se smješta i otiskuje na rubna područja arka papira (slika 22). Mjerni strip za višebojni tisak sadrži čitav niz polja uglavnom dimenzija 6x6 mm, kojima se određuje:

- gustoće obojenja punog polja (C,M,Y,K) + (X,Y)
- gustoće obojenja u niskim, srednjim, visokim RTV
- polja za praćenje prihvaćanja boje na boju
- polja za praćenje smicanja, dubliranja, punijeg tiska
- polja za kontrolu uvjeta kopiranja tiskovne forme
- polja za određivanje sivog balansa
- polja za određivanje relativnog tiskarskog kontrasta.



Slika 22. Mjerni strip za kontrolu otiska FOGRA PMS

Nanos obojenja na otisku ovisan je o širini zonskog vijka u bojaniku. Širina zonskog vijka obično je oko 30 mm, odnosno zonski vijak ima utjecaj na 5 polja mjernog stripa (Bolanča, S.,1991).

2.6.4.1. Gustoća obojenja punog tona

Gustoća obojenja punog tona mjeri se denzitometrom ili spektrofotometrom, te se izmjerena vrijednost može direktno povezati s debljinom nanosa bojila na tiskovnoj podlozi. Gustoća obojenja izražava se u logaritamskom obliku, i definirana je omjerom reflektiranog svjetla s otisnutog sloja bojila i reflektiranog bijelog svjetla .

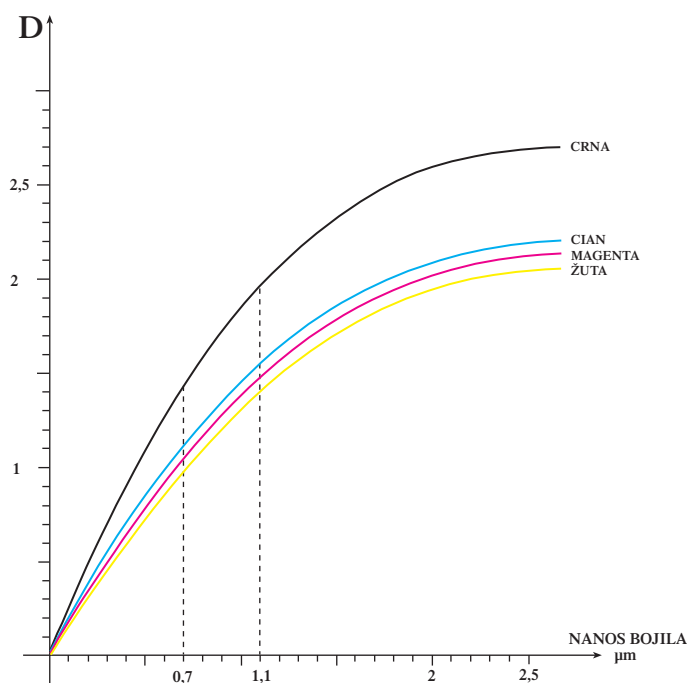
$$D = \log \frac{1}{\beta} \quad \beta = \frac{L_{ep}}{L_{ew}} \quad \begin{array}{l} L_{ep} = \text{refleksija sa otisnutoga polja} \\ L_{ew} = \text{refleksija sa bijele podloge} \end{array} \quad [1(2.1.9.1.)]$$

U otisnutim kontrolnim stripovima za instrumentalno mjerenje, polje punog tona (slika 23), je smješteno u ravni svakog zonskog vijka. Količina bojila na duktoru direktno se odražava i na gutuću obojenja punog tona.



Slika 23. Segment FOGRA stripa koji služi za određivanje gustoće obojenja punog tona

U ofsetnom tisku velika količina nanesenog bojila na tiskovnu podlogu rezultira problemom otežanog sušenja. Takav otisak zahtijeva dulje sušenje, pri kojem se često dešava preslikavanje. Nedovoljna nanescena količina bojila na tiskovnu formu stvara vizualno nekontrastan i loše reproduciran otisak. Optimalna količina nanešenog ofsetnog bojila na papirnim tiskovnim podlogama (slika 24) kreće se između 0,7 i 1,1 μm (Bolanča, S.,1991).



Slika 24. Krivulje ovisnosti gustoće obojenja i nanosa bojila u ofsetnom tisku

2.6.4.2. Rastertonska vrijednost

Na tiskovnoj jedinici tiskarskog stroja moguće je otisnuti samo jednu tonsku vrijednost. Tiskovne forme za višetonsko otiskivanje se sastoje od sitnih rasterskih elemenata, koji svojom veličinom i koncentracijom u oku promatrača izazivaju osjet različite tonske vrijednosti. Za postizanje standardnog višetonskog ofsetnog otiska obično se koriste rasteri linijature između 60 i 120 lin/cm. Zbog većih rasterskih deformacija unutar tiskovne forme, tehnike fleksotiska i sitotiska koriste rezolucijske linijature niže od 60 lin/cm.

O kvalitetnom otisku govorimo ako se pri tisku uspije reproducirati što veći raspon gustoća obojenja. Deformacije rasterskih elemenata znatno smanjuju raspon reprodukcije i utječu na pojavu prirasta rasterske točke. Prirast rasterskih točkica (Z) definiran je kao razlika između rastertonskih vrijednosti filma (F_F) i rastertonske vrijednosti otiska (F_D). Prirast nije jednak na svim rastertonskim područjima, te je najveći u srednjim tonskim vrijednostima.

$$Z(\%) = F_D(\%) - F_F(\%) \quad [1(2.1.9.2.)]$$

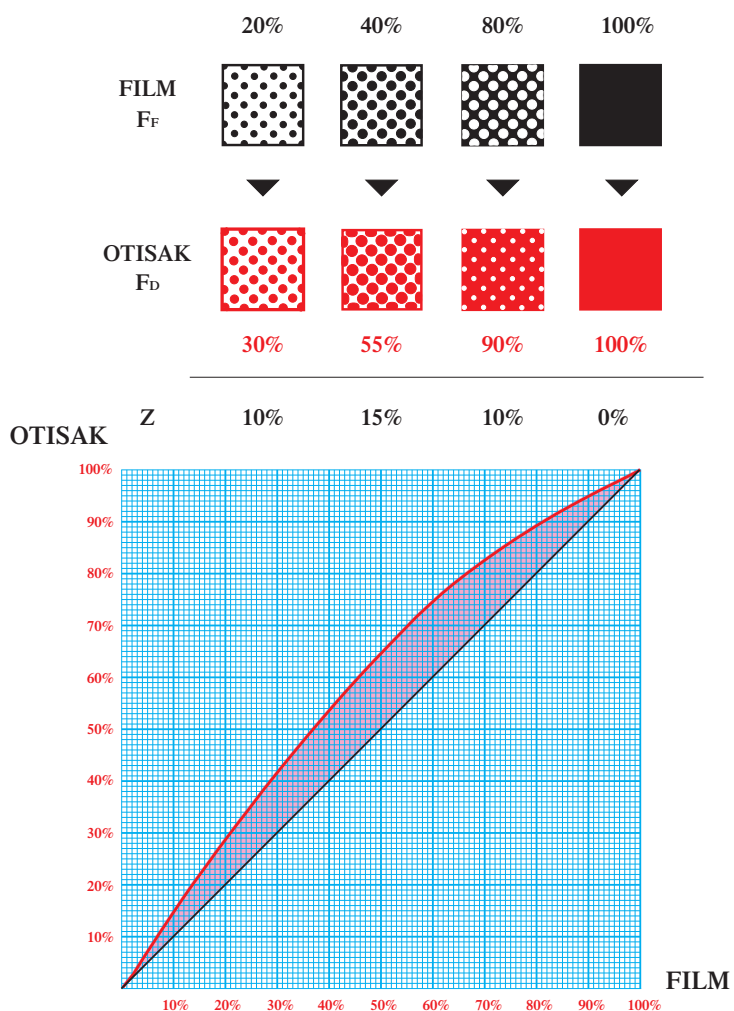
Pri određivanju rastertonske vrijednosti otiska (F_D) koristimo se denzitometrima ili spektrofotometrima. Mjerenjem punog tona (D_V) i rasterskog polja (D_R), te upotrebom Murray-Devies formule možemo odrediti vrijednost otisnutog rastertog polja (F_D).

$$F_D(\%) = \frac{1 - 10^{-D_R}}{1 - 10^{-D_V}} 100 \quad [2(2.1.9.2.)]$$

Poznavajući najmanje tri reproducirane rastertonske vrijednosti (svjetlim tonskim djelovima (20% RTV), srednjim (40% RTV) i tamnim (80% RTV), moguće je kreirati karakterističnu krivulju reprodukcije (slika 25). Karakteristična krivulja reprodukcije prikazuje prirast rasterskih točkica u svjetlim, srednjim i tamnim tonovima reprodukcije čime definira jedan od faktora kvalitete reprodukcije.

Za dobivanje što točnije krivulje reprodukcije bilo bi dobro imati ucrtano što više točaka. Reprodukcijska rastertonskih vrijednosti ovisna je o čitavom nizu faktora, od kojih su najvažniji: tiskarsko bojilo, tiskarska podloga, pritisak između cilindara, vrsta navlake na ofsetnom cilindru, promjeri cilindara tiskovne jedinice, pH vrijednost tekućine za vlaženje, tvrdoća vode, tiskovna forma, brzina tiska i dr.

Osim karakteristične krivulje na slici 25 ucrtan je i pravac pod kutom od 45° koji predstavlja idealnu reprodukciju. Prostor između tih dviju krivulja predstavlja prirast rasterske vrijednosti. Najdrastičniji prirast rasterskih točaka događa se u području srednjih tonskih vrijednosti. Zbog toga se u ofsetnom tisku najveća pažnja pridaje reprodukciji područja između 40% i 80% RTV(Bolanča, S.,1991).



Slika 25. Krivulje ovisnosti gustoće obojenja i nanosa bojila u ofsetnom tisku

2.6.4.3. Relativni tiskovni kontrast

Osim prirasta rasterske točke određivanje reproducirane rastertonske vrijednosti može se provesti i određivanjem relativnog tiskarskog kontrasta K_{REL} (%). Da bi se odredio K_{REL} denzitometrijski ili spektrofotometrijski mjerimo polje punog tona (D_V) i rastersko polje u višim (od 70 do 80%) rastertonskim vrijednostima (D_R).

$$K_{REL} (\%) = \frac{D_V - D_R}{D_V} 100 \quad [1(2.1.9.3)]$$

U tisku se pokušava postići maksimalni relativni tiskarski kontrast. To znači da se pri reprodukciji nastoji tiskati s debljinom nanosa bojila koji osigurava najveći raspon obojenja na otisku odnosno najveći tiskarski kontrast.

2.6.4.4. Prihvaćanje boje na boju (traping)

Trapingom se opisuje prihvaćanje svježije otisnutog bojila na prethodno otisnuto bojilo. U višebojnom tisku postoji značajna razlika u otisku koji je nastao nanašanjem bojila na osušenu podlogu (mokro na suho), i na neosušenu podlogu (mokro na mokro).

Pri međusobno jednoličnom prihvaćanju bojila, otisnuti ton je ujednačen, te govorimo o dobrom trappingu. Ukoliko pri reprodukciji spotnih bojila nije postignut željeni ton, u prihvaćanju je nastala pogreška.

U višebojnom tisku kod odgovarajućih nanosa primarnih bojila (CMYK), može se dogoditi da sekundarna obojenja (crveno, ljubičasto-plavo, zeleno) nisu ujednačena. Određivanje trappinga vrši se denzitometrom, te se pritom mjere polja punih tonova (slika 26): procesnih bojila (CMYK), zelene (cijan + žuta), crvene (magenta + žuta), ljubičasto-plave (cijan + magenta) i tamnosmede polje (cijan + magenta + žuta).



Slika 26. Mjerna polja za određivanje trappinga

Mjerenje gustoće obojenja se vrši kroz komplementarne filtere, odnosno koristi se filter komplementaran zadnjoj otisnutoj boji. Uvrštavanjem izmjerenih vrijednosti u formulu;

$$FA_{\frac{2}{1}}(\%) = \frac{D_{1+2} - D_1}{D_2} 100 \quad [1(2.1.9.4)]$$

- D_{1+2} gustoća obojenja polja s dvije otisnute boje jedna na drugu
- D_1 gustoća obojenja prvo otisnute boje
- D_2 gustoća obojenja drugo otisnute boje
- FA prihvaćanje dvije boje

izražava se traping u postocima, koji u idealnim uvjetima iznosi 100%. Traping se može odrediti i mjerenjem tercijarne tamnosmeđe boje koja nastaje 100% otiskivanjem CMY. U tom slučaju mjerenje gustoće obojenja vršimo s filtrom koji je komplementaran s trećom otisnutom bojom.

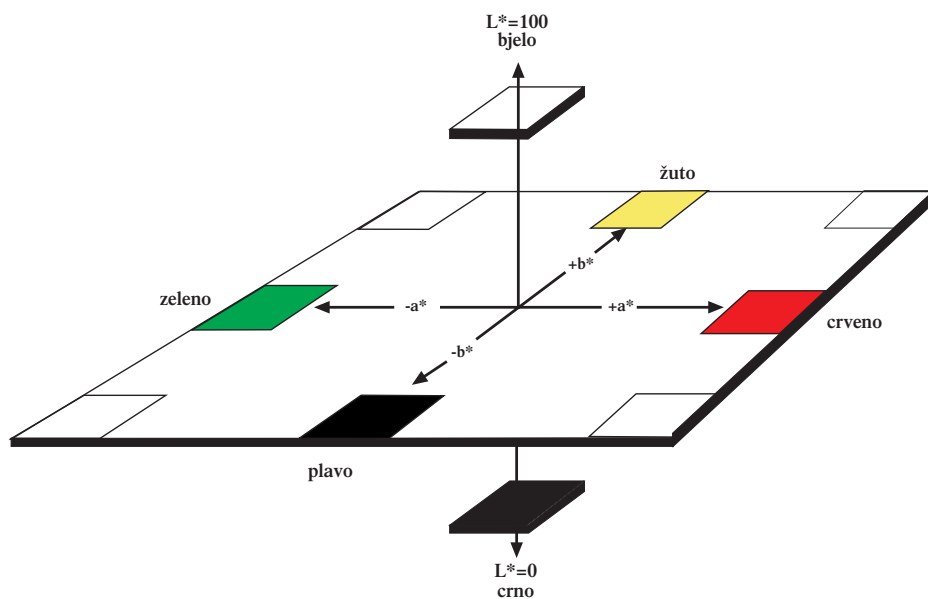
$$FA_{\frac{2}{1}}(\%) = \frac{D_{1+2+3} - D_{1+2}}{D_3} 100 \quad [2(2.1.9.4)]$$

- D_{1+2+3} gustoća obojenja polja sa 100% otisnutim CMY
- D_3 gustoća obojenja treće (zadnje otisnute) boje

2.6.4.5. Sivi balans

Sivi balans se određuje spektrofotometrijskim mjernim uređajima koji u potpunosti opisuju obojenje. Prikazivanje obojenja standardizirano je od strane Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). Danas se najprikladnije prikazivanje otisnute boje vrši u CIE $L^*a^*b^*$ sustavu (slika 27).

Kromatičnost boje (ton i zasićenost) se ucrtavaju na a^* i b^* koordinatni sustav. Os a^* se prostire od $-a^*$ (zelenog područja) do $+a^*$ (crvenog), dok os b^* od $+b^*$ (žutog) do $-b^*$ (plavog). Os L^* opisuje svjetlinu i može iznositi od 0 (crnog) do 100 (bijelog).



Slika 27. L* a* b* sustav za prikazivanje obojenja

Spektrofotometrijskim uspoređivanjem otisaka, moguće je odrediti razliku u obojenju (ΔE) dvaju otisnutih tonova:

$$\begin{aligned} \Delta L^* &= L^*_{\text{mjereno}} - L^*_{\text{stand}} \\ \Delta a^* &= a^*_{\text{mjereno}} - a^*_{\text{stand}} \\ \Delta b^* &= b^*_{\text{mjereno}} - b^*_{\text{stand}} \\ \Delta E_{ab}^* &= \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \end{aligned} \quad [1(2.1.9.5)]$$

Razlike u obojenju (ΔE) moguće je vizualno opisati, te svrstati u 5 kategorija:

- | | | |
|------|---------------------------|----------------------|
| I. | ΔE između 0 i 1 | = veoma mala razlika |
| II. | ΔE između 1 i 2 | = mala razlika |
| III. | ΔE između 2 i 3,5 | = srednja razlika |
| IV. | ΔE između 3,5 i 5 | = velika razlika |
| V. | ΔE veći od 5 | = značajna razlika |

Mjerenje sivog balansa preporuča se pri tisku autotipijskih reprodukcija. Polje za mjerenje sivog balansa sastoji se od definiranih postotaka rastertonskih vrijednosti tri osnovne boje suptraktivne sinteze koje moraju biti vrlo slične refleksiji neutralno sive boje.

Prema normi ISO 12647-2 vrijednost sivog balansa je definirana za 3 područja rastertonske vrijednosti crne boje: 25%, 50% i 75% (tablica 8).

Tablica 8. Udio šarenih bojila pri definiranju sivog balansa

| CRNA | CIJAN | MAGENTA | ŽUTA |
|--------------------|---------|---------|---------|
| Područje od 25%RTV | 25% RTV | 19% RTV | 19% RTV |
| Područje od 50%RTV | 50% RTV | 40% RTV | 40% RTV |
| Područje od 75%RTV | 75% RTV | 64% RTV | 64% RTV |

Spektrofotometrijskim mjerenjem rasterskog polja sastavljenog od crne boje i rasterskog polja sastavljenog od CMY boja možemo ustanoviti njihovo odstupanje. Razlika u tonu ΔE između rasterskog polja crne boje i rasterskog polja sastavljenog od tri procesne boje (CMY) mora biti što manja.

3. Eksperimentalni dio

3.1. Plan rada i metode istraživanja

Suvremeno civilizirano društvo postavlja mnoge zahtjeve na kvalitetu grafičkog proizvoda. Među njima su tehnički zadovoljavajući otisak koji mora imati određenu trajnost u vremenu postojanja. Starenje otisaka proizvedenih u NIP tehnologijama nije u potpunosti istraženo. S novim digitalnim tehnologijama omogućuje se grafičkim tvrtkama pružanje novih tiskarskih usluga, kao što su tisak višebojnih malih naklada, mogućnost višestrukog ponavljanja naklada na zahtjev i personalizacija otisaka. Iako su takve tehnologije ograničene formatom i brzinom, za očekivati je sve veća njihova zastupljenost u tiskarskoj industriji.

Za potrebe ovog rada planira se izraditi specijalna tiskovna forma, koja će se otisnuti na elektrofotografskim tiskarskim strojevima (Indigo E-printa 1000+, Xerox DC 50) i Ink Jet pisačem Epson 1200 photo. Takva tiskovna forma sadrži različite tiskovne elemente (višebojne autotipijske fotografije, polja za određivanje D, RTV, i K, polja za traping, polja za određivanje dimenzionalne stabilnosti, kontrolu pasera, površine za određivanje sivog balansa i standardni FOGRA PMS klin), koji će biti korišteni za vizualnu, denzitometrijsku i spektrofotometrijsku ocjenu kvalitete reprodukcije.

Za tiskovne podloge koristit će se tzv. standardni papiri (nepremazani papiri, premazani papiri i reciklirani papiri) koje se najčešće koriste u klasičnim tehnikama tiska.

Od strane američkog instituta za standardizaciju (ANSI) starenje otisaka i postojanosti papira je normirana i standardizirana (ANSI Z 3948 -1984). S vremenom se osnovni standard unaprijeđuje, te danas postojanost papira na starenje reguliraju slijedeće međunarodne norme:

- ISO 9706: trajnost papira za dokumente
- ISO 186: trajnost na vanjska svjetla
- ISO 1974: trajnost na mehaničku otpornost
- ISO 302 i ISO 9184: utjecaj sastava vlaknaca na trajnost papira
- ISO 6588: utjecaj pH vrijednosti papirnog ekstrakta na trajnost
- ISO 5360: toplinsko starenje papira
- DIN 6738 (1992): vrednovanje životne dobi papira po starenju
- TAPPI T 529: mjerenje pH vrijednosti površine papira

- TAPPI T 509: koncentracija vodikovog iona u papirnom ekstraktu
- TAPPI T 464: propusnost papira pri povišenoj temperaturi i vlazi
- TAPPI T 1219 sp-98 uskladištenje uzoraka prije izvršenog mjerenja

Na određenom dijelu otisnutih i neotisnutih papira, planira se izvesti proces ubrzanog starenja, koji bi se proveo u mikorklimatskoj komori VUK 08/500. Proces toplinskog starenja izvršavat će se u skladu s normom ISO 5360 koja propisuje kontrolirane klimatske uvjete: temperatura od 80°C, relativna vlažnost zraka od 65% i trajanje od 24 dana (Soler, J., at. al. 2000).

U svrhu dobivanja mjerljivih starosno različitih uzoraka, definirane papire je potrebno otisnuti i ostariti. Taj proces bi se izvršavao u slijedeće tri faze:

1. faza: otiskivanje novog papira (2/3 naklade) u gore navedenim digitalnim tiskarskim tehnikama.
2. faza: simulacija starenja na novom ne otisnutom papiru (1/3), zajedno s prethodno otisnutim (faza 1).
3. faza: otiskivanje 1/3 ostarenog čistog papira.

Na takav način po starosti dobile bi se tri vrste otisaka: otisci na novom papiru, ostareni otisci novog papira i otisci otisnuti na ostarenom papiru.

Prije izvršenih denzitometrijskih i spektrofotometrijskih mjerenja, uzorci će se uskladištiti po standardnoj metodi (TAPPI T 1219sp-98). Denzitometrijska i spektrofotometrijska mjerenja izvršit će se spektrofotometrijskim uređajem X-rite SwotchBook, koji radi uz pomoć programa ColorShop 2.6. ColorShopom planira se izmjeriti slijedeće vrijednosti: svjetlina (L), kromatsko obojenje (a) i (b), gustoća obojenja (D), rastertonska vrijednost (RTV), relativni tiskarski kontrast (K_{rel}) i bjelina čistog papira.

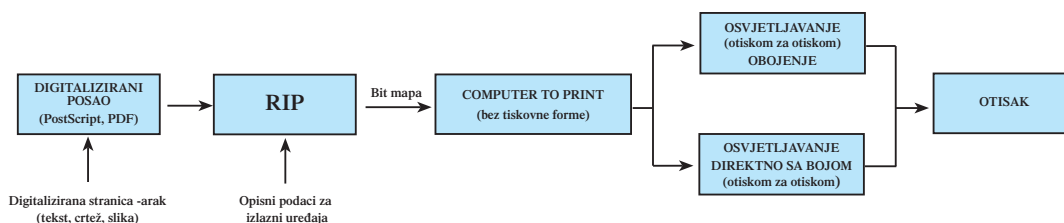
U ovom radu promatrat će se i promjene mehaničkih i optičkih svojstava papira koje su nastale procesom ubrzanog starenja. Za određivanje mehaničkih svojstava koristiti ću slijedeće metode (Golubović, A.; Malšić-Adamou I., 1983):

- otpornost papira na prskanje (po Dalenu)
- upojnost tiskovne podloge (po Cobbu)
- glatkoća papira (po Bendtsenu)
- broj dvostrukih savijanja papira
- otpornost na kidanje papira
- prostorna masa papira.

Na kraju se planira i vizualno ocjenjivanje otisaka, koju će izvršiti 24 ispitanika različitog spola i životne dobi. Sve izmjerene i proračunate vrijednosti novog i ostarenog papira prikazati će se histogramski.

3.2. Korišteni tiskarski strojevi i uređaji

Ovim radom ispituju se tiskarski sustavi koji organizacijom i načinom otiskivanja pripadaju tehnologiji “Computer to Print” odnosno “Computer to Press” (slika 28). Za funkcioniranje takvog sustava neophodno je računalo, koje PostScript zapis Raster Image Procesorom (RIP) pretvara u rastrirane obojene izvatke koji se mogu veoma brzo otisnuti. Karakteristični predstavnici takve tehnologije su elektrofotografija (Indigo E-print 1000+, Xerox DC 50) i Ink Jet (Epson 1200 photo)(Romano, F. J., 2000).



Slika 28. Organizacijska struktura Computer to Print tehnologije

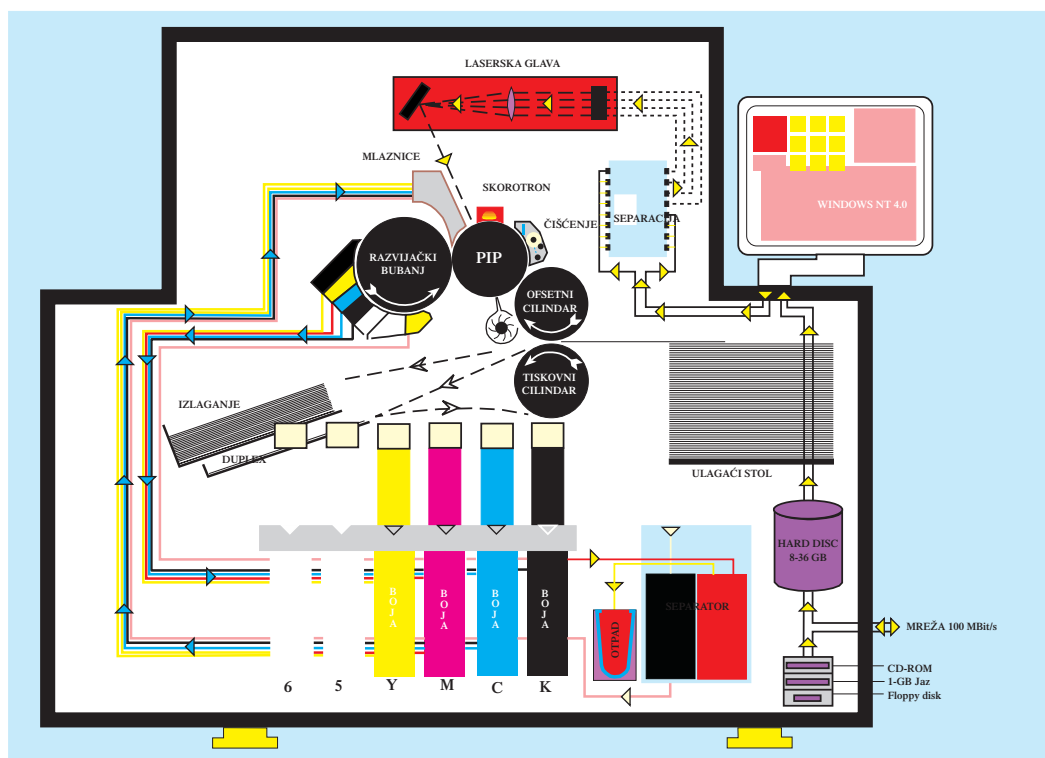
3.2. 1. Indigo E-print 1000+

Razvoj elektrofotografskog digitalnog stroja Indigo E-print, baziran je na otkriću tekuće boje Elektroinka i organske fotoosjetljive poluvodičke tiskovne folije. Svojim osnovnim karakteristikama (tablica 9) prvenstveno je namijenjen produkciji manjih višebojnih naklada i za personalizirani tisak.

Indigo E-print je standardni četverbojni tiskarski stroj (slika 29), koji može biti dodatno opremljen s dva uređaja za obojenje. Uređaji za obojenje ugrađeni su uz tiskovnu jedinicu, koja svojim dimenzijama ne zauzima veći prostor. Indigo u svojoj konstrukciji sadrži prijenosni cilindar, tako da svojim načinom otiskivanja spada u indirektno tehnike tiska. Instalacijom uređaja za preokretanje araka na Indigu je omogućeno i obostrano otiskivanje (Drennan, B., 1998).

Osnovni proces otiskivanja provodi se u slijedećih 7 faza:

1. Nabijanje organske poluvodičke ploče jednoličnim nabojem “Photo Image Plate” (PIP)
2. Selektivno osvjetljavanje PIPa s laserskom glavom
3. Nanašanje tekućeg bojila na PIP
4. Razvijanje tiskovne forme
5. Prvi prijenos bojila (na ofsetnu gumu)
6. Drugi prijenos bojila (na tiskovnu podlogu)
7. Čišćenje površine PIPa od zaostalog bojila



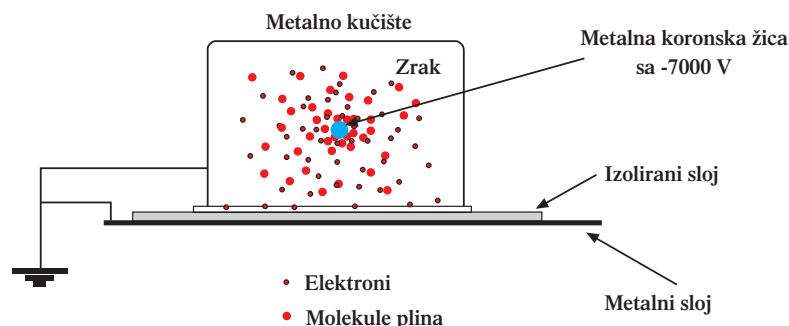
Slika 29. Shematski prikaz Indigo E-printa 1000+

Tablica 9. Osnovne karakteristike Indigo E-printa 1000+

| | |
|-----------------------------|---|
| Veličina slike | max. 308 x 437 mm |
| Veličina papira | max. 320 x 464 mm |
| Brzina tiska | 60 cm po sekundi |
| Produktivnost | 8000 jednobojnih A4 otisaka na sat 2000 četverbojnih A4 otisaka na sat |
| Rezulucija | 812 dpi |
| Protok podataka | 600 Mbit/sec |
| Ulazni formati | Adobe PostScript, PDF |
| Automatski obostrani otisak | |
| Procesor | SUN ultra 2 |
| CPU RAM | 2x 64 MB |
| Memorija oslikavanja | 128 MB |
| Hard disk | 4 GB |
| Umreženje | 100 Base-T |
| RIP | Adobe PostScript 2 |
| Vanjski uređaji | 15" monitor CD-ROM Floppy drive JAZ drive |
| Mogući dodaci | Automatsko preokretanje araka Elektronsko sabiranje Personalizacija Visoka definicija slike (HDI) IndiCrome 5 i 6 bojni tisak |

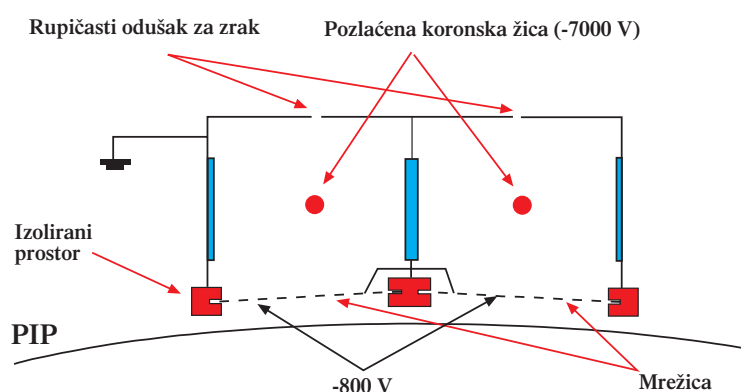
Nabijanje PIPa jednoličnim nabojim

Nabijanje PIPa vrši se sa skorotronom. Skorotron je uređaj koji u sredini kućišta ima koronsku žicu koja je pod permanentnim naponom od -7000 V (slika 30).



Slika 30. Shematski prikaz skorotrona

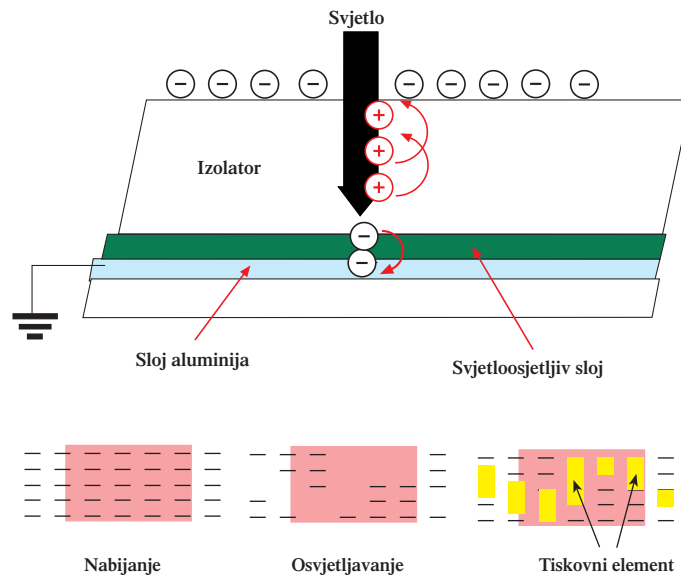
Iz koronske žice oslobađaju se elektroni, koji zajedno s molekulama zraka dolaze do mrežice. Elektroni prolaze kroz mrežicu i jednoliko nabijaju površini PIPa. Rezultat toga je nabijanje površine virtualne tiskovne forme naponom od -800 V (slika 31).



Slika 31. Princip rada skorotrona

Selektivno osvjetljavanje PIPa s laserskom glavom

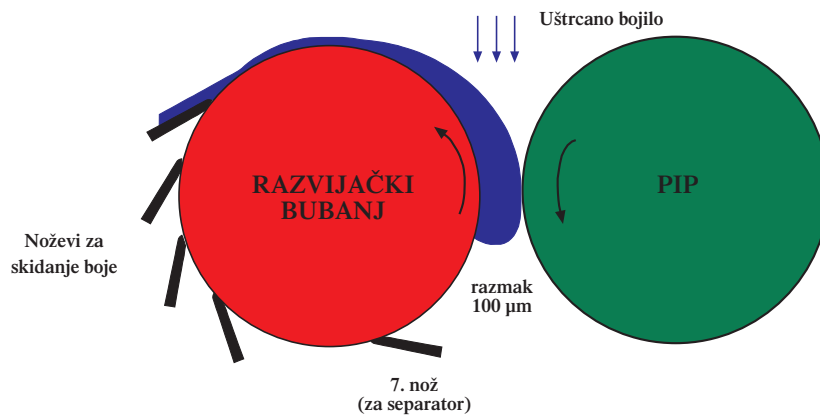
Zavisno o informacijama pripremljenog obojenog izvotka, laserska glava selektivno osvjetljava površinu PIPa. Na osvjetljenim mjestima dolazi do izbivanja negativnog naboja, čime ta mjesta postaju elektropozitivnija. Ovisno o snazi svjetlosti lasera moguće je na tiskovnoj formi postići različite potencijale (od minimalnih -800 V do maksimalnih -100 V). Tako se formira virtualna tiskovna forma, koja posjeduje osvjetljene tiskovne elemente i neosvjetljene slobodne površine (slika 32).



Slika 32. Princip osvjetljavanja i formiranja latentne tiskovne forme

Nanašanje tekućeg bojila na PIP

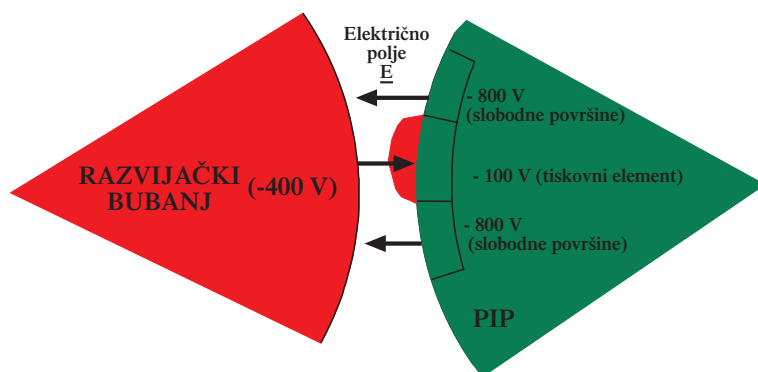
Nakon osvjetljavanja, iz spremnika se bojilo crpkom dovodi do mlaznica, koje nanose bojilo u prostor između tiskovne forme i razvijačkog bubnja (slika 33). Indigo E-print pri višebojnom otiskivanju koristi redosljed nanašanja bojila počevši od najsvjetlije prema najtamnijoj, tj redosljednom Y, M, C, K.



