

KOMPARATIVNA ANALIZA DIREKTNOG I INDIREKTNOG DIGITALNOG TISKA NA TEKSTIL

Čihal I.¹, Milković M.¹, Kosić T.

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: Osnovne prednosti digitalnih tehnika tiska u odnosu na klasične su brzina izrade otiska, mogućnost varijabilnog tiska te umnažanje malih naklada. U praksi se otisak na tekstil može napraviti na dva načina; direktnim ili indirektnim otiskivanjem. Za otisak je korištena karakteristična transferna folija „PS BLANC2“ i „White print liner“ (indirektni otisak) te „Solvent flag“ (direktni otisak). Cilj istraživanja bio je odrediti razlike u spomenutim postupcima otiskivanja, koji su bili usmjereni na određivanje razlike u obojenju između različitih tiskovnih podloga i standardnih vrijednosti prema normi ISO 12467-2. Rezultati instrumentalne analize izvedeni su spektrofotometrijskim mjerenjima na temelju kojega su izračunate razlike u obojenju CIE ΔE_{1994} . Dobiveni rezultati pokazuju odstupanja u reprodukciji boja u odnosu na standardne pretpostavljene vrijednosti boja. Najveća odstupanja ustanovljena su kod „PS BLANC2“ postupka, dok „White printliner“ i „Solventflag“ imaju mnogo manja odstupanja. Usporedbom rezultata može se zaključiti da promjenom tiskovnih podloga dolazi do značajnog odstupanja boje.

Ključne riječi: ink-jet, transferni tisak folijom, tekstil

Abstract: Main advantages of digital printing techniques compared to the classical ones are the speed of print, the possibility of variable printing, and copying in small print runs. In practice, textile print can be performed in two ways: using direct or indirect printing. Characteristic transfer foil “PS BLANC2”, “White print liner” (indirect print) and “Solvent flag” (direct print) were used for the print. The aim of this study was to determine the differences in these printing processes, which were aimed at determining the color differences between different printing substrates and standard values according to the standard ISO 12467-2. The results of instrumental analysis were obtained by spectrophotometric measurements upon which the color differences in CIE ΔE_{1994} were calculated. The results show deviations in color reproduction in relation to the standard assumed color values. The largest deviations were identified in the “PS BLANC2” process, while they are smaller in “White printliner” and “Solventflag”. By comparing the results, it can be concluded that changing the printing substrates results in significant color deviations.

Key words: ink-jet, transfer foil print, textile

1. UVOD

Tehnološki postupci tiska na tkaninu (tekstil) u posljednjih nekoliko godina značajno su se izmijenili. Zbog novih zahtjeva na tržištu, sama tekstilna industrija je primorana razvijati nova rješenja, usmjerena na skraćivanje vremena izrade proizvoda, uz istodobno povećanje stupnja kakvoće i smanjenja onečišćenje okoliša. Zbog svoje učinkovitosti, digitalne tehnike tiska sve se više upotrebljavaju u tekstilnoj industriji. Uvođenje digitalnog tiska na tekstil može se podijeliti u tri razdoblja. Početkom 1990. digitalni ink-jet tisak na tekstil se koristio za tisak koleksijskih uzoraka. Potkraj devedesetih godina dvadesetog stoljeća razvojem tehnologije i bojila počeo se upotrebljavati tisak mlazne tinte i to za proizvode malih metraža-transfernog tiska za sportsku odjeću, zastave i slično. Upotrebljavala se tehnologija kontinuiranog i isprekidanog mlaza, odnosno kapi. U spomenutom razdoblju rezolucija ispisa se kretala od 150 do 300 tpi, ali i dalje s relativno malim proizvodnim kapacitetima (oko 5 m²/h). Treće razdoblje je današnje, gdje se koriste piezo ink-jet pisači s brzinama i do 200m²/h, uz rezolucije ispisa od 720 tpi te mogućnosti tiska s različitim vrstama bojila. Ink-jet kao tehnika digitalnog tiska je jedna od najkorištenijih načina digitalnog otiskivanja. Ova tehnika temelji se na bezkontaktnom nanošenju bojila direktno na tiskovnu podlogu. Pritom se koriste tekuća bojila koja prolaze kroz sklopove vrlo uskih mlaznica. Danas se najviše koristi piezo ink-jet postupak zato što se minimalno mijenja kvaliteta bojila kod zagrijavanja. Osnova takvog sustava digitalnog tiska temeljena je na principu piezo električnog efekta i pri tome je moguće otisnuti različita bojila na različite tiskovne podloge. Izlaganjem piezo električnog kristala električnom polju doći će do mehaničke deformacije kristala (rastezanja), čime se direktno utječe i na volumen komore. Prestankom djelovanja napona piezo kristal vraća se u početni oblik, što dovodi do oslobađanja kapljice te novog punjenja komore [9]

2. TEORETSKI DIO

Tiskanje tekstila je postupak kojim se oslikavaju tkanine u različitim bojama. Sam početak bojanja tekstila razvio se u Egiptu oko 5000 godina p.n.e

Otisnuti uzorci tekstila pronađeni su i u Grčkoj u 4. stoljeću, te u 5. st. u Indiji. U Europi su počeci otiskivanja na tekstilu vezani uz Englesku i Francusku, a smatra se da su je u 12. Stoljeću donijeli trgovci iz islamskih zemalja [9]. Najviše se tiskalo za ukrasne svrhe, kao što su zavjese, i slične materijale za koje nije bilo potrebno pranje. Tijekom druge polovice 17. stoljeća Francuska je od svoje kolonije na istočnoj obali Indije donijela plave i bijele ispise. Uz njih su stajale i pojednosti o produktima njihove još nerazvijene industrije i o tkanini koja se mogla prati.

