

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAFIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

Viktor Pofek



Sveučilište u Zagrebu
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko-tehnološki

ZAVRŠNI RAD

Primjena procesa graviranja u izradi tiskovnih formi

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Sanja Mahović Poljaček

Student:

Viktor Pofek

Zagreb, 2020.

Rješenje o odobrenju teme završnog rada

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se vlastitim znanjem stečenim na Grafičkom fakultetu, uz pomoć navedene literature.

Zahvaljujem se svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Sanji Mahović Poljaček na pomoći, savjetima, utrošenom vremenu i trudu te ustupljenoj literaturi.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. PROCESI GRAVIRANJA	2
2.1 Ručno graviranje	2
2.2 Lasersko graviranje	4
2.3 Mehaničko graviranje	7
3. MATERIJALI PODOGNI ZA GRAVIRANJE	9
3.1 Polimeri	9
3.2 Metali	11
3.3 Drvo	14
4. TISKOVNE FORME IZRAĐENE GRAVIRANJEM	17
4.1 Tiskovna forma za visoki tisak	17
4.1.1 Tiskovna forma za knjigotisak	20
4.1.2 Tiskovna forma za fleksotisak	28
4.2 Tiskovna forma za duboki tisak	35
4.2.1 Tiskovna forma za bakrotisak	40
5. EKSPERIMENTALNI DIO	46
5.1. Materijali i uređaji	46
5.1.1 Izbor i priprema materijala	46
5.1.2. Korišteni uređaji	48
5.2. PRIPREMA MATERIJALA I GRAVIRANJE TISKOVNIH FORMI	51
5.2.1. Priprema materijala	51
5.2.2. Priprema motiva	53
5.2.2.1. Mehaničko graviranje tiskovnih formi	52
5.2.2.2. Lasersko graviranje tiskovnih formi	52
5.3. PROVEDBA MJERENJA	54

5.3.1.Mjerenje tvrdoće materijala	54
5.3.2.Mjerenje hrapavosti površine.....	54
5.3.3.Mjerenje visine tiskovnih elemenata	56
5.3.4.Mjerenje 2D i 3D profila materijala	56
5.3.5. Mikroskopske analiza linija	56
6. REZULTATI I RASPRAVA.....	57
6.1. Rezultati mjerenja tvrdoće materijala	57
6.2. Rezultati mjerenja hrapavosti površine.....	57
6.3. Rezultati mjerenja visine materijala	58
6.4. Rezultati mjerenja 3D profila materijala	59
6.5. Mikroskopska analiza linija	62
7. ZAKLJUČAK.....	67
8. LITERATURA	73

SAŽETAK:

Graviranje je tehnički postupak urezivanja i oblikovanja materijala kojim se mogu izraditi različiti oblici i ukrasiti različiti dekorativni proizvodi. U novije vrijeme, procesi graviranja pronašli su svoju primjenu u izradi reljefnih tiskovnih formi. U primjeni su uređaji koji omogućavaju izradu reljefa u materijalu mehaničkim i laserskim postupkom, a primjena im je na metalnim i polimernim materijalima. Teorijski dio rada uključuje opise procesa i uređaja koji se koriste u procesima graviranja. U eksperimentalnom dijelu će biti korišteni uzorci pločica izrađenih od biorazgradivih polimernih materijala. Na dobivenim uzorcima tiskovnih formi bit će provedena mjerenja mehaničkih i optičkih svojstava kako bi se mogla procijeniti učinkovitost postupaka mehaničkog i laserskog graviranja u izradi reljefnih tiskovnih formi.

KLJUČNE RIJEČI: procesi graviranja, tiskovna forma za visoki tisak, biorazgradivi materijali

SUMMARY:

Engraving is a technical process of engraving and shaping materials that can be used to make different shapes and decorate different decorative products. More recently, engraving processes have found their application in the making of embossed printing plates. Devices are used that enable the production of relief in the material by mechanical and laser processes, and their application is on metal and polymeric materials. The theoretical part of the paper includes descriptions of processes and devices used in engraving processes. Tile samples made of biodegradable polymeric materials will be used in the experimental part. Measurements of mechanical and optical properties will be performed on the obtained samples of printing plates in order to be able to evaluate the efficiency of mechanical and laser engraving procedures in the production of relief printing plates.

KEY WORDS: engraving processes, relief printing plate, biodegradable materials

1. UVOD

Graviranje je tehnički postupak urezivanja ili jetkanja dizajna (linija, ukrasa, znakova, likova) u tvrdi, obično ravnu površinu pravljenjem brazda u njoj. Rezultat graviranja može biti sam dekorirani predmet ako se gravira srebro, zlato, čelik ili staklo, ili može omogućiti izradu (tal. *intaglio*) ploča od bakra ili drugog metala za otiskivanje teksta ili ilustracija. Otisak urezanih slika naziva se gravura ili gravira.

Graviranje je kroz povijest bilo važna metoda stvaranja slika na papiru, kako u umjetničkom tiskarstvu tako i za komercijalne reprodukcije i ilustracije u knjigama i časopisima. Dugo je vremena bilo zamijenjeno fotografijom u komercijalnim primjenama te je, djelomice zbog težine učenja tehnike, mnogo manje uobičajeno u tiskarstvu gdje je većinom zamijenjeno jetkanjem i drugim tehnikama.

Tradicionalno graviranje rezbarstvom dijetlom (dubačem) ili uporabom strojeva nastavili su koristiti zlatari, staklarski graveri, oružari i drugi, dok modernije industrijske tehnike poput fotograviranja i laserskog graviranja imaju mnoge važne primjene.

Tiskovna forma je u postupku tiskarske reprodukcije, nosač grafičkoga zapisa (npr. tekst, ilustracije) što se tiskarskom bojom prenosi na tiskovnu podlogu (npr. papir). Sastoji se od tiskovnih elemenata i slobodnih površina – u većini tiskarskih tehnika tiskovni elementi prihvaćaju (ili propuštaju) tiskarsku boju, a slobodne ju površine ne prihvaćaju, pa se boja s tiskovnih elemenata izravno ili posredno prenosi na tiskovnu podlogu.

U digitalnim tehnikama tiska tiskovnom se formom smatra digitalni zapis onoga što se otiskuje, pohranjen u računalnoj memoriji. Najčešća je podjela tiskovnih formi prema odnosu tiskovnih elemenata i slobodnih površina. Prema tomu se kriteriju razlikuju tiskovne forme za visoki, plošni, duboki i propusni tisak.[1]

2. PROCESI GRAVIRANJA

Kada govorimo o tehnikama graviranja možemo ih navesti tri, a to su: ručno graviranje odnosno oblikovanje i klesanje, graviranje ručnim strojem i graviranje računalno upravljanim strojem za graviranje CNC- uređajem (lasersko i mehaničko) (eng. *Computer Numerical Control*).

2.1 Ručno graviranje

Ručno graviranje je najstarija vrsta graviranja koja se i u današnje vrijeme često koristi. Ručno graviranje je jako cijenjeno jer „ručni rad“ predstavlja postupak za izradu unikatnih proizvoda. Koristi se tamo gdje nije moguće osigurati pristup strojevima za graviranje ili se izrazi želja za ručnim radom. Danas, u svijetu, još uvijek postoji ručno graviranje te je vrlo cijenjeno i koristi se za ukrašavanje dragulja, oružja, trofeja i ostalih proizvoda napravljenih od finih materijala.[1]



Slika 2.1 Ručno graviranje srebra[2]

Alati koje kamenoklesari koriste su razni, a najosnovnije je dlijeto. Dlijeta su alati koji su na svojim vrhovima naoštreni pod različitim kutovima ovisno za što ih koristimo. Jedan od osnovnih alata je i čekić kojim se osigurava potrebna sila na reznoj oštrici na način da se pomoću udarca čekića po dlijetu impuls sile prenosi na reznu oštricu tj . predmet obrade.[1]



Slika 2.2 Alat za ručno graviranje[2]

Za ručno graviranje se koriste i takozvani pneumatski čekići. Kod njih se kao alat isto koristi dlijeto. Razlika u običnim dlijetima i dlijetima za pneumatski čekić je što dlijeta za pneumatski čekić na stražnjem dijelu su prilagođena prijemu pneumatskog čekića. Kod takvog graviranja ne koristi se puno ljudske energije za ostvarivanje udaraca, nego to postižemo pneumatskim čekićem. Najveći nedostatak pneumatskih čekića je potreba za stalnim dotokom komprimiranog zraka.[1]



Slika 2.3 Pneumatski čekić[3]

2.2 Lasersko graviranje

Trenutno je u svijetu najrašireniji laserski postupak graviranja. U industriji se koriste strojevi velikih snaga i dimenzija. Lasersko graviranje koristi se kako bi se proizvodima dalo individualni dizajn ili osobni dodir. Sportski trofej urezan s imenom pobjednika, kemijske olovke ugravirane logotipom tvrtke ili komponentom koja je označena serijskim brojem i serijom broj - ovo su tipične aplikacije za lasersko graviranje. Velika je prednost laserskog graviranja što omogućuje oblikovanje gotovo bilo kojeg dizajna na različitim materijalima. Podloge za graviranje mogu biti od različitih materijala poput stakla, drva, aluminija, polimera i drugih.

Lasersko graviranje zahtjeva određenu pripremu motiva za ispis (reprodukciju). U prvom koraku izrađuje se dizajn u jednom od grafičkih programa (CorelDraw, Photoshop, AutoCAD, Illustrator, InkScape, itd.). Zatim se koristi upravljački program pisača kako bi motiv bio usmjeren prema uređaju za graviranje. Na radni stoj postavlja se željeni materijal i praktički se jednim pritiskom aktivira laser koji vrši ispis po površini materijala. Po potrebi se u ponuđenom JobControl® programu za upravljanje mogu postaviti napredne postavke. Vrste procesa spremljene u upravljačkom programu pisača znatno olakšavaju svakodnevni rad automatski optimiziranjem grafički potrebnih procesa.[1]



Slika 2.4 Prijenos podataka[4]

Lasersko graviranje se može koristiti i za izradu umjetničkih djela. Općenito to uključuje graviranje na ravne površine, otkrivanje nižih razina ili stvaranje utora i traka koje se mogu napuniti tintom, glazurom ili nekim drugim materijalom. Umjetnici mogu digitalizirati crteže, skenirati ili stvoriti slike na računalu i ugravirati sliku na materijal.

Uređaj za lasersko graviranje može se podijeliti na tri dijela: laser, upravljačka jedinica i podloga (materijal). Laser je poput olovke; zrake koje proizlaze iz njega omogućuju regulatoru da ispisuje znakove na površinu. Upravljačka jedinica kontrolira smjer, intenzitet, brzinu kretanja, te širenje laserskih zraka koje se usmjeravaju prema površini. Materijal određuje na koju površinu laser može djelovati.[1]



Slika 2.5 Lasersko graviranje[5]

Postoje tri glavna načina graviranja. Prvi i najčešći je graviranje pomoću XY stola, gdje ploha miruje, a laserka glava se kreće u X i Y pravcima, usmjeravajući pritom lasersku zraku na željeni objekt. Drugi način rada je putem cilindričnog ili ravnog dodatka koji je montiran oko cilindra, kako bi laser učinkovito proizveo fine spirale i uključivanjem i isključivanjem pulsirao, te na taj način proizveo željenu sliku. U trećem postupku, laser i obratnik su stacionirani tako da se samo laserska zraka kreće iznad površine objekta.

Rastersko graviranje standardni je postupak laserskog graviranja. U tom slučaju motiv je građen od piksela a graviranje se provodi red po liniju, točka po točku.[1]

U **vektorskom graviranju**, s druge strane, motiv se sastoji od krivulja i linija koje laser prati jednu za drugom “vektor po vektor” i istovremeno ih gravira. Vektorsko graviranje često se naziva "bodovanjem".[1]

Za aplikacije velikih površina poput ispunjenih slova, slika, maraka ili gravure na drva odgovarajuća je metoda rasterskog graviranja.

Međutim, ako se trebaju urezati samo tanke linije, vektorsko graviranje je korisno, a može biti i brže. [1]

Prednosti laserskog graviranja u odnosu na mehaničko graviranje:

Tablica 1. Prednosti laserskog graviranja u odnosu na mehaničko graviranje [6]

Prednost	Pojašnjenje
Veće polje primjene	Laserski snop je univerzalno sredstvo za mnoge materijale kao što su drvo, staklo, MDF, tekstil, karton, papir, folija, metali, i td.
Obrada materijala bez kontakta	Kod mehaničkog graviranja materijal se često mora stegnuti ili učvrstiti vakuumom. Ovo zahtijeva vrijeme i može oštetiti materijal. Uz lasersku obradu, to nije potrebno. Ovdje je obrada beskontaktna, tako da nema izbočina te vrlo malo prašine. Sve to štedi vrijeme i novac.
Nema trošenja alata	Zbog beskontaktna obrade materijala laserom, ne postoje troškovi alata za reznice i bušilice.
Maksimalna preciznost i najsitniji detalji	Laserska tehnologija omogućava maksimalnu preciznost implementacije najfinijih motiva. Gotovo sve što se može nacrtati može se urezati i označiti laserom.
Ekonomska proizvodnja	Izrada pojedinačnih komada ili malih serija, kao i velikih serija, isplativa je i ekonomski izvediva.

2.3 Mehaničko graviranje

Nakon dolaska jeftinijih računalnih komponenti i sve češćom njihovom upotrebom u radu i nadzoru strojeva, razvijali su se i numerički upravljani strojevi za graviranje. Zbog velike potrebe izrade gravura i slika u raznim materijalima, došlo je do napretka prijašnje tehnologije. Jedina problematika je bila ručno programiranje gravura i nemogućnost izrade slika. Razvojem CAD/CAM sustava (eng. *Computer-Aided Design & Computer-Aided Manufacturing*) poprilično se olakšalo programiranje i smanjilo se vrijeme potrebno za programiranje te se time moglo brže doći do željenog izgleda obrađivanih površina. Strojevi se sastoje od X, Y, Z osi koje mogu biti pokretane pomoću koračnih ili servo motora. U početku su se koristili samo koračni motori jer servo motori nisu još bili razvijeni, a u današnje vrijeme se još uvijek koriste i koračni motori tamo gdje nije potrebno ostvariti velike točnosti. Servo motori se koriste na uređajima velike točnosti jer mogu ostvariti manje vrijednosti pomaka (precizni pomak). Iako su numerički upravljani strojevi podosta skuplji od ostalih pjeskara i ručnih strojeva za graviranje, s vremenom uvelike uštedeju novac poslodavcu skraćivanjem vremena izrade i mogućnosti izrade slika. Baza podataka numerički upravljanim strojevima se nalazi u računalu te se jednostavno odabire motiv koji se želi reproducirati i jednostavno se mogu uskladiti zadane dimenzije.

CNC (eng. *Computer Numerical Control*) graviranje je postupak urezivanja sadržaja, teksta i/ili grafike na podlogu ravne površine pomoću računalno navođenog uređaja za graviranje. Postoje brojne vrste CNC strojeva za graviranje kao i materijali za graviranje pri čemu su mnogi dizajnirani za posebne aplikacije, no svima je zajedničko računalno navođenje samog graviranja. Većina CNC strojeva je veća, odnosno velike radne površine. S druge strane, oni koji su manje radne površine su u pravilu specijalizirani za uzak spektar radnji i operacija kao, primjerice strojevi za graviranje na satove, nakit ili prstenje. Samo graviranje izvodi se glodalom/frezerom pričvršćenim na elektromotor koji je pričvršćen na noseći most. Osim po dužini i širini, računalno upravlja uređajem i po visini što omogućuje podešavanje dubine graviranja prema želji i zahtjevima korisnika. CNC strojevima se prvenstveno obrađuju velike površine materijala, neovisno radi li se o finalnim ili međufaznim proizvodima. Velika radna površina, kao i priroda procesa samog CNC graviranja, omogućuje obradu materijala koja nije moguća strojevima za lasersko graviranje kao što su stiropor, iverica, kamen ili metalne ploče.

CNC graviranje je računalno-upravljano klasično graviranje. To znači da, umjesto manualnog graviranja, CNC uređajem upravlja računalo što omogućava veliku preciznost u radu. Glavna prednost je visoka preciznost urezivanja materijala.[1]. Graviranje se vrši na svim mogućim materijalima (nehrđajući čelik, željezo, aluminij, mesing, kamen, PVC, pleksiglas, akril ...) a omogućuje 2D i 3D graviranje.

3. MATERIJALI PODOGNI ZA GRAVIRANJE

3.1 Polimeri

Polimer je kemijska tvar građena od makromolekula, golemih molekula sastavljenih od vrlo mnogo strukturnih jedinica koje se ponavljaju, to jest dijelova molekula malih, jednostavnih kemijskih spojeva nazvanih monomeri. Dugo se smatralo da su polimeri agregirane, sekundarnim vezama povezane niskomolekularne tvari. E. Fischer je oko 1905. polimerizacijom aminokiselina sintetizirao velik broj polipeptida i utvrdio da su ponavljane strukturne jedinice kemijski povezane amidnim vezama. Rasprave o građi polimera vodile su se sve do 1922., kada je H. Staudinger uveo pojam i naziv makromolekula. Struktura polimera određena je vrstom i brojem monomernih jedinica, njihovom konfiguracijom i konformacijom te nadmolekularnom strukturom.[2]

Obzirom na široki spektar polimernih materijala dostupnih na tržištu i na specifična svojstva svakog od materijala, moguće je laserom oblikovati različite plastične mase ali pri tome je potrebno uskladiti uvjete graviranja sa svojstvima materijala. Lasersko zračenje tijekom procesa graviranja može izazvati izravne kemijske reakcije na površini i u unutrašnjosti materijala, poput, topljenja ili isparavanje materijala. Plastika se rijetko može vidjeti u čistom stanju, jer često sadrži aditive poput bojila, ultraljubičastih usporivača, sredstava za otpuštanje itd. Takvi aditivi imaju značajan utjecaj na rezultat laserskog oblikovanja.