Slika 33. Princip nanašanja bojila na tiskovnu formu

Razvijanje tiskovne forme

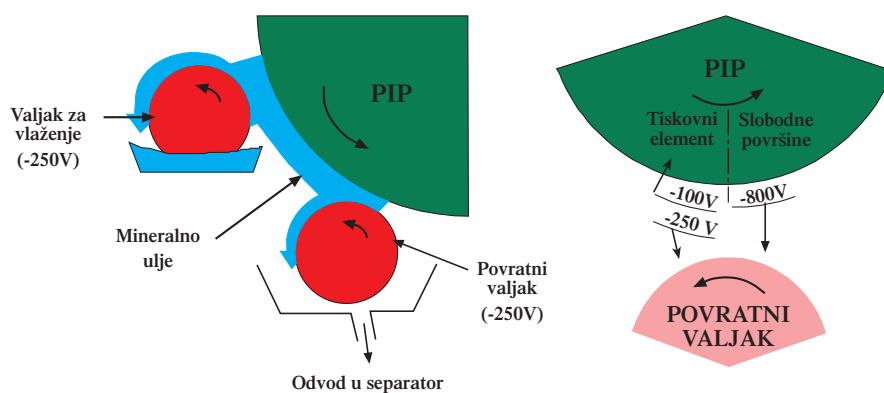
Napon na razvijačkom bubnju je oko -400 V . Bojilo koje se našlo u prostoru između razvijačkog bubnja i tiskovne forme ima tenziju usmjeravanja prema pozitivnijem naboju. To znači da će se bojilo sa slobodnih površina (-800 V) prenijeti na pozitivniji razvijački bubanj, dok će bojilo s tiskovnih elemenata (-100 V) ostati na tiskovnoj formi (slika 34).



Slika 34. Princip razvijanja bojila na tiskovnoj formi

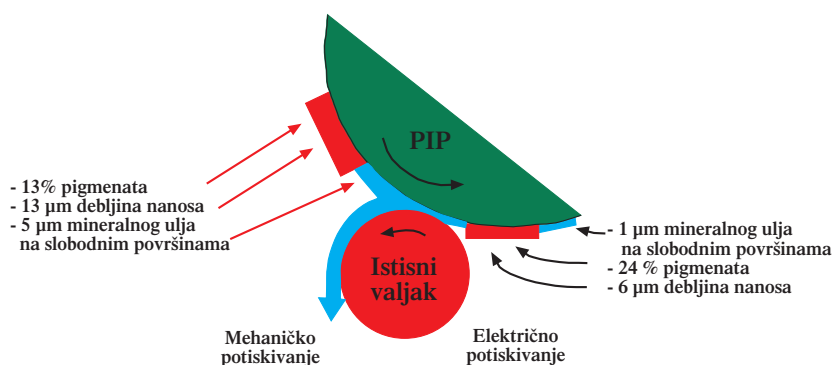
Razvijeno bojilo koje se našlo na površini razvijačkog bubnja, skida se u cijelosti čeličnim nožem, taloži u hvatačoj posudi i vraća u spremnik. Za izvođenje kompletnog četverbojnog otiskivanja sustav koristi 5 noževa i 5 komora. Četiri za osnovne procesne boje (Y, M, C, K) i dodatni peti nož za završno čišćenje bubnja za razvijanje.

Naneseno tekuće bojilo na tiskovnim elementima je nestabilno, pa često prokapljuje. Za sprječavanje takve pojave u tiskarskom stroju se nalaze dva valjka: valjak za nanašanje mineralnog ulja (-250 V) i valjak za povrat iskorištenog ulja u separator (-250 V) slika 35.



Slika 35. Dodatno razvijanje tiskovne forme

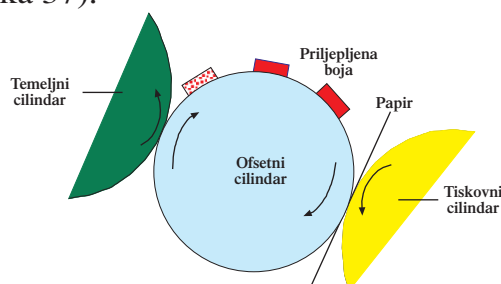
Nakon što valjak vrati mineralno ulje u separator, nanese sloj bojila se mehanički pritišće istisnim valjkom, i dodatno jednakopolnim nabojem (-1350 V) fiksira na PIP. Nanešeni sloj bojila u debljini 13 μm smanjuje se na 6 μm (slika 36).



Slika 36. Mehaničko pritiskanje istisnim valjkom

Prvi prijenos bojila (na ofsetnu gumu)

Ofsetni je cilindar tijekom otiskivanja pod naponom od 500V. Na cilindar je zalijepljena specijalna gumena navlaka koja dobro provodi struju. Tekuće se bojilo s tiskovne forme prenosi na pozitivniji ofsetni cilindar. Površina gumenog cilindra je zagrijana na temperaturu oko 140° C, što djeluje na nanese tekuće bojilo. Na zagrijanoj gumi dolazi do isparavanja mineralnog ulja i termopolimerizacije između pigmentnih čestica. Bojilo u tom momentu prestaje biti tekućina i postaje gusta pastasta masa, viskozitetom veoma slična ofsetnom bojilu (slika 37).



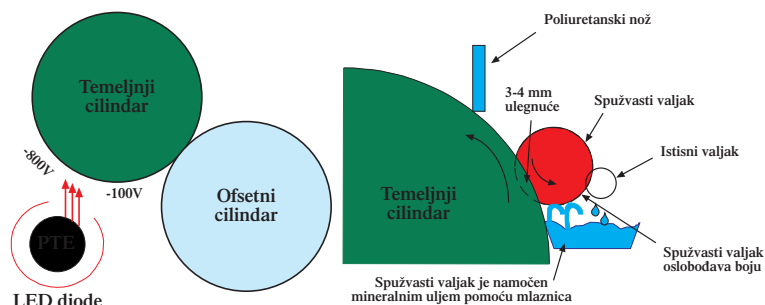
Slika 37. Transfer boje; tiskovne forme - ofsetnu gumu - papir

Drugi prijenos bojila (na tiskovnu podlogu)

Ulagaći aparat tipa universal ulaže arak papira u tiskarsku jedinicu i predaje ga hvataljkama tiskovnog cilindra. Papir se na tiskovnom cilindru pritišće uz ofsetni cilindar, pri čemu se bojilo u potpunosti prenosi i skrućuje. Kod četverbojnog otiskivanja gore opisani ciklus se ponavlja za sve četiri boje (YMCK), te na kraju hvataljke tiskovnog cilindra otpuštaju otisnuti arak i on se izlaže u izlagaću ladicu.

Čišćenje površine PIPa od zaostataka bojila

Poslije otiskivanja potrebno je očistiti površinu virtualne tiskovne forme. Čišćenje se provodi na dva načina: električki (osvjetljavanjem LED diodama) i mehanički (jedinicom za čišćenje) slika 38.

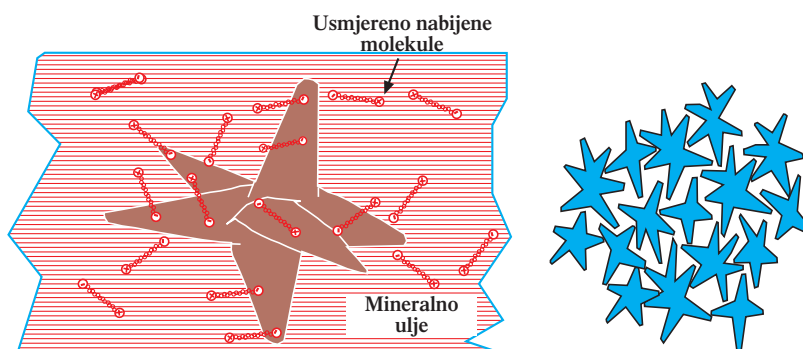


Slika 38. Elektronsko i mehaničko čišćenje tiskovne forme

Osvjetljavanje tiskovne forme s LED diodama, u potpunosti rezultira sa brisanjem svih naboja na tiskovnoj formi. Mehaničkim čišćenjem na PIPu se prvo spužvastim valjkom nanese tanak sloj mineralnog ulja, koji se kasnije ukloni gumenim rakelom. Zajedno sa mineralnim uljem uklanjaju se i mogući ostaci boje.

3.2. 1.1. ElectroInk

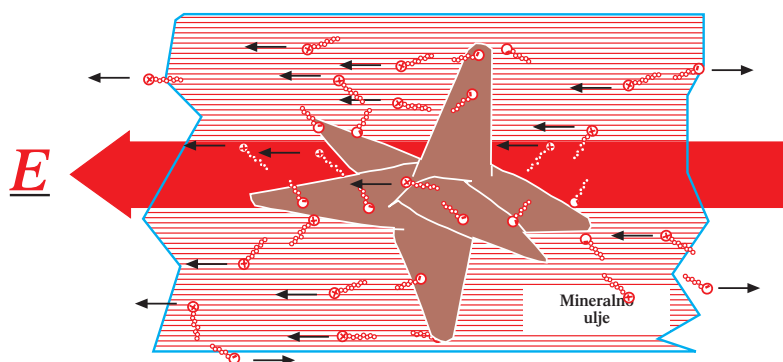
ElectroInk je tekuće bojilo dinamičkog koeficijenta viskoznosti $\eta = 15 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Bojilo je emulzija koja se sastoji od: monomerne pigmentne paste (oko 5 %), mineralnog ulja određenih frakcija (oko 95%), i agensa za povećavanje elektrovodljivosti. Pigmentne su čestice u monomernoj pasti zvjezdastog oblika, i veličina im se kreće između 1 i 2 μm (slika 39).



Slika 39. Pripremljeno Electroink bojilo i struktura pigmentata

Agensi za povećavanje vodljivosti su polarne molekule, koje su fino raspršene u bojilu, i svojim negativnim polom se povezuju sa zvjezdastim pigmentima (slika 40).

Kada se virtualna tiskovna forma osvjetli, manje negativno nabijeni (-100V) tiskovni elementi lakše prihvaćaju negativno nabijene molekule elektroinka, nego jače negativno nabijene (-800 V) slobodne površine. Posljedica toga je grupiranje bojila na tiskovnim elementima, dok slobodne površine ostaju praktično neobojene. Ukupni nanos bojila na formi je oko 13 μm (Chatow, C.; Udi C, 2001).



Slika 40. Struktura Electroink bojila zajedno sa zvjezdastim pigmentima

3.2. 2. Xerox DocuColor 50

Xerox je danas vodeći proizvođač digitalne tiskarske opreme, te u svom proizvodnom programu nudi čitav niz proizvoda. Konceptija tvrtke je bazirana na proizvodnji specijaliziranih tiskarskih strojeva koji su cijenom, brojem otisnutih boja, nakladom, formatom i brzinom pogodni za proizvodnju određenog tipa grafičkog proizvoda (Takiguchi T.; Kooichi H, 1993).

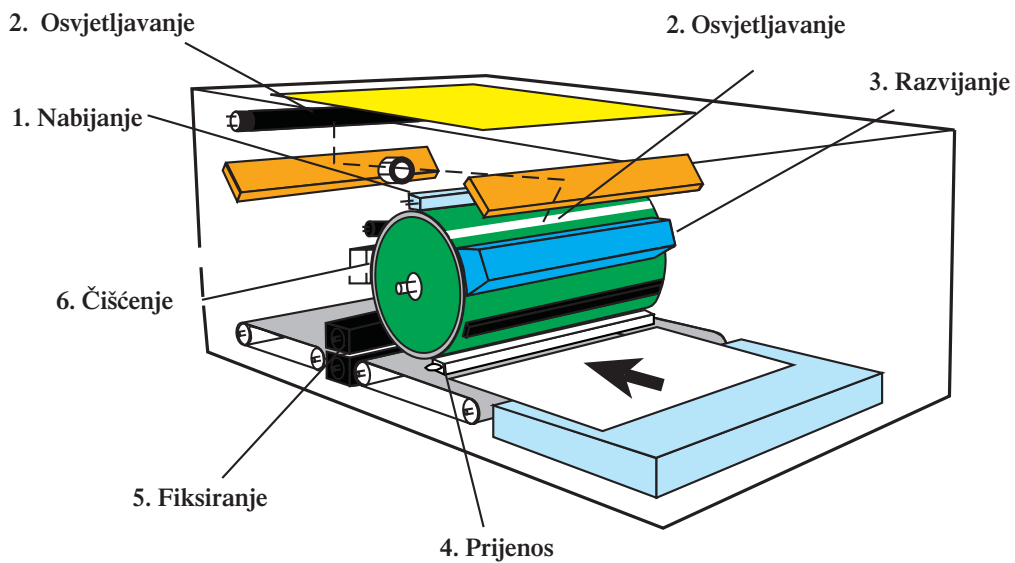
Xerox DC 50 je tiskarski stroj koji radi principom Xerografije (slika 41). Svojim osnovnim karakteristikama (tablica 10) i laganim korištenjem, namijenjen je uredima i manjim tiskarama koje imaju potrebu višebojnog otiskivanja u nižim nakladama.

Načinom otiskivanja Xerox DC 50 spada u strojeve s direktnim načinom otiskivanja, što znači da se četverbojna satelitska tiskovna jedinica sastoji od većeg temeljnog i manjeg tiskovnog cilindra. Uređaj za obojenje smješten je uz temeljni cilindar, i pri tisku se selektivno uključuje. Proces otiskivanja provodi se u 6 faza (Nothmann, A. G., 1989):

1. Nabijanje tiskovne forme
2. Osvjetljavanje tiskovne forme
3. Obojavanje tiskovne forme tonerom
4. Prijenos tonera na tiskovnu podlogu
5. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi
6. Čišćenje tiskovne forme od ostataka tonera.

Tablica 10. Osnovne karakteristike Xerox DC 50

| | |
|-----------------------------|---|
| Veličina slike | max. 308 x 437 mm |
| Veličina papira | max. 320 x 450 mm |
| Brzina tiska | 55 cm po sekundi |
| Produktivnost | 6000 jednobojnih A4 otisaka na sat 1500 četverbojnih A4 otisaka na sat |
| Rezolucija | 600 dpi |
| Protok podataka | 600 Mbit/sec |
| Ulazni formati | Adobe PostScript, PDF |
| Automatski obostrani otisak | |
| Procesor | PC Pentium III |
| CPU RAM | 512 MB |
| Memorija oslikavanja | 128 MB |
| Hard disk | |
| Umreženje | 100 Base-T |
| RIP | Adobe PostScript 2 |
| Vanjski uređaji | Scanner |
| | CD-ROM |
| Mogući dodaci | Automatsko preokretanje araka Elektronsko sabiranje |

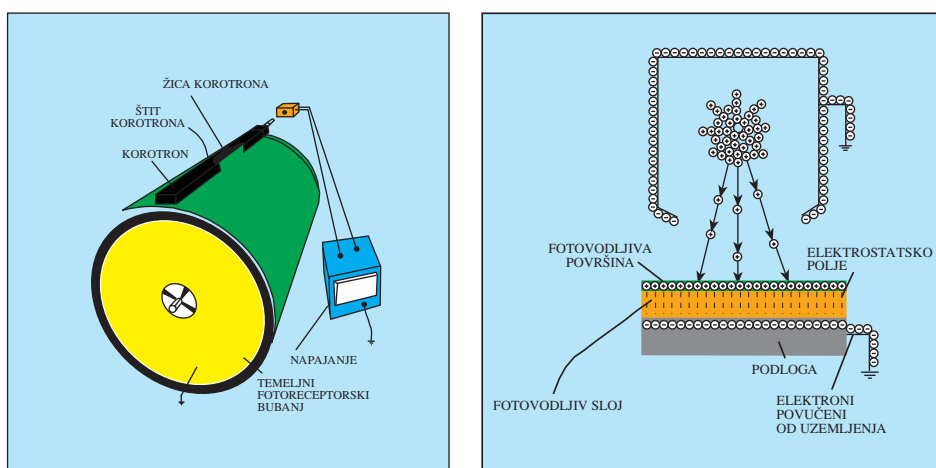


Slika 41. Princip rada tiskarskog stroja Xerox DC 50

Nabijanje tiskovne forme

U Xerografiji se nabijanje provodi pomoću korotrona, koji je smješten iznad fotoosjetljivog temeljnog cilindra. Korotron se sastoji od uzemljenog kućišta i korotronske žice, koja je direktno spojena s napajanjem. Kada se napajanje korotronske žice uključi, čestice pozitivnog naboja se usmjeravaju prema negativnijem kućištu, gdje prolazeći kroz otvor dolaze na površinu bubnja.

Oplošje xerografskog selenskog bubnja (slika 42) sastoji se od: nosećeg sloja, oksidnog sloja, fotovodljivog sloja i pokrivnog zaštitnog sloja. Oslobođene pozitivno nabijene čestice udaraju na površinu fotovodljivog arsen selenida (As_2Se_3), čime ga jednolično pozitivno nabijaju (Lutz, M, 1995).

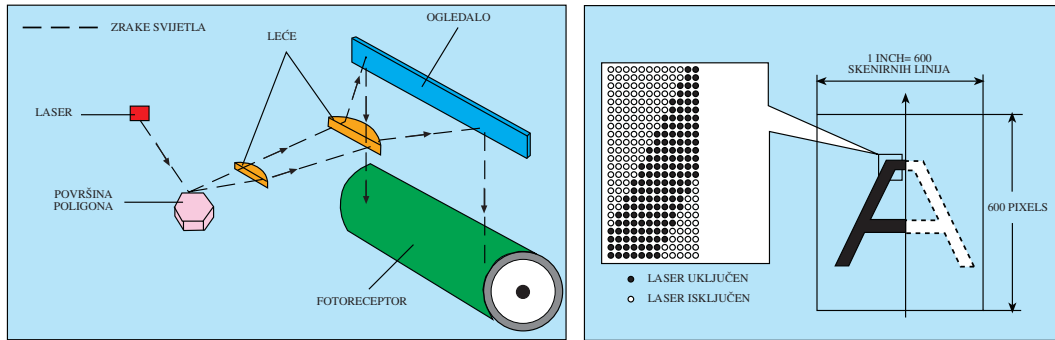


Slika 42. Sastav i princip rada korotrona

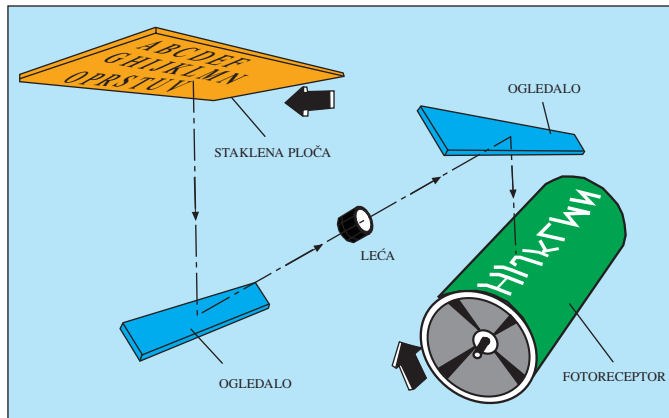
Osvjetljavanje tiskovne forme

Na tiskarskom stroju Xerox DC 50, moguće je vršiti oslikavanje pomoću laserskog izvora svjetla i ksenonskog skenerskog izvora svjetla. Princip rada s laserom primjenjuje se kod poslova koji su u digitaliziranom obliku (PostScript, PDF, EPS, TIFF). Ovisno o adresi (poziciji) tiskovnog elementa laser selektivno osvjetljava i formira virtualnu tiskovnu formu (slika 43).

Princip fotokopiranja funkcioniра tako da se original izlaže ksenonskom svjetlosnom izvoru. Osvjetljene slobodne površine (svjetla područja) sa staklene ploče se sustavom zrcala i leća prenose na površinu fotoosjetljivog selenskog sloja, stvarajući na njemu virtualnu tiskovnu formu (slika 44).

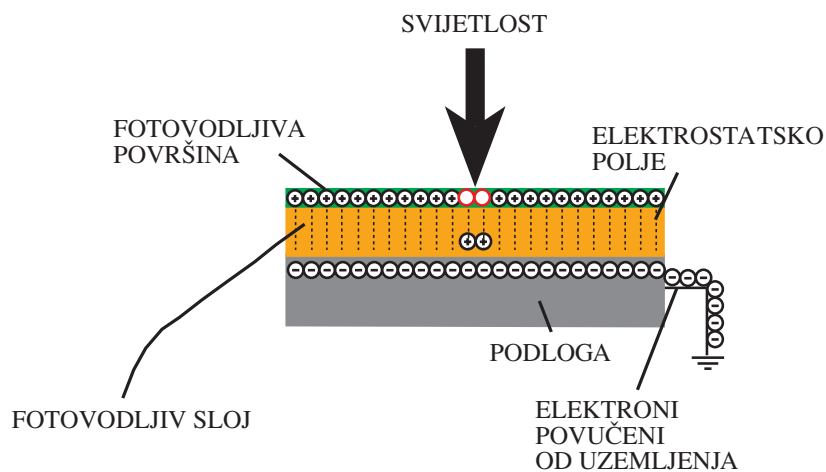


Slika 43. Princip laserskog osvjetljavanja i formiranje virtualne TF



Slika 44. Princip osvjetljavanja ksenonskom lampom

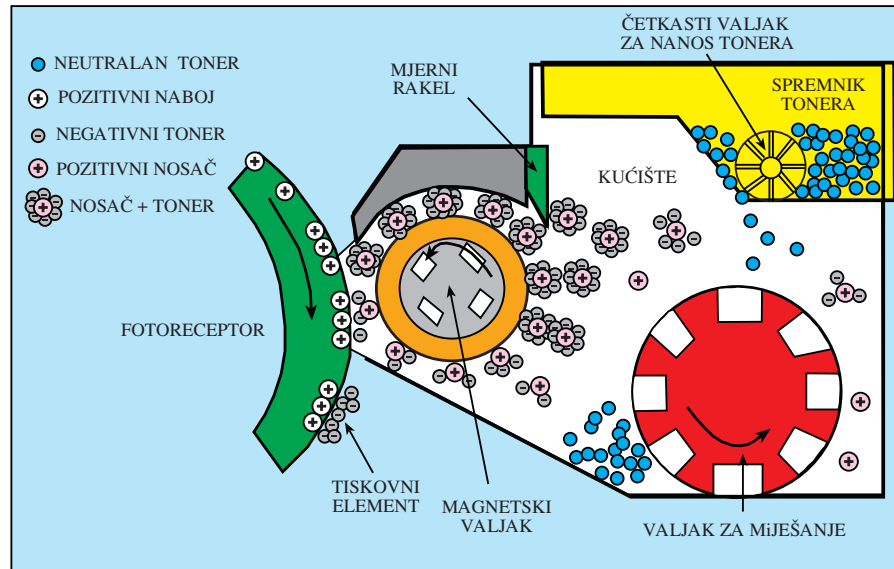
Ovisno o intezitetu osvjetljavanja, pozitivno nabijene površine fotovodljivog bubnja se više ili manje izbijaju, te tako postaju manje pozitivne odnosno neutralne. Formirana elektropozitivna područja pri otiskivanju su tiskovni elementi, dok su izbijena područja slobodne površine (slika 45).



Slika 45. Princip formiranja virtualne tiskovne forme

Obojenje (razvijanje) tiskovne forme

Uređaj za se obojenje sastoji od: kućišta, spremnika, četkastog valjka, valjka za miješanje, magnetskog valjka i mjernog rakela (slika 46).

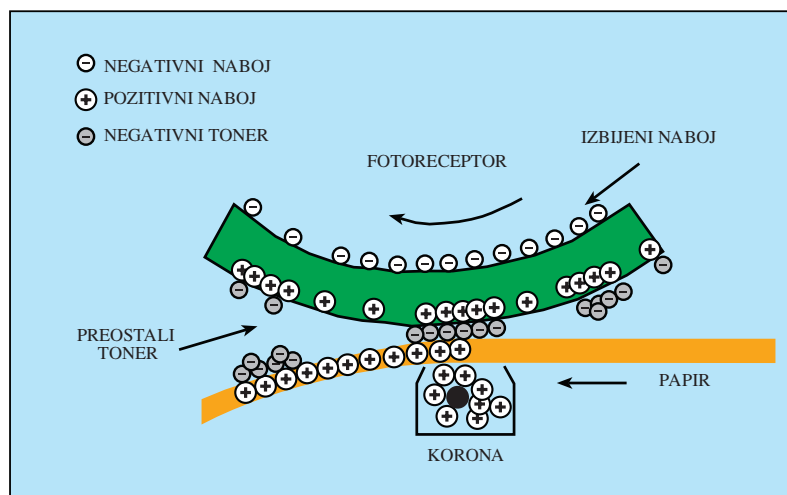


Slika 46. Princip razvijanja tonera i nanašanja na TF.

Toner se iz spremnika četkastim valjkom ubacuje u kućište uređaja za obojenje, gdje se miješa zajedno sa pozitivno nabijenim česticama nosioca. Negativno nabijen toner se prima za pozitivnije nosioce, i zajedno se nanašaju na magnetski valjak. Magnetski valjak je smješten tik uz virtualnu tiskovnu formu, tako da sa njegove površine samo čestice negativnog tonera prelaze na pozitivno nabijene tiskovne elemente. Takvim načinom tiskovna forma prestaje biti virtualna i postaje vizualno vidljiva (razvijena). Razmak između mjernog rakela i magnetskog valjka, određuje količinu tonera na tiskovnoj formi. Po završenom razvijanju oslobođeni pozitivni nosioci vraćaju se u kućište i prihvaćaju novopristigle slobodne čestice tonera.

Prijenos tonera na tiskovnu podlogu

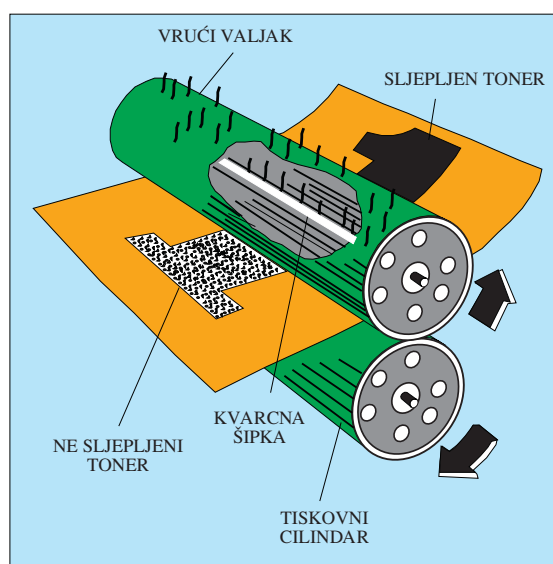
Istovremeno s procesom obojenja, vrši se ulaganje papira iz ulagaće ladice. Neposredno prije otiskivanja papirna površina se koronom pozitivno nabija, što omogućuje bolji prijenos negativnog tonera s tiskovne forme na tiskovnu podlogu (slika 47).



Slika 47. Transfer tonera sa TF na tiskovnu podlogu

Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi

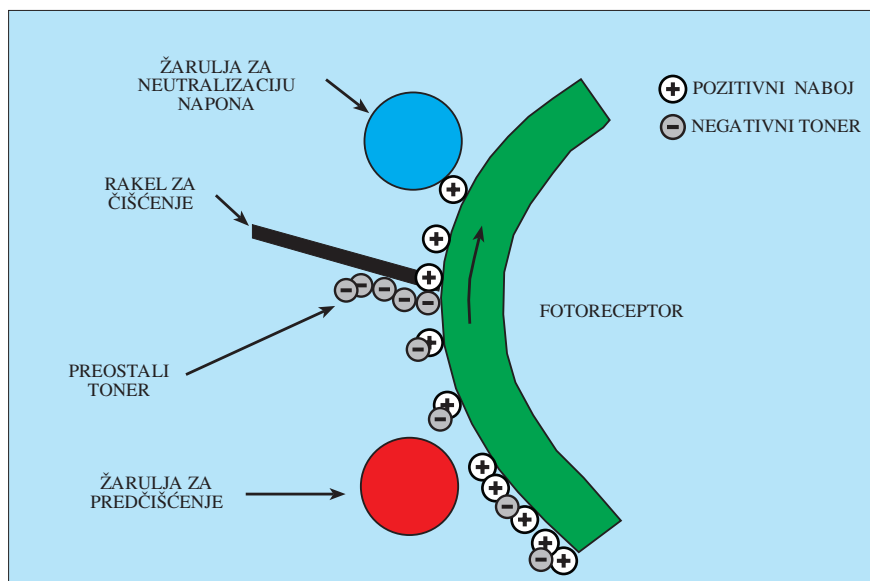
Nanesene čestice tonera na površini papira su još nestabilne, te se mogu veoma lako ukloniti. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi provodi se fuzerom, koji se sastoji od zagrijanog valjaka i tiskovnog cilindra (slika 48). Izvor topline je kvarcna šipka, koja na površini valjka stvara temperaturu od 160° C. Pri visokoj temperaturi čestice tonera se tale i fiksiraju na površini papira. Za sprječavanje eventualnih ostataka čestica tonera na fuzeru, površina zagrijanog valjaka se premazuje mineralnim uljem koje daje glatkoću i sjaj. Otisak se na kraju mehanički čisti četkastim valjkom.



Slika 48. Fiksiranje tonera na tiskovnoj podlozi

Čišćenje tiskovne forme od ostataka tonera.

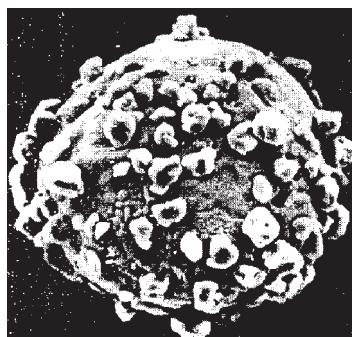
Nakon otiskivanja, eventualni ostaci tonera i naboja moraju se ukloniti sa tiskovne forme. Jedinica za čišćenje (slika 49) konstruirana je tako da se definiranim svjetlom prvo uklone svi elektrostatski naboji. Nakon toga se ostaci tonera mehanički skidaju uz pomoć gumenog rakela. Na kraju se očišćena tiskovna forma osvjetljava lampom za neutralizaciju, čime se stvaraju preduvjeti za izvođenje novog ciklusa nabijanja i otiskivanja.



Slika 49. Čišćenje površine tiskovne forme

3.2.2.1 Praškasti toneri

Xerox DC 50 koristi pri otiskivanju dvokomponentni toner. On se sastoji od praškastog djela (polimer i pigment promjera 6-8 μm) i nosioca (željezni-oksidi promjera 80 μm) (slika 50).



Slika 50. Dvokomponentni toner za elektrofotografiju

Bojilo se neposredno prije tiska priprema u razvijačkoj jedinici, gdje se čestice nosioca spajaju s česticama polimera i tonera. U kontaktu s virtualnom tiskovnom formom čestice pigmenta odvajaju se od nosilaca i prelaze na pozitivnije tiskovne elemente. Želježno-oksadni nosilac se vraća u razvijačku jedinicu i na sebe veže novo pristigle pigmente (Flagan, A.,1998).

Fiksiranje čestica pigmenta za tiskovnu podlogu vrši se pri pritisku zagrijanog valjka, pri čemu se čestice tonera tale te takve vežu za tiskovnu podlogu. Debljina nanosa bojila kod ovakvog tiska kreće se između 5 i 10 µm.

3.2. 3. Epson photo 1200

Epson photo 1200 je Ink Jet pisač fotografske kvalitete ispisa, koji pri radu primjenjuje piezo tehnologiju. Svojim karakteristikama (tablica 11) prvenstveno je namijenjen probnom kolornom otiskivanju, pri čemu se preporuča korištenje specijalnih tiskarskih podloga. Ink Jet piezo tehnologija ispisa formira kapljice na zahtjev, tako da takvi pisači imaju nisku produktivnost i izvrsnu kakvoću ispisa (Johnson, J.L.,1998).

Tablica 11. Osnovne karakteristike Epsona 1200 photo

| | |
|----------------------------|--|
| Veličina slike | max. 324 x 476 mm |
| Veličina papira | max. 330 x 482 mm |
| Brzina višebojnog otiska | slika 203 x 254 mm = 120 s slika 101 x 2152 mm = 60 s |
| Rezolucija | 1440 x 720 dpi |
| Kapacitet buffera | 128 KB |
| Printerski jezik | Epson ESC/P2, IBM X24E |
| Princip rada | kapljanje na zahtjev, piezo tehnologija |
| Ispisna glava | 48 mlaznica x 6 (C, c, M, m, Y, K) |
| Veličina formirane točkice | 6 pl |
| Dimenzije pisača | 579 x 289 x 175 mm |
| Kapacitet spremnika papira | 100 araka papira (80 g/m ²) |
| Buka | 47 dB |
| Ulazni priključak | USB |

Pisač Epson 1200 (slika 51) veoma je jednostavne konstrukcije, koja se sastoji od:



1. ulagaćeg valjka s rolicama
2. ulagaće ladice
3. piezo ispisne glave
4. izlagaće ladice
5. kućišta.

Slika 51. Osnovni djelovi pisača Epson 1200 photo

Ulagaća ladica

Kosa ulagaća ladica je dimenzija 330 x 482 mm. S desne strane ima ugrađeno ravnalo koje osigurava precizno ulaganje i manjih formata papira. Kapacitet ulagaće ladice je 100 araka gramature 80g/m² ili 30 standardnih kuverata tipa american.

Ulagaci valjak s rolicama

Podizanjem plastičnih ulagaćih poluga, arak papira sklizne u prostor između ulagaćeg valjka i ulagaćih rolica. Jednoličnom rotacijom rolica i ulagaćeg valjka arak papira prolazi ispod ispisne glave. Ulagaci valjak napravljen je od antikorozivnog čelika, čija je površinu oslojena hrapavim plastičnim zaštitnim slojem.

Piezo ispisna glava

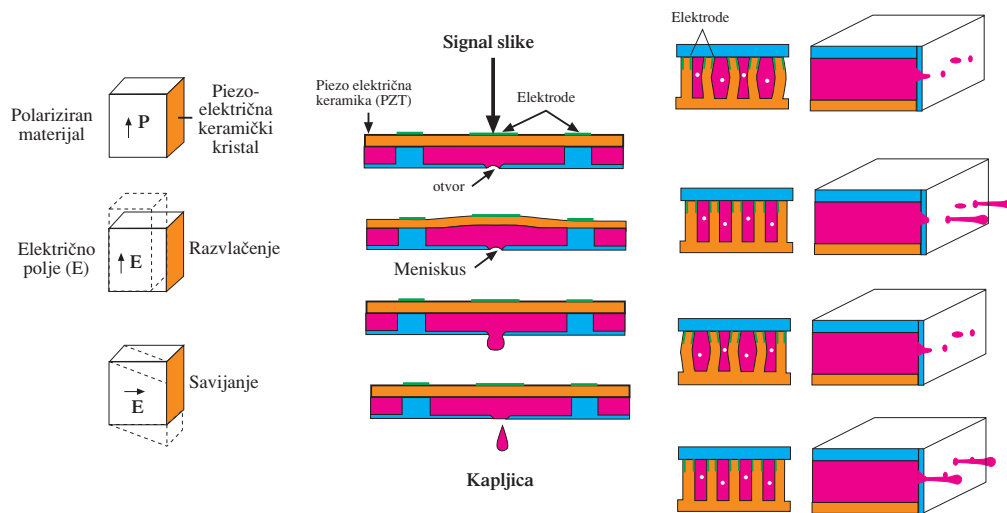
Piezo ispisna glava je najvažniji dio pisača, te o njoj ovisi kvaliteta ispisa. Na ispisnoj glavi nalaze se dva spremišta za kartuše:

- veći (5 x 13 ml) namijenjen smještaju šarenih boja (C, c, M, m, Y) i
- manji (1 x 25 ml) za crnu boju.

U kartušama se nalazi bojilo u tekućem agregatnom stanju. Sve kartuše su direktno spojene sa piezo ispisnom glavom. Piezo Ink Jet tehnologija formira kapljice na zahtjev, što znači da pri ispisu jedne boje ispisna glava koristi 48 mlaznica (sve ukupno 6 x 48), pri čemu svaka mlaznica može formirati kapljicu veličine 6 pl.