U Aziji je bio snažan razvoj tekstilne industrije. Tako se u Japanu razvila *woodblock* tehnika tiska slike ili teksta. Ova tehnika se koristila kasnije i u cijeloj istočnoj Aziji, a pretpostavka je da joj je originalno podrijetlo iz Kine. Sama tehnika temelji se na iscrtavanju te kasnijem rezbarenju drveta, na koje se zatim nanosilo određeno bojilo i otiskivalo se na tkaninu. [10]

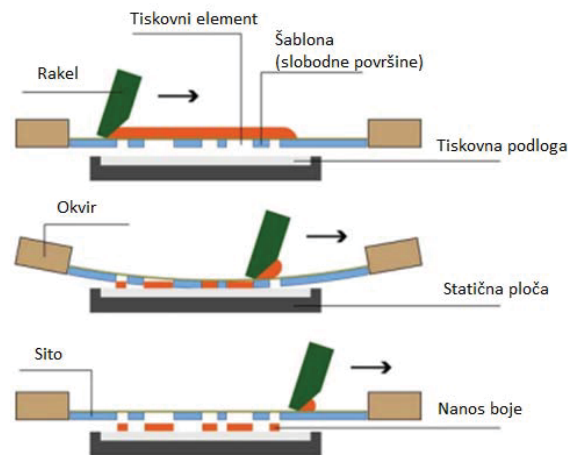
Na američkom kontinentu, Inke u Peruu i Čileu, te Asteci u Meksiku, također su prakticirali tiskanje na tekstilu. No, o tome nema nikakvog pisanog zapisa, pa zato nije moguće sigurno tvrditi jesu li oni otkrili umjetnost tiska na tkaninu ili su ju na neki način uveli i naučili od drugih kultura. [8]. Daljnjim razvojem tiskarskih tehnika, naročito nakon Gutenbergovog izuma preše sredinom 15. Stoljeća, dolazi do promjene u tehnologiji tiska na tekstilu, te primjene novih tehnika.

Značajniji iskorak u tehničkom smislu bio je početkom 18. stoljeća kada su bakrena ploča i cilindar tisak ušli u upotrebu te se pomoću ploča i valjka uzorak prenosio na tekstil. Thomas Bell je 1783. patentirao valjak koji je mogao ispisivati 6 boja u jednom prolazu, a zbog nepotpunog razvoja stroj nije bio spreman za komercijalnu upotrebu. Godine 1785. Adam Parkinson uspio je usavršiti spomenuti stroj. Proces je bio veoma popularan u ono vrijeme zbog velike brzine u odnosu na blok tisak [8]. Mnoge otiske iz toga doba na tkanini, kao što su cvjetni ili scenski dizajn na pamuku, lanu, svili, tapetama možemo pronaći i danas, ali i vidjeti u francuskom muzeju Toile de Jouy. Riječ *toile* na francuskom znači krpa, tkanina, a *Jouy* je mjesto u kojem se nalazi taj muzej [22].

Jedna od važnijih modernih klasičnih tehnika tiska na tekstilu je tehnika propusnog ili sitotiska.

Sitotiskanje je jedna od najsvestranijih tiskarskih tehnika koja se uspješno koristi u različitim granama kao što su tekstilna industrija, elektronička, autoindustrija i sl. Jedna od glavnih osobina sitotiska je mogućnost tiska na različite oblike i vrste tiskovnih podloga kao što su npr.: tekstil, staklo, plastika, koža, karton, papir, keramika, guma, drvo i sl. Kod tehnike sitotiska tiskovna forma - mrežica je napeta preko drvenog ili metalnog okvira. Tiskovne elemente predstavljaju otvorene očiće mrežice dok su slobodne površine zatvorene. Boja se nanosi preko cijelog sita te se gumenim nožem-*rakelom* protiskuje kroz tiskovne površine [6]. Mrežica sita može biti izrađena od sintetskih niti, svile ili metala. Prednost sitotiska su elastičnost, tj. moguće je otiskivati na neravne, hrapave i oble površine, te relativna jednostavnost upotrebe.

Jedan od glavnih nedostataka tehnike sitotiska je velika potrošnja boje zbog velikih nanosa bojila.



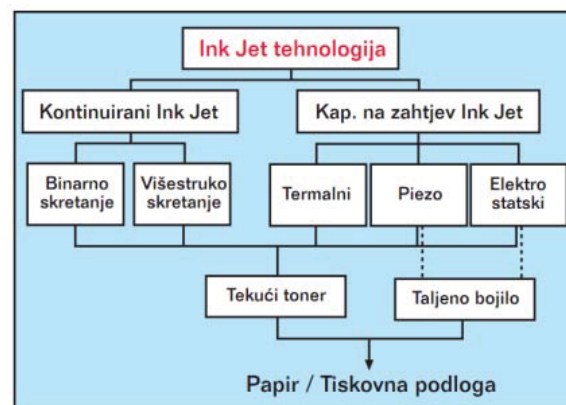
Slika 1. Prikaz obojenja tiskovne forme u sitotisku [6]

Daljnjim razvojem novih tehnologija i novim zahtjevima tržišta počinju se u drugoj polovici prošloga stoljeća u području tiska na tekstilu upotrebljavati različiti digitalni pisari – prije svega ink-jet tehnika digitalnog tiska.

Ink-jet je digitalna tehnika tiska. Uređaj za otiskivanje ne nalazi se u direktnom kontaktu s podlogom, što omogućuje uspješan tisak i na neravnim površinama. Najjednostavnije za opisati, to je metoda štrcanja kapljica prema tiskovnim površinama. Naziv riječi dolazi od engleske riječi *ink* (tinta ili bojilo) i *jet* (mlaz) - odnosno „mlaz tinte“. Osnovna zadaća ink-jet sustava je kontrola toka kapljica na njegovom putu do tiskovne podloge [5].

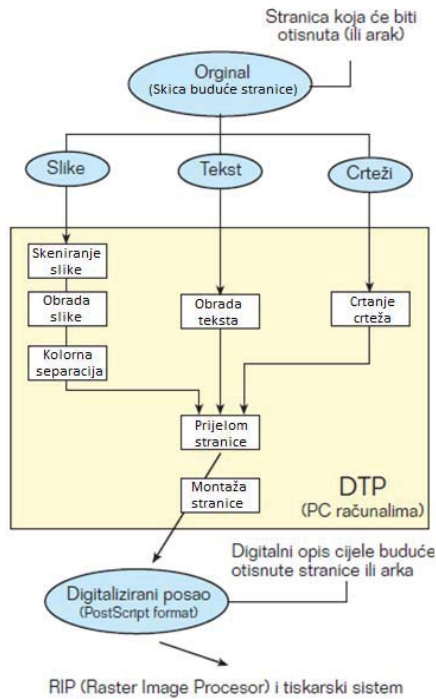
S obzirom na spomenuto, danas se tehnika ink-jeta može razdijeliti na dva temeljna postupka:

- kontinuirani ink-jet
- diskontinuirani ink-jet (DOD)



Slika 2. Prikaz razdjelje ink-jet tehnike tiska [7]

Kod ink-jet tehnike tiska ne postoji tiskovna forma u klasičnom smislu (fizički oblik), već se na zahtjev digitalnog slikovnog signala na mlaznicama generira kapljica boje koja se prenosi na tiskovnu podlogu.



