

# Tehnologije recikliranja mobilnih telefona

---

**Jung, Antun**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:800727>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-25**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU FAKULTET  
ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**TEHNOLOGIJE RECIKLIRANJA MOBILNIH TELEFONA**

**Završni rad**

**Antun Jung**

**Osijek, 2019.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 23.09.2019.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Antun Jung
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	A 4402, 25.09.2018.
<b>OIB studenta:</b>	41169853222
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Anita Katić
<b>Sumentor:</b>	Doc. dr. sc. Goran Rozing
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Prof. dr. sc. Dominika Crnjac-Milić
<b>Član Povjerenstva:</b>	Dr.sc. Venco Ćorluka
<b>Naslov završnog rada:</b>	Tehnologije recikliranja mobilnih telefona
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	Prikazati sustav mobilnih telefona s gledištem; vrste materijala i spojeva. Iskazati količinu odbačenih uređaja. Navesti važnije postupke zbrinjavanja te detaljnije opisati svjetska iskustva s recikliranjem istih. Sumentor: dr.sc. Goran Rozing
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):</b>	Dobar (3)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 1 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	23.09.2019.

Potpis mentora za predaju konačne verzije rada  
u Studentsku službu pri završetku studija:

Potpis:

Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 03.10.2019.

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Antun Jung
<b>Studij:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	A 4402, 25.09.2018.
<b>Ephorus podudaranje [%]:</b>	5%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Tehnologije recikliranja mobilnih telefona**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Anita Katić

i sumentora Doc. dr. sc. Goran Rozing

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

## SADRŽAJ:

1.	UVOD .....	1
2.	PRIKAZ MATERIJALNE STRUKTURE MOBILNOG TELEFONA.....	2
2.1	Sklopovi i komponente mobilnog telefona .....	2
2.1.1	Matična ploča.....	2
2.1.2	Ekran.....	5
2.1.3	Kamera.....	6
2.1.4	Kućište.....	6
2.1.5	Baterija.....	7
2.2	Materijali korišteni u mobilnim telefonima .....	8
2.2.1	Metali.....	8
2.2.2	Polimeri .....	12
2.2.3	Staklo.....	12
3.	POSTUPCI ZBRINJAVANJA MOBILNIH TELEFONA.....	14
3.1	Proces i tehnologije recikliranja komponenti mobilnih uređaja .....	15
3.1.1	Rastavljanje mobilnih telefona .....	15
3.1.2	Sortiranje rastavljenih mobilnih telefona .....	15
3.1.3	Recikliranje baterija mobilnih telefona .....	16
3.1.4	Recikliranje tiskanih pločica.....	17
3.1.5	Recikliranje plastike .....	19
4.	SVJETSKA ISKUSTVA S RECIKLIRANJEM MOBILNIH TELEFONA.....	21
4.1	Modularni pristup zbrinjavanja mobilnih telefona.....	21
4.2	Kemijski i toplinski postupci recikliranja mobilnih telefona .....	22
4.3	Primjena robota u recikliranju mobilnih telefona.....	25
4.4	Razna rješenja recikliranja mobilnih telefona .....	26
5.	ZAKLJUČAK.....	28
	LITERATURA.....	29

SAŽETAK .....	31
SUMMARY .....	31
ŽIVOTOPIS .....	32

## 1. UVOD

Mobilni telefoni, a u današnje vrijeme pametni telefoni, postali su dostupni velikom broju ljudi i time život bez njih je postao gotovo nezamisliv. Iako su se pojavili na tržištu relativno nedavno, njihova povijest seže do davne 1908. godine kada je u Kentuckyju objavljen patent za bežični telefon. Inženjeri AT&T-a su 1940-ih razvili ćelije za bazne stanice mobilnih telefona, što se danas smatra pretečom mobilnih telefona. Prvi mobiteli zapravo nisu uopće bili mobilni telefoni, već dvosmjerni radio uređaji koji su, u to vrijeme, služili za komunikaciju taksistima i hitnim službama. Prvi telefonski poziv obavljen je na radiotelefonu u Chicagu 1946. godine, a prvi automatizirani mobilni telefoni za privatna vozila pušteni su u prodaju 1956. u Švedskoj, koji su radili na tehnologiji pomoću vakuumske cijevi te su težili 40 kilograma. Američka tvrtka Motorola, 3. travnja 1973. bila je prva koja je masovno počela proizvoditi ručne mobilne telefone koji su težili 1,1 kilogram. Komičar Ernie Wise bio je prva osoba koja je obavila javni poziv s mobilnog telefona u Ujedinjenom Kraljevstvu nazvavši sjedište Vodafonea 1985. godine, dok je prva osoba koja je poslala SMS bio Neil Papworth, koji je i sam razvio koncept SMS-a 1992. godine također u Ujedinjenom Kraljevstvu.

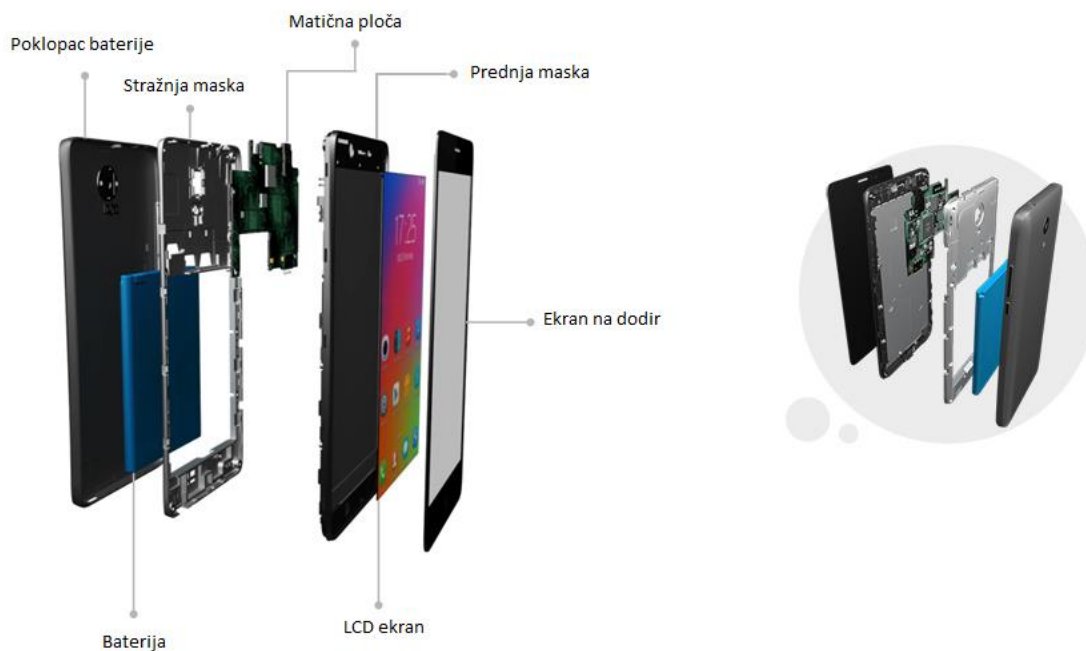
Otkako je proizveden prvi mobitel pa sve do današnjeg dana, njihov razvoj s tehnološkog aspekta je u eksponencijalnom rastu. Sa strane primjene različitih materijala za njihovu izradu, telefoni se sastoje 35% od metala, 45% od polimera, dok ostatak čine stakla, keramike i drugi materijali. Uz razvoj tehnologije izrade mobilnih telefona, popratno s tim mijenjali su se i materijali koji su se koristili prilikom proizvodnje telefona. Kako je potražnja za mobitelima rasla, uz nova i modernija rješenja izvedbi mobitela, nastao je jedan veliki problem: što učiniti sa starim mobitelima. Gotovo svake godine izlaze nove i naprednije generacije mobitela, kojima ljudi mijenjaju svoje „zastarjele“ modele, što stvara veliku količinu uređaja koji završe u smeću ili se gomilaju u ladicama. Kako se mobiteli sastoje od mnogo različitih materijala od kojih su mnogi i štetni, potrebno je provesti određene mjere njihovog prikupljanja i recikliranja, kako bi se ti materijali mogli ponovno iskoristiti i kako bi se sačuvale zalihe materijala iz prirode.

U završnom radu napravljen je pregled komponenti i materijala od kojih se mobilni telefoni sastoje. Ukazuje se na probleme nepravilnog zbrinjavanja otpada mobilnih telefona te na tehnologije njegovog recikliranja te na nove moderne metode i rješenja njihovog zbrinjavanja.

## 2. PRIKAZ MATERIJALNE STRUKTURE MOBILNOG TELEFONA

Današnji mobilni telefoni sastoje se od više različitih sklopova i komponenti: poklopca baterije, baterije, prednje maske, stražnje maske, matične ploče, LCD ekrana i ekrana na dodir, kako je prikazano na slici 2.1.