Lasersko graviranje se često koristi za obradu laminata i akrila.[4]

Laminat je dvoslojna ili troslojna plastika. Izrađeni su od jezgrenog modificiranog akrila koji je presvučen tankim gornjim slojem. Proces graviranja otkriva boju materijala jezgre.[4]

Postoje razni laminati koji su prikladni samo za lasersko graviranje ili samo za glodanje. Za graviranje laserom mogu se koristiti samo laminati prikladni za tu svrhu. Za graviranje laminata preporučuje se upotreba vakuum stola koji fiksira laminat na stolu tijekom procesa graviranja. Što je tanji gornji sloj laminata, brže se ovaj sloj može ablatirati.[4]

Primjeri primjene za laminat:

- Znakovi na vratima
- Pločice s podacima
- Pločice s imenima
- Reklamni natpisi
- Oznake objekata
- Oznake
- Centrale



Slika 3.1 Laserska obrada laminata

Akril (PMMA, polimetil metakrilat) je idealan za materijal za lasersku obradu kao što su osvijetljene reklame, natpisi, prikazi prodajnih mjesta i slično. Bez dodatne naknadne obrade, laserski rez rezultira sjajnim, sjajnim rubovima plamena. Ploče debljine do 25 mm mogu se rezati učinkovito i ekonomično. Akril se može urezati CO₂ laserom kako bi se stvorio matirani sloj, ili se može označiti fiber laserom kako bi se promijenila boja.[4]

Prikladni materijali za lasersko rezanje i graviranje:

- PLEXIGLAS®
- Altuglas®
- ACRYLITE®
- TroGlass
- Madre Perla®

- Plazit®
- Perspex®
- Quinn®
- Oroglas®
- Plaskolite®



Slika 3.2 PLEXIGLAS (3 sloja)- kombinacija laserskog i mehaničkog graviranja

Laserska zraka je univerzalni "alat" za obradu akrila bez obzira na oblik i debljine materijala. Prednosti laserskog rezanja nesporne su u sektoru plastike i tehnologije reklamiranja. Rezni rubovi polirani plamenom bez naknadne obrade materijala: Zbog znatno nižih troškova obrade, obrada akrila laserskom tehnologijom je i do 88% jeftinija od obrade glodalicom (vrijeme obrade za zatezanje i naknadnu obradu materijala, alata).[4]

3.2 Metali

Metali su elementarne tvari koje se odlikuju nizom karakterističnih svojstava: osobitim (metalnim) sjajem, dobrom provodnošću topline i elektriciteta, kovnošću, duktilnošću i neprozirnošću te sposobnošću da primanjem toplinske ili svjetlosne energije emitiraju elektrone. Oko 80% svih poznatih prirodnih i umjetno stvorenih kemijskih elemenata pripada metalima. Njihova ukupna zastupljenost u Zemljinoj kori iznosi samo 25%.

Međutim, nakon nemetala kisika i silicija, sljedećih sedam najzastupljenijih elemenata na Zemlji su metali (aluminij, željezo, kalcij, natrij, magnezij, kalij, titanij). U prirodi su metali uglavnom vezani u obliku kemijskih spojeva, minerala, većinom oksida i sulfida, ali i karbonata, sulfata i silikata. U elementarnom obliku pojavljuju se samo zlato, srebro, bizmut, bakar, paladij, platina i meteorsko željezo. Metalima pripadaju elementi na lijevoj strani i u sredini (izuzev vodika) periodnoga sustava elemenata, dok su na njegovoj desnoj strani nemetali. Na granici između metala i nemetala nalaze se polumetali ili metaloidi, koji nemaju izrazita metalna svojstva, a po kemijskim svojstvima bliži su nemetalima; vrlo su slabi vodiči elektriciteta, a električna im provodnost, za razliku od metala, raste s porastom temperature. To su bor, silicij, germanij, arsen, antimon, telurij i polonij, poznati i kao poluvodiči.[2]

Laserska primjena u označavanju metala tipično se koristi za označavanje proizvoda s svojstvima i kodovima sljedivosti. Te se primjene mogu naći u industriji elektronike i elektrotehnike, strojarstvu i proizvodnji alata, u obradi lima, medicinskoj tehnologiji, promotivnim materijalima, nakitu i u automobilskoj industriji.[4]

Prikladni metali za lasersko označavanje i graviranje:

- Nehrđajući čelik
- Aluminij
- Anodizirani aluminij
- Kaljeni metali
- Legirani čelici
- Čelici velike brzine
- Titan, legure titana
- Karbidi
- Mesing
- Bakar
- Plemeniti metali (npr. srebro, zlato)
- Obloženi metali



Slika 3.3 Obrada mehaničkim graviranjem s ispunom boje



Slika 3.4 Obrada mehaničkim graviranjem

Posebna vrsta označavanja prekaljivanjem uključuje označavanje u boji nehrđajućim čelikom. Na temelju tehničkih mogućnosti s MOPA laserom (eng. *Master Oscillator Power Amplifier*), mogu se označiti reproduktivne boje na nehrđajućem čeliku. Za proizvođače proizvoda od nehrđajućeg čelika, takva opcija im pruža mogućnost stvaranja posebnih oznaka u boji, poput logotipa tvrtke ili funkcionalnih oznaka poput oznaka za vruće i hladno na učvršćenjima od nehrđajućeg čelika.[4]

Označavanje metala pomoću laserskog graviranja vrlo je precizan i čist oblik obrade metala. Oznake poput serijskih brojeva, matrice podataka i logotipa mogu se dodati proizvodima i komponentama u najvećoj rezoluciji. Označavanje ili graviranje metala vrši se laserom bez kontakta i ne zahtijeva nikakvu prethodnu ili naknadnu obradu. Prekaljivanje osigurava trajno lasersko označavanje otporno na kiseline, kemikalije i koroziju bez oštećenja metalne površine.[4]

3.3 Drvo

Drvo, kao glavni proizvod šume, ekološke tvornice u kojoj se „uvjeti rada“ mijenjaju iz dana u dan s obzirom na varijable iz okoliša, ima izuzetno važnu ulogu u životu ljudi od prvih početaka civilizacije do danas. Uz kamen i glinu, drvo je bilo među prvim tehničkim materijalima, neophodnim za život ljudi te razvoj industrije, a i danas predstavlja glavni izvor energije većem dijelu svjetske populacije. Kada je riječ o proizvodnji i obradi drva, ono u usporedbi s ostalim sirovinama zahtijeva minimalan utrošak energije. Drvo posjeduje sposobnost proizvodnje kisika i prirodnog vezivanja štetnog ugljikovog dioksida, stoga predstavlja dobru alternativu ostalim materijalima s obzirom na današnje vrlo visoke ekološke zahtjeve i norme. Drvo kao tehnički materijal ima posebna i jedinstvena fizikalna, kemijska, mehanička i tehnološka svojstva. Ono je u potpunosti reciklabilan, prirodan, obnovljiv i svestran materijal, koji razvojem tehnologije svoju primjenu osim u građevinarstvu i celuloznoj industriji nalazi i šire. Osnovni cilj u modernoj primjeni drva jest naglasiti i iskoristiti njegove prirodne, estetske i tehničke prednosti, uz istodobno eliminiranje njegovih nedostataka. Mnogobrojne su prednosti drva u odnosu na moderne tehničke materijale: laka obradivost, mala osjetljivost na temperaturne promjene, mala težina elemenata, velika čvrstoća u smjeru vlakana. Drvo ima i neke nedostatke kao što su: greške u drvu, usmjerenost građe i svojstava, ovisnost mehaničkih svojstava o udjelu vlage, skupljanje, bubrenje, zapaljivost te osjetljivost na biotske i abiotske razgrađivače. Različitim postupcima ove prirodne nedostatke drva teži se smanjiti na minimum.[2]

Laseri su izuzetno svestrani instrumenti za obradu drveta. U industriji dizajna, tamni rezni rubovi i gravure smeđe ili bjelkaste boje služe kao izvanredni dizajnerski elementi na drvenim proizvodima. Dizajnirajte nove proizvode za najrazličitije industrije.[4]

Vrste drva pogodne za lasersku obradu:

- MDF (vlaknaste ploče srednje gustoće)
- HDF (vlaknaste ploče visoke gustoće)
- Multiplex (višeslojne ploče)
- Šperploča
- Tanak karton

- Prirodno drvo, pravo drvo
- Plemenito drvo
- Čvrsto drvo, čvrste grede
- Pluta
- Furnir



Slika 3.5 Laserska obrada drva

Prilikom laserskog graviranja drva potrebno je obratiti pažnju na slijedeće elemente:

- Laserska obrada drva je proces sublimacije. Precizno fokusiranje, odabir odgovarajućih parametara, uporaba prikladne optike i opskrba komprimiranim zrakom omogućavaju rezanje i graviranje najviše kvalitete.
- Drvo ne mora nužno biti uvijek tamno nakon obrade. Lasersko graviranje smeđe boje je dobro poznato. Pri obradi lakiranog drva, uz odgovarajuće postavke lasera, možete postići i bijelu gravuru. Ovdje preporučujemo vrlo malu snagu pri velikim brzinama.
- Moguće je postići i posebno tamnu gravuru laserom. Preusmjerenjem laserske zrake - otprilike 0,5 do 2 mm - lasersko mjesto postaje veće. Gustoća snage se na taj način smanjuje. Pomoću ove zrake dobivate posebno tamno lasersko graviranje. Pojednosti mogu biti izgubljene.

- Skoro svako drvo se može laserski obraditi no teba voditi brigu o parametrima. Budući da je drvo prirodni materijal, korisnik lasera mora uzeti u obzir niz parametara kao što su gustoća i sadržaj smole u drvu za obradu. Meke šume, npr. balsa, zahtijevaju manje snage lasera i mogu se brže rezati. Tvrdo drvo, kao primjer gustog drveta, s druge strane zahtijeva više snage lasera.
- U području obrade uvijek ima dima jer je laserska obrada drva proces sublimacije. Kruti se materijal izgaranjem izravno pretvara u plinovito stanje. Laser se poveže s ventilacijom koja izvlači dim iz same komore.[4]

4. TISKOVNE FORME IZRAĐENE GRAVIRANJEM

4.1 Tiskovna forma za visoki tisak

To je jedna od najstarijih tiskovnih formi. Možemo reći da su prvu tiskovnu formu za visoki tisak izradili Kinezi još u 6. stoljeću. Oni su rabili rezbarene drvene ploče za umnožavanje tekstova. Najstarijom se tiskanom knjigom smatra *Dijamantna Sūtra* (868.g.), budistički spis razgovora Budhe s redovnicima.[7]

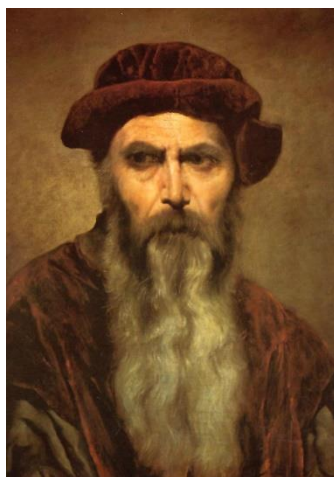


Slika 4.1 Dijamantna sutra[8]

Pokretna drvena, keramička i kovinska slova korištena su za tiskanje u Koreji sredinom 13. stoljeća. Smatra se da je najstarija knjiga koja je tiskana pokretnim slovima bila *Sangjong yemun* (1234.g.).

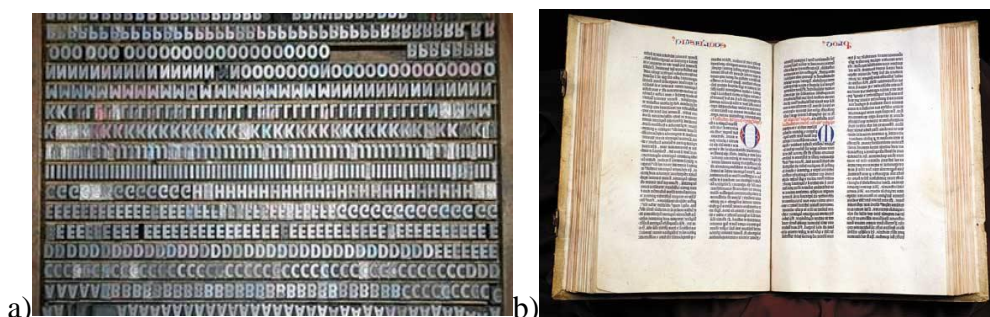
U Europi su se do sredine 15. stoljeća knjige umnožavale ručnim prepisivanjem što ih je činilo skupima i rijetkima.

Prva knjiga koja je tiskana pomoću tiskovne forme za visoki tisak bila je latinska Biblija koju je tiskao Johannes Gutenberg (1398.-1468.). svojim izumom pomičnih slova čiji je tisak završen 1455. godine.[7]



Slika 4.2 Johannes Gutenberg[9]

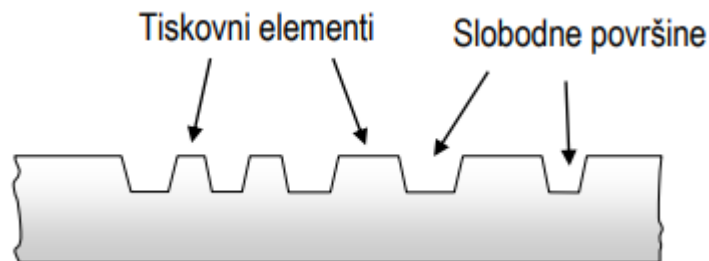
Tiskanih je knjiga bilo i ranije, no Gutenbergova Biblija je prva imala današnji oblik knjige. Biblija je imala dva sveska velikoga formata s tekстом otisnutim u dva stupca i 42 retka te je kao takva pravo remek-djelo tiskarskog umijeća. Tiskana je na 1282 stranice u svega 200 do 300 primjeraka od kojih je sačuvano tek četrdesetak, što potpunih što nepotpunih primjeraka. Knjiga je kasnije ukrašavana minijaturama (sitnim slikama) i inicijalima – ukrasnim početnim slovom.[7]



Slika 4.3 a) Kutija olovnih slova, b) Gutenbergova Biblija[10][11]

Do drugog se desetljeća dvadesetog stoljeća preko 90% svih takvih materijala tiskalo u tehnici visokog tiska. Nakon tog je vremena sve do danas udio udio tehnike visokog tiska u stalnom opadanju, no ne može se reći da je ta tehnika izumrla. Danas se upotrebljava za tisak određenih grafičkih proizvoda i za dobivanje nekih specijalnih grafičkih efekata. Tiskovna se forma izrađivala isključivo od kovina; slog iz slitine, olovo, kositar i antimon, a kao tiskovna forma za reprodukciju jednotonskih i

višetonskih originala služila je tkana cinkova ploča. Danas se dobrim djelom koriste tiskovne forme izrađene na temelju fotopolimera. Kod tiskovne se forme za visoki tisak tiskovni elementi razlikuju po svom geometrijskom položaju. Slobodne su površine udubljene dok su tiskovni elementi izbočeni i nalaze se u istoj ravnini. Na tiskovne se elemente valjcima nanosi boja jednake debljine nanosa. [7]



Slika 4.4 Tiskovna forma za visoki tisak[7]

Kako je nanos boje na svim tiskovnim elementima jednake debljine, procesom tiska je moguće dobiti samo jednotonske otiske. Da bi se dobili višetonski otisci, potrebno je koristiti tehnologiju rastriranja.

Budući da je tehnika visokog tiska izravna tehnika otiskivanja, tj. tiskovna forma i tiskovna podloga su prilikom otiskivanja u izravnom kontaktu, predložak na kojem se nalazi motiv i tiskovna forma su stranično neispravni. Tiskovna forma se najčešće izrađuje od kovina, koriste se postupci kemijskog ili elektrokemijskog otapanja (jetkanja) odnosno mehaničkog graviranja.

Fotopolimerne tiskovne forme izrađuju se fotokopirnim postupcima (osvjetljavanjem kroz fotografske predloške i kemijskim razvijanjem), a u novije vrijeme i digitalnim postupcima izrade.[7]

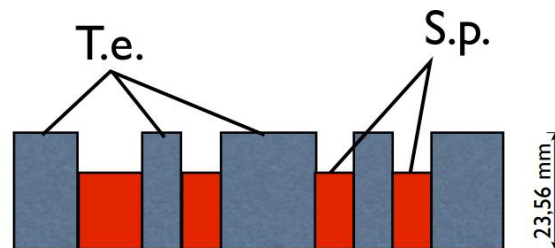


Slika 4.5 Različiti tipovi tiskovnih formi za visoki tisak[7]

4.1.1 Tiskovna forma za knjigotisak

Primjenjuje se od sredine 15. st. (godine 1440.) kada je Johan Gutenberg u gradu Mainzu, izumio pokretna slova koja su obojena utiskivana prešom u tiskovnu podlogu. (umnožavanje knjiga principom direktnog otiskivanja). Materijali koji su korišteni za izradu tiskovnih formi su: legura 66% olova, 28% antimona i 6% kositra (bakar, cink, magnezij).[7]

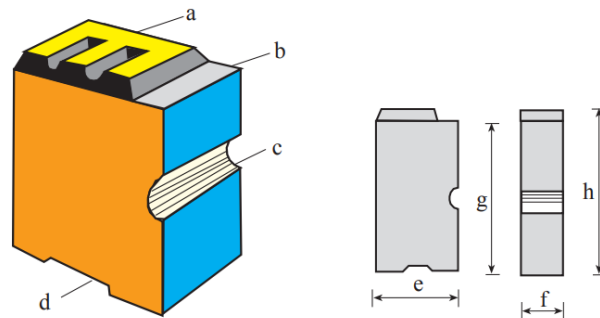
- Direktna tehnika tiska
- Tiskovni elementi i slobodne površine bile su neovisne (odvojive)
- Za širinu koristi se Didot-ov mjerni sustav (1 pt = 0,376 mm)
- Pojedinačni slovni znakovi visine 23,57 mm



Slika 4.6 Tiskovni elementi i slobodne površine kod knjigotiska[12]

U klasičnom je knjigotisku, tiskovna forma sastavljena od reljefnih pojedinih slova odlivenih u olovu i složenih u tekst (tiskarski slog), te jednotonskih i rasterskih klišeja

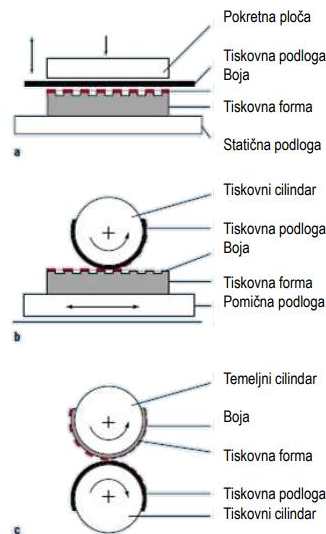
za tisak ilustracija, koji se izrađuju ručno (dubljenjem), strojno (graviranjem klišografima) ili kemijski (jetkanje).[12]



Slika 4.7 a)pismovna slika, b)meso slova, c)signatura, d)podrezak, e)veličina stožca, f)debljina slova, g)visina trupa, pismovna visina[12]

Oblik tiskovnih formi u knjigotisku:

- planparalelne ploče – tisak araka
- cilindrični klišeji – tisak araka i iz role



Slika 4.8 Prikaz tiskovne forme za knjigotisak[12]

Metalne tiskovne forme za visoki tisak danas su najčešće od cinka (Zn), magnezija (Mg), bakra (Cu), mesinga i nikla (Ni) (kao prevlaka).