Slika 3. Prikaz „Computer to Print“ tehnologije [27]

2.1. Kontinuirani ink-jet

Ideju kontinuiranog ink-jeta patentirao je 1867. godine Lord Kelvin, a 1951. godine tvrtka Siemens je razvila prvi komercijalni ink-jet uređaj [5].

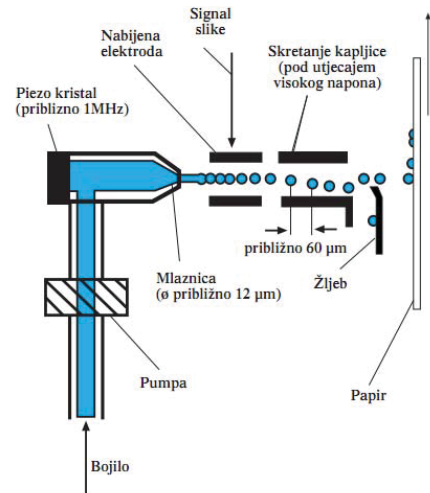
Naziv kontinuirani ink-jet proizlazi iz podatka da tinta kontinuirano teče kroz mlaznicu prema tiskovnoj podlozi, a uređajem za otklon se elektrostatski nabijeno bojilo usmjerava prema podlozi kreirajući tiskovne elemente. Dio bojila skreće u trenucima kada nema potrebe za ispisom u povratnu cijev kojom se vraća nazad u spremnik uređaja. Time se sprečava neželjeno sušenje tinte, što nije slučaj kod drugih tehnologija ink-jeta.

Kontinuirani ink-jet može se dalje podijeliti na kontinuirani ink-jet s binarnim otklonom i kontinuirani ink-jet s višestrukim otklonom.

Kod kontinuiranog ink-jeta s binarnim otklonom za istiskivanje tinte iz mlaznice koristi se piezoelektrični kristal. Takvom tehnologijom omogućeno je stvaranje visokofrekventnog niza kapljica frekvencije od 1 MHz. Ultrazvučni signal frekvencije generira i razdvaja mlaz u kapljice. Veličina kapljice i interval ispuštanja ovise o promjeru mlaznice, o viskozitetu bojila, površinskoj napetosti bojila te o frekvenciji pobude.

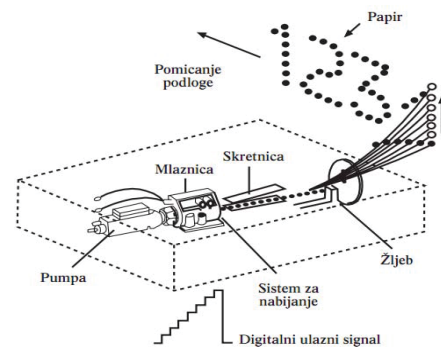
Kretanje mlaza bojila je moguće u dva smjera. Pločica pod visokim naponom otklonit će kapljice koje će se usmjeriti prema tiskovnoj podlozi, dok pločice bez naboja odvoje bojilo u odvod i nazad u spremnik. Međusobnim spajanjem sitnih kapljica moguće je stvoriti veće kapljice.

Karakteristike kontinuiranog ink-jeta volumen kapljica bojila je oko 4 pl, uz promjer od 20 μm i brzinu kapljica od 40 m/s.



Slika 4. Prikaz rada binarnog kontinuiranog ink-jeta [7]

Osim jedno-bitnog kontinuiranog ink-jet principa, postoji i oblik više-bitnog ink-jet principa. Kod jedno-bitnog stanja postoje dva stanja (nabijeno i nenabijeno stanje), odnosno kapljice mlaza usmjeravaju se prema tiskovnoj podlozi ili se odvoje nazad u spremnik, dok više-bitno stanje omogućuje reprodukciju u šesnaest različitih pozicija. Zahvaljujući elektrostatskim silama, omogućena je vertikalna putanja kapljica od mlaznice do tiskovne podloge. Kontrolni naponski impuls daje kapljicama naboj željenog intenziteta [2].



Slika 5. Prikaz rada CIJ-a s višestrukim skretanjem [7]

Glavne prednosti kontinuiranog ink-jeta su velika pouzdanost i brzina pisanja. Mana im je relativno niska razlučivost (do 300 tpi) te korištenje organskih otapala radi postizanja kraćeg vremena sušenja.

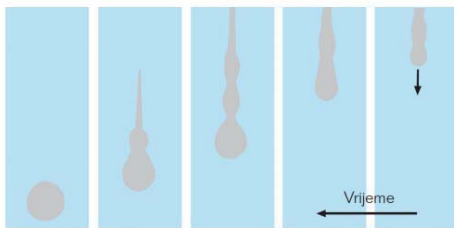
2.2. Diskontinuirani ink-jet

Za razliku od kontinuiranog ink-jeta kod kojega bojilo kontinuirano teče prema tiskovnoj podlozi, kod diskontinuiranog ink-jeta pojedine kapljice bojila generiraju se zavisno od potrebe ispisa (tzv. DOD ili drop-on-demand tehnika). Kod ovog ink-jeta, osim u tekućem obliku bojilo može biti i u obliku voska. Diskontinuirani ink-jet može se podijeliti na termalni ili bubble-jet, piezo ink-jet te elektrostatski ink-jet..

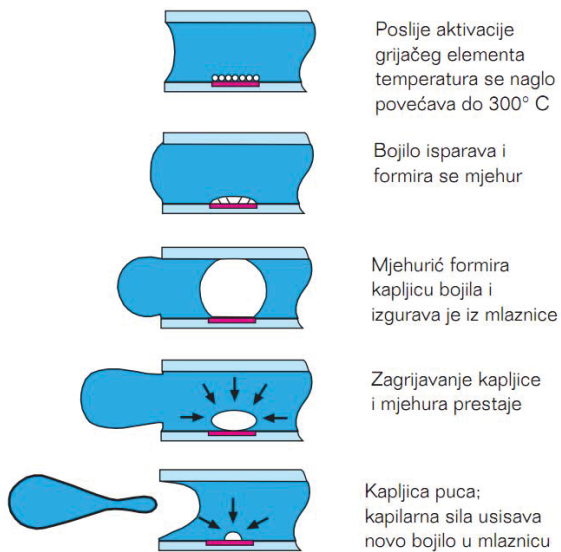
2. 2. 1. Termalni ink-jet

Kod termalnog ink-jeta kapljice bojila nastaju djelovanjem toplinske energije. Tijekom aktiviranja grijača temperatura se povećava na 300°C. Bojilo zbog toga zagrijavanja počinje isparavati i formira plinski mjehur. Nastali mjehur formira kapljicu te ju gura van iz mlaznice. U jednom trenutku dolazi do prestanka zagrijavanja kapljice i mjehura, kapljica počinje pucati, a kapilarna sila usisava novo bojilo u komoru s mlaznice. Ova tehnologija je poznata i kao bubble jet (eng. bubble - mjehurić) [1].