Prema GSMA real-time obavještajnim podacima, danas u svijetu postoji više od 8,98 milijardi mobilnih telefona u svijetu, što premašuje čitavu svjetsku populaciju, a smatra se kako se samo 3% od toga reciklira, što stvara ogromne količine odbačenih uređaja.



Slika 2. 1. Komponente mobilnog telefona

### 2.1 Sklopovi i komponente mobilnog telefona

#### 2.1.1 Matična ploča

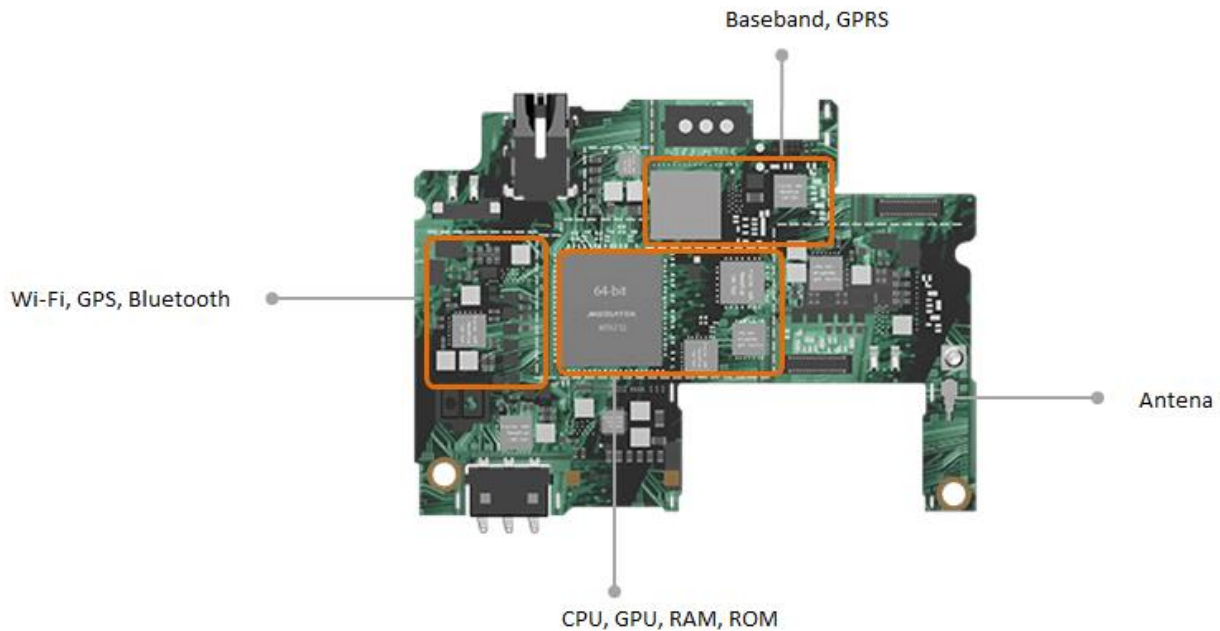
Matična ploča je najvažniji dio mobitela. Bez nje mobitel ne bi funkcionirao, a sastoji se od mnogih važnih komponenti, kao što su procesor, memorije, ulazno/izlazne jedinice i utori za proširenje za spajanje sa perifernim uređajima. Neke su komponente trajno zalemljene na



matičnu ploču, dok su neke izmjenjive pa se mogu i nadograditi. Glavne komponente matične ploče prikazane su na slici 2.2.

- RAM (Random Access Memory) je vrsta memorija koja se koristi za čitanje i zapisivanje podataka. Pokrenuti softveri, zajedno s podacima koji koriste nalaze se u RAM memoriji. S povećanjem količine RAM-a moguće je pokretati složenije softvere i više aplikacija odjednom.
- ROM (Read-Only Memory) je vrsta memorije koja podatke sprema na duže vrijeme. Za razliku od RAM memorije, ROM čuva podatke čak i kada je uređaj isključen. Pohranjuje korisnički sadržaj i kopiju cijelog softvera tako da se može učitati u RAM kada je potrebno. Iako joj ime u prijevodu znači samo za čitanje, u današnje vrijeme to je pogrešan naziv koji je ostao sa starijih uređaja koji su doista pohranjivali podatke u „read-only“ memoriji.
- CPU (Central Processing Unit) je elektronička komponenta na matičnoj ploči koji služi kao „mozak“ mobitela. Također je poznat kao procesor ili mikroprocesor. Vršiti izračune te upravlja ostalim komponentama matične ploče. O njegovoj jačini ovisi brzina rada aplikacija. Brzina CPU-a mjeri se u GHz.
- GPU (Graphics Processing Unit) upravlja prikazom i animacijom vizualnih elemenata. Može biti integriran u glavnom procesoru ili se nalazi kao zasebna komponenta na matičnoj ploči.
- GPS (Global Positioning System) je globalni satelitski sustav koji omogućuje određivanje točne lokacije na zemlji. Kada se koristi s kompatibilnim aplikacijama, uz dopuštenje korisnika, prenosi informacije o lokaciji.
- Wi-Fi (Wireless Local Area Network) pripada WLAN tehnologiji. Pruža bežične podatkovne veze relativno kratkog dometa između mobilnih podatkovnih uređaja i obližnjih Wi-Fi pristupnih točaka. Općenito je brži od podatkovnih tehnologija koje rade preko mobilne mreže.

- Bluetooth je bežična tehnologija kratkog dometa koja se koristi za stvaranje PAN-ova (osobnih mreža) između uređaja koji se nalaze u blizini.
- GPRS (General Packet Radio Service) je paketno komutirana tehnologija koja omogućuje podatkovnu komunikaciju uređaja. Svaka mrežna veza koja nije glasovna ili tekstualna poruka koristi podatkovnu vezu kao što je GPRS.
- Baseband je komponenta matične ploče u mrežnom sučelju koji upravlja svim radio funkcijama.
- Antena je fizički uređaj koji služi za slanje i primanje radio signala.

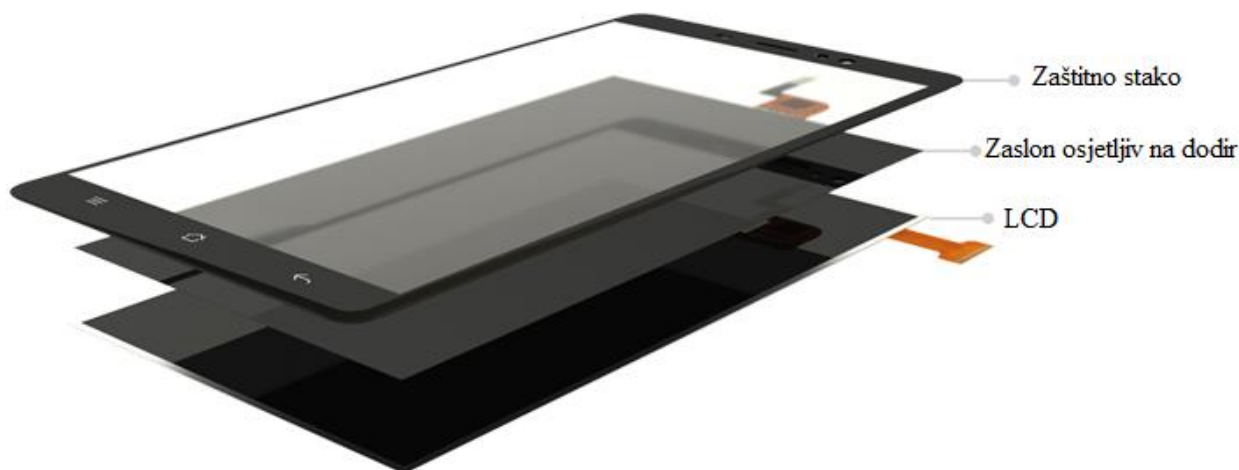


Slika 2. 2. Matična ploča mobilnog telefona

### 2.1.2 Ekran

Ekran mobilnog telefona je jedna od ključnih značajki uređaja. Služi kao glavni hardver pomoću kojeg korisnik komunicira sa softverom uređaja. Tehnologije izvedbe ekrana kroz vrijeme su napredovale do te mjere da se danas izrađuju i fleksibilni ekrani. Komponente ekrana prikazane su na slici 2.3.

- Zaštitno staklo prekriva i štiti ekran mobilnog telefona i zaslon osjetljiv na dodir. Debljina stakla je između 0,5 mm i 2,0 mm.
- Zaslon osjetljiv na dodir dizajniran je za rad s prstima ili posebnom olovkom. Pritiskom na određenu točku zaslona aktivira se virtualni gumb ili značajke prikazane na tom mjestu zaslona.
- LCD (Liquid Crystal Display) je jedna od glavnih tehnologija prikaza kod mobilnih telefona. Ima niske energetske zahtjeve i lako se čita. LCD paneli se sastoje od mreže malih kvadratnih područja koja se nazivaju pikseli. Svaki piksel se može kontrolirati tako da svjetlost može proći, biti blokirana ili puštati određenu količinu svjetla. Svaki piksel sadrži najmanje tri pod-piksela (crvene, zelene i plave boje) koji se mogu kontrolirati.