Piezo ispisna glava sastoji se od komora čije su stjenke građene od piezo električnih kristala. Uz svaku kristalnu pločicu smještena je i elektroda, koja selektivno provodi napon ovisno o podacima dobivenim iz računala. Pri uključivanju elektrode piezo kristal se pomiče (deformira), pri čemu se u ispisnoj komori mijenja volumen i tlak (slika 52). Većim naponom ostvaruje se veća deformacija piezo kristala, što rezultira povećanjem volumena ispisne komore. Prekidom električnog polja, piezo kristal vraća se u normalu i pritom se iz komore oslogađa kapljica.

Veća brzina rada ovakve tehnologije omogućena je se dvotaktnim načinom otiskivanja. Takav princip neizmjenično koristi parne i neparne ispisne komore, tj u prvom taktu samo neparne a u drugom taktu samo parne mlaznice. Tijekom otiskivanja ispisna glava se konstantno aksijalno pomiče lijevo-desno, za što je zadužen zupčasti remenski prijenos.



Slika 52. Princip rada piezo električnog Ink Jeta

Kućište

Kućište Epson pisača 1200 photo jednostavnog je izgleda. Rađeno je od tvrde plastike, i osnovnih je dimenzija 578 mm x 289 mm x 175 mm (dužina, širina, visina). Svojim malim volumenom može se smjestiti u gotovo svaki radni prostor, što je pogodno za stolno izdavaštvo.

Izlagaća ladica

Po završetku ispisivanja, otisak se izlaže na horizontalnu preklopnu izlagaću ladicu. Kapacitet takve ladice je skroman i iznosi svega 30 araka 80 g/m² papira.

3.2.3.1. Tekuće Ink Jet bojilo

Ink Jet uređaji koji rade principom piezo tehnologije, koriste rijetka bojila dinamičke viskoznosti (η) između 1 i 10 mPa·s. Takva bojila se sastoje od: nositelja obojenja (obojena tekućina i fini pigmenti), i organskog otapala. Naneseno tekuće bojilo na tiskovnoj podlozi je u debljini od 0,5 μm , i suši se apsorpcijom i hlapljenjem.

Za postizanje visoke kvalitete reprodukcije u piezo Ink Jetu, potrebno je koristiti specijalne papirne podloge. One posjeduju veću površinsku kapilarnu upojnost, pri čemu se izbjegava efekt “površinskog mrljanja” (negativno horinzotalno širenje bojila na površini papira). Nedostaci Ink Jet otiska mogu se uočiti u nedovoljnoj otpornosti na svjetlo, vlagu i temperaturu (Nilsson J,1993.).

3.2. 4. Mikroklimatska komora

Mikroklimatska komora VUK 08/500 (slika 53), njemačkog proizvođača Heraeus Votsch, pogodna je za simuliranje okoline za klimatska ispitivanja od +10°C do +90°C i relativnu vlažnost od 10% do 98%. U komori je moguća i simulacija starenja u temperaturnom području od -80°C do +180°C.



Slika 53. Hidrometerološka komora VUK 08/500

S ugrađenim programatorom tipa PVMC moguće je u komori ciklički mijenjati temperaturu i vlagu. Programsko upravljanje temperaturom i relativnom vlažnosti zraka sastoji se od dva elektronska 3-točkasta regulatora s uključenim mjernim osjetilom Pt 100 DIN 43760, klase B. Namještanje

željenih vrijednosti, te njihov prikaz je digitaliziran. Mjerenje i regulacija relativne vlažnosti u komori provodi se psihometrijskim principom. U sustav je ugrađen i brojač radnih sati. Kretanje stvarnih klimatskih uvijeta moguće je pratiti ispisom dvobojnog pisača. Dvije grafitne olovke osjetljive na temperaturu i relativnu vlažnost konstantno ispisuju vrijednosti na skalama označenih papira. Tehnički podaci komore dani su u tablici 12.

Tablica 12. Osnovne karakteristike hidrometerološke komore VUK 08/500

| | |
|---|---|
| Temperaturno područje | od -80°C do +180°C |
| Vremenska stalnost temp. | ± 1,0°C kod direktnog temperiranja ± 0,3°C u klima području |
| Klima područje | t= +10°C do 90°C |
| | U= 10% do 98% rel. vlažnosti td= +5°C do 89,5°C |
| Točnost održ. rosišta | ± 0,5°C=±3 do 5% rel. vlažnosti |
| Kućište | galvansko pocinčan čelični lim |
| Veličina kućišta | B=1060 mm, T=1900 mm, H=1950 mm |
| Iziliranje | sa dvoslojnom parnom mebranom |
| Prostor za ispitivanje | Oplemenjeni čelik 1.4301 |
| Dimenzije ispitnog prostora | B= 750 mm, T= 880 mm, H= 765 mm |
| Volumen ispitnog prostora | 505 l |
| Dovod zraka | na zadnjoj strani montiran ventilator |
| Vrata | izvana galvanski pocinčan lim, a iznutra oplemenjeni čelik 1.4301 |
| Prozor | 400 x 400 s ugrađenim grijanjem |
| Osvjetljenje | Ugrađeno u prostor za ispitivanje |
| Klima sistem | BE 15 |
| Hladnjak | Zračno stepenasto hlađenje 1,1/1,1 kW |
| Težina | oko 680 kg neto |
| Električni priključci | Napon: 380 V±5%, 3/N 50 Hz Nazivna snaga: 8,5 kW Nazivna struja: 17,5 A |
| Cijevni provrt | φ 50 mm u lijevoj strani zida |
| Brzina zagrijavanja u sredini | |
| od t _{min} do t _{max} | oko 1,5° C/min |
| Brzina hlađenja u sredini | |
| od t _{max} | do -75° C |
| Toplinska kompezacija | +20° C približno 1600 W - 20° C približno 800 W - 80° C približno 50 W |

3.2. 5. Spektrofotometar

Spektrofotometar X-rate SwachBook (slika 54) je laboratorijski spektrofotometrijski uređaj kojim je moguće precizno odrediti obojenje. Samostalno uređaj nije sposoban za rad, već ga je potrebno spojiti na računalo. Veza korisnika i uređaja ostvarena je pomoću aplikacije ColorShop 2.6, kojom je moguću izvesti slijedeća mjerenja: gustoće obojenja statusom A, gustoće obojenja statusom E, gustoće obojenja statusom M, gustoće obojenja statusom T, RTVa, Lab, XYZ, xyY, LCh, Luv, RGB, PANTONE uzoraka, razlika između uzoraka, spektralne refleksije i spektralne transmisije. Osnovne karakteristike X-rite spektrofotometra dane su u tablici 13.



Slika 54. X-rite SwatchBook

Tablica 13. Osnovne karakteristike Spektrofotometra X-rite Swatch book

| | |
|--------------------------------|---|
| Točnost | <1 Δ E max., <5 prosjek |
| Spektralni senzor | DRS tehnologija |
| Spektralni opseg mjerenja | 400 - 700 nm |
| Ponovljivost | 0,2 Δ E max |
| Brzina mjerenja | 2 s po mjerenju |
| Interno instrumentsko slaganje | <1 Δ E max., <0,5 prosjek |
| Mjerna geometrija | 45% ANSI i ISO standard |
| Izlaz | 31 točka spektralnih podataka, kolorimetrijski podaci statusa (T, I, A i E) |
| Dimenzije / masa | 6,9 x 7,6 x 13,7 cm / 340 g |
| Izvor svjetlosti | A, C, D ₅₀ , D ₅₅ , D ₆₅ , D ₇₅ , F ₂ , F ₇ , F ₁₁ , F ₁₂ |
| Kut promatranja po CIE | 2°, 10° |
| Mjerni zaslon | 4 mm |

3.3. Korišteni materijali

3.3.1. Papir za umjetnički tisak

Papir Symbol freeliflife gloss (tablica 14) spada u skupinu papira za umjetnički tisak, i talijanskog je proizvođača Fedrigoni. On je obostrano premazan papir i sadrži: 50% čiste bezdrvene pulpe, 40% korištenih recikliranih vlakana i 10% pročišćenih recikliranih vlakana.

Specifičnost proizvodnje ovog papira je u tzv. neutralnoj pH vrijednosti papirnog vodenog ekstrakta. Ovaj papir nosi oznaku ISO 9706 (otporan na starenje), što znači da se u gotovoj pulpi sveukupna pH vrijednost komponenata kreće između 7,5 i 10 pH. Papir posjeduje i oznaku ECF (Elemental Chlorine Free), što govori o niskom udjelu klora za izbjeljivanje (ispod 0,6 kg/T).

Tablica 14. Osnovne karakteristike papira za umjetnički tisak "Symbola free life gloss"

| Parametri | Jedinica | Metoda | Vrijednost | Tolerancije |
|-----------|------------------|----------|----------------------|-------------|
| Gramatura | g/m ² | ISO 536 | 110 g/m ² | ± 4% |
| Debljina | mm | ISO 534 | 0,098 mm | ± 8 % |
| Bjelina | % | ISO 2470 | 95 | ±2 % |

3.3.2. Bezdrveni naravni papir

Papir Arcoprint E.W. je 100% bezdrveni nepremazani ofsetni papir također proizveden u tvornici papira Fedrigoni. Arcoprint je kao i Symbol ekološki prihvatljiv papir, koji posjeduje neutralnu pH vrijednost celuloznih vlakana i koncentraciju klornih derivata ispod 0,6 kg/T. Arcoprint posjeduje i dodatni certifikat CE 94/62 kojim se garantira niska koncentracija teških metala (kadmija, kroma, žive i olova) u papiru. Oznaka E.W. u nazivu papira definira i visoki stupanj bjeline (tablica 15).

Tablica 15. Osnovne karakteristike naravnog papira "Arcoprinta E.W."

| Parametri | Jedinica | Metoda | Vrijednost | Tolerancije |
|-----------|------------------|----------|----------------------|-------------|
| Gramatura | g/m ² | ISO 536 | 100 g/m ² | ± 4% |
| Debljina | mm | ISO 534 | 0,120 mm | ± 8 % |
| Bjelina | % | ISO 2470 | 94 | ±2 % |

3.3.3. Reciklirani papir

Korišteni reciklirani papir je hrvatskog proizvođača PANa iz Zagreba. Osnovna sirovina za proizvodnju papira je stari otpadni papir čiji udio se kreće oko 85%. Takvom papiru se u procesu proizvodnje dodaju 14% punila i 0,5% keljiva. Karakteristike PAN papira dane su u tablici 16.

Tablica 16. Osnovne karakteristike PAN recikliranog papira

| Parametri | Jedinica | Metoda | Vrijednost | Tolerancije |
|-----------|------------------|----------|---------------------|-------------|
| Gramatura | g/m ² | ISO 536 | 80 g/m ² | ± 6% |
| Debljina | mm | ISO 534 | 0,110 mm | ± 10 % |
| Bjelina | % | ISO 2470 | 86 | ±4 % |

4. Rezultati istraživanja

Za potrebe ovog rada nužno je izvršavanje ubrzanog starenja u mikroklimatskoj komori VUK 08/500. Klimatski uvjeti pod kojima je starenje provedeno su: temperatura zraka 80° C, relativna vlažnost zraka 65% i trajanje procesa 24 dana.

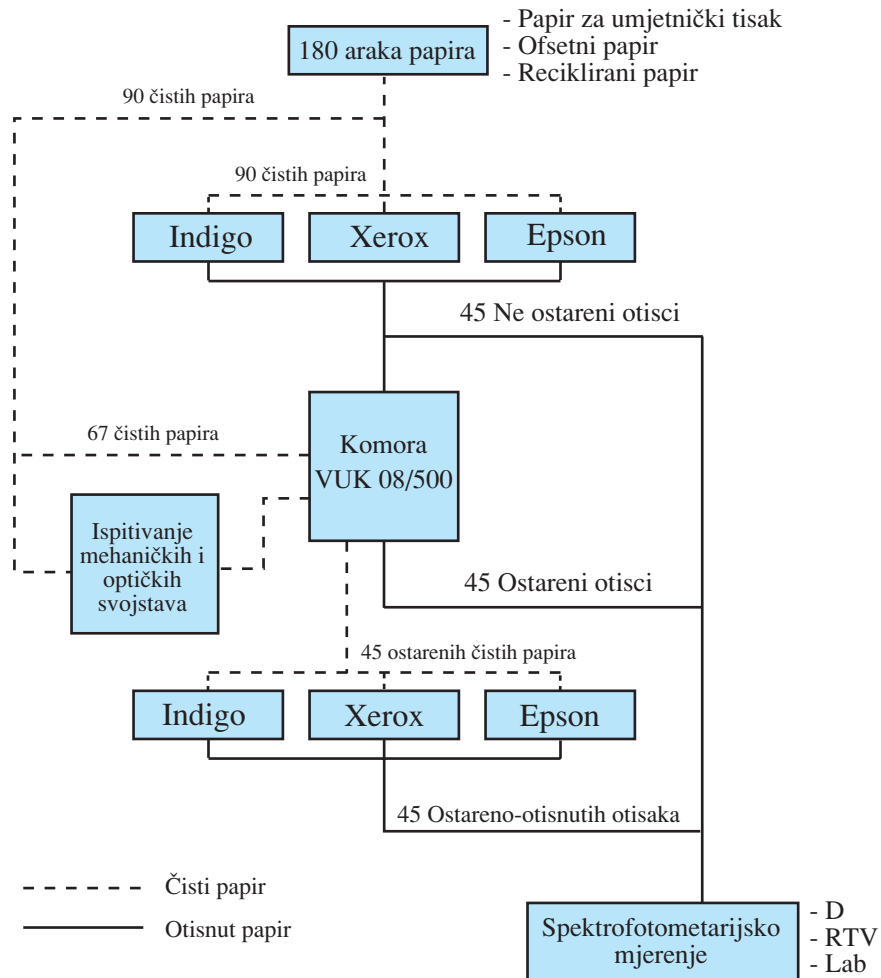
Osnovni preduvjet za dobivanje mjerljivih otisaka, bilo je kreiranje specijalne tiskovne forme veličine 296 x 420 mm. Ona na sebi sadrži različite tiskovne elemente: višebojne autotipijske fotografije, polja za određivanje D, RTV, K, polja za traping, crtkane linije za određivanje dimenzionalne stabilnosti, kontrolu pasera, površine za određivanje sivog balansa i standardni FOGRA PMS klin, koji su nam koristili za vizualnu, denzitometrijsku i spektrofotometrijsku ocjenu kvalitete reprodukcije.

Spomenuta tiskovna forma otisnuta je na elektrofotografskim tiskarskim strojevima Indigo E-print 1000+ i Xerox DC 50, te Ink Jet pisaču Epson photo 1200. U svrhu dobivanja mjerljivih starosno različitih uzoraka, tiskovne podloge (papiri za umjetnički tisak, ofsetni papiri i reciklirani papiri) i otisci su ostareni. Na taj način od sveukupno iskorištenog papira dobiveno je tri vrste uzoraka:

- 1/3 otisnutih uzoraka na neostarenom papiru (novom papiru)
- 1/3 ostarenih uzoraka
- 1/3 otisnutih uzoraka na ostarenom papiru.

Denzitometrijska i spektrofotometrijska mjerenja izvršena su spektrofotometrijskim uređajem X-rite SwotchBook, koji radi uz pomoć programa ColourShop verzija 2.6. Ovim uređajem izmjerene su slijedeće vrijednosti: svjetlina (L), kromatsko obojenje (a) i (b), gustoća obojenja (D), rastertonska vrijednost (RTV), relativni tiskarski kontrast (K_{REL}) i bjelina čistog papira.

U ovom radu posvećena je pozornost na optička i mehanička svojstva novih i ostarenih tiskovnih podloga (papir za umjetnički tisak, ofsetni papir i reciklirani papir). Za određivanje mehaničkih svojstava korištene su slijedeće metode: otpornost na prskanje papira po Dalenu, upojnost tiskovne podloge po Cobbu, glatkoća tiskovne podloge po Bendtsenu, određivanje broja dvostrukih savijanja papira, otpornost na kidanje papira i prostorna masa papira. Kronološki prikaz izvršenih operacija je dan na slici 55.

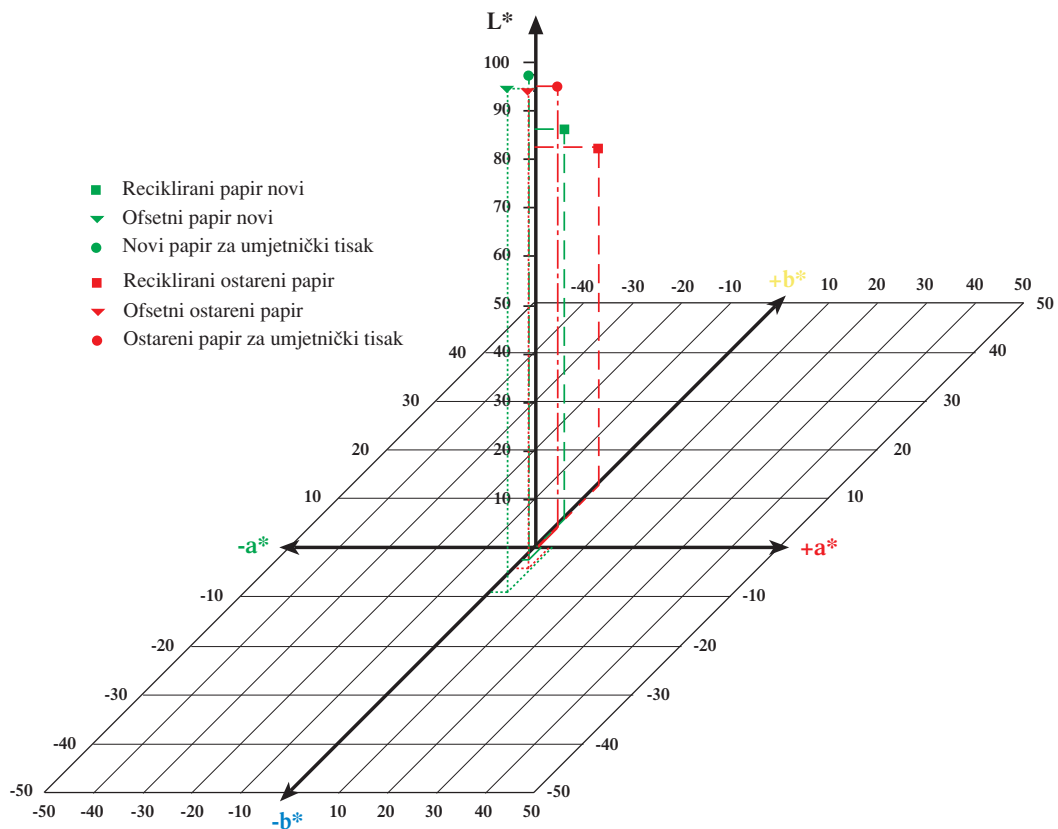


Slika 55. Shematski prikaz izvršenih operacija u eksperimentalnom dijelu

Na samom kraju je provedeno i vizualno ocjenjivanje. Ono je izvršeno od strane 24 ispitanika koji su međusobno usporedili uzorke i ocijenili njihovu razliku u obojenju.

4.1. Optička svojstva papira

Izmjerene kolorimetrijske vrijednosti novog i ostarenog papira (reciklirani, ofsetni i papir za umjetnički tisak), prikazane su na slici 56.



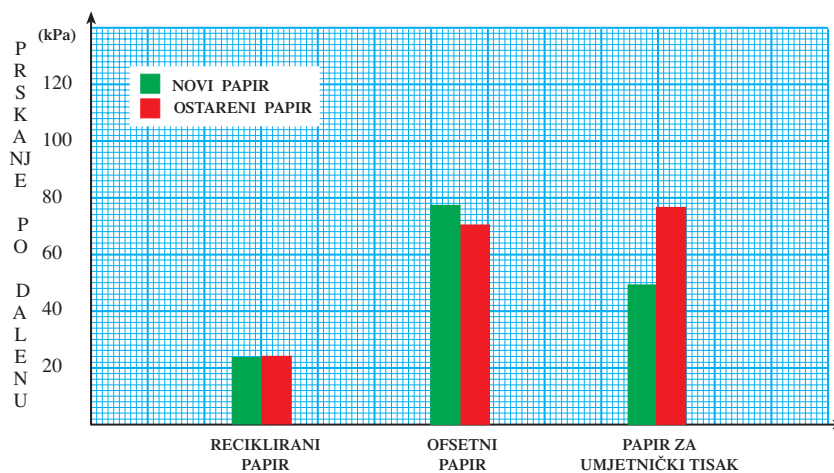
Spektrofotometrijska razlika u papiru

| Papir | L* novi | a* novi | b* novi | L* stari | a* stari | b* stari | ΔE |
|---------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|------------|
| Reciklirani | 86,73 | -0,23 | 6,63 | 83,9 | 0,26 | 13,44 | 7,4 |
| Ofsetni | 94,56 | 3,96 | -8,83 | 93,88 | 2,89 | -4,73 | 4,3 |
| Papir za umjetnički tisak | 95,97 | 1,51 | -2,25 | 94,37 | 0,42 | 4,02 | 6,6 |

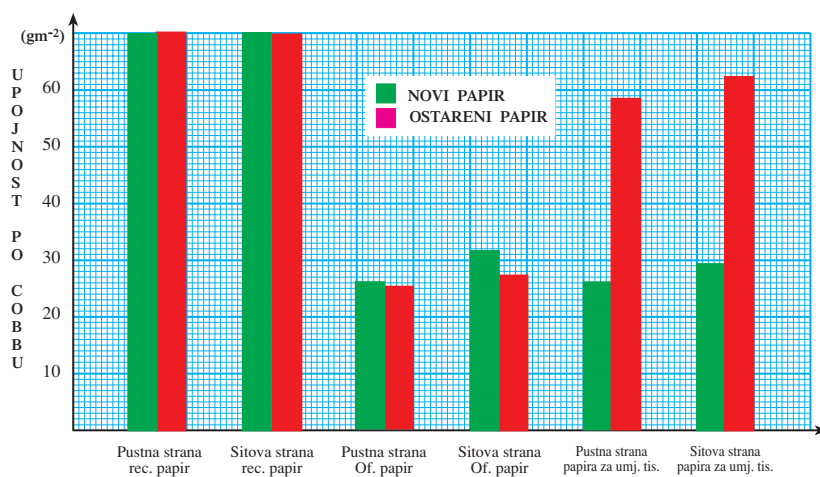
Slika 56. Kolorimetrijske vrijednosti novog i ostarenog papira

4.2. Mehanička svojstva i pH vrijednost papira

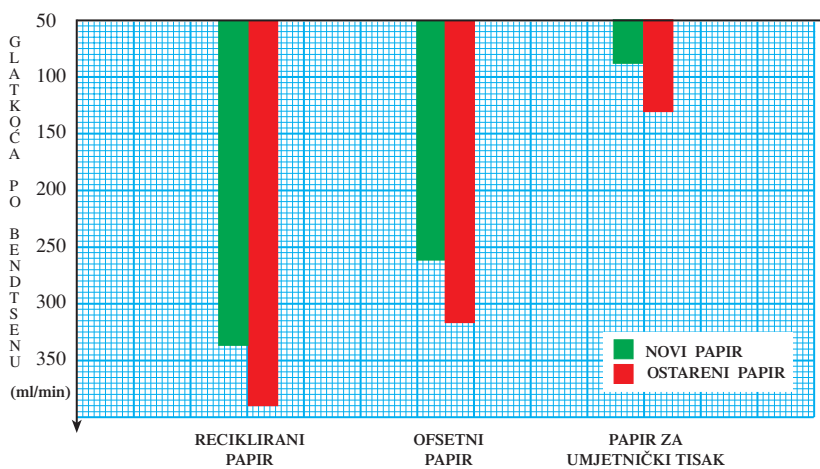
Na novim i ostarenim papirima su izvršena ranije definirana ispitivanja mehaničkih svojstava, čiji su rezultati prikazani u sljedećim histogramima.



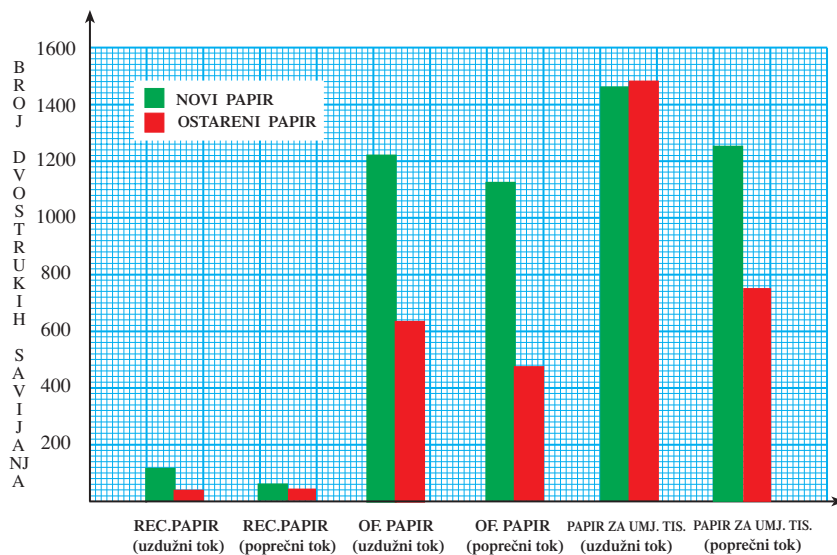
Slika 57. Histogramski prikaz otpornost papira na prskanje po Dalenu



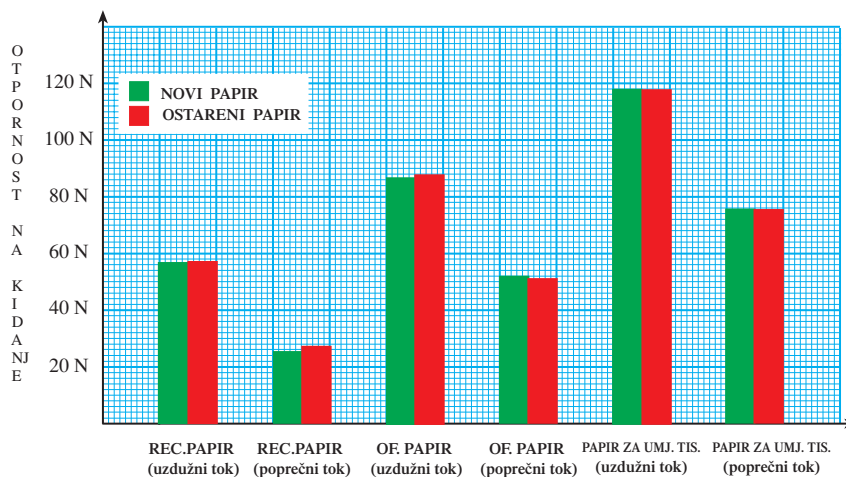
Slika 58. Histogramski prikaz upojnosti papira po Cobbu



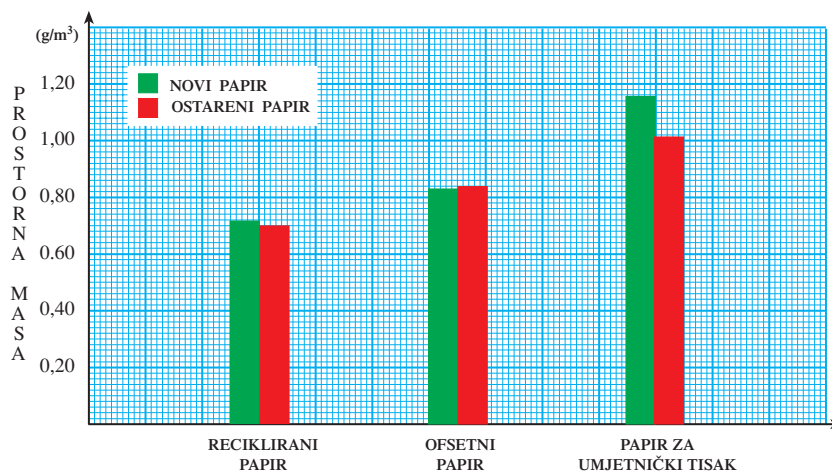
Slika 59. Histogramski prikaz glatkosti papira po Bendtsenu



Slika 60. Histogramski prikaz broja dvostrukih savijanja papira



Slika 61. Histogramski prikaz otpornosti na kidanje papira



Slika 62. Histogramski prikaz prostorne mase papira

Ovdje je također izmjerena pH vrijednost papira prije i poslije starenja. Mjerenja su izvršena u skladu sa TAPPI standardnom metodom T 529 (pH metar Iskra MA 5730). Dobivene vrijednosti su prikazane u tablici 17.

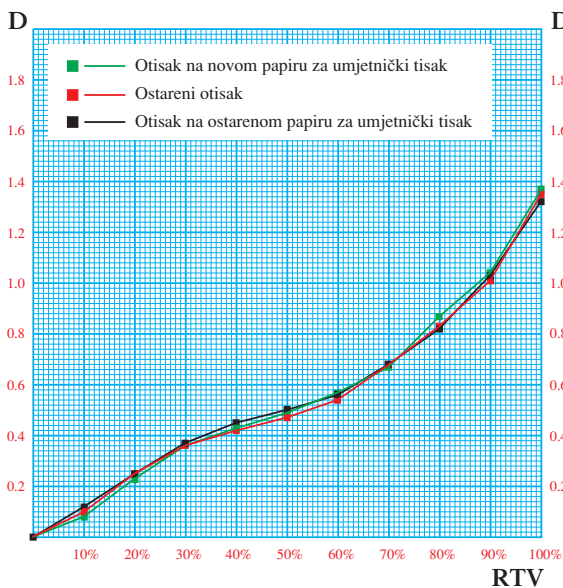
Tablica 17. pH vrijednost papira

| Uzorak | | pH vrijednost |
|---------------------------|------------------|---------------|
| Papir za umjetnički tisak | Prije starenja | 8,25 |
| | Poslije starenja | 8,13 |
| Ofsetni papir | Prije starenja | 8,31 |
| | Poslije starenja | 8,24 |
| Reciklirani papir | Prije starenja | 8,34 |
| | Poslije starenja | 8,33 |

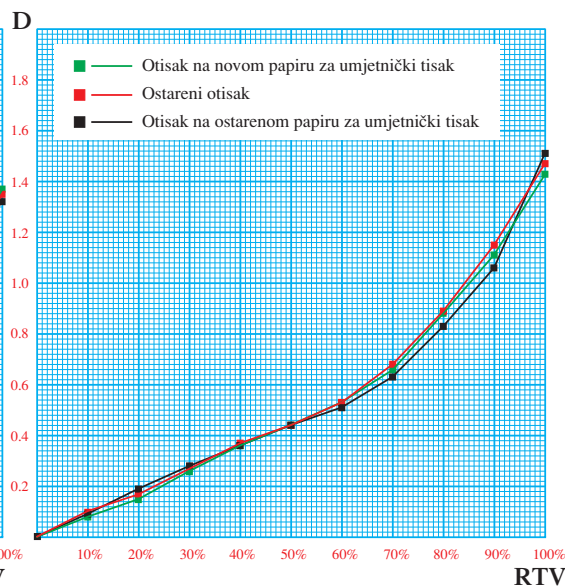
4.3. Rezultati denzitometrijskih mjerenja

Kvalitetu reprodukcije moguće je pratiti denzitometrijskim mjerenjem. Izmjerene i proračunate rezultate možemo izraziti: odnosom gustoće obojenja otiska i rastertonske vrijednosti originala (D/RTV_{ORG}), rastertonskom vrijednošću otiska i originala (RTV_{OTIS}/RTV_{ORG}) i određivanjem relativnog tiskovnog kontrasta (K_{REL}).

