

Uvod u nanografiju

Maleković, Miranda

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:127678>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-15**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

ZAVRŠNI RAD

Miranda Maleković
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

Smjer: tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

UVOD U NANOGRAFIJU

Mentor:

Dr. sc. Vesna Džimbeg-Malčić, docent

Student:

Miranda Maleković

Zagreb, 2015.

SADRŽAJ:

1.	UVOD	1
2.	NANOZNANOST I NANOTEHNOLOGIJA	2
2.1.	Svojstva nanomaterijala	4
2.1.1.	Električna svojstva	4
2.1.2.	Optička svojstva	4
2.1.3.	Magnetska i mehanička svojstva	7
2.2.	Upotreba nanomaterijala	7
3.	BENZION (BENNY) LANDA	9
4.	NANOGRAFIJA	11
4.1.	Landa NanoInk	12
4.2.	Princip otiskivanja	13
4.2.1.	Kvaliteta otiska	14
4.3.	Tiskarski strojevi za nanografski tisak	15
4.3.1.	Strojevi za tisak na arke	17
4.3.2.	Strojevi za tisak iz role	19
5.	MOGUĆNOSTI NANOGRAFIJE	21
5.1.	Komercijalni tisak	21
5.2.	Sklopive kutije	22
5.3.	Fleksibilna ambalaža	23
5.4.	Publikacije	24
6.	ZAKLJUČAK	25
7.	LITERATURA	

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je dati uvod u nanografski tisak kroz opis principa rada nanografije, te bojila i strojeva koji se koriste.

Nanotehnologija se bavi istraživanjem i manipulacijom materijala u atomskom, molekularnom ili makromolekularnom obliku. Materijali u nano obliku pokazuju potpuno drukčija električna, optička, magnetska i mehanička svojstva nego na makroskopskoj veličini.

Nanografija je nova tehnika digitalnog tiska koju je izumio Benny Landa nakon proučavanja nanopigmenata. Oni su snažni koloranti i apsorbensi svjetlosti i temelj su NanoInka, bojila na bazi vode koje se koristi u nanografskom tisku.

Tisak započinje štrcanjem kapljica bojila na zagrijanu prijenosnu traku. Voda iz bojila na traci isparava te se na tiskovnu podlogu prenosi suhi polimerni film debljine oko 500 nm. Tisak je moguć na svim podlogama jer se boja prenosi suha, pa nije potrebno naknadno sušenje i otisak je odmah spreman za upotrebu. Tanki film bojila na podlozi i nanopigmenti daju visokokvalitetne otiske, uz uštedu energije i količine bojila potrebnog za tisak.

Strojevi su dizajnirani za tisak na arke (B1-B3 formati) i tisak iz role, s mogućnošću višebojnog tiska sa 4 do 8 boja.

Nanografskom tiskom omogućen je tisak gotovo svih grafičkih proizvoda; publikacija, komercijalnog tiska, tiska sklopivih kutija i tiska ambalaže.

KLJUČNE RIJEČI:

Nanotehnologija, nanografski tisak, nanopigmenti, NanoInk

ABSTRACT

The aim of this work is to give an introduction into nanographic printing through a description of the nanographic print process, and the inks and the machines used.

Nanotechnology is a science of manipulating matter on the atomic, molecular or macromolecular scale. Materials in their nano-form exhibit different essential properties than on a macro-scale: different electronic, optical, magnetic and mechanical properties.

Nanography is the new method of printing, developed by Benny Landa, during his study of nanopigments. Nanopigments are strong colorants and absorbants of light and are foundation for NanoInk, water-based ink for nanographic printing.

The printing process begins with the injection of droplets of ink on a heated transfer blanket.

The water evaporates upon coming into a contact with the blanket, thus leaving a trail of dry, around 500 nm thick polymer film on the surface. Such printing is possible on every surface because the ink is printed dry, without requiring a subsequent drying phase, and as such the imprint is instantly ready for use. The thin layer of the ink on the surface and nanopigments provide a high quality imprint, with optimal use of energy and ink.

The printing machines are designed for sheetfed printing (B1-B3 format) and web press. Nanographic printing can be utilized in a variety of graphically printed products; publications, commercial prints, cardboard-box prints and other packaging.

KEY WORDS:

Nanotechnology, nanographic printing, nanopigments, nanoink

1. UVOD

Nanotehnologiju kao pojam prvi je uveo profesor Norio Taniguchi 1974. godine kako bi opisao proizvodnju materijala sa nanometarskom preciznošću. Prefiks nano potječe iz grčke riječi nanos (νάνος) i znači patuljak, a u metričkom sustavu se koristi za oznaku milijarditog dijela metra ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Snažni razvoj i proučavanje nanotehnologije započinje izumom skenirajućeg mikroskopa STM (engl. scanning tunneling microscope) kojim je omogućeno promatranje površine na atomskom nivou.

Nanočestice i nanomaterijali su danas sastavni dio našeg života, a primjenu imaju gotovo u svim industrijama, energetske, autoindustriji, prehrambenoj, tekstilnoj, farmaceutskoj, vojnoj, informatičkoj i u očuvanju okoliša. Pojam riječi nanočestica ljude asocira na nešto jako malo i moćno, što će u budućnosti ljudima donjeti veliki napredak poglavito na području medicine i kompjuterske tehnologije, a nisu ni svjesni da se nanočestice nalaze svuda oko nas u prirodi i da ih već danas svakodnevno koristimo.

Primjena nanotehnologije svoj put je pronašla i u grafičkoj industriji, od proizvodnje ambalaže i zaštite novčanica pa do posve nove tehnologije digitalnog tiska, nanografije. Nanografija je indirekta tehnika digitalnog tiska koja koristi NanoInk bojilo sa nanopigmentima. Posebnost ove tehnike je što se na tiskovnu podlogu bojilo nanosi suho čime je omogućen tisak na gotovo sve podloge bez pripreme, a otisak izlazi suh spreman za upotrebu. Nakon otiskivanja, na podlozi ostaje 500 nm tanki film bojila koji je otporan na mehanička oštećenja, visoke je kvalitete i jednolikosti otiska.

Nanografija je predstavljena na Drupi 2012. godine i još nije u praktičnoj upotrebi, ali prema najavama tvorca nanografije, Bennyja Lande i Landa grupe, ova tehnika tiska ima svjetlu budućnost u kojoj brzinom i kvalitetom može opasno zaprijetiti ostalim tehnikama tiska, što potvrđuje broj investitora i kompanija koje su ušle u usavršavanje nanografskog tiska.

2. NANOZNANOST I NANOTEHNOLOGIJA

Nanoznanost proučava kemijska, fizikalna i biološka svojstva materijala u atomskom, molekularnom ili makromolekularnom obliku. Te čestice, veličine milijarditog dijela metra, pokazuju potpuno drugačija svojstva nego tvari na makroskopskoj veličini. Primjerice, aluminijsku foliju koristimo za pakiranje hrane, a kada se aluminij nalazi u nano obliku postaje reaktivan. Nanotehnologija primjenjuje karakteristike nanomaterijala i implementira ih sa drugim inženjerskim disciplinama.