Slika 2. 3. Komponente ekrana mobilnog telefona

### 2.1.3 Kamera

Kamera je uređaj mobilnog telefona koji služi za snimanje fotografija i videa. Današnji modeli mobitela sadrže do čak 5 kamera. Glavne komponente kamere su prikazane na slici 2.4.

- Objektiv sakuplja svjetlo i zatim projicira scenu na površinu medija.
- Filter boja filtrira redundantni optički val.
- Senzor slike mijenja sliku koja se projicira na površini objektiva
- Motora služi za fokusiranje objektiva.
- Ploča šalje signal senzora slike na stražnji kraj.



Slika 2. 4. Komponente kamere mobilnog telefona

### 2.1.4 Kućište

Prva stvar vidljiva na mobilnim telefonima upravo je kućište koje ostavlja prvi dojam o uređaju. Kako bi mobitel bio što atraktivniji tržištu, proizvođači koriste razna projektna rješenja i materijale. Komponente kućišta su prikazane na slici 2.5.

- Prednja maska je osnovna struktura mobitela. Kamera, zvučnici, tipke i senzori ugrađeni su u masku. Obično se proizvodi od polikarbonata.

- Stražnja maska je također osnovna struktura mobitela. Umetnuta je prednjoj maski za fiksiranje vanjskih dijelova mobilnih telefona.
- Poklopac baterije služi za zaštitu baterije na vanjske utjecaje. Razlikuju se metalni neodvojivi poklopac i plastični odvojivi poklopac.



Slika 2. 5. Komponente kućišta mobilnog telefona

### 2.1.5 Baterija

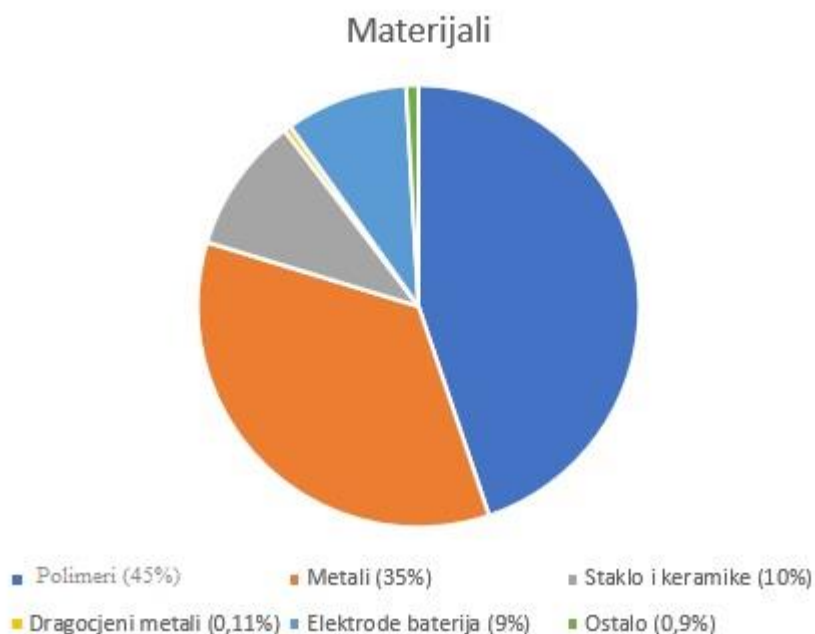
Baterija, prikazana na slici 2.6, je elektrokemijska ćelija koja se može električno napuniti kako bi se osigurao statički potencijal za napajanje ili oslobodio električni naboj kada je to potrebno. Bez baterije mobilni telefoni ne mogu raditi. Ovisno o dizajnu i izvedbi baterije, prodaju se po različitim nazivnim naponima, a najčešći su 3.7V - 4.2V i 3.8V – 4.35V. Razlikujemo litij – ionske baterije i litij – polimerne baterije



Slika 2. 6. Baterija mobilnog telefona

## 2.2 Materijali korišteni u mobilnim telefonima

Gledajući s aspekta materijala, mobilni telefoni težinski se sastoje 35% od raznih metala, 45% od polimera, dok ostatak čine staklo, keramike i drugi razni materijali, kako je prikazano na slici 2.7.



Slika 2. 7 Materijali u mobilnim telefonima

### 2.2.1 Metali

Mobilni telefoni izrađeni su od raznih vrsta metala. Najčešće su to aluminijijske legure, lagani materijali koji se obično koriste za izradu kućišta telefona. Pri izradi baterija koriste se litij-kobalt-oksidi i ugljik-

grafit. Zlato, bakar i srebro koriste se u ožičenju mobilnog telefona. Platina i volfram nalaze se u strujnim krugovima uređaja. Također, u mobitelima se nalaze i rijetki metali koji se koriste pri očvršćivanju stakla na mobitelu. Rijetki metali, kao što su legure praseodimij, disprozij i neodimij-željezo-bor koriste se za izradu magneta, motora i zvučnika koji se nalaze u mobilnim telefonima.

Mijenjanjem dizajna mobilnih telefona i proizvodnja u skladu s RoHS direktivom (direktiva o ograničenju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi), udio olova u mobilnim telefonima znatno se smanjio u novijim generacijama proizvoda, kao i veličina, masa i upotreba konstrukcijskih metala. Međutim, bakar je ostao dominantan metal u uređajima.

Novije analize pokazale su koji se metali najčešće koriste u mobilnim telefonima, što je prikazano u tablici 2.1.

Tablica 2. 1 Metali u mobilnim telefonima

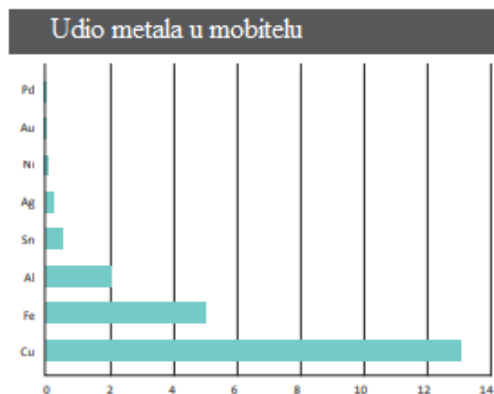
Vrsta komponente	Metali
Pločica	Au, Ag, As, Ba, Bi, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, Pb, Pd, Pt, Si, Sn, Ta, Ti, Zn, Zr
Fleksibilna podloga	Au, Ag, Cu, Pt
LCD	Au, Ag, As, Ba, Ca, Cu, In, Ni, Sb, Si, Sn
Motor	Au, Ag, Cu, Pt
Kamera	Au, Cu, Ni
Zvučnik/Mikrofon	Cu, Mn, Zn

U tablici 2.2 prikazan je udio pojedinih metala u mobilnim telefonima u postotcima i njihovu ekonomsku vrijednost.

Tablica 2. 2 Udio metala u mobilnim telefonima i njihova vrijednost

Metal	Cu	Al	Fe	Ni	Pb	Sn	Ag	Au	Pd
Udio (%)	13.0	2.0	5.0	0.1	0.3	0.5	0.1	0.0	0.0
Vrijednost (%)	4.3	0.3	0.2	0.1	0.0	0.6	3.9	78.9	11.8

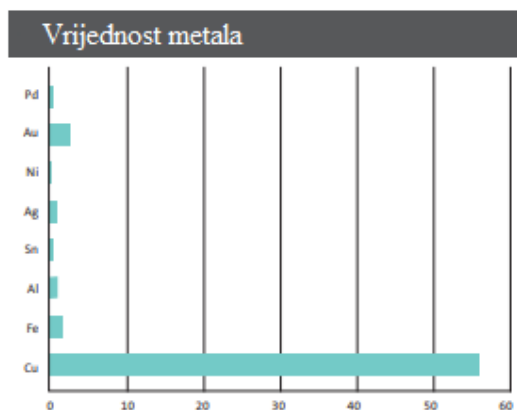
Prikaz udjela pojedinih metala koji se koriste u izradi različitih komponenti mobilnih telefona, prikazan je na slici 2.8.



Slika 2. 8 Udio metala u mobilnom telefonu

Iz slike 2.8, može se zaključiti kako su uglavnom bakar, željezo i aluminij najzastupljeniji u mobilnim telefonima, ali je uz njih važno i recikliranje plemenitih metala, uključujući zlato, srebro i paladij, koji čine mali postotak ukupne mase uređaja.

Tablica 2.2 daje omjer vrijednosti za svaki metal. Ovaj faktor može se iskoristiti za procjenu metala prema komercijalnim razmatranjima, što je relevantno s točkom pogleda recikliranja metala. Postotci metala i omjeri vrijednosti prikazani su na slici 2.9.