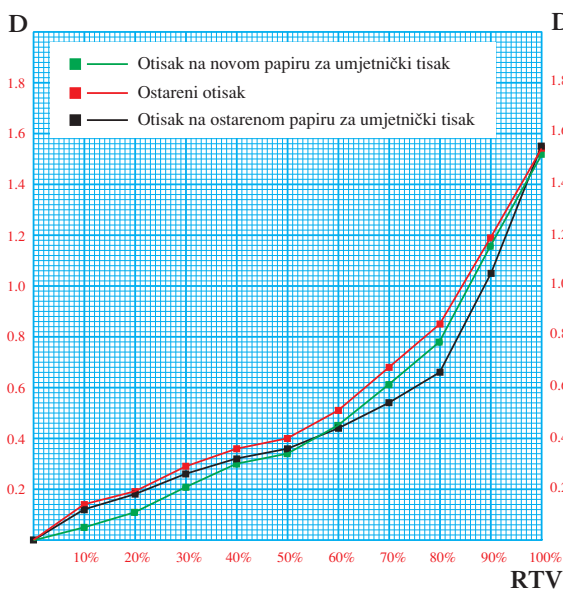
Indigo cijan



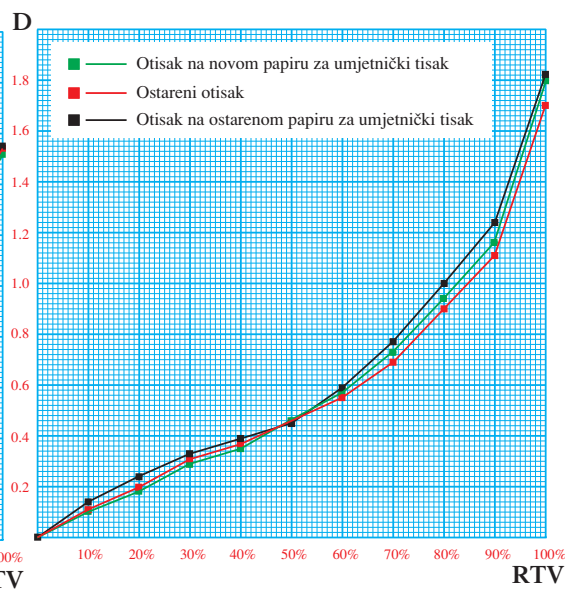
Indigo magenta



Indigo žuta

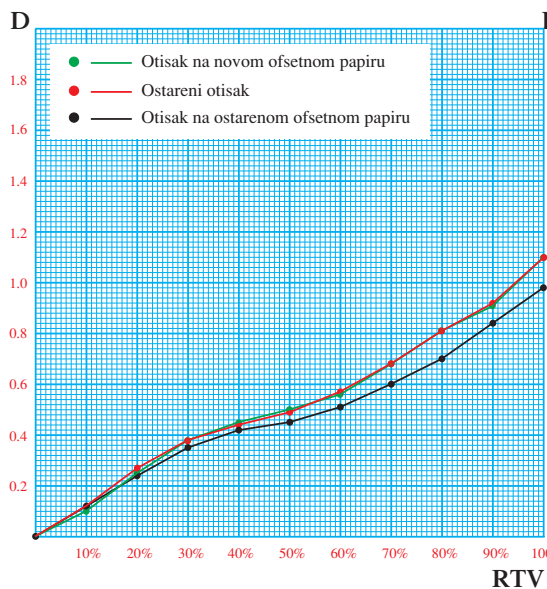


Indigo crna

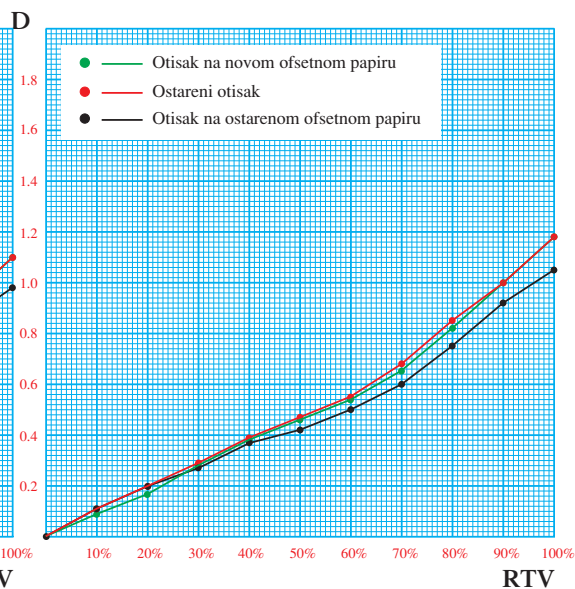


Slika 63. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV papira za umjetnički tisak kod Indigo otiska

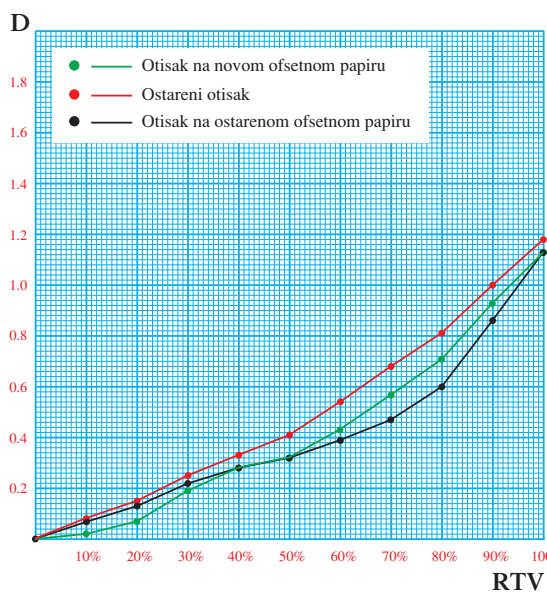
Indigo cijan



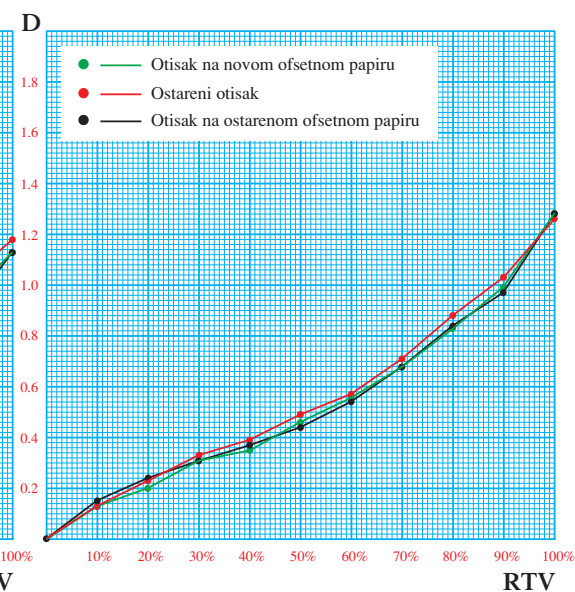
Indigo magenta



Indigo žuta

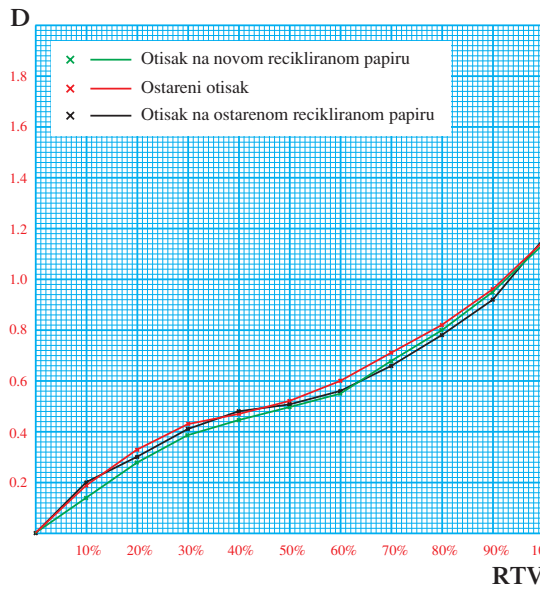


Indigo crna

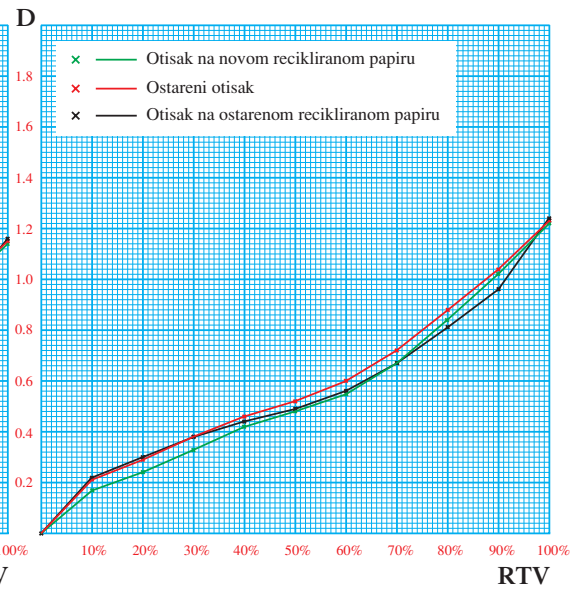


Slika 64. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV ofsetnog papira kod Indigo otiska

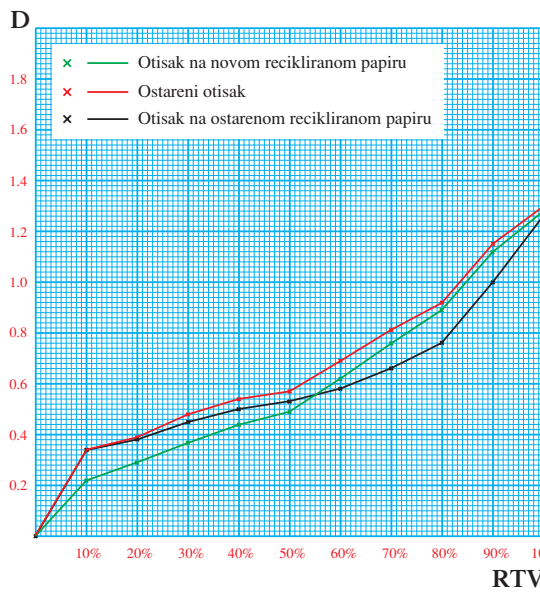
Indigo cijan



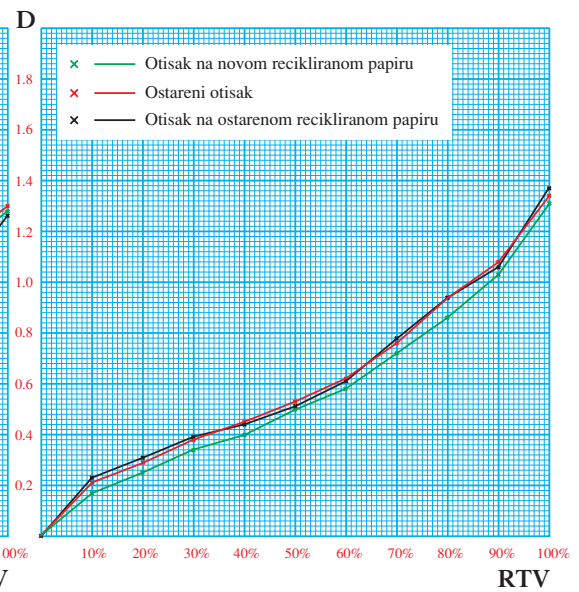
Indigo magenta



Indigo žuta

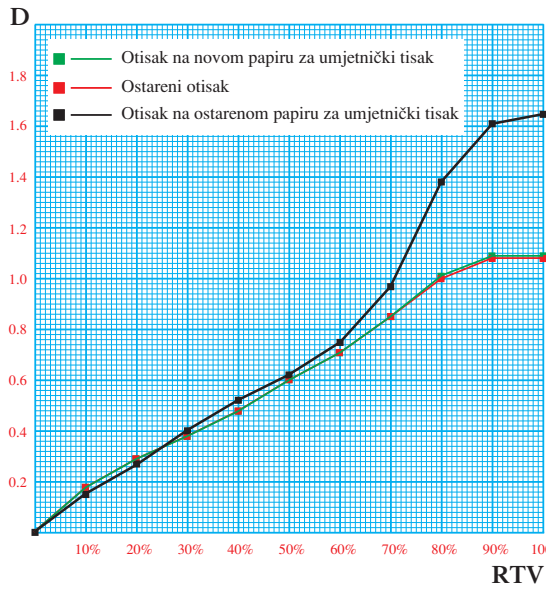


Indigo crna

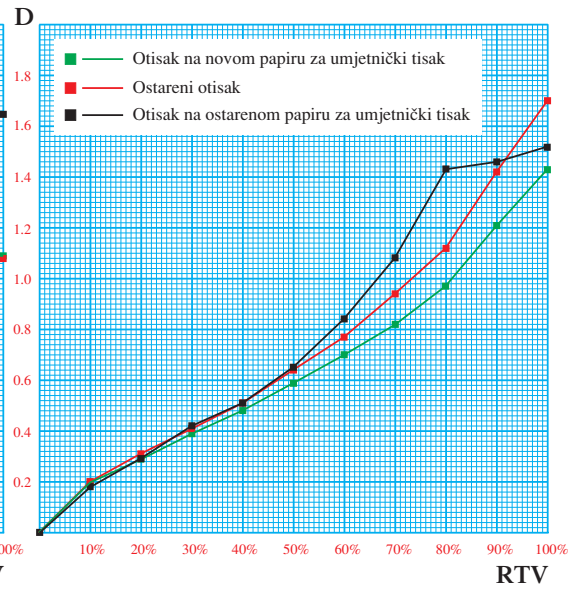


Slika 65. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV recikliranog papira kod Indigo otiska

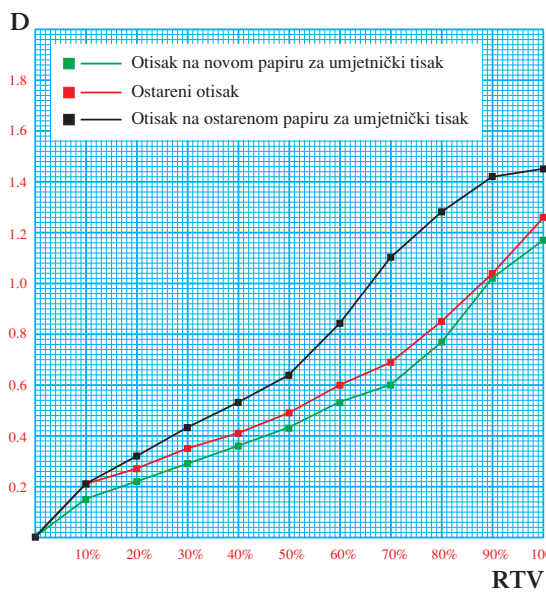
Xerox cijan



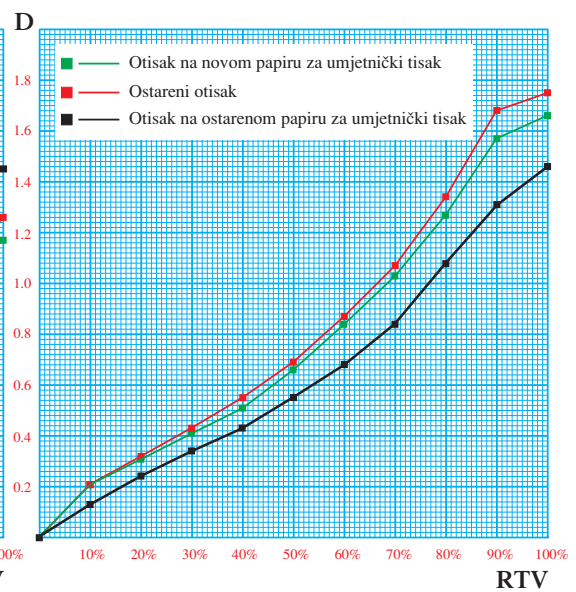
Xerox magenta



Xerox žuta

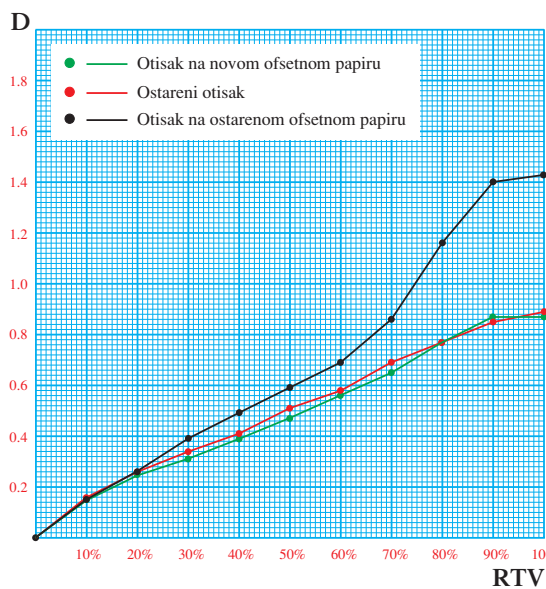


Xerox crna

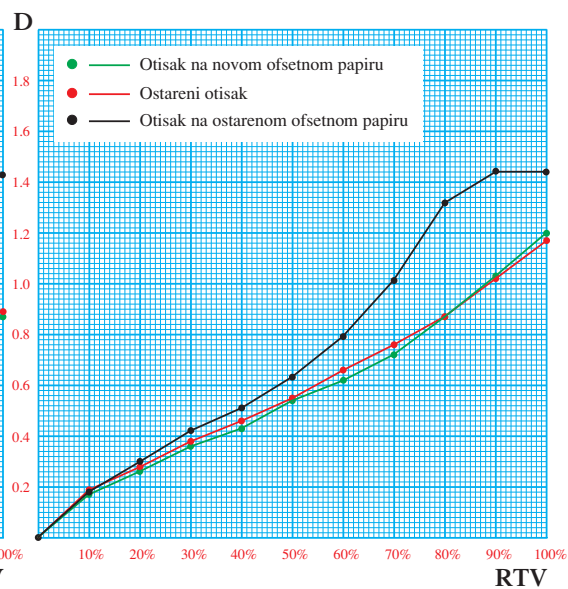


Slika 66. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV papira za umjetnički tisak kod Xerox otiska

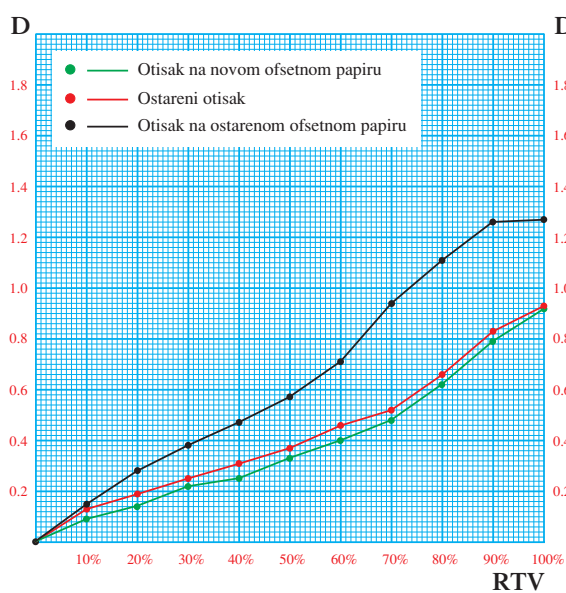
Xerox cijan



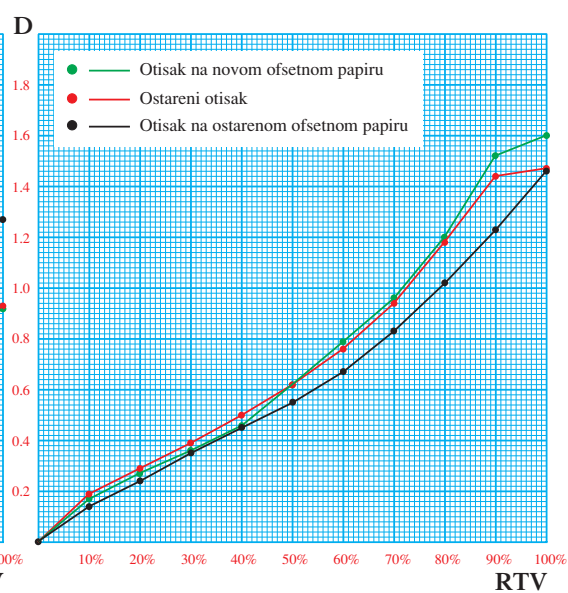
Xerox magenta



Xerox žuta

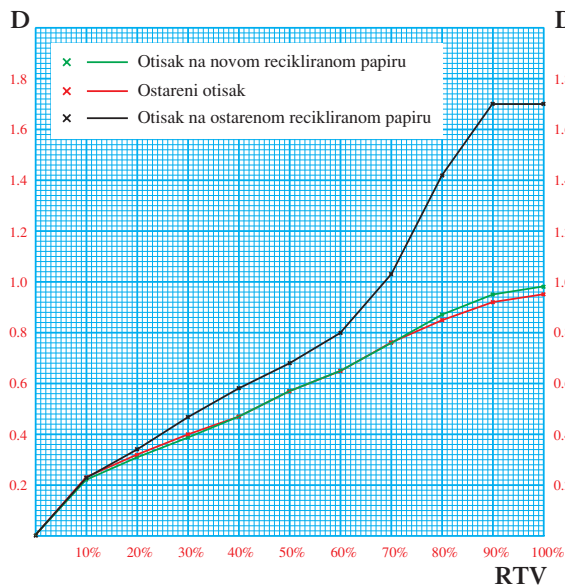


Xerox crna

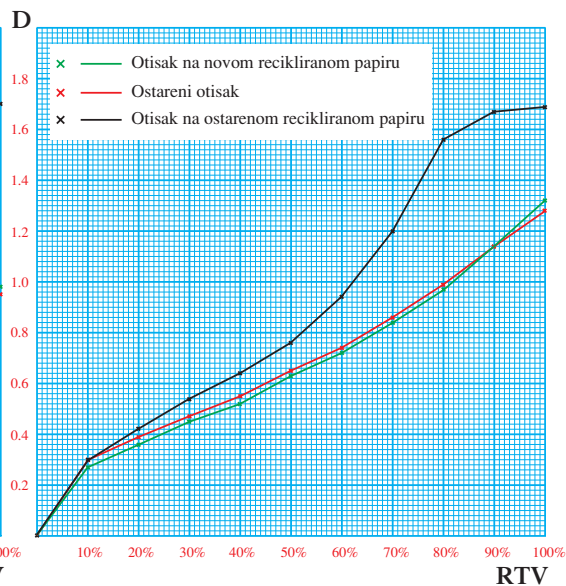


Slika 67. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV ofsetnog papira kod Xerox otiska

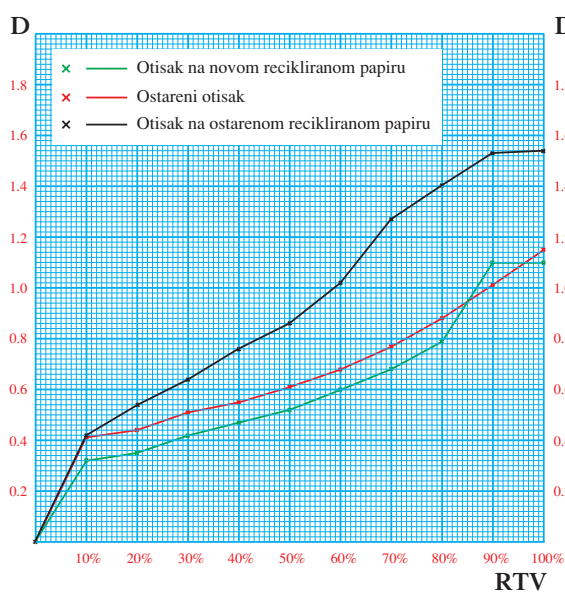
Xerox cijan



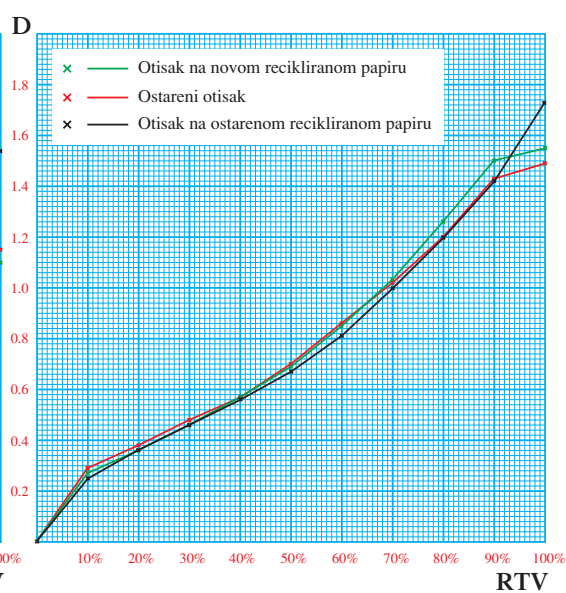
Xerox magenta



Xerox žuta

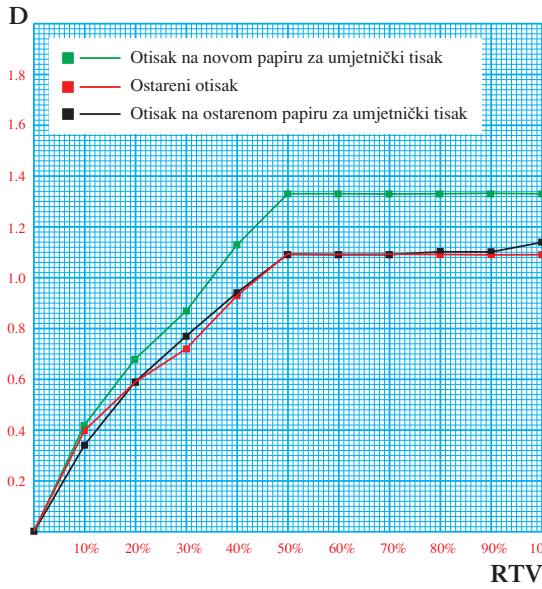


Xerox crna

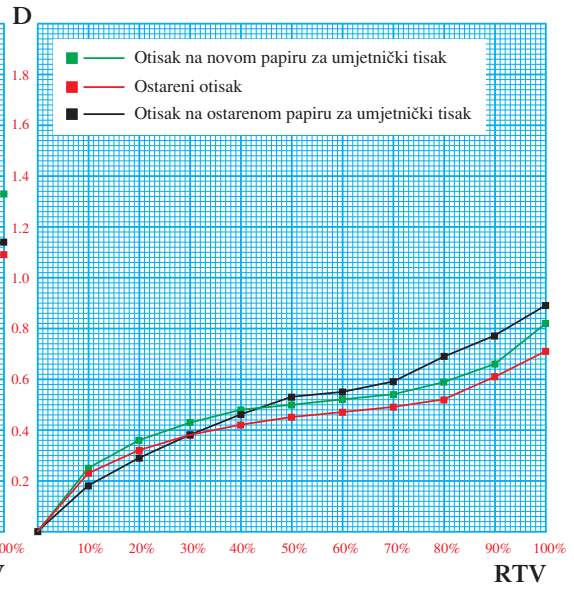


Slika 68. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV recikliranog papira kod Xerox otiska

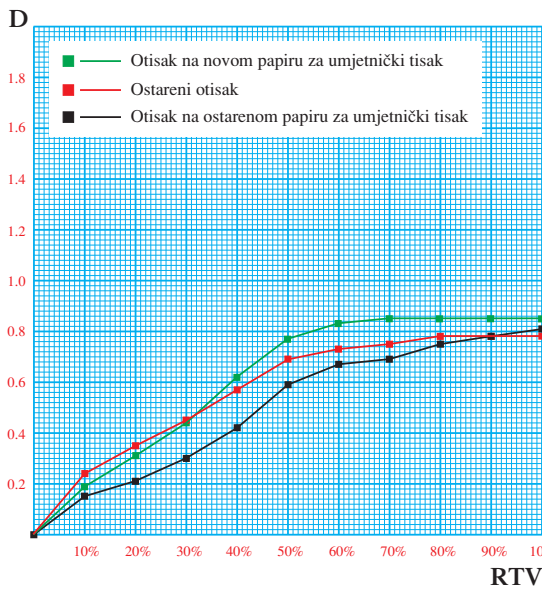
Ink Jet cijan



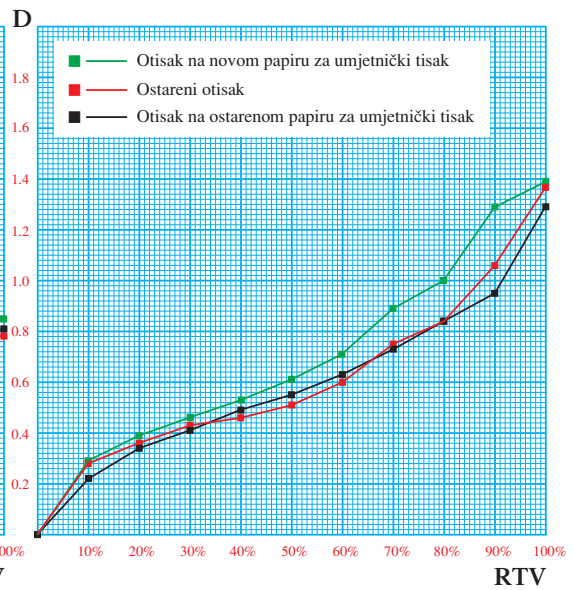
Ink Jet magenta



Ink Jet žuta

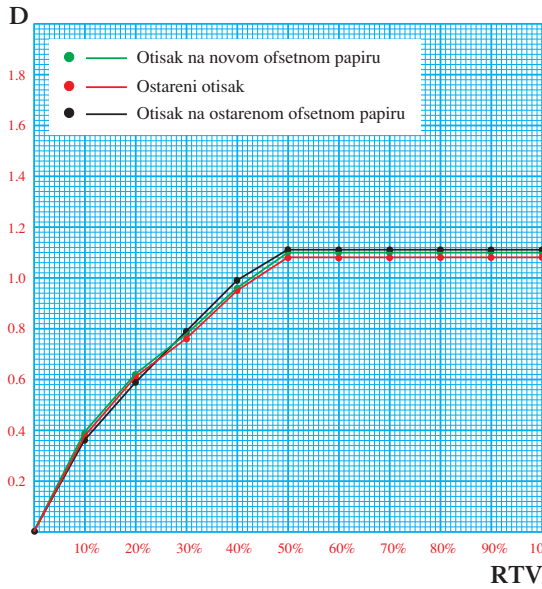


Ink Jet crna

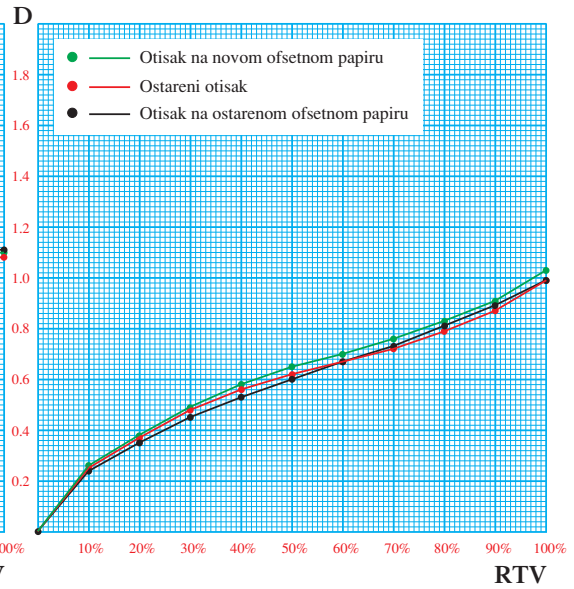


Slika 69. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV papira za umjetnički tisak kod Ink Jet otiska

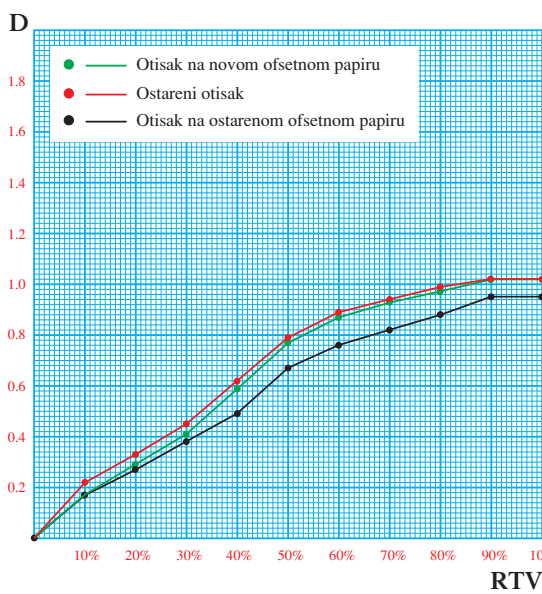
Ink Jet cijan



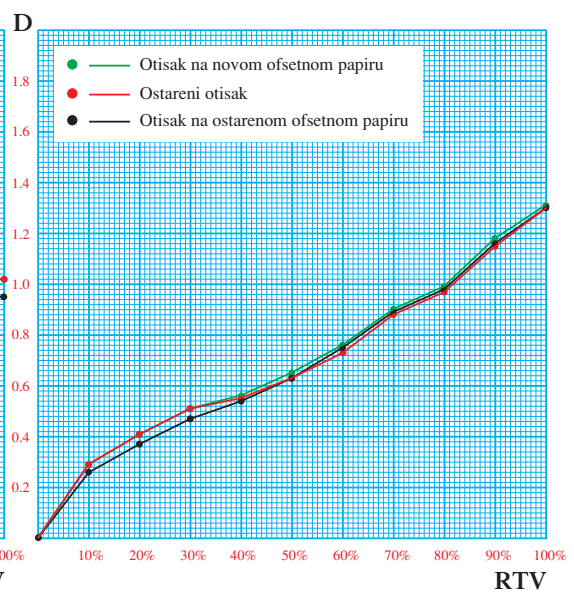
Ink Jet magenta



Ink Jet žuta

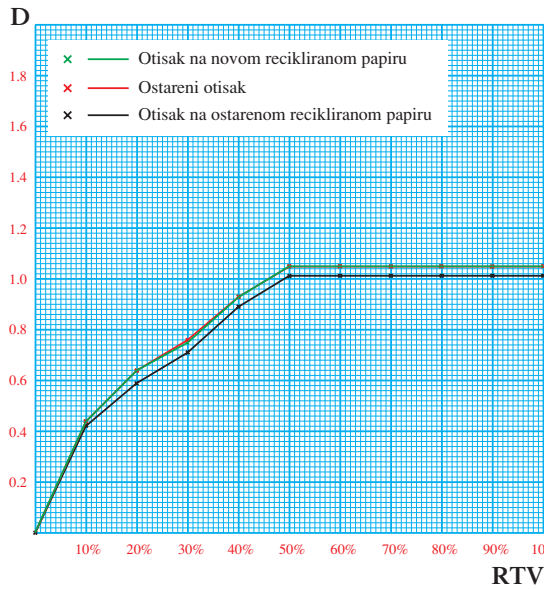


Ink Jet crna

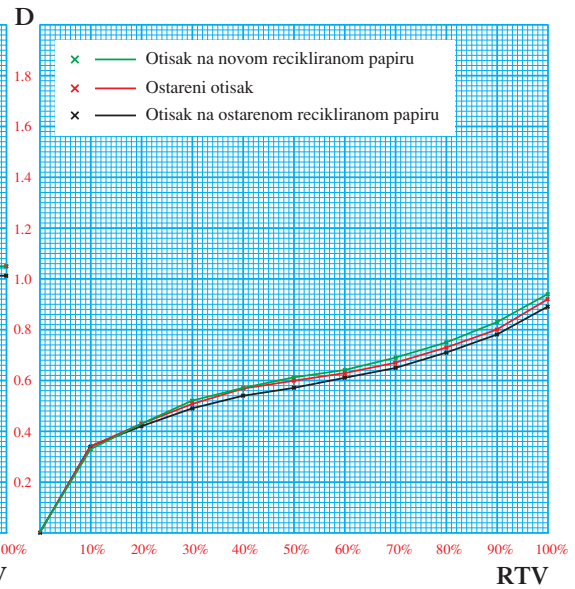


Slika 70. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV ofsetnog papira kod Ink Jet otiska

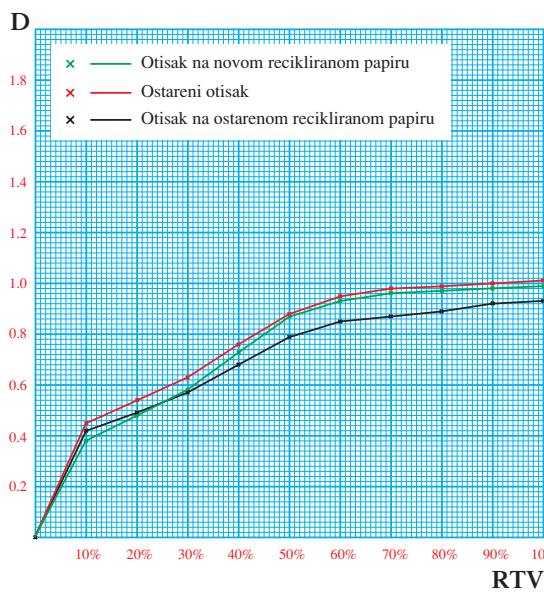
Ink Jet cijan



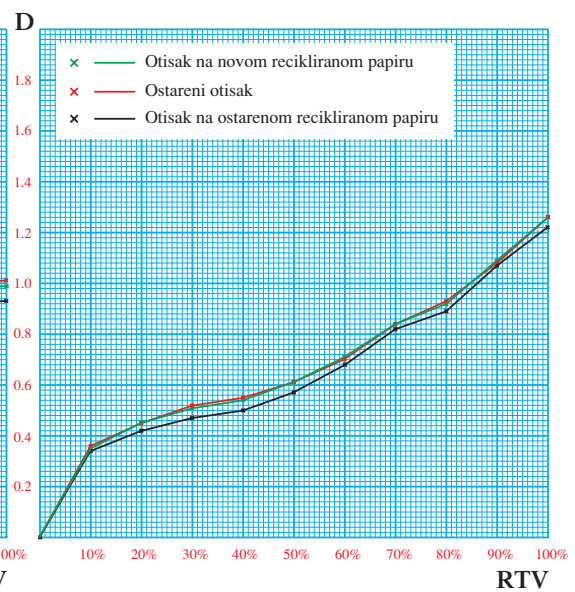
Ink Jet magenta



Ink Jet žuta

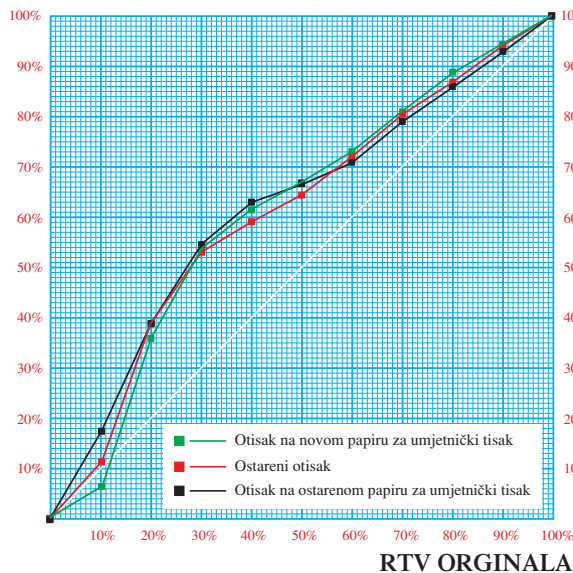


Ink Jet crna

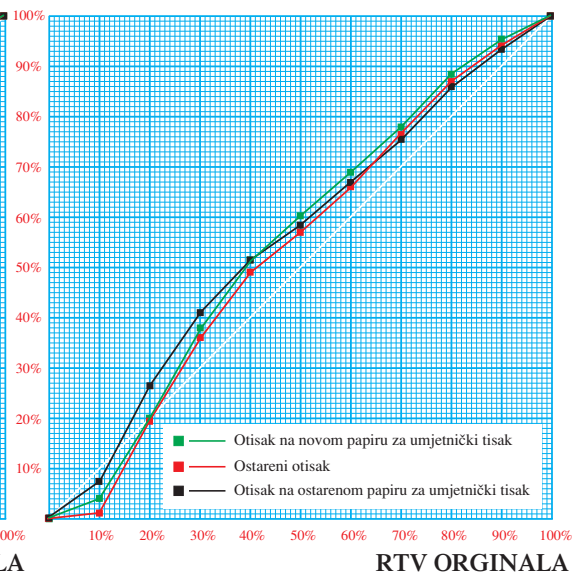


Slika 71. Grafovi koji prikazuju odnos gustoće obojenja D i rastertonske vrijednosti RTV recikliranog papira kod Ink Jet otiska

