Uklapanje pravca i krivulja regresije u dijagram granulometrijskog sastava usitnjenih tiskanih pločica iz TV prijemnika

Arcella, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

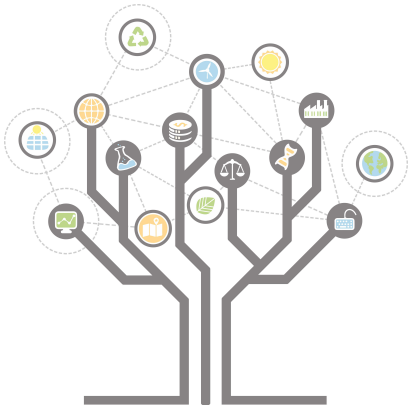
2020

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:047495

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ANTONIO ARCELLA

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

ZAVRŠNI RAD

Varaždin, 2020

Sazivam članove ispitnog povjerenstva

za _____ u _____ sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred

ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, _____

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Igor Petrović

Članovi povjerenstva

1) Izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač
2) Izv. prof. dr. sc. Sanja Kovač
3) Dr. sc. Vitomir Premur, v. pred.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

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

KANDIDAT:
Antonio Arcella

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

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: ANTONIO ARCELLA

Matični broj: 2736 - 2016./2017.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

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

Rad treba sadržati:
1. Uvod
2. Električni i elektronički otpad
3. Tiskane pločice
4. Rezultati ispitivanja
5. Pravac i krivulje regresije
6. Uklapanje pravca i krivulja regresije u eksperimentalne podatke
7. Zaključak

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

Zadatak zadan: 11.03.2020. Rok predaje: 03.09.2020.

Mentor:	Drugi mentor/komentor:	Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Ivan Kovač	Izv.prof.dr.sc. Sanja Kovač	Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

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 TV PRIJEMNIKA

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**

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, 26.08.2020.

Antonio Arcella
(Ime i prezime)

Antonio Arcella
(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

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

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 26.08.2020.

Izv. prof. dr. sc. Ivan Kovač
(Mentor)

Kovač

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Autor: Antonio Arcella

Naslov rada: Uklapanje pravca i krivulja regresije u dijagram granulometrijskog sastava usitnjenih tiskanih pločica iz TV prijemnika

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

Svrha rada je da se na temelju provedene analize određenih granulometrijskih dijagrama kojima se opisuju udjeli klasa usitnjenih tiskanih pločica TV prijemnika u laboratorijskom mjerilu, utvrdi zadovoljavajuća veličina zrna za usitnjavanje otpadnih TP-a., te analizira sastav određenih klasa usitnjenih otpadnih tiskanih pločica TV prijemnika. Analiza je provedena na elektroničkom i plastičnom dijelu tiskanih pločica.

Jedna od posljedica brzog razvoja tehnologije je povećan porast proizvodnje tiskanih pločica s posljedicom nastajanja bitnih količina te vrste otpada. Udio tiskanih pločica (TP) u masi elektroničkog otpada (EE) iznosi 3 do 6%. Jedan su od njegovih najsloženijih dijelova jer sadrže najvrijednije (paladij, zlato i bakar), ali i najopasnije (olovo, živa) komponente. Zato je je tu vrstu otpada neophodno zbrinuti na način koji je ekološki prihvatljiv primjenjujući tehnologiju recikliranja, koja je veoma složen i zahtjevan proces, zbog raznolikog sastava TP-a, te se zbog toga još uvijek ograničeno primjenjuje. Zbog toga bi trenutno bilo bolje odlagati cijele TP-e jer se usitnjavanjem više puta povećava specifična površina a onda i mogućnost npr. otapanja ili isparavanja štetnih komponenti. Zato, kroz buduća istraživanja treba usavršiti proces kojim bi se detaljnije utvrdila disperzija korisnih i štetnih elemenata zavisno o veličini zrna usitnjenih TP-a.

ABSTRACT

Author: Antonio Arcella

Title: Regression line and curves fitting into grain size diagram of milled printed circuit board from TV set

Keywords: printed circuit boards; granulation; granulometric composition; EE waste

The goal of this thesis is to determine the optimal grain size for milling waste PCBs (printed circuit boards), as well as to analyze the composition of individual classes of milled waste printed circuit boards of TV sets, based on the analysis of certain grain size diagrams used to describe the proportion of classes of milled printed circuits boards from TV sets on a laboratory-scale. The analysis was carried out on the electronic and plastic part of the printed circuit boards.

The rapid technological development caused an increase in the production of printed circuit boards, consequently generating significant quantities of this type of waste. The fraction of printed circuit boards (PCBs) in the mass of electronic waste (EE) is 3 to 6%. They are one of its most complex parts because they contain the most valuable (palladium, gold and copper), but also the most dangerous (lead, mercury) components. That is why this type of waste should be disposed of in an eco-friendly manner by using recycling technology, which represents a very demanding and complex process due to the heterogeneous composition of PCBs, that is also the cause of its limited use. For that reason, disposing of the entire printed circuit boards presents a better solution, at least for now, as the shredding multiplies the specific surface area, and thus the possibility of e.g. evaporation of harmful components. Therefore, further research should be aimed at perfecting the process in order to determine as precisely as possible the dispersion of useful and harmful components depending on the grain size of milled PCBs.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. ELEKTRIČNI I ELEKTRONIČKI OTPAD 2
    2.1. ZAKONSKA REGULATIVA 3
    2.2. GOSPODARENJE EE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ 4
3. TISKANE PLOČICE 6
    3.1. OPĆENITO O TISKANIM PLOČICAMA 6
    3.2. SASTAV TISKANIH PLOČICA 8
    3.3. OPORABA TISKANIH PLOČICA 9
    3.4. UZORKOVANJE, USITNJAVANJE I SIJANJE 12
4. REZULTATI ISPITIVANJA 14
5. PRAVAC I KRIVULJE REGRESIJE 16
6. UKLAPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U EKSPERIMENTALNE PODATKE 20
    6.1. Metoda najmanjih kvadrata [10] 20
    6.2. Koeficijent korelacije i determinacije [10] 23
    6.3. Rezultati uklapanja 25
7. ZAKLJUČAK 34
8. LITERATURA 36
9. POPIS SLIKA 37
10. POPIS TABLICA 38

1. UVOD

Jedan od najvećih problema današnjice je otpad i njegovo adekvatno zbrinjavanje. To je posljedica brzog gospodarskog rasta i razvoja društva s kojim paralelno raste i količina otpada. Ovaj problem kao jedan od temeljnih ekoloških problema modernog doba prilično je kasno prepoznat. Tehnološki i komunalni otpad i njihovo zbrinjavanje predstavljaju osobito veliki problem jer su po proizvedenim količinama najveći zbog porasta stanovništva i industrijske proizvodnje s kojima neophodno raste i njihova količina. No isto tako, predstavlja i veliki izazov s obzirom da se za otpad može reći da je izvor vrijednih sirovina. Radi toga ga treba tretirati kao potencijal, a za njegovu obradu treba koristiti najnaprednije tehnologije. Ispravno gospodarenje otpadom treba predstavljati jedan od bitnih elemenata održivog razvoja zbog njegovog utjecaja na kvalitetu života ljudi. Najbrže rastuća vrsta otpada po količini je elektronički (EE) otpad koji nastaje kao posljedica prebrzog razvoja elektronike u svijetu sa svrhom poboljšanja kvalitete života suvremenog društva. Bitan element EE opreme su tiskane pločice (TP) koje predstavljaju oko 3 - 6% mase sveukupne količine EE uređaja i njihov su najkompleksniji dio s najvrjednijim ali i najopasnijim komponentama. U elektronici tiskane pločice su poznate još i pod nazivom "zelene ploče", ali nažalost ne zbog prijateljstva prema okolišu već zbog vizualnog izgleda, tj. zelene boje u kojoj se većinom pojavljuju. [1] S brzim razvojem tehnologije dolazi i do razvoja novih generacija TP-a i stalnog rasta njihove proizvodnje, ali isto tako i do sve bržeg zastarijevanja EE opreme i stvaranja bitnih količina te vrste otpada (na godišnjem nivou oko 20 do 50 milijuna tona širom svijeta).[2] Glavni motiv njihove obrade su vrijedni materijali kao npr. paladij, zlato, bakar i dr. Međutim, zbog nazočnosti teških metala kao npr. olova ili žive, ovaj otpad svrstava se u opasan otpad i zbog ne adekvatne obrade jedan je od zagađivača okoliša. Pošto u Republici Hrvatskoj (RH) za sada, ne postoji adekvatna tehnologija kojom se oporabljuju otpadne TP-e, često se nakon sortiranja ili samo djelomične obrade TP-e izvoze na daljnju obradu u razvijene zemlje koje posjeduju za to specijalizirane pogone [3].

2. ELEKTRIČNI I ELEKTRONIČKI OTPAD

Pod pojmom električne i elektroničke opreme (EEO) podrazumijeva se oprema čiji standardni rad zavisi o električnoj struji ili elektromagnetskom polju. Tu spada oprema za proizvodnju, ali i za prijenos i mjerenje električne struje ili magnetskog polja čija je svrha upotreba pri nazivnom naponu do 1.000 V izmjenične struje i 1.500 V istosmjerne struje [4]. Otpadnom električnom i elektroničkom opremom smatramo svu EEO i njezine dijelove koje je posjednik odbacio kao otpad, bez namjere ponovnog korištenja. Zbog sve većih ukupnih količina EE otpada, ali i zbog njegovog heterogenog sastava, vrijednih sirovina, ali i opasnih metala i spojeva, toj vrsti otpada treba posvetiti posebnu pažnju.

EE otpad, prema mjestu nastanka dijelimo u slijedeće skupine:

1. EE otpad koji je stvoren u gospodarstvu i odnosi se na otpadnu EE opremu koja obuhvaća i sklopove i sastavne dijelove
2. EE otpada koji je stvoren u kućanstvu i odnosi se na otpadnu električnu i elektroničku opremu stvorenu u domaćinstvu, proizvodnji i uslužnim djelatnostima, a po svojoj vrsti i količini slična je EE otpadu iz kućanstva.

„Pravilnikom o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom za razdoblje do 14.8.2015“, definirane su kategorije EE opreme. Konkretno, sukladno tom Pravilniku, postoji 10 kategorija EE opreme:

1. veliki kućanski uređaji (hladnjaci, strojevi za pranje suđa, električni štednjaci)
2. mali kućanski uređaji (glačala, mikseri, sušila za kosu)
3. oprema za telekomunikacije i oprema informatičke tehnike (IT), (računala, pisači, kopirni uređaji, telefoni, kalkulatori, mobiteli)
4. oprema široke potrošnje za zabavu i razonodu (TV aparati, radio, videokamere, glazbeni instrumenti, hi-fi uređaji)
5. rasvjetna oprema
6. električni i elektronički alati (brusilice, pile, šivaće mašine)
7. oprema za zabavu, igračke i sportska oprema (videoigre, računala za trčanje, biciklizam, ronjenje)
8. medicinski uređaji (kardiološki uređaji, uređaji za dijalizu, analizatori, radioterapijska oprema)
9. uređaji za nadzor i upravljane (termostat, detektori dima)

10.samoposlužni aparati (uređaj za izdavanje novca).

Novim „Pravilnikom o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom od 15.8.2018. godine“, obuhvaćene su dodatne kategorije EE opreme koje su popisane su u Dodatku 3 novog Pravilnika te obuhvaćaju i: uređaje za izmjenu topline; zaslone, monitore i opremu koja ima ekrane površine veće od 100 cm2; žarulje; veliku opremu (bilo koje vanjske veličine veća od 50 cm); malu informatičku opremu (IT) i telekomunikacijski uređaji (niti jedna vanjska veličina ne smije biti veća od 50 cm)

2.1. ZAKONSKA REGULATIVA

Kao i sve države Europske unije i Hrvatska je ugradila odredbe „ WEEE Directive 2012/19/EU i RoHS Directive 2002/95/EC“ u nacionalno zakonodavstvo, kako bi se smanjio pritisak na iskorištavanje sirovina (čije su količine ograničene), na deponiranje otpada na odlagališta i zaštitu dragocjenih prirodnih zaliha. Od 2019. godine Hrvatska mora doseći odvojeno sakupljanje EE otpada od 65%, što pred učesnike sistema gospodarenja EE otpadom nameće nove izazove. 2014. godine „Ministarstvo zaštite okoliša i prirode“ donijelo je novi „Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom“ („Narodne novine“ broj 42/14) zbog definiranja svih nejasnoća u vezi gospodarenja EE otpadom, a sa ciljem postizanja odvojenog sakupljanja EE otpada zbog njegove obrade, zbrinjavanja, ali i zaštite okoliša te zdravlja ljudi.
Važeći pravilnici
„Pravilnikom o izmjenama i dopunama Pravilnika o gospodarenu otpadnom električnom i elektroničkom opremom NN 11/19 „ (u daljnjem tekstu: novi Pravilnik), od siječnja 2019. godine izmijenjen je i dopunjen „Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom 42/14, 48/14, 07/14, 139/14“. Navedenim su pravilnicima propisane sve obveze i odgovornosti svih sudionika koji su uključeni u „životni ciklus“ električne i elektroničke opreme (projektanti, proizvođači, korisnici, prodavaoci, sakupljači, osobe koje sudjeluju u njihovom recikliranju i zbrinjavanju njihovih ostataka, tj. elemenata, materijala ili tvari).