Karakteristike termalnog ink-jet su frekvencija kapanja od 5 do 8 kHz, volumen kapljica od 23 pl uz promjer kapljica od 35 µm.



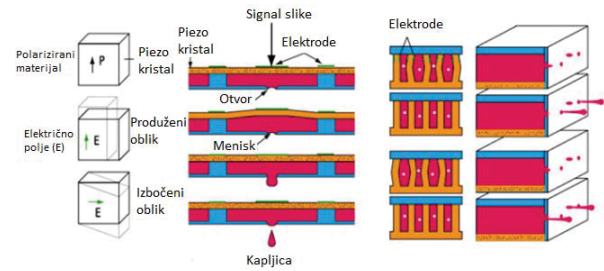
Slika 6. Formiranje kapi kod termalnog ink-jeta [7]



Slika 7. Nastajanje kapljice kod termalnog ink-jeta [7]

2. 2. 2. Piezo ink-jet način otiskivanja

Piezo impulsni ink-jet temelji se na ispisnoj glavi s otvorenim mlaznicama i otvorenim kapilarnim kanalima. Kapljice bojila unutar kapilarnog kanala se istiskuju djelovanjem titrajućeg piezo kristala. Signalom koji je pristigao iz računala piezo kristal mijenja oblik, a time i volumen mlazne komore. Povratkom piezo kristala u prvobitni oblik dolazi do povećanja pritiska te do istiskivanja bojila kroz mlaznicu [3].



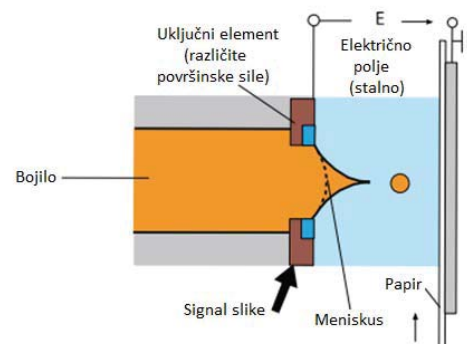
Slika 8. Korištenje piezo kristala kod kapljastog ink-jeta, njegovo deformiranje i nastajanje kapljice boje [3]

Kapljice bojila koje su dobivene ovim postupkom jednakog su volumena. Piezo ink-jet pisači koriste rijetka bojila viskoznosti od 1 do 10 mPa·s. Bojilo se sastoji od organskog otapala, pigmenta i izvorno obojene tekućine kao dodatnog nosioca obojenja. Na tiskovnoj podlozi bojilo suši uz kombinaciju isparavanja i penetracije. Nanos boje na tiskovnoj podlozi iznosi oko 0,5 µm. Piezo ink-jet može koristiti i druge tipove bojila poput brzосуšećih UV boja, kao i bojila na bazi organske tvari [1]. Da bi se postigao dobar otisak, podloge moraju imati veću upojnost kako ne bi došlo do efekta „mrlja“ [2].

Karakteristična obilježja piezo ink-jet tehnike su volumen kapljice od 14 pl, frekvencija kapanja od 10 do 20 kHz te promjer kapljice od 30 µm.

2. 2. 3. Elektrostatski ink-jet

Elektrostatski ink-jet temelji se na djelovanju električnog polja između mlaznice i površine. Uključivanjem električnog polja mijenja se odnos napetosti između površina tinte i mlaznice te dolazi do odvajanja jedne kapi tinte koja odlazi prema suprotnom nabijenom polju [3].



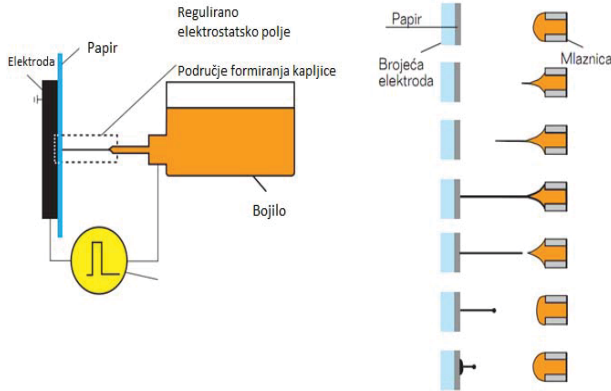
Slika 9. Princip rada elektrostatskog ink-jeta [7]

Elektrostatski ink-jet digitalni tisak s obzirom na principe rada može se razdijeliti na:

- elektrostatski ink-jet temeljen na Taylorovom efektu
- elektrostatski ink-jet s kontrolom prstenastog grijača
- elektrostatski mist ink-jet

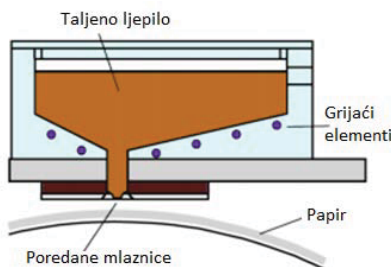
2. 2. 3. 1. Elektrostatski ink-jet temeljen na Taylorovom efektu

Mlazom odgovarajućeg oblika formira se mlaz koji je puno manjeg promjera od otvora mlaza, tj. „Taylorov stožac“. Prednost ove tehnike je da se relativno velikim mlaznicama postižu vrlo male kapljice. Kapljice se generiraju u skladu s pozicijom tiskovnog elementa i jačinom električnog polja, a volumen kapljica je određen duljinom trajanja kontrolnog impulsa. [2]



Slika 10. Princip rada elektrostatskog ink-jeta temeljen na Taylorovom efektu i kronološki prikaz formiranja otiska [7]

Promjer mlaznice iznosi oko 400 μm , a razmak između mlaznica ja manji od 1mm. Ako postavimo mlaznice u više redova - jednu iza druge, može se napraviti rezolucija do 600 tpi ili više [2].

