

# Uklapanje pravca i krivulja regresije u dijagram granulometrijskog sastava usitnjenih tiskanih pločica iz računala

---

Arcella, Andrei

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:410029>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANDREI ARCELLA

UKLAPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U DIJAGRAM  
GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA USITNJENIH TISKANIH PLOČICA IZ  
RAČUNALA

ZAVRŠNI RAD

Varaždin, 2019

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

UKLAPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U DIJAGRAM  
GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA USITNJENIH TISKANIH PLOČICA IZ  
RAČUNALA

KANDIDAT:  
Andrei Arcella

MENTOR:  
Izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač  
Komentor: Izv. prof. dr. sc. Sanja Kovač

Varaždin, 2019

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom


### UKLAPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U DIJAGRAM GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA USITNJENIH TISKANIH PLOČICA IZ RAČUNALA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Izv. prof. dr. sc. Ivana Kovača i komentora Izv. prof. dr. sc. Sanje Kovač.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 2019.

ANDREI ARCELLA  
(Ime i prezime)

  
(Vlastoručni potpis)



Sveučilište u Zagrebu  
Geotehnički fakultet



## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: ANDREI ARCELLA

Matični broj: 2548 - 2015./2016.

### NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

UKLAPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U DIJAGRAM GRANULOMETRIJSKOG  
SASTAVA USITNJENIH TISKANIH PLOČICA IZ RAČUNALA

Rad treba sadržati:

1. Uvod
2. EE otpad
3. Tiskane pločice
4. Rezultati ispitivanja
5. Pravac i krivulje regresije
6. Uklapanje pravca i krivulja regresije u eksperimentalne podatke
7. Zaključak
8. Sažetak
9. Literatura
10. Popis slika
11. Popis tablica

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 19.04.2019.

Rok predaje: 02.12.2019.

Mentor:

Izv.prof.dr.sc. Ivan Kovač

Drugi mentor/komentor:

Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač

Predsjednik Odbora za nastavu:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović



## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. EE OTPAD.....	2
2.1. ZAKONSKA REGULATIVA.....	3
2.2. GOSPODARENJE EE OTPADOM.....	4
3. TISKANE PLOČICE.....	4
3.1. SASTAV TISKANIH PLOČICA.....	5
3.2. OPORABA TISKANIH PLOČICA.....	7
4. REZULTATI ISPITIVANJA.....	10
5. PRAVAC I KRIVULJE REGRESIJE.....	12
6. UKALPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U EKSPERIMENTALNE PODATKE.....	15
6.1. Metoda najmanjih kvadrata.....	16
6.2. Koeficijent korelacije i determinacije.....	19
6.3. Rezultati uklapanja.....	21
7. ZAKLJUČAK.....	32
8. SAŽETAK.....	33
9. LITERATURA.....	34
POPIS SLIKA.....	35
POPIS TABLICA.....	35

## 1. UVOD

Otpad je svaka tvar ili predmet koje posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Paralelno s gospodarskim rastom i razvojem društva raste i količina otpada. Problem otpada kao jedan od osnovnih ekoloških problema današnjice relativno je kasno prepoznat. Posebno veliki problem je komunalni i tehnološki otpad i njihovo zbrinjavanje jer su po količini najveći. Porastom broja stanovnika i rastom industrijske proizvodnje raste i količina komunalnog i tehnološkog otpada. Zbog utjecaja istog na kvalitetu ljudskog života vrlo je bitno adekvatno gospodariti otpadom, pri čemu se otpad treba smatrati resursom a njegova obrada spadati u najnaprednije tehnologije. Značajna dostignuća u svijetu elektronike poboljšala su kvalitetu života suvremenog društva. Istodobno velik problem predstavljaju sve veće količine otpada od zastarjelih elektroničkih uređaja te znatna količina opasnog otpada generirana iz električnih i elektroničkih uređaja. Tiskane pločice su važan dio električne i elektroničke (EE) opreme i čine oko 3-5% mase ukupne količine EE opreme, te su njegov najsloženiji dio s najvrjednijim ali i najopasnijim komponentama. Sadržaj vrijednih metala trenutno je glavni motiv njihove obrade. Najveću vrijednost predstavljaju metali u vidu paladija, zlata i bakra. Brzi tehnološki razvoj omogućuje razvoj novih generacija tiskanih pločica i konstantan rast proizvodnje te dolazi do brzog zastarijevanja EE opreme i nastajanja značajnih količina te vrste otpada (godišnje oko 20 do 50 milijuna tona diljem svijeta [1]. Odvojeno sakupljanje otpada i recikliranje predstavlja trošak koji se namiruje kroz naknadu za gospodarenje EE otpadom kao i proizvodnjom sirovina iz otpada.

## 2. EE OTPAD

Električni i elektronički uređaji i oprema predstavljaju sve proizvode koji za svoje pravilno djelovanje ovise o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima. Također uzimamo u obzir i opremu za proizvodnju, mjerenje i prijenos struje čija je namjena korištenje u slučajevima gdje napon ne prelazi granicu od 1.000 V za izmjeničnu i 1.500 V za istosmjernu struju.

Prema mjestu nastanka EE otpad možemo podijeliti u dvije skupine:

1. EE otpad nastao u gospodarstvu, te se on odnosi na otpadnu EE opremu uključujući sklopove i sastavne dijelove
2. EE otpada nastao u kućanstvu, te se on odnosi na otpadnu električnu i elektroničku opremu nastalu u kućanstvima ili u proizvodnim i/ili uslužnim djelatnostima koja je po vrsti i količini slična EE otpadu iz kućanstva.

Razlikujemo 10 vrsta EE otpada:

1. veliki kućanski uređaji kao npr: električni štednjaci, strojevi za pranje rublja, hladnjaci;
2. mali kućanski uređaji kao npr: usisavači, glačala, tosteri, uređaji za sušenje kose;
3. oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije kao npr. : računala, pisači, kopirna oprema, kalkulatori, telefoni, mobiteli;
4. oprema široke potrošnje za razonodu kao npr. : radio i TV aparati, videokamere, hi-fi uređaji, glazbeni instrumenti;
5. rasvjetna oprema;
6. električni i elektronički alati kao npr. : bušilice, pile, šivaći strojevi;
7. igračke, oprema za razonodu i športska oprema kao npr.: videoigre, računala za biciklizam, ronjenje, trčanje, veslanje i sl.;
8. medicinski uređaji kao npr. : uređaji za dijalizu, kardiološki uređaji, analizatori, radioterapijska oprema;
9. instrumenti za nadzor i upravljanje kao npr: detektori dima, termostati, instrumenti za nadziranje i sl.;
10. samoposlužni aparati kao npr: automatski uređaji za izdavanje toplih napitaka, za izdavanje novca i sl.



## 2.1. ZAKONSKA REGULATIVA

U svrhu smanjivanja pritiska na vađenje sirovina, količine kojih su ograničene, odlaganja otpada na odlagališta i zaštite vrijednih prirodnih zaliha, Hrvatska je kao i sve države EU prenijela odredbe WEEE Directive 2012/19/EU i RoHS Directive 2002/95/EC u nacionalno zakonodavstvo.

Od 2019. godine cilj odvojenog sakupljanja je postizanje stope od 65% izračunato na temelju ukupne mase EE otpada sakupljenog iz kućanstava i registriranih osoba u promatranoj godini u Republici Hrvatskoj, izražene u obliku postotka prosječne mase EE opreme stavljene na tržište u prethodne tri godine ili 85% nastalog EE otpada.

Ministarstvo zaštite okoliša i prirode je 2014. godine donijelo novi Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom („Narodne novine“ broj 42/14) radi reguliranja svih pitanja u svezi gospodarenja električnim i elektroničkim otpadom, a sa svrhom postizanja ciljeva odvojenog sakupljanja električnog i elektroničkog otpada radi njegove uporabe, zbrinjavanja, zaštite okoliša i zdravlja ljudi. Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost je pravna osoba s javnim ovlastima koja provodi aktivnosti na organiziranju gospodarenja EE otpadom.

Fond s jedne strane obračunava i prikuplja naknadu za gospodarenje EE otpadom u iznosu od 2,25 kn/kg od svih obveznika plaćanja naknade. Obveznici su svi proizvođači i uvoznici EE opreme proizvedene ili uvezene za vlastite potrebe i/ili stavljene na tržište Republike Hrvatske. S druge strane isplaćuje sakupljaču i oporabitelju EE otpada naknadu troškova sakupljanja, privremenog skladištenja, razvrstavanja, prijevoza, obrade i uporabe. Naknada se sakupljačima isplaćuje na temelju izdanih i Fondu prijavljenih Pratećih listova za otpad (Obrazac PL-O) svakog mjeseca. Za EE otpad iz kućanstva izdaje se Potvrda o primopredaji EE otpada u kućanstvu (Obrazac EE1).

## 2.2. GOSPODARENJE EE OTPADOM

Gospodarenje električnim i elektroničkim otpadom (EE otpadom) podrazumijeva sakupljanje, prijevoz, uporabu, i zbrinjavanje te druge obrade otpada, uključujući nadzor nad tim postupcima te nadzor i mjere koje se provode na lokacijama nakon zbrinjavanja ostataka od uporabe EE otpada, kao i radnje koje poduzimaju posrednik ili trgovac EE otpadom. Od 2019. godine Hrvatska treba postići odvojeno sakupljanje po stopi od 65%, što pred dionike sustava gospodarenja EE otpadom stavlja nove izazove.

## 3. TISKANE PLOČICE

Tiskane pločice su sredstvo kojim se mehanički i električki povezuju elektroničke komponente. (Slika 1) One kao sastavni dio svakog elektroničkog uređaja imaju dvostruku svrhu. Služe kao sredstvo kojim se mehanički i električki povezuju elektroničke komponente te također povezuju iste u jedan elektronički sklop. Sastoje se od podloge s izolatorskim materijalima na kojoj se različitim postupcima oblikuje vodljiva struktura.



Slika 1: Tiskane pločice

Izvor: <http://www.pcb.hr/proizvodi.html>

Proizvodnjom izolacijske ploče započinje proces izrade tiskanih pločica. Ploča se najčešće izrađuje od epoksidne smole i staklenih vlakna. Određivanjem željene debljine tiskane pločice određuje se odgovarajući broj slojeva staklene prepreg tkanine koja je nužna ukoliko se želi ubrzati sam proces izrade. Tkanina se zatim preša postizanjem odgovarajuće temperature. Nanošenjem

slojeva na tiskanu pločicu pokreće se proces polimerizacije epoksidne smole. Staklena prepreg tkanina utopljena u aktiviranu epoksidnu smolu svoj proces polimerizacije dovršava na temperaturi od otprilike 150C. Ovim procesom dobiva se ploča vrlo dobrih mehaničkih i dielektričnih svojstava. Zatim se po potrebi mehanički ili kemijski skida višak bakra te se buše otvori potrebni za ujedinjenje elektroničkog sklopa.

Konstantni napredak tehnologije dovodi do sve bržeg zastarijevanja čak potpuno ispravnih uređaja, time EE otpad postaje jedan od najbrže rastućih vrsta otpada na globalnoj razini. Tiskane pločice se nalaze u gotovo svakom takvom odbačenom uređaju te je zbrinjavanje takve vrste otpada neophodno.