Pravna osoba koja ima javne ovlasti i izvršava aktivnosti organiziranja gospodarenja EE otpadom je „Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost“. [13] Njegov zadatak je da izračunava i skuplja pristojbe za gospodarenje EE otpadom u visini iznosu od 2,25 kn/kg i to od svih koji su obvezni plaćati naknadu. Svi proizvođači, ali i uvoznici EE opreme bilo da je proizvedena ili uvezena za osobnu uporabu i/ili za prodaju na tržištu Republike Hrvatske, obveznici su plaćanja. Osim toga, Fond isplaćuje sakupljačima i oporabiteljima EE otpada naknadu za troškove prikupljanja, razvrstavanja, prijevoza, privremenog skladištenja, obrade i recikliranja. Novčana nadoknada se sakupljačima plaća na osnovi Fondu prijavljenih i izdanih „Pratećih listova za otpad (Obrazac PL-O)“ svakog mjeseca. Za EE otpad iz domaćinstva izdaje se „Potvrda o primopredaji EE otpada u kućanstvu“, (Obrazac EE1). [13] Ako u Hrvatskoj nema radnih i tehničkih potencijala za preradu cjelokupnog EE otpada, njihovih dijelova ili ostataka nakon prerade EE otpada, obrađivač ima obvezu da ga u vlastitom trošku izveze iz Hrvatske i Fondu predoči dokaz o njegovom izvozu na oporabu ili zbrinjavanje tj. mora dokazati da je EE otpad recikliran i/ili zbrinut. Kao dokaz mora priložiti „Izvješće o izvezenim količinama neobrađenog EE otpada” (Obrazac EE3) iz Dodatka 14. i verificiranim formularom „Dokument o prekograničnom prometu otpadom“. Prema ovom Pravilniku, sva izvješća koja obveznici predaju, odnose se na razdoblje od siječnja 2019. godine, pa nadalje.

2.2. GOSPODARENJE EE OTPADOM U REPUBLICI HRVATSKOJ

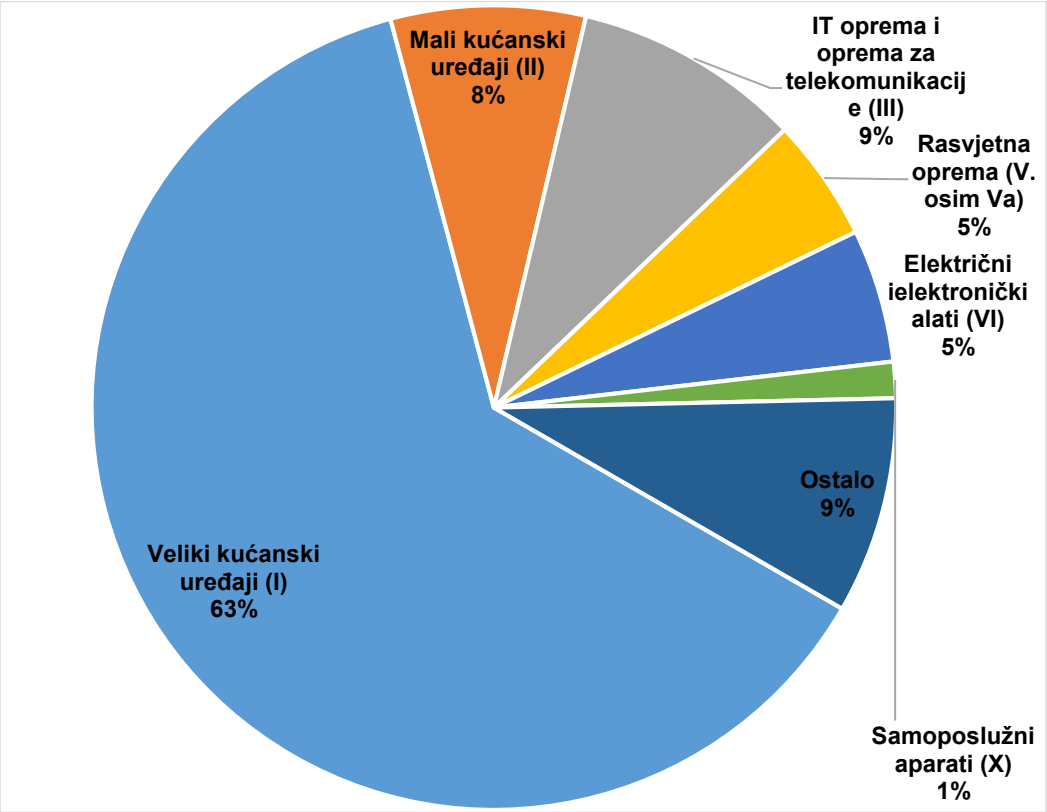
Gospodarenje EE otpadom je složeni proces čiji je osnovni preduvjet njegovo odvojeno sakupljanje, zatim prijevoz, oporaba i zbrinjavanje. Sastavni dio tog procesa je i kontrola nad tim procesima te različite mjere koje se primjenjuju na mjestima nakon saniranja ostataka od recikliranja EE otpada, kao i postupci koje čine trgovac ili posrednik EE otpadom. Na osnovu podataka „Fonda za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost“ u 2018. godini na tržištu Republike Hrvatske nalazilo se je 61.302 t EEO. U Tablici 1. predočene su za razdoblje od 2010. do 2018. godine. količine EE opreme po skupinama, koje su se u tom razdoblju nalazile na tržištu Republike Hrvatske.

Tablica 1: EE oprema stavljena na tržište RH prema kategorijama u razdoblju od 2010. do 2018. godine, t

Naziv (Kategorija)	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.	2016.	2017.	2018.
I Kućanski uređaji - veliki	23.559	24.175	22.365	23.796	22.231	28.068	29.670	34.030	38.330
II Kućanski uređaji - mali	4.709	4.153	3.462	3.481	4.080	3.639	4.737	4.847	4.796
III Oprema za telekomunikaciju i IT oprema	5.289	5.323	4.513	4.690	4.461	4.608	4.935	5.008	5.628
IV Oprema široke potrošnje za zabavu	4.995	4.062	3.082	2.487	2.451	1.968	2.223	1.856	2.669
V-osim Va Rasvjetna oprema	2.523	2.700	2.212	1.975	2.141	2.061	2.536	2.833	3.030
Va Žarulje sa plinskim izbijanjem	284	259	158	139	221	199	133	118	145
VI Elektronički i električni alati	2.577	2.879	2.144	2.038	1.951	2.144	2.608	2.686	3.288
VII Oprema za zabavu, športska oprema i igračke	287	446	216	272	308	546	727	615	839
VIII Medicinski uređaji	398	324	300	245	257	324	379	385	436
IX Instrumenti za upravljanje i nadzor	583	868	660	573	478	541	599	666	875
X Samoposlužni aparati	326	413	393	202	451	518	813	1.087	895
EE oprema koja je teža od 500 kg	69	46	159	137	142	91	773	267	377
UKUPNO (t)	**45.594**	**45.642**	**39.663**	**40.034**	**39.169**	**44.702**	**50.131**	**54.395**	**61.302**

Izvor: „Izvješće o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom u 2018. godini“

Iz tablice se vidi da je potrošnja EE opreme u 2018. godine veća za 13% u usporedbi s potrošnjom tokom 2017. godine. Najznačajniji maseni udio u potrošnji zauzimaju veliki kućanski aparata s 63%, zatim slijede mali kućanski aparati s 9% te oprema za telekomunikaciju i IT oprema s 8%. Grafički prikaz podataka vidljiv je na Slici 1.



Slika 1: Udijeli EE opreme stavljene na tržište prema kategorijama u 2018. godini

Izvor: Izvješće o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom u 2018. godini

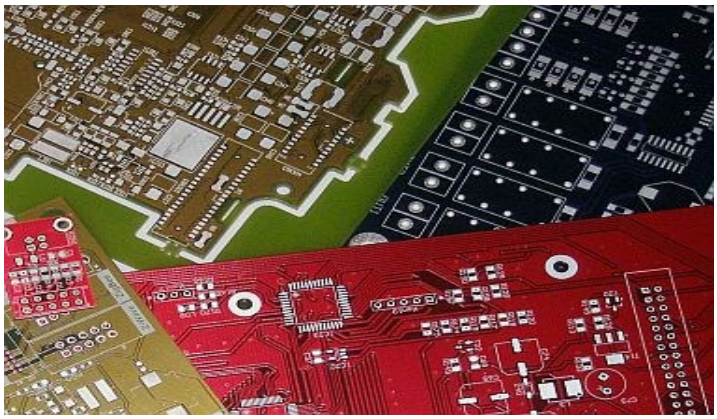
Plan je, da Hrvatska od 2019. godine postigne stopu od 65% odvojenog sakupljanja otpada, a to za sve sudionike sustava gospodarenja EE otpadom predstavlja nove izazove.

3. TISKANE PLOČICE

3.1. OPĆENITO O TISKANIM PLOČICAMA

Tiskana pločica (TP) je temeljni dio EE opreme i čini od 3 % - 6 % njezine mase. Kombinacija je čipova, otpornika, prekidača i dioda za sastavljanje električnih komponenata. (Slika 2). Sastavni su dio svakog elektroničkog uređaja i imaju dvostruku ulogu. One su nosač svih pasivnih i aktivnih komponenti i povezuju te komponente u jedan elektronički sklop s tankim slojem bakrenog vodiča na svojoj

površini. Na podlozi s izolatorskim materijalima primjenom različitih postupaka oblikuje se vodljiva struktura.



Slika 2: Tiskane pločice
Izvor: http://www.markovac.hr/

Sam proces izrade TP-a započinje proizvodnjom izolacijske ploče koja se uglavnom izrađuje od staklenih vlakna i epoksidne smole. Da bi se ubrzala izrada rabi se staklena prepreg tkanina. To je staklena tkanina natopljena u aktiviranu epoksidnu smolu čija se polimerizacija dovršava na visokoj temperaturi, najčešće oko 150°C. Zavisno o potrebnoj debljini tiskane pločice nanosi se potrebni broj slojeva prepreg tkanine. Ona se zatim preša uz dostizanje potrebne temperature da bi se pokrenuo proces polimerizacije epoksidprocesne smole. Rezultat postupka je nastajanje ploča vrlo dobrih dielektričkih i mehaničkih osobina. Kada je jezgra TP-e gotova, slijedi kemijski postupak kojim se nanosi tanki bakreni sloj uobičajene debljine od 35 μm samo na jednu ili na obadvije strane ploča. Ovisno o potrebnom elektroničkom sklopu ovisit će i debljina bakrenog sloja koji na pločama izuzev uobičajene debljine od 35 μm može biti i 18, 70, 105, 200 i 300 μm debljine. Daljnjom obradom sirove TP-e, proizvođač elektroničkih uređaja, ovisno o želji, može mehanički ili kemijski skinuti višak bakra. Zatim se buše otvori za neophodne komponente koje se poslije montaže TP-e povezuju u jedan cjeloviti elektronički sklop.

