

Recikličnost mobitela

Čorko, Klara

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:130:841036>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KLARA ČORKO

RECIKLIČNOST MOBITELA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2023.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva
za 21.07.2023. u 9 sa
Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred
ispitnim povjerenstvom u Varaždinu
Varaždin, 07.07.2023.

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

prof.dr.sc. Sanja Korac

Članovi povjerenstva

- 1) Doc.dr.sc. Vitomir Premun
- 2) Prof.dr.sc. Aleksandra Arnić Vučinić
- 3) 1zv.prof.dr.sc. Lorna Grčić

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

KLARA ČORKO

RECIKLIČNOST MOBITELA

ZAVRŠNI RAD

KANDIDAT:

MENTOR:

KLARA ČORKO

Doc.dr.sc. VITOMIR PREMUR

Klara Čorko

VARAŽDIN, 2023.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

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

RECIKLIČNOST MOBITELA

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom *doc. dr. sc. Vitomira Premura*

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, 29.6.2023.

KLARA ČORKO

(Ime i prezime)

Klara Čorko

(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

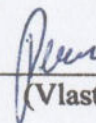
Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

RECIKLIČNOST MOBITELA

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, 29.06.2023.

Doc.dr.sc. VITOMIR PREMUR
(Mentor)



(Vlastoručni potpis)

ZAHVALA:

Zahvaljujem Doc.dr.sc. Vitomiru Premuru na mentorstvu, smjernicama prilikom rada i utrošenom vremenu koje je uvijek pronašao za moje upite. Hvala!

Hvala mojoj obitelji za razumijevanje i potporu u svim trenucima tijekom preddiplomskog studija.

SAŽETAK

Završni rad pod nazivom „Recikličnost mobitela“ opisuje upravljanje otpadnim mobitelima s ciljem implementacije strategija kružnog gospodarstva. U radu je prikazana povijest telekomunikacija, te kako je nastao mobitel. Nadalje, opisani su osnovni sastavni dijelovi mobitela, kao što su kućište, zaslon, baterija i tiskana pločica. Kućište je načinjeno od plastike, te se reciklira kao svaka druga plastika odnosno mehaničkim ili kemijskim postupkom. Zaslon se sastoji od LCD panela s tekućim kristalima. Stopa recikliranja indija iz LCD panela manja je od 1%. Osnovna tvar baterije je vrlo lagana kovina litij. Litijske baterije recikliraju se tako da se prvo zagriju na 600°C, zatim se usitnjavaju te ponovno obrađuju. Tiskane su pločice dio mobitela koji imaju najveću ekonomsku vrijednost. Sadrže vrlo vrijedne metale kao i po okoliš štetne metale i spojeve. Tiskane se pločice recikliraju termičkim, kemijskim ili fizičkim postupkom. Recikliranje mobitela ima svoje prednosti kao i mane, što je opisano u ovom radu.

KLJUČNE RIJEČI: mobitel, kućište, zaslon, baterija, tiskana pločica

ABSTRACT

The bachelor thesis entitled “Recyclability of Mobile Phones“ describes the management of waste mobile phones with the aim of implementing the strategies of circular economy.. The paper shows the history of telecommunications and how mobile phones were created. Furthermore, their basic components are described such as a housing, a screen, a battery and a circuit board. A housing is made of plastics, and it can be recycled like any other plastic, i.e. by mechanical and chemical processes. A screen consists of an LCD panel with liquid crystals. The recycling rate of indium from LCD panels is less than 1%. The basic substance of a battery is a very light metal lithium. Lithium batteries are recycled first by heating them to 600°C, then they are crushed and processed again. Printed circuit boards are a part of mobiles phones that have the highest economic value. They contain very valuable metals as well as environmentally harmful metals and compounds. Printed circuit boards are recycled by thermal, chemical or physical processes. The recycling of mobile phone has advantages and disadvantages, which is described in this paper.