### **3.1. SASTAV TISKANIH PLOČICA**

Tiskane pločice su heterogenog sastava što veoma otežava proces recikliranja. Njihov sastav sadrži metale, organske materijale i staklena vlakna. Metale kao što su bakar, aluminij, srebro, zlato potrebno je odvojiti od metala kao što su olovo, živa, krom i kadmij jer upravo prisutnost teških metala svrstava ovaj otpad pod opasni.

Najzastupljenija metalna komponenta u tiskanim pločicama je bakar. Bakar je zbog toga jedan od najznačajnijih i najčešće recikliranih metala iz otpadnih tiskanih pločica. Sljedeći po zastupljenosti su aluminij i željezo, olovo, cink i nikal. Miješani uzorak tiskanih pločica iz različitih EE uređaja sadrži oko 30% metala (bakar, željezo, srebro, zlato, itd.) te oko 70% ne-metalnih komponenti (plastike, epoksidnih smola i staklenih vlakana).

Najzastupljenija metalna komponenta u tiskanim pločicama je bakar. Zastupljenost varira s obzirom na vrstu EE uređaja iz kojeg potječe i ima značajnu ekonomsku vrijednost koja ovisi o stanju na svjetskim burzama sirovima. Bakar je zbog toga jedan od najznačajnijih i najčešće recikliranih metala iz otpadnih tiskanih pločica. Sljedeći po zastupljenosti su aluminij i željezo, olovo, cink i nikal.

Plemeniti metali čine 80% ukupne vrijednosti tiskanih pločica pa je stoga recikliranje tih metala ekonomski isplativo. Koncentracija zlata u tiskanim pločicama oko 10 puta je veća od koncentracije zlata u rudama pa se može reći da je EE otpad potencijalni „rudnik“ sirovina. Najviše se u proizvodnji koristi

srebro. Od plemenitih metala također su u upotrebi paladij, platina, rodij i iridij. Nemetali koji spadaju u dio sastava tiskanih pločica su staklena vuna, epoksidne smole. Kod procesa recikliranja predstavljaju veliki problem jer se teško razdvajaju zbog svoje strukture. Zbog toga se ne-metali uglavnom tretiraju spaljivanjem ili odlaganjem na odlagalištima otpada. Spaljivanjem nastaju veoma toksični polibrominiranibenzodioksini i dibenzofurani, a odlaganje uzrokuje sekundarno onečišćenje podzemnih voda teškim metalima.

Tablica 1 :Udio elemenata u miješanom uzorku tiskanih pločica

Element	Ag	Al	As	Au	S
Sadržaj	0,1%	4,7%	<0,01%	0,025%	0,100%
Element	Ba	Be	Bi	Br	C
Sadržaj	200 g/t	1,1 g/t	0,17%	0,54%	9,6%
Element	Cd	Cl	Cr	Cu	F
Sadržaj	0,015%	1,74%	0,05%	26,8%	0,094%
Element	Fe	Ga	Mn	Mo	Ni
Sadržaj	5,3%	35g/t	0,47%	0,003%	0,47%
Element	Zn	Sb	Se	SiO <sub>2</sub>	Sn
Sadržaj	1,5%	0,06%	41 g/t	15%	1%
Element	Te	Ti	Sc	I	Hg
Sadržaj	1 g/t	3,4%	55 g/t	200 g/t	1 g/t
Element	Zr	Sr	Pb		
Sadržaj	30 g/t	10 g/t	2%		

Izvor podataka:[3]

### 3.2. OPORABA TISKANIH PLOČICA

Mobilni uređaji, računala, tableti su uređaji koje posjeduje svaki moderan čovjek. Učestalost njihovog korištenja zajedno s iznimnim napretkom tehnologije dovodi do relativno česte zamjene ovih uređaja. Sastavni dio tih uređaja su i tiskane pločice. Što se događa s njima kada se uređaji odbace i kako bi se one trebale pravilno zbrinuti? Odgovor je recikliranje.

Cjelokupni proces recikliranja je podijeljen u nekoliko faza:

- odvojeno skupljanje,
- skladištenje i prijevoz,
- rastavljanje i sortiranje,
- usitnjavanje i odvajanje.

Mehaničko fizička i kemijska metoda su dva najčešće korištena klasična načina uporabe otpada iz tiskanih pločica. Treba naglasiti da je najvažnije dobro usitnjavanje tiskanih pločica prije korištenja bilo koje metode izdvajanja korisnih sirovina iz njih.

- Mehaničko fizikalne metode

Odvajanje metala iz tiskanih pločica provodi se usitnjavanjem na određenu veličinu te se zatim separacijom razdvajaju metali od nemetala prema njihovim karakteristikama, npr. prema obliku, odvajanje temeljeno na električnoj provodljivosti, magnetsko odvajanje, odvajanje na temelju razlike u gustoći itd. Osim zadovoljavajućeg separiranja metode imaju neznatni utjecaj na okoliš. Primjeri tih metoda su: elektrostatska i magnetska separacija, zračna klasifikacija, „pliva - tone“ separacija, fizikalne metode recikliranja koje koriste ne-metale iz tiskanih pločica kao zamjenu za prirodne sirovine.

- Kemijske metode

Kemijske metode recikliranja obuhvaćaju elektrolizu, pirolizu, uplinjavanje, superkritičnu tekuću depolimerizaciju, degradaciju hidrogenolizom kojima se ne-metalne komponente TP-a mogu prevesti u sekundarne sirovine i gorivo.

Prednost kemijskih metoda nad fizikalnim je mogućnost pretvorbe bromiranih usporivača gorenja u monomere i izdvajanje teških metala. Međutim, kemijske metode za izdvajanje često imaju i negativne efekte po okoliš; izgaranje izaziva atmosfersko onečišćenje zbog ispuštanja dioksina i furana, kod hidratacije i

elektrolize dolazi do stvaranja velikih količina kiselina koje je potrebno pažljivo zbrinuti. Primjeri tih metoda su: pirolitičke metode, hidrometalurški pristup, dobivanje goriva iz tiskanih pločica.

### 3.3. USITNJAVANJE

Najvažniji postupak prije korištenja bilo koje metode izdvajanja korisnih sirovina iz tiskanih pločica. To je proces u kojem se pod djelovanjem mehaničkih sila mijenja disperzno stanje čvrstih tvari, koje je jednoznačno određeno granulometrijskim sastavom.

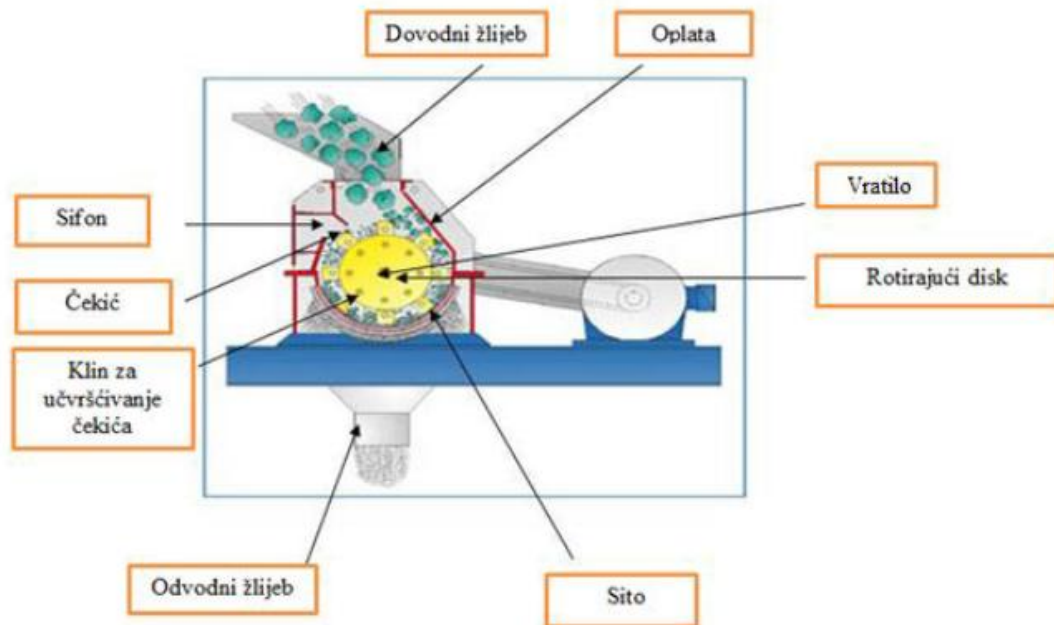
U obradi i ispitivanju uzorka koristi se sljedeći pribor, kemikalije i uređaji:

- mlin čekićar ,
- laboratorijski mlin s kuglama,  $\Phi$  200 mm x 400 mm, čelične obloge, drobeća tijela kugle promjera 20 do 45 mm,
- križ za četvrtanje 500 x 500 x 150 mm,
- set okruglih sita za strojno sijanje promjera 200 mm, visine 40 mm, četvrtastih otvora 3,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,12 mm i 0,075 mm,
- laboratorijska tresilica za sita  $\Phi$  200 mm, frekvencije 50Hz, amplitude od 0,1 do 1,0 mm,
- tehnička vaga Sauter, mjerno područje 0 do 1000 g, preciznosti 0,1 g,
- tehnička vaga KERN/EW600-2M,
- laboratorijske čaše, 100 mL,
- zlatotopka (HCl i HNO<sub>3</sub> u omjeru 3:1),
- vodena kupelj,
- filter papiri,
- stakleni lijevci,
- odmjerne tikvice, 50 mL, 100 mL, 250 mL,
- graduirane pipete, 2 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL,
- standardne otopine elemenata kojima se određivala koncentracija u uzorku,

- deionizirana voda,
- atomski apsorpcijski spektrometar Perkin Elmer AAnalyst 800.
- mlin čekićar ,
- laboratorijski mlin s kuglama,  $\Phi$  200 mm x 400 mm, čelične obloge, drobeća tijela kugle promjera 20 do 45 mm,
- križ za četvrtanje 500 x 500 x 150 mm,
- set okruglih sita za strojno sijanje promjera 200 mm, visine 40 mm, četvrtastih otvora 3,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,12 mm i 0,075 mm,
- laboratorijska tresilica za sita  $\Phi$  200 mm, frekvencije 50Hz, amplitude od 0,1 do 1,0 mm,
- tehnička vaga Sauter, mjerno područje 0 do 1000 g, preciznosti 0,1 g,
- tehnička vaga KERN/EW600-2M,
- laboratorijske čaše, 100 mL,
- zlatotopka (HCl i HNO<sub>3</sub> u omjeru 3:1),
- vodena kupelj,
- filter papiri,
- stakleni lijevci,
- odmjerne tikvice, 50 mL, 100 mL, 250 mL,
- graduirane pipete, 2 mL, 5 mL, 10 mL, 20 mL,
- standardne otopine elemenata kojima se određivala koncentracija u uzorku,
- deionizirana voda,
- atomski apsorpcijski spektrometar Perkin Elmer AAnalyst 800.