Cink se koristi zbog jednostavne nabave i niske cijene; najčešće se koristi za reprodukciju manje zahtjevnih detalja.

Mesing se koristi u slučaju kada se želi kombinirati tisak folijom i reljefni tisak; daje iznimno kvalitetne otiske. Radi boljih mehaničkih svojstva na mesing se nanosi tanki sloj nikla do 20 μ m koji poboljšava toplinsku vodljivost, osigurava veću trajnost, te smanjuje lijepljenje folije.

Bakar se rjeđe koristi zbog visoke nabavne cijene; koristi se za reprodukciju složenih motiva jer omogućava dobivanje otisaka visoke kvalitete.

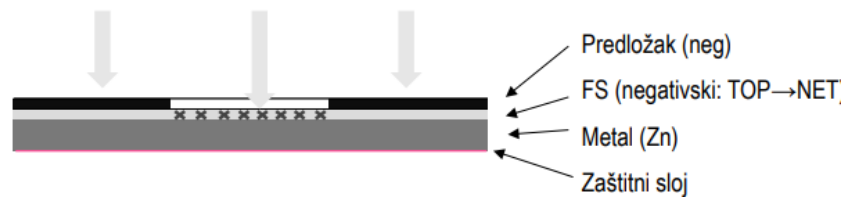
Magnezij se koristi kao ravna ploča. Prednost magnezijских klišēja su niska cijena i kratak proces izrade, uz vrlo kvalitetne rezultate. Koristi se za reprodukcije manjih i srednjih veličina naklada; trajnost klišēja ovisi o načinu njegovog korištenja (50.000 do 300.000 otisaka).

Postupak izrade metalnih tiskovnih formi obuhvaća slijedeće faze:

- 1.) Obrada metala i dobivanje planparalelne ploče
- 2.) Oslojavanje metalne ploče fotoosjetljivim slojem, sušenje (na tržište dolaze predoslojene ploče)
- 3.) Osvjetljavanje fotoosj. sloja kroz negativski predložak
- 4.) Razvijanje u odgovarajućem otapalu – uklanjanje topivih dijelova fotoosjetljivog sloja
- 5.) Ispiranje
- 6.) Jetkanje nezaštićenih površina – budućih slobodnih površina; uloga fotoosjetljivog sloja – zaštita budućih tiskovnih površina pri procesu jetkanja
- 7.) Ispiranje
- 8.) Uklanjanje fotoosjetljivog sloja

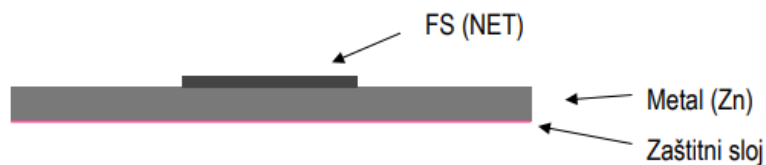
Način izrade je prikazan na slijedećim slikama.

- 1.) Osvjetljavanje (kontaktno kopiranje):



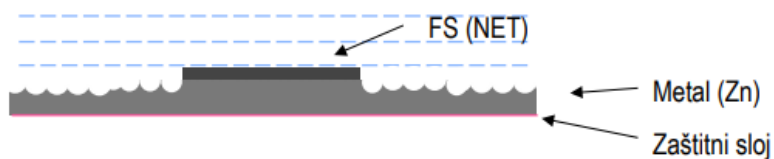
Slika 4.9 Fotokemijska reakcija- osvjetljavanje, ispiranje[13]

2.) Razvijanje, ispiranje:



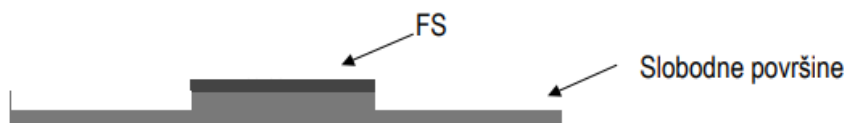
Slika 4.10 Fotokemijska reakcija- razvijanje[13]

3.) Jetkanje, ispiranje



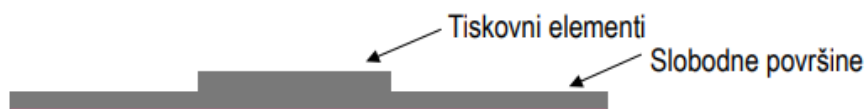
Slika 4.11 Fotokemijska reakcija- jetkanje, ispiranje[13]

4.) Uklanjanje fotosloja:



Slika 4.12 Fotokemijska reakcija- uklanjanje fotosloja[13]

5.) Tiskovna forma:



Slika 4.13 Fotokemijska reakcija- gotova tiskovna forma[13]

Oksidaciju (jetkanje) kovine mogu izvršiti samo tvari koje su sposobne oduzeti elektrone, odnosno one koje su elektropozitivnije od same kovine:

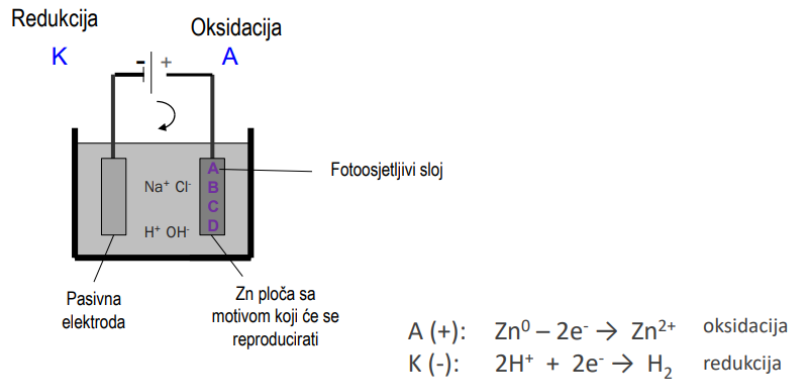
KOVINA	POTENCIJAL / V
Na/Na ²⁺	-2.71
Mg/Mg ²⁺	-2.38
Al/Al ³⁺	-1.66
Zn/Zn ²⁺	-0.76
Cr/Cr ²⁺	-0.71
Fe/Fe ²⁺	-0.44
Ni/Ni ²⁺	-0.25
H ₂ /2H ⁺	±0.00
Cu/Cu ²⁺	+0.34
Cu/Cu ⁺	+0.52
Fe ²⁺ /Fe ³⁺	+0.78
Hg/Hg ²⁺	+0.79
Ag/Ag ⁺	+0.80
Au/Au ⁺	+1.70

Slika 4.14 Oksidacija kemijskim jetkanje, elektropozitivnost tvari i kovina[13]

Osim kemijskog jetkanja tiskovne forme za visoki tisak mogu se izraditi elektrokemijskim jetkanjem. Elektrokemijske reakcije su kemijske reakcije koje nastaju pod utjecajem vanjskog izvora istosmjerne struje ili kemijske reakcije u kojima nastaje istosmjerna struja. [13]

-Ovisno o tome gdje se odvija glavna reakcija, procese dijelimo na:

- 1.) katodne (redukcija) – taloženje metala
- 2.) anodne (oksidacija) – otapanja (jetkanje) metala



Slika 4.15 Elektrokemijsko jetkanje metal[13]

Cink se, kao tiskovna ploča nalazi na anodi u elektrokemijskoj ćeliji. U reakciji dolazi do oksidacije cinka: A (+): $Zn^0 - 2e^- \rightarrow Zn^{2+}$

-Na katodi se reduciraju vodikovi ioni: K (-): $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

-Prednost ovakvih procesa je korištenje otopina neutralnih soli i ne korištenje kiselina i jakih oksidansa.

-Kod otapanja Zn najčešće se koristi vodena otopina NaCl.

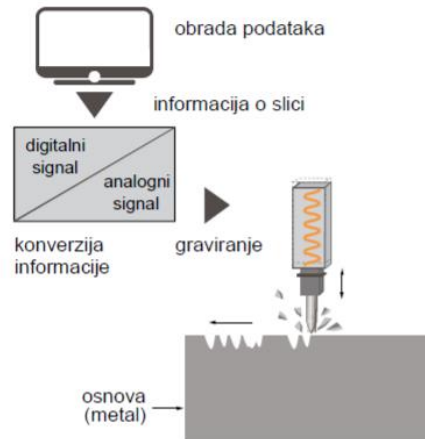
-Bijeli talog - reakcija: $Zn^{2+} + 2OH^- \rightarrow Zn(OH)_2$

Postupak izrade:

- 1.) Obrada metala i dobivanje planparalelne ploče
- 2.) Oslojavanje metalne ploče fotoosjetljivim slojem, sušenje (na tržište dolaze predoslojene ploče)
- 3.) Osvjetljavanje fotoosj. sloja kroz negativski predložak
- 4.) Razvijanje u odgovarajućem otapalu – uklanjanje topivih dijelova fotoosjetljivog sloja
- 5.) Ispiranje
- 6.) Postavljanje elektrokemijske ćelije
- 7.) El-kem. jetkanje nezaštićenih površina – budućih slobodnih površina. Uloga fotoosjetljivog sloja – zaštita budućih tiskovnih površina pri procesu jetkanja

8.) Ispiranje

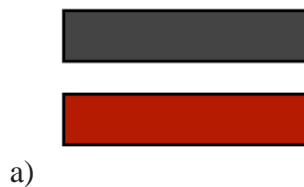
U novije vrijeme tiskovne forme je moguće izraditi mehaničkim izrezivanjem metala (graviranjem). Postupak je temeljen na CNC tehnologiji što znači da je graviranje metala ručunalno kontrolirano i upravljano. Sustav za graviranje sastoji se od elektrogravirne glave s iglom koja na temelju informacija iz računala prodire u dubinu metala i uklanja materijal na mjestima slobodnih površina. [13]

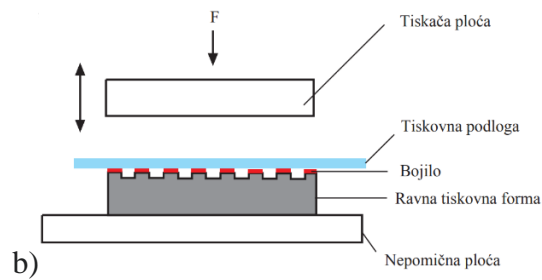


Slika 4.16 Elektrogravirna tehnologija[13]

Primjena tiskovnih formi za visoki tisak u knjigotiskarskim strojevima:

- Zaklopni strojevi: princip ploča-ploča; sila pritiska po cijeloj površini, ulaganje sa dvije propelerne hvataljke max. brzina 5500 ot/h, max. format 34 x 46 cm, tisak malih naklada (do 1000 kom).[12]



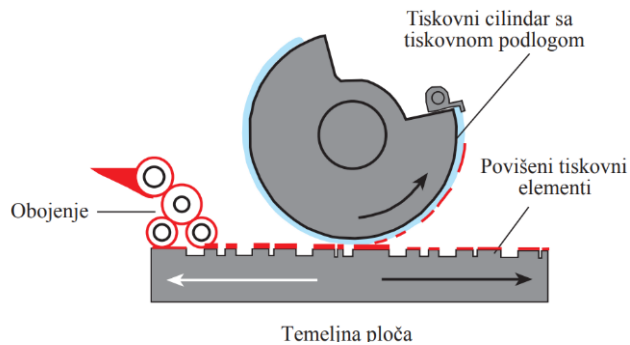


Slika 4.17 a) Princip ploča-ploča, b) Zaklopni knjigotiskarski stroj[12]

- Brzotisni strojevi: princip ploča-valjak; sila pritiska u maloj zoni, ulaganje universal sa ulagaćim pipcima max. brzina 5500 ot/h, max. format 82 x 64 cm, tisak srednjih naklada (do 35 000 kom)



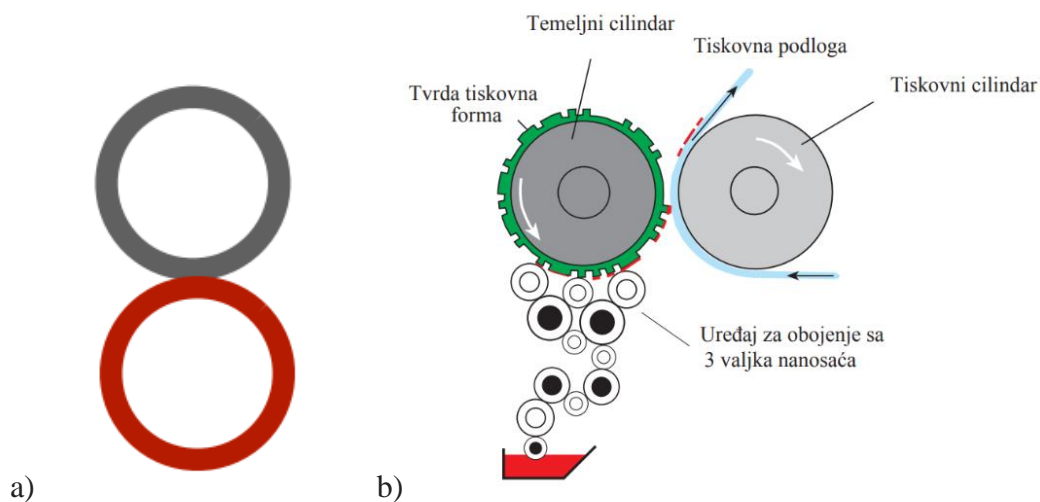
a)



b)

Slika 4.18 a) Princip ploča- valjak, b) Brzotisni knjigotiskarski stroj[12]

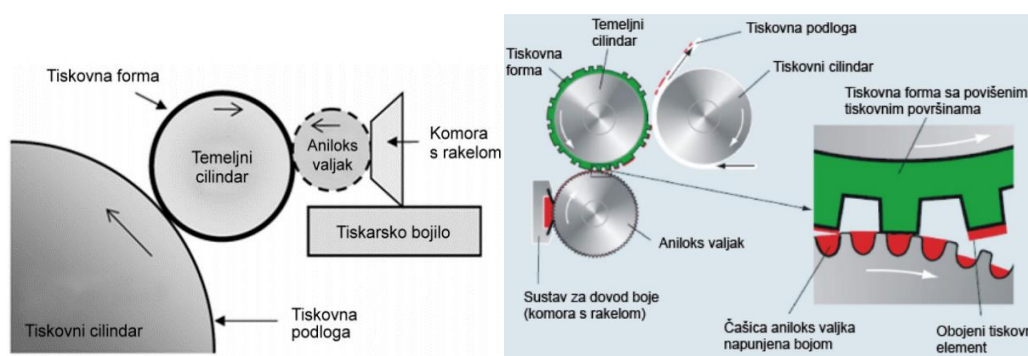
- Rotacioni strojevi: princip valjak-valjak; tisak iz arka i role, kombinirano ulaganje (max. brzina 8000 ot/h ili 1,88 m/s), max. format 102 x 71 cm, tisak velikih naklada (više od 35 000 kom)



Slika 4.19 a) Princip valjak-valjak, b) Rotacioni strojevi[12]

4.1.2 Tiskovna forma za fleksotisak

Fleksografski tisak (fleksotisak ili anilinski tisak) tehnika je izravnoga tiska s pomoću razmjerno mekane, fleksibilne tiskovne forme. Ta se tehnika najviše koristi za tisak ambalaže uz razmjerno nisku kvalitetu otiska. Tiskarski su strojevi jednostavne građe (temeljni i tiskovni valjak), koristi se razmjerno rijetka boja (male viskoznosti) pa nisu potrebni složeni uređaji za njezino nanošenje na tiskovnu formu, a kako su pritisci u tisku mali, strojevi ne moraju biti robusni. Fleksografski tisak danas omogućuje milijunske naklade na upojnim i neupojnim tiskovnim podlogama. [13]



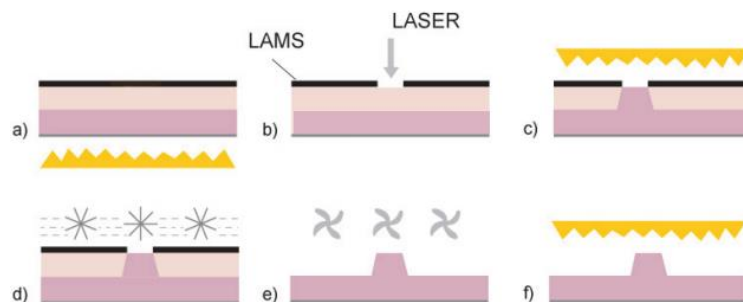
Slika 4.20 Princip rada fleksotiska[13]

Danas se najčešće koriste digitalni (eng. *Computer to Plate, CtP*) postupci izrade tiskovnih formi za fleksotisak. Osnovne značajke tih postupaka su primjena maske

(LAMS-*Laser Ablated Mask* ili TIL-film, ablacija laserom u CtP uređaju – odstranjivanje maske na mjestima tiskovnih elemenata i višestruka ekspozicija UV zračenjem (osvjetljavanje u kopirnim ramama, izlaganje tiskovnih formi UV zračenju). LAMS maska se nalazi predoslojena na površini fotosjetljivog polimera i uloga joj je identična ulozi grafičkog filma u konvencionalnom postupku. Osim tehnologije s LAMS maskom s vremenom je predstavljen još jedan postupak za izradu polimernih tiskovnih formi. Radi se o postupku koji koristi TIL film (eng. *Thermal Imaging Layer*). Uloga TIL filma je identična kao i kod LAMS maske, ali su faze izrade tiskovnih formi i način na koji se sloj maske koristi, u određenoj mjeri različite.