KEY WORDS: mobile phone, housing, screen, battery, printed circuit boards

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. RAZVOJ I ZNAČAJ MOBILNE TELEFONIJE.....	2
2.1. Daljinske komunikacije kroz povijest	2
2.2. Razvoj fiksnih i mobilnih telekomunikacija	4
2.3. Trenutno stanje pametnih mobitela u svijetu i u hrvatskoj	6
3. FUNKCIONIRANJE MOBILNE TELEFONIJE	7
3.1. Sastavni dijelovi mobitela	7
3.1.1. Kućište	7
3.1.1.1. Tipke	8
3.1.2. Zaslون.....	9
3.1.3. Baterija.....	9
3.1.3.1. Litij-ionska baterija	9
3.1.4. Tiskane pločice	10
3.1.4.1. Soc (System on a Chip).....	11
4. TEHNOLOGIJA RECIKLIRANJA EE OPREME.....	13
4.1. Recikliranje kućišta	13
4.3. Recikliranje litijskih baterija	15
4.4. Recikliranje tiskanih pločica	16
4.4.1. Termički postupak.....	16
4.4.2. Kemijski postupak.....	16
4.4.3. Fizički postupak	17
5. BENIFITI I RIZICI RECIKLIRANJA OTPADNIH MOBITELA	18
5.1. Ee-otpad	18
5.2. Benifiti recikliranja otpadnih mobitela.....	18
5.2.1. Sirovine	19
5.2.2. Ponovna upotreba.....	19
5.2.3. Nova radna mjesta.....	20
5.3. Rizici recikliranja otpadnih mobitela.....	21
6. ZAKLJUČAK	23
LITERATURA.....	25
POPIS SLIKA	31

1. UVOD

Recikličnost mobitela opisuje upravljanje otpadom mobitela kako bi se povratili materijali koji su bili korišteni u njihovoj proizvodnji. Brze tehnološke promjene, niski početni troškovi i planirano zastarijevanje su rezultirali brzoj i rastućoj količini elektroničkog otpada diljem svijeta.

Svjetska populacija raste, a tako i potražnja za resursima iako su resursi ograničeni.

Europska unija svake godine proizvodi više od 2,5 milijardi tona otpada. Dosada su se električni proizvodi bacali nakon što im je životni vijek isjekao ili kada su iskoristili svoju svrhu. Ovakvo korištenje se zove linearni model.

Naspram tome postoji model kružnog gospodarstva. Kružno gospodarstvo je model proizvodnje i potrošnje koji uključuje dijeljenje, posudbu, ponovno korištenje, popravlanje, obnavljanje i reciklažu postojećih proizvoda i materijala što je dulje moguće kako bi se stvorila duža vrijednost proizvoda.

Za proizvodnju različitih komponenta električnih uređaja potrebne su između ostalih i kritične sirovine. Kritične sirovine su sirovine koje su ekonomski i strateški bitne za Europsku ekonomiju te imaju visok rizik povezan s njihovom opskrbom. U kritične sirovine spadaju aluminij, litij, helij, fosfor...

Recikliranje proizvoda i ponovna upotreba bi mogli usporiti potražnju za novijim resursima. Recikliranjem materijala bi se također mogli umanjiti rizici ovisnosti o opskrbi s resursima [1].

2. RAZVOJ I ZNAČAJ MOBILNE TELEFONIJE

2.1. Daljinske komunikacije kroz povijest

Povijest telekomunikacije je započela korištenjem dimnih signala i bubnjeva u Aziji, Amerikama i Africi. Bubnjeve koje govore (Talking drums) su koristili domoroci u Africi, a dimni signali su bili korišteni u Kini i Sjevernoj Americi. Takvi su se sustavi često koristili za najavu prisutnosti vojnoga kampa [2],[3].

Različite kulture su koristile golubove pismonoše. Golubova pošta ima perzijske korijene, a kasnije je bila korištena od strane Rimljana za pomoć njihovoj vojsci [4].

Grci su koristili hidrauličke sustave semafora još u 4. stoljeću prije Krista. Hidraulički sustav semafora je radio s posudama ispunjenim vodom i vizualnim signalima, te je funkcionirao kao optički telegraf. Međutim, sustav je mogao koristiti ograničen raspon unaprijed određenih poruka. Te se sustav mogao koristiti samo u uvjetima dobre vidljivosti [5].

Tijekom Srednjeg vijeka bili su korišteni lanci vidljivih signala (beacon) na vrhovima brda kao sredstvo za prijenos signala. Lanci vizualnih signala imali su nedostatak. Nedostatak je bio da se je mogao prenijeti samo mali dio poruke te je signal za poruku morao biti unaprijed dogovoren [6].

1774. godine je švicarski fizičar Georges Lesage izradio elektrostatički telegraf koji se je sastojao od niza od 24 vodljivih žica dugački nekoliko metara povezanih s 24 starije kuglice obješene o svilenu nit. Elektrifikacija žice pomoću elektrostatskog generatora uzrokuje da se odgovarajuća starija kuglica otkloni i označi slovo koje se nalazi na kraju linije. Niz odabranih slova vodi do pisanja i prijenesa poruke [7].

Francuski inženjer Claude Chappe počeo je raditi na vizualnoj telegrafiji 1790. godine, koristeći parove „sata“ čije su kazaljke pokazivale različite simbole [8].