Cilj usitnjavanja je oslobađanje pojedinih komponenti iz tiskanih pločica kako bi se pripremile za neki od postupaka recikliranja. Tijekom procesa usitnjavanja djelomično razdvajaju metali i nemetali zbog njihovih različitih karakteristika. Metali se lako deformiraju a teže lome stoga se većinom nalaze u klasama većim od 1,25 mm do 0,15 mm. Nemetali se lako lome stoga su većinom koncentrirani u nižim klasama. Prilikom usitnjavanja u mlinu čekićaru (Slika 2)

dolazi do jakog zagrijavanja i oštećivanja stijenki kućišta mlina. Zbog učestale potrebe za hlađenjem stijenki kućišta mlina proces usitnjavanja je dugotrajan.



Slika 2: Mlin čekičar s osnovnim dijelovima

Izvor: <https://www.hammermills.com/how-does-a-hammer-mill-work>

Nakon usitnjavanja provodi se strojno suho sijanje kako bi se odredio granulometrijski sastav, odnosno udio usitnjenog materijala u pojedinoj klasi. Koriste se sita različitih promjera otvora: 3,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,12 mm i 0,075 mm. Statističkom obradom je dobivena srednja vrijednost granulometrijskog sastava dva uzorka.

#### 4. REZULTATI ISPITIVANJA

Nakon sijanja usitnjene materijale treba protresti na električnoj tresilici, a nakon toga ih izvaditi te izvagati i to svaku klasu posebno počevši od najgornje. Zbroj svih masa uzorka treba biti približno jednak masi konačnog uzorka, uz manje mogućeg odstupanja zbog pogreške mjerenja. Zatim se rezultati mjerenja unose u tablice, te pretvaraju u postotke i prikazuju dijagramima. Rezultati granulometrijskih analiza mogu se prikazivati histogramom, krivuljom učestalosti raspodjele i kumulativnom granulometrijskom krivuljom. U sva tri načina



prikazivanja koristi se ili Wentworhova ili Krumbeinova  $\Phi$ -ljestvica za nanošenje veličine zrna na apscisi, a dekadna ljestvica za nanošenje postotaka pojedinih frakcija na ordinati. U tablicama 2 i 3 prikazani su rezultati ispitivanja za elektronički i plastični dio tiskane pločice.

Tablica 2: Granulometrijski sastav elektroničkog dijela tiskane pločice

<b>Klasa (mm)</b>	<b>Udio (g)</b>	<b>Relativni udio %</b>	<b>Kumulativni rel. udjeli %</b>
>4	12,80	10,41	100,00
4	41,00	33,36	89,59
2	18,50	15,05	56,23
1,5	18,00	14,65	41,18
1	7,40	6,02	26,56
0,8	8,60	7,00	20,51
0,5	7,20	5,86	13,51
0,2	4,60	3,74	7,65
5			
0,1	1,40	1,14	3,91
<0,075	3,40	2,77	2,77
	122,90	100,00	

Izvor podataka: [5]

Najveći udio usitnjenog materijala nalazi se u klasi 2/1.5, 1.5/1 mm i +4 mm, dok je najmanji udio u klasi 0,1/0,075 mm.

Tablica 3: Granulometrijski sastav plastičnog dijela tiskane pločice

<b>Klasa (mm)</b>	<b>Udio (g)</b>	<b>Relativni udio (%)</b>	<b>Kumulativni rel. udjeli %</b>
> 4	0,00	0,00	100,00
4	9,00	8,19	100,00
2	5,90	5,37	91,81
1,5	13,30	12,10	86,44
1	6,60	6,01	74,34
0,8	14,40	13,10	68,33
0,5	26,90	24,48	55,23
0,25	20,40	18,56	30,75
0,1	2,30	2,09	12,19
<0,075	11,10	10,10	10,10
	109,90	100,00	

Izvor podataka [5]

Najveći udio usitnjenog materijala nalazi se u klasi 1.5/1 i 0,5/0,25 mm , dok je najmanji udio u klasi 0,1/0,075 mm. U klasi +4 mm ostatak na situ je 0,00 g što ukazuje da uzorke materijala promjera većeg od 4 mm nema.

## 5. PRAVAC I KRIVULJE REGRESIJE

Regresijska analiza je statistički postupak za procjenu odnosa među varijablama. Cilj istraživanja odnosa među varijablama je utvrditi statističku ovisnost i pokazatelje jakosti takve ovisnosti. Regresijska analiza se sastoji u primjeni metoda kojima se analitički (jednadžbom) objašnjava statistička veza između promatranih pojava odnosno istražuje se uzročno posljedični karakter veze. To je jednadžba s parametrima i varijablama, kojima se objašnjava povezanost promatranih pojava, te se predviđaju vrijednosti zavisne varijable za određene vrijednosti nezavisne varijable. Općeniti računski problem koji se rješava kod linearne regresije je prilagođavanje ravne linije podacima na dijagramu disperzije. Ta linija se naziva pravac regresije. Pravac regresije je pravac koji se najbolje uklapa u zadane točke i definira se jednadžbom:  $y = \alpha + \beta * x$ . Varijabla  $y$  se izražava pomoću odsječka pravca regresije na osi  $y$  i  $\beta$  u odnosu na varijablu  $x$ . Konstanta  $\alpha$  predstavlja sjecište pravca regresije sa osi  $y$ , a nagib  $\beta$  je koeficijent smjera pravca regresije.

U Excelu se pravac i krivulje regresije mogu prikazati na dijagramima disperzije. Grafički ilustriraju trendove nizova podataka. Krivulje regresije se obično koriste kod grafikona predviđanja.

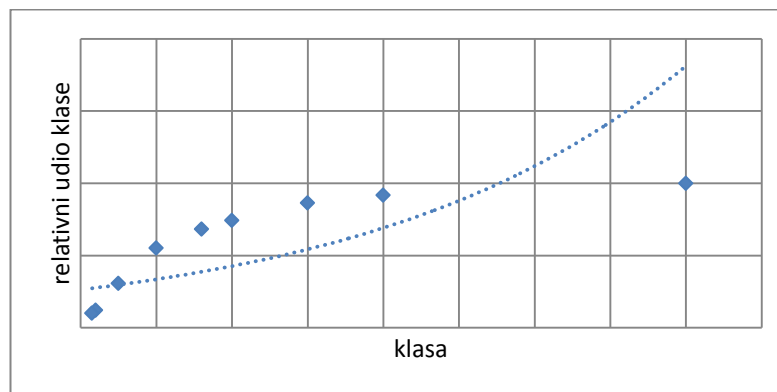
Pravac ili krivulja regresije prolazi kroz određene točke, pokazujući trend. Parametri pravca ili krivulje regresije određuje se metodom najmanjih kvadrata. Regresijske krivulje se mogu i ne moraju podudarati s default regresijama krivulje. U Excel-u mogu se prikazati: eksponencijalna, linearna, logaritamska, polinomna i power krivulja regresije.

### Eksponecijalna

Eksponecijalna krivulja regresije koristi se kada se podaci povećavaju ili smanjuju eksponencijalno ili u stabilno povećavajućem ili smanjujućem omjeru. Na primjer, ako grafikon prikazuje eksponencijalno povećanje prihoda za liniju proizvoda kroz vrijeme, može se koristiti eksponencijalna krivulja regresije.

Formula eksponencijalne krivulje regresije:

$$y = a \cdot e^{b \cdot x}$$



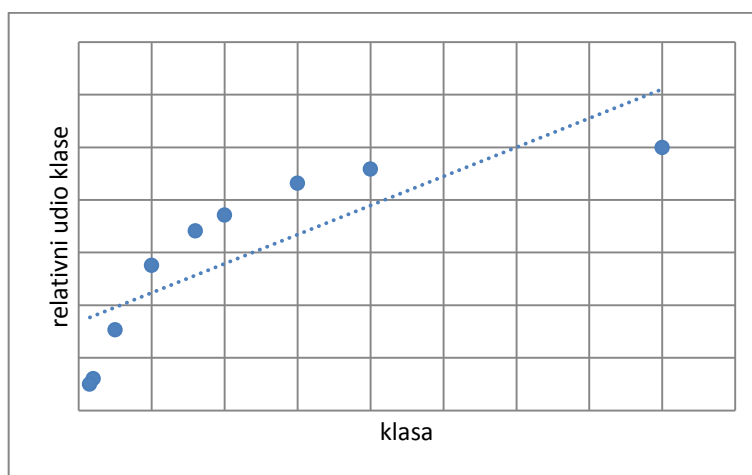
Slika 3: Grafički prikaz eksponencijalne krivulje regresije

### Linearna

Linearna krivulja regresije koristi se kada se podaci povećavaju ili smanjuju u konzistentnom omjeru. Na primjer, ako grafikon prikazuje stalno povećanje prihoda za liniju proizvoda kroz vrijeme, može se koristiti linearna krivulja regresije.

Formula linearnog pravca regresije:

$$y = a \cdot x + b$$



Slika 4: Grafički prikaz linearnog pravca regresije

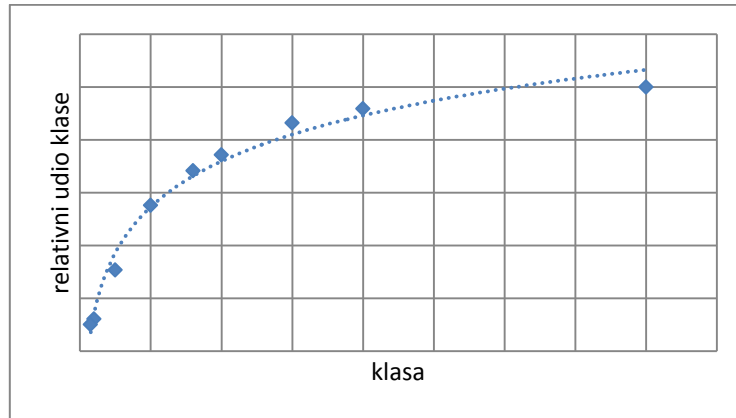
### Logaritamska

Logaritamska krivulja regresije koristi se kada se podaci povećavaju ili smanjuju brzo, a nakon toga postanu stabilni. Na primjer, ako grafikon pokazuje

brzo smanjenje prihoda za liniju proizvoda kroz vrijeme i onda stane, može se koristiti logaritamska krivulja regresije.

Formula logaritamske krivulje regresije:

$$y = a \cdot \ln(x) + b$$



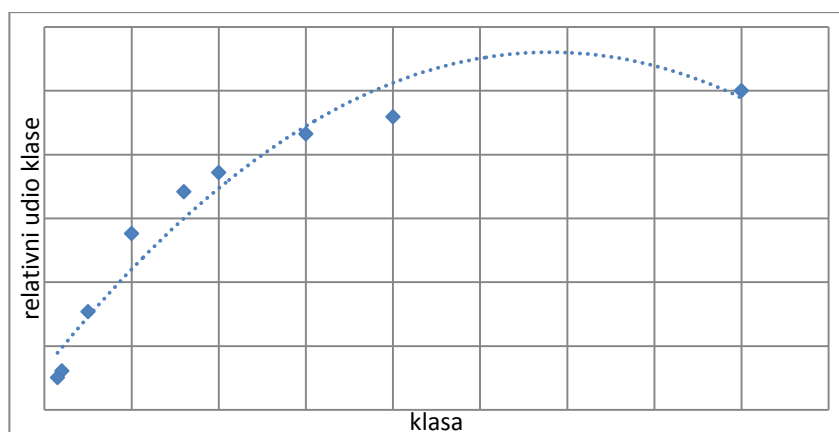
Slika 5: Grafički prikaz logaritamske krivulje regresije

Polinomna

Krivulju regresije polinomnog tipa koristi se ako se podaci i povećavaju i smanjuju. Na primjer, ako grafikon prikazuje i povećanja i smanjenja prihoda za liniju proizvoda u vremenu, može se koristiti krivulja regresije polinomnog tipa.