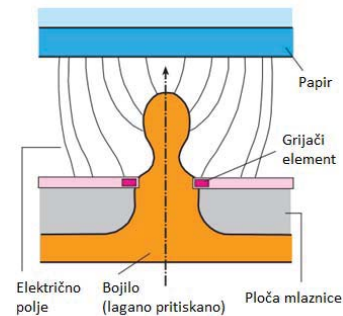


Slika 11. Nastajanje kapljica u električnom polju i princip taljenja [3]

2. 2. 3. 2. Elektrostatski ink-jet s kontrolom prstenastog grijača

Posebnost ovog procesa je relativno jednostavna struktura kontrole mlaznice velike rezolucije. Bojilo je u laganom podtlaku unutar spremnika koji je prekriven tzv. prstenastim mlazom. Podtlak bojila i električno polje između mlaznice i tiskovne podloge moraju biti u ravnoteži. Na mlaznicama se nalazi prstenasti grijač koji se može kontrolirati. Ovisno o jačini ispisnog signala, prstenasti grijač se zagrijava. Zagrijavanjem se mijenja površinska napetost te dolazi do formiranja kapljice boje.

Ovaj tip rješenja izrade mlaznice u redovima omogućuje masovnu proizvodnju mlaznica u razmacima od 10 do 20 μm i udaljenošću mlaznica od 60 μm [3].

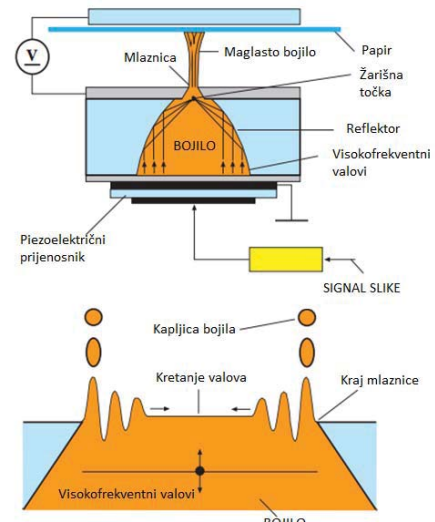


Slika 12. Princip rada elektrostatskog ink-jeta s kontrolom prstenastog grijača [7]

2. 2. 3. 3. Elektrostatski mist ink-jet

Elektrostatski mist ink-jet je novi način otiskivanja koji je još u razvoju [3].

Za stvaranje malih kapljica boje koristi ultrazvučne valove (aerosol stanje). Ultrazvučni valovi usmjereni su na otvor mlaznice, što rezultira nastanak površinskih valova, tj. formiranje vrlo malih kapljica. Pomoću jačine signala (ultrazvučnog) kontrolira se i količina kapljica. Ovom tehnikom moguće je dobiti 32 nijanse boje u rezoluciji od 300 dpi. [2]



Slika 13. Princip rada i izgled mlaznice elektrostatskog mist ink-jeta [7]

2. 3. Tiskovne podloge za ink-jet

Pamučna tkanina jedna je od najčešćih tiskovnih podloga u tekstilnoj industriji. Pamuk je mekano, prozirno, prirodno biljno vlakno koje raste u sjemenkama biljke gossypium u tropskim i suptropskim krajevima (Amerika, Indija, Afrika). Vlakna se predu i nižu kako bi se napravila meka prozirna tekstilna tvorevina. Pamuk je jeftin i savitljiv materijal, dobro se pere i dugo traje. Kemijski sastav sirovog pamuka je jednostavan. Osnovne komponente su celuloza (80 – 90%) i voda (6 – 8%). Ostali manji postotak otpada na vosak, masti, bjelančevine, hemicelulozu i pektin [13].

Osim pamuka, u tekstilnoj industriji obilato se koristi i svila. Svila je prirodno proteinsko vlakno koje se

dobiva iz čahure ličinki duda ili svilene bube. Svila je glatka, mekana utkana tekstura u tekstil koja nije skliska, za razliku od mnogih drugih sintetičkih vlakana. Svila je jedna od najjačih prirodnih vlakana, ali izgubi i do 20% svoje čvrstoće kad je mokra. Elastičnost joj je relativno slaba: ako je izdužena čak i mala količina, ona ostaje trajno rastegnuta. Izlaganjem na suncu, svila također može biti oslabljena.

Digitalni otisak putem ink-jeta na svilu najčešće se obavlja ispisivanjem specijalne bijele svile [12].

2. 3. 1. Indirektni ink-jet na tekstil

Prilikom otiskivanja ink-jet bojila („dye“ i pigmentirana) potrebno je koristiti pripadajuće tiskovne podloge. Za postizanje visoke kvalitete reprodukcije, „dye“ bojila se u prvom koraku otiskuju na specijalnim podlogama papirima ili folijama, s kojih se zatim djelovanjem temperature i tlaka prenose na tekstilnu podlogu.

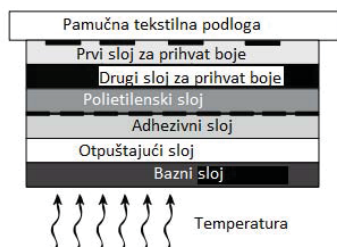
a)



Slika 14. Presjek transferne folije pogodne za prihvaćanje tinta bojila na bazi organskih otapala [11]

Najčešće se za tisak na tekstilu koriste tzv. transferne folije koje se sastoje od dva osnovna sloja: donji sloj ili polietilenska folija, i gornji sloj ili monomerni vinil sloj. Ovi slojevi međusobno su povezani s termostabilnim ljepilom. Vinilni monomer pogodan je za prihvaćanje mlaza bojila na bazi organskih otapala. Nakon otiskivanja prozorna folija se zaokrene (otisnutim slojem prema dolje), dovodeći se u kontakt s tiskovnom podlogom. Pri visokoj temperaturi (oko 130 °C) i tlaku (od oko 26 kPa) vinil monomer polimerizira, pri čemu postaje mekan, te se prihvaća na tekstilnu podlogu. Pri hlađenju se polietilenska folija ukloni (oljušti), čime je proces otiskivanja završen [11].

b)



Slika 15. Presjek transferne folije pogodne za prihvaćanje tinta bojila na bazi vode [11]

Za tisak na tekstil također se upotrebljavaju i folije za transferni tisak koji se otiskuju ink-jet bojom na bazi vode. Ove folije nešto su složenije, a sastoje se od sljedećih slojeva: osnovnog papirnato sloja,

otpuštajućeg sloja, sloja ljepila, do dva sloja za prihvat bojila i među-sloja za prihvaćanje bojila. Djelovanjem temperature od iznad 80 °C transparentni polietilenski sloj prihvaća se na tekstil.