Glavni naglasak u nanotehnologiji je veličina čestica. Nanometarska skala se kreće u okvirima od oko 1-100 nanometara. Jedan nanometar je milijarditi dio jednog metra ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$). Kako bi se izbjeglo promatranje jednog atoma kao nanoobjekta, donja granica veličine uzima se 1 nm, pa se nanoznanost bavi proučavanjem grozdova veličine najmanje jednog nanometra, što odgovara dužini od 3.5 atoma zlata ili 8 vodikovih atoma. Gornja granica od 100 nm nije strogo definirana, pa se veće čestice (200 nm) također definiraju kao nanomaterijali, ako postoji promjena svojstava materijala pri tim veličinama. Nije toliko bitna veličina čestica koje se nazivaju nanomaterijalima, već je fokus na promjenama svojstava koje čestice imaju pri malim dimenzijama, a koja su bitno različita pa čak i suprotna od svojstava u makro obliku. Materijali u nano obliku su veličinom bliži atomima pa se ne ponašaju po Newtonovim zakonima, već po zakonima kvantne fizike koja opisuje gibanje i energiju atoma i elektrona. Primjerice, zlato je zlatne boje, ali kada se nalazi u nano obliku, koloid zlatne nanočestice je crvenkaste boje. Dakle, veći su od jednog atoma, ali manji od veličine jedne stanice. Koliko je to zapravo malo? Promjer glave igle je 1 milijun nm, a ljudski nokat raste otprilike 1 nm u sekundi. Debljina papira iznosi 100000 nm, a ljudske kose 80000 nm.

Nanomaterijali imaju različita fizička, kemijska i kvantna svojstva. Zbog svoje male mase, njihova gravitacijska energija je zanemariva, a među njima su dominantne elektromagnetske sile. Jače je izražena njihova valna priroda. Jedan od efekata kojima se pokazuje njihova kvantna priroda je efekt tuneliranja, definiran kao penetriranje elektrona kroz energetske barijere koji bi po zakonima klasične fizike bio zabranjen. U klasičnoj fizici, tijelo prolazi energetske barijere ako ima dovoljno energije da ju

preskoči. U kvantnoj fizici, čestica s nižom kinetičkom energijom će prijeći barijeru više potencijalne energije kroz `virtualni tunel` i naći se s druge strane barijere. Ovaj efekt je moguć ako je energetski potencijal barijere kompatibilan sa valnom duljinom čestice te se zato taj efekt promatra na nanometarskom nivou. Ovo je važan kvantni efekt jer je baza za STM (engl. Scanning Tunneling Microscope) uređaj koji služi za promatranje površine nano čestica. Nanomaterijali su formirani od niza atoma ili molekula te su bitne kemijske veze među česticama. To su unutar-molekularne kemijske veze koje uključuju promjene u kemijskoj strukturi molekule (ionska veza, kovalentna veza, metalna veza) te među-molekularne veze (ion-ion veza, ion-dipol veza, Van der Waalsova veza, vodikova veza, hidrofobna veza). Te slabe veze, koje ne utječu na promjenu kemijske strukture molekule, su vrlo važne među nanočesticama. Nanočestice imaju veliku ukupnu površinu na koju je primijenjen velik broj slabih sila koje zajedno imaju veliku energiju. Primjerice, u strukturi DNK, poprečnog presjeka 2 nm, spirale se drže zajedno brojnim vodikovim vezama.

Mnoga fizička i kemijska svojstva materijala ovise o površini. Ako se materijal podijeli do nano veličina, ukupni volumen će ostati jednak, ali će se mnogostruko povećati ukupna aktivna površina. U tablici 1 je prikazano povećanje površine smanjenjem veličine materijala dok je volumen konstantan.

Tablica br.1. Prikaz povećanje aktivne površine materijala

Dužina stranice kocke	Broj kocaka	Ukupna površina
1 m	1	1 m ²
0.1 m	1000	60 m ²
0.01 m	10 ⁶ = 1 milijun	600 m ²
0.001 m	10 ⁹ = 1 milijarda	6000 m ²
10 ⁻⁹ m = 1nm	10 ²⁷	6x10 ⁹ = 6000 km ²

Povećanje površine ovisi i o geometriji materijala Pri istom volumenu, kocka će imati veću ukupnu površinu od kugle.

Nano materijali, upravo jer su toliko mali, imaju velik broj površinskih atoma što je bitno za reakcije koje se odvijaju na površini poput katalitičkih reakcija, električnog otpora, te svih reakcija koje zahtjevaju adsorpciju na površini materijala. Jednostavan primjer kako se mijenjaju svojstva zbog veličine materijala i njegove površine je promjena temperature tališta. Nanomaterijali imaju velik broj površinskih atoma koji se kreću lakše od onih unutar materijala, pa je ukupna energija potrebna za razbijanje međumolekularnih sila koje drže atome povezanim manja i točka tališta je niža [1].

2.1. Svojstva nanomaterijala

Nanomaterijali se ponašaju po zakonima kvantne fizike te imaju različita električna, optička, magnetska i mehanička svojstva u odnosu na svojstva makroskopskih tvari.

2.1.1. Električna svojstva

Obzirom na električna svojstva materijala razlikujemo vodiče, poluvodiče i izolatore. U atomima, elektroni kruže oko jezgre po dozvoljenim elektronskim putanjama. Najviša zauzeta dozvoljena putanja je valentna vrpca, a iznad nje se nalazi vodljiva vrpca koja je odvojena energetske procjepom. Ako postoji velika energetska razlika između valentnog i vodljivog pojasa, ne postoji mogućnost prelaska elektrona sa valentne na vodljivu vrpcu i takve materijale zovemo izolatorima. S druge strane, kod vodiča se valentna i vodljiva vrpca preklapaju, te slobodni elektroni iz valentne vrpce koji su slabo vezani za jezgru atoma apsorbacijom minimalne količine toplinskog zračenja mogu lako prelaziti u vodljivu vrpcu. Poluvodiči se ponašaju kao izolatori pri apsolutnoj nuli, a vodljivost se mijenja dodavanjem primjesa ili promjenom temperature. Oni imaju malu energetske razliku između valentne i vodljive vrpce (nekoliko elektronvolta) i kod njih je omogućena termalna pobuda elektrona u valentnoj vrpci i prijelaz na vodljivu vrpcu na temperaturama koje su niže od tališta.

Smanjenjem dimenzije čestica na nano razinu energetske nivoi su kvantizirani i mijenja se vodljivost materijala povećanjem energetske razlike između valentne i vodljive vrpce. Kod vodiča to znači da više nema preklapanja među vrpčama te smanjenjem dimenzija, neki metali postaju poluvodiči. Zbog povećanja energetske procjepa, potrebna je apsorpcija energije (kraćih valnih duljina). Na taj način se kontroliranjem veličine kristala nano poluvodiča mogu podesiti svojstva optičke apsorpcije i emisije. Električna svojstva ovise i o nano strukturi; primjerice ugljikove cijevi mogu biti vodiči ili poluvodiči. Još jedan primjer su superkondenzatori, materijali u kojima ne postoji otpor i koji se ne ponašaju po Ohmovim temeljnim zakonima [2].

2.1.2. Optička svojstva

Neki nanomaterijali pokazuju različita optička svojstva, poput boje i prozirnosti. Boja promatranog objekta je funkcija interakcije elektromagnetskih valova i objekta. Kada svjetlost padne na predmet, ona može biti transmitirana, reflektirana ili apsorbirana. Refleksija se događa kada svjetlost padne na ravnu površinu i od nje se odbije pod kutem koji je jednak ulaznom kutu, odnosno ulazni i reflektirani valovi su jednaki. Apsorpcija je proces koji uključuje prijenos energije, ovisi o elektronskoj konfiguraciji molekula podloge koje selektivno apsorbiraju određen dio svjetlosti i pretvara ga u kinetičku energiju. Atom ili molekula može apsorbirati fotone određenih valnih duljina koje odgovaraju određenom energetske prijelazu elektrona u elektronskom omotaču. Transmisija je svojstvo svjetlosti da prođe kroz materijal, odnosno ono što ostane nakon refleksije, apsorpcije i raspršenja svjetlosti. Raspršenje je promjena smjera širenja svjetlosti zbog sudara sa česticama koje se nalaze u sredstvu na koju svjetlost pada, a čije dimenzije su usporedive sa valnom duljinom svjetlosti. To je fizički p

) i transmisiji (val ne mijenja smjer širenja). Mi vidimo reflektiranu odnosno transmitiranu svjetlost.