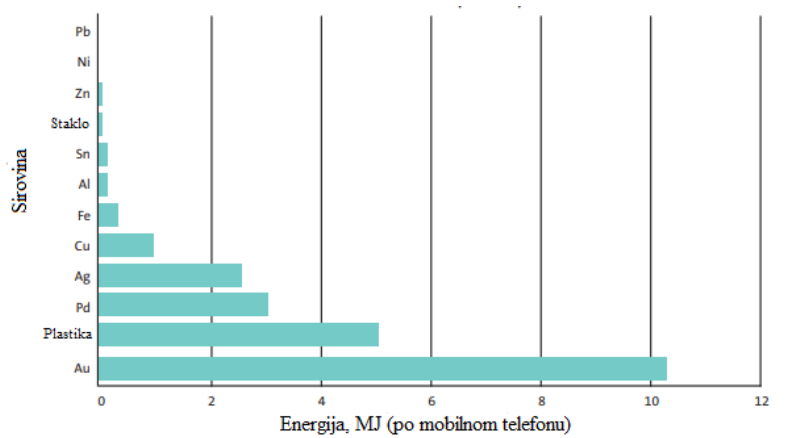


Slika 2. 9 Omjer vrijednosti metala u mobilnim telefonima

Dok bakar ostaje dominantan i po vrijednosti, željezne i aluminijske frakcije smanjuju se po važnosti, a zlato se povećava.

Važno za razmatranje proizvodnje mobilnih uređaja je energija potrebna za vađenje metala iz njihovih ruda, što je prikazano na slici 2.10.





Slika 2. 10 Omjer utrošene energije za vađenje metala iz ruda

Gledajući s aspekta utrošene energije, plemeniti metali zlato, srebro i paladij premašuju utjecaj bakra. Također polimeri imaju veliki udio utrošene energije te iako nije istaknuto, staklo također ima zabilježen udio u potrošnji energije, zbog visoke temperature taljenja koja je potrebna prilikom proizvodnje.

Prema analizi slika 2.8, 2.9 i 2.10 te tablica 2.1 i 2.2, može se zaključiti kako su bakar, zlato, srebro, paladij, željezni metali (čelici i nehrđajući čelik) i aluminij najvažniji metali u proizvodnji mobilnih telefona.

Prikaz metala koji se koriste u izradi različitih komponenti mobilnih telefona, prikazan je na slici 2.11

Metal	Au	Ag	As	Ba	Bi	Ca	Cr	Cu	Ga	In	Mn	Ni	Pb	Pt	Si	Sb	Sn	Ta	Ti	Zn	Zr	Al	Fe	Pd
PWB	•	•	•	•	•		•	•	•		•	•	•	•	•		•	•	•	•	•			
FLEX	•	•						•						•										
LCD	•	•	•	•		•		•		•		•			•	•	•							
KAMERA	•							•				•												
AUDIO KOMPONENTE								•			•									•				

Slika 2. 11 Metali korišteni u komponentama mobilnih telefona

Među ograničenim tvarima RoHS direktive, samo se olovo i krom koriste u proizvodnji mobilnih telefona. U pogledu kroma, samo je njegov šesterovalentni oblik ograničen, dok je dopušten metal krom koji se može naći u nehrđajućim čelicima.

### 2.2.2 Polimeri

Jedan od najčešćih korištenih materijala u mobilnim telefonima su polimeri. Često se koriste umjesto metala. Upotreba polimera čini mobilne telefone otpornije na oštećenja prilikom udaraca. Također se koriste zbog visoke otpornosti na vanjske utjecaje, osim ekstremnih temperatura. Polimeri, kao materijal, su vrlo fleksibilni i ne uzrokuju probleme pri prijemu signala mobilnog uređaja.

- Uobičajeni termopolimeri:

Polikarbonat, akrilonitril butadien stiren (ABS) i mješavine ova dva materijala obično se koriste za kućišta mobilnih uređaja. Ovi bazični polimeri mogu sadržavati različite razine staklenih vlakana za poboljšanje mehaničke krutosti. Komercijalni termopolimeri također sadrži aditive za bolji protok i obradu, toplinsku i UV zaštitu, druge stabilizatore i anorganska ili organska bojila. Za razliku od fleksibilnih polimera, poput PVC-a, plastifikatori poput ftalata se koriste samo prilikom izrade kućišta vanjskih izvora napajanja. Mnogo drugih osnovnih polimera i mješavina mogu se naći u kućištima, kao što su kopolimeri polikarbonata i siloksan.

- Termootporni polimeri:

Epoksi se koriste u tiskanim pločicama, laminiranim u slojevima s armaturama od staklenog tkanja, s bakrenim fotopratom, jetkan i obrađen da tvore međusobne veze. Tiskane pločice u mobilnim uređajima također često koriste jedan ili više slojeva bakra obloženih smolom. Različiti epoksi također se koriste za lijevanje komponenti poput poluvodiča i tantalskih kondenzatora. U tu svrhu gotovo uvijek se koriste vatrootporni materijali, iako zahtijevaju pozornost zbog uporabe halogena, uključujući klor i brom, koji mogu biti štetni za okoliš.

Jedan od najčešće korištenih vatrootpornih materijala u tiskanim pločicama i ostalim komponentama je tetrabromobisfenol A (TBBPA), također prisutan i u epoksima. Potrebne su dodatne studije u vezi s TBBPA biorazgradivosti i toksičnoj učinkovitosti.

Za razliku od termopolimera, koji se mogu reciklirati i preraditi u nove svrhe, epoksi se uglavnom ne mogu reciklirati. Trenutno je prihvaćeno da se epoksi mogu koristiti kao izvor energije prilikom spaljivanja tiskanih pločica, međutim staklo u tom procesu propada.

### 2.2.3 Staklo

Staklo je, s razvojem mobitela s zaslonom osjetljivim na dodir, postalo jedno od glavnih komponenti. Izrađeno je od aluminijevog oksida i silicijevog dioksida s dodanim ultra tankim slojem indij-kositar

oksida koje štiti staklo prilikom korištenja zaslona na dodir i poznato je kao „Gorilla Glass“. Također, u izradi se koristi i safir, materijal proizveden od aluminijskog oksida.

Alumosilikatno staklo je najčešće u uporabi, kemijski pojačano da zamijeni natrij s kalijem unutar vanjskih dijelova same staklene konstrukcije. Na staklo se stavljaju razni prozirni premazi zbog refleksije, razmazivanja i zaštite. Premazi se mogu sastojati od raznih silikona ili fluorosilikon polimera.

### 3. POSTUPCI ZBRINJAVANJA MOBILNIH TELEFONA

Prednosti zbrinjavanja mobilnih telefona su brojne. Recikliranjem jedne tone mobilnih uređaja dobije se 300 grama zlata, 140 grama platine i paladija i 140 kilograma bakra. Recikliranje baterija fokusira se na pribavljanje kobalta i ostalih metala kao što su bakar za ponovnu uporabu. Silikonske maskice mobilnih uređaja, koje služe za zaštitu uređaja, mogu se iskoristiti u cementarama i u izgradnji cesta tako što se dodaju u smjesu asfalta. Zlato i srebro reciklirano s tiskanih pločica koriste se pri izradi nakita i drugih proizvoda. Polimeri kućišta mobilnih telefona mogu se usitniti i ponovno koristiti u proizvodnji. Recikliranjem samo jednog mobitela uštedi se dovoljno energije za napajanje laptopa čak 44 sati, a recikliranjem milijun uređaja sačuvalo bi se dovoljno električne energije za 185 kućanstva.

Kako bi se smanjio negativan učinak mobilnih telefona, ali i ostalih električnih i elektroničkih uređaja na okoliš, zadana je RoHS („Restriction of Hazardous Substances“) direktiva Europskog parlamenta i Vijeća od 8. lipnja 2011. o ograničenju uporabe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi. Prema direktivi određene su ograničene tvari i maksimalne dopuštene vrijednosti masenih koncentracija u različitim materijalima:

- Olovo (0,1%)
- Živa (0,1%)
- Kadmij (0,01%)
- Šesterovalentni brom (0,1%)
- Polibromirani bifelini (0,1%)
- Polibromirani difelineri (0,1%)

Također, uz regulaciju opasnih materijala, Europska Unija implementirala je zahtjeve za smanjenjem i sprječavanjem neprikladnog odlaganja otpada opasnih materijala.

## 3.1 Proces i tehnologije recikliranja komponenti mobilnih uređaja

### 3.1.1 Rastavljanje mobilnih telefona

Proces recikliranja mobilnih telefona započinje s rastavljanjem mobitela na sastavne dijelove i komponente, kao što su baterija, tiskane pločice, zvučnici, punjači i ostala dodatna oprema, plastika, papir i staklo. Rastavljanje, kao proces, iziskuje mnogo rada i velike troškove. Rastavljanje može biti ručno, poluautomatizirano i automatizirano.