3.2. SASTAV TISKANIH PLOČICA

Ovisno o vrsti EE uređaja u koji je TP-a ugrađena ovisi i njezin sastav. Zbog toga varira i udio komponenata od kojih se sastoji, a koji se također mijenja i sa razvojem TP-a novih generacija. Heterogenog su sastava (Tablica 2). Sadrže organske materijale, metale i staklena vlakna. Općenito se komponente otpadnih TP-a mogu podijeliti na metale i nemetale. Miješani uzorak TP-a iz različitih EE uređaja ima oko 30% metala (srebro, zlato, bakar, željezo itd.) i oko 70% nemetalnih elemenata (epoksidnih smola, plastike i staklenih vlakana). Od metala najviše ima bakara čija zastupljenost varira ovisno o vrsti EE uređaja iz kojeg je izdvojen (čak do 37,5%). Radi toga je jedan od najbitnijih i uglavnom recikliranih metala iz otpadnih TP-a i ima osjetnu ekonomsku vrijednost. Po zastupljenosti zatim slijede željezo, aluminij, cink, olovo, i nikal. Plemeniti metali također su sastavni dio TP-a i čine oko 80% sveukupne vrijednosti TP-a te je zbog toga recikliranje tih metala financijski isplativo. Npr. u rudama koncentracija zlata je prosječno 0,5 do 15 g po toni rude, a koncentracija u tiskanim pločicama je oko 10 puta veća (oko 150 g/t). Od plemenitih metala osim zlata u uporabi su i srebro, paladij, iridij, platina, rodij. Posebni problem predstavljaju teški metali kao npr. kadmij, olovo, krom i živa, zbog kojih se ovaj otpad svrstava u kategoriju opasnog otpada. Od nemetala najzastupljenije su staklena vuna i epoksidne smole, koje predstavljaju veliki problem kod procesa recikliranja zato što se teže odvajaju radi svoje strukture. Nemetali se obično obrađuju spaljivanjem ili odlaganjem na deponij otpada. Spaljivanjem se stvaraju veoma otrovni polibrominiranidibenzodioksini i dibenzofurani, dok odlaganje dovodi do sekundarnog onečišćenja teškim metalima koji se talože u podzemnim vodama.

Tablica 2: Udio pojedinih elemenata u miješanom uzorku TP-a

Element	Au	Ag	As	S	Al
Sastav	0,025%	0,1%	<0,01%	0,100%	4,7%
Element	Br	Be	Bi	C	Ba
Sastav	0,54%	1,1 g/t	0,17%	9,6%	200 g/t
Element	Cu	Cd	Cr	F	Cl
Sastav	26,8%	0,015%	0,05%	0,094%	1,74%
Element	Mo	Fe	Mn	Ni	Ga
Sastav	0,003%	5,3%	0,47%	0,47%	35g/t
Element	SiO_2	Zn	Se	Sn	Sb
Sastav	15%	1,5%	41 g/t	1%	0,06%
Element	I	Te	Ti	Hg	Sc
Sastav	200 g/t	1 g/t	3,4%	1 g/t	55 g/t
Element		Sr	Pb		Zr
Sastav		10 g/t	2%		30 g/t

Izvor: [2]

3.3. OPORABA TISKANIH PLOČICA

TV prijemnici, računala, tableti, mobiteli su uređaji koje danas posjeduje skoro svaki čovjek. Integralni dio te opreme su i tiskane pločice. Što se dogoditi s TP-a kada se odbace ti uređaji? Kako iskoristiti vrijedne sirovine iz njih? Kako pravilno zbrinuti opasne materijale? Odgovor je recikliranje. Zato je bitno odabrati metodu recikliranja koja bi bila ekonomski isplativa, a imala neznatni utjecaj na okoliš. Najveći izazov je izdvojiti korisnu komponentu. To je tanki film čiji su sastavni dijelovi plemeniti metali (zlato, srebro i paladij) , bakar, olovo, cink i kositar od nekorisne komponente (polimeri, keramika i staklena vlakana). [5] Krivi pristup

reciklaži TP-a danas je najveći problem jer nažalost danas većina otpadnih tiskanih ploča završava u nerazvijenim zemljama gdje se recikliraju na primitivan način vrlo štetan za zdravlje ljudi i okolinu. (Slika 3)



Slika 3: Zbrinjavanje tiskanih pločica u nerazvijenim zemljama
Izvor: [6]

Postoje dva tipa otpada tiskanih pločica, Tip A i Tip B. Tiskane pločice tipa A možemo pronaći u televizorima, radio-prijemnicima, električnim igračkama i ostalim električnim uređajima, dok je tip B izvađen iz osobnih računala, mobilnih telefona i druge sofisticiranije elektronike. [7] (Slika 4 i 5)



Slika 4: Tip A
Izvor: [7]



Slika 5: Tip B
Izvor: [7]

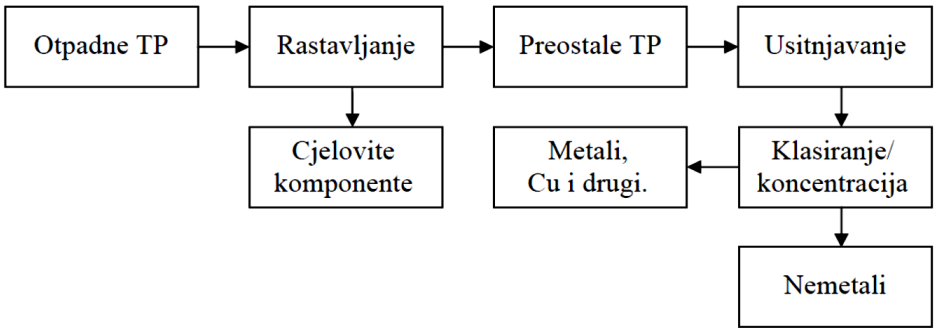
Odmah na početku potrebno je razdvojiti Tip A od Tipa B kako bi koncentracija korisnih metala bila mnogo veća u željenom uzorku, a njihovo izdvajanje lakše. Npr. Otpad tipa B je bogatiji zlatom više od 40 puta od uzorka tipa A. Sam proces recikliranja je složen i odvija se kroz slijedeće faze:

- odvojeno sakupljanje otpada
- prijevoz i skladištenje
- rastavljanje i sortiranje
- odvajanje i usitnjavanje.

Kod oporabe otpadnih tiskanih pločica koriste se različite metode. U radu su ukratko opisane, dvije najčešće korištene klasične metode, mehaničko fizikalne i kemijske metode.

- Mehaničko fizikalne metode

U predobradi TP-e se iz otpadnih EE uređaja odvajaju njihovim, najčešće ručnim rastavljanjem, nakon čega se razvrstavaju. Povremeno se primjenjuje i poluautomatsko rastavljanje. Automatsko rastavljanje još je u fazi istraživanja. [3] Zatim se TP-e usitnjavaju na određenu veličinu, poslije čega se separacijom odvajaju metali od nemetala i to prema njihovim osobinama kao što su npr. oblik, odvajanje koji se zasniva na električnoj provodljivosti, magnetskom odvajanju ili odvajanju koje se temelji na razlici u gustoći isl. (Slika 6). Primjena ovih metoda pokazuje zadovoljavajući stupanj separacije, ali i njihov neznatan utjecaj na okoliš. Neke od tih metoda su: zračna klasifikacija, „pliva - tone“ separacija, magnetska i elektrostatska separacija te fizikalne metode oporabe koje rabe nemetale iz TP-a umjesto prirodnih sirovina.



Slika 6: Blok dijagram obrade otpadnih TP
Izvor: [3]

- Kemijske metode

Ove metode recikliranja uključuju pirolizu, superkritičnu tekuću depolimerizaciju, uplinjavanje, elektrolizu, degradaciju hidrogenolizom pomoću koji se nemetalni elementi TP-a mogu pretvoriti u gorivo i sekundarne sirovine. [8]. Mogućnost da se bromirani usporivači gorenja pretvore u monomere te izdvoje teški metali je glavna prednost ovih metoda nad fizikalnim. Međutim, ove metode za izdvajanje mogu imati i negativne posljedice po okoliš kao što su atmosfersko onečišćenje koje je posljedica ispuštanja dioksina i furana koji izazivaju izgaranje, stvaranje povelikih količina kiselina koje su posljedica hidratacije i elektrolize, a treba ih

pažljivo zbrinuti. Neke od tih metoda su: hidrometalurški pristup, pirolitičke metode i dobivanje goriva iz TP-a.

3.4. UZORKOVANJE, USITNJAVANJE I SIJANJE

U procesu obrede i ispitivanja uzorka rabe se navedeni pribor, kemikalije i uređaji:

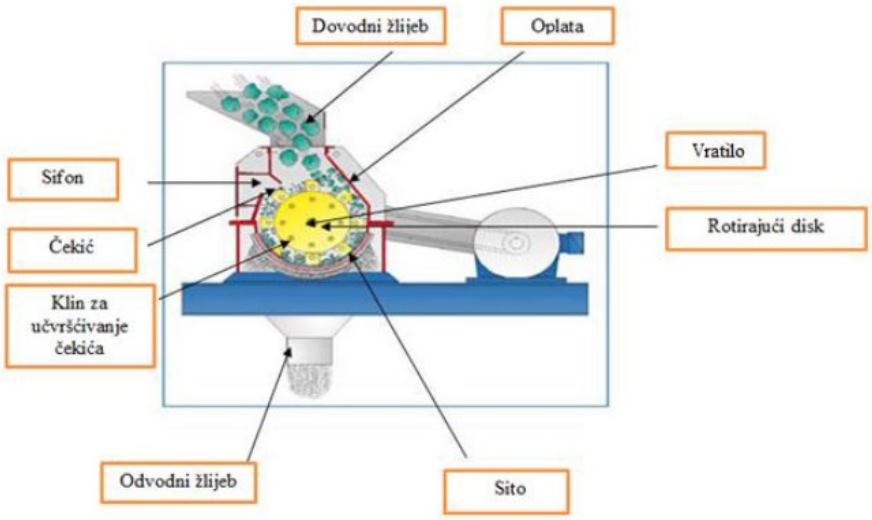
- mlin čekićar
- križ za četvrtanje veličine 500 x 500 x 150 mm
- laboratorijski mlin sa kuglama promjera 200 mm x 400 mm, čelične obloge te drobeća tijela kugle od 20 do 45 mm
- komplet okruglih sita za strojno sijanje visine 40 mm, ∅ 200 mm, četvrtastih otvora 0,075 mm, 0,12 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1,0 mmm, 2,0 mm i 3,0 mm
- laboratorijska tresilica za sita amplitude od 0,1 do 1,0 mm, frekvencije 50 Hz i promjera 200 mm
- tehnička vaga „Sauter“, mjernog područja od 0 do 1000 g, preciznosti 0,1 g
- laboratorijske čaše - 100 mL
- filter papiri
- tehnička vaga „KERN/EW600-2M“
- vodena kupelj
- zlatotopka (HCl i HNO_3 u omjeru 3:1)
- odmjerne tikvice, 250 mL, 100 mL, 50 mL
- stakleni lijevci
- graduirane pipete, 20 mL, 10 mL, 5 mL, 2 mL
- uobičajene otopine komponenti kojima se definiraju koncentracije u uzorku
- atomski apsorpcijski spektrometar „Perkin Elmer AAnalyst 800“
- deionizirana voda.

Uzorkovanje

Za potrebe ovog istraživanja upotrijebljeni su uzorci TP-a koji su proslijeđeni u „Laboratorij za oplemenjivanje i ispitivanje sirovina, Zavoda za inženjerstvo okoliša na Geotehničkom fakultetu“. Sveukupna masa uzorka je bila **0,2445** kg. Dostavljene TP-e su miješani otpad uglavnom iz televizora [9].

Usitnjavanje

Prvo se provodi postupak usitnjavanje da bi nakon toga primijenili neku od metoda izdvajanja korisnih sirovina iz TP-a.. U tom procesu pod utjecajem mehaničkih sila dolazi do mijenjanja disperznog stanja čvrstih tvari, koje je precizno definirano granulometrijskim sastavom. Svrha usitnjavanja je oslobađanje pojedinačnih elemenata iz TP-a. da bi se mogao upotrijebiti neka od metoda recikliranja. Tijekom tog procesa dolazi do djelomičnog razdvajanja metala i nemetala radi njihovih različitih osobina. Pošto se metali lako deformiraju, a nešto teže lome većinom se pojavljuju u klasama od 1,25 mm - 0,15 mm. Nemetali koji se lako lome koncentrirani su većinom u nižim klasama. Zbog toga se je dostavljeni uzorak prvo usitnjavano u mlinu čekićaru, a zatim se je odredila optimalna vrsta uređaja za sekundarno usitnjavanje otpadnih TP-a. Tijekom usitnjavanja u mlinu čekićaru može doći do oštećenja stjenke kućišta mlina kao posljedica jakog zagrijavanja. (Slika 7) Zbog toga je potrebo učestalo hlađenje stjenki kućišta mlina što proces usitnjavanja čini dugotrajnim.