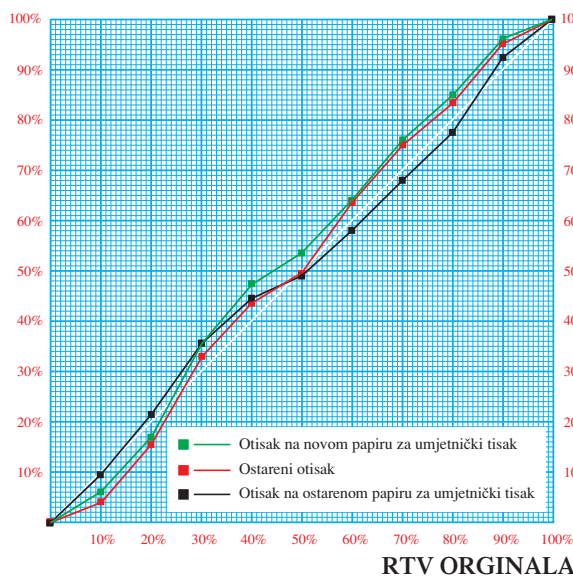
Indigo cijan RTV OTISKA



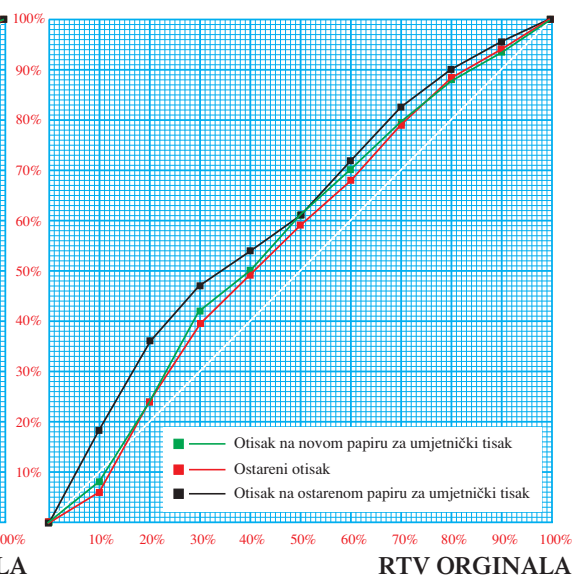
Indigo magenta RTV OTISKA



Indigo žuta RTV OTISKA

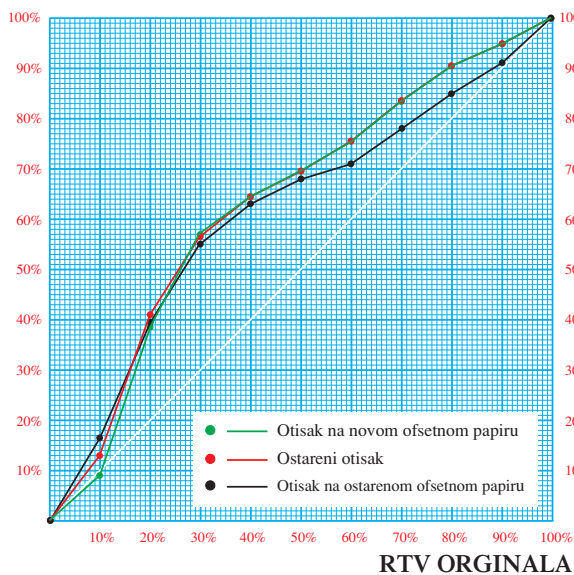


Indigo crna RTV OTISKA

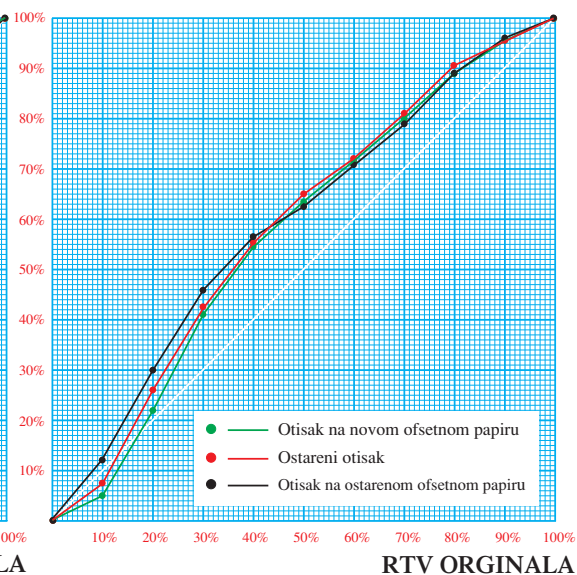


Slika 72. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV papira za umjetnički tisak kod Indigo otiska

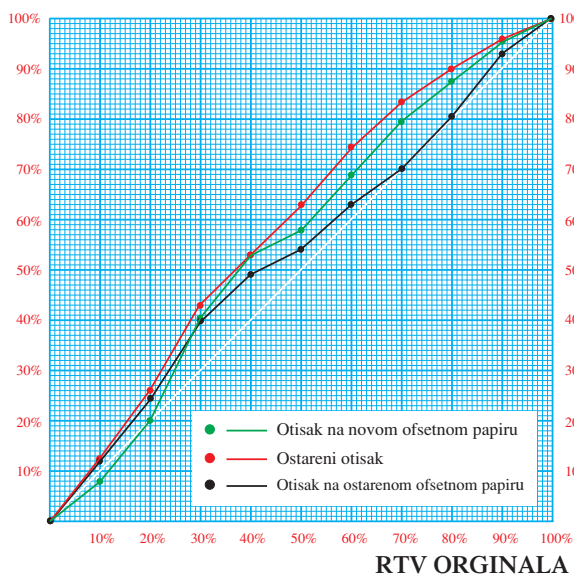
Indigo cijan
RTV OTISKA



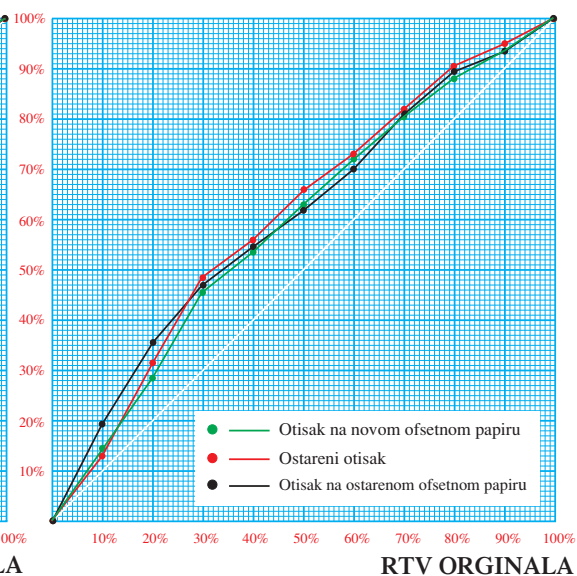
Indigo magenta
RTV OTISKA



Indigo žuta
RTV OTISKA

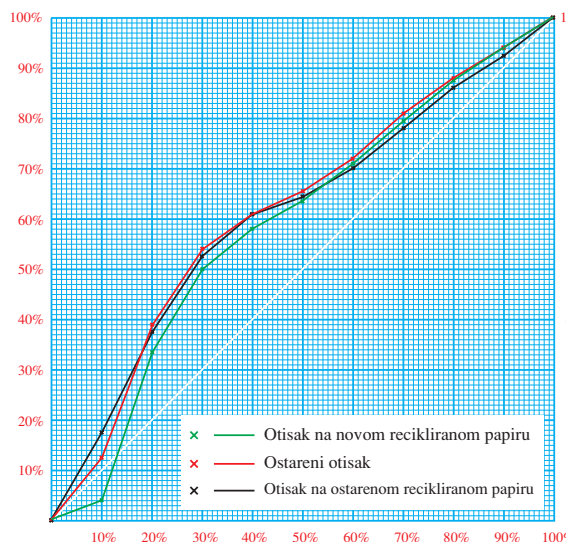


Indigo crna
RTV OTISKA



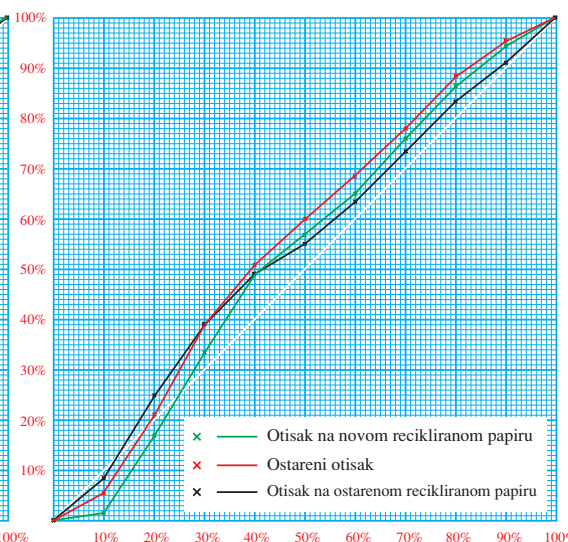
Slika 73. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV ofsetnog papira kod Indigo otiska

Indigo cijan
RTV OTISKA



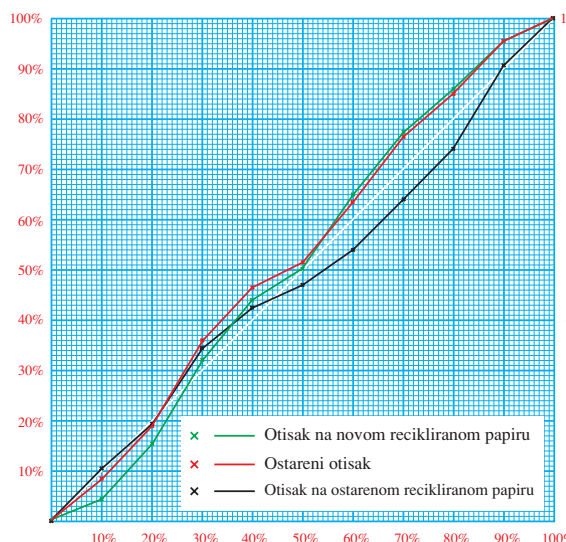
RTV ORIGINALA

Indigo magenta
RTV OTISKA



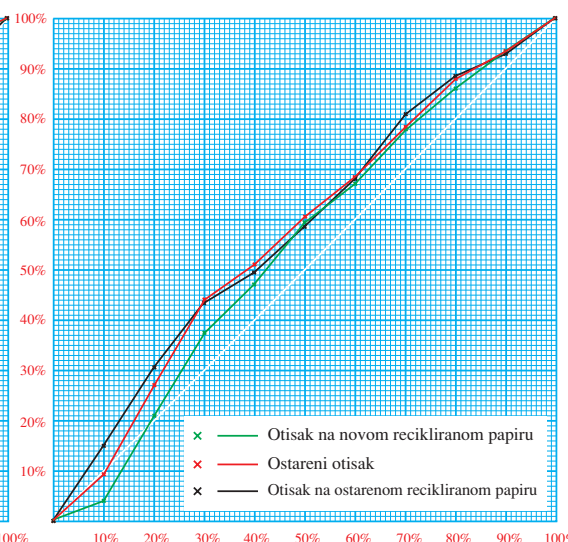
RTV ORIGINALA

Indigo žuta
RTV OTISKA



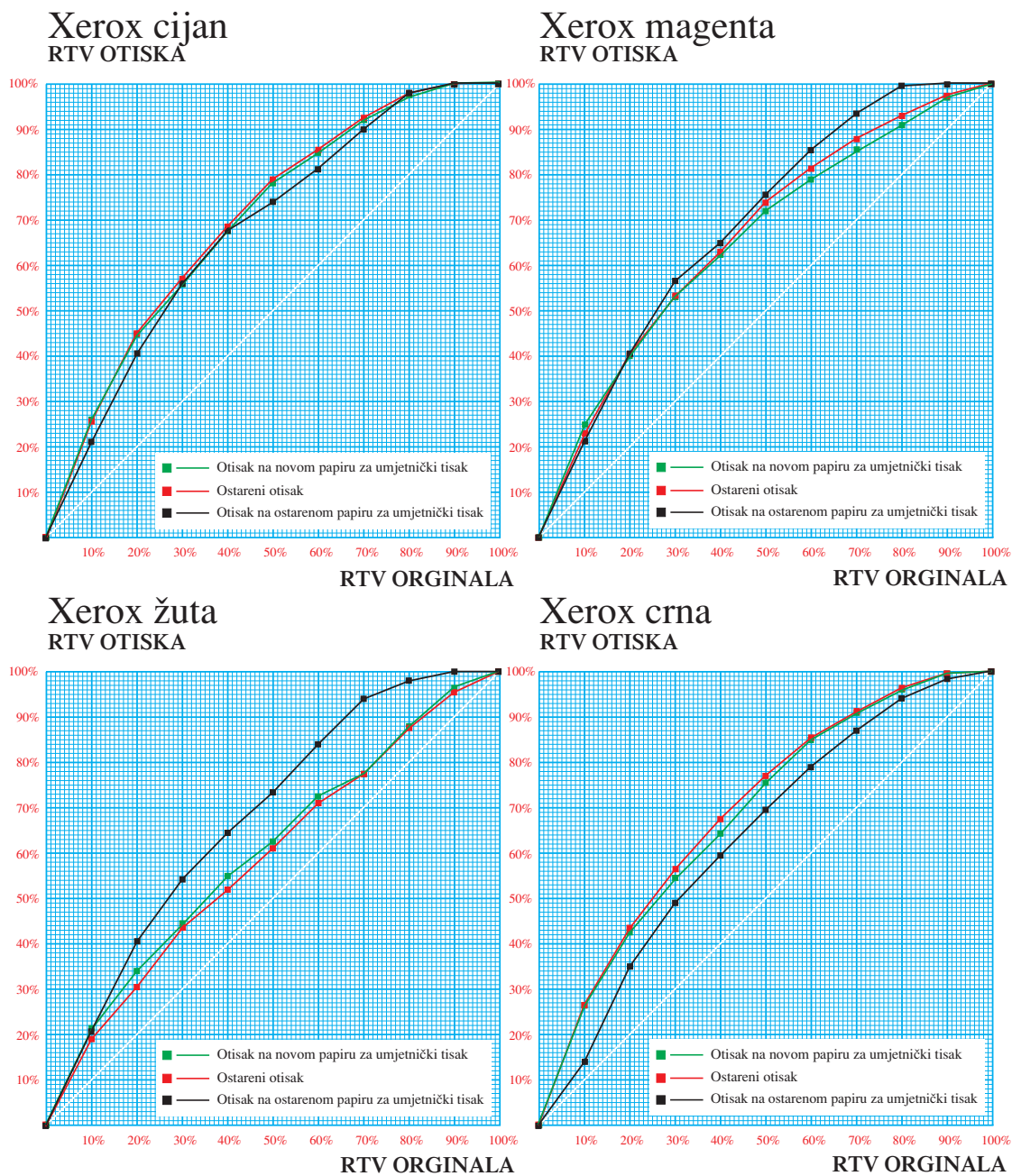
RTV ORIGINALA

Indigo crna
RTV OTISKA



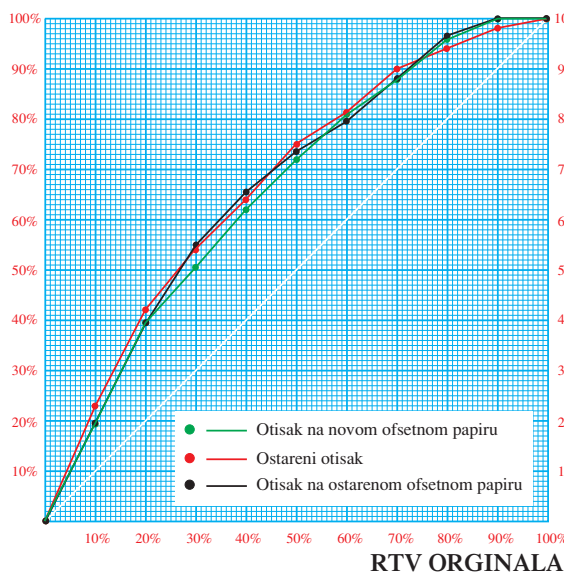
RTV ORIGINALA

Slika 74. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV recikliranog papira kod Indigo otiska

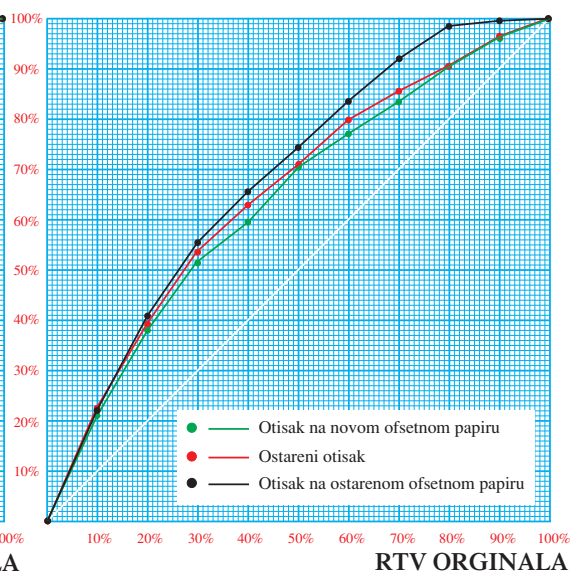


Slika 75. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV papira za umjetnički tisak kod Xerox otiska

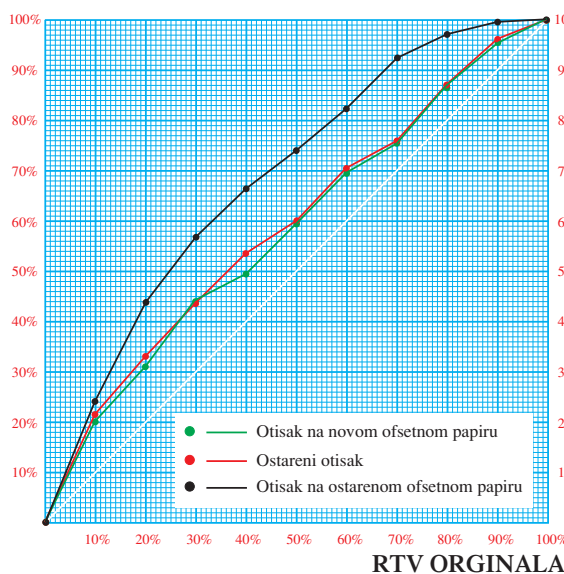
Xerox cijan RTV OTISKA



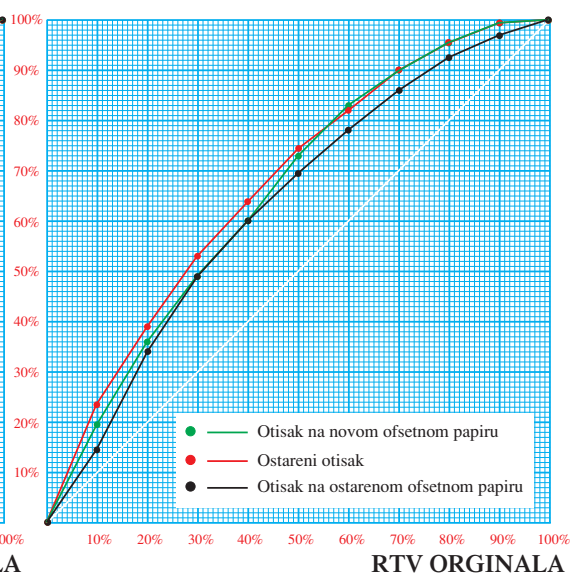
Xerox magenta RTV OTISKA



Xerox žuta RTV OTISKA

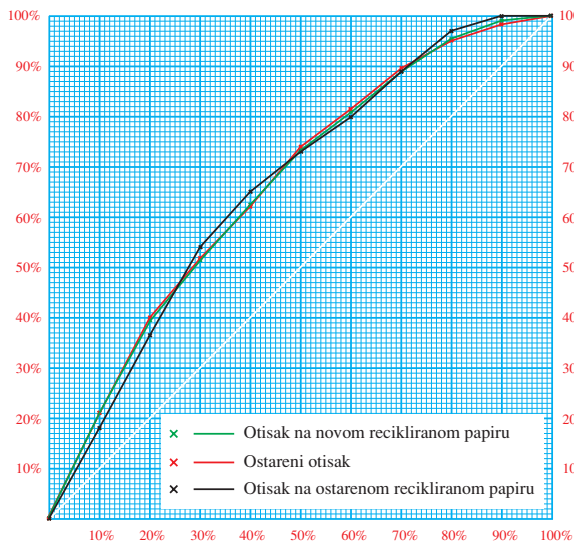


Xerox crna RTV OTISKA

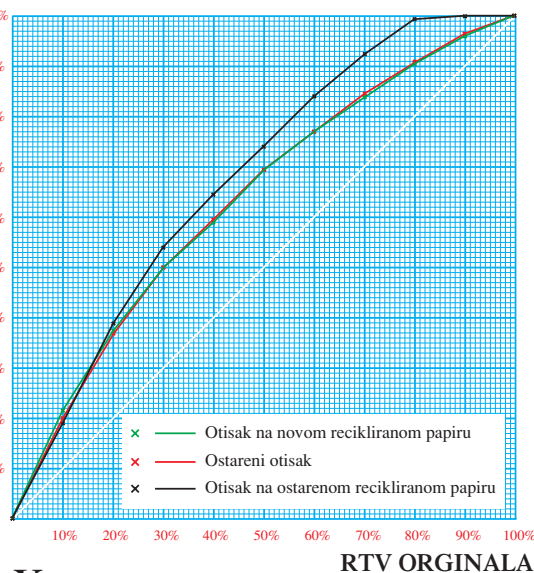


Slika 76. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV ofsetnog papira kod Xerox otiska

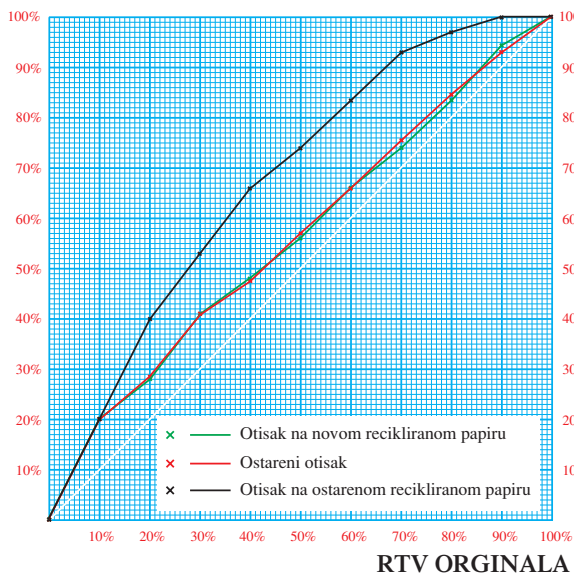
Xerox cijan
RTV OTISKA



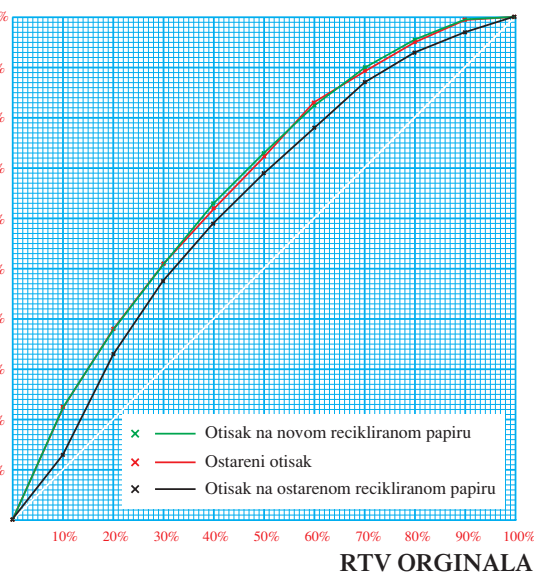
Xerox magenta
RTV OTISKA



Xerox žuta
RTV OTISKA

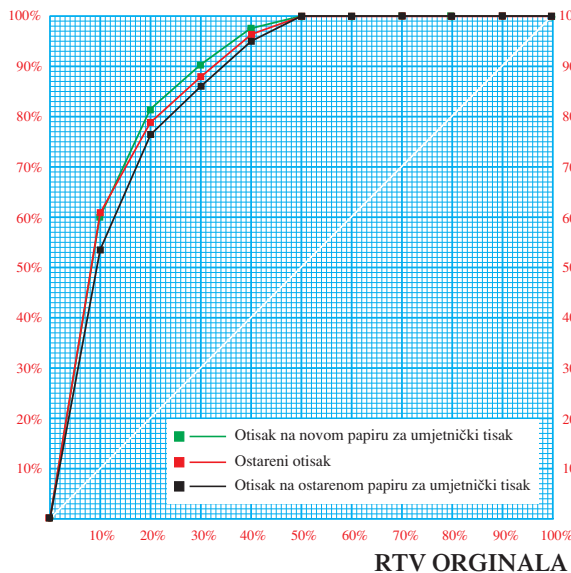


Xerox crna
RTV OTISKA

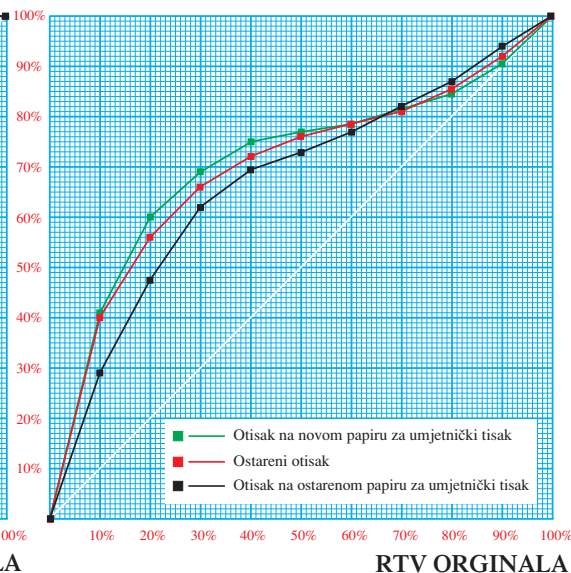


Slika 77. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV recikliranog papira kod Xerox otiska

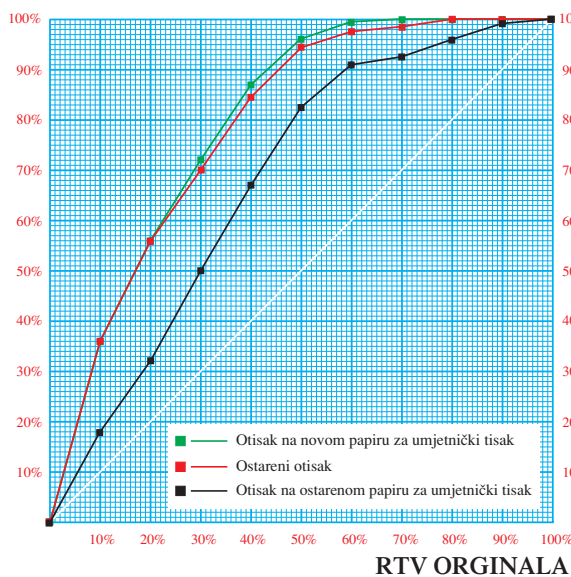
Ink Jet cijan
RTV OTISKA



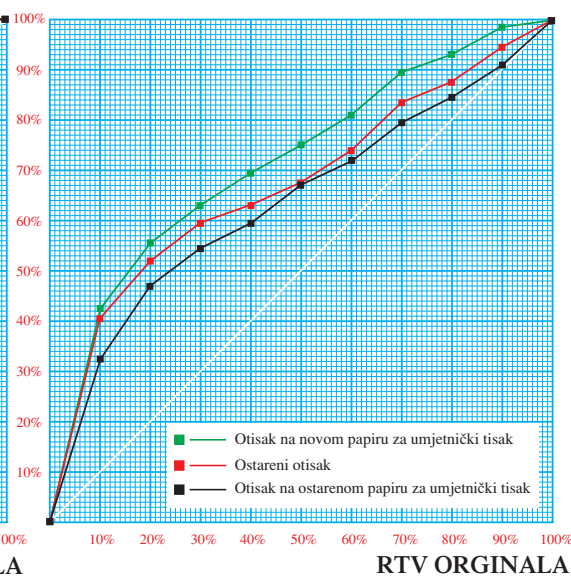
Ink Jet magenta
RTV OTISKA



Ink Jet žuta
RTV OTISKA

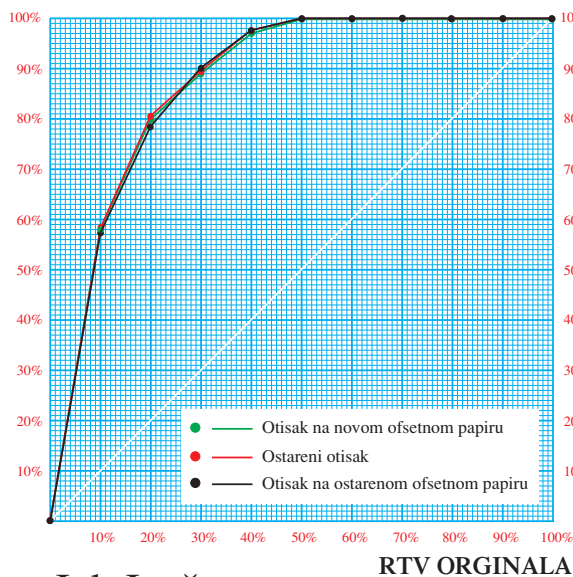


Ink Jet crna
RTV OTISKA

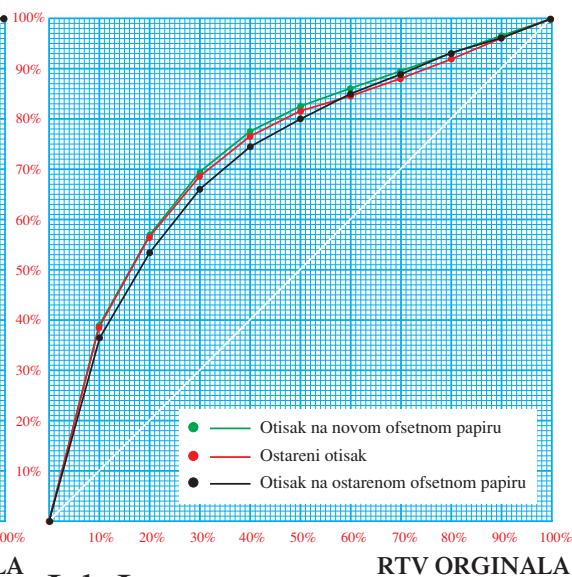


Slika 78. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV papira za umjetnički tisak kod Ink Jet otiska

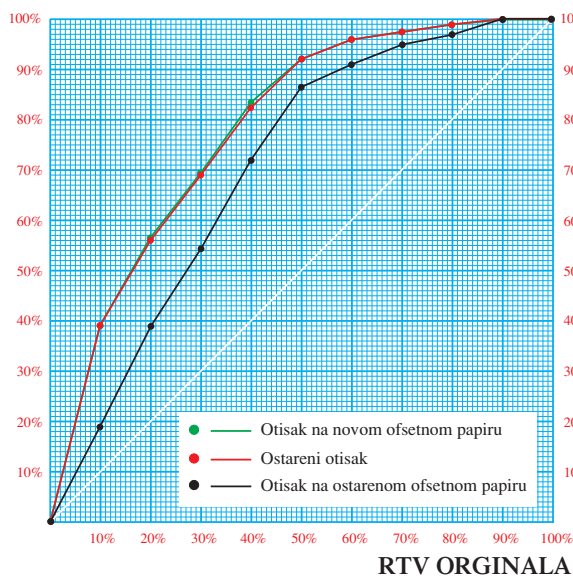
Ink Jet cijan RTV OTISKA



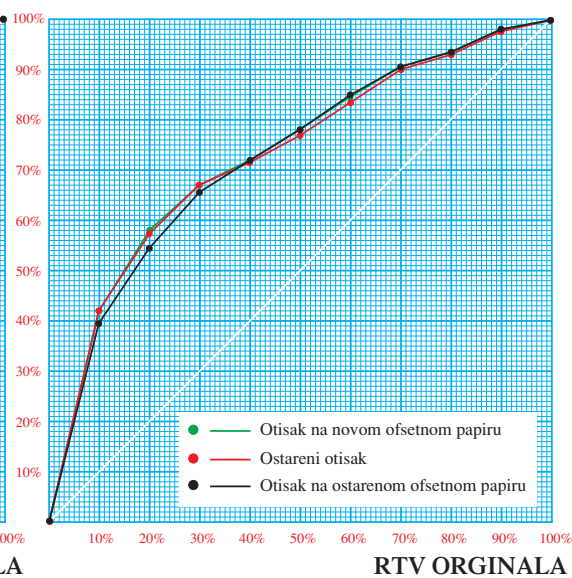
Ink Jet magenta RTV OTISKA



Ink Jet žuta RTV OTISKA

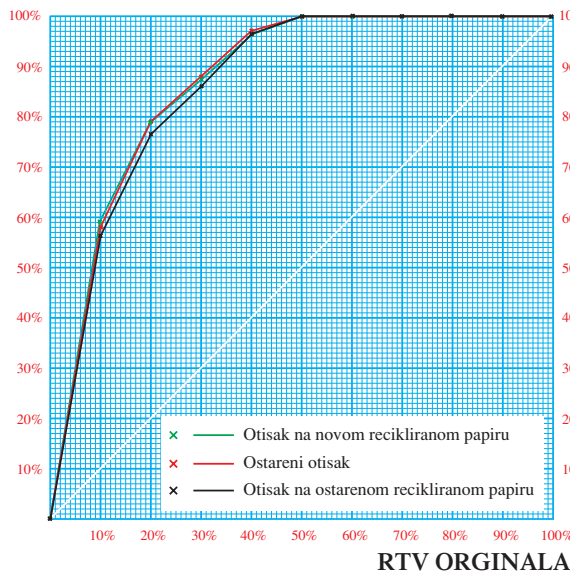


Ink Jet crna RTV OTISKA

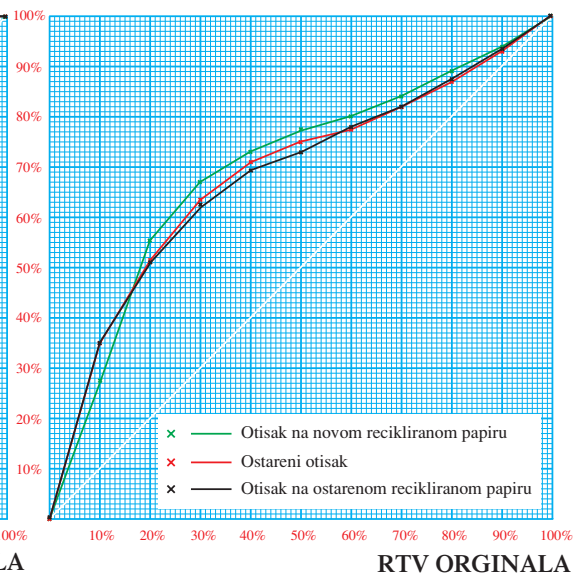


Slika 79. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV ofsetnog papira kod Ink Jet otiska