LAMS postupak izrade tiskovnih formi obuhvaća slijedeće faze izrade:

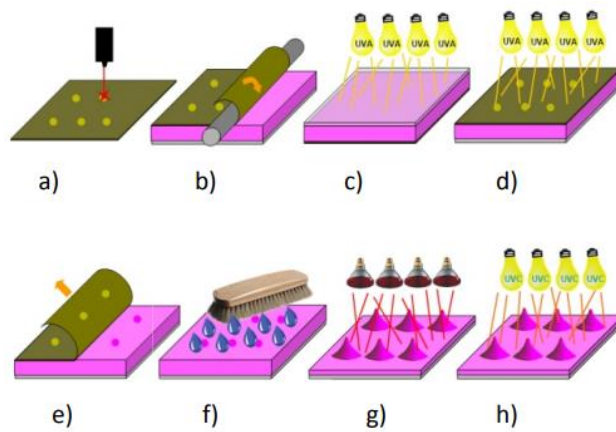
- a) Preekspozicija – izlaganje stražnjeg dijela tiskovne forme UV zračenju (UV-A)
- b) Ispis u CtP uređaju – ablacija LAMS maske (Laser ablated mask)
- c) Glavna ekspozicija – UV zračenje-formiranje TE (UV-A)
- d) Razvijanje – najčešće kemijsko razvijanje
- e) Sušenje
- f) Postekspozicija - UV zračenje (UV-A)



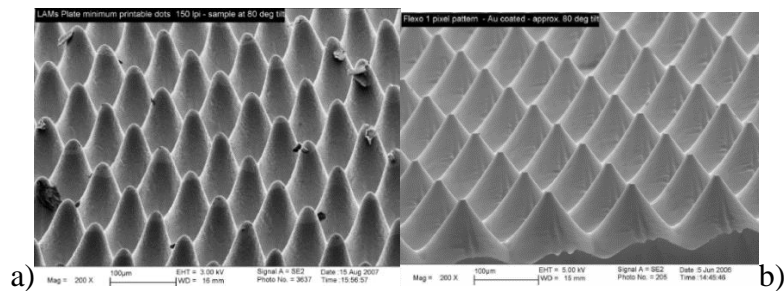
Slika 4.21 LAMS postupak izrade tiskovne forme[13]

TIL postupak izrade tiskovnih formi obuhvaća slijedeće faze izrade:

- a) Ablacija TIL filma laserom (Thermal Imaging Layer)
- b) Laminiranje filma na polimer
- c) Preekspozicija
- d) Glavna ekspozicija
- e) Uklanjanje TIL filma
- f) Razvijanje
- g) Sušenje
- h) Postekspozicija



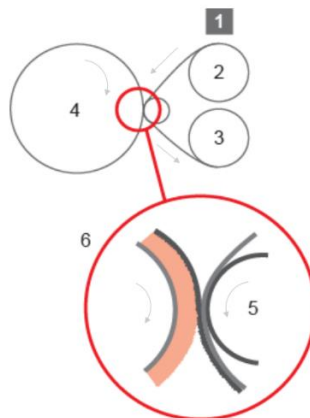
Slika 4.22 TIL postupak izrade tiskovne forme[13]



Slika 4.23 a) Tiskovni elementi izgled „metka“, LAMS - laser ablated mask, b) Tiskovni elementi izgled „stožac“ s ravnim vrhom, TIL - termal imaging layer[13]

Nakon glavne ekspozicije obrada polimera se najčešće provodi kemijskim i mehaničkim razvijanjem, a u novije vrijeme je predstavljen postupak termalnog razvijanja.

- Kemijsko razvijanje:
 1. Otopina razvijача na bazi organskih otapala, ili
 2. Razvijanje vodom
- Termalno razvijanje: primjena „*peel off*“ postupka
 - Postupak kod kojeg se ne koriste otopine razvijача za uklanjanje neosvjetljenog polimera, već se koristi posebna zagrijana tkanina koja „*peel off*“ postupkom uklanja topljivi dio polimera. [12]



Slika 4.24 Prikaz termalnog razvijanja[13]

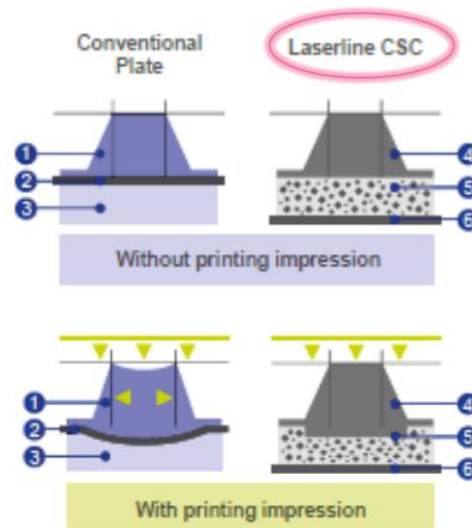
1. IR laser
2. Cilindar (nositelj tkanine)
3. Cilindar (nositelj iskorištene tkanine)
4. Buban (nositelj ;skovne forme)
5. Pri;сни cilindar
6. Uklanjanje neeksponiranog (topljivog dijela) polimera

Izrada tiskovne forme laserskim graviranjem

Danas se postupak laserskog graviranja koristi većinom za izradu tiskovnih formi koje su jednoslojne i građene od gumenih materijala. Sirovina koja se koristi za proizvodnju gume prirodni je ili sintetski kaučuk koji se obrađuje procesom vulkanizacije.

Vulkanizacijom se, uz dodatak prikladnih tvari, ponajprije sumpora (S), dobiva polimerni materijal velike elastičnosti, savitljivosti i žilavosti te dobre vlačne čvrstoće i otpornosti prema abraziji i bubrenju, pogodnim za izradu tiskovnih formi.

Kod izrade tiskovne forme, u prvoj fazi, na temelju informacije iz računala, laser prelazi po površini materijala i uklanja ga formirajući pritom slobodne površine. Višak uklonjenog materijala uklanja se sustavom za usisavanje ili, u nekim slučajevima, ispiranjem u vodi. Dobivena tiskovna forma izrađuje se najčešće u navedena dva koraka te je neposredno nakon graviranja spremna za proces otiskivanja. Za graviranje materijala na bazi gume većina sustava danas koristi CO₂ lasere velike snage, valne duljine od 10640 nm koji mogu gravirati gumeni materijal i pri tome formirati pravilni oblik tiskovnih elemenata.



Slika 4.25 CtP postupak lasersko graviranje[13]

Presjek tiskovne forme:

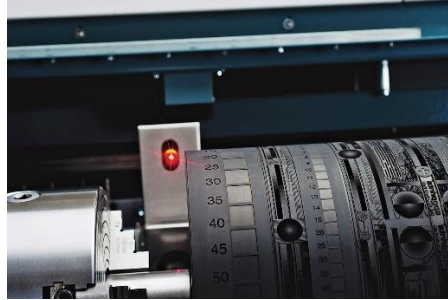
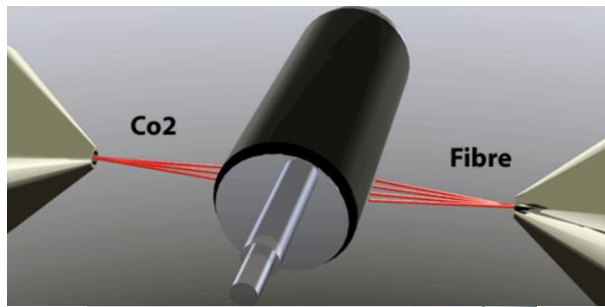
1. Polimerni sloj
2. Adhezijski sloj

3. Nosiva podloga
4. Elastomer
5. Kompresijski sloj
6. Osnova, baza

Izrada ovojnih tiskovnih formi za visoki tisak (eng. *sleeve*, rukavac)

Izravna izrada tiskovnih formi iz računala na materijale koji su tijekom ispisa postavljeni na cilindar postoji na tržištu već dvadesetak godina. U prvo vrijeme tiskovne su forme bile građene isključivo od gumenih materijala. Tehnologija ovojnih tiskovnih formi postala je ponovno aktualna kada se počeo koristiti postupak izravnog laserskog graviranja materijala koji gradi tiskovnu formu. U prvoj fazi primjene tiskovna forma je bila građena od gumenih materijala. Postupkom laserskog graviranja dobivena tiskovna forma proizvedena je u jednom koraku, a višak se materijala uklanjao sustavom za usisavanje. Takvim procesom izrade, radne faze, poput ispiranja, razvijanja i postekspozicije nisu potrebne, kao što je slučaj kod ostalih tiskovnih formi za fleksotisak. Za graviranje se koriste CO₂ laseri velike snage (2,5 kW), a dostupni su i sustavi sa kombinacijom CO₂ lasera i lasera s optičkim vlaknima koji se koriste kod graviranja složenijih motiva. Uvođenje polimernih materijala u takvu tehnologiju unaprijedilo je razinu kvalitete, što je omogućilo širu primjenu ovojnih tiskovnih formi na tržištu.

- Faze izrade:
 1. Postupak se bazira na laserskom graviranju gumenih klišeja
 2. Višak materijala se, nakon graviranja uklanja sustavom za usisavanje i time ne zahtjeva dodatne faze obrade poput ispiranja i razvijanja ostalih tiskovnih formi za fleksotisak, niti postekspoziciju
 3. Koriste se CO₂ lasere velike snage (2,5 kW), a moguća je i kombinacija sa vlaknastim laserom radi graviranja složenijih motiva.



Slika 4.26 a) Lasersko graviranje ovojne tiskovne forme, b) CtP Laserska izrada tiskovne forme[13]

- Prednosti:

- tiskovna forma se ne deformira kod postavljanja na temeljni cilindar tiskarskog stroja, već se oslikava u uređaju za ispis koji je istog promjera kao i temeljni cilindar, te se zapis na tiskovnu formu generira u obliku rukavca.
- Lakše se postiže registar u tisku, veća je ušteda vremena zbog bržeg postavljanja i demontiranja tiskovne forme.
- Kvaliteta otisaka – niže razine. [13]



Slika 4.27 Sleeve tiskovna forma[13]

4.2 Tiskovna forma za duboki tisak

Petnaesto je stoljeće obilježeno razvojem nove tehnike reprodukcije originala, a ime i novih tiskovnih formi. Tehnika graviranja na mekanim kovinama poput bakra i cinka pri izradi slika postaje vrlo moderan umjetnički izraz i zamjenjuje graviranje na drvetu. Na taj način nastaju prve tiskovne forme za duboki tisak

Neki smatraju da ga je otkrio firentinski zlatar Tomasso Finiguerra (1426.-1491.), renesansni zlatar, graver, crtač i dizajner.

Martin Schongauer (1448.-1491.) bio je jedan od najranijih umjetnika koji su rabili tehniku graviranja na bakru, a jedan od najpoznatijih umjetnika gravure bio je Albrecht Dürer (1471.-1528.) iz Nürnberga. [7]

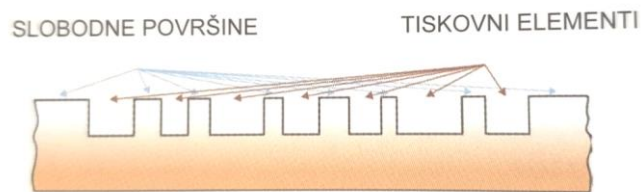


Slika 4.28 Albrecht Dürer[14]

U to vrijeme, zbog loše riješene tehnologije izrade tiskovne forme i otrovnosti boje, nema njene široke primjene. Veća primjena tehnologije dubokog tiska, a s njom i izrada tiskovnih formi, počinje u dvadesetim godinama 20.stoljeća kada su riješeni navedeni problemi.

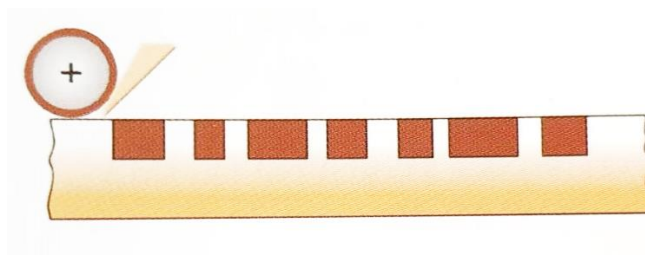
Tiskovna forma za duboki tisak po svojoj je građi na određeni način suprotna tiskovnoj formi za visoki tisak. Tiskovni se elementi i slobodne površine također razlikuju po svom geometrijskom položaju.

Za razliku od tiskovne forme za visoki tisak kod tiskovne forme za duboki tisak su elementi udubljeni, dok su slobodne površine izbočene i nalaze se u istoj ravnini.



Slika 4.29 Shema tiskovne forme za duboki tisak

Na tiskovnu se formu za duboki tisak boja nanosi pomoću valjaka po cijeloj njenoj površini, a višak se boje uklanja pomoću posebnog noža strugača (rakela). [7]

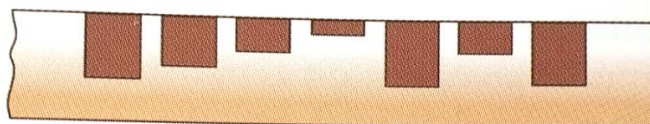


Slika 4.30 Nanos boje

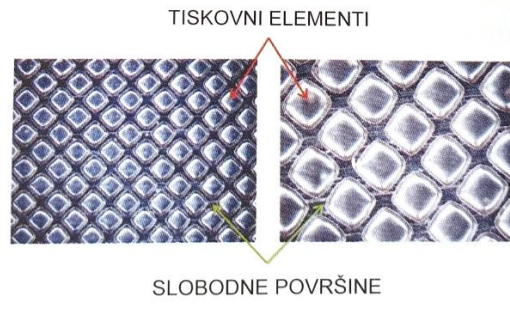
Kako su tiskovni elementi udubljeni oni zapravo predstavljaju čašice (vakuole) u koje dolazi boja. Zavisno o dubini čašica i njenoj površini postoje četiri tipa tiskovnih formi za duboki tisak.[7]

1. Konvencionalna tiskovna forma za duboki tisak

Kod konvencionalne tiskovne forme za duboki tisak svi tiskovni elementi imaju jednake površine (jednaki su i po obliku i po veličini), dok su im dubine čašica različite.[7]



a)



b)

Slika 4.31 a) Shema obične ili konvencionalne tiskovne forme za duboki tisak, b) Mikroskopska snimka konvencionalne tiskvne forme za duboki tisak

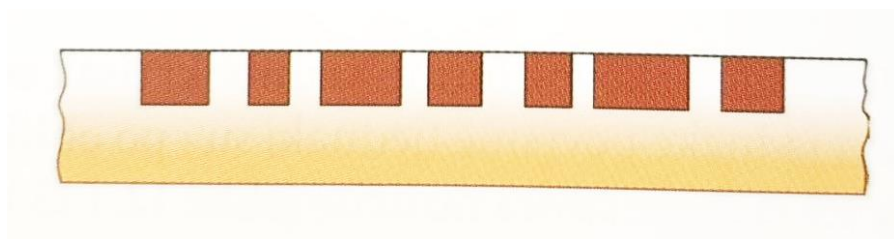
Kako u takve tiskovne elemente stane različita količina boje koja se pri otiskivanju prenosi na podlogu, dobiju se različite debljine nanosa boje, a time i pravi višetonski otisci.

Tiskovna se forma izrađuje od bakra kemijskim jetkanjem kovina (najčešće bakar), ali i osvjetljavanjem i razvijanjem fotopolimera.[7]

2. Autotipijska tiskovna forma za duboki tisak

Kod autotipijske tiskovne forme za duboki tisak tiskovni elementi (čашice, vakuole) imaju istu dubinu, ali različitu površinu.

To je varijanta dubokog tiska koja zadržava reljef iz konvencionalne tiskovne forme, ali ima simuliranu višetonsku reprodukciju. Volumen tiskovnih elementa je funkcija površine čашice i njom je definiran.



Slika 4.32 Shema autotipijske tiskovne forme za duboki tisak

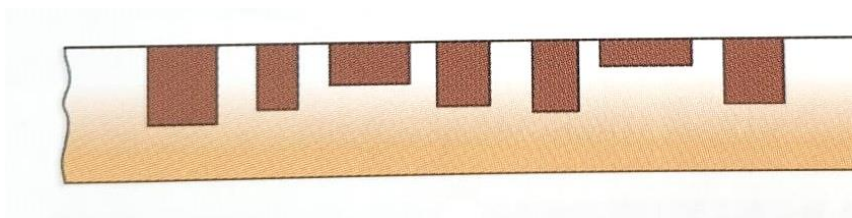
Kako svi tiskovni elementi imaju jednaku dubinu ali različitu površinu, primjenjuje se konvencionalni raster koji mijenja višetonsku sliku u jednotonsku pri čemu središta čашica moraju biti podjednako međusobno udaljena.

Iz takvih se tiskovnih elemenata na podlogu uvijek prenosi ista debljina nanosa boje pa tako autotipijske tiskovne forme daju uvijek jednotonske otiske. Sam naziv autotipijski dolazi od toga što se za reprodukciju višetonskih originala koristi autotipijska odnosno rasterska tehnika.

Autotipijska tiskovna forma se najčešće izrađuje od bakra, ali mogu se koristiti i druge kovine. Tiskovna se forma izrađuje i kemijskim otapanjem kovina. [7]

3. Kombinirana tiskovna forma za duboki tisak

Kombinacijom autotipijske i konvencionalne tiskovne forme za duboki tisak dobije se kombinirana tiskovna forma. Pri tome tiskovni elementi imaju i različitu površinu i različitu dubinu.



Slika 4.33 Shema kombinirane tiskovne forme za duboki tisak

U čašice koje predstavljaju tiskovne elemente stane različiti volumen boje pa se pri procesu tiska dobiju pravi višetonski otisci.

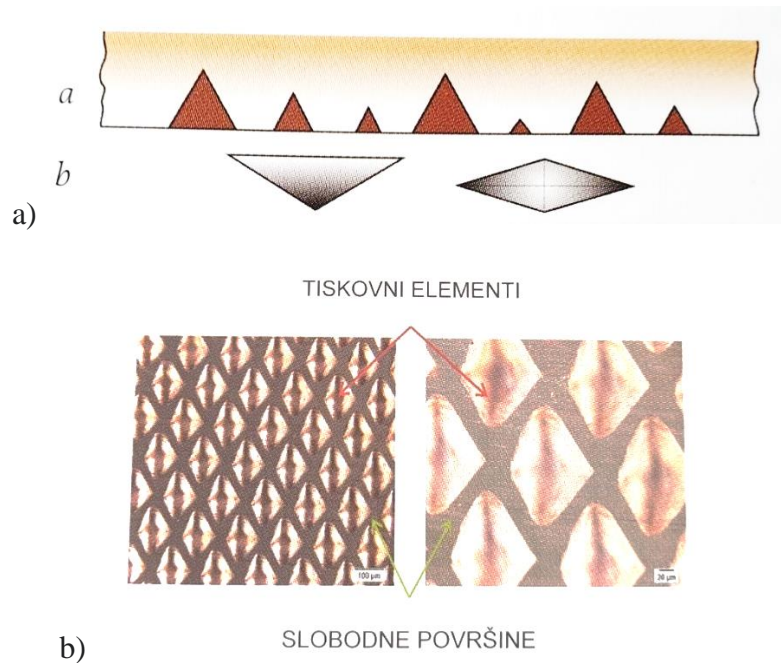
Kombinirana tiskovna forma za duboki tisak se također izrađuje kemijskim jetkanjem kovina (bakar, čelik), ali i osvjetljavanjem te razvijanjem fotopolimera.