Za ručno rastavljanje, u praksi se koriste dizalice, pokretne trake, okretni stolovi i druga slična pomagala. Ciljevi procesa ručnog rastavljanja su odvajanje dijelova za ponovnu upotrebu, razvrstavanje materijala prema vrsti i odvajanje sklopova za mehaničko rastavljanje. U odnosu na mehaničko rastavljanje, ručnim rastavljanjem dobivaju se reciklati puno veće čistoće, ali uz puno veće troškove zbog ljudskog rada.

Automatizirano rastavljanje koristi se u slučaju kada se recikliraju velike količine istih proizvoda. Rastavljanje se vrši pomoću raznih robota specijaliziranih za određene vrste proizvoda. Iako se naziva automatiziranim rastavljanjem, proces sadrži i operacije ručnog rastavljanja.

### 3.1.2 Sortiranje rastavljenih mobilnih telefona

Nakon rastavljanja mobilnih telefona, dobivene komponente i dijelove potrebno je sortirati prema vrsti materijala. Sortirati se može ručno ili mehanički.

Kod ručnog sortiranja, rastavljeni dijelovi postave se na pomičnu traku. Radnici, ovisno o boji i izgledu, prepoznaju materijale i komponente te ih sortiraju. Prilikom ručnog sortiranja zahtijeva se visoka čistoća materijala. Nedostatak ručnog sortiranja je visoka cijena ljudskog rada.

Postoji mnogo različitih postupaka sortiranja usitnjenog otpada. Neki od važnijih postupaka mehaničkog i električkog sortiranja su propuhivanje, zračni vrtlog, plivajuće – toneći postupak, vodeni vrtlog, fero – magnetski postupak, odvajanje jakim magnetskim poljima, postupak vrtložnih struja i elektrostatički postupak. Mehanički postupci sortiranja relativno su jeftiniji od ručnog sortiranja.

- Propuhivanjem se čestice odvajaju pomoću zračne vrtložne struje ovisno o težini. Teže čestice propadaju, dok one lakše putuju zračnom strujom.
- Postupkom zračnog vrtloga čestice se uz pomoć centrifugalnih sila zračne vrtložne struje odvajaju po gustoći i dimenzijama.

- Plivajuće – tonećim postupkom čestice se odvajaju ovisno o gustoći, gdje lakše čestice ostanu plutati na površini vode, a teže čestice potonu.
- Vodenim vrtlogom čestice se razdvajaju u vodenoj struji pod utjecaj centrifugalne sile, ovisno o njihovoj gustoći i veličini.
- Fero – magnetskim postupkom čestice se postavljaju na pokretnu traku koja sadrži jako magnetsko polje. Čestice feromagnetskih materijala ostaju na pokretnoj traci, a ostale čestice otpadaju s pokretne trake.
- Odvajanje jakim magnetskim poljem, čestice paramagnetskih materijala odvajaju se od nemagnetičnih materijala. Čestice se postavljaju na pokretnu traku koja prolazi kroz jako magnetsko polje.
- Postupkom vrtložnih struja materijal se odvaja na temelju njegove vodljivosti. Kada materijal dođe u promjenjivo magnetsko polje, u njemu se inducira vrtložna struja. Vodljive čestice se tada zakreću od smjera struje, odvajajući ih od nevodljivih čestica.
- Elektrostatičkim postupkom čestice materijala se elektrostatski nabijaju te zatim propuštaju između ploča različitog naboja. Nevodljive čestice se privlače na ploče, dok se vodljive čestice odbijaju od elektrode.

### 3.1.3 Recikliranje baterija mobilnih telefona

Kada su uklonjene iz mobilnih telefona, baterije se prvo razvrstavaju prema vrsti. Nakon toga slijedi proces usitnjavanja baterija različitim strojevima i postupcima. Zatim, materijal dobiven usitnjavanjem se također razvrsta. Recikliranje litij – ionskih baterija mobilnih telefona tehnološki je zahtjevno iz razloga što takve baterije sadrže velik broj različitih materijala. Postupak recikliranja litij – ionskih baterija je čak pet puta skuplji od same proizvodnje novih baterija. Neki od najčešće primijenjenih metoda u recikliranju baterija su:

- Piroliza je proces toplinske razgradnje pri povišenoj temperaturi bez prisutnosti kisika. Postupak započinje uklanjanjem zapaljivog materijala, kao što su plastika i izolacija, pomoću plinskog termičkog oksidatora. Uređaj za ispiranje uklanja štetne čestice koje nastaju gorenjem, ostavljajući čiste čestice metala. One se zatim usitnjuju i zagrijavaju dok metal ne prijeđe u tekuće stanje. Metalne tvari se spaljuju, ostavljajući crnu trosku koja se uklanja pomičnom rukom. Legure se talože po težini te se „oberu“ slojevi materijala dok je u tekućem stanju.

- Tedjar-Foudrazov postupak je hidrometalurški proces pri sobnoj temperaturi kojim se oporabi 98% metala iz litij-ionske baterije, odnosno iz jedne tone baterija može se reciklirati 85 kilograma litija, 290 kilograma nehrđajućeg čelika, 130 kilograma kobalta, 80 kilograma bakra i 240 kilograma polimera i papira. Čitav postupak se provodi u smjesi ugljikovog dioksida i argona kako bi se spriječilo gorenje litija. Baterija se usitnjava te se nakon toga baterijska prašina odvaja prosijavanjem i djelovanjem magneta na četiri frakcije. Prva frakcija, ujedno i najvažnija, sadrži metalne okside i ugljik, druga sadrži nehrđajući čelik, treća obojene metale, a četvrta plastiku i papir. Prva frakcija stavlja se u lužnatu otopinu u kojoj se otapaju metalni oksidi, dok se ugljik odvaja filtracijom. Nakon toga se elektrolizom iz otopine izdvajaju teški metali, bakar i kobalt, dok se litij dobiva kao talog litijevog karbonata nakon što se pH otopine snizi sa početnih 13 na 9.
- Proces odvajanja materijala iz litij – ionskih baterija uz pomoć protustrujne metode vrši se pomoću hidrauličkog lifta. Baterije se pomoću rotacijskih čekića usitne, a usitnjeni komadići baterije propadaju na dno. Materijal se tada odvaja pomoću vode, ovisno o njegovoj gustoći.

#### 3.1.4 Recikliranje tiskanih pločica

Tiskane pločice se spremaju i obrađuju za pribavljanje plemenitih metala uključujući zlato, srebro, bakar i olovo. Postoje razni procesi recikliranja tiskanih pločica. Velik broj različitih komponenti koje se nalaze na pločicama zahtijevaju različite pristupe prilikom recikliranja. Svaka tehnika može se okarakterizirati po namjeni, troškovima i sigurnosti za komponente, utrošenim radom i vrsti grijanja. Oštećene ili neispravne pločice mogu se prerađivati pomoću alata za lemljenje.

- Uklanjanje komponenti s tiskanih pločica moguće je vršiti pomoću lemilica. Direktnim zagrijavanjem vodova komponente se mogu sigurno otkloniti. Samim time rad s lemilicom zahtijeva dobru kontrolu i naporan rad. Također, samo održavanje vrha lemilice oduzima podosta vremena. Prema tome, lemilice nalaze ograničenu uporabu i koriste se za posebne slučajeve koji uključuju komponente vrlo visoke vrijednosti.



Slika 3. 1. Uklanjanje komponenti lemilicom

- Konvekcijski alati koriste nastavke koji okruže komponentu, te djelovanjem toplog zraka, tale lem, čime se omogućuje odvajanje komponente s tiskane pločice. Alat također sadrži uređaj za usisavanje koje se pričvršćuje na komponentu tijekom procesa zagrijavanja. Kada se lem otopi, komponenta se isisa sa pločice i ostaje u uređaju. Zbog krhkosti i podložnosti savijanju komponente mogu izgubiti svoju vrijednost prilikom procesa. Nedostaci su troškovi procesa i potreba za mijenjanjem nastavka alata za pojedine komponente, što oduzima podosta vremena.



Slika 3. 2. Konvekcijski alat za uklanjanje komponenti s matične ploče



- Prilikom recikliranja tiskanih pločica koriste se i male kade za lemljenje kako bi komponente uklonile. Tiskana pločica uroni se u kadu, te kada se lem zagrije i otpusti komponente se mogu ukloniti. Komponente ne smiju biti predugo izložene rastopljenom lemu zbog pregrijavanja.



Slika 3. 3. Kada za lemljenje

- Infracrvena toplina se koristi za beskontaktno zagrijavanje. Kao izvor toplina najčešće se koristi kvarcna halogena žarulja. Lem se brzo zagrijava i topi, ali su i ostale komponente izložene visokoj temperaturi, što može dovesti do njihovog oštećenja.
- Uklanjanje komponenti sa tiskanih pločica također se može vršiti pomoću specijaliziranih toplinskih pištolja. Prednost ovog postupka je što se pomoću pištolja topli zrak može direktno usmjeriti na lem, čime se povećava vjerojatnost da se komponenta neće oštetiti. Proces je jeftin i jednostavan, ne ostavlja otpad te je često korišten u recikliranju.