Primjerice, list je zelene boje jer u sebi sadrži pigment klorofil, koji apsorbira crveni i plavi dio vidljivog spektra elektromagnetskog zračenja, a reflektira zeleni.

Nanomaterijali imaju specifična optička svojstva kada svjetlost pada na njihovu finu nanostrukturu. Kod metalnih nanočestica dolazi do efekta rezonancije lokaliziranih površinskih plazmona. Kada se osvijetli metalna površina, na njoj nastaje površinski plazmon. Plazmon je elektronski plin sličan plazmi koji se nalazi na površini metala, ima slobodne elektrone i nesmetano se kreće po površini. Međutim, kod metalnih nanočestica nastaju oscilacije slobodnih elektrona, a kada je frekvencija oscilacije elektrona jednaka frekvenciji ulazne svjetlosti tada su u rezonanciji. Jedna od posljedica rezonancije lokaliziranih površinskih plazmona je snažna vidljiva apsorpcija zbog koje koloidi metalnih nano čestica, poput zlata i srebra daju drugačija obojenja koja nisu za njih karakteristična.

Nano poluvodiči imaju kvantizirane energetske nivoe većih razlika energije te su vodjivi i valentni pojas razdijeljeni. Podešavanjem veličine nanopoluvodičkog kristala (kvantne točke) može se podešavati zabranjena zona između valentnog i vodljivog pojasa, a time i valne dužine svjetlosti koju kristal može apsorbirati odnosno emitirati. Rezultat je da isti materijal, ovisno o svojoj veličini, može emitirati različite valne duljine svjetlosti. Smanjenjem kvantne točke, povećava se zabranjena zona te je potrebno više enrgije za apsorpciju odnosno kraće valne duljine i emisija se približava plavom dijelu vidljivog spektra. Veće kvantne točke emitirati će u crvenom dijelu spektra. Slika br.1 prikazuje kvantne točke suspendirane u tekućini koje apsorbiraju bijelu svjetlost i ponovo emitiraju u određenoj boji ovisno o veličini čestica [2].



Slika br.1. Kvantne točke suspendirane u tekućini (Fotograf: Xiaohu Gao, Sveučilište u Washingtonu)

Preuzeto sa: <http://www.theguardian.com/science/small-world/2013/aug/13/mother-nature-quantum-dots>

2.1.3 Magnetska i mehanička svojstva

Magnet je svako tijelo koje u sebi i oko sebe stvara magnetsko polje, te ima svojstvo da može djelovati privlačnom silom na feromagnetske materijale [3]. Svojstva magnetizma nekog materijala ovise o njegovoj strukturi i temperaturi. Reduciranjem veličine magneta, površinski atomi zauzimaju većinski dio ukupnog broja atoma, jače su izraženi površinski efekti i materijali pokazuju nova svojstva zbog veće energetske rezlike, poput magnetskog otpora. On je jedan od osnovnih nanoefekata koji se koristi u modernim uređajima za pohranu podataka.

Neki nanomaterijali posjeduju izvanredna mehanička svojstva, povezana s njihovom strukturom. Primjer su ugljikove nanocijevi koje imaju jednaku strukturu pčelinjeg saća kao grafit, ali su 100 puta čvršće od čelika i 6 puta lakše. Iznimna mehanička svojstva nanomaterijala koriste se i za poboljšanje mehaničkih svojstava postojećih materijala [2].

2.2 Upotreba nanomaterijala

Nanotehnologija je široko interdisciplinarno područje istraživanja, razvoja i industrijske aktivnosti koje ubrzano raste u cijelom svijetu, a čije potpune rezultate očekujemo tek u budućnosti. Pojedini materijali proizvode se već dugi niz godina. Čestice čađe, koje su nanometarskih veličina rabe se u gumenim pneumaticima, silicijev dioksid (SiO_2) i ostali oksidi (Ti-, Al-, Zn-) rabe se kao tiksotropni agensi u pigmentima i kozmetici. Proizvodnja novih nanomaterijala često je na laboratorijskoj razini, manje od 10 kg po danu.

Veličina površina i međupovršina ključna je u nanomaterijalima. Smanjenjem veličina čestica raste omjer broja atoma na površini u odnosu na ukupan broj atoma, pa nanočestice mogu biti puno reaktivnije i djelotvornije kao npr. katalizatori i punila u kompozitnim materijalima. Primjenom nanomaterijala pri detekciji zagađivača u okolišu i njihovu uklanjanju te projektiranju čistijih industrijskih procesa može se

poboljšati stanje u okolišu. U budućnosti se očekuje primjena nanomaterijala u automobilske industriji (pokrovi motora, čipovi, katalizatori, baterije), naprava za pohranu podataka, biosenzora za dijagnostiku, kao i upotreba nanomaterijala u zrakoplovnosvemirskoj tehnici i bionanotehnici.

Upotrebom nanotehnologije svojstva materijala su poboljšana, proizvodi su kvalitetniji, duže traju i troše manje energije. Za svaku površinu se kreira proizvod koji je namjenjen toj površini-za staklo proizvodi s nanočesticama stakla, za drvo proizvodi s nanočesticama drveta itd.

U svakodnevnoj upotrebi već su kreirani mnogi proizvodi koji sadrže neku vrstu nanomaterijala:

- kreme za sunčanje i kozmetiku sadrže titan dioksid (TiO_2) i cink oksid (ZnO) koji na nanorazini odbijaju ili apsorbiraju ultraljubičasto zračenje, a za vidljivu svjetlost su prozirni

- sredstva za mršavljenje, razni kozmetički preparati, sredstva za čišćenje

- vlakna za odjeću, madraci, igračke, a mogu biti vodonepropusni, prozračni ili promjenjeni na način koji je potreban

- General Motors koristi nanomaterijal pomješane s plastikom (nanokompozit) kako bi smanjio težinu vozila, a time i potrošnju goriva

- nanočestice sastavljene od kalcijevog fosfata i proteina koriste se kao blokatori boli u stomatologiji

- nanoflasteri ubrzavaju proces zacjeljivanja [4]

3. BENZION (BENNY) LANDA

«Sve što može postati digitalno, postati će digitalno. Tisak nije iznimka [5].», rečenica je Bennyja Lande, vlasnika preko 800 patenata, začetnika ofsetnog digitalnog tiska i nanografskog tiska. Njime je krenula revolucija u digitalnom tisku, te ga se slobodno može nazvati ocem ofsetnog višebojnog digitalnog tiska [5]. Rođen je u Poljskoj 1946. godine, a djetinjstvo je proveo u Edmontonu, Alabama. Njegov otac je bio stolar i vlasnik trafike, a kako prodaja časopisa nije bila financijski isplativa, odlučio je sagraditi foto kabinu za izradu slika za putovnice. Od drveta je napravio kabinu u kojoj se nalazila sjedalica, fluorescentna rasvjeta i objektiv, a iza objektiva tamna komora i stroj za rezanje role papira sagrađen od dijelova starog bicikla. Najzanimljivije je što su koristili izravan pozitivski fotografski proces u kojem je slika snimana direktno na papir bez potrebe za fotografskim filmom, a snimljeni papir je bio odmah spreman za razvijanje. Prednost ovog postupka je bila što su slike za putovnice bile gotove kroz nekoliko minuta, a u izradi je sudjelovala cijela obitelj. Jedan od prvih izuma Bennyja Lande bio je mikser za miješanje kemikalija kako bi ocu olakšao posao. Napravio ga je od gumene cijevi i električnog motora od starog fonografa koje je namontirao na vrč od pet galona.