Formula polinomne krivulje regresije:

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c$$



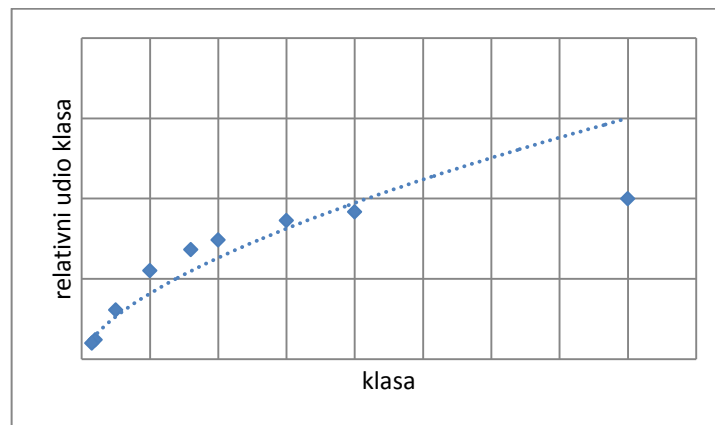
Slika 6: Grafički prikaz polinomne krivulje regresije

## Opća potencija

Potencijska krivulja regresije koristi se kada se vrijednosti podataka povećavaju ili smanjuju konstantno po krivulji. Na primjer, ako grafikon prikazuje stalno povećanje prihoda za liniju proizvoda kroz vrijeme i podaci odgovaraju krivulji, može se koristiti potencijska krivulja regresije.

Formula potencijske krivulje regresije:

$$y = a \cdot x^b$$



Slika 7: Grafički prikaz potencijske krivulje regresije

## 6. UKALPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U EKSPERIMENTALNE PODATKE

Regresijska analiza često se koristi za predviđanje i prognoziranje. Također koristi se za razumijevanje odnosa nezavisnih o zavisnim varijablama i istraživanje oblika tih odnosa. U određenim okolnostima, regresijska analiza se može koristiti za zaključivanje uzročnih odnosa između nezavisnih i zavisnih varijabli. Međutim to može dovesti do pogrešnih ili lažnih odnosa iz razloga što korelacija ne podrazumijeva uzročnost tako da je poželjan oprez. Zbog toga je tu povezanost potrebno kvantitativno izraziti. U praksi se kao mjere povezanosti između statističkih obilježja X i Y u pravilu koriste koeficijent determinacije i korelacije. Razvijene su mnoge tehnike regresijske analize kao što su jednostavna, višestruka, linearna i nelinearna. Najpoznatije metode su linearna regresija i metoda najmanjih kvadrata gdje se regresijska funkcija

definira preko konačnog broja nepoznatih parametara koji se procjenjuju na temelju podataka.

### 6.1. Metoda najmanjih kvadrata

Metoda najmanjih kvadrata najraniji je oblik regresije. Vrijednosti parametara funkcije vjerojatnosti i matematičkih modela određene su metodom najmanjih kvadrata. izračunava se jednadžba linije kod koje će suma odstupanja između originalnih vrijednosti vremenskog niza i utvrđenih trend podataka biti jednaka 0. Označe li se podaci sa  $Y_i$ , a trend podatke sa  $Y_{ci}$ , te primjeni li se metoda najmanjih kvadrata, vrijedi sljedeće:

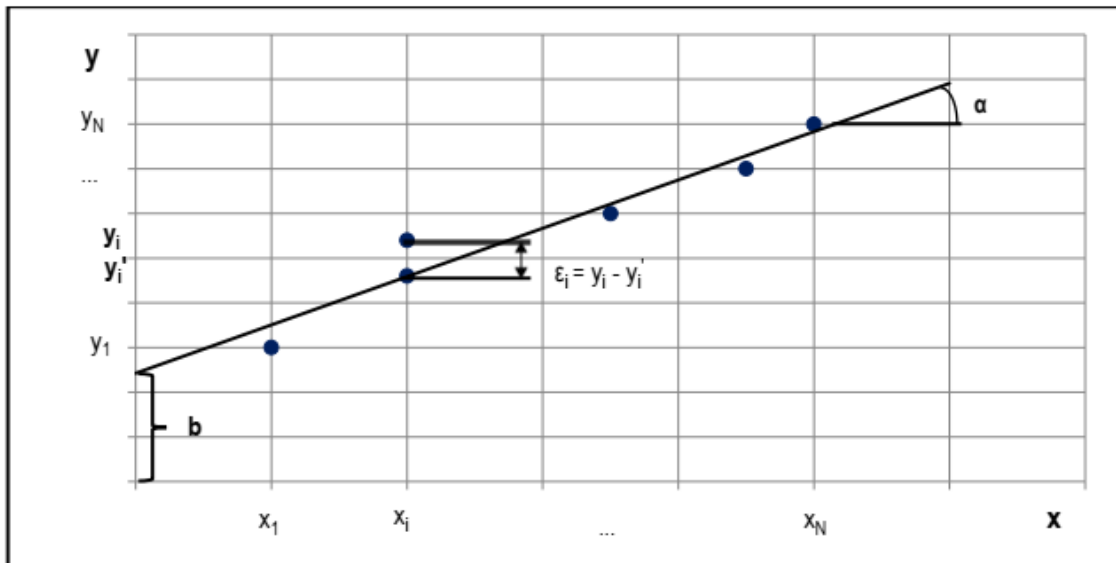
$$\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{ci}) = 0$$

Nadalje vrijedi sljedeće:  $\sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{ci})^2 = \text{minimum}$

Da bi se uočila tendencija razvoja pojave dobro je: imati što veći vremenski niz (više frekvencija) te grafički prikazati pojavu – gdje se iz približnog izgleda nacrtane funkcije donosi sud o mogućem obliku osnovne tendencije razvoja ili tipu trenda. Na osnovi eksperimentalnih podataka moguće je odrediti jednadžbu pravca regresije Gaussovom metodom najmanjih kvadrata. Neka je zadano N eksperimenata čiji su rezultati prikazani tablicom 4 i pripadnim dijagramom disperzije: (slika )

Tablica 4: N broj eksperimenata

x	$X_1$	$X_2$	...	$X_N$
y	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_N$



Slika 8: Dijagram disperzije

Točke ne leže na samom pravcu regresije već postoje određena odstupanja. Eksperimentalna točka  $(x_i, y_i)$  ima istu apscisu kao i točka  $(x_i, y_i')$  koja leži na pravcu, a razlika između njih je odstupanje  $\epsilon_i$ :

$$\epsilon_i = y_i - y_i'$$

Polazeći od opće jednadžbe pravca:

$$y = a \cdot x + b$$

Ordinata  $y_i'$  može se izraziti kao:

$$y_i' = a \cdot x_i + b$$

iz čega proizlazi:

$$\epsilon_i = y_i - a \cdot x_i - b$$

S obzirom da odstupanje  $\epsilon$  može biti i pozitivno i negativno, zbroj svih odstupanja mogao bi biti jednak nuli. Takva situacija može dovesti do zaključka da odstupanja nema, odnosno da točke u dijagramu disperzije leže na pravcu regresije što nije slučaj. Zbog toga je potrebno kvadrirati svako odstupanje  $\epsilon$

kako bi vrijednosti bile strogo pozitivne. Na taj način je definiran zbroj kvadrata odstupanja (S):

$$S = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - a \cdot x_i - b)^2$$

Iz gornjeg je izraza očito da zbroj S ovisi o vrijednostima parametara pravca regresije a i b:

$$S = f(a, b)$$

Iz uvjeta:

$$\frac{dS}{da} = 0$$

$$\frac{dS}{db} = 0$$

moguće je odrediti vrijednosti parametara a i b kod kojih je zbroj S najmanji:

$$\frac{dS}{da} = 2 \sum_{i=1}^N (y_i - a \cdot x_i - b) \cdot (-x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^N (a \cdot x_i^2 + b \cdot x_i - x_i \cdot y_i) = a \sum_{i=1}^N x_i^2 + b \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N x_i y_i = 0$$

$$a \sum_{i=1}^N x_i^2 + b \sum_{i=1}^N x_i - \sum_{i=1}^N x_i y_i = 0 \quad (1)$$

$$\frac{dS}{db} = 2 \sum_{i=1}^N (y_i - a \cdot x_i - b) \cdot (-1) = 0$$

$$\sum_{i=1}^N (a \cdot x_i + b - y_i) = a \sum_{i=1}^N x_i + bN - \sum_{i=1}^N y_i = 0$$

$$a \sum_{i=1}^N x_i + b \cdot N - \sum_{i=1}^N y_i = 0 \quad (2)$$

Na osnovi izraza (1) i (2) moguće je formirati sustav od dvije jednačbe s dvije nepoznanice. Ako se izraz (2) podijeli s N, proizlazi:

$$a \cdot \bar{x} + b - \bar{y} = 0$$

iz čega je vidljivo kako pravac regresije prolazi točkom  $(\bar{x}, \bar{y})$



## 6.2. Koeficijent korelacije i determinacije

**Koeficijent korelacije** ( $r$ ) pokazuje stupanj povezanosti između dviju pojava i definiran je kao omjer kovarijance i produkta standardnih devijacija:

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x * \sigma_y}$$

S obzirom da kovarijanca može biti i pozitivna i negativna, koeficijent korelacije može poprimiti pozitivnu ili negativnu vrijednost:

**$r > 0$ : pozitivna korelacija** (ako raste vrijednost statističkog obilježja X, u prosjeku raste i vrijednost statističkog obilježja Y)

**$r < 0$ : negativna korelacija** (ako raste vrijednost statističkog obilježja X, u prosjeku se vrijednost statističkog obilježja Y smanjuje).

$$0 > r > 0$$

Ako je  $|r| < 0,5$  podaci su slabo korelirani, a ako je  $|r| > 0,5$ , tada je korelacija značajna. Ako je  $|r|=1$ , veza između promatranih pojava je funkcionalna: zavisna varijabla mijenja se točno po matematičkom zakonu (funkciji). Takav primjer je međuovisnost iznosa sile teže i mase tijela.

**Koeficijent determinacije** predstavlja udio u zbroju kvadrata odstupanja vrijednosti statističkog obilježja Y od pripadne aritmetičke sredine koji je protumačen vezom između pojava X i Y.

Omjer protumačenog dijela varijance ( $\sigma_p^2$ ) i ukupne varijance ( $\sigma^2$ ) je koeficijent determinacije ( $R^2$ ):

$$R^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma^2}$$

odnosno:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}$$

Protumačeni dio varijance može najviše biti jednak ukupnoj varijanci i tada je vrijednost koeficijenta determinacije jednaka 1.

Ukoliko između promatranih pojava nema povezanost, tada je vrijednost protumačenog dijela varijance jednaka nuli. Zbog toga se vrijednost koeficijenta kreće u intervalu od 0 do 1, tj.:

$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Kada je koeficijent determinacije jednak 0, između X i Y nema povezanosti, a ukoliko je jednak 1 između X i Y postoji potpuna povezanost.