### 3.1.5 Recikliranje plastike

Mobilni telefoni težinski se sastoje od čak 45 % polimera, stoga je pravilno zbrinjavanje i recikliranje polimera važan faktor u cijelom procesu recikliranja mobilnih telefona. Sam proces recikliranja polimera razdijeljen je u nekoliko koraka.

- Prvi korak procesa je prikupljanje polimera. Pravilno zbrinjavanje otpada polimera i njegovo odlaganje na za to predviđenim odlagalištima uvelike olakšava cijeli proces recikliranja.

- Nakon što se polimerni dijelovi prikupe i transportiraju u postrojenja za recikliranje, slijedi korak razvrstavanja. Polimeri se ručno ili uz pomoć strojeva sortiraju na temelju različitih svojstava, kao što su vrsta polimera (ovisno o materijalu od kojeg su izrađeni), boji polimera i čak prema načinu izrade polimera. Sortiranje je važno jer se različite vrste polimera prerađuju na različite načine, a neki pogoni mogu reciklirati samo jednu vrstu polimera. Obrađivanje pogrešne vrste polimera u pogrešnom postrojenju smanjuje učinkovitost cijelog postupka recikliranja polimera.
- Prije daljnje obrade, polimeri se moraju oprati. Cilj ovog koraka je uklanjanje svih nečistoća i svega što nije napravljeno od polimera, kao što su ljepljivo i naljepnice. Nopolimerni otpad ne može se reciklirati zajedno s polimerima jer smanjuju kvalitetu konačnog rezultata recikliranja.
- Slijedeći korak procesa recikliranja polimera je usitnjavanje. Usitnjavanjem polimera olakšava se njegova daljnja obrada i preoblikovanje. Ukoliko sve nečistoće nisu bile uklonjene u prijašnjim koracima, nakon usitnjavanja polimeri se dodatno čiste uz pomoć metalnih detektora i magneta koji uklanjaju preostale metale iz smjese.
- Nakon usitnjavanja polimera slijedi korak njihove identifikacije i odvajanja prema kvaliteti i klasi. Prvo se sortiraju prema gustoći uz pomoć vode. Usitnjeni polimeri manje gustoće ostaju plutati na površini vode, dok polimeri veće gustoće potonu. Zatim se odvajaju ovisno o veličini debljini polimera. Usitnjeni polimeri ubace se u stroj koji ih pomoću strujanja zraka odvaja, tako što tanji komadi odlete u gornji otvor stroja, a veći odlaze u niži otvor. Polimeri se također mogu odvojiti prema talištu i boji, što se utvrđuje prikupljanjem i analiziranjem uzoraka iz svake skupine usitnjenih polimera.
- Posljednji korak u procesu recikliranja polimera je peletiranje. Usitnjeni polimeri se zdrobe i rastale u sitne pelete koje se tada opet mogu koristiti u proizvodnji.

## 4. SVJETSKA ISKUSTVA S RECIKLIRANJEM MOBILNIH TELEFONA

Godišnje se proda otprilike dvije milijarde novih mobilnih telefona, od kojih će, u samo par godina, oko 44% biti nekorišteno i nezbrinuto. Procjenjuje se kako će oko 4% uređaja završiti na odlagalištima, a samo 3% biti reciklirano. Kako bi se taj problem riješio, razvijaju se novi jeftiniji sustavi koji olakšavaju recikliranje telefona. Također se dizajniraju mobilni telefoni s duljim životnim vijekom kako ne bi bili odbačeni.



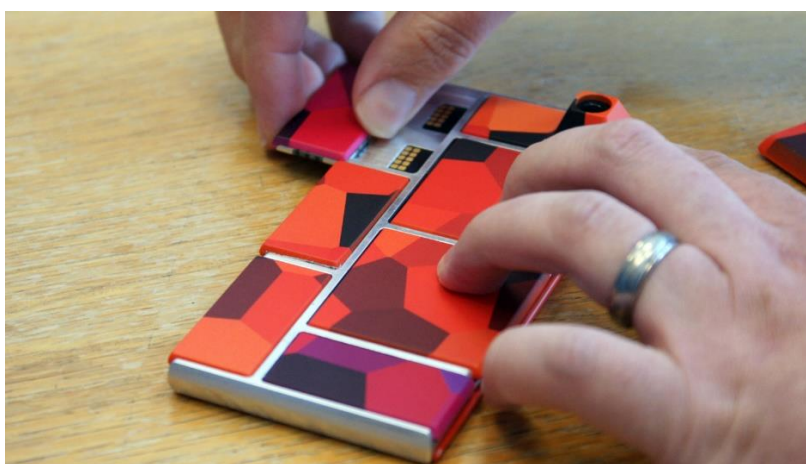
Slika 4. 1. Odbačeni mobilni telefoni

### 4.1 Modularni pristup zbrinjavanja mobilnih telefona

- „Closed Loop Emotionally Valuable E-waste Recovery“ (Clever) projekt Ujedinjenog Kraljevstva koji prikuplja stručnjake sa sveučilišta, nastoji razviti revolucionarne metode kojima bi se smanjio otpad mobilnih telefona. Grupa razvija ideju modularnog telefona, na čiji će se nosivi „kostur“ lako moći dodati i zamijeniti komponente kao što su baterija, zaslon, matična ploča i memorija. Također eksperimentiraju s materijalima za pokrov kućišta telefona, kao što je koža, koji bi dobro izgledao i natjerao potrošače da mobitel zadrže dulje vremena.
- Američka tvrtka Scott razvija polimerne materijale od biljne celuloze koji bi se koristili u „kosturu“ mobilnog telefona te tiskane pločice koje se razgrađuju u šećer u prisustvu

određenih bakterija. Testira se upotreba ionskih tekućina, vrste soli koje mogu biti tekuće na sobnoj temperaturi, za topljenje specifičnih vrsti metala.

- Tvrtka Google razvila je ideju modularnog telefona Projekt Ara. Potrošači sami sastavljaju svoj mobilni telefon dodajući željene komponente na „kostur“ mobitela. Prednost modularnog telefona je produljenje životnog vijeka koji traje 5 do 6 godina, što je daleko duže od trenutnog vijeka mobilnih telefona. Potrošači bi, umjesto kupovanja novog uređaja svake 2 godine, kupovali nove module i nadogradili svoj uređaj, što će uvelike smanjiti broj odbačenih uređaja.

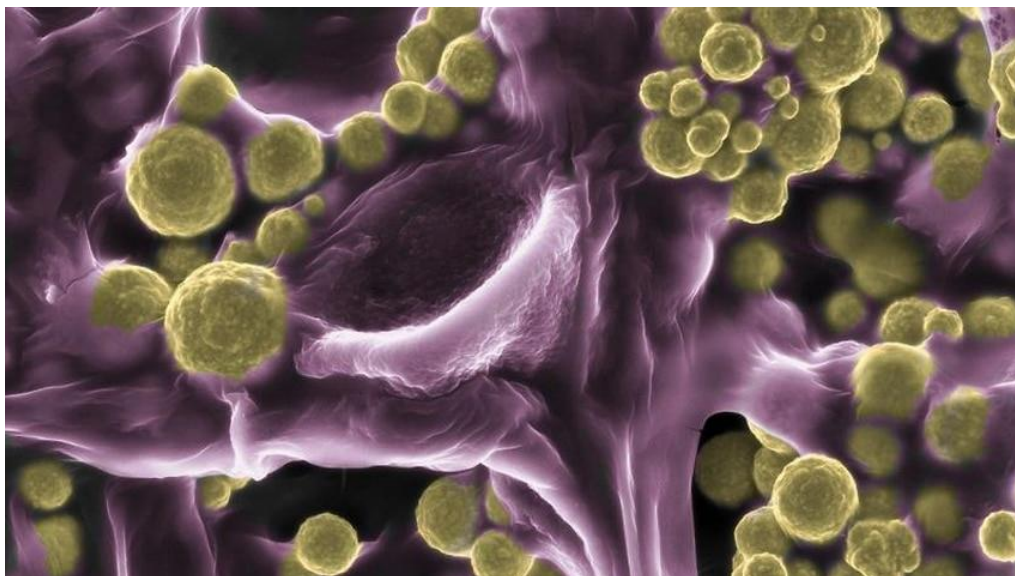


Slika 4. 2. Modularni mobilni telefon

## 4.2 Kemijski i toplinski postupci recikliranja mobilnih telefona

- „Associated European Research and Technology Organisations“ (AERTOs) je projekt Europske Unije. Razvijen je proces za dobivanje materijala iz starih mobilnih telefona koji izbjegava taljenje i otopinu nitro-klorovodične kiseline. Uređaji se rastavljaju kako bi se dobile tiskane pločice, koje se usitne i prosiju. Metal i plastika se zatim razdvajaju procesom flotacije, u kojem mjehurići nose plastične čestice na površinu koja se mehanički obrađuje, ostavljajući metale kao što je bakar da se selektivno oporabe pomoću kemijske sinteze. Zlato se otopi iz zaostalih krutina korištenjem biomnog procesa na bazi klora te zatim filtrira na podlozi od gljiva kojim se dobiva do 80% zlata iz uređaja. Iako ne zadovoljava stopu od 95% povrata

zlata koja se postiže taljenjem, tehnologija radi na temperaturi okoline i izbjegava emisije štetnih plinova.