Studirao je inženjering i fiziku u Izraelu te književnost i filozofiju na Hebrejskom sveučilištu u Jeruzalemu, da bi na kraju diplomirao 1969. godine u Londonu.

Nakon diplome počeo je raditi za CAPS (Commercial Aid Printing Services) gdje se bavio razvijanjem uređaja za očitavanje i printanje mikrofilmova. Imao je značajnu ulogu u izradi projekta kojim je tvrtka ostvarila ugovor sa Rollce-Royce Aero Engine Division te je ubrzo imenovan voditeljem Odjela za istraživanje i razvoj. Landa je sa skupinom prijatelja 1971. godine osnovao kompaniju Imtec (Imaging Technology) koja je tokom vremena postala vodeća Europska tvrtka za izradu mikrofilmova [6].

U Imtecu su se bavili crno-bijelim printanjem sa mikrofilma na specijalni premazani papir koji je bio elektrostatski nabijen i osjetljiv na svjetlo.

Radio je na istraživanju tekućih tonera i metodi brzog razvijanja slike koja će ga kasnije dovesti do otkrića ElectroInka. U Izrael se preselio 1974. godine, a tri godine kasnije osnovao je Indigo, u kojem se bave istraživanjem i razvojem te licenciranjem svoje

tehnologije drugim proizvođačima. Želja mu je bila omogućiti tiskanje sa mikrofilmova u boji te je u Indigo radio na usavršavanju tekućih tinti da bi kompanija početkom osamdesetih godina prezentirala ElectroInk tehnologiju. ElectroInk je specijalna tekuća boja koja sadrži pigmente suspendirane u tekućini koji privlače ili odbijaju električni naboj. Sloj boje na površini papira tvori glatki polimerni film što je dovelo Indigo digitalni tisak blizu ofsetnom tisku. Kompanija je svoje poslovanje usmjerila na proizvodnju opreme za tisak, a prvi proizvod je bio digitalni ploter. Indigo je 1993. godine predstavio E-Print 1000, digitalni tisak kombiniran s višebojnim ofsetnim tiskom u kojem su bili eliminirani deseci skupih dugotrajnih postupaka izrade tiskovnih ploča istovremeno nudeći jeftin kratkoročni ispis u boji direktno sa računala.



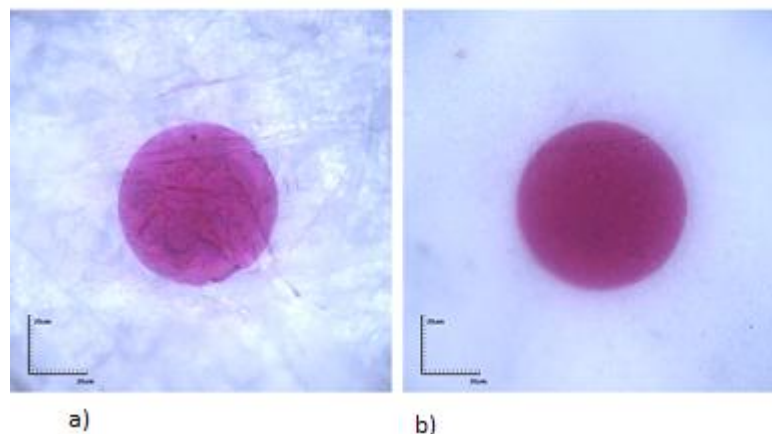
Slika br.2 Benny Landa sa prvim Indigo kopirnim strojem

Preuzeto sa: <http://graphicartsmag.com/articles/2012/09/meet-the-benny-landa-you-never-knew/>

Zbog želje za proučavanjem modernih tehnologija i njihovim uklapanjem u sačuvanje Zemlje, Benny Landa 2002. godine osniva Landa grupu. Glavna ideja Benny Lande bila je proizvodnja električne energije iz toplinske energije zraka, a uključivala je rad s nanočesticama. Proučavanjem nanočestica Landa i njegov istraživački tim otkrili su iznimna svojstva koje čestice imaju u nano veličini te su odlučili eksperimentirati s česticama pigmenata i promatrati kakva će oni svojstva pokazivati. Rezultat su NanoInk i nanografski tisak, velika prekretnica u industriji digitalnog tiska, te se može reći, početak druge industrijske revolucije digitalnog tiska [5, 6].

4. NANOGRAFIJA

Nanografija je nova vrsta digitalnog tiska predstavljena na Drupi 2012. godine [5]. Iza nje stoji Benny Landa sa svojim znanstvenim timom i Landa grupom. Sama definicija nanografskog tiska bila bi indirektni višebojini digitalni tisak. Glavni naglasak, kako i samo ime govori, je u nano veličini odnosno nanopigmentima koji se koriste u Landa NanoInku te nanometarskom filmu bojila koji ostaje na podlozi nakon procesa otiskivanja. Proces nanografskog tiska možemo shvatiti kao hibrid ofsetnog i digitalnog tiska, omogućuje visoku kvalitetu otiska po niskoj cijeni kao ofsetni tisak te brzinu i raznolikost višebojnog digitalnog tiska. Nanografija je indirektna tehnika otiskivanja jer se NanoInk bojilo prvo nanosi na prijenosnu zagrijanu traku. Prilikom dodira kapljica bojila na bazi vode i zagrijane trake, one zbog topline same trake gube vodu i suše se na traci, čime se stvara velika ušteda energije jer nije potrebno dodatno sušenje gotovih otisaka. Obzirom da je slika suha već na traci i takva se prenosi na podlogu bez penetriranja bojila u podlogu, nanografskim tiskom omogućeno je tiskanje na sve vrste podloga, od običnih premazanih i nepremazanih papira (slika br.3) do neupijajućih podloga i folija za ambalažu, kartona i polimernih materijala (PE, PET, PVC) [5].

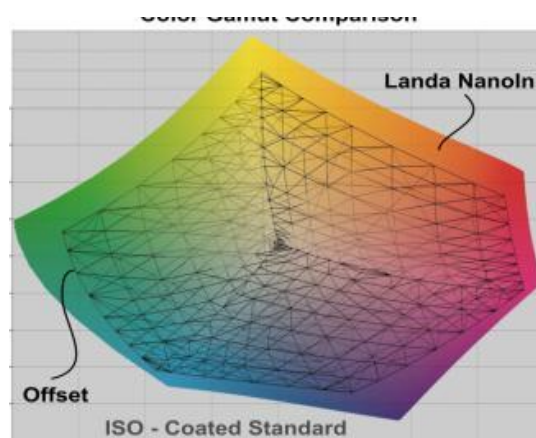


Slika br.3 Nanografski tisak na nepremazanom (a) i premazanom (b) papiru

Preuzeto sa: <http://www.landanano.com/>

4.1.Landa NanoInk

Jezgra nanogrfinje je specijalno Landa nanoInk bojilo na bazi vode. Ono u sebi sadrži nanopigmente veličine nekoliko desetaka nanometara, gotovo duplo manjih od pigmenata koji se nalaze u ofsetnim bojilima. Kroz deset godina istraživanja nanotehnologije i iznimnih svojstava nanomaterijala, u Landa grupi došli su do otkrića da pigmenti nano veličine imaju također promjenjena svojstava te postaju snaži koloranti i jači apsorbeni svjetla. Korištenjem nano pigmenata razvili su Landa NanoInk oko kojeg je krenuo cijeli proces stvarnja nanografskog tiska, te možemo reći da je Landa NanoInk srce nanografije [5]. Nano pigmenti pokazuju drugačija optička svojstva, poput boje i transparencije. Njima je omogućen širi dinamički domet boje pa pokrivaju veći gamut od drugih tehnika tiska i više Pantona boja (Slika br.4). Kvaliteta slike s nanopigmentima je visoka, dajući čistu boju, oštre rubove otiska i veliku gustoću obojenja, a tiskovne točkice su ujednačene [5, 7, 8].