4. Elektrogravirna tiskovna forma za duboki tisak

Kod elektrogravirne tiskovne forme za duboki tisak površina njihovih elemenata ovisi i njihovoj dubini.

Naime, tiskovna se forma izrađuje mehaničkim utiskivanjem u kovinu (bakar) pomoću gravirne igle te ovisno o dubini utiskivanja ovisi i površina tiskovnog elementa i količina boje koja stane u čašicu.

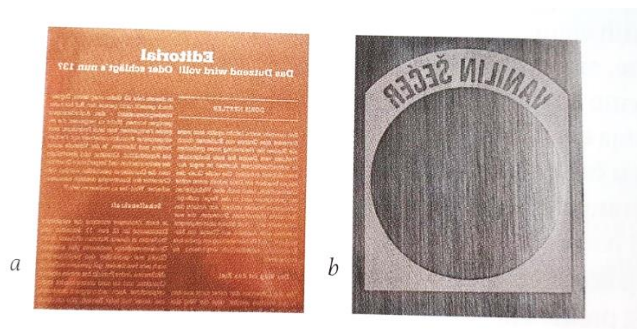
Skeniranjem predloška (jednotonski ili višetonski pozitiv ili negativ) pomoću svjetlosnog izvora u fotostanici se generira određena jakost fotostruje. Jakost fotostruje ovisi o gustoći zacrnjenja samog predloška te se takav signal šalje na gravirnu glavu na kojoj se nalaze dijamantne gravirne igle. Gravirna igla ima oblik deltoida te ovisno o jakosti struje je dobivena skeniranjem predloška gravirna igla mehanički udara po površini materijala od kojega se izrađuje tiskovna forma i prodire u njega stvarajući dublje ili pliće čašice. [7]



Slika 4.34 a) Shema elektrogravirne tiskovne forme za duboki tisak (a) i dijamantne igle (b), b) Mikroskopska snimka elektrogravirne tiskovne forme za duboki tisak

Budući da tiskovni elementi (čašice) elektrogravirne tiskovne forme imaju različit volumen, one daju prave višetonske otiske.

Budući da je tehnika dubokog tiska izravna tehnika, predložak i tiskovna forma su stranično neispravni.[7]



Slika 4.35 Elektrogravirna tiskovna forma za duboki tisak bakrena (a) i kromirana (b)

4.2.1 Tiskovna forma za bakrotisak

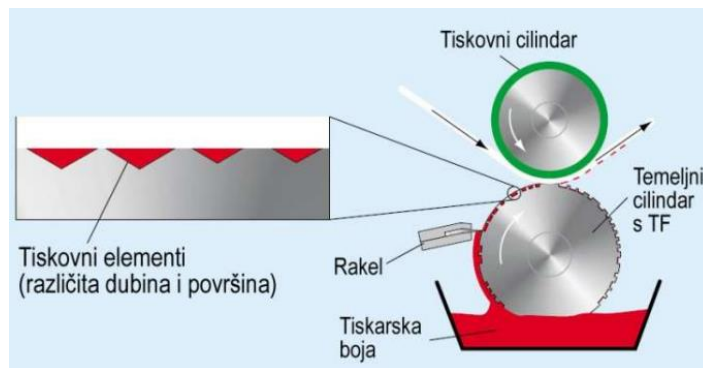
Bakrotisak je tiskarska tehnika dubokog tiska koja služi pretežito za otiskivanje ilustracija, revija, kataloga, savitljive ambalaže, tapeta, omotnih papira, ali i novčanica i drugih vrijednosnih papira. Tiskovna je forma u obliku ploča ili, mnogo češće, valjaka na kojima se nalazi tanak sloj bakra debljine do 200 μm . Tiskovni elementi, kao nositelji boje, udubljeni su s obzirom na površinu ploče ili valjka, a njihova je najveća dubina 50 do 60 μm . Tiskovna forma za konvencionalni (obični) bakrotisak ima tiskovne elemente u obliku rasterskih udubina koje su međusobno jednake po obliku i ploštini, a različite po dubini, što se na otisku očituje u različitom nanosu boje, koji omogućuje kvalitetnu izradbu višetonskih reprodukcija. Detalje ne reproducira tako oštro kao knjigotisak ili ofsetni tisak, ali daje vrlo bogatu skalu tonova u prijelazima između svjetla i sjene. Tiskovna forma za autotipijski bakrotisak ima također tiskovne elemente u obliku rasterskih udubina, ali su one jednake dubine, a različite ploštine. Količina boje, a s time i tonska vrijednost, regulira se prema tome ploštinom, a ne dubinom rasterske udubine. Ta se vrsta bakrotiska primjenjuje za tisak višebojnih reprodukcija.

Povijesni razvoj: umjetničke tehnike dubokog tiska, 1446. g. – u Njemačkoj. Ručno graviranje površine metala s oštrim predmetima – bakrorez, suha igla.[1]



Slika 4.36 Dragutin Renarić, višebojni otisak, bakrorez, Muzej u Križevcima[15]

1500. g. – primjena procesa kemijskog otapanja metala kako bi se izradila tiskovna forma za duboki tisak. Površina metala se zaštitila s tankim kemijski postojanim slojem (asfaltni lak ili vosak) koji se ručno uklanjao s mjesta na kojem je trebala biti slika - bakropis. Nezaštićene površine su jetkane kako bi se dobile tiskovne površine. Koristili su se materijali Cu, Zn, Fe, čelik. [1]



Slika 4.37 Princip rada s tiskovnom formom za duboki tisak – baktisak[13]

Primjena tiskovnih formi za duboki tisak – baktisak:

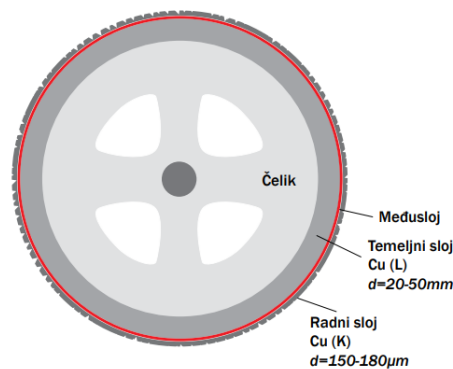
- velika izdržljivost TF – velike naklade, visoka kvaliteta reprodukcija
- tisak na različite ambalažne materijale (Al folije, različite polimerne folije - PP, PE, PET)
- tisak etiketa

- za reprodukciju časopisa i kataloga (rjeđe)

Vrste tiskovnih formi za bakrotisak su: autotipijska, konvencionalna, kombinirana i elektrogravirna.

Presjek tiskovne forme za bakrotisak:

- Čelik – osnova cilindra
- Temeljni sloj Cu –lužnati postupak bakrenja (EK)
- Međusloj – kemijsko taloženje metala
- Radni sloj Cu – kiseli postupak bakrenja (EK). U njemu se izrađuje TF (dubina TE – cca 50 μm , optimalna).



Slika 4.38 Presjek tiskovne forme za bakrotisak[13]

Prijenos slike na tiskovnu formu za duboki tisak s može odvijati na dva načina:

1. Fotomehanički postupci

- Koristi se film (predložak) za prijenos informacije
- Izravni postupci (autotipijski bakrotisak)
- Neizravni postupci (konvencionalni bakrotisak)

2. CtP postupci

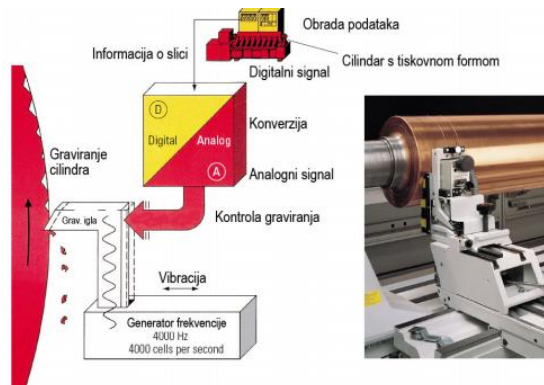
- Elektromehanički postupci
- Ablacijski postupci

- Laserski postupci
- Computer to Press postupci

Elektromehanički postupci

- Heliogravura ili graviranje dijamantnom iglom, danas aktualni, najčešći postupci
- razvijeni 1970. godina – Rudolf Hell
- prienos informacije s računala na TF za duboki tisak predstavlja prvi CtP sustav primijenjen u grafičkoj reprodukciji. Takav sustav je pokrenuo ideju za općenito eliminiranje faze izrade filmova (predložaka) iz procesa izrade tiskovnih formi.

Uobičajeni naziv uređaja za elektro-mehaničko graviranje je klišograf.



Slika 4.39 Elektro mehanički postupak- „Klišograf“ [13]

Na temelju informacije iz računala u gravirnom dijelu električna struja pokreće gravirnu iglu i ona urezuje dublja ili plića udubljenja tiskovnoj formi, ovisno o jačini struje.

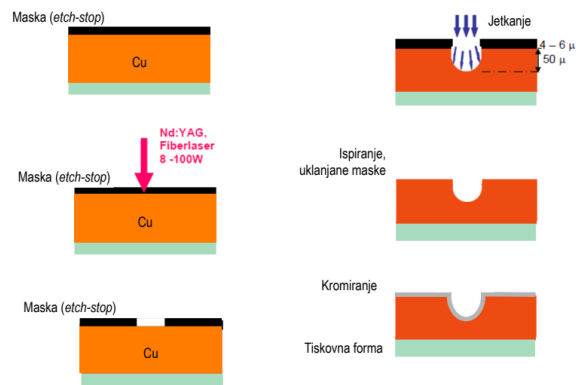
Postoje CtP uređaji s jednom ili više elektrogravirnih glava.

- CtC (*Computer to Cylinder*) – digitalna ablacija maske

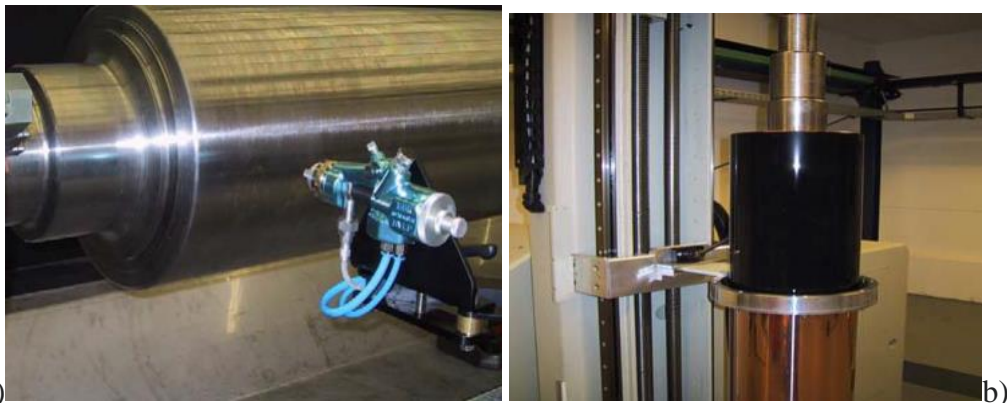
Faze izrade :

1. OSLOJAVANJE - metalni cilindar se oslojava crnom maskom uranjanjem cilindra ili raspršivanjem maske (tzv. etch stop mask – zaštita pri jetkanju)

2. UKLANJANJE MASKE - laser rezolucije $3\mu\text{m}$ termalnom ablacijom uklanja masku na mjestima budućih tiskovnih površina (1064 nm) – u uređaju za ispis
3. JETKANJE BAKRA – cilindar se uranja u otopinu FeCl_3 koja otapa bakar na mjestima tiskovnih površina
4. ISPIRANJE – uklanjanje cijele (preostale) maske s bakra
5. KROMIRANJE



Slika 4.40 CtP digitalna ablacija maske[13]

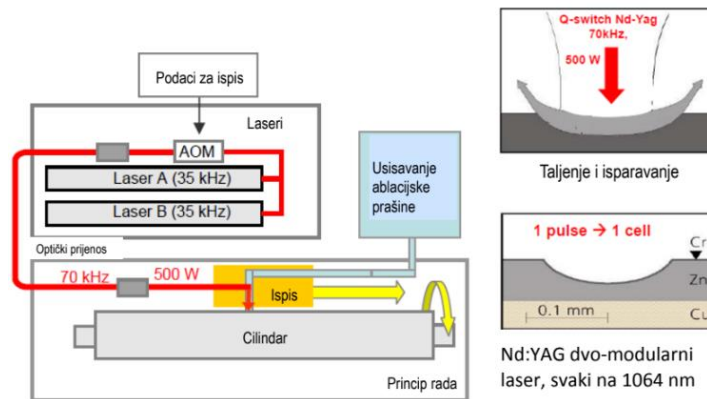


Slika 4.41 a) Oslojavanje raspršivanjem maske po površini cilindra, b) Oslojavanje uranjanjem uranjanjem cilindra radi formiranja maske[13]

- CtC – laserska ablacija cilindra

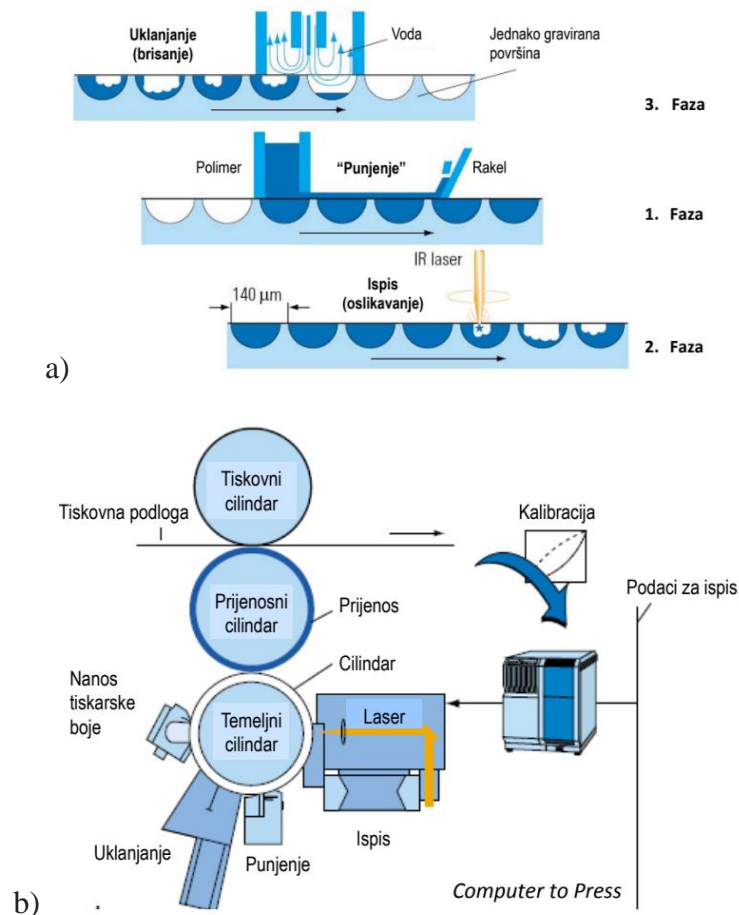
Izravni ispis laserom po površini cilindra (Zn, Cu), dolazi do taljenja metala (ablacija) na mjestima tiskovnih površina. Jedna faza izrade,

primjena u ambalaži i dekorativnoj industriji. Primjena lasera velike snage. Potrebna su visoka ulaganja u ovu tehnologiju.[13]



Slika 4.42 CtC laserska ablacija cilindra[13]

- DICO tehnologija za duboki tisak



Slika 4.43 a, b) DICO tehnologija za duboki tisak

5. EKSPERIMENTALNI DIO

Metodologija rada uključuje provedbu slijedećih radnih faza: izbor i priprema materijala koji će graditi tiskovnu formu za visoki tisak, priprema digitalnog dokumenta za ispis, prijenos motiva i obrada materijala mehaničkim i laserskim graviranjem, provedbu mjerenja i usporedbu dobivenih rezultata kako bi se mogla procijeniti učinkovitost postupaka mehaničkog i laserskog graviranja u izradi reljefnih tiskovnih formi.

5.1. Materijali i uređaji

U radu su korišteni slijedeći materijali: komercijalno dostupni polimerni materijal polikosimetilen (POM) te pripremljeni kompozitni materijal građen od biorazgradivih polimera, polikaprolaktona (PCL), polilaktidne kiseline (PLA) i kokosovih vlakana (KV) u omjeru PCL/PLA/KV 70/30/3%. Polimerna mješavina PCL/PLA/KV je izdvojena za testiranje jer se u prijašnjim testiranjima takva biorazgradiva mješavina pokazala povoljnom za izradu tiskovne forme za visoki tisak [16-17].

5.1.1. Izbor i priprema materijala

Polikosimetilen

Polikosimetilen (POM) je jedan od materijala koji se pojavio u posljednje vrijeme na tržištu, a upotrebljava se za izradu tiskovne forme za dobivanje reljefnog otiska i otiskivanje folijom. POM je plastomerni materijal postojećih mehaničkih svojstava na temperaturama od -40 do 85 °C. Upotrebljava se kao konstrukcijski materijal za izradu dijelova strojeva i različitih uređaja. Ima izuzetno široku primjenu, a kod izrade tiskovnih formi za visoki tisak obrađuje se laserskim graviranjem. Unatoč povoljnim svojstvima i širokoj primjeni, POM pripada skupini plastičnih materijala koji su ekološki nepovoljni zbog zahtjevne razgradnje, a u slučaju termičke obrade POM otpušta formaldehid, otrovni plin koji može izazvati iritaciju kože, oči i dišnih putova te alergijske reakcije [18-19]

Polilaktidna kiselina

Polilaktidna kiselina (PLA) je biorazgradivi i bioaktivni termoplastični alifatski poliester. Otkrio ju je 1932. godine Carothers i od 1960-ih počela se smatrati velikim potencijalom kao biorazgradiva smola za medicinske svrhe. Dobiva se iz obnovljivih

prirodnih izvora, šećera (dekstroze, glukoze i saharoze), šećerne repe, melase ili iz škroba dobivenog iz kukuruza, pšenice i riže. Na sobnoj temperaturi polilaktid je krta, neovisno o stupnju kristalnosti, netopljiv je u vodi, ali se otapa u organskim otapalima. Čisti PLA ima temperaturu staklastog prijelaza (T_g) između 50 i 60 °C i talište (T_m) oko 180 °C. Iznad staklišta PLA je u visoko elastičnom, a ispod u staklastom stanju [18-20].

Potencijalna primjena PLA obuhvaća materijale za ambalažu i spremnike, materijale za poljoprivredu i materijale za kompostiranje. Kombinacija svojstava kao što su transparentnost i biorazgradivost čine polilaktidnu kiselinu pogodnim materijalom za pakiranje. Ovi biorazgradivi polimeri mogu ponuditi različita rješenja za ekološke probleme s otpadom koji nije biorazgradiv. Danas se već primjenjuju na tržištu kao zamjenski materijali za boce, čaše, pribor za jelo, igračke za djecu, filmovi i folije, a također je moguće izraditi i filamente za 3D printere.