### Usporedba koeficijenta determinacije i koeficijenta korelacije

U praksi se kao mjere povezanosti između statističkih obilježja X i Y u pravilu koriste koeficijent determinacije i korelacije. Razlog tome je što se njihove vrijednosti mogu kretati samo u točno određenim intervalima (za razliku od vrijednosti kovarijance).

Svaka od tih mjera ima svoje prednosti i nedostaci koje su prikazane u tablici:

	$R^2$	$r$
<b>Prednost</b>	Dobar pokazatelj za svaki tip korelacije (linearni i nelinearni)	Ukazuje na predznak korelacije
<b>Nedostatak</b>	Ne pokazuje predznak korelacije	Dobar pokazatelj isključivo za linearni tip korelacije

Ako je korelaciju linearna, tada vrijedi:

$$\text{koef. DETERMINACIJE} = (\text{koef. KORELACIJE})^2$$

$$R^2 = r^2$$

Ovdje treba napomenuti da ovakav odnos između koeficijenta determinacije i koeficijenta korelacije vrijedi isključivo ako je korelacija linearna. Koeficijent determinacije predstavlja udio u zbroju kvadrata odstupanja vrijednosti statističkog obilježja Y od pripadne aritmetičke sredine koji je protumačen vezom između pojava X i Y. vrijednost koeficijenta determinacije jednaka je 1 kada protumačeni dio varijance može najviše biti jednak ukupnoj varijanci.

U slučaju kada između promatranih pojava nema povezanost, tada je vrijednost protumačenog dijela varijance jednaka nuli. Zbog toga se vrijednost koeficijenta kreće u intervalu od 0 do 1, tj:

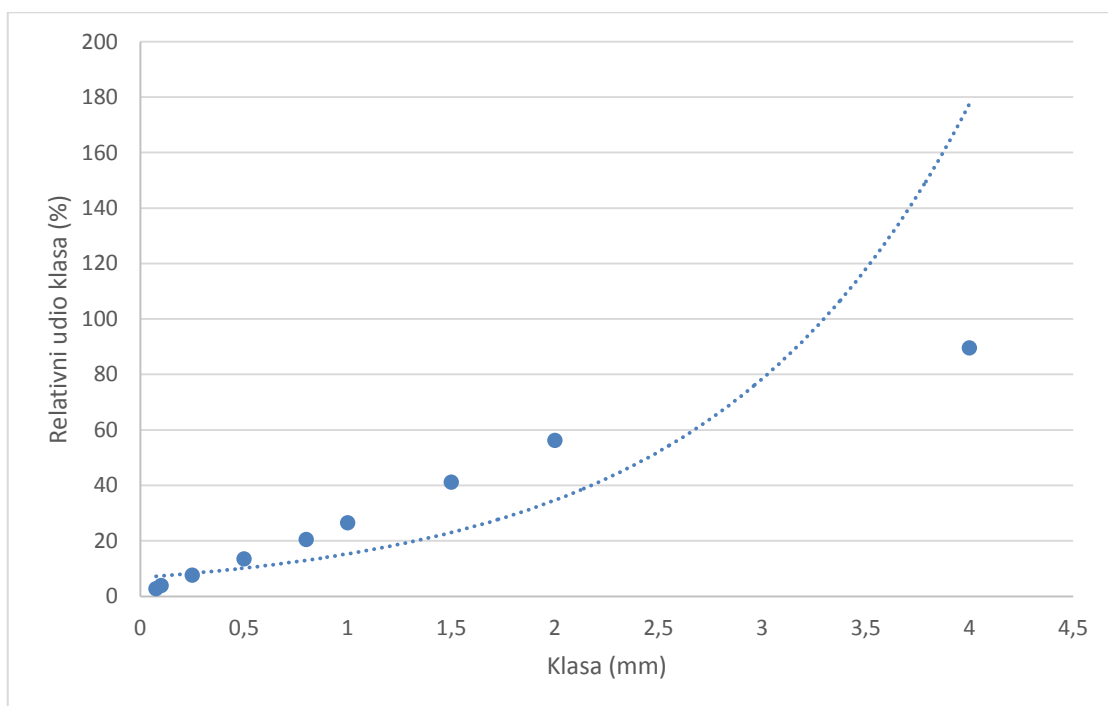
$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Između X i Y nema povezanosti kada je koeficijent determinacije jednak 0. Ukoliko je jednak 1, između X i Y postoji potpuna povezanost.

### 6.3. Rezultati uklapanja

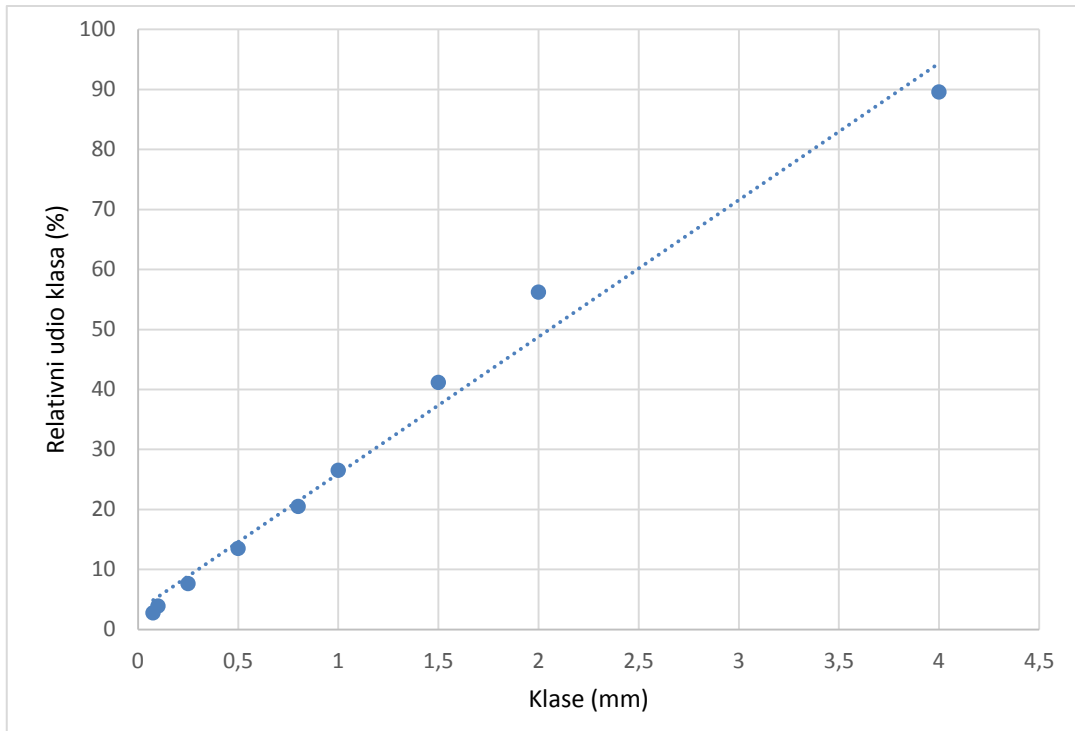
Na osnovi empirijskih podataka prikazanih u tablici 2 prikazane su navedene krivulje regresije za **elektroničke komponente** tiskane pločice. (slika 9, 10, 11, 12 i 13)

$$y = 6,7683 * e^{0,8168x}$$



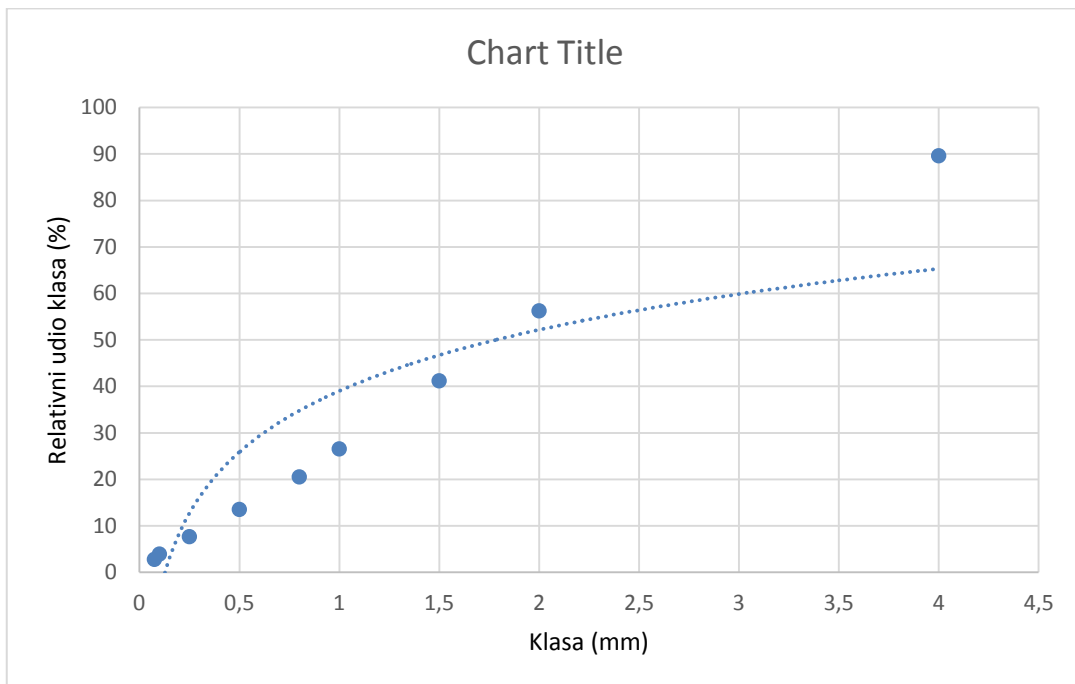
Slika 9: Eksponencijalna krivulja regresije za elektroničku komponentu

$$y = 22,797 * x + 3,1982$$



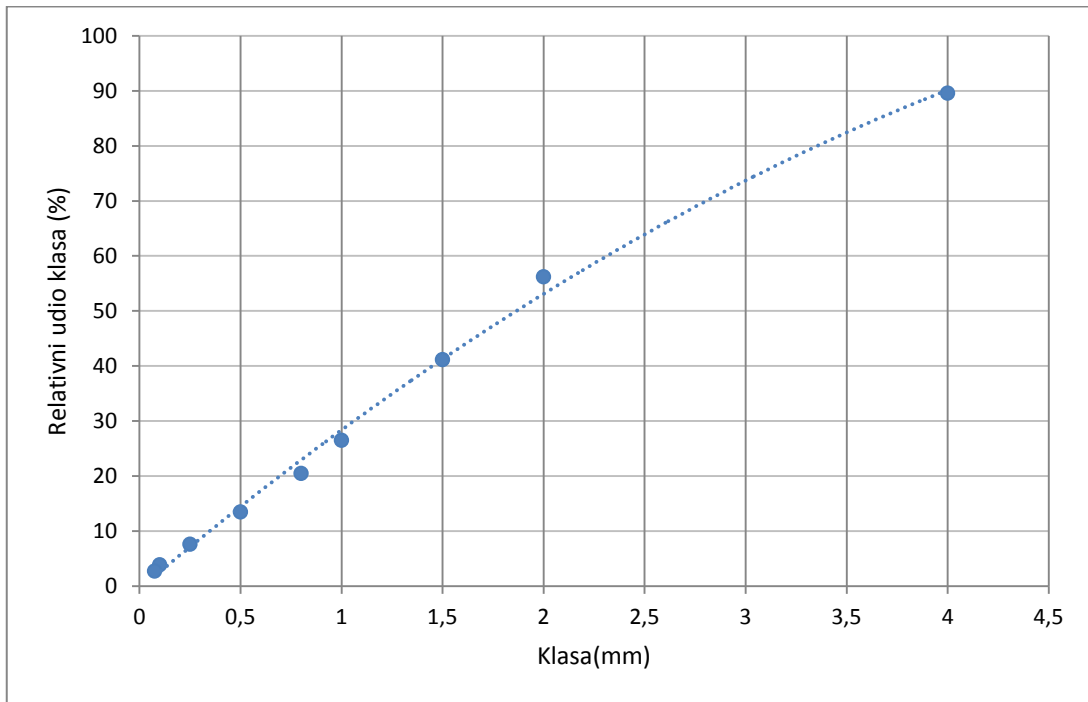
Slika 10: Linearni pravac regresije za elektroničku komponentu