Slika br.4 Gamut postignut ofsetnim tiskom i nanografskim tiskom

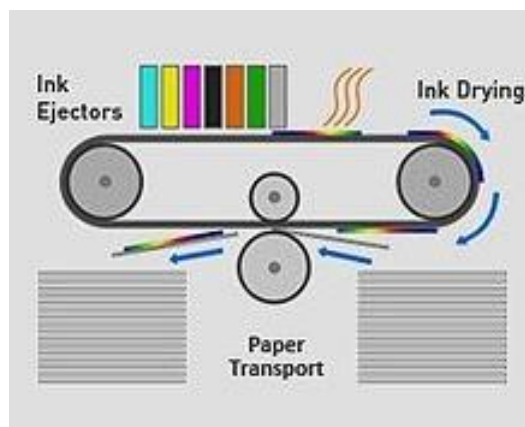
Preuzeto sa: www.landanano.com

Boja je na bazi vode i ekološki prihvatljiva iz više razloga. Ne sadrži hlapljive organske spojeve ni opasne onečišćivače zraka. Isporučuje se kao koncentrat koji se prije upotrebe pomješa sa vodom, pa u transportu štedi na prostoru i težini te i na taj način pridonosi očuvanju okoliša.

Prednost pred drugim tehnikama tiska je tanak film bojila debljine 500 nm koji ostaje na podlozi nakon otiskivanja, pa je potrebna manja količina boje za otiskivanje, čime je omogućen tisak na netretirane i reciklirane podloge. Energija koja se koristi za zagrijavanje prijenosne trake i isparavanje vode iz bojila puno je manja od energije potrebne za sušenje i isparavanje boje iz natopljenog papira kod drugih tehnika tiska [8].

4.2. Princip otiskivanja

Tisak započinje apliciranjem milijuna sitnih kapljica NanoInk bojila kroz ink jet glave poredanih jedna pored druge, svaka sa svojim nanoInk bojilom. Svaka ink jet glava sastoji se od stinih mlaznica koje računalno vođene špricaju bojilo na točno definiranu prazninu na prijenosnoj ugrijanoj traci. Prilikom dodira kapljice sa trakom, ona se razlije po površini te zbog topline trake počinje gubiti vodu. Kada sva voda ispari, bojilo postaje trenutno suho te na traci ostaje ultratanki polimerni sloj debljine 500 nanometara. Slika je sada suha i vidljiva na prijenosnoj traci i prenosi se na tiskovnu podlogu. Zbog jedinstvenog sastava NanoInk bojila, aplicirana nanoink slika se trenutno veže na podlogu bez penetriranja bojila u samu podlogu tvoreći čvrsti i abrazivno otporan film bojila. Otisci nakon procesa tiska izlaze suhi, bez potrebe za dodatnim sušenjem, te spremi za daljnju obradu u procesima dorade.



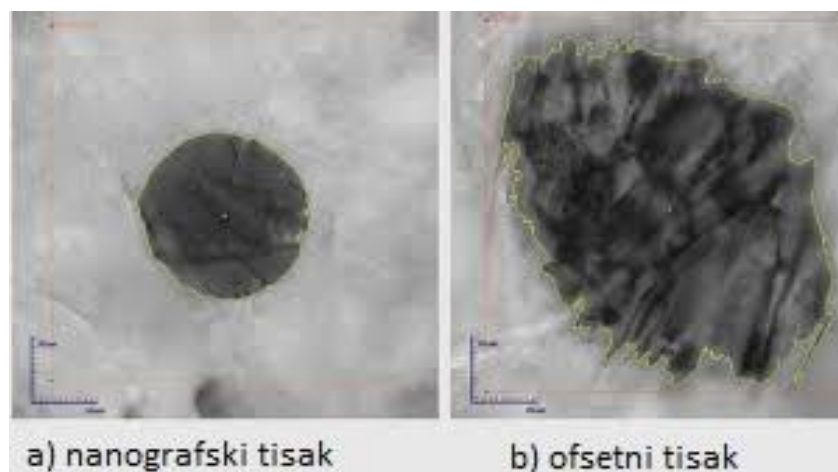
Slika br. 5 Shema nanografskog tiska

Preuzeto sa: www.landano.com

4.2.1. Kvaliteta otiska

Prirast rasterskog elementa je deformacija koja utječe na smanjenje kvalitete otiska, a može biti fizička i optička. Fizička deformacija uzrokovana je mehaničkim djelovanjem na tiskovni element za vrijeme i nakon tiska. U nanografskom digitalnom tisku ovaj oblik deformacije je eliminiran jer se boja prenosi na ugrijanu prijenosnu podlogu ubrizgavanjem iz ink jet mlaznica i na podlozi se osuši, dakle nema prijenosa bojila po tiskovnim cilindrima gdje bi se tiskovna točka mogla razmazati. Suho bojilo se prenosi na tiskovnu podlogu, iz stroja izlaze suhi otisci sa čvrstim abrazivnm filmom bojila i nema opasnosti od eventualnog mehaničkog oštećenja arka na nekom od dijelova stroja ili od poleđine nadolazećeg tiskovnog arka na izlagaćem kupu.

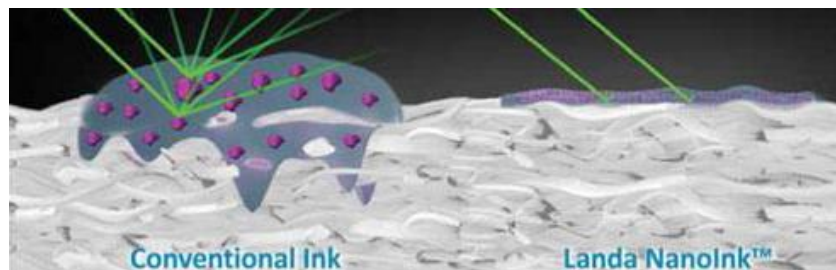
Kod drugih tehnika tiska (npr. ofset) rubovi rasterskih točkica su slabo definirani zbog kapilarnih efekata. Pri prijenosu bojila na tiskovnu podlogu, bojilo se razlije i upija duž vlaknaca papira. Voda iz NanoInka isparava prije prijenosa na tiskovnu podlogu pa je točka oštih rubova, visokog sjaja i visoke ujednačenosti (slika br. 6) .



