



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

ZAVRŠNI RAD

Mateo Bartolić



Sveučilište u Zagrebu

Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

REGRESIJSKI MODEL PRIJENOSA TISKARSKE BOJE OVISNO O POVRŠINSKIM SVOJSTVIMA PODLOGE

Mentor:

doc. dr. sc. Tomislav Cigula

Student:

Mateo Bartolić

Zagreb, 2020.

Zahvale

Zahvaljujem se poštovanom Tomislavu Ciguli što je prihvatio moju temu i pružio mi pomoć oko pisanja završnog rada i rada u laboratoriju.

Također se zahvaljujem poštovanoj Mariji Prša na pruženoj pomoći oko završnog rada.

Mateo Bartolić

SAŽETAK

U industrijskoj proizvodnji vrlo je značajno moći modelirati procese te tražiti optimalna rješenja kako bi proizvodnja bila efektivnija, a posljedično i kako bi se smanjio utjecaj na potrošnju materijala, tj. na ekološku održivost proizvodnje. U grafičkoj industriji mnogo je parametara koji utječu na prijenos tiskarske boje te posljedično na kvalitetu grafičkog proizvoda. Cilj ovog rada je da se pomoću regresijske analize procijeni utjecaj površinskih svojstava podloge i filma tiskarske boje na prijenos zaštitnog premaza ili sljedeće boje.

Za provedbu ovog istraživanja odabrano je 5 različitih tiskarskih podloga, od kojih su tri bile papirne podloge (sjajni i mat papir za umjetnički tisak, premazani papir) te dva filma boje (cijan i magenta) na papiru za umjetnički tisak. Odabrane podloge su karakterizirane određivanjem sjaja, glatkosti, mjerenjem kontaktnog kuta s referentnim tekućinama te izračunom slobodne površinske energije. Utjecaj svojstava podloge i boje određen je regresijskom analizom kontaktnog kuta korištenih tekućina (voda, glicerol, dijodometan i formamid), regresijskom analizom sjaja, glatkosti te slobodne površinske energije uspoređene s masom boje na otisku.

Rezultati istraživanja su pokazali da površinska svojstva podloge i tiskarska boja imaju utjecaja na otiskivanje boje ili na nanašanje zaštitnog premaza na podlogu. Nadalje, istraživanja su pokazala da papirna podloga ima značajnu ulogu u slobodnoj površinskoj energiji otiska, a kako su otisci predviđeni za otiskivane u ofsetnoj tehnici tiska, oni su dominantno disperznog udjela slobodne površinske energije.

Ovo istraživanje pokazalo je da postoji linearna zavisnost između sjaja, glatkosti tiskarske podloge i prenesene boje, no s obzirom na relativno mali broj ulaznih uzoraka, rezultat je potrebno provjeriti na većem uzorku tiskarskih podloga.

Ključne riječi:

Papir, regresijska analiza, tiskarska boja, kontaktni kut, slobodna površinska energija

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DIO	2
2.1. Tehnike tiska	2
2.2. Tiskarske boje	4
2.2.1. Sastav tiskarske boje.....	4
2.2.2. Sušenje tiskarske boje.....	5
2.3. Ofsetne tiskarske boje	7
2.4. Papir.....	8
2.5. Svojstva papira.....	11
2.5.1. Površinska svojstva papira	11
2.5.2. Mehanička svojstva papira.....	12
2.5.3. Fizikalno kemijska svojstva papira	13
2.5.4. Optička svojstva papira	14
2.6. Statističke metode	15
2.7. Regresijska analiza	17
2.7.1 . Regresijski model	17
2.7.2. Dijagram rasipanja	19
3. EKSPERIMENTALNI DIO.....	23
3.1. Priprema uzoraka	23
3.2. Tisak	23
3.3. Metode ispitivanja uzoraka.....	24
3.3.1. Određivanje kontaktnog kuta.....	24
3.3.2. Sjajnost (gloss)	24
3.3.3. Masa boje	25
3.3.4. Glatkost papira.....	26
3.3.5. Određivanje slobodne površinske energije	27
4. REZULTATI I RASPRAVA	28
4.1. Rezultati linearne regresije otiska i sjaja.....	28
4.2. Rezultati linearne regresije otiska i kontaktnog kuta.....	29
4.3. Slobodna površinska energija otiska	34
4.4. Rezultati linearne regresije otiska i slobodne površinske energije	35

4.5. Rezultati linearne regresije otiska i glatkosti	37
4.6. Koeficijent korelacije	38
5. ZAKLJUČAK	40
6. POPIS LITERATURE	41

1. UVOD

Umijeće grafičkog dizajna, uz kreativno likovno izražavanje koristeći grafičke tehnike, podrazumijeva i tiskarsko umnožavanje umjetničkih ili drugih djela.

Kod reprodukcije grafičkih proizvoda pojavljuje se potreba za maksimalizacijom kvalitete karakteristika svakog idućeg tiskanog proizvoda uporabom materijala zadovoljavajućih grafičkih svojstava.

Ovaj rad pokušat će dokazati korelaciju između svojstava korištenih materijala i kvalitete tiska kod reprodukcije grafičkih proizvoda te kako postići optimizaciju sustava reprodukcije.

Pretpostavlja se da je karakteristika tiskovne podloge značajno utjecajna na prijenos tiskarske boje u procesu tiska te time utječe na kvalitetu grafičke reprodukcije.

U kontroliranim i jednakim uvjetima ispitani su 5 vrsta papira, otiskivanjem na uređaju za probno otiskivanje kako bi se usporedbom rezultata grafičkog otiska izmjerila kvaliteta grafičke reprodukcije.

Rezultati regresijske analize pokazali su da postoji korelacija između korištenih materijala i kvalitete tiska, te da karakteristike površinskih svojstva materijala imaju značajan utjecaj na kvalitetu reprodukcije u tisku.

Obzirom da je istraživanje provedeno na ukupno pet tiskarskih podloga koje imaju različita svojstva, pretpostavlja se da će za potvrdu rezultata biti potrebno proširiti istraživanje na veći broj tiskarskih materijala i/ili tiskarskih tehnika.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. Tehnike tiska

Od samih početaka otiskivanja, bilo je više tehnika pomoću kojih su se umnožavala djela. Danas je uobičajeno da se klasične tehnike tiska dijele na:

- Plošni tisak
- Propusni tisak
- Visoki tisak
- Duboki tisak

Navedena podjela nastala je po obliku tiskovne forme (matrice) s koje se pomoću boje prenosi slika. Na tiskovnoj formi se nalaze tiskovne površine i slobodne površine. Tiskovne površine su površine s kojih se boja prenosi na papir i ostavlja otisak na papiru. Slobodne površine su površine na kojima nema boje i ne ostavlja otisak na papiru [1].

Plošni tisak

Kod ove tehnike tiska tiskovni elementi i slobodne površine su u istoj ravnini. Valjak koji nosi tiskarsku boju prelazi preko tiskovne forme, i prelazi preko tiskovnih i slobodnih površina. Za razliku od ostalih tehnika otiskivanja, u ovoj po površini tiskovne forme prelazi i valjak koji nanosi otopinu za vlaženje (voda s dodacima). Tiskovne površine i slobodne površine imaju različita fizikalno – kemijska svojstva. Tiskovne površine su oleofilne i hidrofobne te prihvaćaju boju na bazi ulja, a odbijaju vodene otopine - otopinu za vlaženje, dok su slobodne površine hidrofilne te prihvaćaju vodenu otopinu, a nakon što se na njima prihvatila otopina za vlaženje, one na sebe ne prihvaćaju tiskarsku boju. Glavni predstavnik plošnog tiska je ofsetni tisak, kod kojeg se slika s tiskovne forme prenosi na prijenosni, gumeni cilindar te s njega na tiskovnu podlogu. Ova tehnika tiska koristi se za tisak širokog spektra grafičkih proizvoda. Tiska se papir, polukarton, karton i lim. [1].

Propusni tisak

Jedna od prvih jednostavnih tiskarskih tehnika. Koristilo se u Kini još prije nove ere, tiskalo se pomoću drvenih okvira, sito je bilo ispletено od ženske kose, a za bojilo su se koristile različite boje biljnog ili životinjskog podrijetla. I danas se izrađuju gotovo identično kao i u počecima tiskarstva. Sastavljanje tiskovnih i slobodnih površina je vrlo jednostavno u ovoj tehnici, zatvoreni otvori na mrežici tvore slobodne površine i kroz njih neće prolaziti boja, dok nezatvoreni otvori

mrežice tvore tiskovne površine i kroz njih prolazi boja. Sito se sastoji od pravokutnog okvira, različitih formata, na okviru je mrežica od pogodnog materijala. Mrežica se izrađuje od metala, tkanine od prirodnih vlakana i od sintetskih vlakana. Sita napravljena od metalnih niti se koriste za tisak na krute podloge, kao na keramici, drvu i sl. Sitotisak je glavni predstavnik propusnog tiska i spada u grupu direktnih tehnika tiska [1].

Visoki tisak

Kod ove tehnike se koristi tiskovna forma gdje su tiskovni elementi uzdignuti u odnosu na slobodne površine, boja se prenosi preko tiskovnih elemenata na tiskovnu podlogu. Najbitniji oblici visokog tiska su knjigotisak, letterset i fleksografski tisak. Knjigotisak je postupak izravnog tiska. Nakon Gutenbergovog izuma tiskarskog stroja, počinje stvarni razvoj knjigotiskarske tehnike. Letterset je neizravna tehnika tiska kod koje se koristi viskozna tiskarska boja i u ovoj se tehnici može tiskati jednobojno i višebojno, jednostrano i obostrano. Fleksografski izravnog tisak je tehnika tiska, ima mekanu i fleksibilnu tiskovnu formu. Ova tehnika ima jako nisku kvalitetu otiska, koristi se boja male viskoznosti i tiskarski strojevi u fleksografskoj tehnici su jednostavne građe [2].

Duboki tisak

U dubokom tisku imamo tiskovnu formu u kojoj su tiskovni elementi udubljeni u odnosu na slobodne površine. Tehnike dubokog tiska dijelimo na bakrotisak, čelični reljefni tisak te tampon tisak. Bakrotisak je najznačajnija tehnika u dubokom tisku, kod koje se boja izravno prenosi na tiskovnu podlogu. Bakrotisni strojevi dijele se na bakrotisne preše, bakrotisne strojeve na arke i bakrotisne rotacije. Najčešće se otiskuje tako da se temeljni valjak na kojem se nalazi tiskovna forma se uranja u boju, zatim se posebnim nožem boja s površine skida, a boja preostala u udubljenim tiskovnim elementima se prenosi na tiskovnu podlogu. U ovoj tehnici tiska možemo dobiti pravi višetonski otisak [2].

Digitalni tisak

Ova tehnika tiska ne spada u klasičnu tehniku tiska. Ostvaruju otisak direktno na tiskovnu podlogu, ili se u stroju najprije stvara tzv. master slika iz koje zatim dobijemo otisak. Važna tehnika tiska za tisak malih naklada i tiska po narudžbi, bez strogo definiranih granica, pošto se svi strojevi zasnivaju na istim principima [2].

2.2. Tiskarske boje

2.2.1. Sastav tiskarske boje

Tiskarska boja je složen koloidni i/ili molekularni disperzivni sastav, dijelimo ju prema konzistenciji i tehnikama tiska. Sastoji se od pigmenta, bojila, punila, veziva, sušila i dodataka. Boja koja se koristi u procesu, se određuje ovisno o tiskarskom procesu i tiskarskoj podlogi, tako da svaka grafička tehnika zahtjeva boju različitih komponenti u sastavu. Boje posjeduju osobine kao što su: otpornost na različita površinska oštećenja, otpornost na izbjeljivanje te netoksičnost kao uvjet za prehrambenu ambalažu [3].

Pigment je fini prah koji, pomiješan s prikladnim vezivom, ima svojstvo da oboji neku podlogu, pigmenti boji daju obojenje i osnovni su dio svake grafičke boje. U proizvodnji pigmenata se vodi kontrola veličine čestica pigmenta jer utječu na fizikalna svojstva grafičkih boja. Dijelimo ih na organske i anorganske pigmente. Prirodni organski pigmenti su pigmenti koji se dobivaju iz biljnih i životinjskih organizama i u njima se nalazi već gotovo obojenje (broć, indigo, sepia, purpur), ali su ta bojila istisnuta iz upotrebe pojavom umjetnih organskih pigmenata, koji se dobivaju složenim kemijskim reakcijama. Prirodni anorganski pigmenti se dobivaju kopanjem iz zemlje, zatim prerađivanjem, sušenjem, selekcioniranjem, a umjetni anorganski pigmenti se dobivaju tako što se otopine različitih soli miješaju pod određenim uvjetima [3].