$$y = 18,965 * \ln(x) + 39,024$$



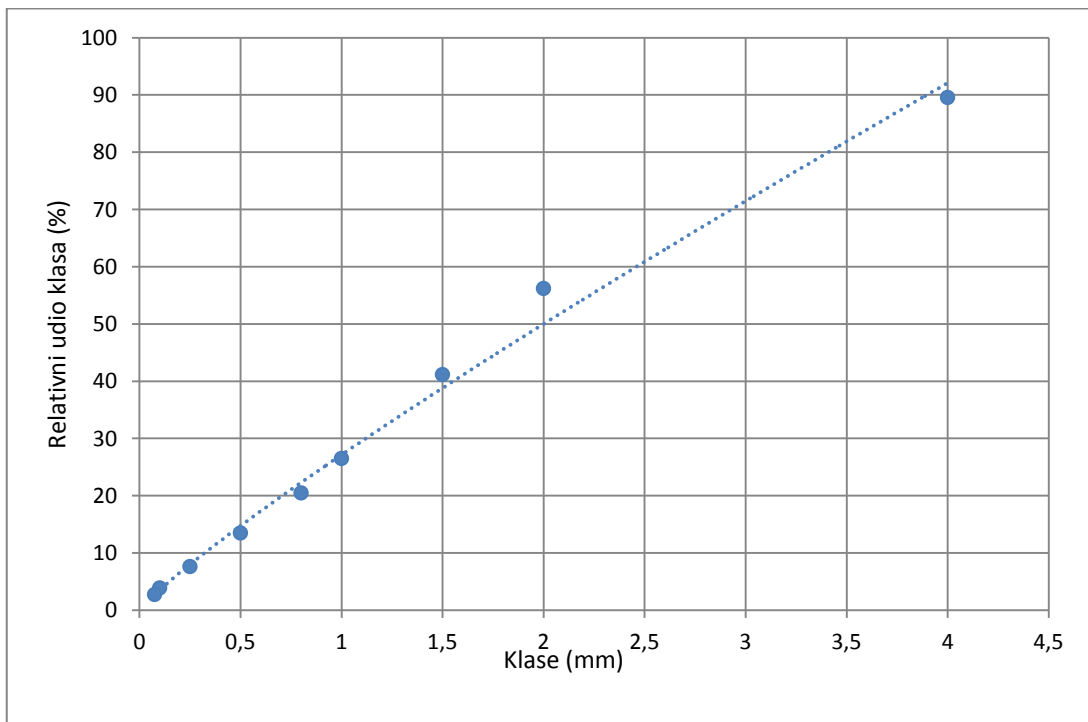
Slika 11: Logaritamska krivulja regresije za elektroničku komponentu

$$y = -2,0666 * x^2 + 30,917 * x - 0,4663$$



Slika 12: Polinomna krivulja regresije za elektroničku komponentu

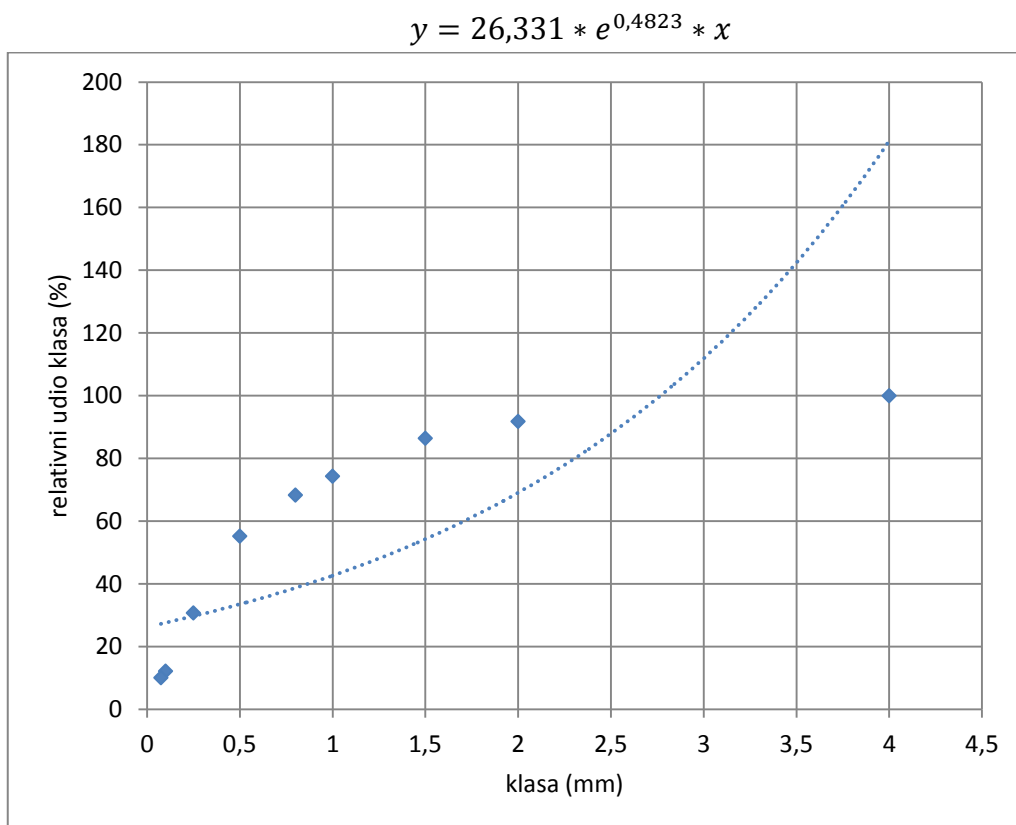
$$y = 27,152 * x^{0,8811}$$



Slika 13: Potencijska krivulja regresije za elektroničku komponentu

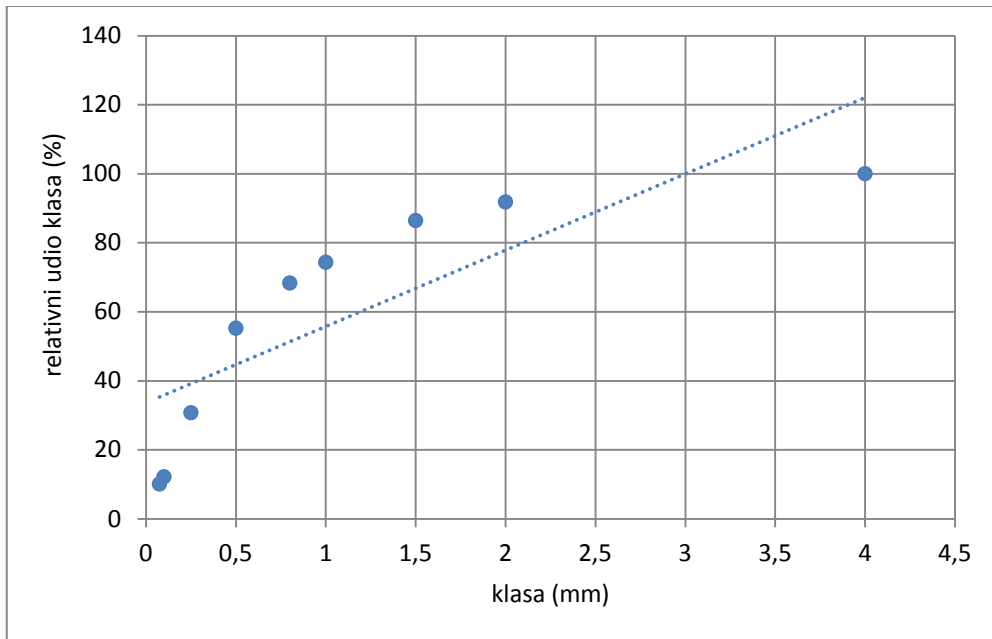
Vrijednosti koeficijenta determinacije variraju od 0,7407 (eksponencijalna krivulja regresije) do 0,9965 (polinomna krivulja regresije). Iz slike 12 i dobivene vrijednosti koeficijenta determinacije je razvidno da se polinomna krivulja regresije najbolje uklapa u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu elektroničke komponenta u tiskanim pločicama.

Na osnovi empirijskih podataka prikazanih u tablici 3 prikazane su navedene krivulje regresije za **plastične komponente** tiskane pločice. (slika 14, 15, 16, 17 i 18)



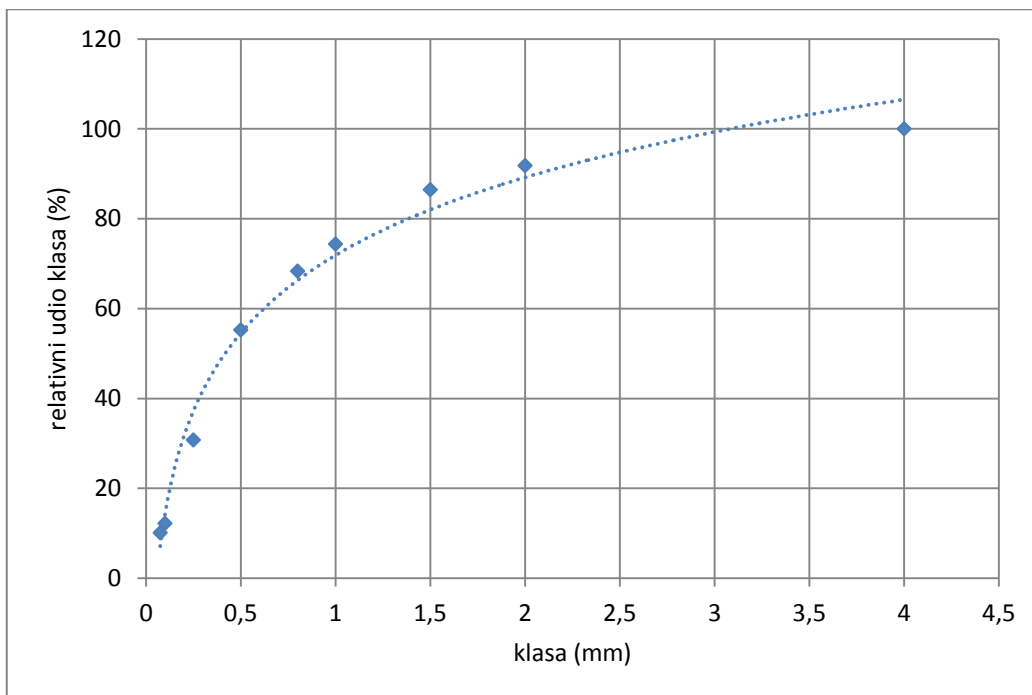
Slika 14: Eksponencijalna krivulja regresije za plastičnu komponentu