Folije za termalni transfer na tkanine su materijali koji se mogu otiskivati na ink-jet pisačima, nakon čega se pod utjecajem temperature i tlaka prenose na tkaninu. Najčešće je riječ o temperaturi oko 160°C.

Drugi naziv za tehniku otiskivanja termalne transferne folije na tkanine je termo-tisak. Ovom tehnikom omogućeno je tiskanje na neke od odjevnih predmeta: majice, dresovi, kape, prsluci, hlače, radna odjela, trenirke te ostale prirodne i sintetičke tkanine [11].

Postoji nekoliko vrsta termalnih transfernih folija:

„Flex“ - daje efekt glatke podloge. Motiv se nakon otiskivanja reže na željene šablone i kasnije se termo prešom prenosi na tkaninu.

„Flock“ - daje plišani efekt. Motiv se također nakon otiskivanja reže na željene šablone, te kasnije termo prešom prenosi na tkaninu.

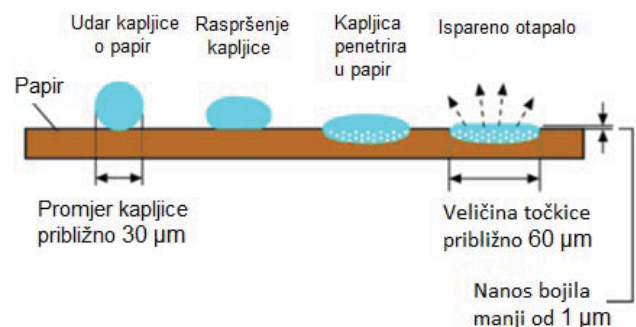
„Termoreflex“ - riječ je o reflektirajućoj foliji koja se koristi kod službi kao što su policija, vatrogasci, a kasnije se folija reže na šablone te se otiskuje na tkaninu [14].



Slika 16. Termo preša [28]

2. 4. Bojila za ink-jet

Bojila mogu biti taljiva i tekuća. Tekuća bojila dijele se na bojila na bazi vode, na bazi otapala i UV bojila. Tekuća bojila imaju mogućnost ostavljanja tankog sloja nanosa boje. Važni parametri bojila su viskoznost i površinska napetost. Ako se koristi niska viskoznost bojila, proces sušenja se može ubrzati primjenom toplote. Kod UV sušećih bojila u procesu sušenja uključuje se UV svjetlost te se koristi proces polimerizacije. Različite boje i tiskovne podloge ostvarit će različite ukupne nanose boje. Ako se koriste tekuća ink-jet bojila debljina nanosa boje kreće se oko 0.5 μm. Kod UV boja i taljivih bojila debljina nanosa je između 10 i 15 μm [2].



Slika 17. Prikaz sušenja kapljice boje na površinu papira i njeno penetriranje u papir [7]

Slika 17. prikazuje 30 μm kapljicu bojila koja pada na podlogu za otiskivanje, udara u podlogu, raspršuje se, penetrira u podlogu te dolazi do isparavanja otapala i nastaje točkica veličine oko 60 μm . Nanos bojila na tiskovnu podlogu je manji od 1 μm [2].

2. 4. 1. Dye bojila

Dye bojila kod ink-jet tehnike otiskivanja su najbolja bojila na bazi pigmenta i mogu otisnuti intenzivnije boje. Dye bojila se sastoje od demineralizirane vode, alkohola i izvorno obojene tekućine nastale otapanjem pigmenta u otopini. Prednosti Dye bojila su dobar otisak visoke rezolucije i širokog kolornog gamuta, te povoljna cijena.

Osnovni nedostatak Dye bojila je to što je glavna komponenta voda koja se pri većem nanosu razlijeva i daje lošu kvalitetu otiska. Optimalno rješenje ovog problema je da se Dye bojilima dodaju otapala koja brzo hlape ili točan odabir tiskovne podloge.

Ako se u reprodukcijском procesu koristi papir s visokim sadržajem vlaknaca, otisak može izgledati razliveno na rubovima. Pritom je presudna površinska napetost tiskovne podloge. Ako je površinska napetost tiskovne podloge manja od površinske napetosti bojila, ona će privući bojilo i zadržavat će ga na mjestu sve dok se tekuća komponenta boje ne upije u tiskovnu podlogu [2].

Kod pisača velikih formata najčešće se koriste bojila na bazi otapala te UV bojila [3].

UV bojila sastoje se uglavnom od akrilnih monomera uz dodatak inicijatora. Prednost ovih boja je da se odmah suše nakon otiskivanja, tj. djelovanjem UV svjetla dolazi do nestajanja UV inicijatora. Nedostatak ovih boja su relativno visoka cijena, zahtijevaju skupe uređaje za sušenje, a osušena boja stvara veliki volumen - na podlozi nastaje reljef.

Za potrebe tiska na tekstilu vrlo često se koriste bojila na bazi sublimacije pigmenta. Ova bojila sadrže specijalne sublimacijske pigmente i koriste se za tisak direktno ili indirektno na tkaninu. U praksi se sublimacijska boja otisne na tkaninu ili transfernu podlogu, pa se naknadno u preši pod visokim pritiskom i temperaturom (oko 200 °C) prenosi na materijal gdje se sjedinjuje s molekulama tkanine i postaje njen neodvojivi dio. Na taj način boja postane puno intenzivnija i otporna na mehaničke utjecaje [15].

3. EKSPERIMENTALNI DIO

Otiskivanje na tekstil moguće je izvesti na nekoliko načina, od kojih je većina opisana u teoretskom dijelu. U radu su analizirani postupci i karakteristike reprodukcija na tekstilu izvedene direktnim ink-jet tiskom, te indirektnim termalnim transferom ink-jet folija.

U sklopu istraživanja, ujedno je za potrebe eksperimenta provedena karakterizacija i kalibracija ink-jet pisača u svrhu izrade ICC profila za tri različite tiskovne podloge. Karakterizacija je postupak kojim se opisuje ponašanje uređaja i stvaranje profila uređaja

(ICC). Za razliku od kalibracije, karakterizacijom se ne mijenja način rada uređaja, već se stvara profil koji opisuje raspon obojenja.