Slika 7: Mlin čekićar s osnovnim dijelovima
Izvor: https://www.hammermills.com/how-does-a-hammer-mill-work

Sijanje

Nakon usitnjavanja slijedi strojno suho sijanje. Cilj je odrediti granulometrijski sastav, tj. udjel usitnjenog materijala kod svake pojedinačne klase. Koriste se sita otvora 4 mm, 2 mm, 1,5 mm, 1 mm, 0.8 mm, 0.5, 0.25, 0.1 mm, 0.075 mm. Sijanje se obavlja u trajanju 5 min. Sijanje je obavljeno na uzorku otpadnih tiskanih pločica TV prijemnika. Statističkom obradom dobiva se srednja vrijednost granulometrijskog sastava tih uzorka, tj. udjel usitnjenog materijala u svakoj pojedinačnoj klasi. U daljnjem postupku ispitivanja i analize rezultata koriste se podaci o dobivenim srednjim vrijednostima, a oznakom TV označiti će se uzorak za analizu sastava. Za potrebe ovog rada koriste se uzorci usitnjenih otpadnih tiskanih pločica uzorak TVE (elektronički dio tiskane pločice) mase 111,10 g i uzorak TVP (plastični dio tiskane pločice) mase 64,80 g. Koristi se sito s podjelom klasa: +4/2, 2/1,5, 1,5/1, 1/0,8, 0,8/0,5, 0,5/0,25, 0,25/0,1, 0,1/0,075, -0,075.

4. REZULTATI ISPITIVANJA

Usitnjeni materijali se nakon sijanja protresu na električnoj tresilici. Zatim se vade i važu i to posebno za svaku klasu počevši od najgornje. Suma svih masa uzorka mora biti približno jednaka masi konačnog uzorka. Zbog pogreške mjerenja, moguća su manja odstupanja. Nakon toga rezultati mjerenja se upisuju u tablice, pretvaraju u postotne iznose i prikazuju dijagramima. Rezultati granulometrijskih

analiza prikazuju se histogramom, kumulativnom granulometrijskom krivuljom ili krivuljom učestalosti raspodjele. Kod svih tih načina predočavanja rabe se ili „Wentworhova“ ili „Krumbeinova“ Φ-ljestvica za unos veličine zrna na apscisi, a dekadska ljestvica za unos postotaka pojedinih frakcija na ordinati. Tablice 3 i 4 sadrže rezultate ispitivanja za elektronički i plastični dio tiskane pločice TV prijemnika.

Tablica 3: Granulometrijski sastav elektroničke komponente tiskane pločice (TVE)

Klasa (mm)	Udio (g)	Relativni udio %	Kumulativni rel. udjeli %
>4	00,00	0,00	100,00
4	48,80	42,81	100,00
2	9,00	7,89	57,17
1,5	15,20	13,33	49,28
1	7,00	6,14	35,95
0,8	10,40	9,12	29,81
0,5	12,20	10,70	20,69
0,25	5,50	4,82	9,99
0,1	1,70	1,49	5,17
<0,075	4,20	3,68	3,68
	114,00	100,00	

Izvor: [9]

U klasama 2/1,5 mm i 1,5/1 mm nalazi se najveći udjel usitnjenog materijala dok je u klasi 0,1/0,075 mm najmanji udio. U klasi +4 mm na situ je ostalo 0,00 g što pokazuje da nema uzoraka materijala čiji je promjer veći od 4 mm.

Tablica 4: Granulometrijski sastav plastične komponente tiskane pločice (TVP)

Klasa (mm)	Udio (g)	Relativni udio (%)	Kumulativni rel. udjeli %
> 4	0,00	0,00	100,00
4	13,10	11,86	100,00
2	20,60	18,64	88,13
1,5	21,00	19,00	69,49
1	8,50	7,69	50,49
0,8	12,30	11,13	42,80
0,5	12,40	11,22	31,67
0,25	15,80	14,30	20,45
0,1	2,10	1,90	6,15
<0,075	4,70	4,25	4,25
	110,50	100,00	

Izvor: [9]

U klasama 2/1,5 i 1,5/1 mm nalazi se najveći udio usitnjenog materijala, dok su klase 0,8/0,5 i 0,5/0,25 približno podjednako zastupljene. Najmanji udjel usitnjenog materijala smješten je u klasama 0, 1/0, 075 mm. U klasi +4 mm na situ je ostalo 0,00 g što pokazuje da nema uzorka materijala promjera koji je veći od 4 mm.

5. PRAVAC I KRIVULJE REGRESIJE

Statistički postupak koji se koristi za procjenu odnosa među varijablama je regresijska analiza. Svrha proučavanja odnosa među varijablama je da se utvrdi statistička ovisnost i pokazatelji jakosti takve ovisnosti. Regresijska analiza sastoji se od uporabe metoda kojima se jednadžbom (analitički) pojašnjava statistička povezanost između promatranih pojava tj. ispituje se uzročno posljedična osobina veze. To je jednadžba s varijablama i parametrima, kojima se pojašnjava korelacija promatranih pojava i za zadane vrijednosti zavisne varijable izračunava se vrijednost nezavisne varijable. Prilagodba ravne linije podacima na dijagramu disperzije predstavlja općeniti matematički problem koji se rješava kod linearne regresije. Ta linija naziva se pravac regresije i to je pravac koji se najbolje uklapa u zadane točke, a definira se jednadžbom: $y = \alpha + \beta * x$. Sjecište pravca regresije na osi y predstavlja konstanta α, a koeficijent smjera pravca regresije je nagib β .

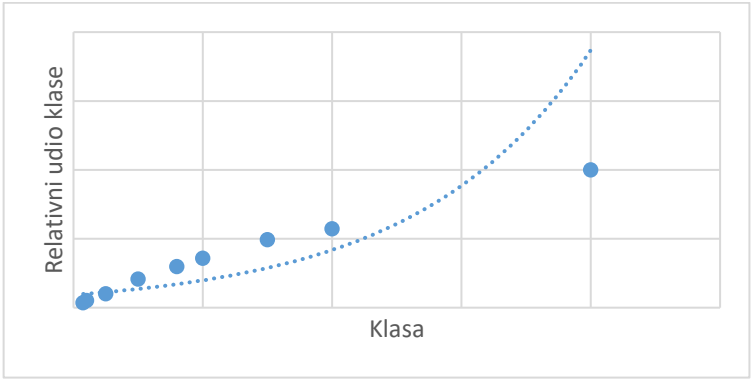
Pravac i krivulje regresije prikazuju se dijagramima disperzije u aplikaciji Excel, te se na taj način grafički ilustriraju trendovi nizova podataka. Krivulje regresije obično se rabe kod grafikona predviđanja. Pravac ili krivulje regresije prolaze kroz definirane točke, pokazujući trend. Metodom najmanjih kvadrata definiraju se parametri pravca ili krivulje regresije. Utvrđeni trend podatci kod regresijske krivulje mogu se i ne moraju podudarati s izvornim vrijednostima vremenskog niza. Excel omogućuje prikaz slijedećih krivulja regresije: eksponencijalna, linearna, logaritamska, polinomna i opća potencijska krivulja regresije.

Eksponencijalna

Ako se podaci smanjuju ili povećavaju eksponencijalno ili u konstantno smanjujućem ili povećavajućem omjeru primjenjuje se eksponencijalna krivulja regresije. Ako se na primjer želi prikazati eksponencijalno povećanje prihoda proizvoda kroz vrijeme, za grafički prikaz koristiti se eksponencijalna krivulja regresije. [11]

Jednadžba eksponencijalne krivulje regresije:

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



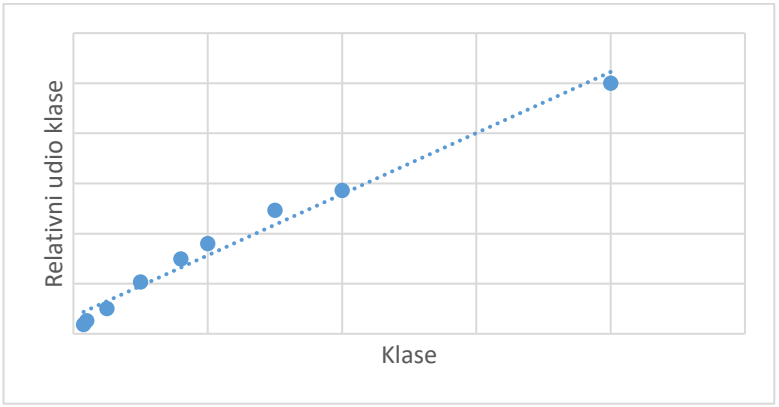
Slika 8: Grafički prikaz eksponencijalne krivulje regresije

Linearna

Ako se podaci smanjuju ili povećavaju u konzistentnom omjeru primjenjuje se linearni pravac regresije. Ako se na primjer želi prikazati konstantno povećanje prihoda proizvoda kroz vrijeme, za grafički prikaz koristiti se linearni pravac regresije. [11]

Jednadžba linearnog pravca regresije:

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



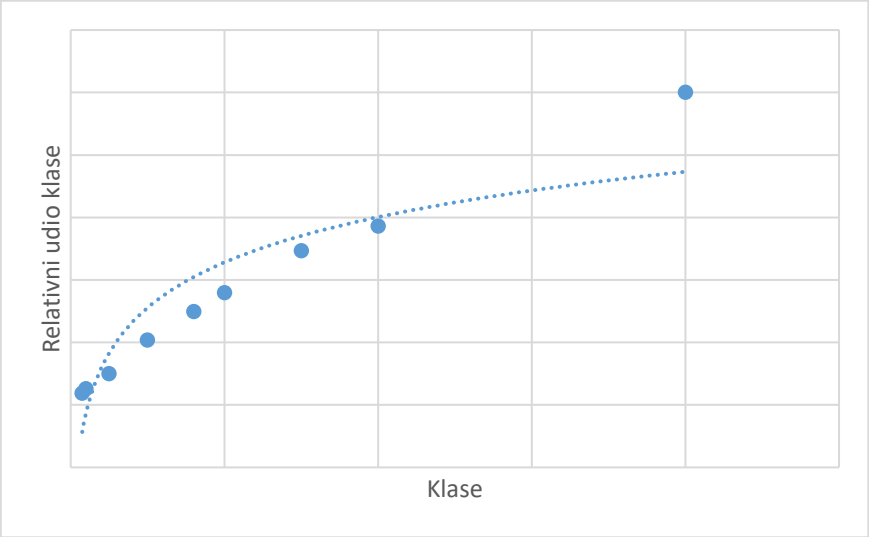
Slika 9: Grafički prikaz linearnog pravca regresije

Logaritamska

Ako se podaci brzo smanjuju ili povećavaju, a poslije toga postanu uravnoteženi primjenjuje se logaritamska krivulja regresije. Kada se na primjer pokazuje brzo smanjenje prihoda proizvoda kroz vrijeme i onda stane, za grafički prikaz koristiti se logaritamska krivulja regresije. [11]

Jednadžba logaritamske krivulje regresije:

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



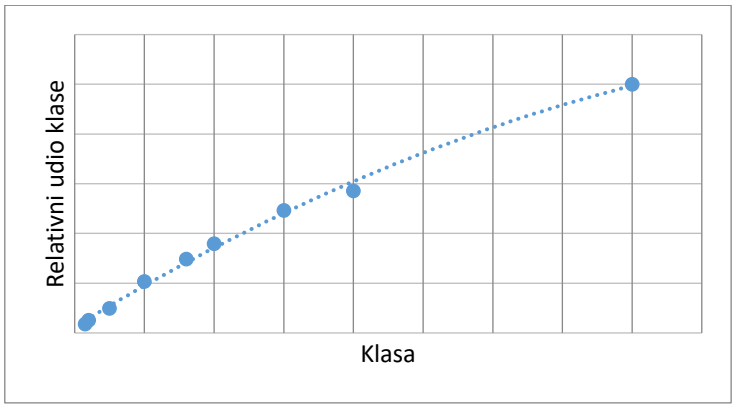
Slika 10: Grafički prikaz logaritamske krivulje regresije

Polinomna

Kada se podaci i smanjuju i povećavaju primjenjuju se krivulju regresije polinomnog tipa Ako se na primjer prikazuje i smanjenje i povećanje prihoda proizvoda u vremenu, za grafički prikaz može se primijeniti krivulja regresije polinomnog tipa. [11]