Vezivo je tekuća komponenta tiskarskih boja koja služi za vezanje čestica pigmenata u masu odgovarajuće konzistencije i osiguravanje boji kemijsko fizikalna svojstva. Po sastavu može biti viskozna tekuća tvar, otopina dobivena otapanjem krute smole u ulju, otopina dobivena otapanjem krute smole u organskom otapalu, vodena emulzija dobivena emulgiranjem krute smole s vodom. Ulja su viskozne tekuće tvari koje se prema podrijetlu dijele na biljna životinjska i mineralna, a prema sušivosti ulja se dijele na sušiva, polusušiva i nesušiva. Smole su organski spojevi, a mogu biti viskozne tekućine ili amorfne krute tvari relativno velike molekularne mase. Dije se na prirodne, modificirane, umjetne. Otapala tiskarskih boji su tekuće organske tvari koje otapaju smolu tiskarskih boja. Uloga otapala je da zadrži smole tiskarskih boja u stabilnoj otopini tijekom proizvodnje skladištenja i tiska, sve do trenutka sušenja otisaka [4].

Sikativi su tvari koje se dodaju tiskarskoj boji u cilju poboljšanja njene sušivosti. Efikasna su samo kod boja koje sadrže ulja ili veziva koja oksidiraju i time na

površini otiska tvore suhi film. Sušila se dijele na pastozna i tekuća, bitne razlike između te dvije vrste sušila nema [4].

Dodaci tiskarskih boja poboljšavaju određena svojstva tiskarskih boja ili otklanjaju nepoželjne pojave u tisku, povezuju se s vezivom ili gotovom tiskarskom bojom.

Dodaci tiskarskih boja su:

- Voskovi, ulja i masti,
- antioksidansi
- tvari za močenje
- mirisi [4].

Bojila su krute organske tvari koje daju obojenje tiskarskim bojama, otapaju se u vezivu s kojim tvori molekularnu disperziju. Prema podrijetlu bojila dijelimo na prirodna i umjetna. Prirodna bojila su biljnog ili životinjskog podrijetla, ali se danas ne koriste, jer su ih iz proizvodnje istisnula kvalitetnija umjetna bojila. Umjetna bojila se najčešće dobivaju sintezom od aromatskih ugljikovodika i srodnih spojeva iz katrana kamenog ugljena [5].

Punila su krute anorganske tvari prirodnog ili umjetnog podrijetla, one djelomično zamjenjuju skupe pigmente, smanjuju cijenu boja i mijenjaju reološka svojstva tiskarskih boja. Sastavni su dio tiskarskih boja, netopiva su u vezivu, dok zajedno s vezivom daju transparentnu disperziju. Punila moraju biti bijela i transparentna i ne smiju utjecati na ton pigmenta koji se nalazi u tiskarskoj boji. Imamo prirodan punila i umjetna. Prirodna punila se dobivaju iz ruda i minerala i rijetko se koriste. Umjetna punila se najčešće dobivaju taloženjem teško topivih soli i ova punila imaju manju tvrdoću i veći disperzitet od prirodnih punila pa se zbog toga više koriste [6].

2.2.2. Sušenje tiskarske boje

Za kvalitetan otisak, u svim tehnikama tiska i na svim tiskovnim podlogama, izuzetno je važno sušenje boje. Otisak mora imati otpornost na otiranje, brisanje i pritisak, a to je u direktnoj vezi sa sušenjem. Sušenje otisnutog sloja dijeli se u dvije faze, imamo početno sušenje odnosno prihvaćanje boje kojom otisak postaje suh na dodir i sušenje kojim otisak boje postaje potpuno suh [7].

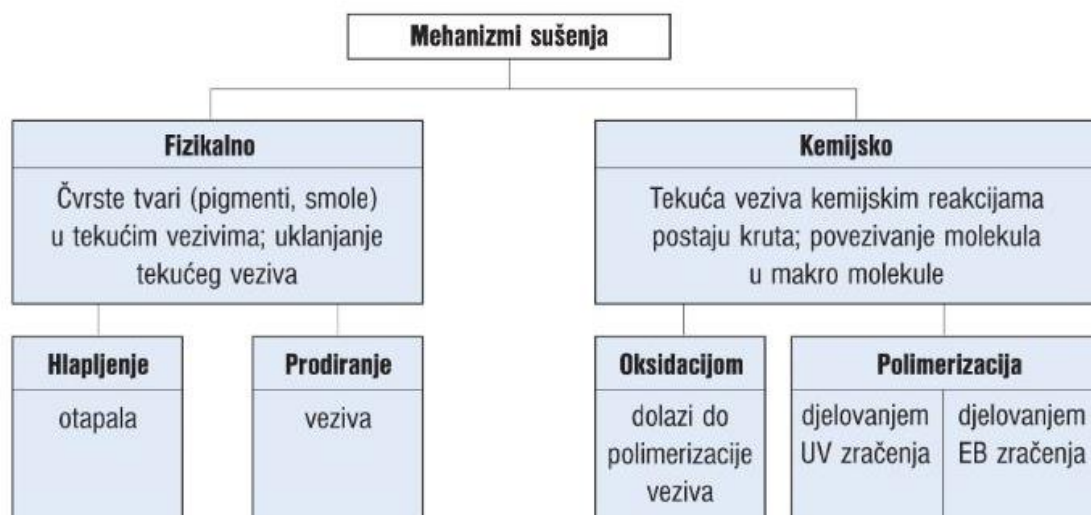
Brzina sušenja boje ovisi o:

- Upotrijebljenoj boji
- Podlogi

- Brzini, tehnici tiska
- Vrsti stroja
- Doziranju boje
- Konzistenciji boje
- Temperaturi
- Sušenju taloženjem
- Prisilnom sušenju

Sušenje boje (Slika 1) je prijelaz boje na tiskovnoj podlozi iz tekućeg stanja u kruto [7]. Razlikujemo sušenje koje nastaje:

- oksidacijom (oksidopolimerizacija) veziva
- sušenje upijanjem veziva u tiskovnu podlogu
- sušenje isparavanjem otapala
- sušenje taloženjem.



Slika 1. Shematski prikaz mehanizma sušenja

(Izvor:

http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_mehanizmi%20susenja%20TB.pdf)

Oksipolimerizacija je način sušenja koji se koristi za tiskarske boje u kojima vezivo sadrži sušiva ili polusušiva ulja. Ulje apsorbira kisik iz zraka te se polimerizira u kruti film na površini otiska. Takve boje sadrže manju ili veću količinu sušila koja djeluju kao katalizator i ubrzavaju proces sušenja, ako i to nije dovoljno, reakciju možemo ubrzati zagrijavanjem [8].

Sušenje upijanjem veziva u tiskovnu podlogu je najjednostavniji način sušenja i ne uključuje kemijsku promjenu veziva za razliku od ostalih mehanizama. Dijeli se na primarnu i sekundarnu penetraciju. U primarnoj penetraciji vezivo prodire kroz tiskovnu podlogu a manji dio zaostaje na površini gdje veže pigment, u optimalnom slučaju proces traje od 10 do 20 minuta. Kod sekundarne penetracije traje proces polaganog prodiranja veziva u kapilarne šupljine tiskovne podloge i može trajati mjesecima [8].

Mehanizmom sušenja isparavanjem se suše tiskarske boje kojima je vezivo priređeno otapanjem smole ili sličnih tvari u određenom organskom otapalu. Karakterističan je za fleksografske boje, boje za duboki tisak i za sitotiskarske i "heat set" ofsetne boje.

Sušenje taloženjem je mehanizam sušenja knjigotiskarskih i fleksografskih boja. Proces sušenja je: Smola koja je topljiva u nekom određenom otapalu pri određenim uvjetima, može postati netopljiva u tom istom otapalu ako se uvjeti promjene. Boje koje suše na ovaj način suše jako brzo, a uz taloženje važna je i penetracija. Najmodernije boje koje suše na ovaj način su emulzije [4].

2.3. Ofsetne tiskarske boje

Bojilo za ofsetni tisak je složenog sastava, sastoji se od pigmenata, veziva, punila i dodataka.

Pigment je prirodno ili umjetno dobiveno obojenje čestice, anorganskog ili organskog porijekla, čvrstog su stanja i zbog toga bojilu daju čvrstoću, masu i konzistenciju. Važno svojstvo pigmenta je pokritosti, a pokritost je sposobnost pokrivanja podloge. Pokritost se dijeli prema intenzitetu na: pokritna, transparentna i polupokritna. Ostala svojstva pigmenata su: izdašnost, svjetlostalnost, tekstura, otpornost pigmenata prema vodi [9].

Punila se upotrebljavaju kao dodatak transparentnim ofsetnim bojilima. Ne utječu na nijansu bojila, poboljšavaju konzistencije i povećavaju masu. Dijelimo ih prema porijeklu na prirodna i umjetna. Najčešća punila jesu: barijev sulfat, aluminijev hidrat, magnezijev karbonat, kalcijev karbonat, talk, glina.

Vezivo je uz pigment najvažnija komponenta ofsetnih tiskarskih boja, ona daje glavna svojstva tiskarskoj boji. Moderna veziva sadrže sintetske smole, voskove, alkohole, estere i ketone. Zadaća veziva je obaviti svaku česticu pigmenta i time postići jednolikost tiskarskog bojila, bolju sposobnost za tisak i dobro vezanje bojila za tiskarsku podlogu. Veziva dijelimo na: sušiva uljna

veziva, nesušiva kompoziciona veziva, sušiva kompoziciona veziva i hlapiva veziva [9].

U ofsetne tiskarske boje dodajemo i smole. **Smole** se miješaju s vezivima te boji daju specifična svojstva: Čvrstoću, sjaj, adheziju, fleksibilnost, postojanost prema višim temperaturama, otpornost na kiseline, otpornost na lužine i bržu sušivost. Smole dijelimo na prirodne i umjetne.

U moderna ofsetna bojila dodajemo još: sušila, sredstva za suzbijanje mikroorganizama, sredstva za kvašenje, antioksidansi i mirise. Dodaci bojilima poboljšavaju svojstva ili otklanjaju nepoželjne pojave u toku proizvodnog procesa ofsetnog tiska [9].

2.4. Papir

Papir je plošni proizvod proizveden iz vodene suspenzije biljnih vlakna na stroju s finim sitom. Stroj sa sitom omogućuje prepletanje vlakna i oblikovanje u vrlo tanak list. Sirovine za proizvodnju papira izvlače se iz prirode. Glavni izvor celuloze za proizvodnju papira je drvo ali koristi se i pamuk, lan, konoplja, stari papir i sl. Drvo je glavni izvor celuloze, uglavnom se prerađuje kemijski, a rjeđe mehanički. U papir se još dodaju keljiva, punila i bojila radi poboljšanja fizikalnih, kemijskih i mikrobioloških svojstava papira. Svrha kemijskih postupaka je da se ukloni lignin, kako bi se drvena masa mogla pretvoriti u vlaknastu kašu. Glavni kemijski postupci jesu sulfitni i sulfatni [25].

Sulfitna celuloza proizvodi se obradom sječke koja ne sadrži puno smole, to su uglavnom smreka, jela i topola. Značajka ovog tipa obrade je što je svijetle boje, pa se bez bijeljenja može upotrijebiti za proizvodnju nekih vrsta papira, lako se melje. Sulfitna celuloza služi za proizvodnju tiskovnih, pisaćih i slikarskih papira [10].

Sulfatna celuloza se proizvodi postupkom koji je primjenljiv za preradu svih vrsta drveta, bez obzira na količinu smole. Značajka su mu duga i čvrsta vlakanca, koja se manje oštećuju nego u sulfitnoj celulozi. Proizvodi se vrlo čvrst papir, zatim kao kabelski i kondenzatorski papir [10].



Slika 2. Mikroskopski prikaz ruba papira

(Izvor:

https://www.reddit.com/r/interestingasfuck/comments/b4xs8a/edge_of_a_piece_of_paper_under_an_electron/)

Osnovni sastojci za izradu papira jesu vlakna (Slika 2) i dodaci. Vlakna su najčešće biljnog porijekla, ali mogu biti životinjskog, mineralnog i sintetskog porijekla. Vlakna biljnog porijekla dobivaju se iz višegodišnjih biljki, a to su drva, ali se dobivaju i iz jednogodišnjih biljki, tj. različitih vrsta slama. Porijeklo životinjskih vlakna jesu vunena vlakna, mineralna vlakna su staklena vlakna, dok su sintetska vlakna različiti sintetski polimeri u obliku vlakna. Najvažniji sastojak biljnih vlakna za izradu papira jest celuloza. Osim celuloze biljna vlakna sadrže i hemiceluloze, lignin, te u manjim količinama smole, eterična ulja, kaučuk i ostalo. Najvažniji dodaci koji se koriste kod izrade papira jesu punila, keljiva i bojila [11].