Slika 4. 3 Mikroskopski prikaz gljive koja prikuplja čestice zlata

- eVOLV proces Američke tvrtka Entegris je proces na bazi kiseline koji može oporabiti 98% plemenitih metala iz elektroničkog otpada pri sobnoj temperaturi i pri troškovima 30-40% manjim od taljenja. Gledajući po volumenu može povratiti do 99% metala. U procesu se čiste matične ploče iz mobilnih telefona. Komponente kao što su silikonski čipovi se odvajaju, dok se olovo, kositar i srebrni lem uklanjaju pomoću otopine na bazi kiseline.
- Belgijka tvrtka Umicore smještena u Antverpu jedna je od vodećih tvrtki u recikliranju elektroničkog otpada, u što spadaju i mobilni telefoni. Godišnje recikliraju do 500 000 tona otpada korištenjem procesa taljenja. Materijal stiže usitnjen u postrojenje. Plastične komponente koriste se kao gorivo. Olovo privlači neplemenite metale, dok bakar izvlači plemenite metale. Obje frakcije bakra i olova su izvučene prije ponovnog taljenja. Proces se ponavlja dok se ne dobije čisto srebro, zlato, paladij, platina, rodij kao i soli iridija, rutenija i baznih metala. Cijeli proces može trajati mjesecima.



Slika 4. 4 Industrijsko postrojenje tvrtke Umicore

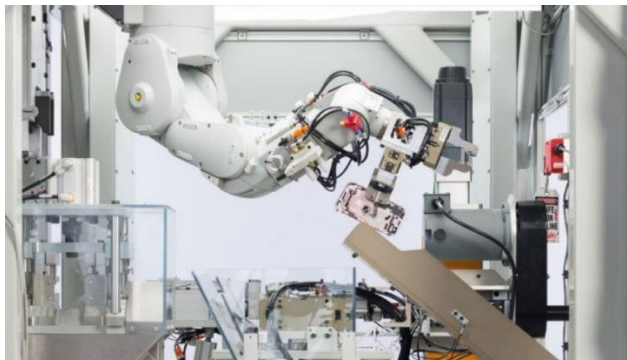
- Projekt Europske Unije Obnova CRM-a (Critical Raw Material) traži inovativne načine prikupljanja i dobivanja komponenti iz električnih i elektroničnih uređaja, u što pripadaju i mobilni telefoni. Projekt se fokusira na metale kao što su berilij, antimon, galij, indij, platina, rijetki zemni metali i volfram. Prikupljanja se zasad provode u Ujedinjenom kraljevstvu, Njemačkoj, Italiji i Češkoj.
- Austrijska tvrtka ResouTech dizajnirala je i sagradila hidrometalurška postrojenja iz kojih se dobivaju metali iz starih uređaja korištenjem jakih kiselina. Materijali, zajedno sa usitnjenom tiskanom pločicom, tretiraju se vodikovim peroksidom koji služi kao oksidacijsko sredstvo, nakon čega se pomoću tioureje otopi zlato i srebro.
- Sveučilište Leiden u Nizozemskoj razvilo je način preoblikovanja metala u nanočestice pomoću elektrokemijske ćelije. Tehnika katodne korozije, koja koristi vodu, soli i elektrode, stvara kationski stabilizirane metalne anione iz kojih se oblikuju nanočestice. Električni

kontakt se poveže s tiskanom pločicom uređaja prije nego što se spusti u spremnik vode s dodanim solima. Zatim se doda potencijal između katode i tiskane pločice. Eksperimenti na tiskanim pločicama pokazali su kako je moguće prikupiti nanočestice zlata, platine, željeza i srebra za manje od jednog sata.

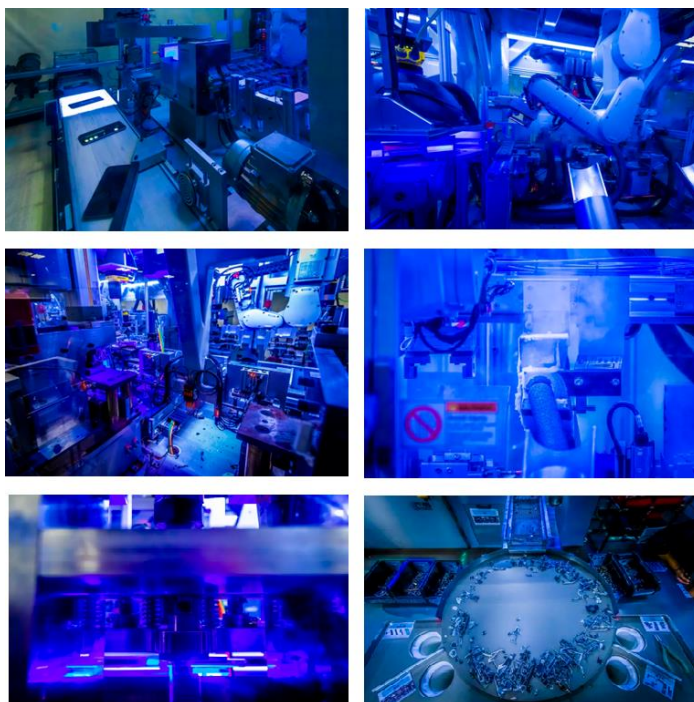
- Tim Sveučilišta u Birminghamu razvio je tehnologiju odvajanja NdFeB magneta s elektroničkog otpada baziranu na vodiku. Tim je razvio magnetski skener i robotski sustav za detekciju magneta i stavljanje dijelova u uređaj za rezanje. Obrezani uglovi se zatim stave u rotirajući perforirani bubanj i izlože vodiku pri atmosferskom tlaku i sobnoj temperaturi. Magneti apsorbiraju vodik u postupku koji se naziva dekrepitacija. Egzotermna reakcija se širi kroz magnet i uzrokuje proširenje i lomljenje kako bi se dobio demagnetizirani prah. Premaz nikla se ljušti i rotirajući bubanj prikuplja prah. Prosijavanjem se uklanjaju gotove sve nečistoće praha. Zatim se poravna, preša i sinterira kako bi se proizveli reciklirani sinterirani magneti.

### 4.3 Primjena robota u recikliranju mobilnih telefona

Tvrtka Apple dizajnirala je robot Daisy dug 10 metara koji rastavlja Iphone-e pomoću pet ruku. Iphone se prvo postavlja na pomičnu traku robota. U prvoj fazi, Daisy uglavi alat u nabor između zaslona i tijela telefona te ih tako razdvoji. U drugoj fazi se uklone baterija i vijci. Baterija se uklanja tako što se ljepilo razbije smrznutim zrakom te se uz primjenu sile baterija ukloni. Zatim se izvade vijci iz uređaja. Daisy identificira na koji mobitel gleda i kut pod kojim je postavljen. U zadnjoj fazi Daisy uklanja kamere, zvučnike i druge dijelove. Ostaje samo aluminijsko kućište koje se može reciklirati.



Slika 4. 5 Robot Daisy tvrtke Apple



Slika 4. 4 Proces recikliranja mobilnih uređaja robota Daisy

#### 4.4 Razna rješenja recikliranja mobilnih telefona

- Medalje za Olimpijske igre u Tokiju 2020. godine izrađene su od 78 985 tona reciklirane elektronike, uključujući 6,21 milijuna recikliranih mobitela. Iz recikliranih uređaja je dobiveno 32 kilograma zlata, 3500 kilograma srebra i 2200 kilograma bronce. Sakupljanje je započelo u travnju 2017. te je trajalo do ožujka 2019. godine, i u tom razdoblju je sakupljena količina metala za izradu otprilike 5000 medalja za Olimpijske i Paraolimpijske igre.



Slika 4. 6. Medalje izrađene od recikliranih uređaja



- Osim recikliranja, još jedan pristup poboljšanju održivosti materijala uključuje obnovljive biološke izvore. Mnogi od ovih materijala tek su u tijeku komercijalnog predstavljanja. Neki od prehrambenih proizvoda za razvijanje osnovnih kemikalija uključuju kukuruz, soju i šećernu trsku. Izvori neprehrambenih proizvoda, poput ricinusovog graha i kenafa, te celuloza i lignin iz šumskih proizvoda također su u razvoju. Materijali na bio bazi mogu ili zamijeniti tradicionalne petrokemikalije za izradu postojećih vrsta polimera ili se koristiti kao gradivni materijal za stvaranje novih vrsta polimera.