Jednadžba polinomne krivulje regresije:

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



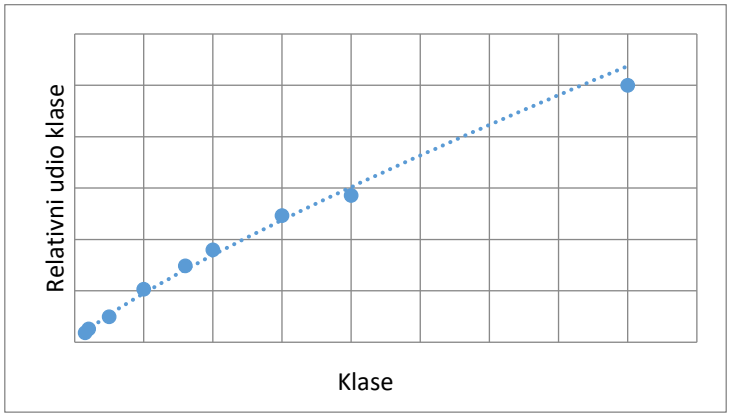
Slika 11: Grafički prikaz polinomne krivulje regresije

Opća potencija

Ako se vrijednosti podataka konstantno povećavaju ili smanjuj po krivulji primjenjuje se potencijska krivulja regresije. Kada se na primjer prikazuje konstantno povećanje prihoda proizvoda tijekom vremena ii podaci odgovaraju krivulji, za grafički prikaz koristiti se potencijska krivulja regresije.[11]

Jednadžba potencijske krivulje regresije:

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



Slika 12: Grafički prikaz potencijske krivulje regresije

6. UKLAPANJE PRAVCA I KRIVULJA REGRESIJE U EKSPERIMENTALNE PODATKE

Za potrebe procjenjivanja i prognoziranje najčešće se koristi regresijska analiza. Isto tako upotrebljava se za shvaćanja korelacije između nezavisnih i zavisnih varijabli te proučavanje aspekata tih odnosa. U odgovarajućim situacijama, regresijska analiza smije se uporabiti za prosuđivanje uzročnih odnosa između nzavisnih i nezavisnih varijabli. Doduše, to može rezultirati lažnim ili pogrešnim odnosima zato što korelacija ne podrazumijeva uzročnost, stoga je potreban oprez. Radi toga je neophodno kvantitativno izraziti tu povezanost. U praktičnoj primjeni, u pravilu se rabe koeficijent determinacije i korelacije kako bi se izrazila korelacija između statističkih obilježja X i Y. Postoje mnoge metode regresijske analize kao npr. linearna, nelinearna, jednostavna i višestruka. Linearna regresija i metoda najmanjih kvadrata najčešće su primjenjivane metode. Ovim se metodama regresijska funkcija određuje preko točno određenog broja nepoznatih parametara, a koji se izračunavaju na temelju eksperimentalnih podataka.

6.1. Metoda najmanjih kvadrata [10]

Metoda najmanjih kvadrata je oblik regresije koji se najprije počeo primjenjivati. Metodom najmanjih kvadrata određene su vrijednosti parametara funkcije vjerojatnosti i matematičkih modela. Rješava se jednadžba linije kod koje zbroj odudaranja između izvornih vrijednosti vremenskog niza i utvrđenih trend podataka mora biti jednaka 0. Ako podatke označimo s Yi, a trend podatka s Yci i primijenimo metodu najmanjih kvadrata, vrijedi sljedeće:

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

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

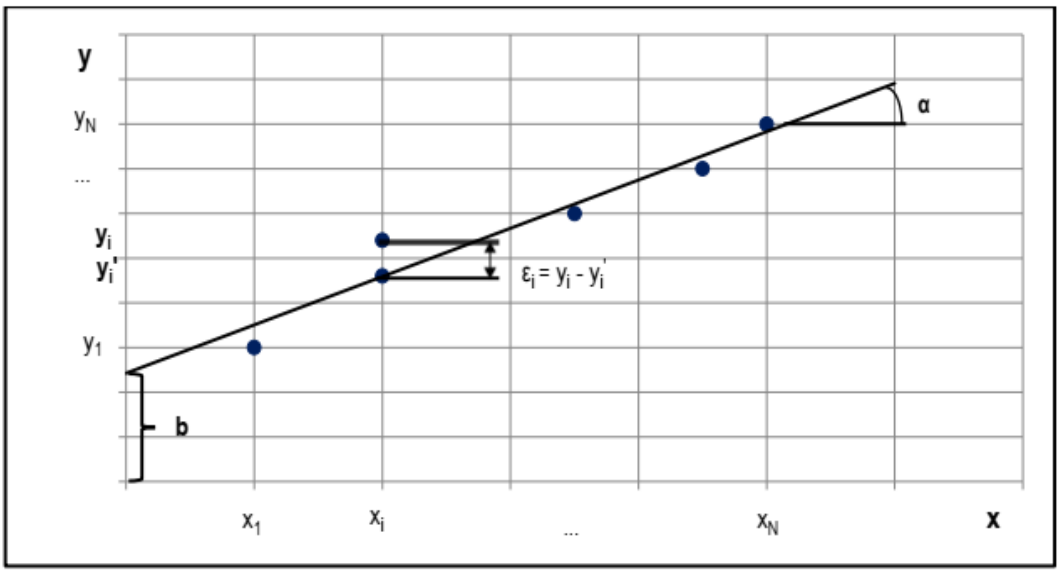
Da bi se zapazila tendencija rasta pojave potrebno je*:* uključiti što više frekvencija tj. što veći vremenski niz te grafički prikazati pojavu. Iz grafičkog prikaza se na

temelju približnog izgleda nacrtane funkcije donosi zaključak o mogućem obliku osnovne tendencije razvoja ili tipu trenda. Jednadžbu pravca regresije primjenom Gaussove metode najmanjih kvadrata, moguće je odrediti na temelju eksperimentalnih podataka. Tablicom 5 i pripadnim dijagramom disperzije (slika 13) prikazani su rezultati za N zadanih eksperimenata.

Tablica 5: N broj eksperimenata

x	X_1	X_2	…	X_N
y	Y_1	Y_2	…	Y_N

Izvor: [10]



Slika 13: Dijagram disperzije
Izvor: [10]

Iz dijagrama disperzije vidljivo je da postoje određena odstupanja tj. da točke ne leže na samom pravcu regresije. Također se može uočiti da 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 ε_i:

$$\varepsilon_i = y_i - y_i'$$

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 slijedi:

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

Pošto odstupanje ε može biti i pozitivno i negativno, suma svih odstupanja može biti jednak nuli. Ova situacija može dovesti do krivog zaključka, da nema odstupanja, tj. da točke u dijagramu disperzije leže na pravcu regresije što nije točno. Radi toga potrebno je kvadrirati svako odstupanje ε da bi vrijednosti bile strogo pozitivne. Na taj način je definirana suma kvadrata odstupanja (S):

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

Iz gore navedenog izraza evidentno da suma 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 utvrditi vrijednosti parametara a i b kod kojih je suma S najmanja:

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

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

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

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

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

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

Na temelju izraza (1) i (2) moguće je kreirati sustav od dvije jednadžbe s dvije nepoznanice a i b. Ako se izraz (2) podijeli s N, proizlazi:

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

iz toga je uočljivo kako pravac regresije prolazi kroz točku ($\bar{x}$, $\bar{y}$).

6.2. Koeficijent korelacije i determinacije [10]

Stupanj korelacije između dvije pojave predočava **koeficijent korelacije** (r), a određen je kao omjer kovarijance i produkta standardnih devijacija:

$$\mathbf{r} = \frac{\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{xy}}}{\boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{x}} * \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{y}}}$$

Pošto kovarijanca može poprimiti i pozitivne i negativne vrijednosti, koeficijent korelacije isto tako može imati pozitivnu ili negativnu vrijednost:

r > 0: pozitivna korelacija (rastom vrijednosti statističkog obilježja X, u prosjeku raste i vrijednost statističkog obilježja Y)

r < 0: negativna korelacija (rastom vrijednosti statističkog obilježja X, u prosjeku se vrijednost statističkog obilježja Y smanjuje).

$$\mathbf{0 > r > 0}$$

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

Udio u sumi kvadrata odstupanja vrijednosti statističkog obilježja Y od pripadne aritmetičke sredine, a koji je objašnjen vezom između pojava X i Y predstavlja **koeficijent determinacije**. Razmjer protumačenog dijela varijance ($\sigma_p{}^2$) i ukupne varijance (σ^2) je koeficijent determinacije (R^2):

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

odnosno:

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

Objašnjeni dio varijance najviše može biti jednak ukupnoj varijanci. U tom slučaju vrijednost koeficijenta determinacije jednaka je 1. Ako između pojava koje se promatraju nema povezanost, vrijednost protumačenog dijela varijance jednaka je nuli. Radi toga se vrijednost koeficijenta kreće u intervalu od 0 do 1, tj.:

$$\mathbf{0 \leq R^2 \leq 1}$$

Ako koeficijent determinacije poprimi vrijednost 0, između X i Y nema korelacije, a ako je jednak 1, između X i Y postoji potpuna korelacija.

Uspoređivanje koeficijenta determinacije i koeficijenta korelacije

Koeficijent determinacije i korelacije u praksi se u obično rabe kao mjere povezanosti između statističkih obilježja X i Y. To je zbog toga što se njihove vrijednosti mogu nalaziti samo u točno određenim intervalima što kod vrijednosti kovarijance nije slučaj.

Nedostaci i prednosti gore navedenih mjera prikazani su u tablici:

	r	**R^2**
Nedostatak	Dobar je pokazatelj samo za linearni tip korelacije	Ne upućuje na predznak korelacije
Prednost	Upućuje na predznak korelacije	Dobar je pokazatelj za svaki tip korelacije (nelinearni i linearni)

Za linearnu korelaciju vrijedi:

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

$$R^2 = r^2$$

Treba napomenuti da ovaj odnos između koeficijenta korelacije i koeficijenta determinacije važi samo kada je korelacija linearna. Udjel u sumi kvadrata odstupanja vrijednosti statističkog obilježja Y od pripadne aritmetičke sredine koji je objašnjen korelacijom između pojava X i Y predstavlja koeficijent determinacije. Vrijednost koeficijenta determinacije jednaka je 1 kada je protumačeni dio varijance identičan ukupnoj varijanci. Vrijednost protumačenog dijela varijance jednaka je nuli kada između promatranih pojava nema korelacije. To je razlog zašto se vrijednost koeficijenta kreće u intervalu od 0 do 1, tj:

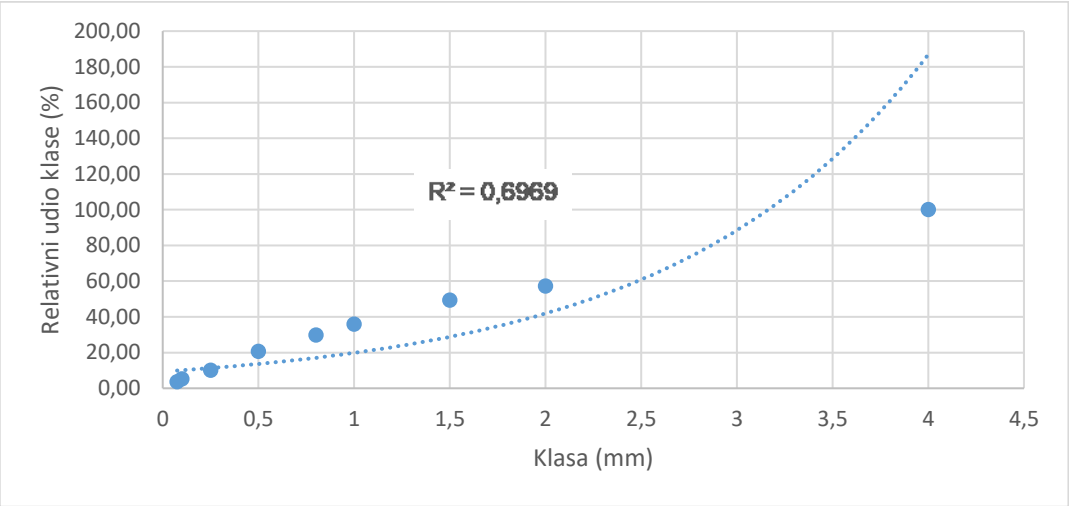
$$0 \leq R^2 \leq 1$$

Dakle, kada koeficijent determinacije poprimi vrijednost 0, između X i Y nema korelacije, a kada poprimi vrijednost 1, između X i Y postoji potpuna povezanost.