Punila su anorganski, najčešće mineralni dodaci u proizvodnji papira koji se mogu dodavati u masi prilikom proizvodnje ili poslije proizvodnje papira ali u obliku površinskog premaza i s time dobivamo premazani papir. Kada se dodaje tijekom proizvodnje papira, dodaju se u obliku praškastih bijelih pigmenata. Punila popunjavaju šupljine između vlaknaca u strukturi papira, gdje je gornja strana lista popunjenija punilima nego donja strana lista, ona koja naliježe na sito. Punila utječu na gramaturu papira, doprinose optičkim svojstvima papira, povećava svjetlinu, bjelinu papira i opacitet [12].

Keljiva su organski dodaci papiru koji se dodaju u masu prilikom proizvodnje papira ili u obliku tankog površinskog premaza. Mogu biti biljnog, životinjskog ili sintetskog porijekla, a koriste se biljne smole, škrob i sl. Uloga keljiva je homogenizirati strukturu papira i doprinijeti smanjenju upojnosti, i s time doprinosi dimenzionalnoj stabilnosti papira.

Bojila su dodaci papiru koji se najviše dodaju u masu prilikom izrade papira, topiva su ili pigmentna. Služe za povećanje stupnja bjeline kod izrade bijelih papira ili za obojenje papira u bilo kojem tonu [12].

Najčešće podjele papira su prema:

1. Rabljenim sirovinama
2. Načinu dorade
3. Namjeni
4. Gramaturi

1. Prema rabljenim sirovinama papiri se dijele na papire:

- Iz krpa (novčanice i cigaretni papir)
- Celulozne (bijeljena celuloza)
- S primjesom krpa (celuloza + krpa)
- Bezdrvene (celuloza s najviše 10% drvenjače)
- Iz slame (rižina slama)
- Srednjefine (drvenjača i bijeljena ili nebijeljena celuloza)
- Iz umjetnih materijala (sintetički papir) [13]

- Iz starog papira (novinski papir)

2. Papir prema način dorade se dijeli na

- Nepremazane
- Premazane

Nepremazani mogu biti jednostrano ili obostrano glatki, jednostrano ili obostrano satinirani.

Premazani mogu biti s jedne strane ili obje premazani i mogu biti plastificirani [13].

3. Prema namjeni papir se dijeli na:

- Pisaće papire
- Papire za pisaći stroj
- Crtće papire
- Omotne papire
- Ukrasne papire
- Tiskovne papire
- Specijalne papire

4. Prema gramaturi papir se dijeli na [13]:

- Papir do 150 g/m^2
- Karton $250 - 500 \text{ g/m}^2$
- Ljepenka $600 - 5000 \text{ g/m}^2$

2.5. Svojstva papira

2.5.1. Površinska svojstva papira

Glatkost ili hrapavost papira povezana je s kvalitetom tiska, što je papir glađi to je bolji za tisak. Što znači da je glatkost površine približavanje površine

idealnoj ravnini. Imamo makro neravnine i mikro neravnine. Makro neravnine nastaju stvaranje valova ili skupljanjem vlakana na površini papira, dok mikro neravnine nastaju zbog nejednakosti i neravnina vlakana i čestica punila koje se nalaze na površini lista. Glatkost ovisi o načinu glačanja, svojstvima vlakana, stupnjem mljevenja, vrsti i količini punila odnosno premaza. Postoji nejednakost glatkosti na gornjoj i donjoj strani papira i to zovemo dvostranost papira [14]. Metode mjerenja kojima određujemo stupanj hrapavosti površine jesu:

- Određivanje glatkosti prema BEKKu
- Određivanje hrapavosti prema BENDTSENU

To su egzaktno metode koje se osnivaju na prolasku zraka između papira i neke glatke površine.

Određivanje glatkosti prema Bekku:

Ispitivanje se izvodi na 5 uzoraka (najmanjih dimenzija 50 x 50 mm) sa svake strane, broj glatkosti se izražava u sekundama, što je taj broj veći to je površina papira glađa.

Određivanje hrapavosti prema BENDTSENU:

Po Bendtsenu je hrapavost količina zraka (ml) koja iz mjerne glave izađe u atmosferu u jedinici vremena. Uređaj je napravljen tako da mjeri prolaz zraka između glatkog prstena i površine papira (prsten se nalazi u sklopu mjerne glave i položen je na papir). Brzina zraka koji prolazi ovisna je o hrapavosti površine uzorka, ako je papir hrapaviji onda znači da će više zraka proći između prstena i papira [15].

2.5.2. Mehanička svojstva papira

Otpornost prema savijanju je vrlo važno svojstvo papira, pogotovo za papire koji se prerađuju ili koji se svakodnevno pregibaju i gužvaju. Utjecaj na

otpornost prema savijanju ima dužina vlakanca i modul elastičnosti vlakancaca. Ispitivanje se izvodi tako da se mjeri broj dvostrukih savijanja koje izdrži uzorak određenih dimenzija, dok ne dođe do pucanja [14]. Uzorci moraju biti klimatizirani, dimenzija 15 x 100 mm ili 15 x 140 mm, ispitivanje se vrši na 10 uzoraka u uzdužnom i poprečnom smjeru.

Otpornost prema cijepanju služi za određivanje kvalitete papira. Dužina vlakancaca i elastičnost papirne tvorevine su najbitnije kod otpornosti prema cijepanju. Ispitivanje vršimo uzdužnim i poprečnim smjerom s dvije metode: po Elmendorfu i Vugeru [14].

Otpornost prema tlaku je svojstvo neophodno za papirne i kartonske ambalaže, u obliku kutija ili vrećica. Ako tlak, koji se konstantno povećava djeluje na jedan kružni uzorak papira koji je u obodu napet, papir će se ispučivati dok ne prsne. Ispitivanja se vrše na aparatima prema Mullenu i Dalenu. Mjera za otpornost papira prema tlaku je tlak u kp/cm^2 [14].

2.5.3. Fizikalno kemijska svojstva papira

Određivanje količine punila (sadržaj pepela)

Pepeo papira, kartona ili ljepenke jesu nehlapivi i nesagorivi anorganski sastojci koji zaostaju nakon spaljivanja. Količina i sastav pepela su važni podaci jer nesagorivi nevlaknati mineralni dijelovi utječu na čvrstoću proizvoda. Taj pepeo potječe iz stanica biljaka i zbog postupka keljenja sadržaj pepela se povećava za 1%. Pod pepelom podrazumijevaju se količine ostataka poslije potpunog izgaranja na 800°C [14].

Količina pepela u vlaknatoj sirovini:

- Bijeljena i nebijeljena celuloza etinara i liščara 0,4% - 1,5%
- Bijeljena celuloza od slame i drvenjače 0,4% - 1,5%
- Nebijeljena celuloza od slame 2,5%

Uzorke možemo spaljivati u:

- Porculanskom ili platinskom lončiću
- Na bunsenovom plameniku ili mufolnoj peći
- Direktno u mufolnoj peći posebne izrade.

Određivanje pH vrijednosti

pH značajno utječe na vrijeme sušenja otiska. Kiselost ili lužnatost papirne mase ovisi o procesu proizvodnje papira. Celulozno vlakno ima neutralni karakter $\text{pH} = 7,2$. Pri procesu keljenja upotrebljavaju se prirodne i umjetne smole, te aluminijev sulfat. Premazani papiri imaju premaz kiselog ili lužnatog karaktera koji potječe od slabo topivih soli i veziva [14].

Nepremazani papir $\text{pH} = 4,5 - 7,0$

Premazani papir $\text{pH} = 4,8 - 10,0$

2.5.4. Optička svojstva papira

Kod opisivanja optičkih karakteristika papira razlikujemo par različitih pojmova:

- Svjetlina
- Bjelina
- Transparentnost
- Opacitet
- Sjaj

Svjetlina

Svjetlina papira se mjeri spektrofotometrom. ISO svjetlina papira definira se kao omjer stupnja refleksije difuznog plavog svjetla s površine neprozirnog uzorka papira prema stupnju refleksije idealnog reflektirajućeg tijela [16].

Bjelina

Za izradu papira visokog stupnja bjeline, rabi se kvalitetno bijelo vlakno, dodaje se punila sa što većom bjelinom, optička bjelila za pojačavanje stupnja bjeline, plavila. Stupanj bjeline određuje se mjerenjem refleksije svjetlosti s površine papira u vidljivom području spektra. Iluminant D65 koristimo kao vanjsko dnevno svjetlo za osvjetljivanje uzoraka [16].

Opacitet

Mjera za nepropusnost svjetla, izražava se u postotku. Opacitet je odnos stupnja refleksije pojedinog lista papira iznad neke crne podloge, prema stupnju refleksije istog lista u snopu. Na opacitet utječe vrsta vlakanca, prisutnost bojila, premaza, punila i stupanj bijeljenja [16].

Transparentnost

Transparentnost znači propusnost papira za difuzno upadno svjetlo. Izražava se u postocima. Kod mjerenja uzorku prvo odredimo stupanj refleksije, prvo kad se nalazi iznad bijelog standarda, a onda iznad crnog standarda.

Sjajnost

Površina papira reflektira zrake svjetlosti, ali zbog različitog stanja površine na koju svjetlo pada i difuzno se reflektira, površina se čini manje sjajna ili uopće nije sjajna. Mjerenje sjaja osniva se na uspoređivanju ispitivanog papira s jednim sjajnim standardom. Kod sjajnosti određujemo udio svjetla koji se reflektira pod istim kutem pod kojim je upao, što je taj udio, veći to je uzorak sjajniji [16].

2.6. Statističke metode

Najvažnije statističke metode koje se upotrebljavaju jesu [17]:

1. Metoda uzorka
2. Metoda srednjih vrijednosti
3. Metoda korelacije

4. Metoda vjerojatnosti

5. Metoda regresije

1. Pojava koja se želi istražiti metodom uzorka zove se osnovni skup, a njezin ispitivani dio zove se uzorak. Metoda uzorka se koristi za procjenu karakteristika populacije i zbog donošenja odluke da li se prihvaća ili odbacuje određena hipoteza koja se odnosi na određenu karakteristiku populacije [18]. Razlikuju se :

- Namjerni uzorak – izabiru se jedinice prema odluci anketara, ispituju se dostupni članovi skupina, izabiru se jedinice u sklopu kvota, prigodan izbor uzorka.
- Slučajni uzorak – Svaki član skupa ima vjerojatnost izbora u uzorak veću od nule, analiziraju se podaci prema načelima inferencijalne statistike, mogu se izračunavati pogreške nastale primjenom uzorka, izbor se vrši tablicom slučajnih brojeva ili sistematskim izborom [18].

2. Metodom srednjih vrijednosti utvrđuje se aritmetička sredina, medijan i modalna vrijednost (mod M_o). Aritmetička sredina pokazuje prosječnu vrijednost rezultata mjerenja, medijan je podatak u sredini rastućeg i padajućeg niza, a modalna vrijednost je vrijednost koja dominira pojavljivanjima među rezultatima, koja ima najveću frekvenciju [19].

3. Metoda korelacije je najčešće upotrebljavana statistička metoda, s metodom korelacije utvrđujemo povezanost dvije ili više pojava. Imamo pozitivnu korelaciju i negativnu korelaciju. Pozitivna korelacija je kada statističke veličine dviju pojava koje se uspoređuju, rastu paralelno. Negativna korelacija je kada jedna usporedbena veličina raste, dok druga veličina pada [17]. Kod metode korelacije izračunava se koeficijent korelacije r . Koeficijent korelacije se može izračunati dužim i kraćim postupkom, u formuli (1) je prikazan skraćeni postupak za izračunavanje koeficijenta r iz negrupiranih rezultata (rezultati koji nisu grupirani u razrede).

$$r = \frac{N\Sigma XY - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{\sqrt{[N\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2] \cdot [N\Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2]}} \quad (1)$$

ΣXY = suma umnožaka pojedinih parova rezultata.

N = broj parova.

$\Sigma X^2, \Sigma Y^2$ = suma kvadriranih rezultata varijable x i varijable y [27].