Kako bi mu se proširilo područje primjene, pokazalo se da se miješanjem s različitim fleksibilnim polimerima može povoljno utjecati na mehanička svojstva PLA.

Istraživanja su pokazala da u mješavini s polikaprolaktonom (PCL) nastaju materijali širokog spektra fizikalnih svojstava i biorazgradivosti [23-25].

Polikaprolakton

Polikaprolakton (PCL) sintetički je poliestar koji se proizvodi iz sirove nafte i u potpunosti je biorazgradiv. Hidrofoban je, semikristalni polimer s temperaturom taljenja na oko 60 °C te temperaturom staklastog prijelaza oko -60°C. PCL je razgradljiv u prirodi od strane bakterija i gljivica, ali nije razgradljiv unutar ljudskog ili životinjskog organizma radi nedostatka određenih ređenih enzima. Čistom PCL-u su potrebne dvije do četiri godine da bi se u potpunosti razgradio, ovisno o molekularnoj masi polimera. Žilav je pa je pogodan za miješanje s drugim polimerima, poput celuloznog propionata, celuloznog acetata, butirata te polilaktidne kiseline, kako bi im povećao otpornost na pucanje. Zbog svojih svojstava ima veliki potencijal za korištenje u medicinske svrhe gdje se najviše istražuje u području stvaranja umjetnih tkiva.

Kokosova vlakna

Kokosova vlakna (KV) su prirodna vlakna dobivena iz kore kokosa. Nalaze se između unutarnje kore i vanjske opne. Vlakna su tanka i šuplja s debelim celuloznim stijenkama. Kod mladih plodova vlakna su blijeda, ali kasnije postaju tvrđa kada se sloj lignina nataloži na stijenke. Duljina vlakana je od 10 do 30 cm. Relativno su voodootporna i jedna su od nekoliko prirodnih vlakana otpornih na slanu vodu. Godišnje se proizvede oko 250 tisuća tona kokosovih vlakana. Koriste se za izradu raznih prostirki, četki, užadi, mreža za ribolov. Imaju primjenu u poljoprivredi kao gnojivo i supstrat za uzgoj gljiva, a s obzirom na to da pojedine vrste sadrže veliki broj kolonija dobrih gljivica služe i kao biološka kontrola protiv patogenih gljivica na biljkama [25]. U ovom radu su korištena kao kompatibilizatori, odnosno materijal kojem je svrha bolja mješljivost PCL i PLA komponenata.

5.1.2. Korišteni uređaji

- Brabender, gnjetelica - zamješavanje komponenata polikaprolaktona (PCL), polilaktidne kiseline (PLA) i kokosovih vlakanaca (KV) je provedeno pri temperaturi od 190 °C i brzini okretaja pužnih vijaka od 60 rpm u vremenu od 5 min (Slika 5.1). Dobivena talina je prebačena na teflonsku podlogu i usitnjena rezanjem.



Slika 5.1 Brabender, gnjetelica

- Fontune, uređaj za prešanje - pločice materijala su pripravljene u kalupu dimenzija 10 x 10 cm, visine 1,4 mm. Mješavina PCL/PLA/KV prešana je na 190 °C (Slika 5.2).



Slika 5.2 Fontune, uređaj za prešanje

- Uređaj za mehaničko graviranje



Slika 5.3 ReproGrav-IS700

- Uređaj za lasersko graviranje



Slika 5.4 Trotec Speedy 100

- Zwick Roell uređaj - mjerenje tvrdoće različitih materijala po Shore A i Shore D metodi (Slika 5.5)



Slika 5.5 Uređaj za mjerenje tvrdoće

- TESA - MICROMASTER RS IP – digitalni mikrometar (Slika 5.6)



Slika 5.6 Digitalni mikrometar

- Mahr GmbH PS 10 SET - hrapavost površine je mjerena pomoću elektroničko-mehaničkog uređaja s ticalom (Slika 5.7).



Slika 5.7 Uređaj za mjerenje hrapavosti površine

- mikroskop Olympus BX 5 – omogućava snimanje uzoraka na povećanju od 50× do 1000× (Slika 5.8).



Slika 5.8 Mikroskop Olympus BX 5

- AniCAM 3D skenirajući mikroskop - uređaj za 2D i 3D analizu profila tiskovnih elemenata na tiskovnoj formi za visoki tisak, te analizu oblika čašice na tiskovnoj formi za duboki tisak i aniloks valjku (Slika 5.9)



Slika 5.9 3D skenirajući mikroskop

5.2. PRIPEMA MATERIJALA I GRAVIRANJE TISKOVIH FORMI

5.2.1. Priprema materijala

Imajući u vidu da je tema ovog rada primjena procesa mehaničkog i laserskog graviranja u izradi tiskovnih formi, dva su materijala korištena u istraživanju. U radu je korišten komercijalni materijal polioksimetilen koji se u izradi tiskovnih formi primarno obrađuje laserskim graviranjem, te je pripravljena polimerna mješavina od

biorazgradivih polimera, polikaprolaktona (PCL), polilaktidne kiseline (PLA) i kokosovih vlaknaca (KV) (Slika 5.10).

Polimerna mješavina sastava PCL/PLA/KV u omjeru od 70% PCL-a, 30% PLA i 3% kokosovih vlakna zamiješana je u uređaju, tzv. gnjetelici. Brabender gnjetelica se sastoji od dvije povezane komore u kojima se pužni vijci rotiraju u suprotnom smjeru s uskim međuprostorom uz stijenku. Stijenke i valjci se zagrijevaju pomoću grijača.



Slika 5.10 Uzorci biorazgradivih materijala

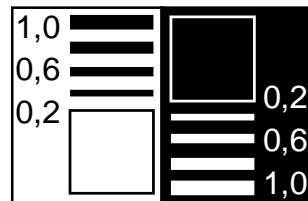
Uzorci materijala su stavljeni u gnjetelicu i zamiješani pri temperaturi od 190 °C jer je ta temperatura dovoljna za potpuno taljenje PLA. Brzina rada gnjetelice je bila podešena na 60 okretaja u minuti. Uzorci su se u gnjetilici miješali 5 minuta nakon čega je dobivena kompaktna mješavina koja je nožićem usitnjena na male dijelove. Zatim su od usitnjenih uzoraka napravljene pločice dimenzije 10 × 10 cm, visine 1,4 mm u preši pri 190 °C i tlaku od 16 MPa. Proces prešanja je trajao oko sedam minuta, od toga je dvije minute trajalo predgrijavanje i pet minuta prešanje. Dobivene pločice su nakon hlađenja bile spremne za daljnja ispitivanja.

Na pripremljenim materijalima provedena su slijedeća mjerenja:

- širina linija
- tvrdoća materijala
- hrapavost površine
- visina materijala
- 3D profil materijala
- mikroskopska analiza

5.2.2. Priprema motiva

Za potrebe izrade tiskovnih formi pripremljen je motiv koji sadrži linije različitih širina, u pozitivu i negativu kako bi se ustanovila mogućnost formiranja linija u promatranim uzorcima imajući u vidu različite postupke graviranja. Motiv koji je pripremljen za graviranje nalazi se na slici 5.11. Sadržavao je linije u pozitivu i negativu od 0,2, 0,4, ..., do 1,0 mm širine te kvadrat veličine 5×5 mm.



Slika 5.11 Motiv za graviranje

5.2.2.1. Mehaničko graviranje tiskovnih formi

Uređaj za mehaničko graviranje proizvođača ReproGrav IS700 sastoji se od konzole, poprečne grede, na kojoj je pomična glava, te temelja ploče. Za proces graviranja korišteno je glodalo debljine 0,15mm. Samo upravljanje CNC strojem kontrolira se preko RdWorks V8 programa. U prvom koraku se postavi materijal na radnu površinu, u programu se namjesti dubina graviranja, te se pokrene CNC stroj.

5.2.2.2. Lasersko graviranje tiskovnih formi

Uređaj za lasersko graviranje proizvođača Trotec Speedy 100 koristi CO₂ laser, sastoji se od komore u kojoj je pomično postolje za materijale, te pomična laserska glava jačine 30W. Za graviranje je korišteno 70% snage lasera što je od prilike jačine 20W.

Upravljanje strojem vršili smo preko programa Trotec job control 6.4.5. Prije pokretanja procesa graviranja, potrebno je odrediti nultu točku lasera i odrediti visinu između materijala i laserske glave koja je bila 2,5 cm. Tijekom graviranja oslobađa se plin te je bilo potrebno usisivanje zraka.

5.3. PROVEDBA MJERENJA

5.3.1. Mjerenje tvrdoće materijala

Tvrdoća materijala je definirana kao lakoća kojom materijal može biti zarezan, probušen ili podložan abraziji. To je jedno od svojstava materijala, koje kod tehničkih materijala ovisi o sastavu i strukturi materijala, temperaturi tijela, brzini prodiranja i dr. Tvrdoća plastike, gume i njima sličnih materijala mjeri se po tzv. Shore D metodi, kod koje se čelična igla utiskuje u materijal s pomoću priručnog uređaja s oprugom. Uređaj se naziva durometar. Postupak se provodi tako da se složi uzorak od nekoliko slojeva materijala, visine minimalno 4 mm.

Tvrdoća po Shoreu zasniva se na mjerenju elastičnog odskoka igle s čeličnim ili dijamantnim vrhom, određene mase, kod pada na ispitivani materijal s određene visine, pri čemu se mjeri visina odskoka. Visina odskoka je proporcionalna tvrdoći materijala. Skala tvrdoće je od 0 za materijale male tvrdoće, kada se igla u cijelosti utisne u uzorak, do 100, kada je dubina utiskivanja 0 ili nema nikakvog utiskivanja. Mjerenje se provodi po ASTM D2240 metodi „Standard Test Method for Rubber Property - Durometer Hardness“.

5.3.2. Mjerenje hrapavosti površine

Hrapavost površine je u mikrogeometrijska nepravilnost površine, koja nastaje tijekom postupaka obrade određene površine ili drugih utjecaja. Hrapavost površine u određenim slučajevima bitno utječe na funkcionalna svojstva različitih materijala i predmeta, posebno na mjestima međusobnog spoja pojedinih elemenata (trenje, zračnost, podmazivanje).

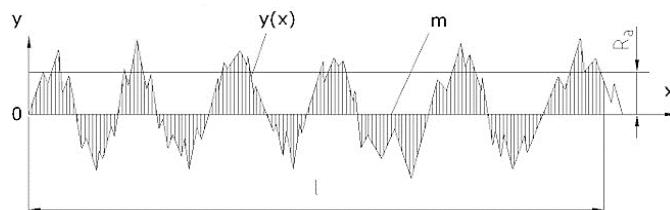
Veličina hrapavosti obično se mjeri obzirom na srednju referentnu liniju profila neravnine, koja dijeli profil tako da je unutar mjerne duljine l veličina svih kvadrata odstupanja profila od te crte najmanja. Mjerna duljina l ovisna je o vrsti i kvaliteti obrade, te o metodi mjerenja. Izbor metoda profiliranja i parametara hrapavosti definiran je međunarodnim standardima (ISO 11562, DIN 4777, DIN 4762).

Za potrebe karakterizacije materijala korištenih u ovom radu mjerena su dva osnovna parametra hrapavosti:

- R_a - srednje aritmetičko odstupanje profila, koje je jednako srednjoj aritmetičkoj vrijednosti apsolutnih vrijednosti visine profila neravnina na mjernoj duljini l (DIN 4768, ISO/DIS 4287-1)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (1)$$

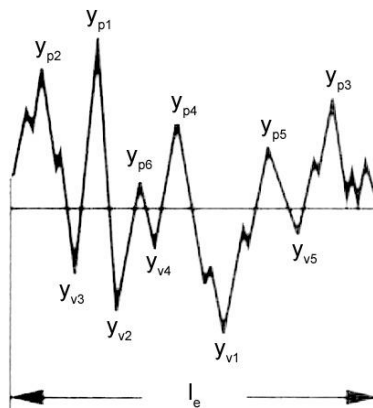
gdje je: R_a [μm] - srednje aritmetičko odstupanje profila, l [μm] - mjerna duljina hrapavosti površine, $y(x)$ [μm] - visina profila hrapavosti s obzirom na srednju referentnu crtu, n - broj točaka procjenjivanja visine profila uzduž mjerne duljine (Slika 5.12).



Slika 5.12 R_a parametar

- R_z (ISO) - srednja visina neravnina u deset točaka; numerički je razlika srednje visine između pet najviših vrhova (*p-peak*) i pet najnižih dolova (*v-valley*) unutar referentne duljine, l_e (ISO 4287-1, DIN 4762), često se koristi pri nekontaktnim mjerenjima;

$$R_{zISO} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 y_{pi} + \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 y_{vi} \quad (2)$$



Slika 5.13 R_z parametar

5.3.3. Mjerenje visine tiskovnih elemenata

Visina uzoraka materijala je mjerena korištenjem digitalnog mikometra Tesa. Mjerena je vrijednost visine materijala prije graviranja i dubina reljefa kako bi se dobila informacija o dubini gravirane površine, odnosno, visini tiskovnih elemenata.

5.3.4. Mjerenje 2D i 3D profila materijala

Radi detaljne analize dobivenih tiskovnih elemenata na promatranim uzorcima provedena je 2D i 3D analiza graviranih površina. Pri tome je korišten 3D skenirajući mikroskop, uređaj koji omogućava analizu profila tiskovnih elemenata na tiskovnoj formi za visoki tisak, te analizu oblika čašice na tiskovnoj formi za duboki tisak i na aniloks valjku.

5.3.5. Mikroskopske analiza linija

Mikroskopske snimke omogućile su praćenje izgleda linija dobivenih graviranjem, njihovu pravilnost te određivanje njihove širine obzirom na računalno definirane linije za ispis.

6. REZULTATI I RASPRAVA

6.1. Rezultati mjerenja tvrdoće materijala

Mjerenja tvrdoće promatranih uzoraka su provedena koristeći durometar, po metodi Shore D. Mjerenja su provedena na 10 različitih mjesta uzoraka te su srednje vrijednosti prikazane u Tablici 1.

Tablica 2 Rezultati mjerenja tvrdoće materijala

Materijal	Udio (%)	Tvrdoća (Shore D)
POM	100	71,79
PCL/PLA/KV	70/30/3	54,06

Iz rezultata je vidljivo da komercijalni materijal, polioksimetilen ima veću tvrdoću od polimerne mješavine na bazi polikaprolaktona (PCL), polilaktidne kiseline (PLA) i kokosovih vlaknaca (KV). Takav rezultat je očekivan s obzirom da je osnova polimerne mješavine PCL (70%) koji je po svojim svojstvima izuzetno žilav materijal te je iz tog razloga pogodan za miješanje s drugim polimerima kako bi im povećao otpornost na pucanje.

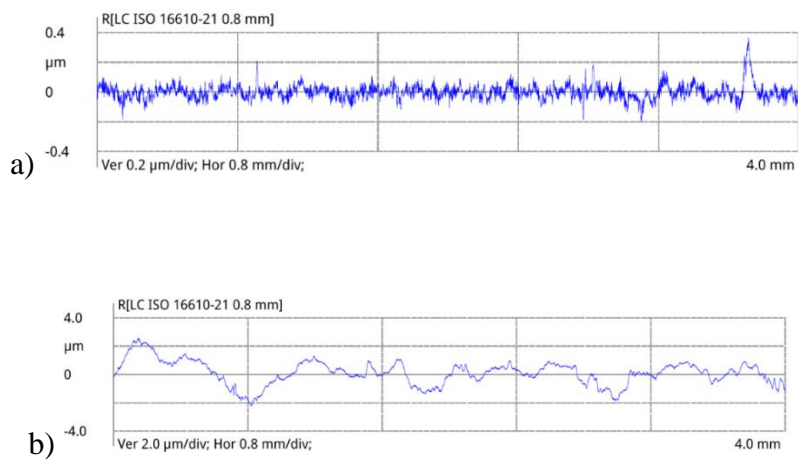
6.2. Rezultati mjerenja hrapavosti površine

Hrapavost površine je mjerena na uzorcima kako bi se utvrdila površinska struktura promatranih materijala i tiskovnih elemenata. Hrapavost je mjerena mehaničkim uređajem s ticalom. Svako mjerenje je provedeno po 5 puta na različitim mjestima uzoraka. U Tablici 2 prikazani su rezultati srednje vrijednosti parametara R_a i R_z .

Tablica 3 Rezultati mjerenja parametara hrapavosti

Materijal	Udio (%)	R_a (μm)	R_z (μm)
POM	100	0,035	0,368
PCL/PLA/KV	70/30/3	0,809	3,858

Iz rezultata mjerenja je vidljivo da je hrapavost površine polimerne mješavine PCL/PLA/KV u puno većoj mjeri izražena. Vrijednost R_a parametra koji određuje srednje aritmetičko odstupanje profila je na uzorku POM-a izmjerena $0,035 \mu\text{m}$, a kod polimerne mješavine $0,809 \mu\text{m}$. Srednja visina neravnina u deset točaka koja se određuje R_z parametrom je isto tako izražajnije kod PCL/PLA/KV mješavine. Takvi su rezultati i očekivani obzirom da je uzorak materijala POM-a komercijalno dostupan i tvornički obrađen za primjenu a uzorci mješavine PCL/PLA/KV su laboratorijski pripremljeni i njihova hrapavost ovisi o strukturi mrežice u kojoj je provođeno prešanje. Profili površina prikazani su na Slici 6.1.



Slika 6.1 Prikaz profila površine za uzorke: POM (a) i PCL/PLA/KV (b)

6.3. Rezultati mjerenja visine materijala

Mjerenja visine promatranih uzoraka provedena su pomoću mikrometra. Mjerenja su provedena pet puta na različitim mjestima uzoraka na materijalima prije graviranja i nakon graviranja kako bi se dobila informacija o dubini reljefa, odnosno, visini tiskovnih elemenata. Srednje vrijednosti mjerenja prikazane u Tablici 4.