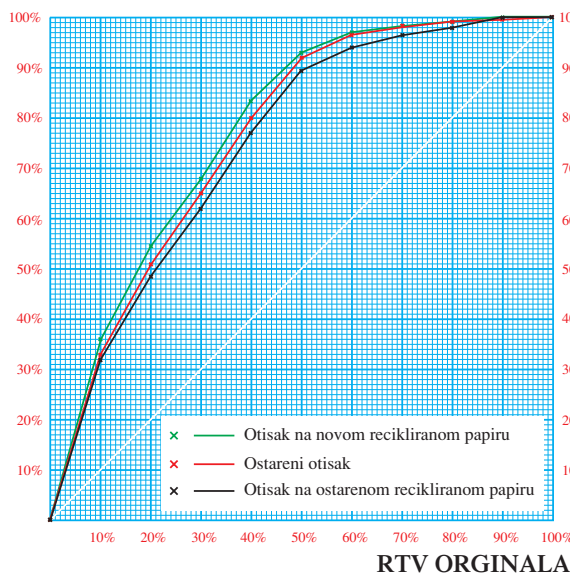
Ink Jet cijan RTV OTISKA



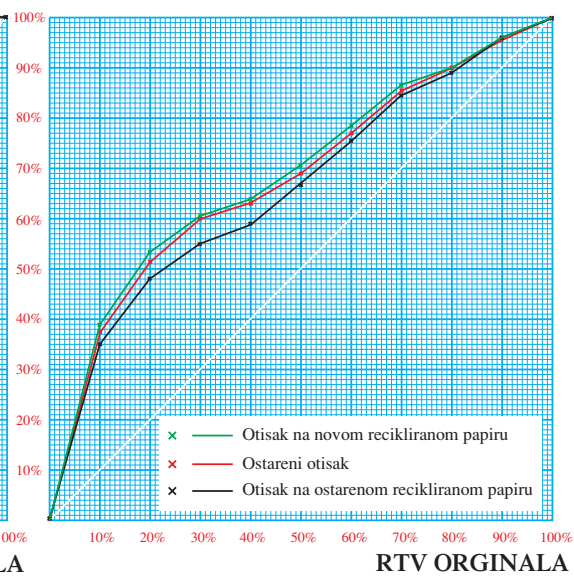
Ink Jet magenta RTV OTISKA



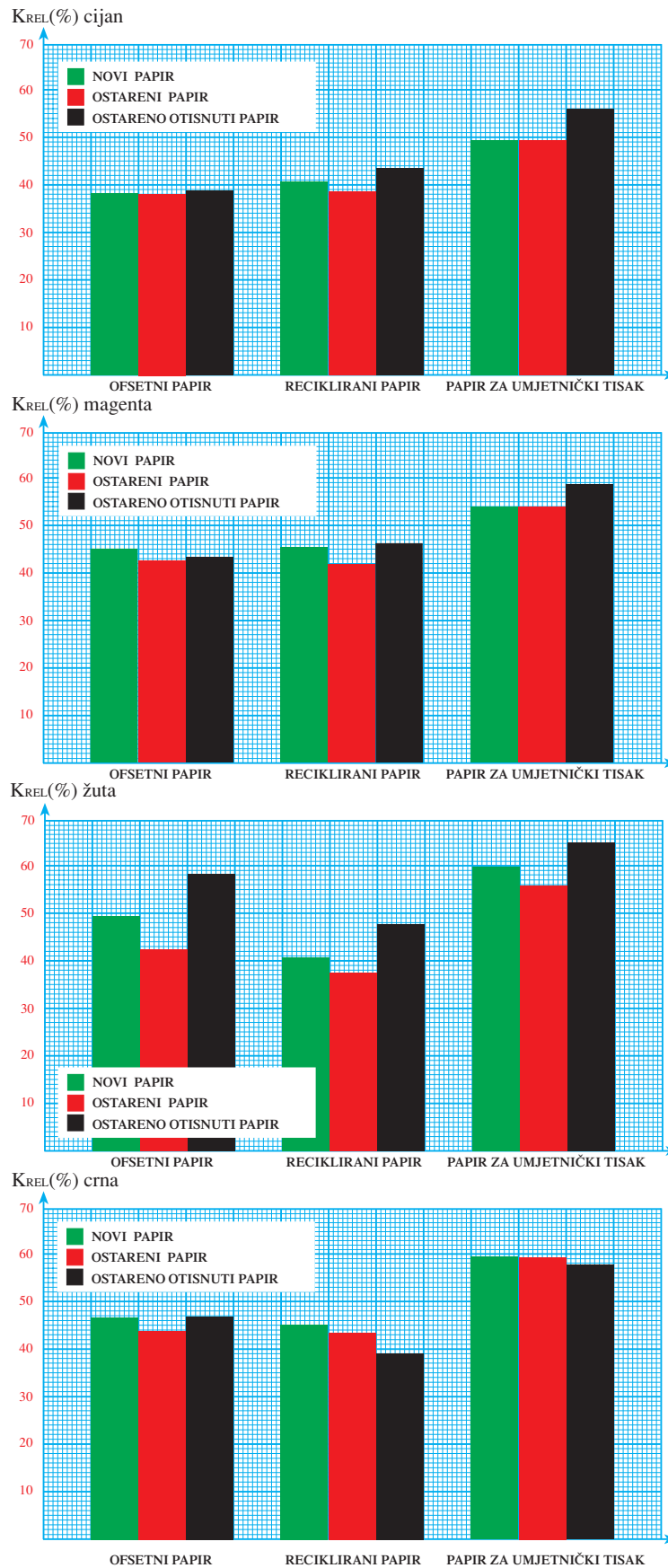
Ink Jet žuta RTV OTISKA



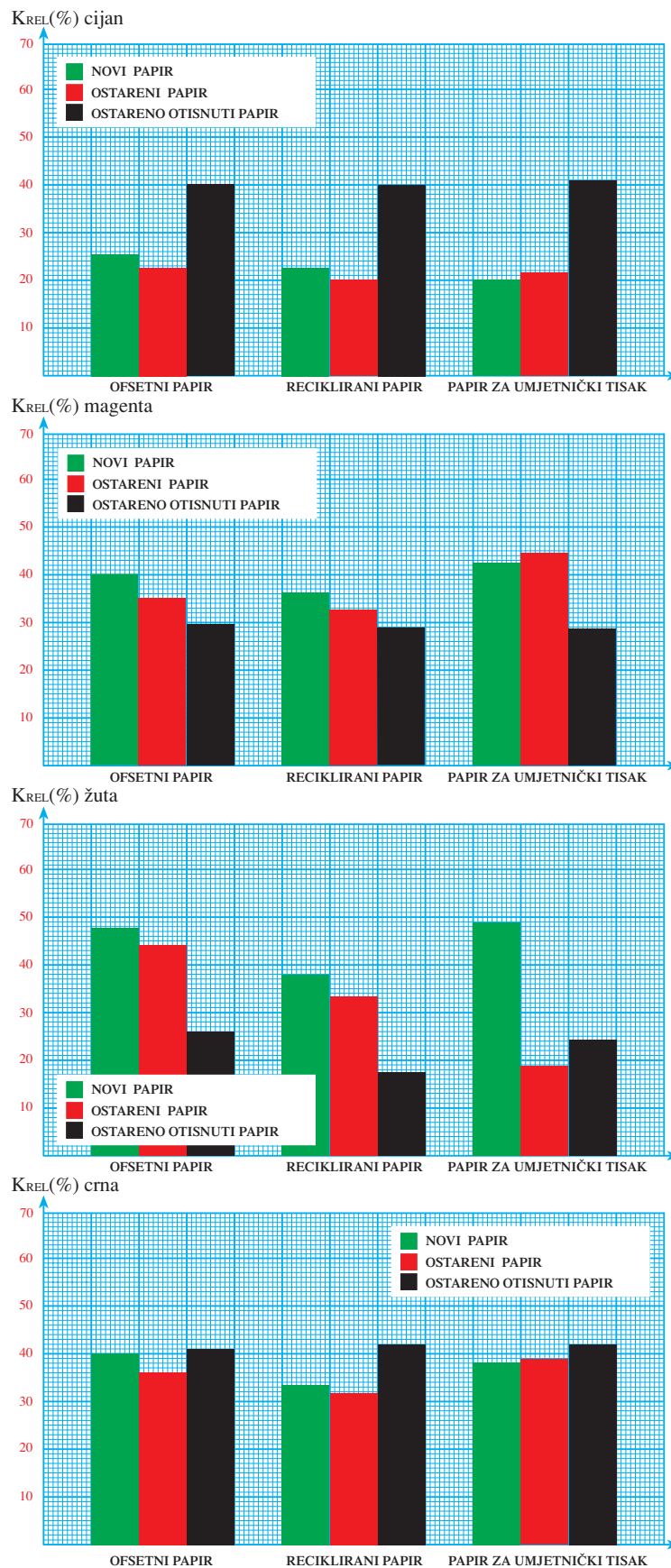
Ink Jet crna RTV OTISKA



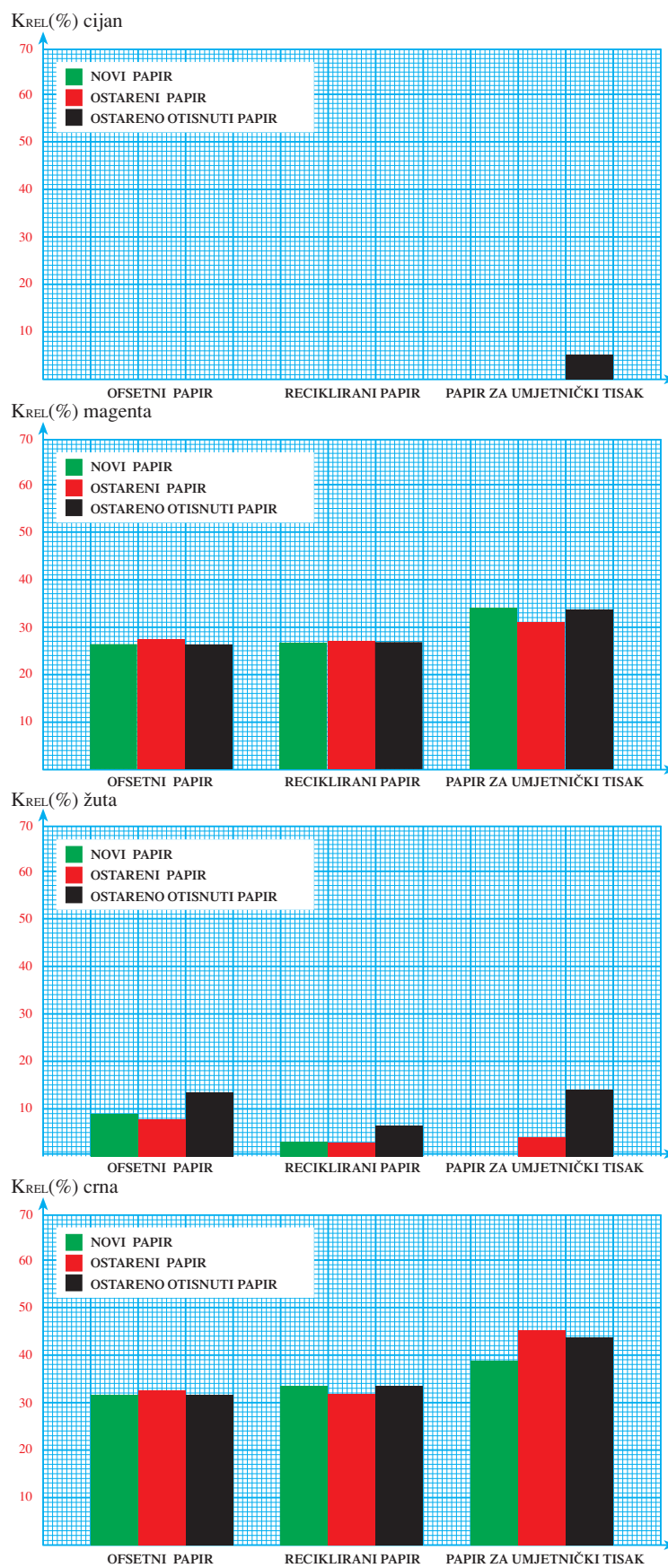
Slika 80. Grafovi koji prikazuju odnos RTV/RTV recikliranog papira kod Ink Jet otiska



Slika 81. Histogramski prikaz relativnog tiskarskog kontrasta kod Indigo otisaka



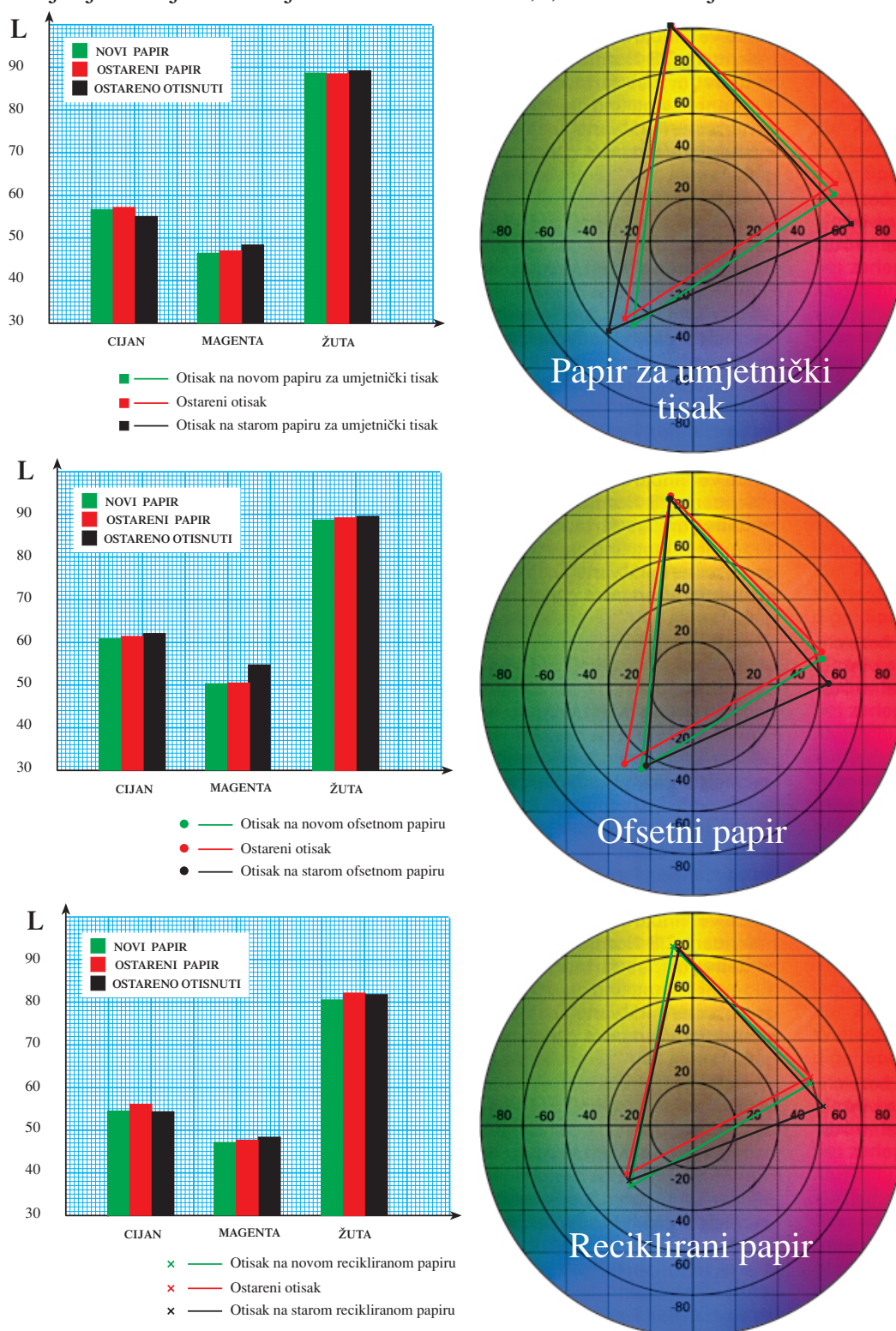
Slika 82. Histogramski prikaz relativnog tiskarskog kontrasta kod Xerox otisaka



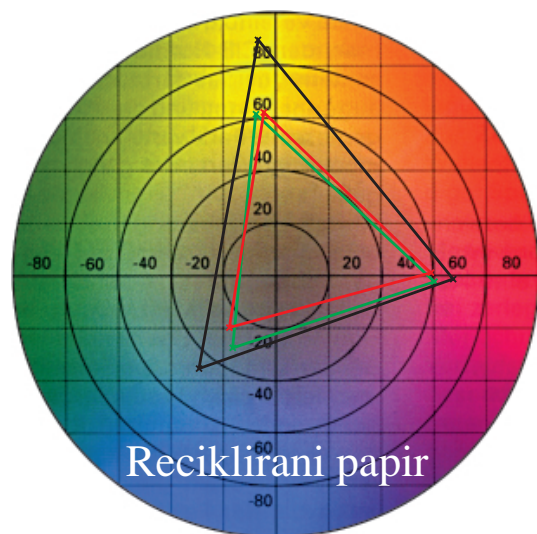
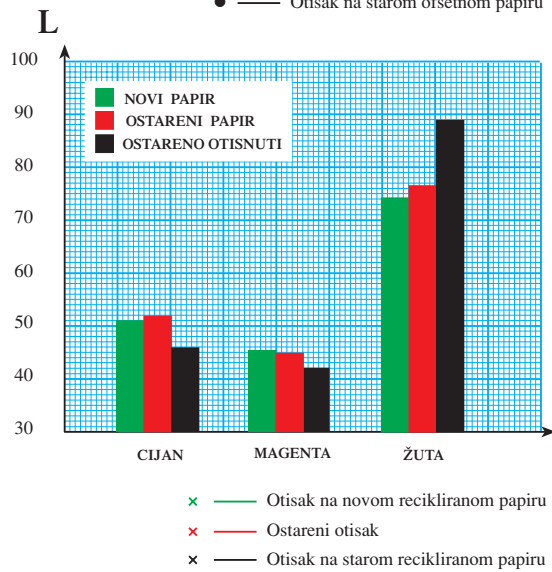
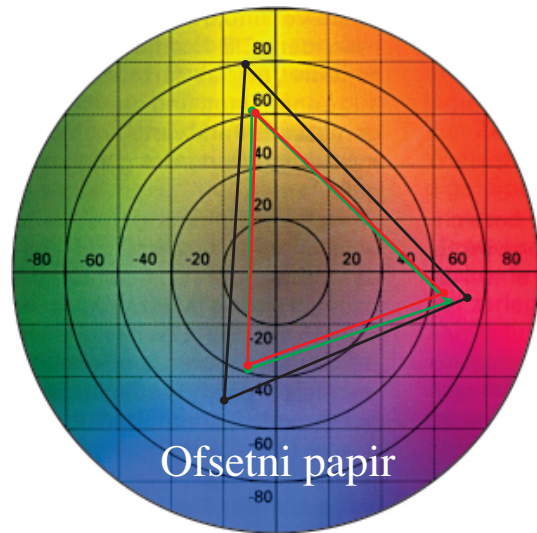
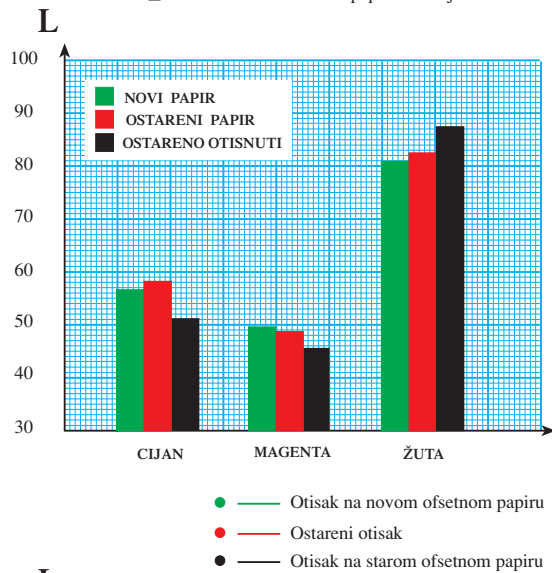
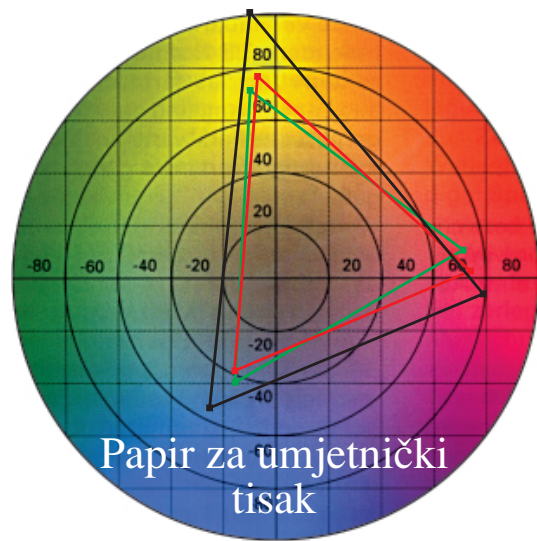
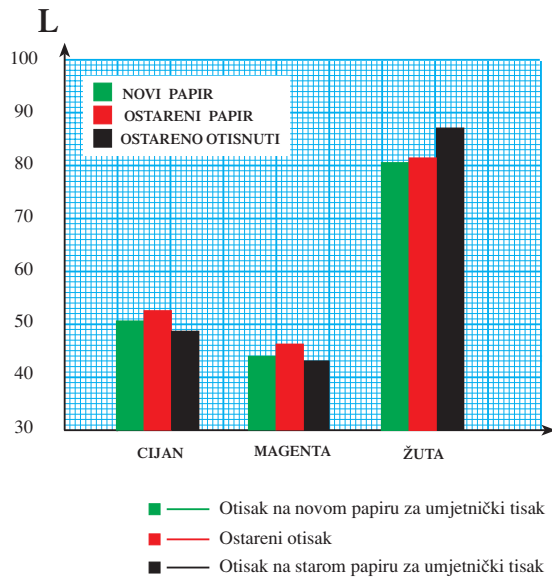
Slika 83. Histogramski prikaz relativnog tiskarskog kontrasta kod Ink Jet otisaka

4.4. Rezultati spektrofotometrijskih mjerenja

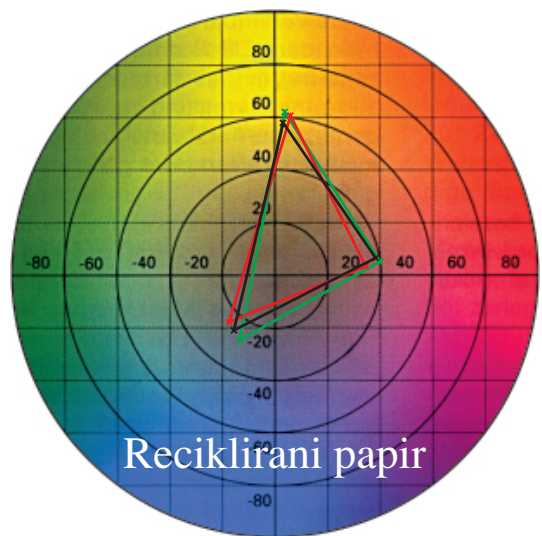
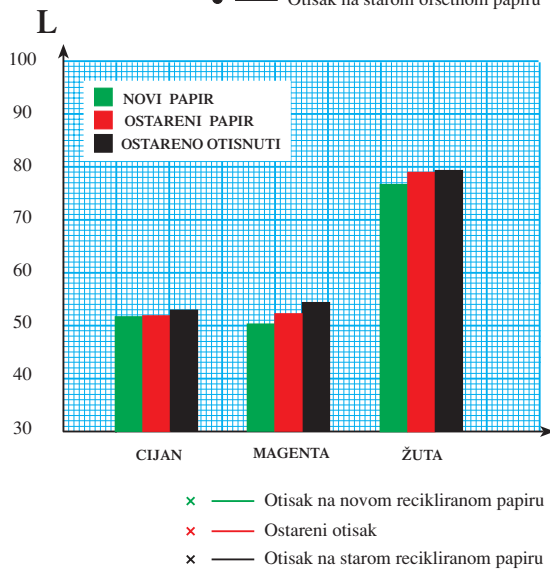
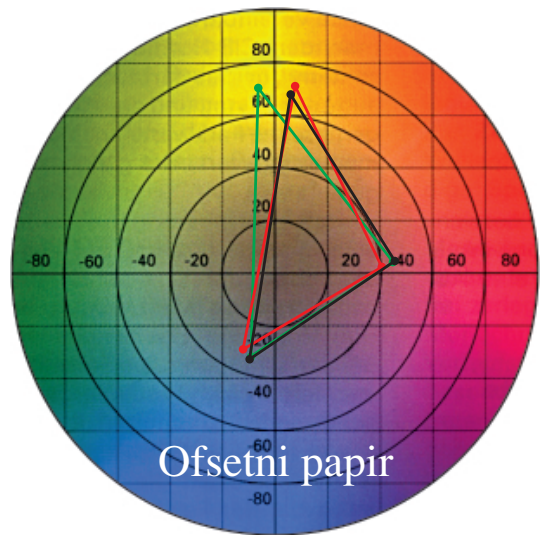
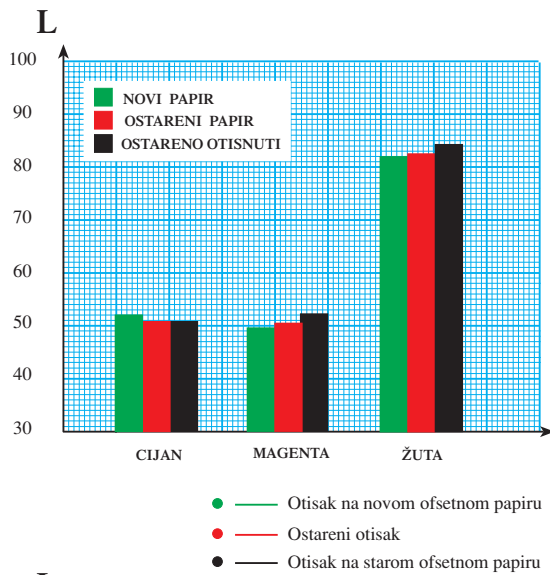
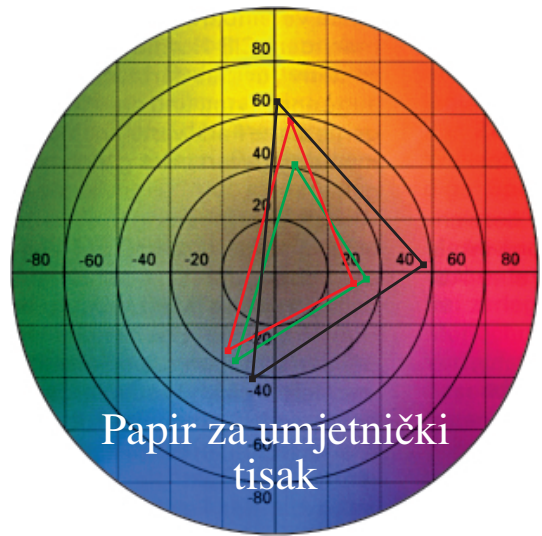
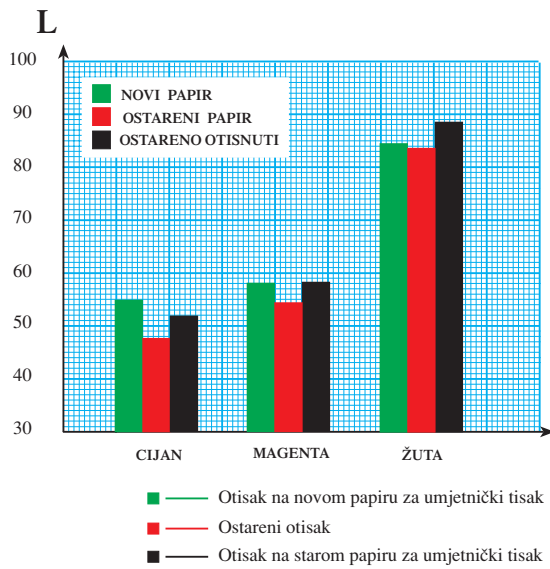
Kao i pri određivanju optičkih svojstava papirnih podloga, izvršena su spektrofotometrijska mjerenja cijana, magente i žute u punom nanosu obojenja. Izmjerene vrijednosti dane su u L,a,b sustavu boja.



Slika 84. Prikaz svjetloće (L^*) i kromatskih vrijednosti (a^*) i (b^*) kod Indigo otisaka



Slika 85. Prikaz svjetloće (L^*) i kromatskih vrijednosti (a^*) i (b^*) kod Xerox otisaka



Slika 86. Prikaz svjetloće (L^*) i kromatskih vrijednosti (a^*) i (b^*) kod Ink Jet otisaka

4.5. Vizualna ocjena kvalitete

Osim spektrofotometrijskog i denzitometrijskog mjerenja izvršeno je i vizualno ocjenjivanje otisaka. Za ocjenjivanje su korištena 24 ispitanika, koji su uspoređivali uzorke pod rasvjetom D₅₀. Njihove impresije valorizirane su odgovorima ponuđenim u specijalno definiranoj anketi (slika 87).

| | | |
|---|---|---|
| <p>UZORAK 1 i UZORAK 2 OF. PAPIR - OSTARENI OF. PAPIR</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> | <p>UZORAK 1 i UZORAK 3 NOVI OF. PAPIR - STARO OTISNUTI OF. PAPIR</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> | <p>UZORAK 2 i UZORAK 3 STARI OF. PAPIR - STARO OTISNUTI OF. PAPIR</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> |
| <p>UZORAK 1 i UZORAK 2 NOVI PAPIR za U.T. - OSTARENI PAPIR za U.T.</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> | <p>UZORAK 1 i UZORAK 3 NOVI PAPIR za U.T. - STARO OTISNUTI PAPIR za U.T.</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> | <p>UZORAK 2 i UZORAK 3 STARIPAPIR za U.T. - STARO OTISNUTI PAPIR za U.T.</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> |
| <p>UZORAK 1 i UZORAK 2 NOVI REC. PAPIR - OSTARENI REC. PAPIR</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> | <p>UZORAK 1 i UZORAK 3 NOVI REC. PAPIR - STARO OTISNUTI REC. PAPIR</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> | <p>UZORAK 2 i UZORAK 3 STARI REC. PAPIR - STARO OTISNUTI REC. PAPIR</p> <p>1) Nema razlike u reprodukciji. 2) Mala razlika u reprodukciji. 3) Srednja razlika u reprodukciji. 4) Jasna razlika u reprodukciji. 5) Značajna razlika u reprodukciji</p> |

Slika 87. Uzorak ankete za vizualno ocjenjivanje otisaka

Statističkom obradom rezultata formirana je tablica 18. sa slijedećim rezultatima:

Tablica 18. Rezultati ankete za vizualno ocjenjivanje otisaka

| VIZUALNA OCJENA | INDIGO | XEROX | INK JET |
|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| NOVI - OSTARENI ofsetni papir | NEMA RAZLIKE (1,15) | NEMA RAZLIKE (1,79) | MALA RAZLIKA (1,93) |
| NOVI - STARI ofsetni papir | JASNA RAZLIKA (3,57) | SREDENJA RAZLIKA (2,77) | MALA RAZLIKA (2,06) |
| OSTARENI - STARI ofsetni papir | JASNA RAZLIKA (3,57) | MALA RAZLIKA (2,42) | MALA RAZLIKA (1,92) |
| NOVI - OSTARENI papir za umj. tisak | NEMA RAZLIKE (1,43) | MALA RAZLIKA (2,43) | JASNA RAZLIKA (4,20) |
| NOVI - STARI papir za umj. tisak | MALA RAZLIKA (2,29) | SREDENJA RAZLIKA (2,71) | ZNAČAJNA RAZLIKA (4,27) |
| OSTARENI - STARI papir za umj. tisak | SREDNJA RAZLIKA (3,00) | SREDENJA RAZLIKA (2,85) | SREDNJA RAZLIKA (3,00) |
| NOVI - OSTARENI reciklirani papir | NEMA RAZLIKE (1,57) | MALA RAZLIKA (2,43) | MALA RAZLIKA (2,14) |
| NOVI - STARI reciklirani papir | MALA RAZLIKA (2,50) | MALA RAZLIKA (2,49) | SREDNJA RAZLIKA (2,71) |
| OSTARENI - STARI reciklirani papir | SREDENJA RAZLIKA (3,06) | MALA RAZLIKA (2,35) | NEMA RAZLIKE (1,79) |

| | |
|------------------|-------------|
| NEMA RAZLIKE | 1 - 1,80 |
| MALA RAZLIKA | 1,81 - 2,60 |
| SREDNJA RAZLIKA | 2,61 - 3,40 |
| JASNA RAZLIKA | 3,41 - 4,20 |
| ZNAČAJNA RAZLIKA | 4,21 - 5 |

5. Diskusija rezultata

U diskusiji su analizirani rezultati optičkih svojstava papira (prikazanih u CIE $L^* a^* b^*$ grafikonima), i mehanička svojstva koja su u histogramskom obliku. U ispitivanju mehaničkih svojstava obrađeno je: prskanje, upojnost, glatkoća, dvostruko savijanje, otpornost na kidanje i prostorna masa.

Denzitometrijska mjerenja otisaka otisnutih na Indigo, Xeroxu i Ink Jetu, koja su prethodno ubrzanom ostarena prikazana su u grafikonima i histogramima. U njima je prikazana međuovisnost: gustoće obojenja i rastertonske vrijednost, rastertonske vrijednosti originala i rastertonske vrijednosti otiska, te relativni tiskarski kontrast. Na kraju zajedno s vizualnim kontrolnim ocjenjivanjem (tablica 18), određene su razlike u svjetlini i obojenju, nastale uslijed starenja (CIE $L^* a^* b^*$).

Uz sliku 56 priložena je tablica s optičkim i kolorimetrijskim vrijednostima novog i ostarenog papira korištenog u ovom istraživanju. Izražavajući razliku u obojenju (ΔE) između novog i ostarenog recikliranog papira dobivena je razlika u vrijednosti $\Delta E = 7,4$. Papir za umjetnički tisak pri starenju doživljava nešto manju promjenu koja iznosi $\Delta E = 6,6$. Ofsetni papir poslije starenja pokazuje najmanju promjenu i razliku obojenja od $\Delta E = 4,3$.

Promatrajući kromatske promjene ($a^* b^*$) između novog i ostarenog recikliranog papira, uočava se značajniji pomak unutar područja žutog obojenja, što utječe na smanjenje bjeline (L^*). Plavkasti papir za umjetnički tisak također žuti, pri čemu dolazi i do manje redukcije bjeline. Najstabilnija optička svojstva je pokazao ofsetni papir koji doživljava samo manje promjene unutar plavog obojenog područja, ne prelazi u žuto područje i ne doživljava veću promjenu u bjelini.

Mehanička svojstva novih i ostarenih recikliranih, ofsetnih i papira za umjetnički tisak, su prikazana na slikama 57, 58, 59, 60, 61 i 62.

Slika 57 prikazuje rezultate prskanja papira po Dalenu. Mjerenjem otpornosti na prskanje novog i ostarenog recikliranog papira ne uočava se razlika u izmjerenim vrijednostima. Starenjem ofsetnog papira nastaje manje smanjenje otpornosti na prskanje (7 kPa), dok se u papiru za umjetnički tisak uočava veće povećanje otpornosti na prskanje (27 kPa).

Na slici 58 prikazana je izmjerna upojnost novih i ostarenih: papira za umjetnički tisak, recikliranih papira i ofsetnih papira. Zbog velike upojnosti recikliranog papira mjerenje upojnosti nije se moglo izvesti. Umjetno ostareni ofsetni papiri prikazuju neznatno smanjenje upojnosti, koja je naglašena na

sa sitovoj strani papira (8 gm^{-2}). Kod ostarenog papira za umjetnički tisak uočava se značajno veća upojnost, koja je izražena podjednako i sa sitove i pustne strane papira (33 gm^{-2}).

Na slici 59 prikazani su rezultati glatkoće papira mjerene Bendtsenovom metodom. Promatrajući glatkoću (hrapavost) uzoraka, uočava se da starenjem nastaje manja površinska hrapavost koja se na svim papirima ostvaruje jednolično (razlika hrapavosti je oko 50 ml/min).