4. Metodom vjerojatnosti se proučava razvoj najraznovrsnijih društvenih pojava, pogotovo kod manje složenih pojava [17].

5. Regresija je dobivena od latinske riječi regressio, što znači povrat, vraćanje ili odstup. To je metoda koja proučava ovisnost između varijabli i predstavlja najčešće upotrebljavanu statističku metodu. Regresijske tehnike nam omogućuju da kvantitativno izrazimo takvu korelaciju i dobiveni model koristimo za predviđanje podataka za koje nemamo mjerenja ili ga koristimo da dođemo do konstanti koje nam tu zavisnost opisuju. Imamo Linearnu regresiju, nelinearnu regresiju, višestruku regresiju i polinomnu regresiju [21]. Metoda regresije će biti korištena u ovom radu.

2.7. Regresijska analiza

2.7.1 . Regresijski model

Imamo Linearnu regresiju, nelinearnu regresiju, višestruku regresiju i polinomnu regresiju [21].

Linearna regresija

Imamo linearnu zavisnost jedne varijable (y) o jednoj nezavisnoj varijabli (x). Pretpostavljamo da je x kontinuirana slučajna varijabla te da je ovisnost između y i x linearna ovisnost:

$$\tilde{y} = bx + a, \quad (2)$$

gdje se koeficijenti a i b najčešće određuju metodom najmanjih kvadrata, koja minimizira vrijednost kvadrata udaljenosti između opaženih podataka i pravca. Korištenje kvadrata odstupanja daje veće težinske faktore za točke koje jako odstupaju od linearnog modela, što u nekim slučajevima otežava tumačenje rezultata. Iz zadanih uvjeta dobije se:

$$a = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2}, = \bar{y} - b\bar{x}, \quad b = \frac{N \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}. \quad (3)$$

gdje je σ_x^2 varijanca varijable x, a σ_{xy} kovarijanca između varijabli x i y. Uvrštavanjem vrijednosti za σ_x , σ_y , σ_{xy} u formulu gdje se izračunava koeficijent a, dobijemo:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2} \quad (4)$$

Koeficijent b zove se regresijski koeficijent. Koeficijent b pokazuje, kroz prosjek, koliko se promijeni zavisna varijabla ako se nezavisna varijabla promijeni za jedan. Koeficijent a pokazuje vrijednost zavisne varijable u slučaju kad je nezavisna jednaka nuli [20, 21].

Nelinearna regresija

Kod nelinearne regresije se korištenjem metode najmanjih kvadrata javljaju nelinearni oblici parametra a, kao što su a^2 , e^{ai} i slično. Korištenjem te metode dobijemo skup jednadžbi koje nemaju jedinstveno rješenje, za rješavanje tih sustava potrebno je napraviti početne procjene parametara te ih zatim iteracijskim postupkom utočniti. Problemi tog sustava jesu moguća viša rješenja, problem konvergiranja itd. [21].

Višestruka regresija

Višestruka regresija je model regresije koji izražava vezu između zavisne (y) i dviju ili više nezavisnih varijabli (x_1, x_2, \dots, x_n). Višestruki regresijski model ima oblik:

$$y_i = a_1 \cdot x_{i1} + a_2 \cdot x_{i2} + \dots + a_n \cdot x_n \quad (5)$$

Nužan uvjet je $m > n$, gdje je m broj točaka koje imamo i n je broj parametara koje tražimo regresijom [21].

Polinomna regresija

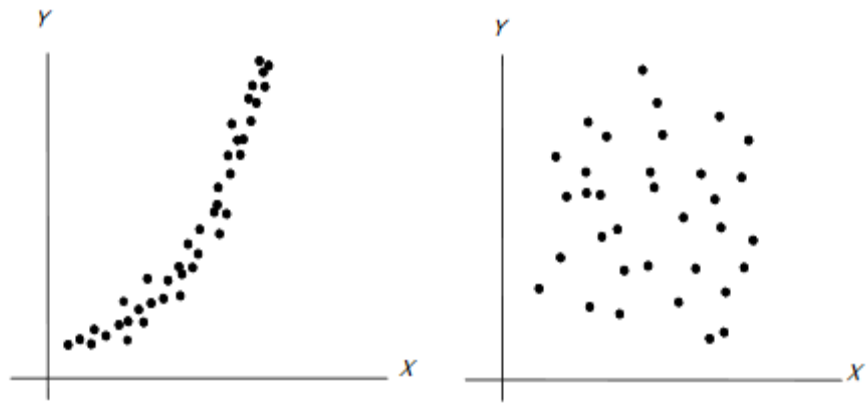
Polinomna regresija je model koje je linearan u parametrima, a nelinearan u varijablama. Imamo polinomnu ovisnost zavisne varijable (y) o nezavisnoj varijabli (x).

$$y_i = a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_m \cdot x^m \quad (6)$$

Polinomna regresija može se provesti kao i višestruka regresija, tako da x, x^2, \dots razmatramo kao zasebne neovisne varijable. Sada je nužan uvjet $m < n$, zamijenili smo m i n , jer je m u ovom slučaju broj parametara koji regresijom tražimo, dok je n broj mjerenja [21].

2.7.2. Dijagram rasipanja

Polazna točka u regresijskoj analizi jest dijagram rasipanja. To je grafički prikaz točaka u koordinatnom sustavu koji predstavlja niz uređenih parova: $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$; pri čemu su x_1, x_2, \dots, x_n , vrijednosti jedne varijable (x), a y_1, y_2, \dots, y_n , vrijednosti druge varijable (y). Uočavanjem neke pravilnosti u rasporedu točaka u dijagramu, zaključujemo jesu li varijable povezane ili ne. U slikama 3 – 7 su prikazani primjeri različitih veza dviju promatranih varijabli [20]:

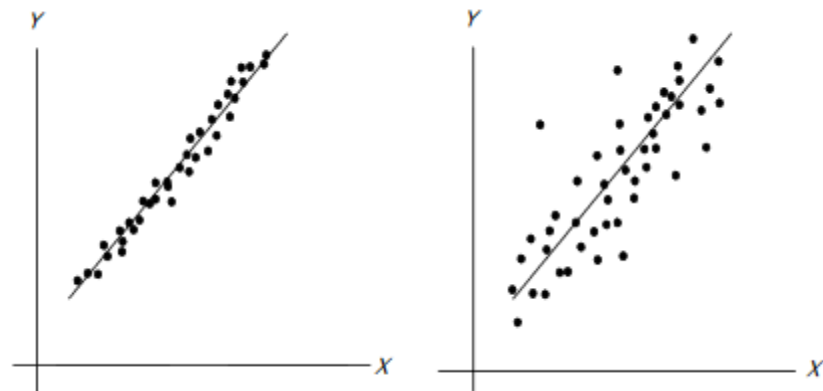


Slika 3. a) Postoji podudarnost

b) Nema podudarnosti

(Izvor:

https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf)

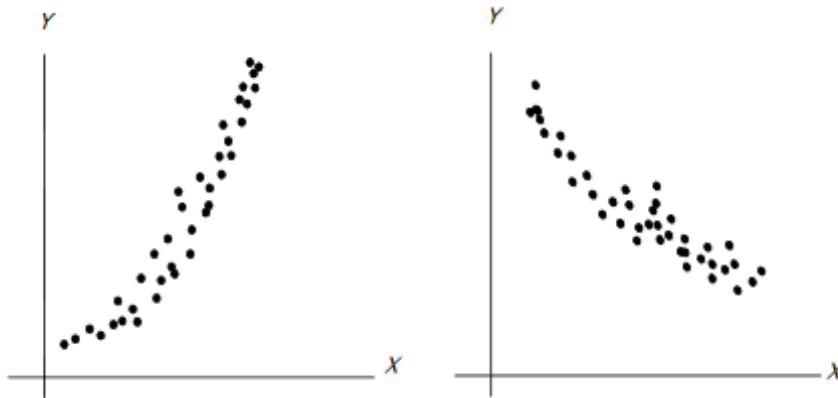


Slika 4. a) Dobra podudarnost

b) Loša podudarnost

(Izvor:

https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf)

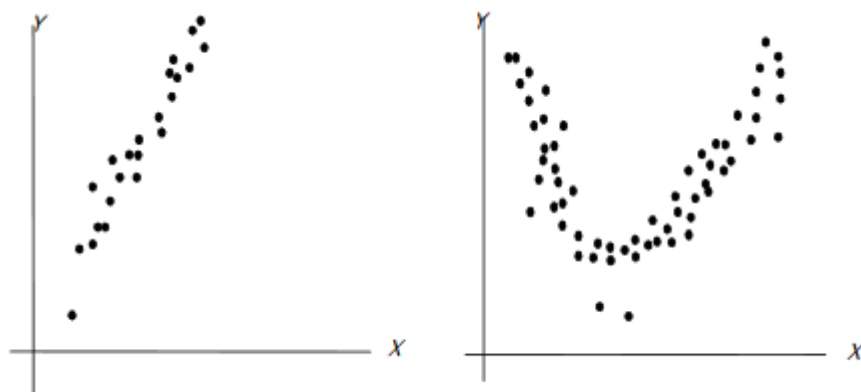


Slika 5. a) Pozitivan smjer

b) Negativan smjer

(Izvor:

https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf)



Slika 6. a) Linearno podudaranje

b) Nelinearno podudaranje

(Izvor:

https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf)



Slika 7. Potpuno podudaranje

(Izvor:

https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf)

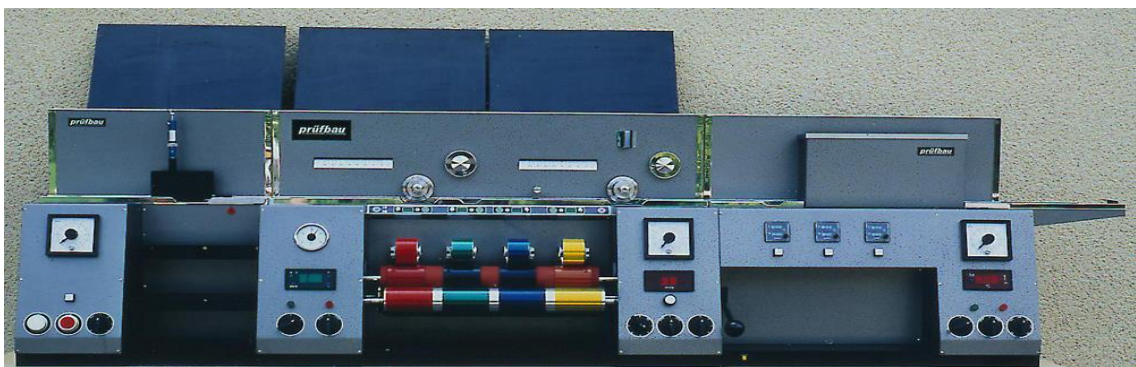
3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. Priprema uzoraka

Uzorci za ispitivanje su bili izrezani prema određenim dimenzijama (250 x 42 mm), a istraživanje se vršilo na tri vrste papira. Korišteni papiri bili su sjajni i mat papir za umjetnički tisak (proizvođač UPM, gramatura 300 gm⁻²) i SinarVanda gramature 295 gm⁻². Za otiskivanje su se koristile coldset ofsetne procesne boje (CMY), proizvođača SunChemical, tvorničkog imena Sunlit. Uređaj na kojem se provodilo otiskivanje bio je Pruefbau MZ II. Na otisnutim uzorcima je izmjerena sjajnost, glatkoća, kontaktni kut te određena masa boje koja se tiskom prenijela na podlogu.

3.2. Tisak

Tisak na uzorke je napravljen na Pruefbau MZ II (slika 7) uređaju. To je uređaj koji simulira kemijsko fizikalne procese tiska. Ovakvi uređaji omogućavaju testiranje i simuliranje uvjeta kao u tiskarama uz minimalne materijalne troškove [22]. Uvjeti tiska su bili: pritisak 150 N/cm², brzina tiska 1 m/s. Boja se u sustav za obojenje nanosila IGT pipetom, nakon razribavanja od 30 s se nanosima na tiskovnu formu u 30 ciklusa te je provedeno otiskivanje. Tijekom otiskivanja provjerena je reprodukcija boja pomoću x-Rite eXact uređaja te je otiskivanje provedeno u skladu s ISO 12647-2:2013 standarda za puni ton cijana, magente i žute na papirnoj podlozi.