Tablica 4 Rezultati mjerenja visine tiskovnih elemenata

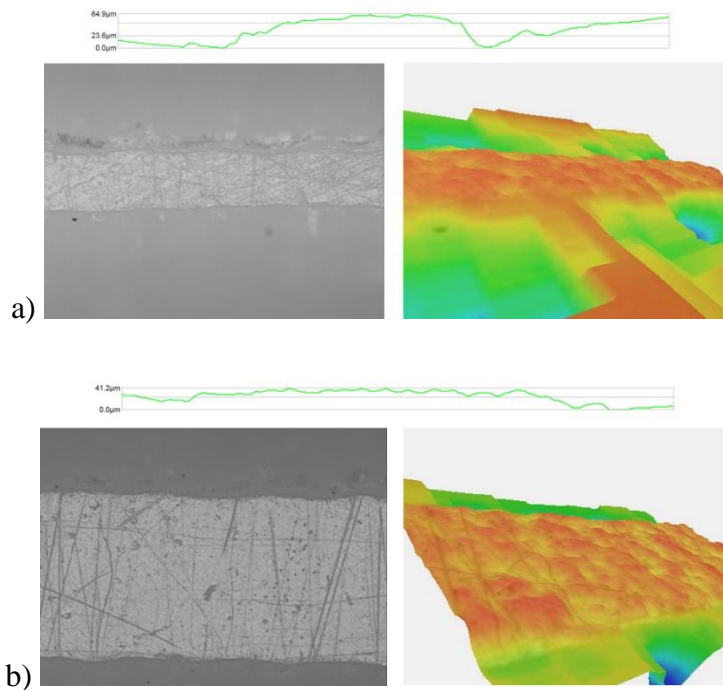
Materijal	Udio (%)	Visina uzorka (mm)	Visina tiskovnih elemenata, mehaničko graviranje (mm)	Visina tiskovnih elemenata, lasersko graviranje (mm)
POM	100	1,602	0,160	0,006
PCL/PLA/KV	70/30/3	1,389	0,284	0,028

Iz rezultata mjerena je vidljivo da je općenito primjenom laserskog i mehaničkog graviranja visina tiskovnih elemenata manja na uzorcima POM-a, u odnosu na visinu tiskovnih elemenata polimerne mješavine. Razlog tome je mogućnost finijeg podešavanja parametara laserskog zračenja u odnosu na mehaničku iglu.

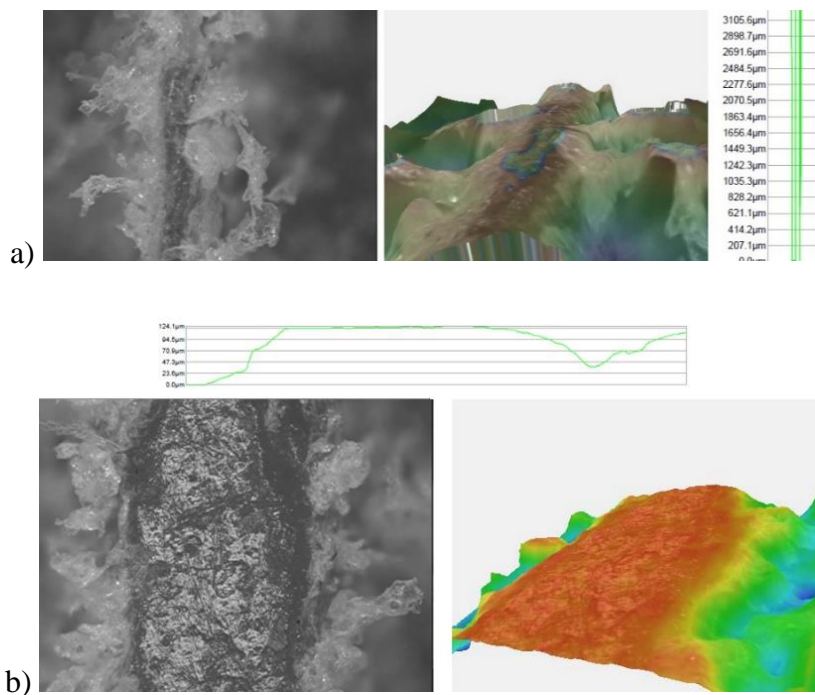
Pretpostavljeno je da će vrijednosti visine tiskovnih elemenata, neovisno o materijalu biti ujednačene, ali očito zbog različitog djelovanja lasera i uzoraka te mehaničke igle i uzoraka takvu ujednačenost nije moguće postići. Može se zaključiti da se prilikom pripreme materijala za proces graviranja treba provesti detaljna analiza svih parametara vezanih u način graviranja i materijal kako bi se postigla optimalna (željena) dubina reljefa, odnosno, visina tiskovnih elemenata.

6.4. Rezultati mjerenja 3D profila materijala

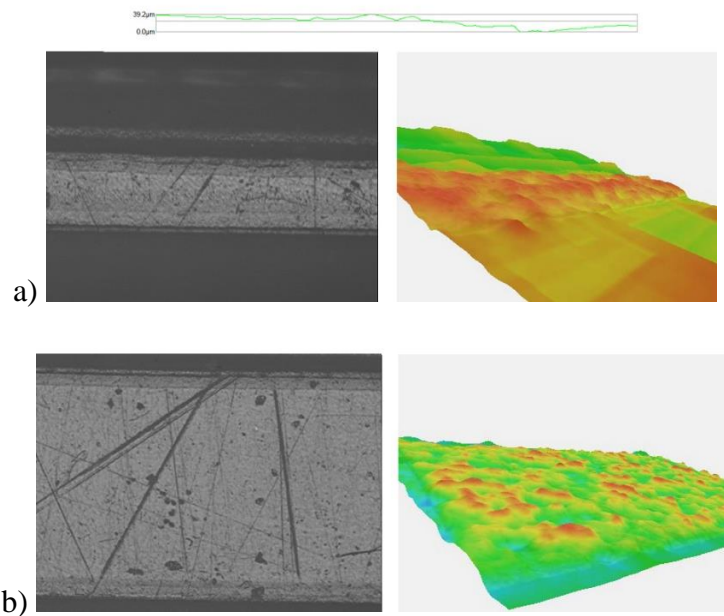
U nastavku su prikazane 2D i 3D slike profila uzoraka tiskovnih formi. Slike 6.2 do 6.5 prikazuju 2D i 3D prikaze dviju linija na POM-u nastale mehaničkim i laserskim graviranjem.



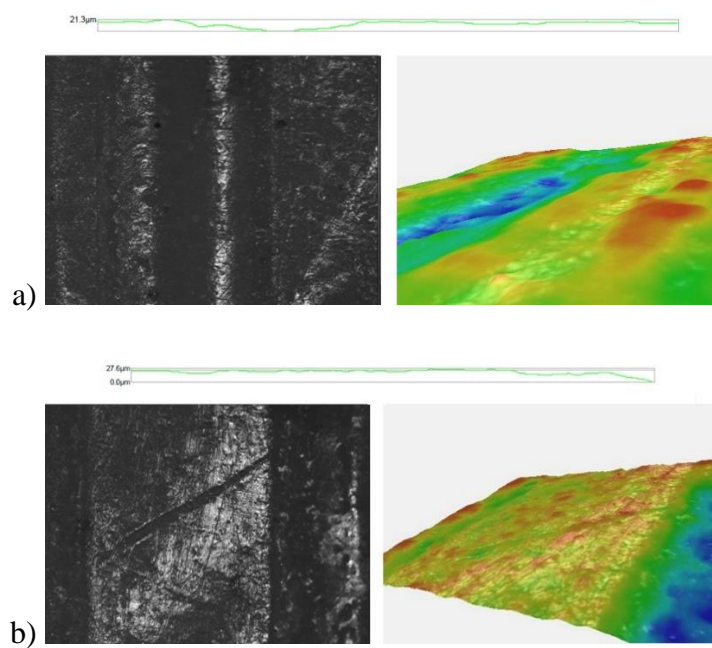
Slika 6.2 2D i 3D prikaz i profil površine za POM uzorak (mehaničko graviranje): tanka linija (a) i široka linija (b)



Slika 6.3 2D i 3D prikaz i profil površine za PCL/PLA/KV (70/30/3) uzorak (mehaničko graviranje): tanka linija (a) i široka linija (b)



*Slika 6.4 2D i 3D prikaz i profil površine za POM uzorak (lasersko graviranje):
tanka linija (a) i široka linija (b)*



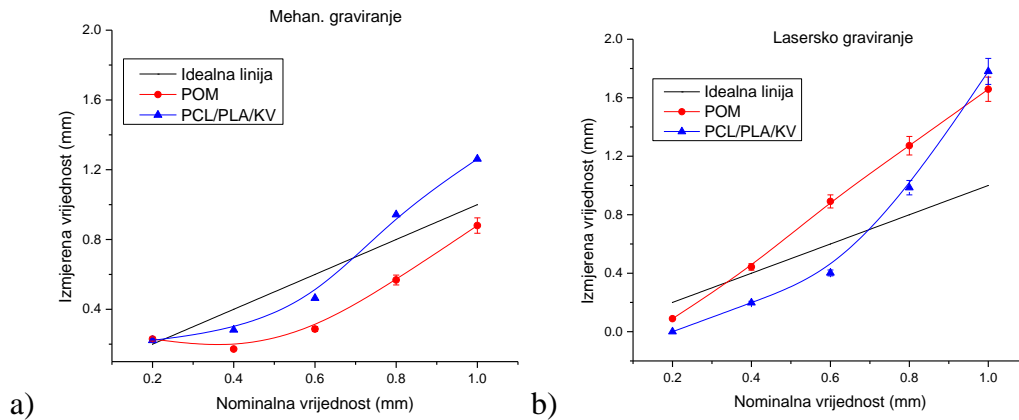
Slika 6.5 2D i 3D prikaz i profil površine za PCL/PLA/KV (70/30/3) uzorak (lasersko graviranje): tanka linija (a) i široka linija (b)

6.5. Mikroskopska analiza linija

Snimke linija dobivene su pri povećanju od 50× te su korištenjem aplikacije za analizu snimaka određene vrijednosti širine ispisanih linija. Računalno definirane širine linija su bile od 0,2, 0,4, ..., do 1,0 mm. Rezultati su prikazani u Tablici 5 i u dijagramima na slikama 6.6 i 6.7.

Tablica 5 Rezultati mjerenja širine linija

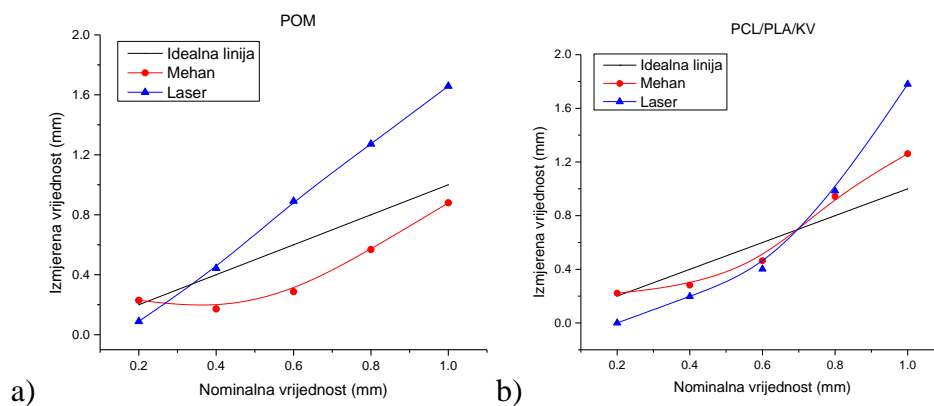
Širina linije (mm)	Mehaničko graviranje		Lasersko graviranje	
	POM	PCL/PLA/KV	POM	PCL/PLA/KV
1,0	0,88	1,262	1,658	1,78
0,8	0,568	0,943	1,272	0,985
0,6	0,287	0,464	0,891	0,402
0,4	0,172	0,282	0,443	0,198
0,2	0,229	0,222	0,089	-



Slika 6.6 Dijagram ovisnosti nominalnih i izmjerenih vrijednosti širine linija dobivenih mehaničkim (a) i laserskim (b) graviranjem

Prema rezultatima mjerenja širine linija dobivenih mehaničkim graviranjem (Slika 6.6 a) vidljivo je da su te vrijednosti bliže nominalnim vrijednostima u odnosu na vrijednosti dobivene laserskim graviranjem (Slika 6.6 b). Iz slike se može vidjeti da je mehaničkim graviranjem, za širinu linije 0,2 mm dobivena vrijednost linija 0,229 mm

za POM i 0,222 mm za PCL/PLA/KV; a za širinu od 1 mm da je graviranjem dobivena vrijednost 0,88 mm za POM i 1,262 mm za PCL/PLA/KV. Rezultati širine linija koje su izrađene laserskim graviranjem pokazuju veće odstupanje od idealne linije (Slika 6.6 b). Najmanju promatranu širinu linije od 0,2 mm nije moguće očitati kod PCL/PLA/KV. Uzorak POM-a graviran laserom pokazuje ipak manje odstupanje od nominalnih vrijednosti u odnosu na uzorak PCL/PLA/KV. Rezultati mjerenja linija dobivenih na POM-u laserskim graviranjem pokazuju kontinuirano povećanje širine linija.



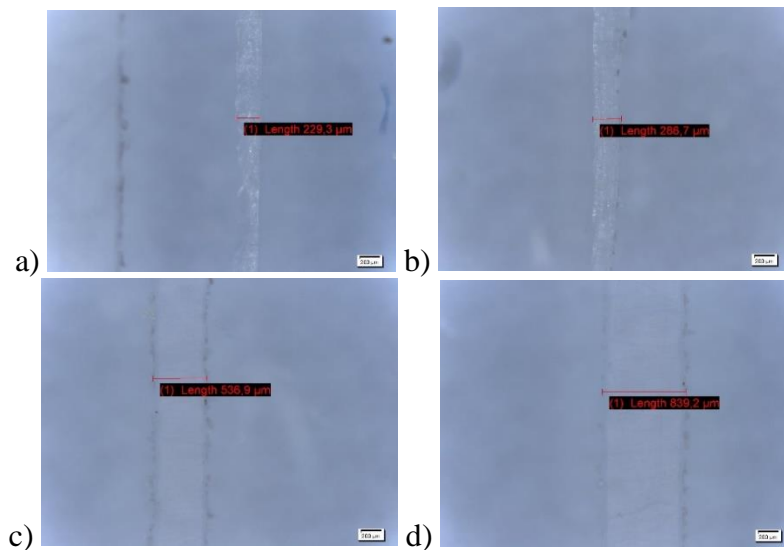
Slika 6.7 Dijagram ovisnosti nominalnih i izmjerenih vrijednosti širine linija izmjerenih na uzorcima POM-a (a) i PCL/PLA/KV-a (b)

Usporedbom očitanih vrijednosti širine linija prikazanim na slici 6.7, je vidljivo da mehaničko graviranje na POM-u omogućuje formiranje linija s manjim odstupanjem od nominalnih vrijednosti s time da su širine očitanih linije većinom smanjenih vrijednosti od nominalnih. Lasersko graviranje daje kontinuirano i ujednačeno povećanje vrijednosti širine linija na POM-u. Rezultati mjerenja širine linija na mješavini PCL/PLA/KV pokazuju manje odstupanje širina očitanih na motivu dobivenom mehaničkim graviranjem u odnosu na lasersko.

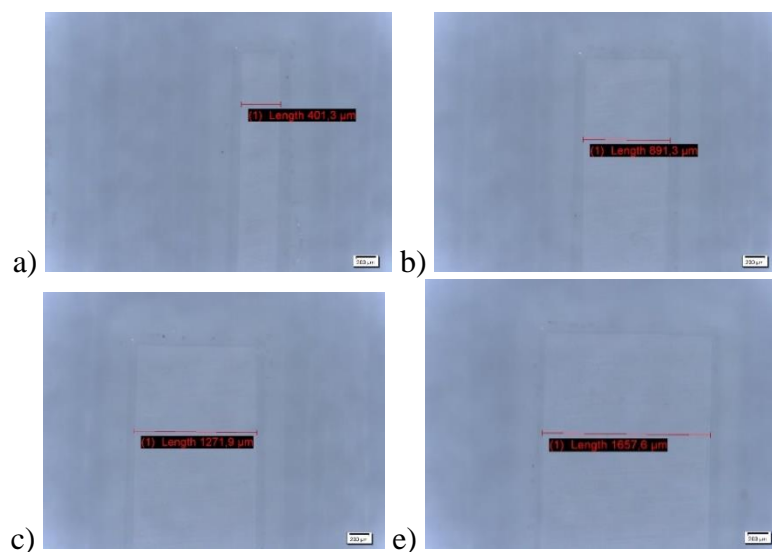
Iz prikazanih rezultata može se utvrditi da vrijednosti širine linija izrađenih mehaničkim graviranjem u većoj mjeri odgovaraju nominalnim vrijednostima u odnosu na lasersko graviranje.

Radi vizualne procjene izrađenih linija na promatranim uzorcima materijala, u nastavku su prikazane mikroskopske snimke nekih linija (Slike 6.8 do 6.13). Prikazane su snimke

linija dobivenih u POM-u mehaničkim i laserskim graviranjem, te snimke linija dobivenih u polimernoj mješavini PCL/PLA/KV isto mehaničkim i laserskim graviranjem.