6.3. Rezultati uklapanja

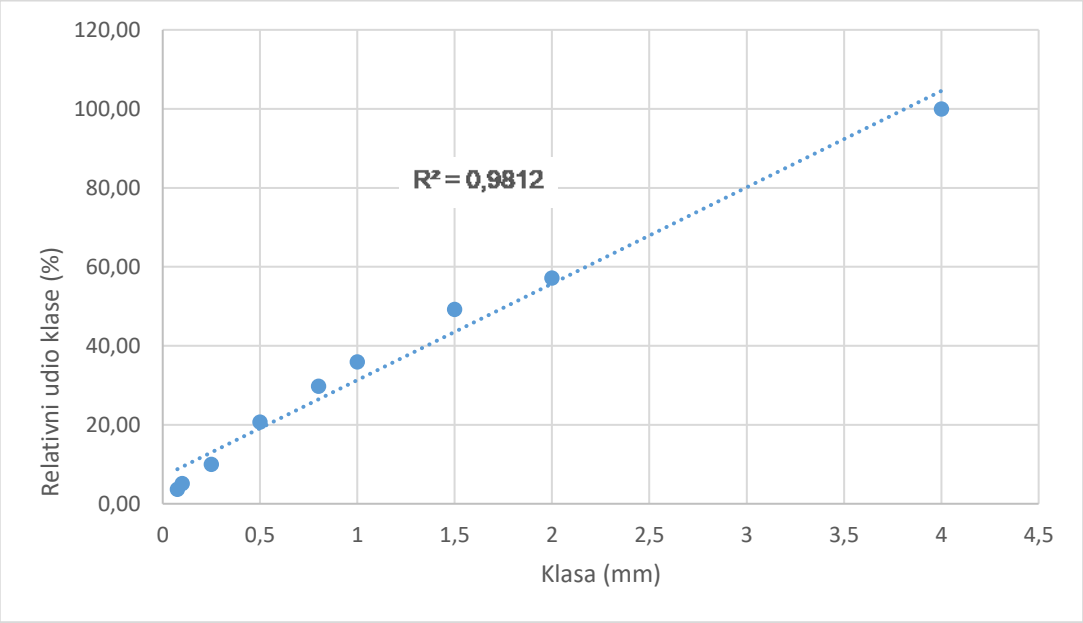
Na temelju empirijskih podataka sadržanih u tablici 3, prikazane su slijedeće krivulje regresije za **elektroničke komponente** tiskane pločice TV prijemnika. (slika 14, 15, 16, 17 i 18)

$$y = 9{,}3905 * e^{0{,}7477x}$$



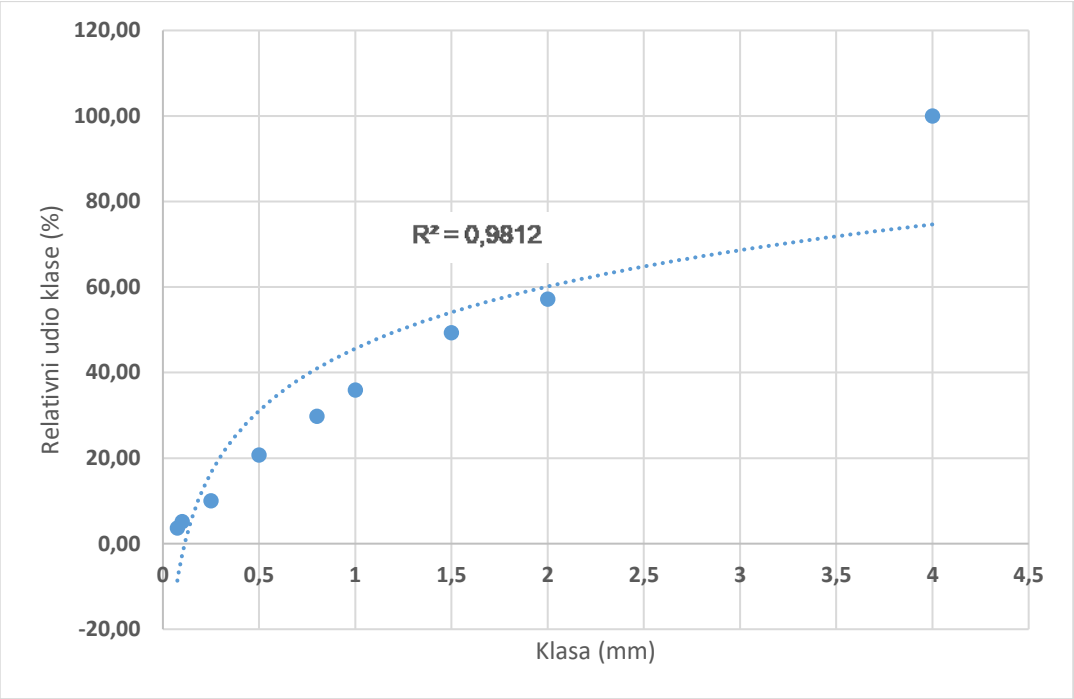
Slika 14: Eksponencijalna krivulja regresije za elektroničku komponentu

$$y = 24{,}404 * x + 6{,}9123$$



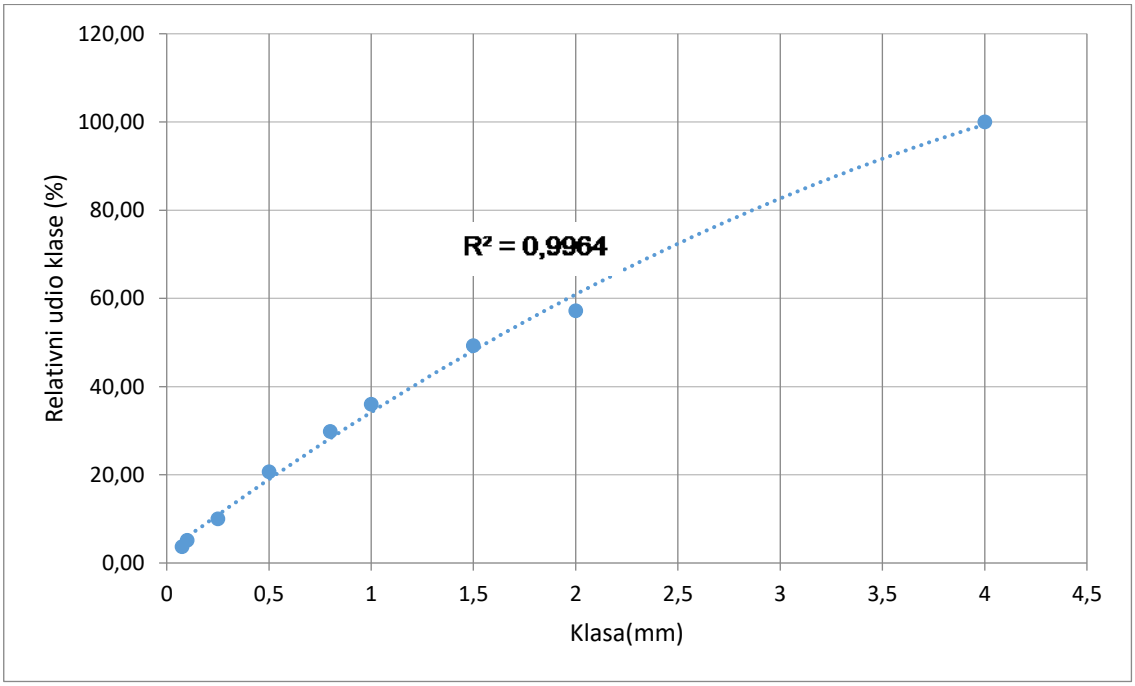
Slika 15: Linearni pravac regresije za elektroničku komponentu

$$y = 20{,}949 * \ln(x) + 45{,}603$$



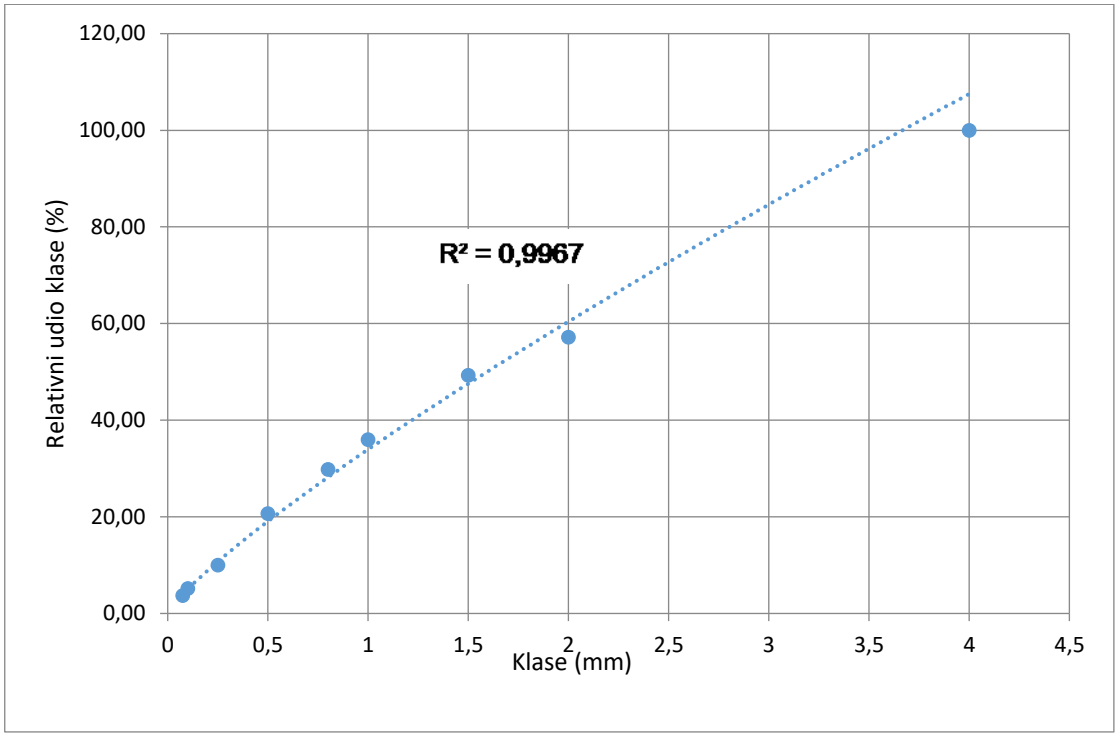
Slika 16: Logaritamska krivulja regresije za elektroničku komponentu

$$y = -2{,}485 * \mathrm{x}^2 + 34{,}168 * \mathrm{x} - 2{,}5059$$



Slika 17: Polinomna krivulja regresije za elektroničku komponentu

$$y = 33{,}938 * x^{0{,}8318}$$

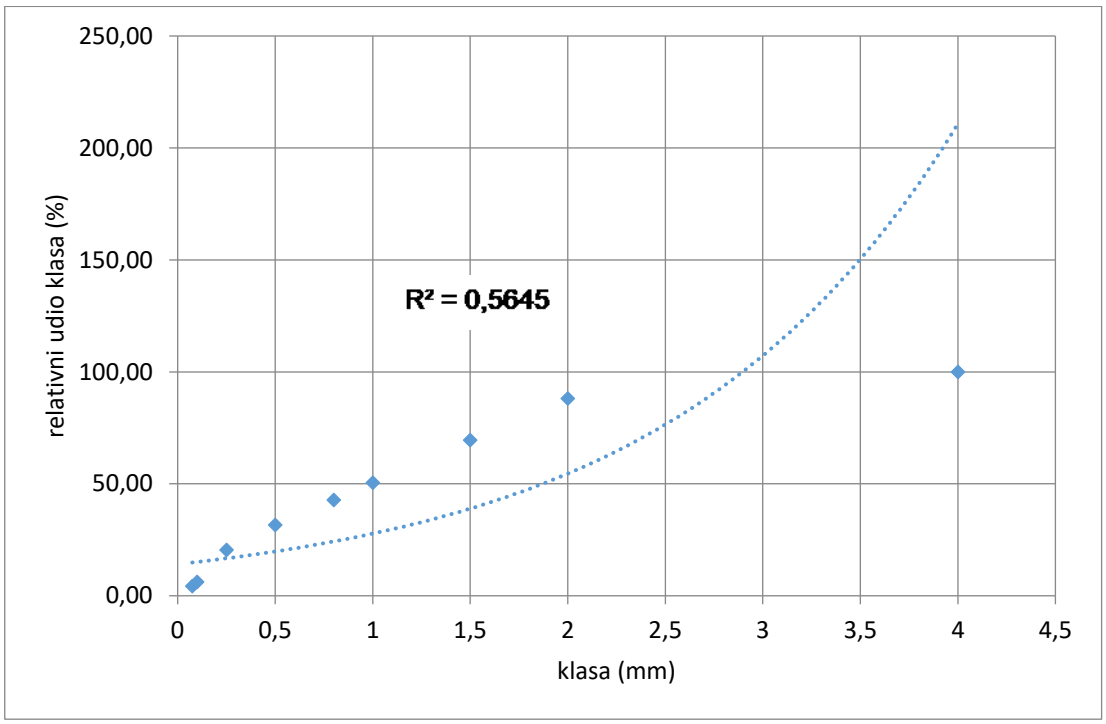


Slika 18: Potencijska krivulja regresije za elektroničku komponentu

Može se uočiti da se vrijednosti koeficijenata determinacije kreću od 0,6969 kod eksponencijalne krivulje regresije do 0,9967 kod potencijske krivulje regresije. Iz slike 18 i izračunate vrijednosti koeficijenta determinacije (Tablica 6) vidljivo je da se potencijska krivulja regresije najbolje uklapa u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu elektroničke komponenta u tiskanim pločicama TV prijemnika.