Na slici 60 prikazana je otpornost na savijanje, odnosno broj dvostrukih savijanja. Mjerenjem broja dvostrukih savijanja uočeno je da svi ostareni papiri bez obzira na smjer toka vlakana, imaju izraženu značajno smanjenje u broju dvostrukih savijanja (rec. uzd. smjer = 80 savijanja, rec. poprečni smjer = 20 savijanja, ofsetni uzd. smjer = 580 savijanja, ofsetni poprečni smjer = 640 savijanja i papir za umj. tisak poprečni smjer = 500 savijanja). Iznimka je ostareni papir za umjetnički tisak koji celulozna vlakanca ima poredana po uzdužnom smjeru. Kod takvog papira starenje ne utječe na broj dvostrukih savijanja, te je rezultat gotovo jednak neostarenom papiru (razlika je 20 savijanja).

Otpornost na kidanje recikliranog, ofsetnog i papira za umjetnički tisak u poprečnom i uzdužnom smjeru prikazana je na slici 61. Nakon kondicioniranja uzoraka koje je provedeno u standardnim uvjetima (23° C i 55% relativne vlažnosti zraka), izvršeno je kidanje u kidalici. U rezultatima kidanja nije uočena veća razlika između novih i ostarenih papira.

Slika 62 prikazuje ovisnost prostorne mase o vrsti papira (recikliranog, ofsetnog i papira za umjetnički tisak). Starenjem recikliranog i ofsetnog papira ne uočava se promjena u prostornoj masi, dok se starenjem papira za umjetnički tisak uviđa manje smanjenje prostorne mase ($0,14 \text{ g/m}^3$).

Općenito se može zaključiti da kemijske reakcije oksidacije i termolize (toplinsko starenje) utječu na vlakanca, tako da se oslabljuje veza između vlakana, čime dolazi do promjene mehaničkih svojstava.

Slično ispitivanje promjena mehaničkih i optičkih svojstava nastalih uslijed simuliranog starenja izvršeno je i u izvornom znanstvenom radu: "Colorimetrics of Model Ofset Inks and the Durability of the Prints". U jednom i drugom radu rezultati bjelina papira (L) nastalih uslijed ubrzanog starenja, u potpunosti se podudaraju. Kod mehaničkih svojstava papira, radovi se mogu komparirati u izmjerenom broju dvostrukih savijanja papira i u sili kidanja.

U oba rada razlika u broju dvostrukih savijanja između novih i starih recikliranih papira je približno jednaka (starenjem recikliranog papira broj dvostrukih savijanja smanjuje se za oko 70%). Otpornosti na kidanje se potpuno razlikuju. U gore navedenom radu potrebna prekidna sila starenjem se smanjuje 30%, dok se u ovom radu ne uočava veća razlika prekidne sile. Za takve razlike zaslužno je kondicioniranje ostarenog papira, koje je u ovom radu izvršeno neposredno prije kidanja (papir je apsorbirao vlagu iz zraka koju je izgubio ubrzanim starenjem).

Poznato je da proces hidrolize i oksidacija pri razgradnji molekule celuloze uzrokuju nestanak karboksilnih skupina, što dovodi do povećanja kiselosti papira. Do hidrolize i oksidacije molekule celuloze može doći radi djelovanja kiselih spacija iz okoliša, ali i mogućim utjecajem aluminij sulfata koji se koristiti u proizvodnji papira.

Uzorci papira korišteni za otiskivanje imaju pH vrijednost od 8,25 do 8,35 i nalaze se unutar područja koji prema normi ISO 8706 i spadaju u skupinu trajnih papira, te se koriste za izradu dokumentnih papira (pH 7,5 - 10,0 ISO 8706). Takvi papiri obično su neutralno keljeni i ne očekuju se veće promjene pH vrijednosti. Nakon starenja se zapaža smanjenje pH vrijednosti površine papira. Najveća razlika je dobivena kod papira za umjetnički tisak (0,12 pH jedinica), slijedi ofsetni papir (0,07 pH jedinica) i reciklirani papir (0,01 pH jedinica).

Ovisnosti gustoća obojenja Indigo novih, ostarenih i ostareno-otisnutih otiska o rastertonskoj vrijednosti dane su na slikama 63, 64 i 65. Na isti takav način prikazani su i otisci otisnuti na Xerox tiskarskom stroju (slike 66, 67,68) i Epson Ink Jetu (slike 69,70,71). Svi otisci su višebojni (CMYK) i otisnuti su na ofsetnom, recikliranom i papiru za umjetnički tisak.

Ovisnost gustoća obojenja (D) osnovnih procesnih boja (CMYK) o rastertonskoj vrijednosti originala (RTV) za Indigo otiske prikazana je na slici 63. Korištena tiskovna podloga je papir za umjetnički tisak. U krivuljama reprodukcije cijana i magentne starenjem se ne uočava razlika u gustoći obojenja. Žuti i crni otisci imaju manje oscilacije u tamnijim raster tonskim vrijednostima (kod 80% RTV žuta ukupno oscilira gustoćom obojenja $D_{80} = 0,10$ dok je kod crne $D_{80} = 0,20$). Ove vrijednosti ne odstupaju značajnije od toleranci.

Na slici 64 su prikazane reprodukcije na ofsetnim papirima. Otisci cijana i magente pokazuju odstupanja u višim tonskim vrijednostima na ostarenom papiru (crne krivulje). Navedene oscilacije nisu velike (kod 100% RTV odstupanja iznose $D_{100} = 0,12$) i ostaju u granicama tolerancije. Kod žutog

otiska primjećuje se veće odstupanje gustoće obojenja unutar područja između 60 i 90 % RTV (kod 80% RTV žuta ukupno oscilira $D_{80} = 0,20$). Na crnom otisku odstupanja se ne primjećuju.

Indigo žuti otisak na recikliranim papirima (slika 65) u svim krivuljama ima izražene oscilacije po čitavoj krivulji reprodukcije (prosječno odstupanje gustoće obojenja $D = 0,16$). Razlog tomu je papir koji starenjem žuti, te na taj način dolazi do zbrajanja boje i podloge što je pogotovo uočljivo kod rastera. Otisci cijana, magente i crne su potpuno ujednačeni.

Ovisnost gustoća obojenja Xerox otiska o rastertonskoj vrijednosti originala na papiru za umjetnički tisak, prikazana je na slici 66. Žuti i cijan otisak na ostarenom otisnutom papiru (crna krivulja) ima veća pozitivna odstupanja u višim tonskim vrijednostima, dok su ostala područja ujednačenije reproducirana (kod 80% RTV žuta ukupno oscilira gustoćom obojenja $D_{80} = 0,52$ dok je oscilacija cijana najveća kod 100% nanosa $D_{100} = 0,56$). Kod ostareno otisnutog crnog otiska uočava se smanjenje gustoće obojenja po čitavoj krivulji koja svoje ekstreme ima u višim tonskim područjima ($D_{90} = 0,22$). Umjetnim starenjem žuti i magentni otisci (crvene krivulje) doživljavaju ujednačeno povećanje u srednjim i višim tonovima, dok se crna i cijan pritom ne mijenja značajnije (žuta 80% rastertonska vrijednost oscilira $D_{80} = 0,10$ dok magenta u punom tonu oscilira $D_{100} = 0,24$).

Starenjem otisaka otisnutih na ofsetnim papirima (crvene krivulje na slici 67), ne nastaje uočljiva razlika. Ostareno-otisnuti Xerox otisci (crne krivulje) pokazuju veća odstupanja u odnosu na nove. Kod žutog otiska gustoće obojenja rastu s povećanjem rastertonske vrijednosti (najveće odstupanje je pri 80% rasteru, gdje je gustoća obojenja $D_{80} = 0,48$). U cijan i magentnom otisku također se uočava veće povećanje gustoće obojenja koje je izraženo samo u visokim tonskim područjima (cijan najviše odstupa kod 100% nanosa $D_{100} = 0,56$, dok magenta u 80% rastertonskom području $D_{80} = 0,46$). Crni otisak u potpunosti se razlikuje od ostalih, te se kod njega u području između 50 i 100% RTV uočava ujednačeno smanjenje gustoće obojenja, koje najviše odstupa u 90% rasterstonskom području ($D_{90} = 0,30$).

Reprodukcija žute boje na recikliranom papiru (crvena krivulja na slici 68) starenjem doživljava povećanje gustoće obojenja po cijeloj krivulji reprodukcije, tako da prosječno odstupanje gustoće obojenja iznosi $D = 0,08$. Otisci cijana, magente i crne samim starenjem se ne mijenjaju. Ostareno-otisnuti otisci cijana, magente i žute (crna krivulja) imaju izraženo veliko povećanje gustoće obojenja samo u tamnijim tonskim područjima. Cijan najviše odstupa u punom tonu ($D_{100} = 0,70$), dok magenta i žuta u 80% rastertonskom području imaju odstupanje gustoće obojenja $D_{80} = 0,58$. Kod crnih otisaka se ne uočavaju vidljive promjene.

Krivulje ovisnosti gustoće obojenja i RTVa kod otisaka u Xerox tehnici pokazuju dvije bitne pravilnosti. Otisak na novom papiru i isti otisak nakon starenja ne pokazuju bitne razlike, odnosno ponašaju se slično kao otisci Indiga. Međutim tisak na ostarenom papiru pokazuje znatno odstupanje od tiska na novom papiru. Maksimalna su odstupanja kod boje cijan gdje se prirast gustoće obojenja kreće u području od 80 do 100% RTV od 0,4 do 0,6. Sličan problem kod viših RTV je jako izražen kod žute boje, dok crna boja uopće ne slijedi šarene. To bitno drugačije ponašanje bojila, kod tiska na ostarenom papiru upozorava da Xerox tiskom nije uputno tiskati višebojne radove na ostarenom papiru, jer će rezultati biti bitno različiti od očekivanja. Problemi su posebno naglašeni kod većih rastertonskih područja.

Slika 69 prikazuje ovisnost gustoće obojenja Ink Jet višebojnih otisaka o rastertonskoj vrijednosti originala, na papiru za umjetnički tisak. Pri starenju otiskaka u cijan boji (crvena i crna krivulja), uočena su veća ujednačena smanjenja gustoće obojenja po cijeloj krivulji reprodukcije (najviša odstupanja gustoće obojenja su u području od 50% do 100% RTV i iznose $D = 0,24$). Starenjem magentnog i žutog otiska (crvene krivulje) dešavaju se manja smanjenja gustoća obojenja (u području 50% RTV gustoća obojenja žute boje najviše odstupa $D_{50} = 0,16$, dok magenta najviše oscilira u punom tonu $D_{100} = 0,20$). Na ostareno-otisnutom otisku magente (crna krivulja) uočava se u višim tonovima manje povećanje gustoće obojenja ($D_{90} = 0,10$) u odnosu na neostareni otisak (zelena krivulja). Starenje crnog otiska (crvena krivulja) rezultira sa smanjenjem gustoće obojenja u tamnijim područjima (maksimalno odstupanje gustoće obojenja je u području od 90% RTV i iznosi $D_{90} = 0,20$). Ostareno-otisnuti otisci žute i crne (crne krivulje), imaju izraženije smanjenje gustoće obojenja. Kod žute je to više izraženo u svim tonskim vrijednostima (najviše odstupanje gustoće obojenja u 50% rasteru iznosi $D_{50} = 0,18$), dok je odstupanje crne vidljivije u višim tonskim područjima ($D_{90} = 0,36$).

Starenje otisaka cijana, magente, žute i crne na ofsetnim i recikliranim papirima (crvene krivulje na slikama 70 i 71), ne utječe na gustoću obojenja. Ostareno-otisnuti otisci (crne krivulje) se ponašaju isto tako. Iznimka je žuti otisak koji u području između 30 i 100% RTV ima reduciranu gustoću obojenja (najviše odstupa kod rastertonske vrijednosti $D_{60} = 0,08$).

Zavisnost Indigo novih, ostarenih i ostareno-otisnutih otisaka o rastertonskoj vrijednosti originala i rastertonske vrijednosti otiska, prikazani su na slikama 72, 73 i 74. Starenjem CMYK otisaka na papirima za umjetnički tisak (crvene krivulje na slici 72), ne uočava se gotovo nikakvo smanjenje rastertonske vrijednosti. Ostareno-otisnuti otisci cijana, magente i žute (crne krivulje) u odnosu na neostarene (zelene krivulje) imaju najizraženije pozitivno odstupanje prirasta rastertonske vrijednosti u nižim tonskim područjima ($Z_{mag} = +7\%$ kod 20% RTV), koje postepeno prelazi u negativnu

deformaciju u višim tonskim područjima ($Z_{\text{žut}} = -8\%$ kod 70% RTV). Crni otisak se tako ne ponaša. Njegov povećan prirast rastertonske vrijednosti uočljiv je u čitavoj krivulji reprodukcije, s najvećom vrijednošću u 20% rasteru ($Z_{20} = 10\%$).

Starenjem otisaka magente i crne na ofsetnom papiru (crvene krivulje na slici 73) ne uočavaju se promjene u reprodukciji rastertonskih vrijednosti. Ostareno-otisnuti cijan otisci (crne krivulje), se u području između 50 i 90% RTV najviše reduciraju, što rezultira smanjenjem prirasta rastertonske vrijednosti $Z = -5\%$. Starenjem žutih otisaka (crvena krivulja) uočava se povećavanje prirasta u tonskim vrijednostima između 40 i 90% ($Z = 6\%$), dok se na ostereno-otisnutom otisku (crna krivulja) prirasti krivulja reprodukcije u istim tim područjima smanjuju (najveći negativni prirast je za 70% RTV i iznosi $Z_{70} = -9\%$).

Indigo otisci cijana, magente i crne na recikliranom papiru (slika 74), simulacijom starenja i tiskom (crvene i crne krivulje) doživljavaju tolerantno povećanje rastertonske vrijednosti po čitavoj krivulji reprodukcije, s prosječnim prirastom (Z) oko $+4\%$. Ostareno otisnuti žuti otisci na recikliranom papiru (crna krivulja), u odnosu na nove (zelena krivulja), imaju veći pad rastertonske vrijednosti u području između 50 i 90 % (najviše izražen kod 70% RTV s negativnim prirastom $Z_{70} = -14\%$).

Odnos rastertonske vrijednosti originala i rastertonske vrijednosti otiska za Xerox nove, ostarene i staro-otisnute otiske su dani na slikama 75, 76 i 77. Ostareni Xerox CMYK otisci na papirima za umjetnički tisak (crvene krivulje na slici 75), u potpunosti su ujednačeni s neostarenim (zelene krivulje). Ostareno-otisnuti cijan otisci na papiru za umjetnički tisak (crna krivulja), u odnosu na nove (zelena krivulja), imaju tolerantno smanjenje rastertonske vrijednosti u području između 10 i 20% RTV, kao i u području od 50 do 70% RTV ($Z = -5\%$). Kod crnog otiska vidljivo smanjenje rastertonske vrijednosti izraženo je po čitavoj krivulji reprodukcije ($Z = -8\%$). Magentni ostareno-otisnuti otisci na papiru za umjetnički tisak (crna krivulja) imaju povećanje rastertonske vrijednosti ($Z_{80} = +8\%$) u tonskim područjima od 60 do 90% RTV. Kod žute postoji izraženije povećanje prirasta rastertonske vrijednosti po čitavoj krivulji reprodukcije kod tiska na ostarenom papiru (najveće odstupanje je u području 70% RTV gdje je prirast $Z_{70} = +17\%$).

Ubrzanim starenjem Xerox otisaka na ofsetnim i recikliranim papirima (crvene i crne krivulje na slikama 76 i 77), dobiveni su gotovo identični rezultati. Starenjem otisaka na ofsetnom i recikliranom papiru (crvene

krivulje) ne uočavaju se promjene krivulja reprodukcije u odnosu na neostarene (zelene krivulje). Kod ostareno-otisnutih otisaka (crna krivulja) najveću promjenu doživljava žuta, koja ima povećan prirast tonske vrijednosti po čitavoj krivulji, s maksimumom u području 40% RTV ($Z_{40} = +17\%$). Kod magente tolerantno povećanje prirasta rastertonske vrijednosti je između 60 i 80% RTV ($Z_{80} = +8\%$). Međusobnom usporedbom svih Xerox otisaka, uočava se da krivulje reprodukcije na recikliranim papirima najmanje odstupaju. To znači da starenje ima najmanji upliv na kvalitetu reprodukcije kod recikliranog papira.

Slično kao i kod Xerox grafova D-RTV otisaka (slike 66, 67, 68) i kod dijagrama Xerox RTV otisaka - RTV originala, također dolazi do devijacija. Ovdje je naglašeno odstupanje žutog otiska (u području 20 - 90% RTV odstupa od 10 do 20%) na starom papiru u usporedbi sa otiscima na novom papiru. Također slično kao i na slikama 66, 67, 68 i ovdje crno otisnuta boja na starom papiru ima negativno odstupanje u odnosu na šarene (područje 10 - 70% RTV odstupa između 10 i 5%). Tu treba naglasiti da odstupanje žute smještaju otisak u jedva prihvatljivu kvalitetu, dok odstupanja crne još odgovaraju najvišem stupnju kvalitete.

Ovisnost rastertonske vrijednosti originala i rastertonske vrijednosti otiska za nove, ostarene i ostareno-otisnute Ink Jet otiske dane su na slikama 78, 79 i 80. Ubrzanim starenjem višebojnih otisaka na papirima za umjetnički tisak (crne i crvene krivulje na slici 78), dolazi do smanjenju rastertonske vrijednosti u gotovo svim područjima reprodukcije. Samim starenjem otisaka (crvene krivulje) najveće promjene doživljava crna, koja u području od 30 do 90% RTV u odnosu na nove otiske (zelena krivulja) ima smanjenje prirasta tonske vrijednosti ($Z = -7\%$). Smanjenje rastertonske vrijednosti mnogo je jače izraženo kod ostareno-otisnutih otisaka (crne krivulje), što jedino nije slučaj kod magente u području između 70 i 90% RTV. Kod ostareno-otisnutih otiska cijana i magente (crne krivulje), promjene rastertonske vrijednosti najviše su uočljive u područjima od 10 do 50% RTV. U odnosu na nove otiske (zelene krivulje) cijan ima prosječno smanjenje prirasta $Z = -4\%$, dok magenta $Z = -7\%$. Smanjenje rastertonske vrijednosti staro-otisnutih (crne krivulje) crnih i žutih otisaka je izraženije, i jednolično se proteže po cijeloj krivulju reprodukcije (kod crne prosječni prirast $Z = -8\%$, dok je kod žute najveći prirast u 30% rastertonskom području $Z_{30} = -22\%$).

Ostareni Ink Jet otisci na ofsetnom papiru (crvene krivulje na slici 79) ne pokazuju veća odstupanja u odnosu na neostarene (zelena krivulja). Naročito ostareno-otisnuti žuti otisak (crna krivulja), pokazuje znatnije

smanjenje rastertonske vrijednosti po čitavoj krivulji reprodukcije, s najvećim negativnim prirastom u području 20% RTV ($Z_{20} = -16\%$).

U tehnici Ink Jeta ostareno-otisnuti i ostareni otisci na recikliranom papiru (crvene i crne krivulje na slici 80), karakteristični su po smanjenoj rastertonskoj vrijednosti u odnosu na neostarene otiske. Ta smanjenja izraženija su kod staro-otisnutih otisaka, koji u područjima između 20 i 60% RTV kod svih procesnih boja imaju smanjenje prirasta $Z = -5\%$. Sva se odstupanja kreću u granicama dozvoljenih tolerancija, i otisci su zadovoljavajuće kvalitete.

Kod svih otisaka Ink Jet tehnike dolazi do velike pozitivne greške. To je naročito izraženo kod cijan boje gdje dolazi do potpunog zatvaranja rastera već na 50% RTV. Može se reći da za ovakvu tešku tiskovnu formu tu boju treba drugačije pripremiti u pripremnom tehnološkom procesu. I kod žute je slična pojava, ali je manje naglašena. Do zatvaranja rastera dolazi tek kod 80% RTV. Na sve tri boje, osim cijan, na starom papiru dolazi do smanjenja RTV u odnosu na novi. Kod otisaka na papiru za umjetnički tisak to se kreće u području između 10 i 50% RTV u vrijednostima između 20 i 15%, što uz zatvaranje rastera bitno mijenja karakteristike otisaka. Zbog toga se pripremajući za tisak žute na ostarjelom papiru drugačije pristupa tehnološkoj pripremi.

Ovisnosti tiskarskih tehnika (Indigo, Xerox, Ink Jet) o bojilu (CMYK), tiskovnoj podlozi (ofsetni, reciklirani i papir za umjetnički tisak) i starenju, (novi otisak, ostareni otisak i ostareno-otisnuti otisak), je histogramski izražena pomoću relativnog tiskarskog kontrasta (slike 81, 82 i 83).

Utjecaj starenja na kvalitetu reprodukcije moguće je izraziti međusobnim izračunavanjima razlika relativnog tiskarskog kontrasta, pri čemu se radi lakšeg snalaženja koriste slijedeći indeksi: ⁽¹⁾ novi otisak (zeleno), ⁽²⁾ ostareni otisak (crveno) i ⁽³⁾ ostareno-otisnuti otisak (crno). Starenjem nastale promijne mogu povećati vrijednost relativnog tiskarskog kontrasta (+), ili ga smanjiti (-).

Na slici 81 prikazani su relativni tiskarski kontrast izmjereni na otiscima otisnutim na Indigo E-printu. Razlika kontrasta Indigo otisaka na ofsetnim papirima su: ($C_{12}=0$ $C_{13}=+0,6$ $C_{23}=+0,6$ $M_{12}=-2,6$ $M_{13}=-2,1$ $M_{23}=+0,5$ $Y_{12}=-7,2$ $Y_{13}=+8,5$ $Y_{23}=+15,7$ $K_{12}=-3,2$ $K_{13}=0$ $K_{23}=+3,2$). Indigo cijan, magentni i crni otisci na ofsetnim papirima su ujednačenog kontrasta. Najveće odstupanja pokazuje žuti otisak koji starenjem doživljava smanjenje kontrasta(-), a ostareno otisnuti povećanje kontrasta (+).

Na recikliranim papirima razlike u kontrastu su: $C_{12} = -2,1$ $C_{13} = +2,8$ $C_{23} = +4,9$ $M_{12} = -3,6$ $M_{13} = +0,9$ $M_{23} = +4,5$ $Y_{12} = -3$ $Y_{13} = +7$ $Y_{23} = +10$ $K_{12} = -1,8$ $K_{13} = -5,8$ $K_{23} = -4$. Pad kontrasta uslijed starenja (crveno) najviše pogađa: magentu, žutu, cijan te crnu. Razlika između novog i ostareno-otisnutog otiska varira. Kontrast žute, cijana i magente je u porastu, dok je kod crne u padu. Usporedbom kontrasta između ostarenih i ostareno-otisnutih otisaka, uočava se smanjenje kod cijana magente i žute, te povećanje u crnoj.

Na kvalitetnijem papiru za umjetnički tisak, razlika u relativnom tiskarskom kontrastu je: $C_{12} = 0$ $C_{13} = +6,3$ $C_{23} = +6,3$ $M_{12} = -0,1$ $M_{13} = +4,4$ $M_{23} = +4,5$ $Y_{12} = -4$ $Y_{13} = +5,3$ $Y_{23} = +9,3$ $K_{12} = 0$ $K_{13} = -1,8$ $K_{23} = -1,8$. Ubrzanim starenjem najveće promjene u kontrastu doživljava žuta. Kontrast samim starenjem se smanjuje, dok se kod ostareno-otisnuti otisaka povećava.

Na slici 82 prikazani su relativni tiskarski kontrasti izmjereni s otisaka otisnutih na Xeroxu DC 50. Xerox ostareni CMYK otisci na ofsetnim papirima imaju slijedeće razlike: $C_{12} = -3,4$ $C_{13} = +14$ $C_{23} = +17,4$ $M_{12} = -5$ $M_{13} = -10,2$ $M_{23} = -15,2$ $Y_{12} = -3,8$ $Y_{13} = -21,9$ $Y_{23} = -18,1$ $K_{12} = -4$ $K_{13} = +0,9$ $K_{23} = +4,9$. Starenjem novih otisaka (crveno) dolazi do redukcije kontrasta koji je najizraženiji kod magente, crne, žute te cijana. Novi otisci u odnosu na ostareno-otisnute imaju različito izražen relativni tiskarski kontrast, koji je kod žute i magente u smanjenju, a kod cijana u povećanju.

Razlika unutar kontrasta na recikliranim papirima je slijedeća: $C_{12} = -2,4$ $C_{13} = +17$ $C_{23} = +19,4$ $M_{12} = -3,5$ $M_{13} = -7,4$ $M_{23} = -3,9$ $Y_{12} = -5,1$ $Y_{13} = -20,6$ $Y_{23} = -15,5$ $K_{12} = -2$ $K_{13} = +8,6$ $K_{23} = +10,6$. Kao i kod ofsetnog papira starenjem otisaka (crveno) dolazi do podjednake redukcije kontrasta u svim procesnim bojama. Povećanje kontrasta između ostareno-otisnutog papira i novog papira je izraženo kod cijana i crne, dok je smanjenje kontrasta vidljivo kod žute i magente.

Na papiru za umjetnički tisak ubrzanim starenjem dobivaju se slijedeće kontrastne razlike: $C_{12} = +0,8$ $C_{13} = +19,2$ $C_{23} = +20$ $M_{12} = +8,1$ $M_{13} = -13,7$ $M_{23} = -15,8$ $Y_{12} = -29,8$ $Y_{13} = -24,6$ $Y_{23} = +5,3$ $K_{12} = +0,9$ $K_{13} = +4,5$ $K_{23} = +3,6$. Xerox otisci uslijed starenja (crveno) doživljavaju veće promjene. Te promjene vidljive su kod žute (veliko reduciranje kontrasta) i magente (manje povećanje kontrasta), dok su cijan i crna bez promjenjene. Kontrastna razlika između ostareno-otisnutih i novih otisaka još je izraženija. Pri tom cijan i crni otisci doživljavaju povećanje, a žuti i magentni smanjenje relativnog tiskarskog kontrasta.

Na slici 83 prikazani su relativni tiskarski kontrasti otisaka otisnutih Ink Jet printerom Epson 1200 photo. Kod cijan otisaka na svim tiskovnim podlogama, tamnija rastertonska područja su zatvorena te relativni tiskarski kontrast iznosi 0. Malo povećanje kontrasta uočeno je samo kod ostareno-otisnutog papira za umjetnički tisak.

Kod ostarenih otiska na papiru za umjetnički tisak, primjećuju se slijedeće razlike u kontrastu: $C_{12}=0$ $C_{13}=+5,2$ $C_{23}=+5,2$ $M_{12}=-3,1$ $M_{13}=-0,3$ $M_{23}=+2,8$ $Y_{12}=+3,8$ $Y_{13}=+14$ $Y_{23}=+10,2$ $K_{12}=+6,4$ $K_{13}=+4,6$ $K_{23}=-1,8$. Pri starenju novih otisaka nastaju manje promjene relativnog tiskarskog kontrasta (pad magente i rast crne i žute). Ostareno-otisnuti otisci u odnosu na nove doživljavaju veću razliku u kontrastu, odnosno povećanje kod žute, cijana i crne, te smanjenje kod magente.

Otisci na ofsetnom papiru su otporni na starenja, te su njihove razlike u kontrastu: $C_{12}=0$ $C_{13}=0$ $C_{23}=0$ $M_{12}=+1$ $M_{13}=0$ $M_{23}=-1$ $Y_{12}=-1$ $Y_{13}=+4,8$ $Y_{23}=+5,8$ $K_{12}=+1,1$ $K_{13}=+0,3$ $K_{23}=-0,8$. Sve vrijednosti kontrasta su ujednačene. Jedine iznimke su ostareni (crveno) i ostareno otisnuti (crno) žuti otisci koji imaju povećanje kontrasta oko 5 %.

Malu promjenu kontrasta imaju reciklirani papiri. Razlike između kontrasta dobivenih ubrzanom starenjem recikliranih papira su: $C_{12}=0$ $C_{13}=0$ $C_{23}=0$ $M_{12}=+0,6$ $M_{13}=+0,4$ $M_{23}=-0,2$ $Y_{12}=-0,1$ $Y_{13}=+3,4$ $Y_{23}=+3,85$ $K_{12}=-1,6$ $K_{13}=+0,3$ $K_{23}=+1,9$. Žuti ostareno-otisnuti otisci u odnosu na nove doživljavaju manje povećanje relativnog tiskarskog kontrasta koje iznosi 3,4%.

Iz mjerenja relativnog tiskarskog kontrasta vidljivo je da su rezultati za sve boje i sve papire ujednačeni, odnosno unutar toleranci. Kod tiska na Xerox stroju rezultati su bitno drugačiji. Uz njih je vidljivo da je utjecaj na otiske za različite boje u kombinaciji s različitim tiskovnim podlogama različit. To potvrđuje zaključak koji se pojavio kod drugih vrsta mjerenja, što znači da za Xerox tisak treba posebno prilagoditi pripremu za svaku boju posebno u skladu s korištenom tiskovnom podlogom. Isti zaključak slijedi i za Ink Jet tisak, gdje se ta priprema također ne poklapa sa zahtjevima za Xerox.

Kolorimetrijske vrijednosti novih, ostarenih i ostareno-otisnutih otisaka prikazane su na slikama 84, 85 i 86. Spektrofotometrijski izmjerene vrijednosti 100% otisnute površine za cijan, magentu i žutu dane su u dijagramima (L^*) i (a^* b^*). Iz navedenih vrijednosti izračunate su razlike u obojenju ΔE .

Indigo otisci na papiru za umjetnički tisak starenjem se mijenjaju i nastaju slijedeće razlike u obojenju (ΔE): $C_{12}=5,9$ $C_{13}=6,3$ $C_{23}=2,6$ $M_{12}=4,1$ $M_{13}=20,5$ $M_{23}=16,9$ $Y_{12}=1,9$ $Y_{13}=1,4$ $Y_{23}=2,4$. Usporedbom novih i ostarenih Indigo otisaka uviđa se najveća razlika u obojenju kod cijana, magente te žute. Ostareno otisnuti otisak magente u odnosu na nove doživljava veliku promjenu u obojenju koja iznosi velikih $\Delta E = 20,5$.

Kod ostarenih Indigo otisaka na ofsetnim papirima, primijećene su slijedeće razlike u obojenju (ΔE): $C_{12}=3,7$ $C_{13}=4,9$ $C_{23}=3,5$ $M_{12}=2,4$ $M_{13}=15,7$ $M_{23}=13,5$ $Y_{12}=2,1$ $Y_{13}=1,7$ $Y_{23}=1,0$. U odnosu na rezultate dobivene na papirima za umjetnički tisak, sve razlike obojenja smanjile su svoje vrijednosti. Jedina iznimka je razlika obojenja starog i ostareno-otisnutog cijan otiska koja se jedino povećala.

Na recikliranim papirima razlike u obojenju (ΔE) su: $C_{12}=5,9$ $C_{13}=3,0$ $C_{23}=3,1$ $M_{12}=3,0$ $M_{13}=15$ $M_{23}=12,1$ $Y_{12}=3,3$ $Y_{13}=1,2$ $Y_{23}=2,9$. Najveće razlike obojenja između novog i ostarenog papira vidljive su kod cijana, žute i magente. Najveća razlika u obojenju uočava se između neostarenog i ostareno-otisnutog magentnog otiska ($\Delta E=15$). Iako je to velika razlika u obojenju, ipak reciklirani otisak u odnosu na ostale doživljava najmanju obojenu promjenu.

Indigo žuti otisci otisnutih na papiru za umjetnički tisak starenjem ne mijenjaju poziciju u a^*b^* dijagramu (slika 84) Pomak obojenja cijana i magente je značajniji, i usmjeren je prema zelenom i crvenom području.

Ostareni Indigo otisci (crveno) na ofsetnom papiru se u potpunosti poklapaju s novim papirima u žutom području. Manja pozitivna odstupanja postoje unutar plavog područja. Ostareno-otisnuti magentni Indigo ofsetni otisci (crno) imaju veću promjenu tona i povećanu površinu reprodukcije.

Kod Indigo otisaka na novim, ostarenim i ostareno-otisnutim recikliranim papirima, uočavaju se odstupanja unutar sva tri obojenja. Starenjem recikliranih otisaka (crveno) smanjuje se zasićenost obojenja u žutom, plavom i crvenom području. Ostareno-otisnuti reciklirani papir (crno) posjeduje najveći reprodukcijски prostor, koji manje oscilira u žutom i plavom području, te više u crvenom području.

Slika 85 prikazuje $L^* a^* b^*$ spektrofotometrijske vrijednosti novih, ostarenih i ostareno-otisnutih Xerox otisaka, iz kojih se izračunala razlika obojenja ΔE . Na papirima za umjetnički tisak starenjem nastaju veće razlike u obojenju ($C_{12}=4,9$ $C_{13}=17,1$ $C_{23}=14,2$ $M_{12}=8,9$ $M_{13}=6,9$ $M_{23}=8,8$ $Y_{12}=5,5$ $Y_{13}=30,8$ $Y_{23}=34,8$). Samo starenjem najveća razlika u obojenju izražena je u magenti, žutoj te cijanu. Razlika između novih i ostareno-otisnutih Xerox otisaka je velika. Najveća je na žutim otiscima, te na otisku cijana i magente.

Kod ostarenih Xerox otisaka na ofsetnim papirima, primjećuju se slijedeće razlike u obojenju (ΔE): $C_{12}=2,3$ $C_{13}=16,9$ $C_{23}=16,5$ $M_{12}=3,8$ $M_{13}=9,9$ $M_{23}=8,0$ $Y_{12}=2,1$ $Y_{13}=41,4$ $Y_{23}=40,4$. Osim magentnog otiska, Xerox otisci na ofsetnom papiru starenjem ne doživljavaju značajnije promjene. Razlika između ostareno-otisnutih i novih obojenja je ogromna i najviše odskače u žutom otisku.

Izmjerene i izračunate spektrofotometrijske razlike obojenja Xerox recikliranih papirnih otisaka iznose: $C_{12}=7,9$ $C_{13}=19,9$ $C_{23}=16,2$ $M_{12}=5,1$ $M_{13}=9,7$ $M_{23}=6,6$ $Y_{12}=4$ $Y_{13}=28$ $Y_{23}=27,3$. Starenjem novih otisaka nastaju najveće promjene u obojenju cijana, magente i žute. Na takvim otiscima uočava se veće smanjenje zasićenosti u plavom području, te nešto manje u žutom i crvenom. Ostareno-otisnuti uzorci recikliranog papira starenjem doživljavaju značajnu promjenu u obojenju u žutom području, te za razliku od otisaka na ofsetnom i papiru za umjetnički tisak, ΔE vrijednost nije tako visoka.

Slika 86 prikazuje $L^*a^*b^*$ vrijednosti novih, ostarenih i ostareno-otisnutih Ink Jet otisaka. Izračunata razlika obojenja (ΔE) na papirima za umjetnički tisak je slijedeća: $C_{12}=8,9$ $C_{13}=14,6$ $C_{23}=10,1$ $M_{12}=6,4$ $M_{13}=27,4$ $M_{23}=22,4$ $Y_{12}=3,4$ $Y_{13}=9,3$ $Y_{23}=9,4$. Ostareni Ink Jet otisak na papiru za umjetnički tisak u odnosu na novi doživljava najveću promjenu u cijan, magentnom i žutom obojenju. Ostareno-otisnuti Ink Jet otisak na papiru za umjetnički tisak ostvaruje veće povećanje područja reprodukcije, što je najviše izraženo kod magente, cijana i žute.

Razlike obojenja (ΔE) između novih i ubrzano ostarenih Ink Jet otisaka na ofsetnom papiru određene su slijedećim vrijednostima: $C_{12}=4,4$ $C_{13}=4,6$ $C_{23}=1,1$ $M_{12}=5$ $M_{13}=6,2$ $M_{23}=2,3$ $Y_{12}=0,9$ $Y_{13}=4,1$ $Y_{23}=3,2$. Za razliku od papira za umjetnički tisak, ofsetni papir je doživio samo manja odstupanja. Starenjem su se najviše promijenili cijan i magenta, dok žuta ostaje gotovo nepromijenjena. Ostareni i ostareno-otisnuti otisci također ne prikazuju veća odstupanja, međutim u ovom je slučaju riječ o najvećoj promijeni koja se očituje kod žute, magente i cijana.