Slika 6.8 Mikroskopske snimke POM-a, mehaničko graviranje, linije 0,2 mm (a), 0,6 mm (b), 0,8 mm (c) i 1,0 mm (d)



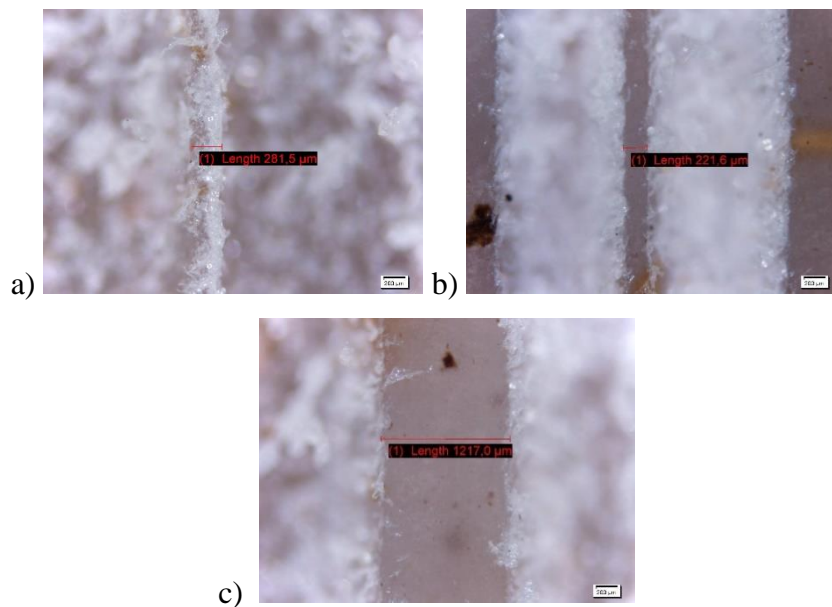
Slika 6.9 Mikroskopske snimke POM-a, lasersko graviranje, linije 0,2 mm (a), 0,6 mm (b), 0,8 mm (c) i 1,0 mm (d)

Prema mikroskopskim snimkama prikazanim na slikama 6.8 i 6.9 može se vidjeti da su linije dobivene na materijalu POM-u laserskim graviranjem ispravno formirane, oštih rubnih dijelova bez odstupanja u ravnini. Linije formirane mehaničkim graviranjem su

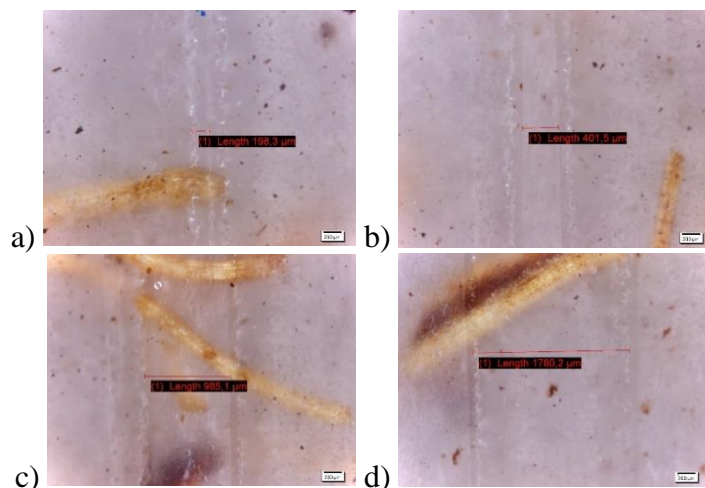
relativno ravne s određenom valovitosti uzduž ruba linije. Očito je da mehaničkim graviranjem, uslijed prodiranja čelične igle kroz polimerni materijal POM i njegove elastičnosti dolazi do kidanja materijala i njegovog razvlačenja na rubnim dijelovima tiskovnih elemenata. Na slici 6.10 je vidljivo kidanje i razvlačenje materijala na rubnom dijelu graviranog kvadrata.



Slika 6.10 Mikroskopska snimka POM-a, mehaničko graviranje, rubni dio kvadratnog oblika

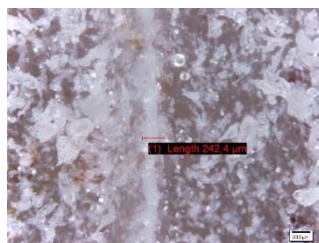


Slika 6.11 Mikroskopske snimke PCL/PLA/KV, mehaničko graviranje, linije 0,2 mm (a), 0,4 mm (b) i 1,0 mm (c)



Slika 6.12 Mikroskopske snimke PCL/PLA/KV, lasersko graviranje, Mikroskopske snimke linije 0,4 mm (a), 0,6 mm (b), 0,8 mm (c) i 1,0 mm (d)

Slike 6.11 i 6.12 prikazuju snimke linija dobivenih mehaničkim i laserskim graviranjem polimerne mješavine PCL/PLA/KV. Prema snimkama je vidljivo da lasersko graviranje omogućava pravilnije formiranje linija, odnosno tiskovnih elemenata. Rubni dijelovi linija su u određenoj mjeri neujednačeni, ali je u svakom slučaju formiranje linija značajno bolje u odnosu na linije formirane mehaničkim graviranjem. Uslijed mehaničkog graviranja metalna igla, koja bi trebala ukloniti dio materijala sa slobodnih površina, tijekom graviranja prodire kroz materijal uzrokujući njegovo kidanje i razvlačenje. Na taj način nije moguće izraditi pravilni tiskovni element. Kao što je i vidljivo iz slike 6.13. na mjestima prolaska metalne igle tijekom graviranja dolazi do kidanja materijala na mjestima slobodnih površina. Ovakvi su rezultati bili u određenoj mjeri i očekivani, imajući u vidu rezultate tvrdoće (Tablica 1) koji su pokazali da je polimerna mješavina PCL/PLA/KV manje tvrdoće od POM-a.



Slika 6.13 Mikroskopska snimka PCL/PLA/KV, mehaničko graviranje, formirana linija i slobodne površine

7. ZAKLJUČAK

Graviranje se u procesima izrade tiskovnih formi koristi već pedesetak godina jer omogućava izradu tiskovnih formi za duboki tisak (bakrotisak). Za izradu ostalih vrsta tiskovnih formi graviranje se počelo primjenjivati tek u posljednjih nekoliko godina kao proces kojim se na relativno brz i jednostavan način, bez korištenja grafičkih filmova, može oblikovati tiskovna forma. Ipak, za bilo kakvu obradu materijala procesima graviranja, potrebno je uskladiti sve parametre koji utječu na proces graviranja sa svojstvima materijala koji je graviran. U ovom radu su promatrani procesi mehaničkog i laserskog graviranja za izradu reljefnih tiskovnih formi. Promatrane su dvije vrste materijala: komercijalni polimerni materijal polioksimetilen koji se u izradi tiskovnih formi primarno obrađuje laserskim graviranjem, te je pripravljena polimerna mješavina od biorazgradivih polimera, polikaprolaktona (PCL), polilaktidne kiseline (PLA) i kokosovih vlaknaca (KV). Ovi materijali su izabrani za testiranje kako bi se mogla procijeniti učinkovitost postupaka mehaničkog i laserskog graviranja u izradi reljefnih tiskovnih formi građenih od biorazgradivih materijala.

Na promatranim uzorcima provedena su određena mehanička i optička mjerenja na temelju kojih je zaključeno slijedeće:

- lasersko graviranje je povoljan postupak za izradu tiskovnih formi za visoki tisak;
- mehaničko graviranje omogućava izradu tiskovnih formi manje kvalitete;
- komercijalni materijal POM omogućava dobivanje pravilnih linija i oblika tiskovnih elemenata;
- polimerna mješavina izrađena od biorazgradivih materijala PCL/PLA/KV može se laserski gravirati;
- tvrdoća materijala značajno utječe na procese graviranja;
- tvrdoća POM-a je veća od tvrdoće mješavine građene od PCL/PLA/KV-a;
- hrapavost površine POM-a je manja od hrapavosti PCL/PLA/KV-a što je posljedica uvjeta izrade i površinske obrade materijala;
- površina tiskovnih elemenata kod materijala POM-a je ujednačenija od površine tiskovnih elemenata od polimerne mješavine;

- prema 2D i 3D analizi profila uzoraka vidljivo je da mehaničko graviranje nije moguće koristiti u izradi tiskovnih formi od pripravljene polimerne mješavine jer se uzorci materijala tijekom graviranja kidaju;
- mikroskopska analiza je pokazala da je nepovoljno koristiti mehaničko graviranje za formiranje linija i tiskovnih elemenata u polimernim materijalima manje tvrdoće;
- lasersko graviranje se pokazalo kao učinkovitija metoda obrade promatranih materijala.

Za daljnja istraživanja potrebno je pripremiti biorazgradivi materijal veće tvrdoće kako bi se mogućnost graviranja poboljšala. Imajući u vidu do sada korištene komponente, ideja je izraditi polimerni materijal koji će imati veći udio polilaktida (PLA) kako bi dobivena polimerna mješavina imala povoljnija mehanička svojstva za procese graviranja i na taj način ju iskoristiti u izradi tiskovnih formi za reljefni tisak.

POPIS SLIKA

Slika 2.1 Ručno graviranje srebra[2]	2
Slika 2.2 Alat za ručno graviranje[2].....	3
Slika 2.3 Pneumatski čekić[3]	3
Slika 2.4 Prijenos podataka[4]	4
Slika 2.5 Lasersko graviranje[5]	5
Slika 3.1 Laserska obrada laminata	10
Slika 3.2 PLEXIGLAS (3 sloja)- kombinacija laserskog i mehaničkog graviranja	11
Slika 3.3 Obrada mehaničkim graviranjem s ispunom boje	13
Slika 3.4 Obrada mehaničkim graviranjem	13
Slika 3.5 Laserska obrada drva	15
Slika 4.1 Dijamantna sutra[8]	17
Slika 4.2 Johannes Gutenberg[9]	18
Slika 4.3 a) Kutija olovnih slova, b) Gutenbergova Biblija[10][11]	18
Slika 4.4 Tiskovna forma za visoki tisak[7]	19
Slika 4.5 Različiti tipovi tiskovnih formi za visoki tisak[7]	20
Slika 4.6 Tiskovni elementi i slobodne površine kod knjigotiska[12]	20
Slika 4.7 a)pismovna slika, b)meso slova, c)signatura, d)podrezak, e)veličina stožca, f)debljina slova, g)visina trupa, pismovna visina[12].....	21
Slika 4.8 Prikaz tiskovne forme za knjigotisak[12]	21
Slika 4.9 Fotokemijska reakcija- osvjetljavanje, ispiranje[13].....	23
Slika 4.10 Fotokemijska reakcija- razvijanje[13]	23
Slika 4.11 Fotokemijska reakcija- jetkanje, ispiranje[13]	23
Slika 4.12 Fotokemijska reakcija- ukalanjanje fotosloja[13]	23
Slika 4.13 Fotokemijska reakcija- gotova tiskovna forma[13].....	24
Slika 4.14 Oksidacija kemijskim jetkanje, elektropozitivnost tvari i kovina[13].....	24
Slika 4.15 Elektrokemijsko jetkanje metal[13].....	25
Slika 4.16 Elektrogravirna tehnologija[13]	26
Slika 4.17 a) Princip ploča-ploča, b) Zaklopni knjigotiskarski stroj[12].....	27
Slika 4.18 a) Princip ploča- valjak, b)Brzotisni knjigotiskarski stroj[12]	27
Slika 4.19 a) Princip valjak-valjak, b) Rotacioni strojevi[12]	28
Slika 4.20 Princip rada fleksotiska[13].....	28

Slika 4.21 LAMS postupak izrade tiskovne forme[13]	29
Slika 4.22 TIL postupak izrade tiskovne forme[13]	30
Slika 4.23 a) Tiskovni elementi izgled „metka“, LAMS - laser ablated mask, b) Tiskovni elementi izgled „stožac“ s ravnim vrhom, TIL - termal imaging layer[13]	30
Slika 4.24 Prikaz termalnog razvijanja[13]	31
Slika 4.25 CtP postupak lasersko graviranje[13].....	32
Slika 4.26 a) Lasersko graviranje ovojne tiskovne forme, b) CtP Laserska izrada tiskovne forme[13].....	34
Slika 4.27 Sleeve tiskovna forma[13].....	34
Slika 4.28 Albrecht Dürer[14]	35
Slika 4.29 Shema tiskovne forme za duboki tisak	36
Slika 4.30 Nanos boje	36
Slika 4.31 a) Shema obične ili konvencionalne tiskovne forme za duboki tisak, b) Mikroskopska snimka konvencionalne tiskvne forme za duboki tisak	37
Slika 4.32 Shema autotipijske tiskovne forme za duboki tisak	37
Slika 4.33 Shema kombinirane tiskovne forme za duboki tisak.....	38
Slika 4.34 a) Shema elektrogravirne tiskovne forme za duboki tisak (a) i dijamantne igle (b), b) Mikroskopska snimka elektrogravirne tiskovne forme za duboki tisak	39
Slika 4.35 Elektrogravirna tiskovna forma za duboki tisak bakrena (a) i kromirana (b)	40
Slika 4.36 Dragutin Renarić, višebojni otisak, bakrorez, Muzej u Križevcima[15].....	41
Slika 4.37 Princip rada s tiskovnom formom za duboki tisak – bakrotisak[13].....	41
Slika 4.38 Presjek tiskovne forme za bakrotisak[13]	42
Slika 4.39 Elektro mehanički postupak- „Klišograf“[13].....	43
Slika 4.40 CtP digitalna ablacija maske[13].....	44
Slika 4.41 a) Oslojavanje raspršivanjem maske po površini cilindra, b) Oslojavanje uranjanjem uranjanje cilindra radi formiranja maske[13]	44
Slika 4.42 CtC laserska ablacija cilindra[13].....	45
Slika 4.43 a, b) DICO tehnologija za duboki tisak	45
Slika 5.1 Brabender, gnjetelica	48
Slika 5.2 Fontune, uređaj za prešanje	49
Slika 5.3 ReproGrav-IS700.....	49
Slika 5.4 Trotec Speedy 100	49

Slika 5.5 Uređaj za mjerenje tvrdoće.....	50
Slika 5.6 Digitalni mikrometar	50
Slika 5.7 Uređaj za mjerenje hrapavosti površine	50
Slika 5.8 Mikroskop Olympus BX 5	51
Slika 5.9 3D skenirajući mikroskop.....	51
Slika 5.10 Uzorci biorazgradivih materijala	52
Slika 5.11 Motiv za graviranje.....	53
Slika 5.12 R_a parametar	55
Slika 5.13 R_z parametar	56
Slika 6.1 Prikaz profila površine za uzorke:	58
Slika 6.2 2D i 3D prikaz i profil površine za POM uzorak (mehaničko graviranje):.....	60
Slika 6.3 2D i 3D prikaz i profil površine za PCL/PLA/KV (70/30/3) uzorak (mehaničko graviranje): tanka linija (a) i široka linija (b).....	60
Slika 6.4 2D i 3D prikaz i profil površine za POM uzorak (lasersko graviranje):	61
Slika 6.5 2D i 3D prikaz i profil površine za PCL/PLA/KV (70/30/3) uzorak (lasersko graviranje): tanka linija (a) i široka linija (b).....	61
Slika 6.6 Dijagram ovisnosti nominalnih i izmjerenih vrijednosti širine linija	62
Slika 6.7 Dijagram ovisnosti nominalnih i izmjerenih vrijednosti širine linija	63
Slika 6.8 Mikroskopske snimke POM-a, mehaničko graviranje,	64
Slika 6.9 Mikroskopske snimke POM-a, lasersko graviranje,.....	64
Slika 6.10 Mikroskopska snimka POM-a, mehaničko graviranje,	65
Slika 6.11 Mikroskopske snimke PCL/PLA/KV, mehaničko graviranje,	65
Slika 6.12 Mikroskopske snimke PCL/PLA/KV, lasersko graviranje, Mikroskopske snimke linije 0,4 mm (a), 0,6 mm (b), 0,8 mm (c) i 1,0 mm (d)	66
Slika 6.13 Mikroskopska snimka PCL/PLA/KV, mehaničko graviranje,	66

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti laserskog graviranja u odnosu na mehaničko graviranje [6]	6
Tablica 2 Rezultati mjerenja tvrdoće materijala	57
Tablica 3 Rezultati mjerenja parametara hrapavosti.....	57
Tablica 4 Rezultati mjerenja visine tiskovnih elemenata	59
Tablica 5 Rezultati mjerenja širine linija.....	62

POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
R_a	μm	srednje aritmetičko odstupanje profila
R_z	μm	srednja visina neravnina

8. LITERATURA

- [1] www.enciklopedija.hr, 28.7.2020
- [2] <https://hr.wikipedia.org/w/inranje&oldid=4931451>, Graviranje, 28.7.2020
- [3] <https://www.bing.com>: , Pneumatski čekić, 1.8.2020
- [4] <https://www.troteclaser.com/en-us/>, Pneumatski čekić 1.8.2020
- [5] <https://www.bing.com>: Lasersko graviranje, 2.8.2020
- [6] <https://www.troteclaser.com/en-us/>, , Prednosti laserskog graviranja u odnosu na mehaničko, 2.8.2020
- [7] M. Gojo, S. Mahović Poljaček: Osnove tiskovnih formi, Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet, 2013.
- [8] <https://www.bing.com>: , Dijamantna suta, 5.8.2020
- [9] <https://www.bing.com>: , Johannes Gutenberg, 5.8.2020
- [10] <https://www.google.com/>, Kutija olovnih slova, 9.8.2020
- [11] https://hr.wikipedia.org/wiki/Gutenbergova_Biblija#/media/Datoteka:Gutenberg_Bible.jpg, Gutenbergova biblija, 10.8.2020
- [12] Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet katedra za Tisak (predavanje: Knjigotisak); doc. dr. sc. Igor Majnarić
- [13] Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet katedra za katedra Tiskovne forme 1 i 2 (predavanja); Izv.prof.dr.sc. Sanja Mahović Poljaček
- [14] <https://www.google.com/>, Albrecht Dürer, 12.8.2020
- [15] http://www.gradski-muzej-krizevci.hr/?attachment_id=1682, .. Dragutin Renarić, 1932., 19,2 x 29 cm, višebojni otisak, bakrorez, 17.8.2020
- [16] Priselac, Dino; Tomašegović, Tamara; Mahović Poljaček, Sanja; Cigula, Tomislav; Leskovic, Mirela Thermal, surface and mechanical properties of PCL/PLA composites with coconut fibres as an alternative material to photopolymer printing plates. // Tehnički glasnik, 11 (2017), 3; 111-116
- [17] Priselac, D. (2017) Tiskovna forma za visoki tisak od biorazgradivih polimera. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet.
- [18] Pielichowska, K. (2015) Preparation and characterization of polyoxymethylene nanocomposites. Manufacturing of Nanocomposites with Engineering Plastics, pp. 103–125.
- [19] DuPont, Delrin® The High-Performance Acetal Resin. [Online]. Available: <https://www.dupont.com/products/delrin.html>. (25.2.2020.)

- [20] Mahović Poljaček, S. (2020) Introduction of biodegradable polymeric materials in the production of printing plates. Proceedings of Joined conference Wood, Pulp and Paper and Polygrafia Academica 2020. Bratislava.
- [21] Armentano et al., I. (2015) Processing and characterization of plasticized PLA/PHB blends for biodegradable multiphase systems. *Express Polymer Letters*, vol. 9, no. 7, pp. 583–596.
- [22] Madhavan Nampoothiri, K.; Nair, N. R. and John, R. P. (2010) An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research. *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 22, pp. 8493–8501.
- [23] Rasal, R. M.; Janorkar A. V. and Hirt, D. E. (2010) Poly(lactic acid) modifications. *Progress in Polymer Science*, vol. 35, no. 3, pp. 338–356.
- [24] Chavalitpanya K. and Phattanasudee, S. (2013) Poly(Lactic Acid)/Polycaprolactone Blends Compatibilized with Block Copolymer. *Energy Procedia*, vol. 34, pp. 542–548.
- [25] Woodruff, M. A. and Hutmacher, D. W. (2010) The return of a forgotten polymer—Polycaprolactone in the 21st century. *Progress in Polymer Science*, vol. 35, no. 10, pp. 1217–1256.
- [26] Majid, A. 2011. Coconut fibre: A versatile material and its applications in engineering, In *Journal of Civil Engineering and Construction Technology* Vol. 2(9). Available on internet: <http://www.academicjournals.org/jcect>.