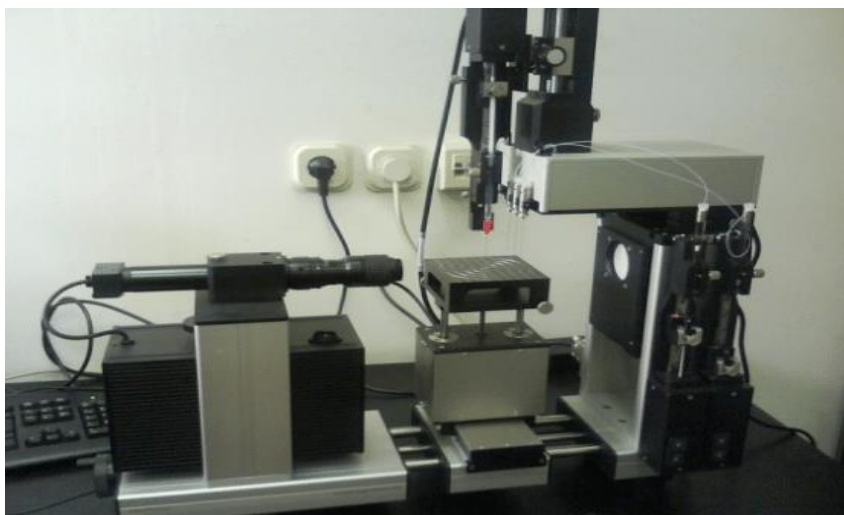
Slika 8. Pruefbau MZ - II printability tester

(Izvor: <http://pruefbau.com/en/offsetdruck/>)

3.3. Metode ispitivanja uzoraka

3.3.1. Određivanje kontaktnog kuta

Kontaktni kut je mjereno pomoću Dataphysics' OCA 30 uređaja (slika 9). Uređaj pomoću kamere snima uvećano proces interakcije između krute tvari i tekućine te se kasnijom obradom određuje kontaktni kut. Pomoću računala i prikladnim programom (dataphysics' SCA 20) upravlja se uređajem automatskim definiranjem volumena istisnute tekućine te pokretanjem stola s uzorkom po y i z osi. Kontaktni kut je izmjereno metodom viseće kapi, volumen kapi je bio 1 μ l. Napravljeno je 10 mjerenja za svaki od korištenih papira. Na svakom uzorku je provedeno po 10 mjerenja sa svakom referentnom tekućinom (redistirana voda, dijudometan, formamid i glicerol).



Slika 9. Dataphysics' OCA 30 goniometar

(Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Goniometer-Dataphysics-OCA-30-Figure-2-Measurement-of-the-contact-angle-23-Sample_fig5_280305531)

3.3.2. Sjajnost (gloss)

Sjajnost uzorka ispitivano je s glossmetrom (Slika 10). Glossmetar je uređaj koji mjeri udio reflektirajućeg svjetla pod istim kutem pod kojim je upao, što je taj udio veći uzorak je sjajniji. Postupak je takav da se uređaj postavi na uzorak,

pritisakom na start uređaj obavlja mjerenje pod različitim kutevima (20°, 60°, 80°). Za ovo istraživanje sjaj je mjeren pod kutem od 60° [23].



Slika 10. Glossmetar

(Izvor: <https://www.indiamart.com/proddetail/statistical-mini-glossmeter-10607351148.html>)

U početku se spektrofotometrija odnosila na granu nauke koja se bavila svjetlošću. Nakon nekog vremena značenje spektrofotometrije se raširilo, pa uz svjetlost se bavi i x-zrakama, ultraljubičastim, infracrvenim, mikrovalnim i radiofrekvencijskim zračenjem [24].

3.3.3. Masa boje

Kako bi se odredio prijenos tiskarske boje, valjak – tiskovna forma uređaja Pruefbau je vagan prije i poslije otiskivanja. Masa valjka se određivala pomoću Mettler Toledo xs205 (Slika 11) analitičke vage. Navedena vaga je vrlo precizna dvostupanjska analitička vaga, mjeri u rasponu od 0 do 220 g. s preciznošću od 0,01 mg/0,1 mg.



Slika 11. Mettler Toledo xs205

(Izvor: <https://www.bostonlabco.com/mettler-toledo-xs205-dual-range-analytical-balance.html>)

3.3.4. Glatkost papira

Uređaj za određivanje glatкости papira bio je PTI-LineBekk (Slika 12). Kao što ime govori, uređaj koristi metodu po Bekku, stoga je glatkost izražena u sekundama, što je taj broj veći to je površina glađa. Uređaj posjeduje jednu mjernu glavu za ispitivanje glatкости, sadrži integrirano računalo i zaslon za grafički prikaz rezultata. Uređaj je automatiziran i može raditi s 3 različita volumena zraka : 10ml (1/1), 1 ml (1/10), 0.5 ml (1/20). Instrument je vrlo precizan, a mjerenje se izvodi na mjernom području veličine 10 cm² [15].



Slika 12. PTI-LineBekk

(Izvor: <https://www.frankpti.com/paper-testing-instruments/pta-line-bekk-smoothness-tester-ds96.html>)

3.3.5. Određivanje slobodne površinske energije

Pomoću kontaktnog kuta poznatih tekućina i Owens, Wendt, Rabel i Kaelble (OWRK) metode se računala slobodna površinska energija. (OWRK) metoda je standardna metoda za izračun površinske energije krutina pomoću određivanja kontaktnog kuta. Slobodna površinska energija se dijeli na dva dijela; polarni dio i nepolarni dio (disperzni). Prema Youngovoj jednadžbi (7), postoji veza između kontaktnog kuta θ , površinske napetosti tekućine σ_l , međufazne napetosti σ_{sl} između tekućine i krutine i površinske slobodne energije σ_s krutine:

$$\sigma_s = \sigma_{sl} + \sigma_l \cdot \cos\theta \quad (7)$$

Da bi se mogla izračunati slobodna površinska energija iz kontaktnog kuta, mora se odrediti druga nepoznata varijabla σ_{sl} [26].

Gradeći na Fowkes-ovoj metodi izračunava se međufazna napetost σ_{sl} pomoću dvije površinske napetosti σ_s i σ_l . Ove interakcije su tumačene kao geometrijska sredina nepolarnog σ^D i polarnog dijela σ^P površinske napetosti.

$$\sigma_{sl} = \sigma_s + \sigma_l - 2(\sqrt{\sigma_s^D \cdot \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P}) \quad (8)$$

Prema dvokomponentnom modelu, međufazna napetost ovisi o tome mogu li polarni i nepolarni dijelovi oblikovati interakcije s odgovarajućim dijelovima susjedne faze. Na primjer, međufazna napetost u odnosu na vodu jer je polarna tekućina manja kada je i kruta tvar polarna. Ako je s druge strane polarni dio krute tvari mali, tada izraz kvadratnog korijena $(\sigma_s^P \cdot \sigma_l^P)^{1/2}$ pretpostavlja malu vrijednost. Polarne interakcije tada daju mali doprinos smanjenju međufazne napetosti; to odgovara lošem vlaženju i visokom kontaktnom kutu [26].

OWRK metoda koristi se kada treba ispitati efekt polarne i nepolarne interakcije na kvašenje i adheziju. Kontakt između površina različitog polariteta i učinak promjene polariteta, na primjer premazivanje ili tretman plazmom, može se procijeniti i optimizirati preko OWRK metode, u procesima kao što su bojanje, printanje, lijepljenje i hidrofobno ili hidrofilno premazivanje [26].

Izračun slobodne površinske energije proveden je pomoću računalnog programa Dataphysics' SCA20.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. Rezultati linearne regresije otiska i sjaja

Za ovo ispitivanje je korišteno je pet vrsta tiskovne podloge, 3 različita papira te dva filma boje: M (papir za umjetnički tisak s matiranim premazom), G (papir za umjetnički tisak ss sjajnim premazom), S (Sinarvanda premazani karton) CG (otisak cijana na papiru za umjetnički tisak sa sjajnim premazom) MG (otisak magente na papiru za umjetnički tisak sa sjajnim premazom). Na svakoj od podloga izvršeno je 10 mjerenja, a u tablicama je prikazana srednja vrijednost, koja je korištena u daljnjim izračunima.

U tablici 1. su prikazani podaci pomoću kojih se određuje pravac regresije. X varijabla predstavlja izmjerenu sjajnost uzorka, dok Y varijabla predstavlja izmjerenu masu prenesene boje u tisku. S tim izmjerenim vrijednostima je izračunat regresijski pravac preko tablice za izračunavanje podataka.

Tablica 1. *Tablica podataka za linearni pravac regresije sjaja i otiska*

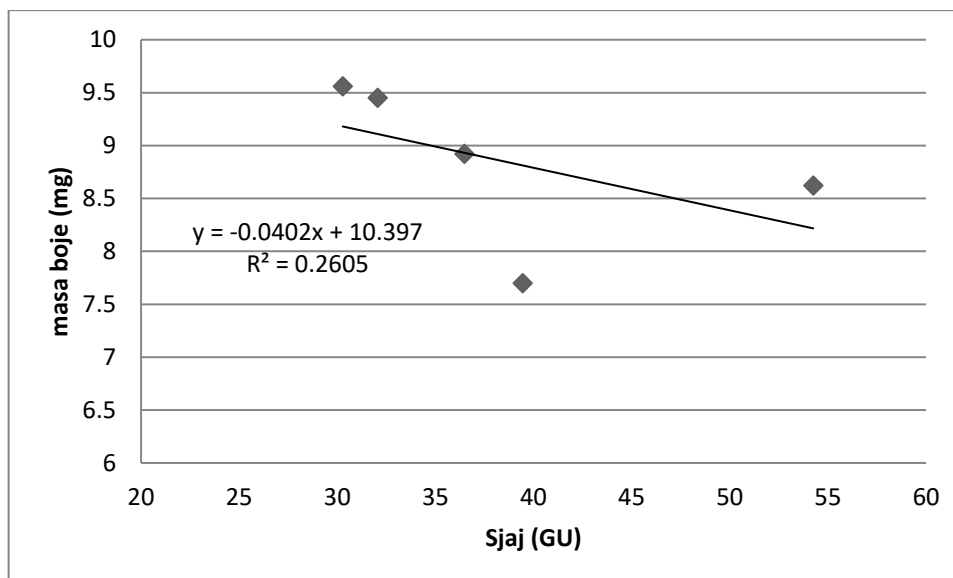
	X	Y	X ²	Y ²	XY	Ȳ	Y-Ȳ	(Y - Ȳ) ²
M	32,05	9,45	1027,2	89,3	302,87	9,11	0,34	0,12
G	54,25	8,62	2943,06	74,3	467,64	8,22	0,4	0,16
S	30,28	9,56	916,88	91,39	289,48	9,18	0,38	0,14
CG	39,44	7,7	1555,51	59,29	303,69	8,81	-1,11	1,23
MG	36,48	8,92	1330,79	79,57	325,4	8,93	-0,01	1 * 10 ⁻⁴
Σ	192,5	44,25	7773,44	393,85	1689,08	44,25	0	1,65
			$\bar{x} = 38,5$ $\bar{y} = 8,85$					

Grafički prikaz regresijske analize prikazan je na slici 13, gdje je prikazan regresijski pravac, korelacijski koeficijent (R²) i jednadžbu pravca regresije. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\hat{y} = -0,0402x + 10,397 \quad (9)$$

a = 10,397, Kad bi sjaj bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 10,397 mg.

b = -0,0402, Kad bi se vrijednost sjaja povećao za 1, možemo očekivati smanjenje vrijednosti otiska za 0,0402 mg.



Slika 13. Grafički prikaz rezultata regresijske analize sjaja i mase prenesene boje u tisku

Povećanjem sjaja podloge se smanjuje prijenos boje u tisku, što može biti posljedica hrapavosti podloge (obrnuto proporcionalna sjaju).

4.2. Rezultati linearne regresije otiska i kontaktnog kut

Tablica 2. prikazuje podatke pomoću kojih se određuje linearni pravac regresije. Na x-osi se nalaze rezultati izmjenenog kontaktnog kuta između glicerola i ispitivanih podloga. Na y-osi se nalazi izmjerena masa otiska.