$$y = 22,088 * x + 33,704$$



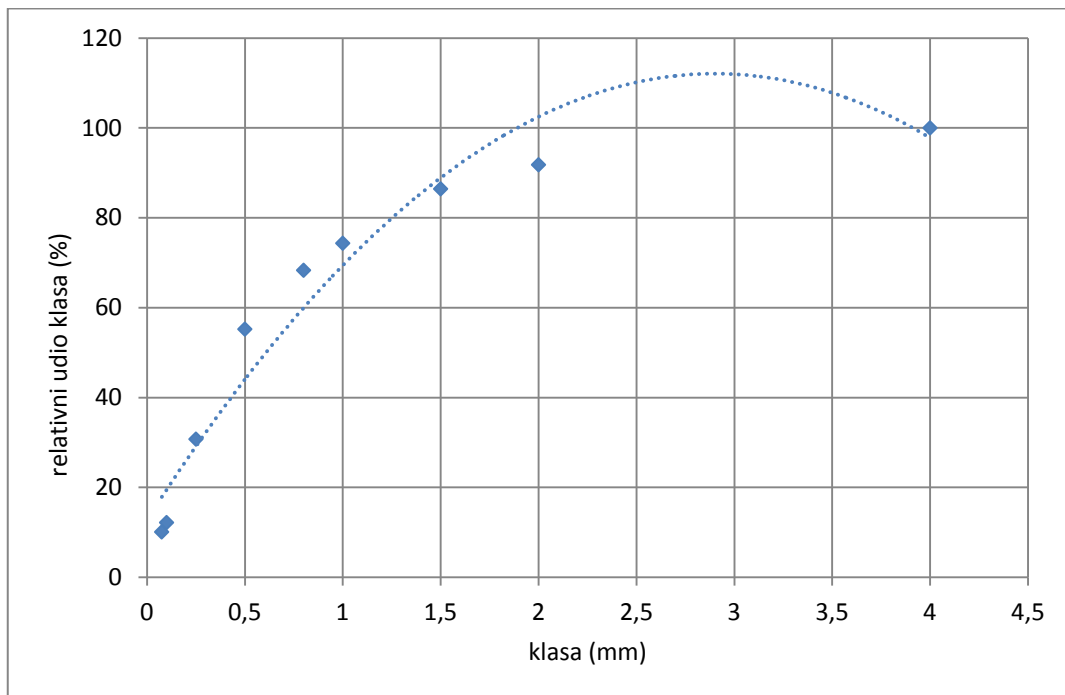
Slika 15 : Linearni pravac regresija za plastičnu komponentu

$$Y = 24,985 * \ln(x) + 71,876$$



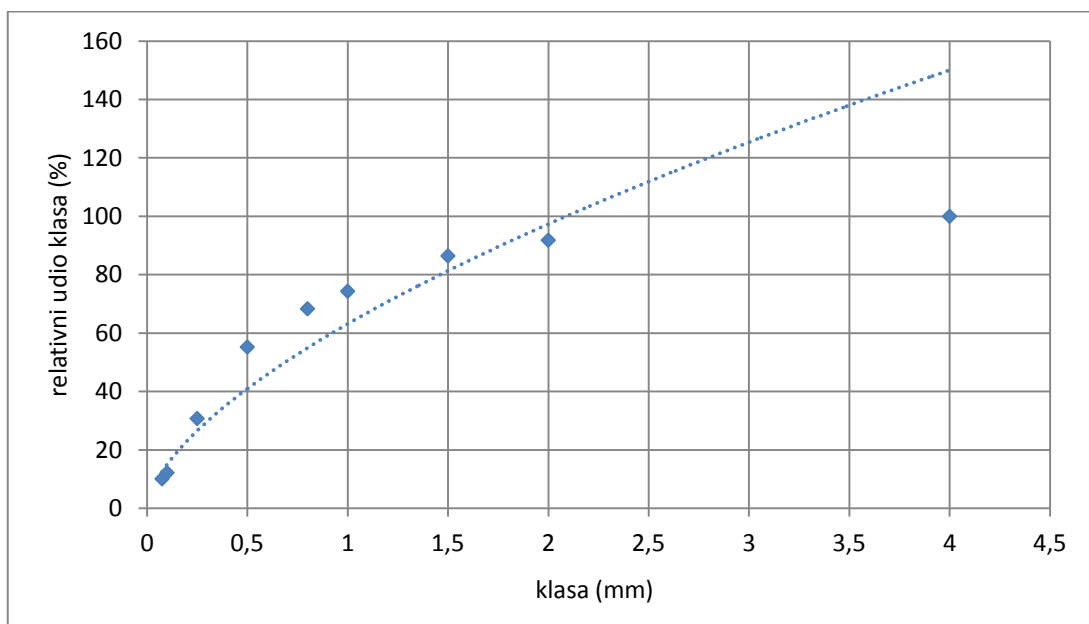
Slika 16: Logaritamska krivulja regresije za plastičnu komponentu

$$y = -11,8 * x^2 + 68,453 * x + 12,78$$



Slika 17: Polinomna krivulja regresije za plastičnu komponentu

$$y = 63,143 * x^{0,6243}$$



Slika 18: Potencijska krivulja regresije za plastičnu komponentu

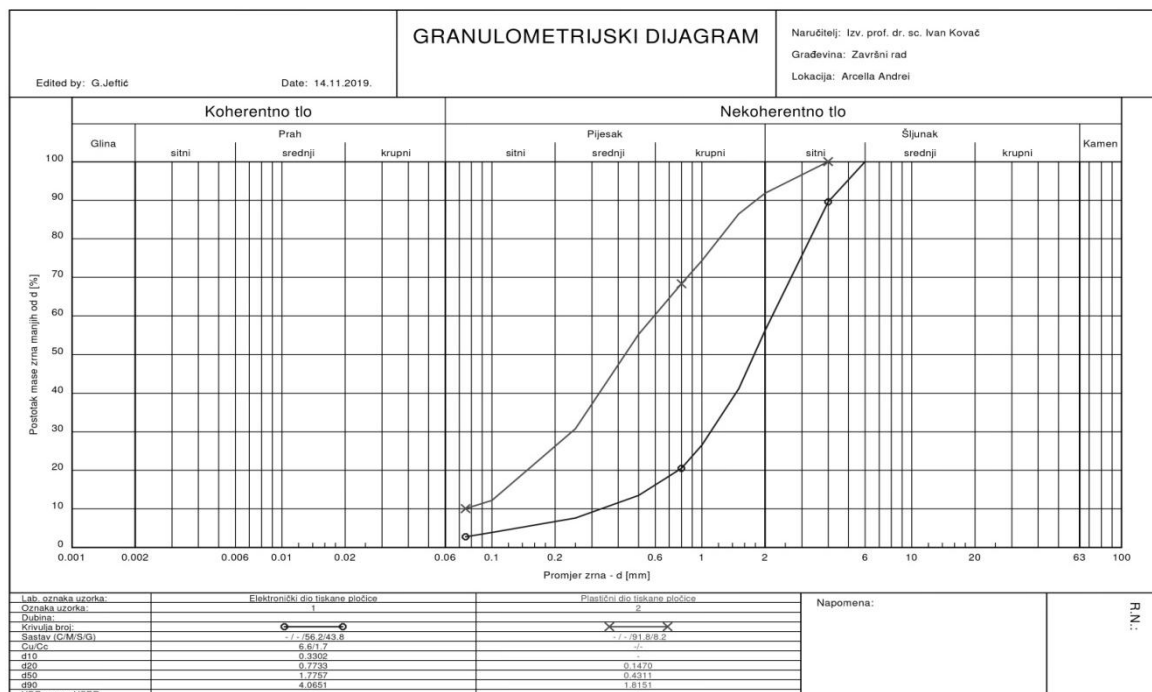


Vrijednosti koeficijenta determinacije variraju od 0,4787 (eksponencijalna krivulja regresije) do 0,9854 (logaritamska krivulja regresije). Iz slike 16 i dobivene vrijednosti koeficijenta determinacije je razvidno da se logaritamska krivulja regresije najbolje uklapa u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu plastične komponenta u tiskanim pločicama. U tablici 5 prikazane su sve vrijednosti koeficijenta determinacije za plastičnu i elektroničku komponentu za pojedine krivulje regresije.

Tablica 5: Koeficijenti determinacije za plastičnu i elektroničku komponentu

$R^2$	Eksponencijalna	Linearna	Logaritamska	Polinomna	Potencijska
Plastična komponenta	0,4787	0,6663	0,9854	0,9502	0,9271
Elektronička komponenta	0,7407	0,9844	0,7874	0,9965	0,9962

Na osnovi empirijskih podataka prikazanih u tablici 2 i 3 izrađen je dijagram granulometrijskog sastava elektroničkog i plastičnog dijela tiskane pločice. (slika 19.)



Slika 19: Dijagram granulometrijskog sastava elektroničkog i plastičnog dijela tiskane pločice

## Rezultati prosijavanja za elektronički i plastični dio tiskane pločice.

Project:

R.N.:

-----  
Lab. oznaka uzorka: **Elektronički dio tiskane pločice**

Dubina:

Cu/Cc 6.6/1.7

Obradio: G.Jeftić

Date: 14.11.2019.

Naručitelj: Izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač

Građevina: Završni rad

Lokacija: Arcella Andrei

Method:

-----  
Sieve analysis

=====

Dry mass: 122.90 g

10 sieves evaluated

Diameter[mm]	Residue [g]	Residue [%]	Passage[%]
6.0000	0.00	0.00	100.00
4.0000	12.80	10.41	89.59
2.0000	41.00	33.36	56.22
1.5000	18.50	15.05	41.17
1.0000	18.00	14.65	26.53
0.8000	7.40	6.02	20.50
0.5000	8.60	7.00	13.51
0.2500	7.20	5.86	7.65
0.1000	4.60	3.74	3.91
0.0750	1.40	1.14	2.77
Pan	3.40	2.77	

-----  
Total sieve residue = 122.90 g

Sieving loss = 0.00 g

Diameter for 10% passage = 0.33019 mm

Diameter for 15% passage = 0.55274 mm

Diameter for 20% passage = 0.77335 mm

Diameter for 30% passage = 1.10096 mm

Diameter for 50% passage = 1.77569 mm

Diameter for 60% passage = 2.16321 mm

Diameter for 85% passage = 3.63653 mm

Derived quantities:

Uniformity degree/curvature coeff. = 6.6/1.7

kf (Hazen) = - m/s

kf (Beyer) = 8.72E-4 m/s

kf (USBR) = - m/s

kf (Seelheim) = - m/s

kf (Zieschang) = 7.60E-4 m/s

kf (Kaubisch) = - m/s

kf (Seiler) = 1.95E-3 m/s

Clay: -

Silt: -

Sand: 56.2 %

Gravel: 43.8 %

Passage at 0.002 mm: 0.0 %

Passage at 0.06 mm: 0.0 %

Passage at 2.0 mm: 56.2 %

Passage bei 63 mm: 100.0 %

Diameter for 5% passage = 0.13072 mm

Diameter for 10% passage = 0.33019 mm

Diameter for 15% passage = 0.55274 mm

Diameter for 20% passage = 0.77335 mm

Diameter for 25% passage = 0.94503 mm

Diameter for 30% passage = 1.10096 mm

Diameter for 35% passage = 1.26441 mm

Diameter for 40% passage = 1.45212 mm

Diameter for 45% passage = 1.61386 mm

Diameter for 50% passage = 1.77569 mm

Diameter for 55% passage = 1.95374 mm

Diameter for 60% passage = 2.16321 mm

Diameter for 65% passage = 2.40002 mm

Diameter for 70% passage = 2.66277 mm

Diameter for 75% passage = 2.95428 mm

Diameter for 80% passage = 3.27770 mm

Diameter for 85% passage = 3.63653 mm

Diameter for 90% passage = 4.06515 mm

Diameter for 95% passage = 4.93871 mm

Diameter for 16% passage = 0.59114 mm

Diameter for 84% passage = 3.56175 mm

-----  
Project:

R.N.:

-----

Lab. oznaka uzorka: **Plastični dio tiskane pločice**

Dubina:

Cu/Cc -/-

Obradio: G.Jeftić

Date: 14.11.2019.