Slika br. 6 Oblik točke na nepremazanom papiru kod nanografskog tiska i kod ofsetnog tiska

Preuzeto sa <https://revipackonline.files.wordpress.com/2012/11/nanography-white-paper-uk.pdf>

Veći problem u tisku predstavlja optička deformacija tiskovnih elemenata. Pri interakciji svjetlosti s tiskovnom podlogom dolazi do apsorpcije, transmisije, refleksije i raspršenja svjetlosti i svi faktori utječu na doživljaj slike koju vidimo. Problem je što uz refleksiju sa tiskovne podloge vidimo i refleksiju i raspršenje svjetlosti s unutarnjih dijelova tiskovne podloge što u konačnici dovodi do proširenja tiskovnog elementa [9]. Nanopigmenti su snažni apsorbeni svjetlosti, a istovremeno daju manje raspršenje jer će ono biti maksimalno za valne duljine svjetlosti koje su duplo veće od veličine čestica na koje padaju [2]. Kod nanopigmenata veličine nekoliko desetaka nm, raspršenje neće biti u vidljivom dijelu spektra.



Slika br. 7 Apsorpcija i raspršenje svjetlosti sa konvencionalnim bojilom i Landa nanoink bojilom

Preuzeto sa www.landanano.com

4.3. Tiskarski strojevi za nanografski tisak

Landa grupa teži povećanju produktivnosti u tisku, razvoju i poboljšanju korisničkog iskustva te brzom i jednostavnom radnom toku procesa tiska. Za korisničko sučelje odabrali su tehnologiju zaslona na dodir zbog želje da se nove tehnologije prisutne u svakodnevnom životu implementiraju u tiskarsku industriju kako bi ubrzale i olakšale posao operateru za tiskarskim strojem. Landa S10 uređaj ima veliko centralno kontrolno područje u kojem se nalazi zaslon osjetljiv na dodir preko kojeg je omogućen pregled svih funkcija veznih uz sam proces tiska, ladice za pisaći pribor, mobilni telefon, pa čak i držač za šalicu da bi se spriječilo proljevanje tekućine.

Izlazni snop papira nalazi se nekoliko koraka od kontrolnog područja kako operator ne bi gubio vrijeme na traženje otisnutog arka za kontolu tiska. Dakle, sve je prilagođeno kako bi se posao odvijao što brže, bez zastoja ali i kako bi radno okruženje za samog operatera bilo ugodno, praktično i produktivno.



Slika br. 8 Kokpit Landa tiskarskog stroja

Preuzeto sa: www.landanano.com

S lijeve strane kokpita nalazi se ekran s informacijama o statusu procesa tiska (engl. Job manager) i vizualni prikaz nadolazećih poslova u obliku virtualnih kartica kodiranih pomoću boja koje operateru daju informaciju da li je slijedeći posao spreman za tisak ili zahtjeva neku radnju prije samog tiska.



Slika br. 9 Zaslona na dodir s prikazom informacija o tisku (engl. Job manager)

Preuzeto sa: www.landanano.com

Na sredini se nalazi veliki podesivi kontrolni stol, a nekoliko koraka od stola je izlazni snop papira što omogućuje brz i jednostavan pregled otisnutog materijala. Iznad kontrolnog stola su ekrani s video prikazom svih faza u procesu tiska pomoću unutarnjih kamera koje se nalaze u stroju.

Strojevi se mogu podijeliti na strojeve za tisak na arke (Landa S10, Landa S5, Landa S7) i strojevi za tisak iz role (Landa W10, Landa W50, Landa W5). Prilagođeni su kako bi zadovoljili današnje potrebe i izazove u procesima tiska te kako bi pokrili sve želje krajnjeg korisnika. Koriste se za komercijalni tisak, tisak na sklopive kutije, ambalažu i tisak publikacija [5].

4.3.1. Strojevi za tisak na arke

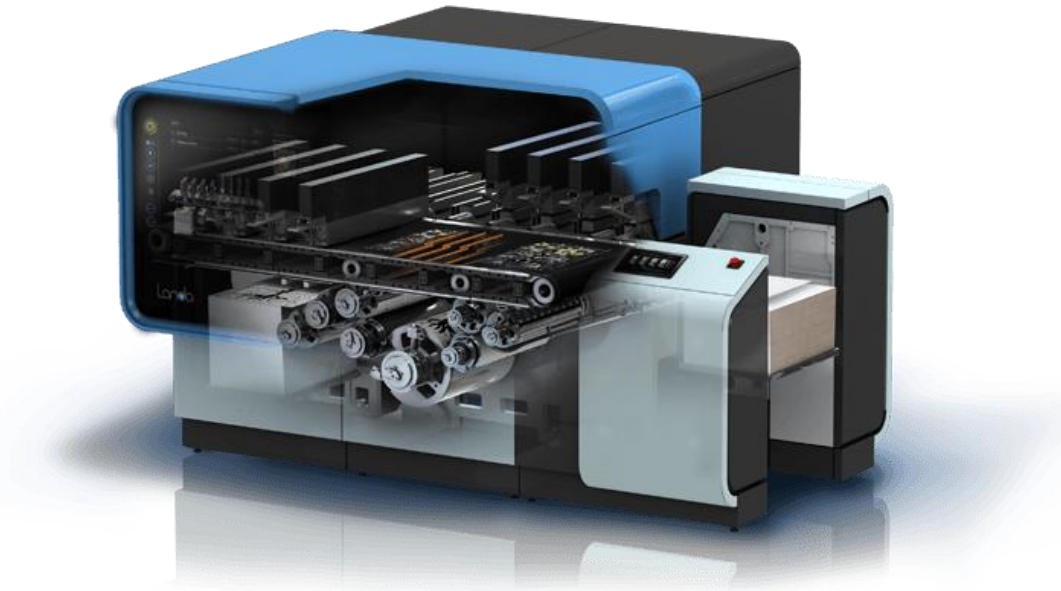
Landa nanografski strojevi za tisak na arke idealni su za komercijalni tisak i tisak sklopivih kutija. Glavna razlika je u dimenzijama formata podloge na koju se otiskuje pa razlikujemo Landa S10, Landa S7 i Landa S5 strojeve. Landa S10 omogućuje tisak velikih formata (B1) na gotovo sve podloge debljina 60-800 μm s otiskivanjem do 8 boja, a brzina jednostranog tiska je 6500 araka po satu. Unutar stroja ugrađena je jedinica za premaz koja podržava vodene i UV premaze. Stroj je opremljen spektrofotometrom za kalibriranje na definiranu kvalitetu otiska kako bi se u svakom trenutku zadržala konzistentnost boja i jednolikost ispisa. Radnom operateru je na raspolaganju tablet za kontrolu i regulaciju procesa tiska ako je udaljen od kokpita. Sustav za podešavanje papira je potpuno automatiziran i omogućuje brz prelazak na novu tiskarsku podlogu.

Tablica br.2 Specifikacije Landa S10

Segmenti tiska	Komercijalni tisak, direktna pošta, POP/POS, sklopive kutije
Format	B1 (1050 mm)
Max brzina tiska	6500 araka po satu
Landa NanoInk	CMYK
Broj boja	4-8
Rezolucija	1200 dpi
Max veličina arka	750x1050 mm
Debljina papira i kartona	60-800 µm
Širina ulagaće jedinice	1150 mm
Dužina	14.1 m
Dužina s jedinicom za premazivanje i sušilima	17.1 m
Širina	5.8 m
Težina	18500 kg
Podloge za tisak	Razolike vrste materijala: premazani i nepremazani papir, karton, polimerni i specijalni materijali (obojani, metalik)
Opcije	Dvostruka brzina ispisa Dodatne jedinice za boju (do 4) Jedinica za premazivanje Obostrani ispis

Landa S7 je formata B2, težine 8100kg i daje tisak 4 do 8 boja na raznovrsne podloge debljina 70-400 µm. Maksimalna brzina tiska je 9000 otisaka po satu za jednostrani ispis odnosno 4500 otisaka po satu za obostrani tisak.