Tablica 2. Tablica podataka za linearni pravac regresije mase prenesene boje kontaktnog kuta glicerola

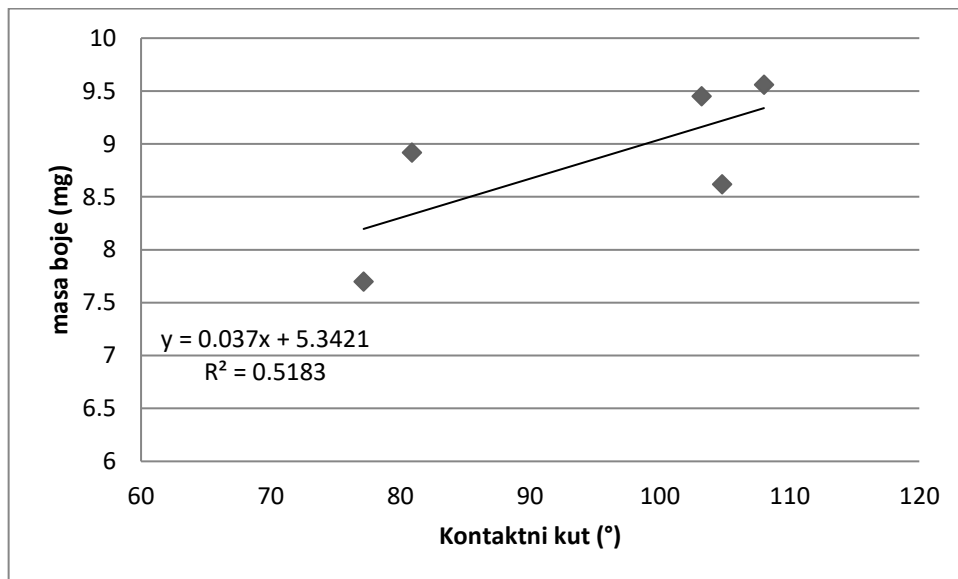
	X	Y	X ²	Y ²	XY	\bar{Y}	Y- \bar{Y}	$(Y - \bar{Y})^2$
M	103,2	9,45	10650,24	89,3	975,24	9,19	0,26	0,07
G	104,79	8,62	10980,94	74,3	903,29	9,25	-0,63	0,4
S	108,02	9,56	11668,94	91,39	1032,67	9,38	0,18	0,03
CG	77,16	7,7	5953,67	59,29	594,13	8,15	-0,45	0,2
MG	80,89	8,92	6543,19	79,57	721,54	8,3	0,62	0,38
Σ	474,06	44,25	45796,36	393,85	4226,87	44,27	-0,02	1,08
		$\bar{x} = 94,81$ $\bar{y} = 8,85$						

Slika 14 prikazuje odnos između kontaktnog kuta glicerola (izražen u stupnjevima) i prijenosa boje na otisak (mg). Regresijski pravac je pozitivan i linearan. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\tilde{y} = 0,037x + 5,3421 \quad (10)$$

$a = 5,3421$, Kad bi kontaktni kut glicerola bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 5,3421 mg.

$b = 0,037$, Kad bi se vrijednost kontaktnog kuta povećao za 1, možemo očekivati povećanje vrijednosti otiska za 0,037 mg.



Slika 14. Grafički prikaz rezultata regresijske analize kontaktnog kuta glicerola i mase prenesene boje u tisku

Tablica 3. Tablica podataka za linearni pravac regresije kontaktnog kuta dijodometana i mase prenesene boje u tisku

	X	Y	X ²	Y ²	XY	\tilde{Y}	Y- \tilde{Y}	(Y- \tilde{Y}) ²
M	46,19	9,45	2133,52	89,3	436,5	8,64	0,81	0,66
G	57,82	8,62	3343,15	74,3	498,41	9,22	-0,6	0,36
S	59,83	9,56	3579,63	91,39	571,97	9,32	0,24	0,06
CG	41,25	7,7	1701,56	59,29	317,63	8,39	-0,69	0,48
MG	46,8	8,92	2190,24	79,57	417,46	8,67	0,25	0,06
Σ	251,89	44,25	12948,1	393,85	2241,97	44,24	0,01	1,62
$\bar{x} = 50,38$								

$$\bar{y} = 8,85$$

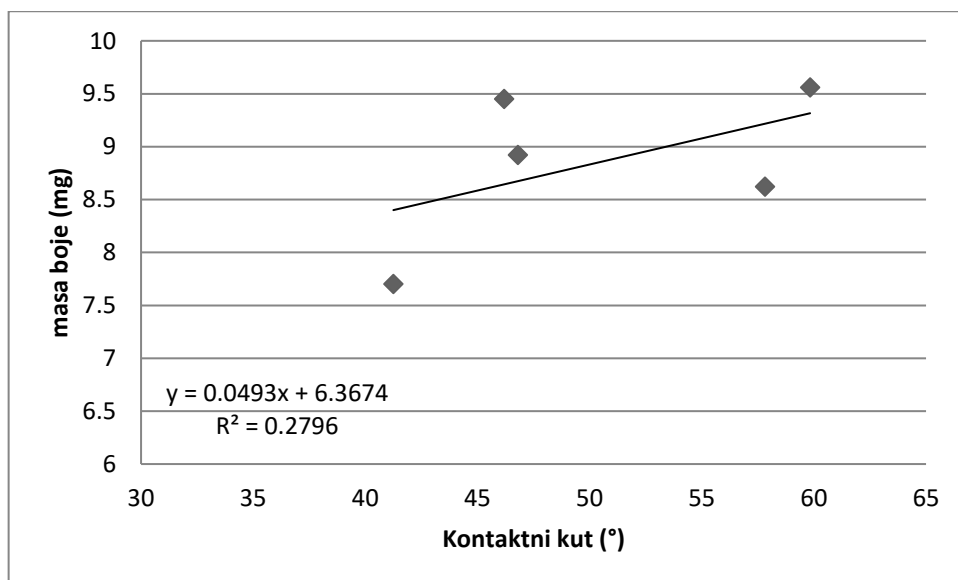
U tablici 3. prikazani su podaci za pravac regresije između kontaktnog kuta dijodometana na podlogama (x-os) i izmjerene mase boje (y-os).

Slika 15 prikazuje odnos između kontaktnog kuta dijodometana (izraženo u stupnjevima) i otiska boje na uzorku (mg), regresijski pravac, korelacijski koeficijent (R^2) i jednadžbu pravca regresije. Regresijski pravac je pozitivan i linearan. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\tilde{y} = 0,0493x + 6,3674 \quad (11)$$

$a = 6,3674$, Kad bi kontaktni kut dijodometana bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 6,3674 mg.

$b = 0,0493$, Kad bi se vrijednost kontaktnog kuta povećao za 1, možemo očekivati povećanje vrijednosti otiska za 0,0493 mg.

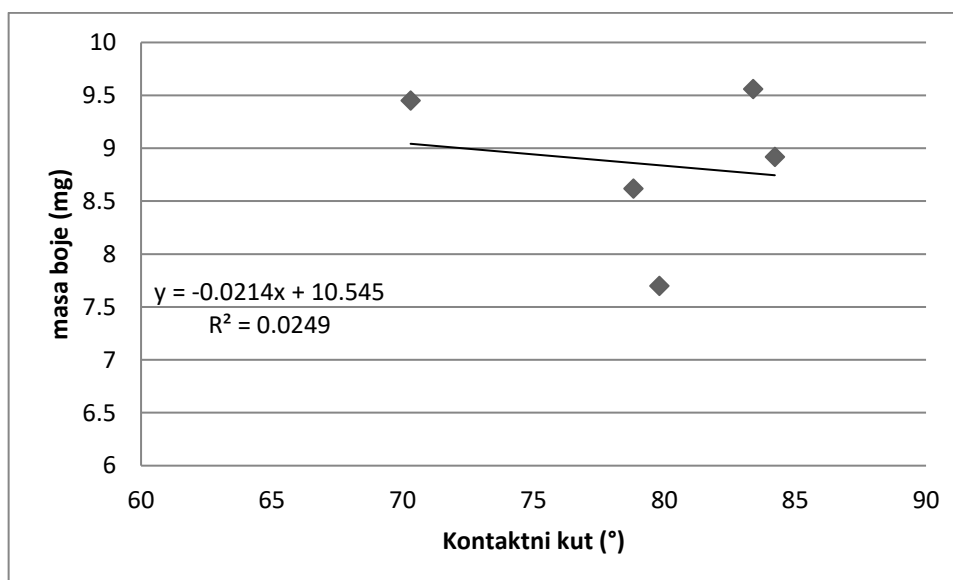


Slika 15. Grafički prikaz rezultata regresijske analize kontaktnog kuta dijodometana i mase prenesene boje u tisku

Tablica 4. prikazuje tablicu podataka pomoću kojih se dobiva pravac regresije. Na x-osi se nalaze rezultati izmjerenog kontaktnog kuta između vode i ispitivanih tiskovnih podloga. Na y-osi se nalazi izmjerena masa boje na otisku.

Tablica 4. Tablica podataka za linearni pravac regresije mase boje na otisku i kontaktnog kuta vode

	X	Y	X ²	Y ²	XY	Ŷ	Y-Ŷ	(Y-Ŷ) ²
M	70,3	9,45	4942,09	89,3	664,34	9,04	0,41	0,17
G	78,82	8,62	6212,59	74,3	679,43	8,86	-0,24	0,06
S	83,39	9,56	6953,89	91,39	797,21	8,77	0,79	0,63
CG	79,8	7,7	6368,04	59,29	614,46	8,84	-1,14	1,3
MG	84,22	8,92	7093,01	79,57	751,24	8,76	0,16	0,03
Σ	396,53	44,25	31569,62	393,85	3506,68	44,27	-0,02	2,19
$\bar{x} = 79,31$ $\bar{y} = 8,85$								



Slika 16. Grafički prikaz rezultata regresijske analize kontaktnog kuta vode i mase prenesene boje u tisku

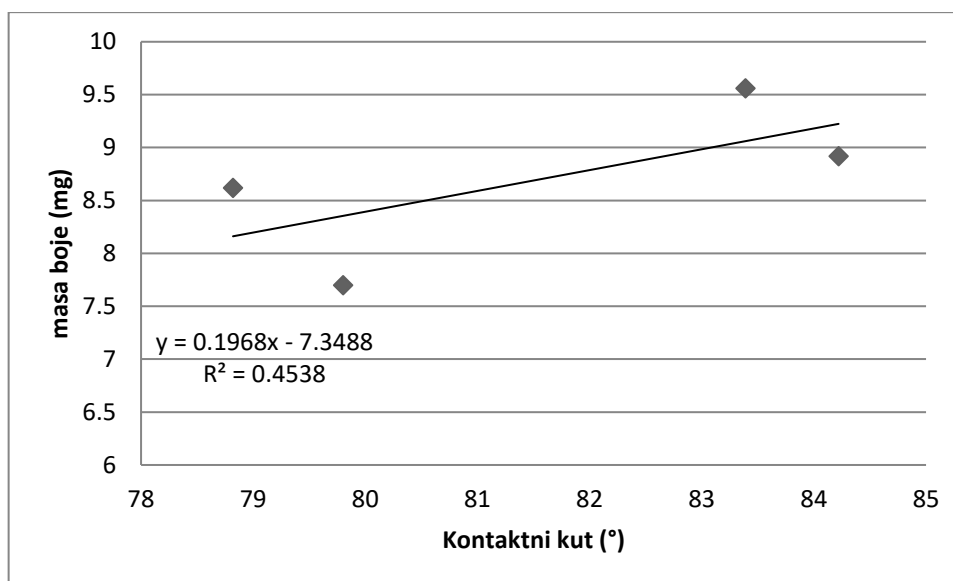
Slika 16 prikazuje odnos između kontaktnog kuta vode (izraženo u stupnjevima) i mase boje na uzorku (mg), regresijski pravac, korelacijski koeficijent (R^2) i jednadžbu pravca regresije. Regresijski pravac je negativan i linearan. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\tilde{y} = -0,0214x + 10,545 \quad (12)$$

$a = 10,545$, Kad bi kontaktni kut vode bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 10,545 mg.

$b = -0,0214$, Kad bi se vrijednost kontaktnog kuta povećao za 1, možemo očekivati smanjenje vrijednosti otiska za 0,0214 mg.

Važno je za primijetiti da od očekivanog rezultata najviše odstupa mat papir za umjetnički tisak. Naime, mat efekt se dobiva namjernim ohrapljivanjem premaza (što je vidljivo i iz rezultata glatkosti) u odnosu na sjajni premaz te se time utječe na međudjelovanja s tekućinama. Ako bismo zanemarili navedenu vrijednost, povećanje kontaktnog kuta s vodom (nepolarnija površina) uzrokuje i povećanje prijenosa tiskarske boje (slika 17).