Analizirane su reprodukcije izvedene transfernom folijom (indirektni tisak), te direktan otisak na poliestersku slivu. Pritom je korištena transferna folija „PS BLANC2“ i „White print liner“ te „Solvent flag“. Za određivanje kolorimetrijskih karakteristika reprodukcije korištena je TC3.5 CMYK il u A3 formatu koja je pomoću pisača Mimaki JV33 – 160 otisnuta na spomenute podloge pri rezoluciji od 1440 tpi. Testna forma sadrži klin od 540 polja pomoću kojih je napravljen ICC profil i 3D prikaz gamuta koji predstavlja opseg reprodukcije za pojedine vrste tiskovne podloge. Za mjerenje kolorimetrijskih vrijednosti na reprodukcijama korišten je spektrofotometar „Eye One Pro“ koji radi s aplikacijama „Measure Tool“ i „Profile Maker Pro 5.0.5.“, a grafički su prikazane pomoću softvera ColorThink Pro.

Rezultati mjerenja nakon analize i obrade prikazani su u CIE $L^*a^*b^*$ vrijednostima iz kojih je moguće izračunati razlike u obojenju ΔE , razliku u svjetlini ΔL između tiskovnih podloga i referentnih vrijednosti - sukladno standardu ISO 12647-2:2004 [21].

Nakon obrade dobivenih profila izračunate su kolorimetrijske razlike između vrijednosti dobivenih na tri vrste tiskovnih podloga i referentnih vrijednosti, te kolorimetrijska razlika između otisnutih klinova boja na različitim tiskovnim podlogama.

Kolorimetrijska razlika je izračunata po formuli [18]:

$$\Delta E_{94}^* = \sqrt{\left(\frac{\Delta L^*}{K_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_{ab}^*}{1 + K_1 C_1^*}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H_{ab}^*}{1 + K_2 C_1^*}\right)^2}$$

Dobivene kolorimetrijske razlike vrednovane su sa stanovišta standardnog promatrača prema sljedećim kriterijima:

- $\Delta E^* < 0,2$ - razlika boja se ne vidi
- $\Delta E^* = (0,2-1)$ - razlika se primjećuje
- $\Delta E^* = (1-3)$ - razlika se vidi
- $\Delta E^* = (3-6)$ - razlika se dobro vidi
- $\Delta E^* > 6$ - očigledna odstupanja

Gamut kreiranih profila prikazan je pomoću aplikacije ColorThinkPro kojom su izvedeni 2D i 3D prikazi te usporedba dobivenih gamuta.

U istraživanjima korišteni ink-jet pisač Mimaki JV33 omogućuje visoku kvalitetu ispisa od 1440 dpi. Ispisna glava uređaja sadrži 180 sapnica x 8 linija i omogućuje dosta visoku brzinu ispisa.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Na temelju dobivenih mjerenja izračunate su kolorimetrijske razlike boja ΔE CIE₉₄ (prikazane u tablicama 4.1., 4.2. i 4.3.) pojedinih tiskovnih podloga u odnosu na referentni zapis forme TC3.5. Vrijednosti kolorimetrijskih razlika boja dane su za primarne boje aditivne i suptraktivne sinteze.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Cyan	6,8	2,4	3,3	6,9
Magenta	3,9	-7,2	-0,3	4,33
Yellow	3,2	0,8	-6,9	3,52
Black	9,7	1,7	0,2	9,83
Red	1,6	-5,6	-21	8,57
Green	6,7	6,4	-12,5	8,62
Blue	15	-15,5	9,4	17,31

Tablica 1. Kolorimetrijska razlika između referentnih i izmjerenih LAB vrijednosti boja za „PS BLANC2“

Dobiveni rezultati upućuju na značajno odstupanje ostvarenih vrijednosti u odnosu na referentne vrijednosti. Iz tablice je vidljivo da najveću kolorimetrijsku razliku ima plava boja ($\Delta E= 17,31$), dok najmanju kolorimetrijsku razliku ima žuta boja ($\Delta E= 3,52$).

Vidimo da kod svih boja postoji odstupanje u svjetlini, odnosno mjerene boje su svjetlije u odnosu na referentne boje.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Cyan	3,4	4,6	-3,5	4,70
Magenta	-1,1	-6,1	-7,6	4,97
Yellow	0,7	0,7	-13,1	3,53
Black	4,8	0,9	-6,4	7,38
Red	0,1	-6,9	-17,8	8,96
Green	4,7	3,5	-5	5,46
Blue	5,8	-3,6	0,4	6,24

Tablica 2. Kolorimetrijska razlika između referentnih i izmjerenih LAB vrijednosti boja za „White print liner“

Iz tablice 4.2. vidljivo je da je najveća kolorimetrijska razlika ustanovljena kod crvene boje ($\Delta E= 8,96$), dok je najmanja razliku određena kod žute boje ($\Delta E= 3,53$). Pritom vidimo da kod svih boja postoji odstupanje u svjetlini, a uočene promjene u svjetlini su manje nego kod PS BLANC2. Iznimka je crvena boja koja je gotovo jednaka u odnosu na referentnu boju, te magenta koja je tamnija od referentne boje.

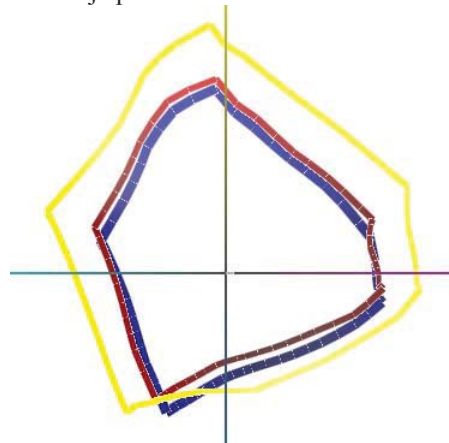
	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*
Cyan	3,6	1,3	0,6	3,65
Magenta	-1,6	-5,6	-3,1	2,97
Yellow	0,7	0,7	-10	2,65
Black	2,8	0	-1,2	3,04
Red	0,9	-5,6	-11,7	5,57
Green	5,6	2,3	-0,6	5,65
Blue	5,3	-6	4,7	6,73

Tablica 3. Kolorimetrijska razlika između referentnih i izmjerenih LAB vrijednosti boja za „Solvent flag“

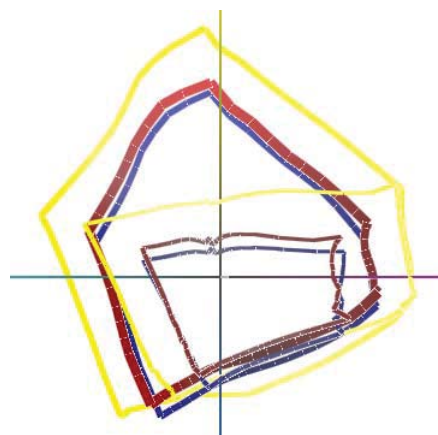
Iz tablice vidimo da je najveća kolorimetrijska razlika ostvarena kod plave boje ($\Delta E= 6,73$), dok je najmanja ostvarena kod žute boje ($\Delta E=2,65$). Pritom vidimo da kod svih boja postoji odstupanje u svjetlini.