Ubrzanim starenjem Ink Jet otisaka na recikliranim papirima dobivaju se slijedeće razlike obojanja (ΔE): $C_{12}=8,2$ $C_{13}=4,1$ $C_{23}=4,7$ $M_{12}=6$ $M_{13}=6,4$ $M_{23}=3,1$ $Y_{12}=3,5$ $Y_{13}=4,7$ $Y_{23}=4,3$. Starenjem novih otisaka uočava se vidljiva razlika u obojenju cijana, magente i žute. Slična takva razlika je uočljiva i kod ostareno-otisnutih i novih otisaka. Reproducirana boja s najvećom razlikom je magenta koju približno slijede žuta i cijan. Starenjem otisaka i tiskom na ostarene reciklirane papire, nastaje minimalno smanjenje reprodukcijske površine, koja podjednako oscilira u svim tonovima.

Mjerenjem $L^*a^*b^*$ vrijednosti još jednom metodom se potvrđuju raniji rezultati odnosno zaključci. Indigo tisak svjetlinom jednako reagira na nove i ostarene tiskovne podloge. U kromatskom djelu diagrama postoje odstupanja koja nisu velika, a izražena su u području magentnog i cijan obojenja. Kod Xerox otisaka starenjem se umjereno mijenja svjetlina otiska, dok su kromatska odstupanja vrlo velika. Kod Ink Jet otiska svjetlina otiska se vrlo malo mijenja s vrstom tiskovne podloge. Vrijednosti kromatskih parametara međutim jako zavise o starosti i vrsti papira. Time se još jednom potvrđuje da je za Xerox i Ink Jet tehnike tiska preporučljivo pripremu uskladiti s očekivanom kvalitetom tiskovne podloge.

Na sve prethodno navedene promjene gustoće obojenja, utjecaj ima tiskovna podloga. Procesom starenja na tiskovnim podlogama (ofsetni, reciklirani i papir za umjetnički tisak) smanjuje se bjelina i povećava sivoća. Sivoća podloga utječe na ukupno obojenje što je posebno izraženo u svijetlijim nijansama (žuta, magenta, cijan). Količina nanešenog bojila također je važna,

i ne smije biti velika (Xerox) ali niti premala (Ink Jet). Ubrzanim starenjem manji nanos Ink Jet bojila izbljeđuje, dok veliki nanos xeroxa rezultira slijepljivanjem otisaka.

Za usporedbu rezultata obojenja novih i ostarenih otisaka upotrebljen je rad: Colorimetric Properties of Prints During Ageing, koji ispituje Indigo i Xerox tehnologiju ispisa na reciklirane, ofsetne i papire za umjetnički tisak. Iako su rezultati obojenja izraženi u različitim sustavima boja (CIE x,y i CIE Lab), može se primijetiti da ostareni otisci u odnosu na nove imaju povećanu površinu reprodukcije. Najveće promjene uočavaju se u crvenom i plavom području.

Da se ne bi ostalo samo na fizikalnim aparativnim metodama ispitivanja, pristupilo se je također i vizualnoj ocjeni otisaka od strane većeg broja promatrača. Naime poznato je da ponekad rezultati aparativnog ispitivanja odstupaju od nalaza prosječnih promatrača, a tiskovine trebaju zadovoljiti prvenstveno prosječnog promatrača. U ovom ispitivanju također se pokazala jedino velika razlika između izmjerenih ostarjelih-starih otisaka i njihovog vizualnog doživljaja. Naime papir tih otisaka postao je naboran. Korišteni aparati tu nepravilnost nisu prepoznali, a ljudsko oko je. Zbog toga se tu pojavljuje disproporcija mjerenja i viđenja.

U tablici 18 dani su rezultati vizualnog ocjenjivanja otisaka dobivenih ubrzanim starenjem. Vizualnom usporedbom ofsetnih novih i ostarenih Indigo (1,15) i Xerox (1,79) otiska nije uočena vidljiva razlika, dok se kod Ink Jeta (1,93) uočava manja razlika.

Usporedbom novih i ostareno-otisnutih ofsetnih papira uočene su slijedeće razlike: Indigo - jasna razlika (3,57), Xerox - srednja razlika (2,77) i Ink Jet-mala razlika (2,06).

Komparacijom ostarenog i ostareno-otisnutog ofsetnog papira zamijećeno je da Indigo otisci imaju jasnu razliku (3,57), dok Xerox (2,42) i Ink Jeta malu (1,92).

Vizualnom ocjenom novih i ostarenih otisaka na papiru za umjetnički tisak primijećeno je da kod: Indiga ne postoji vidljiva razlika (1,43), Xeroxa mala razlika (2,43) i kod Ink Jeta jasna razlika (4,20).

Pri usporedbi novog i ostareno-otisnutog papira za umjetnički tisak dobiveni su slijedeći vizualni rezultati: Indigo mala razlika (2,29), Xerox srednja razlika (2,71) i Ink Jet značajna razlika (4,27).

Kod ostarenih i ostareno-otisnutih papira za umjetnički tisak, kod sve tri tehnike tiska uočena je srednja razlika, koja je samo kod Xeroxa nešto manje izražena (2,85).

Ankentrirani ispitanici uspoređujući novo otisnute i ostarene otiske na recikliranim papirima, ocijenili su da Indigo otisci namaju razlike (1,57), dok Xerox (2,43) i Ink Jet (2,14) imaju izraženiju vizualno vidljivu razliku.

Ispitani Indigo i Xerox otisci na novom i ostareno-otisnutom recikliranom papiru imaju malu razliku i prosječnu ocjenu 2,50. Ink Jet otisci imaju prosječnu ocjenu (2,71), što po skali različitosti spada u srednju razliku.

Vizualnom ocjenom ostarenih i ostareno-otisnutih recikliranih papira, zamjećuje se da: Indigo ima srednju razliku (3,06), Xerox malu razliku (2,35), a Ink Jet nema razlike (1,79).

Za vizualno uočavanje velike razlike između Indigo novog i ostareno-otisnutog otiska, najviše je zaslužna konstrukcija ulagaćeg aparata i neodgovarajuća svojstva ostarenog papira. Tijekom starenja čistih papira (koji su se kasnije otiskivali) jače strujanje zraka uzrokovao je naboranost papira, gužvanje tokom ulaganja i dobivanje šupljikavog otiska. Kada bi se moglo zanemariti nabiranje ostareno-otisnutih otisaka, vizualne ocjene za Indigo bi bile puno bolje.

6. Zaključci

Iz provedenog istraživanja u okvirima eksperimentalnih uvjeta može se zaključiti:

- Starenjem se optička svojstva mijenjaju. Takva promjena je izražena u nizu kako slijedi: reciklirani papir ($\Delta E = 7.4$), papir za umjetnički tisak ($\Delta E = 6.6$) i ofsetni papir ($\Delta E = 4.3$).

- Promjene mehaničkih svojstava nastale uslijed ubrzanog starenja najuočljivije su kod papira za umjetnički tisak, u odnosu na ofsetni i reciklirani papir. Najveće promjene su pri mjerenju broja dvostrukih savijanja (ofsetni papiri i papiri za umjetnički tisak izrezani u poprečnom smjeru) gdje se starenjem smanjuje otpornost papira. Promjene se uočavaju i u upojnosti koja se kod papira za umjetnički tisak povećava za 100%.

- Ovakva promjena mehaničkih svojstava stvara najveće probleme u tisku tehnikom Indigo E-printa. Za razliku od Xeroxa i Epson Ink Jeta, Indigo posjeduje klasični universal aparat za ulaganje papira, kojim je moguće sinkronizirano ulagati tiskovne podloge u gramaturi od 70 - 350 g/m². Prilikom ulaganja ostareni je papir zbog svoje valovitosti i krutosti teško uložiti. Papiri tijekom transporta stvaraju zastoje, gužvaju se i smanjuju kvalitetu reprodukcije.

- Rezultati mjerenja pH papira ukazuju na blago smanjenje vrijednosti nakon ubrzanog starenja papira. Razlike u pH vrijednosti prije i poslije su slijedeće: papir za umjetnički tisak (0,12), ofsetni papir (0,07) i reciklirani papir (0,01) pH jedinica.

- Spektrofotometrijski rezultati kromatskog obojenja punog tona (C,M,Y), na ofsetnim, recikliranim i papirima za umjetnički tisak starenjem se mijenjaju.

Izračunavanjem srednje vrijednosti razlike obojenja za sva obojenja digitalnih ofsetnih otisaka, uviđa se da su ubrzanim starenjem nastale promjene: papiri za umjetnički tisak ($\Delta E_{SR} = 6,8$), reciklirani papir ($\Delta E_{SR} = 5,4$) i ofsetni papir ($\Delta E_{SR} = 5,3$).

Kod Xerox otisaka srednja vrijednost razlika obojenja je izražena u nizu kako slijedi: ofsetni papir ($\Delta E_{SR} = 15,6$), papir za umjetnički tisak ($\Delta E_{SR} = 14,6$) i reciklirani papir ($\Delta E_{SR} = 13,8$).

Ink Jet srednje vrijednosti razlike obojenja odstupaju nešto više kod papira za umjetnički tisak ($\Delta E_{SR} = 12,4$), i manje kod recikliranog papira ($\Delta E_{SR} = 4,9$) i ofsetnog papira ($\Delta E_{SR} = 3,5$).

- Gustoća obojenja punog tona je najviše ovisna o debljini nanosa bojila. Tiskarski stroj koji formira najveći nanos bojila na neostarenom papiru za umjetnički tisak je Xerox ($D_M = 1,43$). Procesom starenja takvim se tiskovnim podlogama gustoća obojenja povećava i iznosi $D_M = 1,70$ (razlika $+0,17$).

- U slučaju piezo Ink Jet tehnologije (Epson 1200 photo), nanos bojila je najveći kod cijan otiska ($D_C=1,32$). Starenjem takvog otiska dolazi do pada gustoće obojenja koja iznosi $D_C=1,05$ čime je stvorena razlika od $-0,27$. Minimalan nanos Ink Jet bojila podložniji je utjecaju ostarene tiskovne podloge što u konačnici i utječe na sveukupno obojenje.

- Tijekom starenja najstabilnije se ponašaju Indigo otisci. Maksimalni nanos ElectroInka na neostarenom papiru za umjetnički tisak iznosi $D_k=1,80$. Otiscima se tijekom ubrzanog starenja smanjuje gustoća obojenja ($D_k=1,70$). U odnosu na Xerox i Ink Jet tehnike otiskivanja Indigo otisci doživljavaju najmanju promjenu ($- 0,10$).

- Vizualnim ocjenjivanjem višebojnih ilustracija potvrđeni su rezultati, odnosno usporedbom različito starih otisaka, najmanje su promjene ispitivači uočili kod Indiga (2,46), Xeroxa (2,47) te Ink Jeta (2,67).

- Iz gore navedenog nameće se zaključak da se za otiskivanje grafičkih proizvoda koji moraju duže vrijeme ostati nepromjenjeni, treba koristiti Indigo E-print tehnologiju za otiskivanje.

* * * * *

Primjena rezultata može se iskazati slijedećim zaključcima:

- Zaključci koji se odnose na primjenu rezultata istraživanja, izraženi odnosom gustoća obojenja (D) i rastertonska vrijednost (RTV), svrstani su prema tehnikama digitalnog tiska kako slijede:

- Dobiveni odnosi gustoća obojenja i RTV kod Indiga zadovoljavaju.

- Kod Xerox otisaka na starom papiru oni pokazuju za neke boje odstupaju više od dozvoljenog. Jednake rezultate pokazuju i odnosi RTV otisaka- RTV originala. Tu se nameće zaključak da postoji mogućnost tiska na ostarjele tiskovne podloge koje treba detaljnije ispitati, te pripremom pokušati anulirati očekivana odstupanja u tisku, naročito ako se tiska na papiru za umjetnički tisak. Na tom ostarjelom papiru dolazi do bitno većeg prihvaćanja nekih bojila kod velike RTV nego kod tiska na novom papiru.

- Kod Ink Jet tiska pokazao se suprotni efekt. Odstupanja su također najveća na papiru za umjetnički tisak, a najviše odstupaju također žuta i cijan boja. Međutim kod Ink Jeta dolazi do vrlo brzog zatvaranja rastera, a otisci na starim papirima ne mogu dostići u tim bojama vrijednosti kao na novom papiru. Ne preporuča se tisak na starim papirima, a ako je neophodno tada je potrebno pokušati s pripremom unaprijed smanjiti očekivane negativne efekte u tisku.

- Kod Indigo tiska izmjeri otisaka su dobri, ali zbog mogućeg nabiranja papira za umjetnički tisak ne preporuča se tisak na njemu.

- Na temelju izvedenog pokusa u našim uvjetima može se reći da je kvalitetan Indigo tisak moguć na ostarjelim naravnim papirima, dok papir za umjetnički tisak može stvarati nesavladive probleme.

- Kod Xeroxa i Ink Jet tiska može se tiskati na naravnim papirima, ali se preporuča posebna prilagodba pripreme na temelju pravila o takvom tisku koja bi trebalo izraditi. Kod tiska na ostarjele papire za umjetnički tisak preporuka je jednaka, ali treba očekivati da će se problem teže riješiti.

7. Popis literature

1. Anon A.; Digital Paper for Digital Presses, Graph World, 156 2001, 9-10, 2001.
2. Bolanča S.; Glavne tehnike tiska, Acta grafica, Zagreb, 150 - 153, 1997.
3. Bolanča S.; Suvremeni ofset, Školska Knjiga, Zagreb, 35-61, 1991.
4. Bolanča S., Mikota M., Mrvac N., Majnarić I.; Comparison of the Quality Limits of some Printings Papers in Offset and Digital Printing, Advances in Printing Science and Technology, A.(Ed) Bristow, Surrey, UK, 177 - 182, 2001.
5. Bolanča Z., Bolanča S., Zjakić I., Colorimetric Properties of the Prints During Ageing, Proceedings of First European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision, Poitiers, 121-125, 2002.
6. Bolanča Z., Agić D., Bauer K.; Possibilities of Recycling Digital Prints, Advances in Printing Science and Technology, Pire International, Ltd. Surrey, 2000.
7. Bolanča Z., Agić D.; Colorimetric Properties of the Model offset Inks and the Durability of the Prints, Proceedings of 28th International Conference of IARIGAI, Montreal, 12-18, 2001.
8. Birkenshaw J.; Short Run Printing. PIRA, leatherhead (UK) 1994.
9. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999.
10. Chatow C., Udi C.; The Fundamentals of Indigo's Digital Offset Colour Printing Process and How it Rivals Mechanical Offset Printing, Proceedings T's International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Antwerpen, Belgium, 21-25, 2001.
11. Drennan B.; Indigo E-print, Adams-Harmon Graphics Press, Cikago 1998.
12. Deventer R., Havernaus J., Kolseth P., The Effects of Air Pollutions on the Accelerated Ageing of Cellulose Containing Materials Paper, TNO, Delft, Chap. 3, 124-178. 1994.
12. Eldred N., Scarlett T.; What the Printer Should Know about Ink. 3rd edition. GATF, Pittsburgh (PA) 1994.
13. Fenton H. M., Romano F, J.; On Demand Printing, The revolution in Digital and Costomised Printing, Pretince Hall, PTR, New Yersey, 1998.
14. Erhart D., Paper Degradation: A Compustion of Industrial and Archival Concerns, Proceedings on Paper Preservation Symposium TAPPI, Press, 83-90, Atalanta 1998.
15. Erhart D.; Mecklenburg M. F., Accelerateal as Natural Aging: Proceedings on IV Simposium, Materials, 247-270, Pittsburg 1995.
16. Frank J. R. (Ed); GATF Encyclopedia of Graphic Communications, GATFPress, Pittsburgh, 1998.

17. Flagan A., Endless; Applications Print on Demand, www. podb. com.
18. Flagan A.; On-demand Printing, Upper Saddle River, New York, 1998.
19. Gojo M; Ispitivanje fizikalno-kemijskih svojstva otopina za vlaženje, Acta Graphica 11(2) 1999, Zagreb, 63-72, 1999.
20. Golubović A.; Tiskarske podloge i tiskarske boje koje se koriste u digitalnom tisku, Zbrnik radova 7. Znanstveno stručnog simpozija hrvatskih grafičara "Blaž Baromić", Z.(Ed) Bolanča, Senj,11-20, 2003.
21. Grum F., Bartleson C.J.; Colour Measurement, Academic Press, New York, 339-356, 1980.
22. Grundlagen der Qualitätskontrolle, Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft,3-38, 1987.
23. Golubović A, Malšić-Adamou I.; Svojstva i ispitivanje papira, Viša grafička škola Zagreb, 86-102, 1983.
24. Golubović A.; Tehnologija izrade i svojstva papira, Viša grafička škola, Zagreb, 7-135, 1984.
25. Hunt R. W. G.; Measuring Colour, Ellis Horwood Limited, England, 1991.
26. Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberger Druckmaschinen AG,5-98,1999.
27. Havlinova B.; Bresova V., Honakova L., Marinkova J., Ceppan M.; Journal of Materials Science 37(2) 2002, 303-308, 2002.
28. Hartung G.; Handbuch für den Flexodrucker, Veb Fachbuchverlag, Leipzig, 11-132, 1973.
29. Hudoklin V.; Apolonio Z.; Sitotisk, DDU Universum, Ljubljana 7-170, 1978.
30. Hue P. L.; Progress and Trends in Ink Jet Printing Technology, IS&T Journal of Image Science and Technology,42-1, 49-62, 1998.
31. Heidelberg Quickmaster DI 46-4 - Heidelberger Druckmaschinen AG, Ch. 3.1.1., 1995.
32. Hars C.; Autorizacija i novi impulsi u tehnici tiskarskih strojeva, Acta Graphica 2(4) 1995, Zagreb, 107 - 111, 1995.
33. Holland C.; Print's one-to-one Future, <http://www.piranet.com/> 25. 04. 2001.
34. Johnson J. L.; Principles of Non-impact Printing, Palatino Press, Irvine (CA) 1998.
35. Jeffrey N.; Looking to 2010, Print on Demand, www.podb.com, 27.10. 2000.
36. Kolar J., Strlič M.; Trajnost papirja - ko "alkalno" ni dovolj, Papir Strukovna revija DIT papirništva 1(2) 2001, 10-13, 2001.
37. Kriso H.; Budućnost elektronskog izdavaštva, Acta Graphica 4(4) 1994,194 - 195, 1994.

38. Kato L. K., Cameron R. E.; *Polymer International*, 51(8) 2002, 707 - 714, 2002.
39. Kumar M.; Standardizacija izrade i eksploatacija tiskovne forme za plošni tisak, *Viša grafička škola, Zagreb*, 91-169, 1978.
40. Kumar M.; *Drupa 2000: Digitalna evolucija: digitalne tehnike tiska*, *Grafičar 6 2000*, 6-33, 2000.
41. Kiphan H.; *Hand Book of Print Media*, Springer, Berlin, 25-750, 2001.
42. Kotera H.; *Image Processing and printing Methods*, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, CS, USA, 12-15, 1995.
43. Le P.C., Potts M., Hofer H. H.; *Durability of Papers*, *Printing in NIP Technology*, *Wbl. f. Papierfabrikat* 128(5), 282 -289, 2000.
44. Letnar M.C., Vodopivec J.; *Influence of Paper Raw Materials and Tehnological Conditions of Paper Manufacture on Paper Ageing*, *Restaurator- Journal for the Prevention of Library & Archival*, 18 (2), 73, 1997.
45. Lemperth C., Ingvar H.; *Paper and Digital Printing - What is Happeing?* Proceedings T's International Conference on Digital Production Printing and Industrial Applications, Antwerpen, Belgium, 331-334, 2001.
46. Lutz M.; *Recent trends in Photoconductor Development for Non-Impact Printers*, Proceedings of IS&T's Eleventh International Congress on advances in Non-Impact Printing Technologies, Hilton Head, CS, USA, 23-25, 1995.
47. Loye W. J., Taub H. H.; *Ink Jet Printing: Output Hardcopy Devices*, Boston Academic Press, 311-370, 1988.
48. Lozo B., Knešaurek N., Majnarić I.; *Removal of Ink by Defribation: Colorimecrtic Properties of Recycled Paper*, *CGIV 2002, Procceding First European colour in graphic, image and vision*, 459-462, Poitiers 2002.
49. Mesić V.; *Tehnologija knjigotiska*, Grafički školski centar, Zagreb, 11-13, 1970.
50. Mesaroš F.; *Grafička enclikopedija*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1970.
51. Majnarić I., Knešaurek N.; *Utjecaj promjene LUT krivulja Indigo E-printa na kvalitetu probnog otiska*, *Zbornik radova 7. Znanstveno stručnog simpozija grafičara Blaž Baromić, Z.(Ed) Bolanča*, 113-118, Senj 2003.
52. Malešić J., Kolar J., Strlić M; *Effect of pH and Carbonyls on the Degradation of Alcaline Paper: Factor Offecting Ageing of Alkaline Paper*, *Restaurator* 23 (2002), 145-153.

53. Martin L. R., In Calvert J. G (Ed) SO₂, NO and NO₂ Oxidation Mechanisms: Atmospheric Considerations, Butterworth, Chap.2, Boston (1984)
54. Norris T.O., Overview of Paper Determination, Proceedings of the Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers, ASTH Institute for Standards Reserch, 14-21, Philadelphia 1994.
55. Nothmann A. G.; Nonimpact printing, Graphic Arts technical Foundation, Pittsburgh, 73 - 86, 1989.
56. Nilsson J.; Application of Micro Drops, Report 6 1993, Department of Electrical Measurements, Lund Institute of Technology, Lund, Schweden,1993.
57. Okawara M., Kitao T., Hirasima T., Matasuako M.; Organic colorants, VA Hendbook of Data of Selected Dyes for Electro-Optical Applications, 487, Amsterdam 1988.
58. Ollech B.; Tiefdruck, Polygraph Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 14-15, 1993.
59. Romano F. J.; The Printing Industry in the Electronic Age, Understanding Graphic Communication, GATFPress, Pittsburgh, SAD, 215 - 221, 2000.
60. Park H.J., Rate of Paper Degradation, European Commiosion on Preservation and Access, Amsterdam 2000.
61. Soler J., Garcia J. A., Torres A. L., Vidal T., Colom J.F.; Durability of Recycled and Writing Papers, Process Paper Recycl, 10 (1) 2000, 20 - 28, 2000.
62. Takiguchi T., Koichi H.; High-quality Digital Color Xerography; Preceedings of SPIE - The International Society for optical Engineering, San Jose, CA, USA, 38-46, 1993.
63. The new Approach quality Control in Printing, Heidelberger Druckmaschinen Aktiengesellschaft, 3-24, 1987.
64. Teylor G.I.; Electrically Driven Jets, Proceedings Royal Society, Vol. A₃₁₃, London, 453-475, 1969.
65. Walenski W.; Offsetdruck, Polygraph Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 1-2, 1991.
66. Wolf K.; Beitrag zur Systemtheorie der Druckverfahren. Diss. TH Darmstadt 1970.
67. White A.; High qualityflexography, PIRA (ed.), Leatherhead (UK) 1998.
68. Walenski W.; Der Offsetdruck eine Einfuhrung in Theorie und Praxis, Dumont Buchverlag Koln, 84 - 88, 1991.
69. Walenski W.; Das Papier das Buch, Verlag Beruf + Schule, 203-255, 1994.

70. Zjakić I, Bolanča S, Bolanča Z; The Colour Characteristics of Modern Printing, First European Conference on Colour in Graphics, Imaging and Vision, Poitiers, 545-548, 2002.
71. Young T.; On the Theory of Light and Colours, Phil. Trans., R. Soc, 12, 2002.

7. 1 Korišteni standardi

72. Norma DIN 16539 Farbnote und Moglicher Farbumfang im Druck
73. ISO 2846 Set of Printing Inks for Offset Printing - Colorimetric Charasteriscic
74. ISO/DIN 13655. Graphic Technology - Spectral Measurement and Colorimetric Computation for Graphic Arts Images
75. Norma ISO 12647-1. Graphic Technology- Process Control for the Manufacture of Half-tone Colour Separations, Proofs and Production Prints.
76. Norma ISO 12647-2. Graphic Technology- Process Control for the Manufacture of Half-tone Colour Separations, Proofs and Production Prints.
77. Norma ISO 12647-3. Graphic Technology- Process Control for the Manufacture of Half-tone Colour Separations, Proofs and Production Prints.
78. Norma ISO 12647-5. Graphic Technology- Process Control for the Manufacture of Half-tone Colour Separations, Proofs and Production Prints.
79. Norma ISO 5360 Toplinsko umjetno starenje papira
80. Norma ISO 9706 Određivanje količina oksidacijskih materijala i pH suspenzije.
81. Norma ISO 186. Otornost papira na svjetlosno zračenje
82. Norma ISO 302 Utjecaj sastava vlakanaca na svojstva papira “po Koppu”
83. Norma ISO 9184. Utjecaj sastava vlakanaca na svojstva papira
84. Norma ISO 6588. Određivanje pH vrijednosti vodenog ekstrakta pri proizvodnji papira
85. Norma DIN 6738-1992. Klasifikacija papira prema starenju
86. Norma TAPPI T 529 om -99. Surface pH Measurement of Paper
87. Norma TAPPI T 509 om - 96. Hidrogen ion Concentration of paper extracts (cold extraction method).
88. Norma TAPPI T 464 om -95. Water Vapor Transmission Rate of Paper and Paperboard at High Temperature and Humidity.
89. Norma TAPPI T 1219 sp-98. Storage of Paper Samples for Optical Measurements and Colour Matching.

90. HRN ISO 8791-4:1992. Određivanje hrapavosti/glatkoće.
91. HRN ISO 5626-1: 2001. Određivanje otpornosti na savijanje
92. ISO 2759-3: 2001. Determination of Bursting Strength
93. ISO 1924-1:1992. Determination of Tensile Properties
94. ISO 1924-2:1992. Determination of Tensile Properties

8. Popis slika

- Slika 1. Winke fur den Mashinenmeister Orginal Heidelberger
Zylinderautomaten, Heidelberger Druchmaschinen AG,1966, str 94.
- Slika 2. Winke fur den Mashinenmeister Heidelberger K-Offsetmaschinen,
Heidelberger Druchmaschinen AG, 1972, str 12.
- Slika 3. Hartung G, Handbuch fur den Flexodrucker, VeFachbuchverlang,
Leipzig, 1973, str 26, sl. 15.
- Slika 4. Ollech B., Tiefdruck, Polygraph Verlag GmbH, Frankfurt am
Main,1993, str 83, sl. 4.36.
- Slika 5. Bolanča S., Glavne tehnike tiska, Acta grafica, Zagreb, 1997,
str. 135. sl.120.
- Slika 6. Kumar M., Standardizacija izrade i eksploatacija tiskovne forme
za plošni tisak, Viša grafička škola, Zagreb, 1978, str. 165, sl. 149
- Slika 7. Walenski W.,Offset druck, Polygraph Verlag GmbH, Frankfurt
am Main, 1991, str. 79, sl. 8.28.
- Slika 8. Hudoklin V. Apolonio Z., Sitotisk, DDU Universum,
Ljubljana, 1978, str 107, sl. 38.
- Slika 9. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.,
str.141, sl. 1.5-12.
- Slika 10. Nothmann A. G., Nonimpact printing, Graphic Arts technical
Foundation, Pittsburgh,1989, str 77, sl. 7-3
- Slika 11. Nothmann A. G., Nonimpact printing, Graphic Arts technical
Foundation, Pittsburgh,1989, str 80, sl. 7-6.
- Slika 12. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.,
str.718, sl. 5.5-11.
- Slika 13. Heidelberg Quickmaster DI 46-4 - Heidelberger druckmaschinen
AG, poglavlje 3.1.1., 1995.
- Slika 14. Heidelberg Quickmaster DI 46-4 - Heidelberger druckmaschinen
AG, poglavlje 3.1.1., 1995.
- Slika 15. Walenski W., Das Papier das Buch, Verlag Beruf + Schule,1994,
str. 204
- Slika 16. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.,
str.133, sl. 1.5-10.
- Slika 17. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.,
str. 131, sl. 1.5-9.
- Slika 18. Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberger
Druckmaschinen AG, 1995/1999, str 14.
- Slika 19. Grundlagen der Qualitatskontrolle, Heidelberger Druckmaschinen
Aktiengesellschaft, 1987, str 11, sl. 9
- Slika 20. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001.,
str. 106, sl. 1.4-48.

- Slika 21. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 107, sl. 1.4-50.
- Slika 22. Grundlagen der Qualitätskontrolle, Heidelberg Druckmaschinen Aktiengesellschaft, 1987, str 37, sl. 29
- Slika 23. Grundlagen der Qualitätskontrolle, Heidelberg Druckmaschinen Aktiengesellschaft, 1987, str 37, sl. 29
- Slika 24. Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberg Druckmaschinen AG, 1995/1999, str 55.
- Slika 25. Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberg Druckmaschinen AG, 1995/1999, str 33.
- Slika 26. Grundlagen der Qualitätskontrolle, Heidelberg Druckmaschinen Aktiengesellschaft, 1987, str 37, sl. 29
- Slika 27. Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberg Druckmaschinen AG, 1995/1999, str 80.
- Slika 28. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 677, sl. 5.1-1.
- Slika 29. Indigo operator's manual for Indigo E-print 1000 version 2.4, MNU-0240-51, April 1997. str. 3-9, sl. 3-5
- Slika 30. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-8.
- Slika 31. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-9.
- Slika 32. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-10.
- Slika 33. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-11.
- Slika 34. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-12.
- Slika 35. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-14.
- Slika 36. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-15.
- Slika 37. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-17.
- Slika 38. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-21
- Slika 39. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-5.
- Slika 40. Indigo E-print C.O. Training Guide, 1997, str. 5-6.
- Slika 41. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 1-1, sl. 1-1
- Slika 42. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 3-3, sl. 3-2, i sl. 3-4
- Slika 43. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 4-12 sl. 4-14
- Slika 44. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 4-7, sl. 4-7
- Slika 45. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 3-4, sl. 3-5
- Slika 46. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 6-2, sl. 6-1

- Slika 47. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 7-3, sl. 7-2
- Slika 48. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 8-2, sl. 8-2
- Slika 49. Concepts of Basic Xerography, Xerox Corporation, 1999, str. 9-1, sl. 9-1
- Slika 50. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 686, sl. 5.1-15.
- Slika 52. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 719, sl. 5.5-13.

Popis tabela

- Tablica 1. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 118, tablica 1.5-1.
- Tablica 2. Golubović A., Tehnologija izrade i svojstva papira, Viša grafička škola, Zagreb, 1984, str. 131.
- Tablica 3. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 125, tablica 1.5-2.
- Tablica 4. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 126, tablica 1.5-3.
- Tablica 5. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 129, tablica 1.5-5.
- Tablica 6. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 128, tablica 1.5-4.
- Tablica 7. Kiphan H., Hand Book of Print Media, Springer, Berlin, 2001., str. 134, tablica 1.5-6.
- Tablica 8. Norma ISO 12647-2, Norma ISO 12647-2. Graphic technology- Process control for the manufacture of half-tone colour separations, proofs and production prints. str.4
- Tablica 9. Tehničke karakteristike za Indigo E-print 1000+, <http://www.indigo.com>.
- Tablica 10. Tehničke karakteristike za Xerox DC 50, <http://www.Xerox.com>
- Tablica 11. Tehničke karakteristike Epsona 1200, <http://www.epson.com>
- Tablica 12. Tehničke karakteristike meterološke komore VUK 08/500, str.3
- Tablica 13. Tehničke karakteristike spektrofotometra Swatch Book, www.X-rite.com

Popis korištenih formula

- [1(2.1.9.1.)] GrundlagenderQualitätskontrolle,HeidelbergerDruckmaschinen
Aktiengesellschaft, 1987, str 15,
- [1(2.1.9.2.)] GrundlagenderQualitätskontrolle,HeidelbergerDruckmaschinen
Aktiengesellschaft, 1987, str 24,
- [2(2.1.9.2.)] Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberg
Druckmaschinen AG, 1995/1999, str 58.
- [1(2.1.9.3)] Bolanča S. Suvremeni ofset, Školska Knjiga, Zagreb, 1991.str.42
- [1(2.1.9.4)] Bolanča S. Suvremeni ofset, Školska Knjiga, Zagreb, 1991.str.43
- [2(2.1.9.4)] GrundlagenderQualitätskontrolle,HeidelbergerDruckmaschinen
Aktiengesellschaft, 1987, str 30,
- [1(2.1.9.5)] Heidelberg Qualitycontrol 2nd revised edition- Heidelberg
Druckmaschinen AG, 1995/1999, str 80.

10. Popis objavljenih radova

Znanstveni radovi objavljeni kao poglavlja u knjizi s međunarodnom recenzijom:

1. Bolanča S., Mikota M., Mrvac N., Majnarić I., Comparison of the Quality Limits of some Printing Papers in Offset and Digital Printing, Advances in Printing Science and Technology A.(Ed) Bristow, Surrey, 177 - 182, UK 2001.

Znanstveni radovi objavljeni u zborniku radova s međunarodnog znanstvenog skupa:

2. Bolanča S., Mikota M., Mrvac N., Majnarić I., Comparison of the Possibilities and the Quality Limits of some Printing Papers in Offsets and Digital Printing, Paper 2.1., Preceeding on The 27th IARIGAI Research Conference Advances in Paper and Board Performance, Graz, Austria 2000.

* Rad objavljen u knjizi odabranih radova navedeno pod 1.

3. Lozo B., Knešaurek N., Majnarić I.; Removal of Ink by Defribation: Colorimetric Properties of Recycled Paper, CGIV 2002, Proceeding First European colour in graphic, image and vision, 459-462, Poitiers 2002.

Znanstveni radovi objavljeni u zborniku radova s domaćeg znanstvenog skupa:

4. Majnarić I., Knešaurek N.; Utjecaj promjene LUT krivulja Indigo E-printa na kvalitetu probnog otiska, Zbornik radova 7. Znanstveno stručnog simpozija grafičara Blaž Baromić, Z.(Ed) Bolanča, 113-118, Senj 2003.

Domaći stručni simpoziji

5. Bolanča S., Mrvac N., Majnarić I., Tiskarstvo, edukacija i znanost, Simpozij Blaž Baromić, Senj 2000.

Objavljeni stručni radovi

6. Majnarić I., Digitalni tiskarski sustav primjenom koagulacije, Acta Graphica 12 (2000)2, 67-73, UDK 655.39:681.3.
7. Majnarić I., Proces elektrokoagulacije u prijeni digitalnog tiska, Acta Graphica 12 (2000)3, 119-122, UDK 655.39:681.3.
8. Majnarić I., Tampon tisak, Ambalaža 1 (2000), 59 -63.
9. Majnarić I., Ofsetni tisak, Ambalaža 2 (2000), 43 -46.

11. Životopis

Igor Majnarić rođen je 21. srpnja 1971. u Rijeci. Osnovnu školu završio je u Delnicama, a Srednju grafičku školu- smjer tisak u Zagrebu 1990. godine. Za vrijeme srednjoškolskog i fakultetskog obrazovanja stipendiran je od tiskare Zanat-grafike iz Delnica, u kojoj izvodi svoju stručnu praksu. Višu grafičku školu završava 1995. i nastavlja školovanje na Grafičkom fakultetu kojeg završava 1998. godine. Raspisivanjem natječaja Grafičkog fakulteta od 1. listopada 1998. za zvanje mladeg asistenta, zapošljava se na katedri za Tisak.

Od 2000. godine sudjeluje na projektu: "Istraživanje sustava: celuloza, tiskarska boja, tekućina", šifra 128001, pod vodstvom red. prof. sc. Zdenke Bolanče. U tom vremenu Igor Majnarić objavio je dva znanstvena rada na međunarodnim kongresima, jedan znanstveni rad na domaćem kongresu i pet stručnih radova.

9. Prilog

XEROX DC 50

EPSON 1200 +