Slika 17. Ovisnost prijenosa tiskarske boje o kontaktnom kut vode na podlozi

Tablica 5. Tablica podataka za linearni pravac regresije mase boje na otisku i kontaktnog kuta formamida

	X	Y	X ²	Y ²	XY	Ŷ	Y-Ŷ	(Y - Ŷ) ²
M	58,18	9,45	3384,91	89,3	549,8	8,65	0,8	0,64
G	71,26	8,62	5077,99	74,3	614,26	8,92	-0,3	0,09
S	79,69	9,56	6350,5	91,39	761,84	9,08	0,48	0,23
CG	65,03	7,7	4228,9	59,29	500,73	8,79	-1,09	1,19
MG	66,45	8,92	4415,6	79,57	592,73	8,82	0,1	0,01
Σ	340,61	44,25	23457,9	393,85	3019,36	44,26	-0,01	2,16
		$\bar{x} = 68,12$ $\bar{y} = 8,85$						

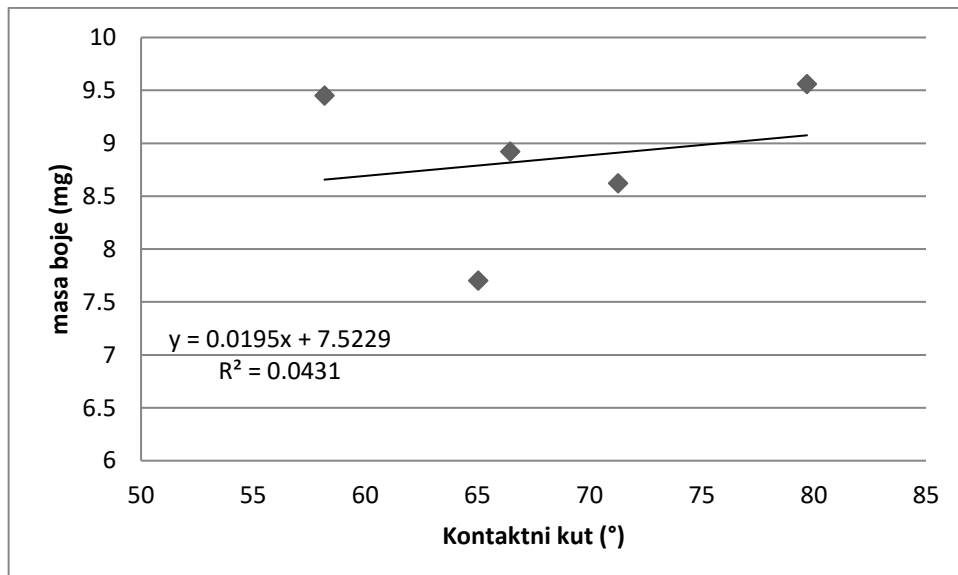
Tablica 5. prikazuje regresijsku tablicu podataka. Na x-osi se nalaze rezultati izmjerenog kontaktnog kuta formamida u kontaktu s tiskovnim podlogama. Na y-osi se nalazi izmjerena masa boje na otisku.

Na slici 18. prikazan je odnos između kontaktnog kuta formamida na tiskovnim podlogama (izražene u stupnjevima) i mase boje prenesen na tiskovnu podlogu (mg), regresijski pravac, korelacijski koeficijent (R^2) i jednadžbu pravca regresije. Regresijski pravac je pozitivan i linearan. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\tilde{y} = 0,0195x + 7,5229 \quad (13)$$

$a = 7,5229$, Kad bi kontaktni kut formamida bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 7,5229 mg.

$b = 0,0195$, Kad bi se vrijednost kontaktnog kuta povećao za 1, možemo očekivati povećanje vrijednosti otiska za 0,0195 mg.



Slika 18. Grafički prikaz rezultata regresijske analize kontaktnog kuta formamida i mase prenesene boje u tisku

4.3. Slobodna površinska energija otiska

U tablici 6 prikazane su izračunate vrijednosti slobodne površinske energije (SPE) na tiskovnim podlogama.

Tablica 6. Tablični prikaz vrijednosti slobodne površinske energije [mN/m]

	Ukupna SPE	Disperzna faza	Polarna faza
M	40,83	32,37	8,46
G	32,24	25,71	6,53
S	28,5	23,5	5
CG	35,45	31,92	3,53
MG	33,19	30,51	2,68

Može se primijetiti da otisci cyan i magenta na papiru za umjetnički tisak imaju vrlo slične vrijednosti, a najveću vrijednosti ima mat papir za umjetnički tisak, kod kojeg je primijećena i najveća vrijednost polarne komponente SPE.

SPE tiskovne podloge utječe na prijenos tiskarske boje te je u prijašnjim istraživanjima primijećena povezanost kod tiska na premaznim papirima [28].

4.4. Rezultati linearne regresije otiska i slobodne površinske energije

U tablici 7. su prikazani podatci slobodne površinske energije i mase boje na otisku izmjerene za linearni regresijski pravac. Na x-osi se nalaze rezultati izračunate vrijednosti SPE. Na y-osi se nalazi izmjerena masa boje na otisku.

Tablica 7. Tablica podataka za linearni pravac regresije slobodne površinske energije i mase boje na otisku

	X	Y	X ²	Y ²	XY	Ȳ	Y-Ȳ	(Y-Ȳ) ²
M	40,83	9,45	1667,09	89,3	385,84	8,78	0,67	0,45
G	32,24	8,62	1039,42	74,3	277,91	8,87	-0,25	0,06
S	28,5	9,56	812,25	91,39	272,46	8,91	0,65	0,42
CG	35,45	7,7	1256,7	59,29	272,97	8,84	-1,14	1,3
MG	33,19	8,92	1101,58	79,57	296,05	8,86	0,06	3,6 * 10 ⁻³
Σ	170,21	44,25	5877,04	393,85	1505,23	44,26	-0,01	2,23
$\bar{x} = 34,04$ $\bar{y} = 8,85$								

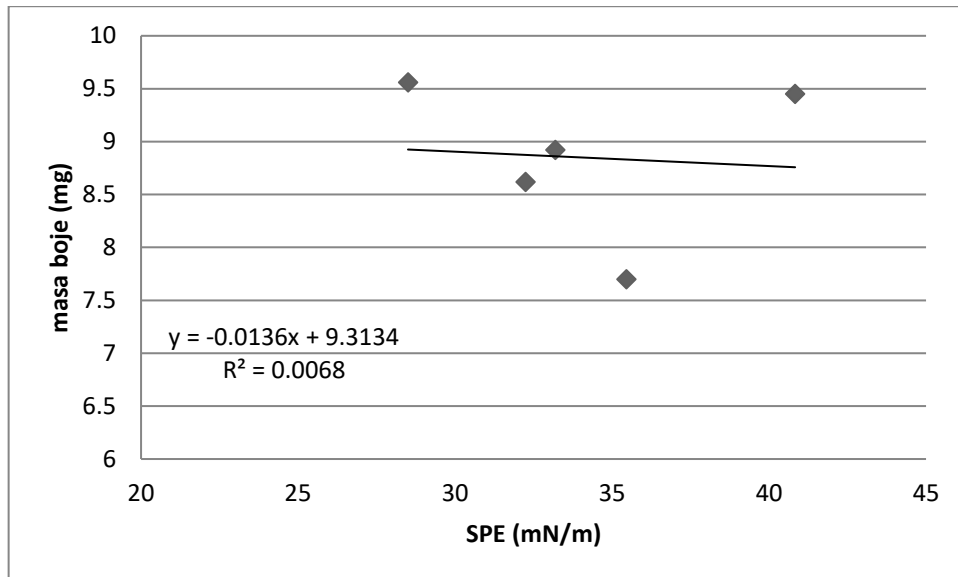
Slika 19. Prikazuje odnos između slobodne površinske energije (mN/m) i mase otiska na uzorku (mg), regresijski pravac, korelacijski koeficijent (R²) i

jednadžbu pravca regresije. Regresijski pravac je negativan i linearan. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\tilde{y} = -0,0136x + 9,3134 \quad (14)$$

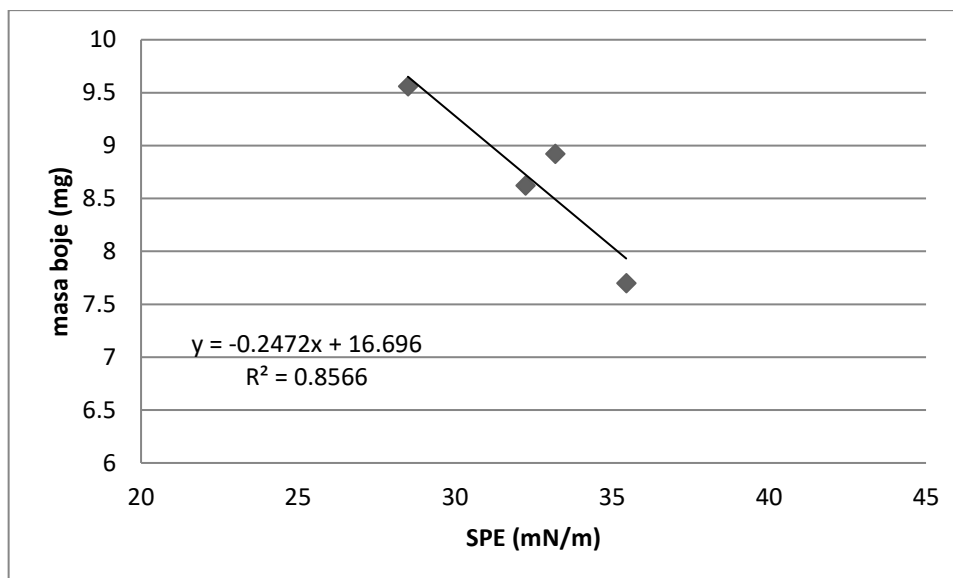
$a = 9,3134$, Kad bi vrijednost slobodne površinske energije bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 9,3134 mg.

$b = -0,0136$, Kad bi se vrijednost slobodne površinske energije povećala za 1, možemo očekivati smanjenje vrijednosti otiska za -0,0136 mg.



Slika 19. Grafički prikaz rezultata regresijske analize slobodne površinske energije i mase boje na otisku

Prema rezultatu prikazanom u tablici 7 i grafičkom prikazu (slika 19) vidljivo je da linearna regresija nije dala značajne rezultate. No ako iz procjene isključimo mat papir za umjetnički tisak, koji odstupa već u ranijim istraživanjima [28], regresijski pravac je značajnije usklađen s mjernim podacima (slika 20).



Slika 20. Odnos mase boje na otisku i SPE (bez M)

4.5. Rezultati linearne regresije otiska i glatkosti

Tablica 8. prikazuje regresijsku tablicu podataka. Na x-osi se nalaze rezultati izmjerene glatkosti, izražene u sekundama. Na y-osi se nalazi izmjerena masa boje na otisku, izraženo u mg. CG i MG uzorci imaju istu ulaznu vrijednost, jer film boje na papiru za umjetnički tisak ostvaruje jednaku glatkost na otisku.

Tablica 8. Tablica podataka za linearni pravac regresije glatkosti i mase boje na otisku

	X	Y	X ²	Y ²	XY	Ŷ	Y-Ŷ	(Y-Ŷ) ²
M	185,2	9,45	34299,04	89,3	1750,14	9,15	0,3	0,09
G	377,2	8,62	142279,84	74,3	3251,46	8,48	0,14	0,02
S	22,04	9,56	485,76	91,39	210,7	9,72	-0,16	0,03
CG	389,4	7,7	151632,36	59,29	2998,38	8,44	-0,74	0,55
MG	389,4	8,92	151632,36	79,57	3473,45	8,44	0,48	0,23
Σ	1363,2 4	44,25	480329,36	393,8 5	11684,13	44,23	0,02	0,92
$\bar{x} = 272,65$ $\bar{y} = 8,85$								

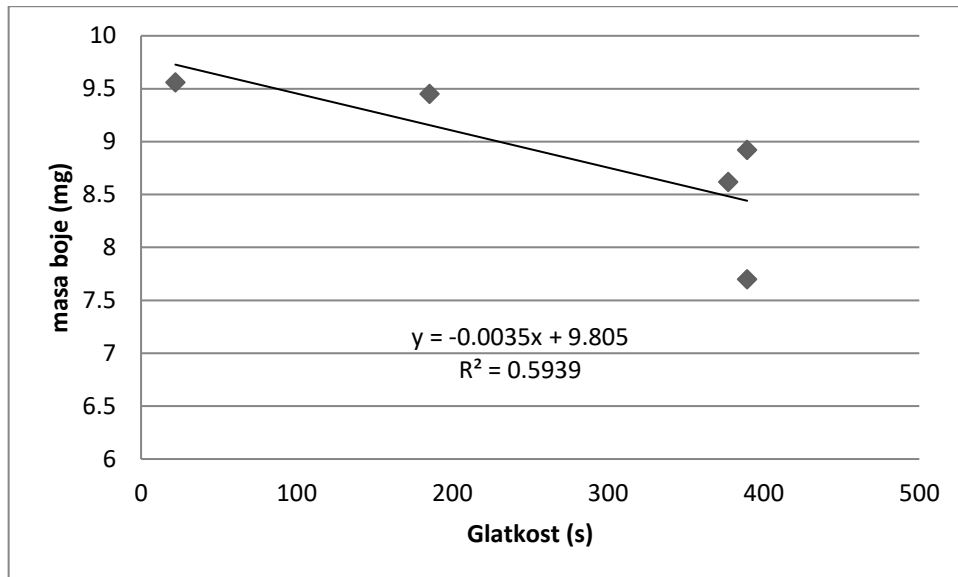
Slika 21 prikazuje odnos između glatkosti (s) i mase boje na uzorku (mg), regresijski pravac, korelacijski koeficijent (R²) i jednadžbu pravca regresije.