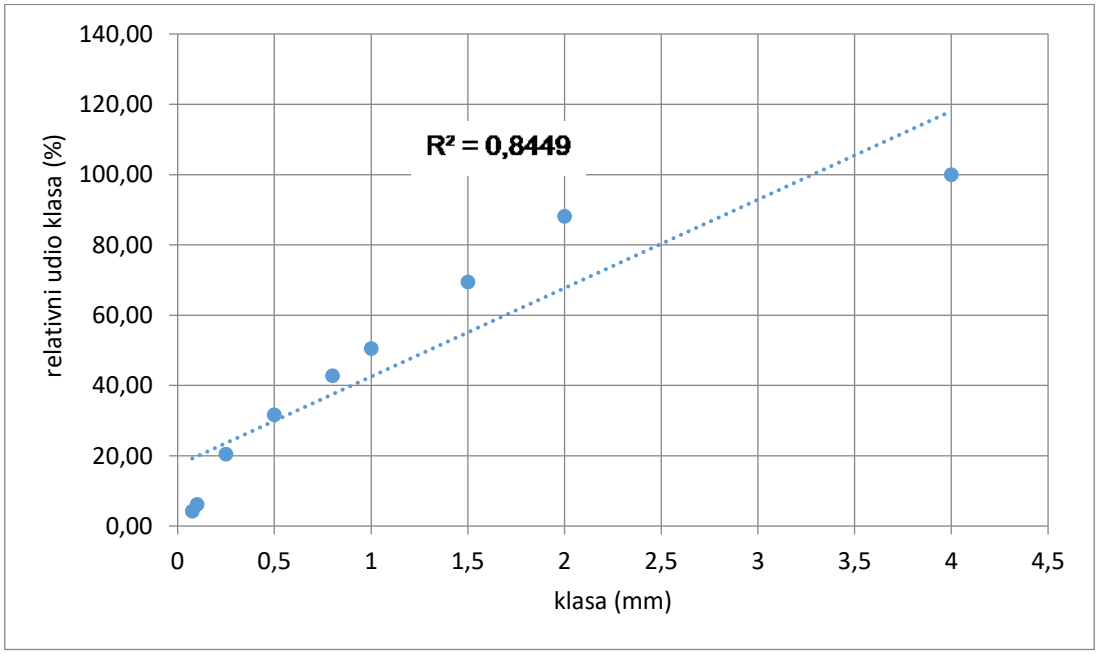
Na temelju empirijskih podataka sadržanih u tablici 4 prikazane su slijedeće krivulje regresije za **plastične komponente** tiskane pločice TV prijemnika. (slika 19, 20, 21, 22 i 23)

$$y = 14{,}124 * e^{0{,}6757} * x$$



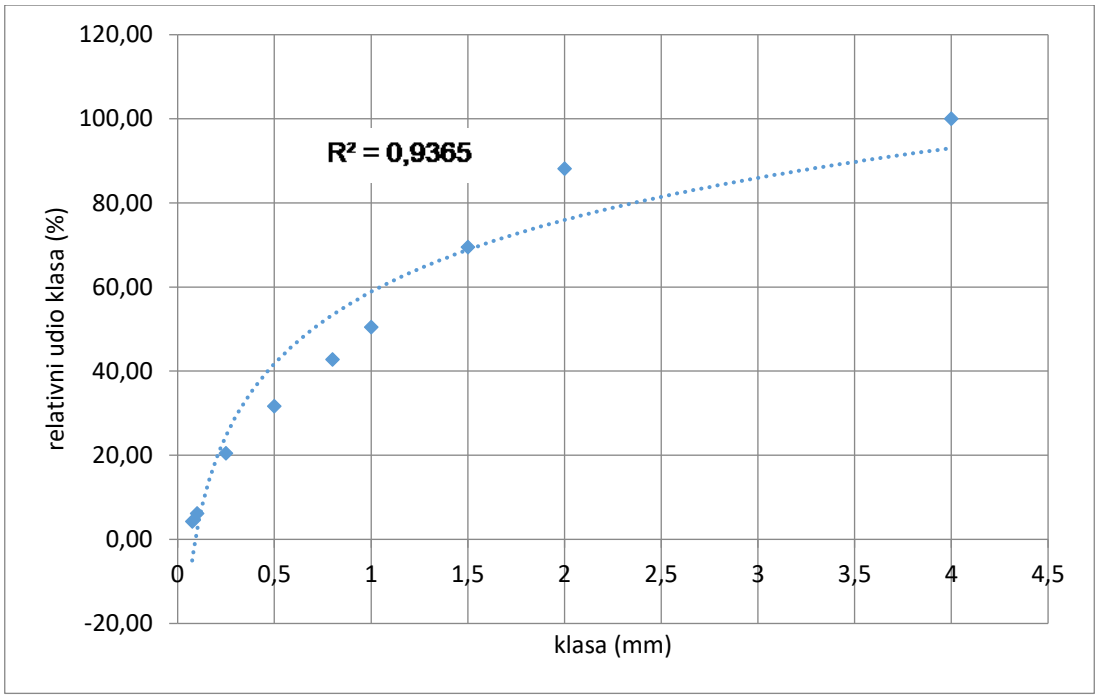
Slika 19: Eksponencijalna krivulja regresije za plastičnu komponentu

$$y = 25{,}188 * x + 17{,}32$$



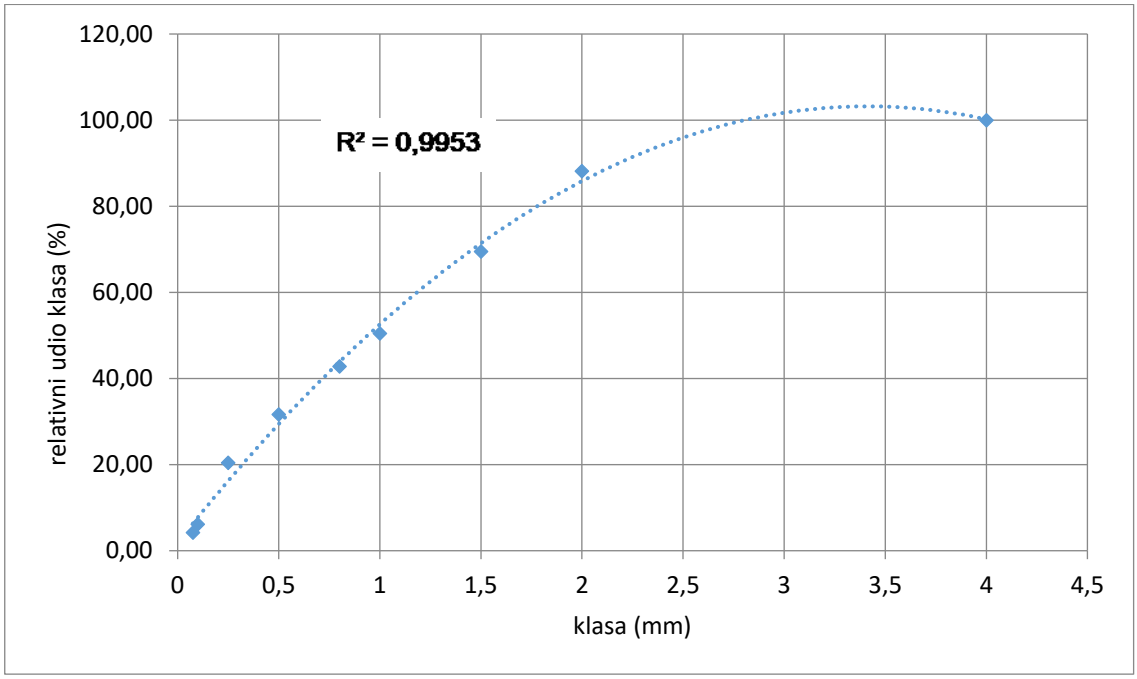
Slika 20: Linearni pravac regresija za plastičnu komponentu

$$Y = 24{,}666 * \ln(x) + 58{,}847$$



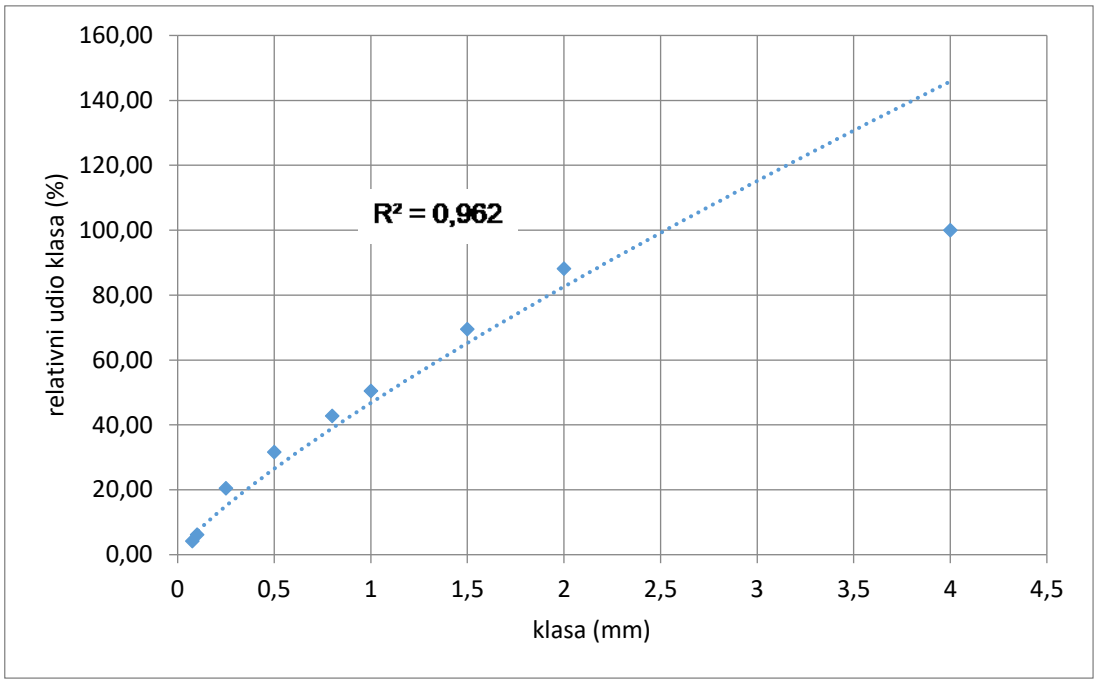
Slika 21: Logaritamska krivulja regresije za plastičnu komponentu