Slike 18. do 20. prikazuju raspone opsega obojenja reprodukcija triju ispitivanih postupaka digitalnog tiska. Postupci na slikama predstavljeni su različitim bojama: „PS BLANC2“ – žutom bojom, „White print liner“ – plavom bojom i „Solvent flag“ – crvenom bojom. Iz danih slikovnih prikaza jasno se vidi da najveći gamut u odnosu na preostale ostvaruje „PS2 BLANC2“ postupak, dok postupci „White print liner“ i „Solvent flag“ ostvaruju približno slične veličine gamuta i pokrivaju slična područja unutar modela boja, ali u manjem opsegu. S obzirom na dane prikaze, moguće je ustvrditi da je gamut „Solvent flag“ u određenoj mjeri, iako sličan, ipak manji od gamuta „White print liner“.

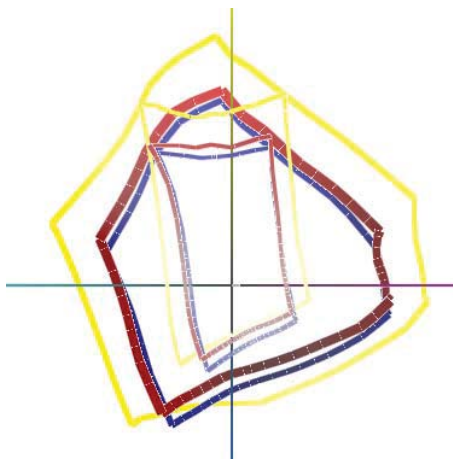
Analizom slika 18, 19. i 20., uz vrijednost svjetline $L^*=50$, intenziteta svjetline ($L^*=25$ i $L^*=75$), jasno je vidljivo da se područja pokrivanja značajno mijenjaju, ali da odnos između veličine pojedinih gamuta istodobno ostaje približno isti.



Slika 18. Prikaz (2D) opsega reprodukcije boja (gamuta) triju ispitivanih postupaka u CIE $L^*a^*b^*$ modelu boja za vrijednost svjetline $L^*=50$



Slika 19. Usporedni prikaz (2D) opsega reprodukcije boja (gamuta) triju ispitivanih postupaka u CIE $L^*a^*b^*$ modelu boja za vrijednost svjetline $L^*=50$ i vrijednost svjetline $L^*=25$



Slika 20. Usporedni prikaz (2D) opsega reprodukcije boja (gamuta) triju ispitivanih postupaka u CIE $L^*a^*b^*$ modelu boja za vrijednost svjetline $L^*=50$ i vrijednost svjetline $L^*=75$

5. ZAKLJUČAK

Postupkom karakterizacije i kalibracije definirane su reproduksijske karakteristike boje na „PS BLANC2“ uzorku, „White print liner“ uzorku i „Solvent flag“ uzorku te kolorimetrijska razlika između (RGB i CMYK) referentnih vrijednosti testne forme i izmjerenih vrijednosti boja na otiscima.

Zaključujemo da je došlo do značajnih odstupanja u kolorimetrijskim vrijednostima boja, a koje su primarno posljedica promjene tiskovne podloge. Također je ustanovljeno da se promjenom tiskovnih podloga mijenjaju i opsezi obojenja (gamuti). Da se smanje odstupanja, pokazana je nužnost upotrebe sustava za upravljanje bojama (CMS), te upotreba kalibracije pisača za svaku od tiskovnih podloga.

Najveća odstupanja u reprodukciji boja u odnosu na referentne ostvarene su kod „PS BLANC2“ uzorka. Nešto manja odstupanja u odnosu na „PS BLANC2“ uzorak, ali ipak velika s obzirom na referentne vrijednosti, ustanovljena su kod „White print liner“ i „Solvent flag“. „White print liner“ i „Solvent flag“ su nepremazani te dolazi do upijanja boje u tiskovne podloge, pa iz toga zaključujemo da nepremazane tiskovne podloge imaju vjerniju reprodukciju boja od premazanih tiskovnih.

Kod „White print liner“ odstupanja su također značajna, ali zahtjev za kvalitetom ispisa je manji zbog grafičke primjene proizvoda (majice, radna odjela i sl.). Iako su najveća kolorimetrijska odstupanja ustanovljena kod „PS2 BLANC“ postupka, možemo zaključiti da spomenuti postupak ipak ostvaruje i najveće opsege obojenja.

Također možemo zaključiti da su gamuti postupaka „White print liner“ i „Solvent flag“ vrlo podudarni i imaju slični opseg obojenja.

6. LITERATURA

- [1] Časopis CROPRINT, broj 3, rujan 2009., pp 48-52.
- [2] Mišić, M. Postojanost InkJet otisaka nastalih termalnim transferom na tkanine : diplomski rad. Zagreb, 2011.
- [3] Leskovec, T. Postojanost InkJet otisaka u kratkom vremenskom periodu : diplomski rad. Zagreb, listopad 2007.
- [4] Majnarić, I.; Brozović, M.; Bolanča, S. Optički aspekti digitalnog tiska na adhezivnim medijima. Zagreb, 2005.
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Inkjet_printe, kolovoz 2011.
- [6] <http://www.scribd.com/doc/48590807/boje>, kolovoz 2011.
- [7] Majnarić, I. InkJet tehnologija otiskivanja, Predavanje. Zagreb, svibanj 2007.
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Textile_printing, kolovoz 2011.
- [9] <http://ezinearticles.com/?The-New-Wave-of-Digital-Fabric-Printing-Technology&id=372724&usg=ALkJrhiMVLZgvPv3XNJRmtA3WOB4QOdWQA>, kolovoz 2011.
- [10] <http://www.rwandalinux.org/the-new-wave-of-digital-fabric-printing-technology>, kolovoz 2011.
- [11] Časopis Tekstil, 59. broj, listopad 2010., pp 456-462.
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Silk>, kolovoz 2011.
- [13] <http://hr.wikipedia.org/wiki/Pamuk>, kolovoz 2011.
- [14] <http://grafikaplus.hr/?Termo>, kolovoz 2011.
- [15] <http://www.garmond.ba/?jezik=bos&x=3&y=13>, kolovoz 2011.
- [16] <http://www.mimaki.co.jp/english/sg/inkjet/jv33/>, kolovoz 2011.