Regresijski pravac je negativan i linearan. Procijenjena regresijska jednadžba glasi:

$$\hat{y} = -0,0035x + 9,805 \quad (15)$$

$a = 9,805$, Kad bi vrijednost glatkosti bio 0, možemo očekivati da bi vrijednost otiska bila 9,805 mg.

$b = -0,0035$, Kad bi se vrijednost glatkosti za 1, možemo očekivati smanjenje vrijednosti otiska za -0,0035 mg.



Slika 21. Grafički prikaz rezultata regresijske analize glatkosti tiskovne podloge i mase boje na otisku

4.6. Koeficijent korelacije

Testiranje značajnosti korelacije se provodi očitavanjem s tablice (slika 22.), koja pokazuje koliko najmanje koeficijent korelacije r mora iznositi uz određeni broj stupnjeva slobode ($N - 2$), da bi bio značajan na određenoj razini značajnosti. Tablica je „dvosmjerna“, tj. pokazuje graničnu vrijednost r bez obzira na predznak [27].

Stupanj slobode računa se kao $N = 5$, $N - 2 = 3$. N je broj vrsti tiskovnih podloga, mi imamo 5 podloga.

Kako se iz tablice vidi, na razini značajnosti od 5%, a uz 3 stupnjeva slobode ($5 - 2$), koeficijent korelacije mora iznositi najmanje 0,878, dok na razini značajnosti od 1%, koeficijent korelacije mora iznositi najmanje 0,959. Prema tome naš r

nije značajan ni na jednoj razini, što se vidi u tablici 9. gdje ni jedan dobiveni koeficijent korelacije r ne prelazi tu granicu.

Formula koeficijenta korelacije:

$$r = \frac{N\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[N\sum X^2 - (\sum X)^2] \cdot [N\sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \quad (16)$$

Tablica 9. Tablica podataka koeficijenta korelacije regresijskih analiza

Regresijske analize	Koeficijent Korelacije r
Sjaj	0,5104
Glicerol	0,7199
Dijodometan	0,5288
Voda	0,1578
Formamid	0,2076
SPE	0,0825
Glatkost	0,7706

364

TABLICA D
GRANIČNE VRIJEDNOSTI KOEFICIJENTA KORELACIJE r
Razina značajnosti za dvosmjerno testiranje

Stupnjevi slobode $N - 2$	P 0,05	P 0,01	Stupnjevi slobode $N - 2$	P 0,05	P 0,01
1	0,997	1,000	24	0,388	0,496
2	0,950	0,990	25	0,381	0,487
3	0,878	0,959	26	0,374	0,478
4	0,811	0,917	27	0,367	0,470
5	0,754	0,874	28	0,361	0,463
6	0,707	0,834	29	0,355	0,456
7	0,666	0,798	30	0,349	0,449
8	0,632	0,765	35	0,325	0,418
9	0,602	0,735	40	0,304	0,393
10	0,576	0,708	45	0,288	0,372
11	0,553	0,684	50	0,273	0,354
12	0,532	0,661	60	0,250	0,325
13	0,514	0,641	70	0,232	0,302
14	0,497	0,623	80	0,217	0,283
15	0,482	0,606	90	0,205	0,267
16	0,468	0,590	100	0,195	0,254
17	0,456	0,575	125	0,174	0,228
18	0,444	0,561	150	0,159	0,208
19	0,433	0,549	200	0,138	0,181
20	0,423	0,537	300	0,113	0,148
21	0,413	0,526	400	0,098	0,128
22	0,404	0,515	500	0,088	0,115
23	0,396	0,505	1 000	0,062	0,081

Slika 22. Tablica granične vrijednosti koeficijenta korelacije

(Izvor: Osnovne statističke metode za nematematičare, Boris Petz)

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je bilo ukazati na moguću linearnu ovisnost između prijenosa tiskarske boje na tiskarske podloge i karakteristika tih tiskarskih podloga. Za tu svrhu odabrano je ukupno pet tiskarskih podloga od kojih su tri bile papirne (papir za umjetnički tisak u mat (M) i sjajnoj (G) izvedbi i premazani karton (S)) te otisci cijana (CG) i magente (MG) na sjajnom papiru za umjetnički tisak. Sve tiskovne podloge su karakterizirane određivanjem njihovog sjaja, slobodne površinske energije (SPE) indirektno mjerenjem kontaktnog kuta te glatkosti.

Na tiskovne podloge provedeno je otiskivanje žute boje na uređaju za probno otiskivanje u stalnim uvjetima (konstantan pritisak, brzina otiskivanja, količine tiskarske boje u sustavu te relativna vlažnost i temperatura laboratorija u kojem se otiskivalo). Nakon toga je napravljena regresijska analiza između prenesene mase boje i mjerenih karakteristika tiskarske podloge (kontaktni kut s referentnim tekućinama, sjaj, glatkost, izračunata SPE).

Iz dobivenih rezultata regresijske analize može se zaključiti da kod korelacije između sjaja i prijenosa boje je ta, što je sjaj veći to je prijenos boje manji, dok kod korelacije između prijenosa boje i glicerola, prijenosa boje i diiodometana, i prijenosa boje i formiamida je obrnuto. Što je kontaktni kut tekućine veći to će prijenos boje biti veći. Kod vode regresijski pravac je negativan što znači da će prijenos boje biti manji ako će kut vodene kapi biti veći, iako ako zanemarimo mat papri za umjetnički tisak, dobiva se jednaki trend kao i kod ostalih tekućina. Isto tako vrijedi i za slobodnu površinsku energiju i glatkost, što im je veća vrijednost to će prijenos tiskarske boje biti manji.

Ovo istraživanje je dokazalo da karakteristike površinska svojstva materijala i filma boje imaju značajan utjecaj na boje u tisku. No, obzirom na broj ispitanih tiskovnih podloga rezultat ovog istraživanja je potrebno provjeriti na većem spektru podloga različitih karakteristika.

6. POPIS LITERATURE

- [1] graficka_tehnologija_prvi_razred.pdf. (Pristup: 06.06.2020.) Dostupno na: http://gogss.hr/wp-content/uploads/2012/10/graficka_tehnologija_prvi_razred.pdf
- [2] tiskarske tehnike. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. (Pristup: 30.06.2020.) Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=61456>
- [3] Dobrilović A.; Grafička boja za visoki tisak – osobine i vrijednosti, seminarski rad, Akademija likovnih umjetnosti u Sarajevu, Sarajevo 2016. (Pristup: 18.05.2020.) Dostupno na: https://www.academia.edu/40983731/Grafi%C4%8Dka_tehnologija_-_Grafi%C4%8Dka_boja_za_visoki_tisak_-_osobine_i_vrijednosti
- [4] Jamnički S.; Predavanje iz tiskarskih boja, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2016. (Pristup: 02.06. 2020.) Dostupno na: http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_Veziva%202016.pdf
- [5] Jamnički S.; Koloranti tiskarskih boja, predavanje iz tiskarskih boja, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2016. (Pristup: 02.06.2020.) Dostupno na: http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_koloranti_2016_17.pdf
- [6] Jamnički S.; Punila, crni pigmenti, bronce, predavanje iz tiskarskih boja, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2016. (Pristup: 07.06.2020.) Dostupno na: http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_punila_cadje_bronce_2016.pdf
- [7] Marin B.; Osnovni grafički materijali – grafičke boje, 2011. (Pristup: 14.05.2020.) Dostupno na: <https://www.scribd.com/document/48590807/boje>
- [8] Jamnički S.; Sušenje tiskarskih boja, predavanje iz tiskarskih boja, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2016. (Pristup: 07.06.2020.) Dostupno na: http://materijali.grf.unizg.hr/media/TB_mehanizmi%20susenja%20TB.pdf
- [9] Macinič D.; Utjecaj efekta lakiranja na optička svojstva otisaka, završni rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2011. (Pristup: 07.06.2020.) Dostupno na: https://bib.irb.hr/datoteka/526454.zavrsni_Macinic.pdf
- [10] papir.pdf. (Pristup: 17.05.2020.) Dostupno na: <https://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/papir>
- [11] Lozo B.; Osnovni sastojci za izradu papira, predavanje iz papira, nastavni materijal Grafičkog fakulteta u Zagrebu, Zagreb. (Pristup: 30.06.2020.)

Dostupno na:

<http://materijali.grf.unizg.hr/media/Osnovni%20sastojci%20za%20izradu%20papira.pdf>

[12] Lozo B.; Dodaci vlaknima u proizvodnji papira, predavanje iz papira, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2014. (Pristup: 01.07.2020.)

Dostupno na:

<http://materijali.grf.unizg.hr/media/Dodaci%20vlaknima%20u%20proizvodnji%20papira.pdf>

[13] Lozo B.; Svojstva i ispitivanja papira, predavanje iz papira, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2010. (Pristup: 01.07.2020.) Dostupno na:

<http://materijali.grf.unizg.hr/media/uvodna%20vjezba%20-%20SVOJSTVA%20I%20ISPITIVANJA%20PAPIRA.pdf>

[14] Lozo B.; Svojstva i ispitivanje papira, seminarski rad, Grafički fakultet u Zagrebu, Zagreb, 2017. (Pristup: 01.07.2020.) Dostupno na:

<https://www.studocu.com/sg/document/sveuciliste-u-zagrebu/papir/lecture-notes/svojstva-i-ispitivanje-papira/2336545/view>

[15] Lozo B.; Svojstva površine papira, nastavni materijal iz papira, Grafički fakultet u Zagrebu. (Pristup: 04.07.2020.) Dostupno na:

<http://materijali.grf.unizg.hr/media/vjezba%203.pdf>

[16] Jamnički S.; Optička bijelila, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2013. (Pristup: 04.07.2020.) Dostupno na:

<http://materijali.grf.unizg.hr/media/opticka%20svojstva.pdf>

[17] Karuović D.; Statističke metode, nastavni materijal Tehničkog fakulteta Mihajlo Pupin, Sveučilište u Novom Sadu, Srbija. (Pristup: 04.07.2020.)

Dostupno na: <http://www.tfzr.uns.ac.rs/Content/files/0/Nedelja%203.pdf>

[18] Perkov J.; Metoda uzoraka, nastavni materijal Sveučilišta u Zadru. (Pristup: 05.06.2020.) Dostupno na:

http://www.unizd.hr/portals/4/nastavni_mat/2_godina/statistika/8_predavanje_s.pdf

[19] Milčić D.; Statistika, predavanje iz kontrole kvalitete, nastavni materijal Grafičkog fakulteta, Zagreb, 2016. (Pristup: 06.07.2020.) Dostupno na:

https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2231352/mod_resource/content/0/STATISTIKA%202016_17.pdf

[20] Širola D.; Predavanje iz Poduzetništva, nastavni materijal Veleučilišta u Rijeci, Rijeka. (Pristup: 06.07.2020.) Dostupno na:

https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_poduzetnistvo_s1/Kvantitativne_za_poduzetnike_Pr2_Izv.pdf

[21] Nastavni materijal Prirodoslovno – matematičkog fakulteta. (Pristup: 23.05.2020.) Dostupno na: https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/PREDAVANJE11.pdf

[22] pruef_bau. Printability Testing Systems / Offset | prüfbau. (Pristup: 15.06.2020.) Dostupno na: <http://pruefbau.com/en/offsetdruck/>

[23] Golub F.; Utjecaj količine funkcionalnih premaza na svojstva otisaka, završni rad, Grafički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2019. (Pristup: 08.07.2020.) Dostupno na: <https://eprints.grf.unizg.hr/3053/>

[24] Spektrofotometrija | Studenti.rs. (Pristup: 07.06.2020.) Dostupno na: <https://studenti.rs/skripte/hemija/spektrofotometrija/>

[25] papir. *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2020. (Pristup: 29.6.2020.) Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=46541>

[26] Owens, Wendt, Rabel and Kaelble (OWRK) method. (Pristup: 31.7.2020.) Dostupno na: <https://www.kruss-scientific.com/services/education-theory/glossary/owens-wendt-rabel-and-kaelble-owrk-method/>

[27] Petz B.; Osnovne statističke metode za nematematičare, treće izdanje, Jastrebarsko, 1997.

[28] Cigula, T., Tomašegović, T., Hudika, T. (2019), Nordic Pulp & Paper Research Journal, Vol. 34, No. 4, 540–549