Landa S5 (slika br. 10) je najmanji predstavnik strojeva za tisak na arke B3 formata. Težine je 5600kg i omogućuje tisak brzine 11000 otisaka po satu za jednostrani tisak, odnosno 5500 otisaka po satu za obostrani tisak [5].



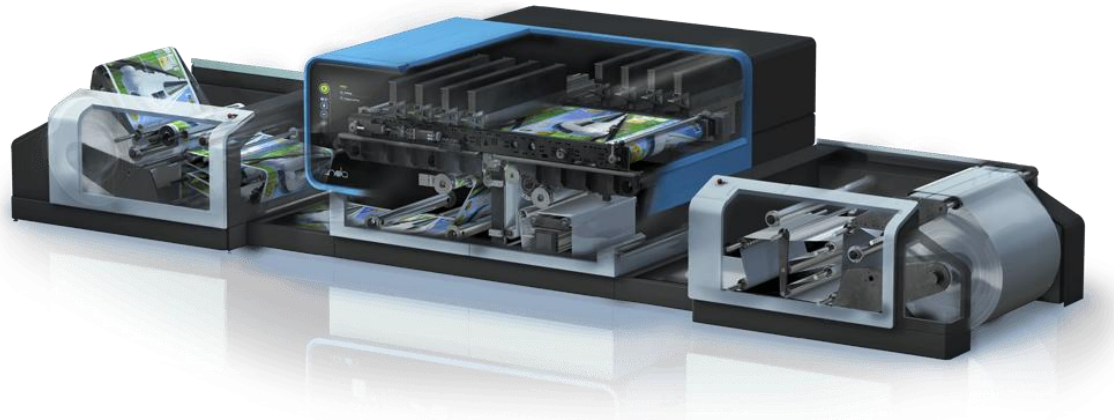
Slika br.10 Landa S5

Preuzeto sa : www.landanano.com

4.3.2. strojevi za tisak iz role

Landa strojevi za tisak iz role pogodni su za tisak publikacija, fleksibilne ambalaže, i komercijalni tisak. Širina role iz koje se tiska može biti 1020 mm (Landa W10) ili 520 mm (Landa W50 i Landa W5). Kao i kod strojeva za tisak na arke, uređaji imaju zaslon na dodir za upravljanje procesom tiska. Landa W10 (slika br. 11) nudi tisak iz role širine 1020 mm i dužine do 7000 metara. Omogućava digitalni tisak publikacija i fleksibilne ambalaže brzo i kvalitetno, bez potrebe za predpripremom i može postati ozbiljna konkurencija fleksotisku. Tiska brzinom od 100 metara po minuti na sve vrste podloga, uključujući i zahtjevnije plastične podloge poput polietilena.

Landa W50 i Landa W5 tiskaju brzinom od 200 metara po minuti na širinu role od 560mm. Landa W50 pogodan je za tisak publikacija, kataloga i personaliziranog tiska na sve vrste podloga debljina 50-350 μm u 4 boje. Za razliku od lande W50, Landa W5 pogodan je i za tisak filmova debljine 12-250 μm , pa je idealan za tisak naljepnica, etiketa i fleksibilne ambalaže.



Slika br.11 Landa W10

Preuzeto sa: www.landanano.com

5. MOGUĆNOSTI NANOGRAFIJE

Za nanografiju sam Benny Landa kaže: «Po prvi puta ne trebate birati između raznolikosti i malih naklada digitalnog tiska te niske cijene po stranici i visoke produktivnosti ofsetnog tiska. Sada možete imati oboje [6].» U današnje vrijeme velike konkurencije i težnje za bržim, boljim i jeftinijim tiskom, Landa grupa nudi rješenje u obliku nanografije. Pokrivaju sve segmente tržišta, komercijalni tisak, tisak sklopivih kutija, fleksibilne ambalaže i publikacija.

5.1. Komercijalni tisak

Komercijalni tisak se može podijeliti na generalni komercijalni tisak poput tiska brošura, tiskanica, kataloga, posjetnica, pozivnica, kalendara, oglasa, naljepnica i plakata, a za tisak istih se obično koristi ofsetni ili digitalni tisak. Kod ofsetnog tiska najveći problem je priprema za tisak, a s druge strane digitalni tisak ne može konkurirati cijenom za veći broj stranica. Drugo veliko područje komercijalnog tiska je personalizirani tisak (eng. Direct mail), rastuća industrija s velikom ulogom u marketingu. Pokriva ispis poslovnih računa, kupona, letaka i personaliziranih oglasa na koje potencijalni kupci pozitivno reaguju u odnosu na prezentiranje informacija primjerice elektroničkim putem. Prednost kod ispisa direktne pošte ima digitalni tisak zbog brze proizvodnje malog broja stranica.

Još jedan segment komercijalnog tiska kojemu je cilj privući pozornost na proizvod u samoj trgovini su POP (Point of Purchase) i POS (Point of Sale) materijali. To podrazumijeva isprintane materijale unutar same trgovine (POP) i oko blagajne (POS) kao što su kartonske police, štandovi za prezentacije i različiti stalci s proizvodima (slika br.). Današnji kupci, usprkos reklamama o proizvodima koje dobivaju prije kupnje (TV, radio, internet) tek nakon ulaska u trgovinu odluče što žele kupiti. Upravo tu veliku ulogu imaju POP I POS materijali koji kupca potiču na kupnju izloženog proizvoda te ga ističu od istog proizvoda drugog proizvođača.

Oni moraju biti vizualno zanimljivi, sa izraženim bojama i informacijama bitnim za proizvod, visoke kvalitete i formatom prilagođeni proizvodu. Uglavnom su tiskani jednostrano, na različitim podlogama i sa specijalnim bojama za izraženi vizualni identitet. Za komercijalni tisak, Landa nudi svoje strojeve za tisak na arke Landa S10, Landa S7 i Landa S5. Njima je omogućen tisak svih formata (B1, B2 i B3) na raznovrsne podloge (što je posebno pogodno za POP i POS materijale), te omogućuje veliku brzinu tiska [5].



Slika br. 12 Stalak za kozmetiku (POP)

Preuzeto sa: www.landanano.com

5.2. Sklopive kutije

Sklopive kutije za pakiranje proizvoda (hrana i piće, lijekovi, kozmetika i osobna njega) imaju ključnu ulogu za marketing i brandiranje proizvoda, odnosno sama ambalaža privlači kupca i prodaje proizvod. Današnja tehnologija za tisak sklopivih kutija su litografija, gravura i fleksografija koje nude visoku kvalitetu, brzinu, niske cijene i učinkovitost proizvodnje. Međutim, nemaju fleksibilnost u brzom promjeni dizajna kao digitalni tisak.

Digitalna tehnologija daje brzu proizvodnju manjih količina sklopivih kutija, primjerice sezonskih, akcijskih i limitiranih proizvoda. Nanografija nudi brzi i učinkovit tisak uz korištenje širokih paleta boja sa CMYK bojama kojima pokrivaju 75% Pantona boja, specijalnim bojama te spot bojama. S Landa S10 omogućen je tisak na arke formata B1 pri brzini od 6500 araka po satu [5].

5.3. Fleksibilna ambalaža

Zbog globalnog interesa na smanjenje utjecaja ugljika na okoliš, težine ambalaže te želje kupca za praktičnijom ambalažom koja štiti proizvod od npr.vlage, svjetlosti i mirisa, sve više krute ambalaže (kutije, konzerve, boce) se zamjenjuju fleksibilnom (slika br. 13)



Slika br. 13 Fleksibilna ambalaža

Preuzeto sa: www.landanano.com

Dvije glavne tehnike za tisak fleksibilne ambalaže su fleksografija (za tisak velikih naklada od 10000-100000 metara) te gravura, koja je postavila visoke zahtjeve za kvalitetom otiska. Daju velike naklade i visoku kvalitetu ambalaže, ali uz veliki trošak i puno otpadnog materijala.