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana materijalna struktura mobilnog telefona, postupci zbrinjavanja mobilnih telefona i razna iskustva s recikliranjem istih u svijetu, iz čega su proizašli različiti zaključci. Mobilni telefoni sastoje se od više različitih sklopova i komponenti: baterije, prednje maske, stražnje maske, matične ploče, LCD ekrana i ekrana na dodir. Gledajući s aspekta materijala, mobilni telefoni težinski se sastoje 35% od raznih metala, 45% od polimera, dok ostatak čine staklo, keramike i drugi razni materijali. Analizom dostupnih podataka udjela i vrijednosti metala u mobilnim telefonima te utrošene energije za vađenje tih metala iz njihovih ruda, stječe se važnost pravilnog zbrinjavanja i recikliranja odbačenih mobilnih telefona. Metali u mobilnim telefonima smatraju se vrijednim resursima i podaci u završnom radu jasno podupiru potrebu za njihovom oporabom. Neželjeni rezultat bio bi odbacivanje velikih količina korisnih materijala na odlagališta, gdje bi materijali mobilnih telefona propali i zagadili okoliš. Prednosti zbrinjavanja mobilnih telefona su brojne: uporaba vrijednih i korisnih metala (zlatu, platina, kobalt, paladij, bakar), recikliranje polimera te njihovo ponovno korištenje u proizvodnji, ušteda energije, zaštita okoliša i čuvanje prirodnih resursa materijala korištenih u proizvodnji mobilnih telefona. Kako bi se smanjio negativan učinak odbačenih mobilnih telefona, ali i ostali električnih i elektroničkih uređaja, zadana je RoHS („Restriction of Hazardous Substances“) direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o ograničenju uporabe opasnih tvari (olovo, živa, kadmij, šesterovalentni brom, polikromirani bifelini i polikromirani difelineri) u električnoj i elektroničkoj opremi. Proces recikliranja mobilnih telefona sastoji se od više faza, a to su njihovo rastavljanje (ručno ili automatizirano), sortiranje rastavljenih uređaja (ručno ili mehanički), te recikliranje komponenti i sklopova (baterije, tiskane pločice, polimeri) odgovarajućim tehnologijama recikliranja. Kako je gomilanje otpada mobilnih telefona sve veći problem, razvijaju se novi jeftiniji i učinkovitiji sustavi koji bi olakšali recikliranje mobilnih telefona. Razvijaju se razna rješenja, a neka od njih su dizajniranje modularnih telefona, čije se dotrajale komponente lako mogu zamijeniti, novi kemijski i toplinski postupci recikliranja mobilnih telefona čija je učinkovitost veća, a negativni učinak na okoliš manji. Osvještavanjem ljudi o problemu pravilnog zbrinjavanja dotrajalih mobilnih telefona i odlaganja istih na za to predviđena mjesta, broj recikliranih mobilnih telefona i oporabljenih materijala uvelike bi se povećao.

## LITERATURA

- [1] M. Kljajin, M. Opalić, A. Pintarić : Recikliranje električnih i elektroničkih proizvoda, Slavonski brod – Zagreb – Osijek, studeni 2006.
- [2] Innovations in mobile phone recycling: biominig to dissolving circuit boards, URL: <https://www.theguardian.com/sustainable-business/2014/sep/30/innovations-mobile-phone-recycling-biominig-dissolving-circuit-boards?fbclid=IwAR07SS2IjDDbPWUGCWrxfnZpA7jMvvDJk3LyzYb8pFso9TZZ9nKVJtxkfGc>, 30. rujan 2014.
- [3] 10 things you need to know about Google's Project Ara modular smartphones, URL: <https://thenextweb.com/google/2014/04/15/googles-project-aria-modular-smartphones-get-rollout-date/>, 16. travanj 2014.
- [4] Getting the metals out of old phones, URL: [https://www.chemistryworld.com/features/smartphone-recycling/2500497.article?fbclid=IwAR3OG42Xy-anys2LG\\_tKSMK6mP7DjeL-dAx-gFS9ZNzdOsBvA\\_13BgXVDZc](https://www.chemistryworld.com/features/smartphone-recycling/2500497.article?fbclid=IwAR3OG42Xy-anys2LG_tKSMK6mP7DjeL-dAx-gFS9ZNzdOsBvA_13BgXVDZc), 20. ožujak 2017.
- [5] Recycling of Mobile Phone Waste. URL: [https://www.researchgate.net/publication/282576234\\_Recycling\\_of\\_Mobile\\_Phone\\_Waste](https://www.researchgate.net/publication/282576234_Recycling_of_Mobile_Phone_Waste), rujan 2013.
- [6] Selinger, Ben., Chemistry in the Marketplace (3rd edition), Harcourt Brace Jovanovich; 1986.
- [7] IBM, Endicott NY, Division of Asset Recovery, Module Pull.
- [8] EPR2, Electronic Product Recovery and Recycling Conference, , National Safety Council, Washington D.C.
- [9] Manko, Howard., Soldering Handbook for Printed Circuit and Surface Mounting, Van Nostrand Reinhold, 1995.
- [10] Hopkins, Reed: Rework and Repair, SMT, 1997.
- [11] The Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. 1989. IJSER

[12] Before OEM mobile phones should know the main structure of the phones, and its main components, URL: <https://www.oemmakers.com/industry-analysis/before-oem-mobile-phones-should-know-the-main-structure-of-the-phone-and-its-main-components>, 24. travanj 2018.

[13] The life cycle of materials in mobile phones, URL: [https://legacy-uploads.ul.com/wp-content/uploads/sites/4/2014/05/ULE\\_CellPhone\\_White\\_Paper\\_V2.pdf?fbclid=IwAR0GZtJaYh7t1YVKZMLXbSkWO7YzuLMFv7xHT0BnQ2vU0s8HNbJt9h-D4uk](https://legacy-uploads.ul.com/wp-content/uploads/sites/4/2014/05/ULE_CellPhone_White_Paper_V2.pdf?fbclid=IwAR0GZtJaYh7t1YVKZMLXbSkWO7YzuLMFv7xHT0BnQ2vU0s8HNbJt9h-D4uk), travanj 2014.

## **SAŽETAK**

Kroz završni rad prikazana je materijalna struktura mobilnih telefona, važnost oporabe metala i polimera iz komponenti i sklopova mobilnih telefona. Opisani su postupci zbrinjavanja mobilnih telefona i proces recikliranja mobilnih telefona po fazama rastavljanja i sortiranja. Opisani su razni toplinski i kemijski procesi recikliranja baterija mobilnih telefona, tiskanih pločica koje se nalaze u mobilnim telefonima te polimera koji se koriste u proizvodnji mobilnih telefona. Naglašava se važnost oporabe metala iz mobilnih telefona, kako bi se sačuvali prirodni resursi tih metala i uštedjela energija potrebna za vađenje metala ih njihovih ruda. Također je istaknuta važnost recikliranja polimera, koji se nakon recikliranja ponovno mogu koristiti u proizvodnji. Prikazana su razna svjetska iskustva recikliranja mobilnih telefona te nove tehnologije, nova rješenja i mjere zbrinjavanja mobilnih telefona. Ukazani su problemi nepravilnog zbrinjavanja i gomilanja otpada mobilnih telefona i negativni učinci na okoliš mobilnih telefona.

**KLJUČNE RIJEČI:** mobilni telefoni, recikliranje, materijali, metali, polimeri, baterija, tiskana pločica

## **SUMMARY**

The final paper presents the material structure of mobile phones, the importance of recovering metals and polymers from components and assemblies of mobile phones. The procedures for disposal of mobile phones and the process of recycling of mobile phones by disassembly and sorting stages are described. Various thermal and chemical processes of recycling mobile phone batteries, printed circuit boards found in mobile phones and polymers used in mobile phone manufacturing are described. The importance of recovering metals from mobile phones is emphasized in order to conserve the natural resources of these metals and to save the energy required to extract the metals from their ores. The importance of recycling polymers, which can be reused after production, is also outlined. There are various world experiences of mobile phone recycling and new technologies, new solutions and measures for the disposal of mobile phones. The problems of improper disposal and accumulation of mobile phone waste and the negative effects on the environment of mobile phones are pointed out.

**KEYWORDS:** cell phones, recycling, materials, metals, polymers, battery, printed circuit board

## ŽIVOTOPIS

Antun Jung rođen je 2. travnja 1997. u Osijeku. Živi u Podravskim Podgajcima te je nakon završene Osnovne škole Hrvatski sokol Podravski Podgajci upisao opću gimnaziju u Srednjoj školi Valpovo. Nakon završetka srednje škole 2015. godine, upisao je Automatiku na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku 2016. godine. Poznaje znanja programiranja u C i python jeziku, te rad na Mathlab, Autocad, Siemens Simatic S7 i Tia portal programskim alatima.