Naručitelj: Izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač

Građevina: Završni rad

Lokacija: Arcella Andrei

Method:

-----

Sieve analysis

=====

Dry mass: 109.90 g

9 sieves evaluated

Diameter[mm]	Residue [g]	Residue [%]	Passage[%]
4.0000	0.00	0.00	100.00
2.0000	9.00	8.19	91.81
1.5000	5.90	5.37	86.44
1.0000	13.30	12.10	74.34
0.8000	6.60	6.01	68.33
0.5000	14.40	13.10	55.23
0.2500	26.90	24.48	30.76
0.1000	20.40	18.56	12.19
0.0750	2.30	2.09	10.10
Pan	11.10	10.10	

-----  
Total sieve residue = 109.90 g

Sieving loss = 0.00 g

Diameter for 10% passage = -

Diameter for 15% passage = 0.11486 mm

Diameter for 20% passage = 0.14702 mm

Diameter for 30% passage = 0.24085 mm

Diameter for 50% passage = 0.43115 mm

Diameter for 60% passage = 0.59326 mm

Diameter for 85% passage = 1.42924 mm

Derived quantities:

Uniformity degree/curvature coeff. = -/-

kf (Hazen) = - m/s

kf (Beyer) = - m/s

kf (USBR) = - m/s

kf (Seelheim) = - m/s

kf (Zieschang) = - m/s

kf (Kaubisch) = - m/s

kf (Seiler) = - m/s

Clay: -

Silt: -

Sand: 91.8 %

Gravel: 8.2 %

Passage at 0.002 mm: 0.0 %

Passage at 0.06 mm: 0.0 %

Passage at 2.0 mm: 91.8 %

Passage bei 63 mm: 100.0 %

Diameter for 5% passage = -

Diameter for 10% passage = -

Diameter for 15% passage = 0.11486 mm

Diameter for 20% passage = 0.14702 mm

Diameter for 25% passage = 0.18817 mm

Diameter for 30% passage = 0.24085 mm

Diameter for 35% passage = 0.28193 mm

Diameter for 40% passage = 0.32482 mm

Diameter for 45% passage = 0.37422 mm

Diameter for 50% passage = 0.43115 mm

Diameter for 55% passage = 0.49673 mm

Diameter for 60% passage = 0.59326 mm

Diameter for 65% passage = 0.70980 mm

Diameter for 70% passage = 0.85106 mm

Diameter for 75% passage = 1.02235 mm

Diameter for 80% passage = 1.20879 mm

Diameter for 85% passage = 1.42924 mm

Diameter for 90% passage = 1.81505 mm

Diameter for 95% passage = 2.61978 mm

Diameter for 16% passage = 0.12067 mm

Diameter for 84% passage = 1.38215 mm

## 7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada je analiza granulometrijskog sastava usitnjenih tiskanih pločica iz računala da se utvrdi disperzija korisnih komponenti ovisno o veličini zrna usitnjenih tiskanih pločica. Prije svega treba obratiti pažnju na otrovne i opasne materijale te plastiku i metale koji imaju negativan utjecaj na zdravlje ljudi i okoliš, a sastavni su dio tiskanih pločica, ali i na vrijedne materijale kao što su paladij, zlato i bakar. Dakle, recikliranje tiskanih pločica je neizbježan proces pri očuvanju okoliša. Važan proces prilikom recikliranja otpadnih tiskanih pločica računala je usitnjavanje.

Analizom podataka koji prikazuju udio uzoraka usitnjenih tiskanih pločica iz elektroničkog i plastičnog dijela tiskanih pločica računala vidljiva su odstupanja pojedinih krivulja. Vrijednosti koeficijenata determinacije za elektroničku komponentu variraju od 0,7407 do 0,9965. Iz slike 12 i dobivene vrijednosti koeficijenta determinacije (tablica 5) je razvidno da se polinomna krivulja regresije najbolje uklapa u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu elektroničke komponente u tiskanim pločicama. Vrijednosti koeficijenata determinacije za plastičnu komponentu variraju od 0,4787 do 0,9854. Iz slike 16 i dobivene vrijednosti koeficijenta determinacije (tablica 5) je razvidno da se logaritamska krivulja regresije najbolje uklapa u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu plastične komponente u tiskanim pločicama. U daljnjem istraživanju i praksi potrebno je isprobati i usavršiti proces, naći dobar omjer sigurnog zbrinjavanja nastalog otpada, štetnih tvari prilikom procesa uporabe i ekonomske isplativosti samog procesa.

## 8. SAŽETAK

**Ključne riječi** : EE otpad, tiskane pločice, usitnjavanje, granulometrijski sastav

Tiskane pločice su važan dio elektroničke (EE) opreme. Posljedica brzog tehnološkog razvoja je konstantan rast proizvodnje tiskanih pločica, a time i nastajanja značajnih količina te vrste otpada koje je potrebno zbrinuti na ekološki prihvatljiv način.

Proces recikliranja tiskanih pločica iz računala je veoma zahtijevan proces zbog njihovog heterogenog sastava. U radu je provedena analiza pojedinih granulometrijskih dijagrama koji prikazuju udio klasa usitnjenih tiskanih pločica iz elektroničkog i plastičnog dijela tiskanih pločica. Cilj je bio da se odredi optimalna veličina zrna za usitnjavanje otpadnih TP-a u laboratorijskom mjerilu i analiza sastava pojedinih klasa usitnjenih otpadnih tiskanih pločica računala. Kroz daljnja istraživanja potrebno je usavršiti proces, kako bi se što preciznije utvrdila disperzija korisnih komponenti ovisno o veličini zrna usitnjenih TP-a. Što se tiče odlaganja, bolje bi bilo odložiti cijele TP jer se usitnjavanjem višestruko povećava specifična površina a time mogućnost npr. otapanja, isparavanja i sl.

## 9. LITERATURA

1. L. Long, S. Sun, S. Zhong, W. Dai, J. Liu, W. Song: Using vacuum pyrolysis and mechanical processing for recycling waste printed circuit boards, *Journal of Hazardous Materials* 177 (2010) 626–632
2. Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom. (Urednički pročišćeni tekst, „Narodne novine“, broj 42/14, 48/14, 107/14, 139/14 i 11/19)
3. Manuela K. Karakterizacija otpadnih tiskanih pločica. Diplomski rad. Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. 2012.
4. Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom („Narodne novine“, broj 11/19 od 30.01.2019.)
5. Tajana T. Komparativna analiza rezultata usitnjavanja tiskanih pločica iz računala ovisno o predobradi. Završni rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. 2013.
6. D. Vitić: Analiza otpadnih štampanih pločica kao doprinos uporabi EE otpada, diplomski rad (2011), Sveučilište u Zagrebu Geotehnički fakultet Varaždin
7. Murugan, L.: Use of e-plastic waste in bituminous, pavements *GRAĐEVINAR*, 70(2018) 7, pp. 607-615, doi: <https://doi.org/10.14256/JCE.1375.2015>
8. Kovač, I.: Primijenjena statistika, skripte s predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. 2014.
9. [http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021\\_otpad/Izvjescia/ostalo/OTP\\_Izve%C5%A1%C4%87e%20o%20EE%20otpadu\\_2017\\_final\\_WEB.PDF](http://www.haop.hr/sites/default/files/uploads/dokumenti/021_otpad/Izvjescia/ostalo/OTP_Izve%C5%A1%C4%87e%20o%20EE%20otpadu_2017_final_WEB.PDF)
10. <https://ee-otpad.com/ee-otpad-u-hrvatskoj.pdf>
11. [https://zastitaokolisa.dashofer.hr/33/sustav-gospodarenja-ee-otpadom-i-obveze-dionika-u-2019-godini-uniqueidmRRWSbk196E4DjKFq6pChJc5hcOhHolC66p8Pphb4IRPRJxycE-8sg/?uri\\_view\\_type=4](https://zastitaokolisa.dashofer.hr/33/sustav-gospodarenja-ee-otpadom-i-obveze-dionika-u-2019-godini-uniqueidmRRWSbk196E4DjKFq6pChJc5hcOhHolC66p8Pphb4IRPRJxycE-8sg/?uri_view_type=4)



## POPIS SLIKA

Slika 1: Tiskane pločice.....	4
Slika 2: Mlin čekičar s osnovnim dijelovima.....	10
Slika 3: Grafički prikaz eksponencijalne krivulje regresije.....	13
Slika 4: Grafički prikaz linearnog pravca regresije.....	13
Slika 5: Grafički prikaz logaritamske krivulje regresije.....	14
Slika 6: Grafički prikaz polinomne krivulje regresije.....	14
Slika 7: Grafički prikaz potencijske krivulje regresije.....	15
Slika 8: Dijagram disperzije.....	17
Slika 9: Eksponencijalna krivulja regresije za elektroničku komponentu.....	21
Slika 10: Linearni pravac regresije za elektroničku komponentu.....	22
Slika 11: Logaritamska krivulja regresije za elektroničku komponentu.....	22
Slika 12: Polinomna krivulja regresije za elektroničku komponentu.....	23
Slika 13: Potencijska krivulja regresije za elektroničku komponentu.....	23
Slika 14: Eksponencijalna krivulja regresije za plastičnu komponentu.....	24
Slika 15 : Linearni pravac regresija za plastičnu komponentu.....	25
Slika 16: Logaritamska krivulja regresije za plastičnu komponentu.....	25
Slika 17: Polinomna krivulja regresije za plastičnu komponentu.....	26
Slika 18: Potencijska krivulja regresije za plastičnu komponentu.....	26
Slika 19: Dijagram granulometrijskog sastava elektroničkog i plastičnog dijela tiskane pločice.....	27

## POPIS TABLICA

Tablica 1: Udio elemenata u miješanom uzorku tiskanih pločica.....	6
Tablica 2: Granulometrijski sastav elektroničkog dijela tiskane pločice.....	11
Tablica 3: Granulometrijski sastav plastičnog dijela tiskane pločice.....	11
Tablica 4 : N broj eksperimenata.....	16
Tablica 5: Koeficijenti determinacije za plastičnu i elektroničku komponentu ...	27