Tisak fleksibilne ambalaže zahtjeva tisak na različite materijale koji štite sadržaj, tisak širokom paletom boja i spot bojama i debljinom filma od 9-120 mikrometara. Digitalni tisak ovdje ne može dati zadovoljavajuću kvalitetu kao fleksotisak. Nanografija nudi kvalitetu i brzinu, eliminira skupu opremu koju zahtjeva gravura i fleksotisak i koristi NanoInk na bazi vode što je pogodno za tisak prehrambene ambalaže. Nudi i tisak za proizvode do 5000 metara (npr.za neke akcijske ili limitirane proizvode) koji se ne isplate tiskati postupkom gravure i fleksografije [5] .

5.4. Publikacije

Pitanje koje se najčešće postavlja u vezi publikacija je: kakva je budućnost tiskanih medija? Usprkos električnim medijima i dalje postoji potreba tržišta i korisnika za tiskanom riječi na komadu papira. Ono što se promjenilo su rastući zahtjevi izdavača za isplativim poslovnim modelom uz što bržu uslugu. Iako je tisak publikacija digitalnim tehnikama i dalje dosta skup, tendencija za tisak magazina, novina i knjiga okreće se polagano digitalnom tisku zbog njegove brzine. Landa i ovdje vidi priliku za ponuditi svoje proizvode kojima garantiraju nisku cijenu, kvalitetu i brzinu usluge [5] .

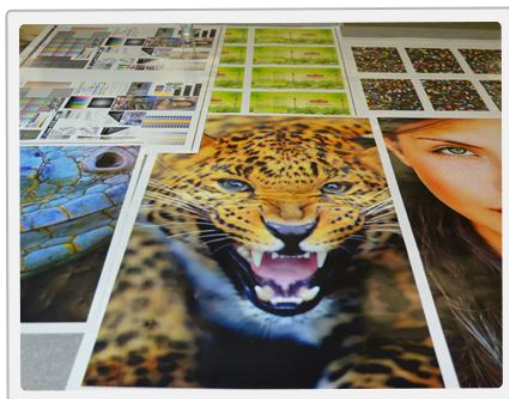
6. ZAKLJUČAK

Brzina, cijena i kvaliteta-glavne karakteristike koje zahtjeva današnje tržište tiskarske industrije. U većini slučajeva, tehnika koja je brza i jeftina, nije kvalitetna; dok brza i kvalitetna nije jeftina, nanografski tisak, po tvrdnjama Landa korporacije, nudi sve troje. Zvuči gotovo utopijski, ali da li je to zaista moguće? To će se pokazati kroz par godina kada će nanografski tisak biti dostupan za komercijalno tržište. Trenutno u Landa grupi rade na usavršavanju same tehnologije i rješavanju nekih problema i ne žele se zaljetati s proizvodnjom prije nego će biti postignuta željena razina kvalitete.

Jedan od problema s kojima su se susretali je pojava tanke bijele linije na otisku kao posljedica spojeva ink jet glava po sredini podloge.

U kompaniji trenutno rade na usavršavanju Landa S10 preše za digitalni tiak velikih formata [10].

Kvaliteta otiska postignuta nanografskim tiskom je neupitna, nanopigmentima je omogućeno dobivanje velikog dinamičkog raspona boja, eliminirana je fizička deformacija tiskovne točke, a optička je svedena na minimum. Indirektnom tehnikom tiska i prenošenjem suhe boje na tiskovnu podlogu ostvaren je tisak na gotovo svim tiskovnim podlogama (slika br. 14).



Slika br. 14 Otisci nanografskog tiska

Preuzeto sa: www.landanano.com

Da nanografski tisak ima svjetlu budućnost pokazuje i veliko ulaganje Altana grupe, specijalizirane za kemijsku industriju, od 100 milijuna eura za manjinski udio u Landa digitalnom tisku. Novac će se uložiti u završetak razvoja nanografije, izgradnju strojeva i postrojenja za proizvodnju NanoInk bojila [5].

Strateško partnerstvo sa Landa grupom potpisao je i Komori, proizvođač tiskarske opreme. Suradivali su u razvoju nanografskog tiska, a Komori će biti globalni dobavljač tiskarskih platformi za tisak na arke. Landa će njima omogućiti ugradnju nanografske tehnologije i NanoInk bojila u Komori tiskarske strojeve [5, 11].

U suradnju i razvoj nanografskih preša trebao je ući i Heidelberg i osigurati proizvodnju, prodaju i servis nanografskih strojeva. Međutim, dogovorena suradnja ipak nije ostvarena, ali Heidelberg se polako okreće digitalnom tisku te i dalje postoji interes za međusobnim partnerstvom ugradnjom Landa nanografskog tiska u Heidelbergove platforme [12].

Jedno je sigurno, digitalni tisak polako će oduzimati dio poslova konvencionalnim tehnikama tiska, čije je najjače uporište daleko isplativiji i kvalitetni otisak. Ako, odnosno, kada nanografski tisak bude dostupan i financijski isplativ, jer je to ipak nova tehnologija koja zahtjeva ulaganje vremena i novca, ostale digitalne i konvencionalne tehnike tiska morati će ponuditi nešto novo i inovativno kako bi ostale zanimljive na tržištu.

7. LITERATURA:

1. Filipponi L, Sutherland D. (2010.) Nanoyou Teachers Training Kit in Nanoscience and Nanotechnologies, Module 1, Chapter 1, Interdisciplinary Nanoscience Center, Aarhus University, Denmark
2. Filipponi L, Sutherland D. (2010.) Nanoyou Teachers Training Kit in Nanoscience and Nanotechnologies, Module 1, Chapter 4, Interdisciplinary Nanoscience Center, Aarhus University, Denmark
3. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Magnet> 15.08.2015.
4. Jerković Z. (2015.) Ekološki aspekti primjene nanomaterijala-nanotehnologija, dostupno na: <http://www.ttf.unizg.hr/teni/pdf/TEDI-5-5-68.pdf> 22.08.2015.
5. <http://www.landanano.com/> 10.06.2015.
6. Curcio T., (2012.), Graphic Arts Magazine, dostupno na: <http://graphicartsmag.com/articles/2012/09/meet-the-benny-landa-you-never-knew/> 15.06.2015.
7. The Nanographic Printing Process (2012.), dostupno na: <https://revipackonline.files.wordpress.com/2012/11/nanography-white-paper-uk.pdf> 20.08.2015.
8. Vinoth E., Rajkumar M., Nanography by NanoInk, dostupno na: http://chemicalengg.weebly.com/uploads/3/9/5/0/39500293/nanography_by_nanoink.pdf 20.06.2015.
9. Zjakić I., (2007.) Upravljanje kvalitetom ofsetnog tiska, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb
10. Hamilton, J., (2015.) The Latest Landa S10 Printing Samples, dostupno na: <http://blog.infotrends.com/?p=17929> 21.08.2015.
11. Hamilton, J. (2013.) Landa and Komori Strengthen Sheet-fed Technology Partnership, dostupno na: <http://blog.infotrends.com/?p=13064> 21.08.2015.
12. Leahey, B. (2013.) Heidelberg-Fujifilm: Upshots for Digital in Packaging & Beyond, dostupno na: <http://blog.infotrends.com/?p=13196> 21.08.2015.