$$y = -8{,}6982 * x^2 + 59{,}366 * x + 1{,}8965$$



Slika 22: Polinomna krivulja regresije za plastičnu komponentu

$$y = 46{,}759 * x^{0{,}8205}$$



Slika 23: Potencijska krivulja regresije za plastičnu komponentu

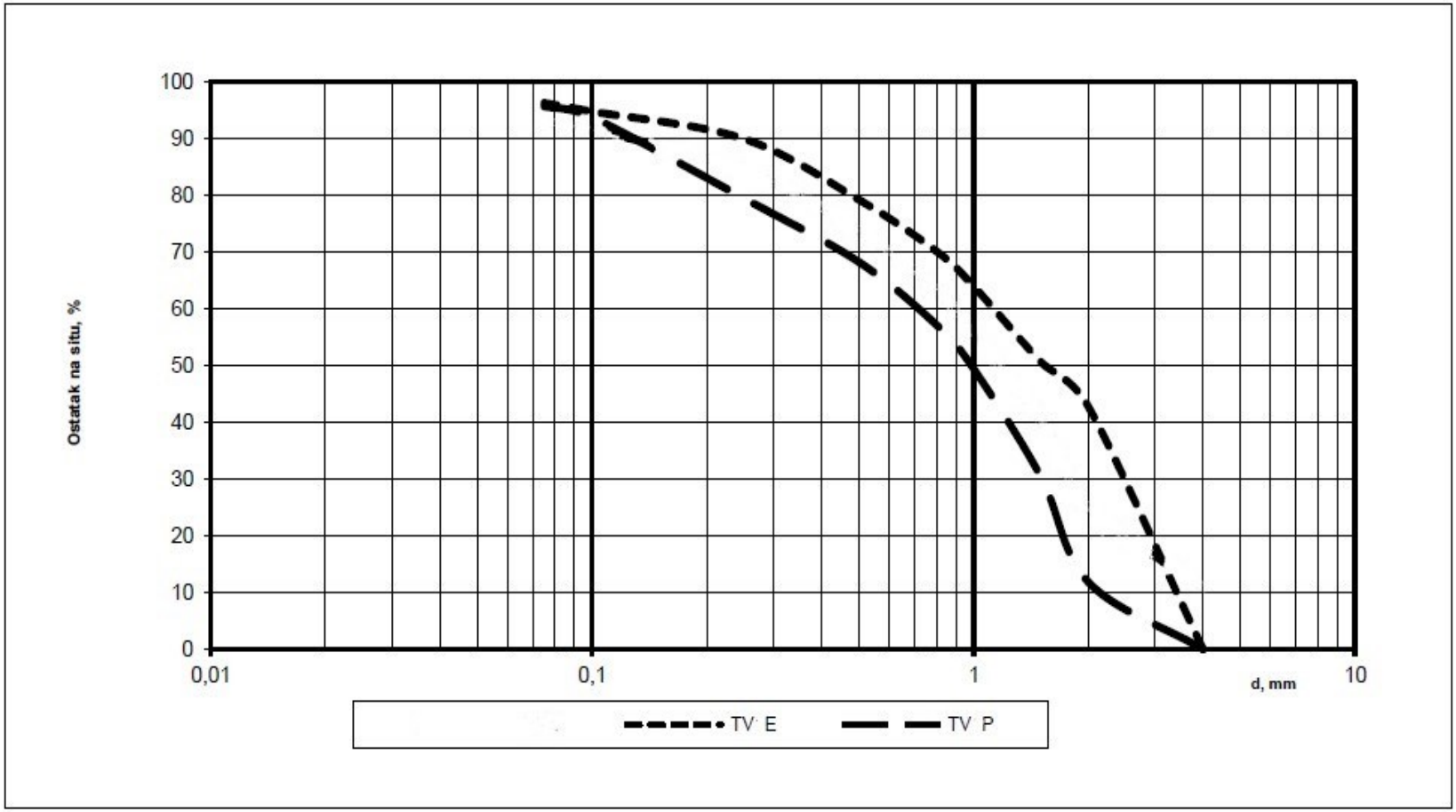
Može se uočiti da se vrijednosti koeficijenata determinacije kreću od 0,5645 kod eksponencijalne krivulje regresije do 0,9953 kod polinomne krivulje regresije. Iz slike 22 i izračunate vrijednosti koeficijenta determinacije (Tablica 6) vidljivo je da se polinomna krivulja regresije najbolje uklapa u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu plastične komponenta u tiskanim pločicama TV prijemnika.

Sve vrijednosti koeficijenata determinacije i za plastičnu i elektroničku komponentu, za svaku pojedinu krivulju regresije, prikazane su u tablici 6.

Tablica 6: Koeficijenti determinacije za elektroničku i plastičnu komponentu

R^2	Eksponencijalna	Linearna	Logaritamska	Polinomna	Potencijska
Elektronička komponenta	0,6969	0,9812	0,8358	0,9964	0,9967
Plastična komponenta	0,5645	0,8449	0,9365	0,9953	0,962

Na temelju empirijskih podataka sadržanih u tablici 3 i 4 napravljen je dijagram granulometrijskog sastava elektroničkog i plastičnog dijela tiskane pločice TV prijemnika. (slika 24)



Slika 24: Dijagram granulometrijskog sastava elektroničkog i plastičnog dijela tiskane pločice TV prijemnika

Izvor: [9]

7. ZAKLJUČAK

Tiskane pločice, danas su sastavni dio većine EE uređaja. Heterogenog su sastava i sadrže puno vrijednih (paladij, zlato i bakar) , ali isto tako i štetnih elemenata po okoliš. Zbog toga je bitno primijeniti metodu recikliranja koja bi bila ekonomski isplativa, a istovremeno s neznatnim utjecajem na okoliš. Posebnu pažnju treba obratiti na opasne i otrovne materijale, te metale i plastiku koji su sadržani u TP-a zbog njihovog negativnog utjecaja na okoliš i zdravlje ljudi. Tako npr. nemetali iz TP-a mogu poslužiti kao punila za različite kompozite ili kao dodaci u proizvodnji građevinskih materijala kao što su npr. opločnici. Na taj način se smanjuje opterećenje na eksploataciju i iskorištavanje prirodnih sirovina, a ujedno se zbrinjava potencijalno opasan otpad. Bitan postupak kod recikliranja otpadnih tiskanih pločica je usitnjavanje.

Svrha ovog rada je da se analizira granulometrijski sastav usitnjenih tiskanih pločica iz TV prijemnika da bi se ustanovila disperzija korisnih komponenti zavisno o veličini zrna usitnjenih tiskanih pločica.

Analizom podataka sadržanih u tablicama 3 i 4, a koji predočuju udjel uzoraka usitnjenih tiskanih pločica iz plastičnog i elektroničkog segmenta tiskanih pločica TV prijemnika, uočljiva su odstupanja pojedinih krivulja (slika 14 – 23). Vrijednosti koeficijenata determinacije kod elektroničkog dijela komponente kreću se od 0,6969 za eksponencijalnu krivulju regresije do 0,9967 za potencijsku krivulje regresije. Iz slike 18 i izračunate vrijednosti koeficijenta determinacije (tablica 6) vidljivo je da se u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu elektroničke komponenta u TP-a, najbolje uklapa potencijska krivulja regresije. Vrijednosti koeficijenata determinacije kod plastičnog dijela komponente kreću se 0,5645 za eksponencijalnu krivulju regresije do 0,9953 za polinomnu krivulju regresije). Iz slike 22 i izračunate vrijednosti koeficijenta determinacije (tablica 6) vidljivo je da se u empirijske vrijednosti kumulativnih relativnih udjela klasa u granulometrijskom sastavu plastične komponente u TP-a, najbolje uklapa polinomna krivulja regresije. Iz granulometrijskog dijagrama vidljivo je odstupanje granulometrijske krivulje TVE-a u odnosu na granulometrijsku krivulju TVP-a na što ponajviše ukazuje povećani postotak usitnjenog materijala promjera koji je veći od 4 mm.

Kroz daljnja istraživanja i praksu treba unaprijediti proces recikliranja, kojim bi se postigao dobar omjer zbrinjavanja nastalog otpada i štetnih tvari iz tiskanih pločica i financijska isplativosti samog procesa.

8. LITERATURA

1. Wikipedia, “ Printedcircuitboard” http://en.wikipedia.org/wiki/Printed_circuit_board
2. 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
3. V.Premur: „Oporaba otpadnih tiskanih pločica metodama oplemenjivanja mineralnih sirovina“, Doktorski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Zagreb. 2016.
4. Izvješće o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom u 2018. godini: Ministarstvo zaštite okoliša i energetike, Zavod za zaštitu okoliša i prirode, Zagreb, ožujak 2020.
5. Fuk, B. : „Separacija otpadnih tiskanih pločica u elektrostatičkom separatoru“, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 25* (1), 93-99., 2012. Preuzeto s https://hrcak.srce.hr/107903
6. Anić Vučinić, A., Vujević, D., Premur, V., Melnjak, I. i Canjuga, D. (2014). „Zbrinjavanje nemetalne komponente tiskanih pločica“, *Environmental Engineering - Inženjerstvo okoliša, 1* (2), 67-76. Preuzeto s https://hrcak.srce.hr/132727
7. “OptimizationofPrecious Metal Recoveryfrom Waste ElectricalandElectronicEquipmentBoards”
8. http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/298762.html
9. Alapić Š.: „ Komparativna analiza rezultata usitnjavanja tiskanih pločica iz tv prijemnika ovisno o predobradi“, Završni rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. 2013.
10. Kovač, I.: „Primijenjena statistika“, skripte s predavanja, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. 2014.
11. https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/cs/SSEP7J_10.2.2/com.ibm.swg.ba.cognos.ug_cr_rptstd.10.2.2.doc/t_trendline_old.html
12. Arcella A. : “Uklapanje pravca i krivulja regresije u dijagram granulometrijskog sastava usitnjenih tiskanih pločica iz računala“, Završni rad, Varaždin: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin. 2019.

13. „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)
14. „Pravilnik o izmjenama i dopunama pravilnika o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom“, („Narodne novine“, broj 11/19 od 30.01.2019.)
15. https://zastitaokolisa.dashofer.hr/33/sustav-gospodarenja-ee-otpadom-i-obveze-dionika-u-2019-godiniuniqueidmRRWSbk196E4DjKFq6pChJc5hcOhHolC66p8Pphb4lRPRJxcyE-8sg/?uri_view_type=4
16. https://www.hammermills.com/how-does-a-hammer-mill-work

9. POPIS SLIKA

Slika 1: Udijeli EE opreme stavljene na tržište prema kategorijama u 2018. godini 6
Slika 2: Tiskane pločice 7
Slika 3: Zbrinjavanje tiskanih pločica u nerazvijenim zemljama 10
Slika 4: Tip A
Slika 5: Tip B 10
Slika 6: Blok dijagram obrade otpadnih TP 11
Slika 7: Mlin čekićar s osnovnim dijelovima 14
Slika 8: Grafički prikaz eksponencijalne krivulje regresije 17
Slika 9: Grafički prikaz linearnog pravca regresije 17
Slika 10: Grafički prikaz logaritamske krivulje regresije 18
Slika 11: Grafički prikaz polinomne krivulje regresije 19
Slika 12: Grafički prikaz potencijske krivulje regresije 19
Slika 13: Dijagram disperzije 21
Slika 14: Eksponencijalna krivulja regresije za elektroničku komponentu 26
Slika 15: Linearni pravac regresije za elektroničku komponentu 26
Slika 16: Logaritamska krivulja regresije za elektroničku komponentu 27
Slika 17: Polinomna krivulja regresije za elektroničku komponentu 27
Slika 18: Potencijska krivulja regresije za elektroničku komponentu 28
Slika 19: Eksponencijalna krivulja regresije za plastičnu komponentu 29
Slika 20: Linearni pravac regresija za plastičnu komponentu 29
Slika 21: Logaritamska krivulja regresije za plastičnu komponentu 30
Slika 22: Polinomna krivulja regresije za plastičnu komponentu 30

Slika 23: Potencijska krivulja regresije za plastičnu komponentu 31
Slika 24: Dijagram granulometrijskog sastava elektroničkog i plastičnog dijela tiskane pločice TV prijemnika 33

10. POPIS TABLICA

Tablica 1: EE oprema stavljena na tržište RH prema kategorijama u razdoblju od 2010. do 2018. godine, t 5
Tablica 2: Udio pojedinih elemenata u miješanom uzorku TP-a 9
Tablica 3: Granulometrijski sastav elektroničke komponente tiskane pločice (TVE) 15
Tablica 4: Granulometrijski sastav plastične komponente tiskane pločice (TVP) 15
Tablica 5: N broj eksperimenata 21
Tablica 6: Koeficijenti determinacije za elektroničku i plastičnu komponentu 32