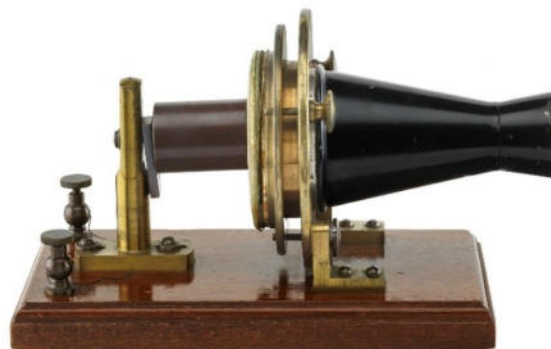
Francis Ronalds je 1816. godine izumio prvi funkcionalni telegraf koji je koristio statički elektricitet. Električni telegrafi bili su sustavi za slanje tekstualnih poruka. Prvenstveno je bio korišten od 1840-ih do kasnog 20. stoljeća. To je bio prvi električni

telekomunikacijski sustav i najrašireniji od brojnih ranijih sustava. Električna telegrafija se može smatrati prvom primjenom elektrotehnike [9].



Slika 1: Morsov telegraf [10]

Prvi električni telefon je bio izumljen 1870.-ih na temelju ranijeg rada s harmonijskim telegrafima. Prve komercijalne telefonske usluge su bile postavljene 1878. i 1879. godine u New Haven-u (SAD) i Londonu (UK). Patent za telefon dobio je Alexander Graham Bell [11]. Alexander Graham Bell i Gardiner Greene Hubbard osnovali su prvu telefonsku kompaniju – Bell Telephone Company – u SAD-u. Kasnije se ta kompanija razvila u American Telephone & Telegraph (AT&T), nekada najveću svjetsku telefonsku tvrtku [12].



Slika 2: Bell-ov prvi telefon [13]

Nakon pojave prvih komercijalnih usluga, telefonska tehnologija brzo je rasla. Prvi transkontinentalni telefonski poziv dogodio se 25.1.1915. Unatoč tome, transatlantska govorna komunikacija ostala je nemoguća za korisnike do 7.1.1927. [14].

2.2. Razvoj fiksnih i mobilnih telekomunikacija

Prvi telefoni su bili tehnički raznoliki. Neki od njih su koristili tekuće odašiljače koji su ubrzo izašli iz upotrebe. Drugi su koristili dijafragme koje su vibrirale zavojnicu žice u polju trajnog magneta. Takovi telefoni su preživjeli u malom broju kroz 20. stoljeće u vojnim i pomorskim primjenama gdje je sposobnost stvaranja vlastite električne energije bila presudna.

Većina stanovništva koristila je Edison/Berliner karbonske odašiljače, koji su bili mnogo glasniji od ostalih vrsta, iako su zahtijevali indukcijske zavojnice. Zemlja koja je bila vodeća oko 1893. godine po broju telefona na 100 osoba sa 0.55 bila je Švedska [15].

Telefonska usluga u Švedskoj razvila se kroz niz institucionalnih oblika. Budući da se Štokholm sastoji od otoka, telefonska usluga nudi relativno velike prednosti, ali se morao koristiti podmorske kabele [16].

Ono što se je pokazalo kao najpopularniji i najdugovječniji vrsta telefona predstavljen je početkom 20. stoljeća. Odašiljač granulata ugljika i elektromagnetski prijammnik bili su ujedinjeni u jednoj oblikovanoj plastičnoj ručki, koja je, kada se nije koristila bila smještena u postolje. Spojni transformator i zvono su bili u odvojenom kućištu od stolnog seta. Okretni kotačić u bazi prekidao je struju linije uzastopnim, ali vrlo kratkim isključivanjem linije od 1 do 10 puta za svaku znamenku, a prekidač za kuku trajno je isključivao liniju i bateriju odašiljača kada je slušalica bila na kolijevci [17].

Iz tadašnjih telefona se je preko vremena razvio mobilni telefon ili takozvani mobitel.

Mobilni telefon je prijenosni telefon koji može upućivati i primati pozive preko radiofrekvencijske veze kada se korisnik kreće unutar područja telefonske usluge. Radiofrekventnom vezom se uspostavlja veza s komunikacijskim sustavima operatera mobilne telefonije, čime se omogućuje pristup javnoj komutiranoj telefonskoj mreži.

Osim telefonije, pametni mobiteli podržavaju niz drugih usluga, kao što su tekstualne poruke, multimedijске poruke, e-poštu, pristup internetu (LTE - Long-Term Evolution, 4G – Fourth Generation, 5G – Fifth Generation, Wi-Fi – Wireless Fidelity), bežične komunikacije kratkog dometa (*Bluetooth*), satelitski pristup – Global Positioning System (GPS), aplikacije, igrice, fotografije... [18].

Prvi mobilni telefon je izumljen 1983. godine. Izrađen je od Motorole te je dobio ime DynaTAC 8000X. Bio je težak 2 kilograma te je koštao 4000\$. Godine 1989. Motorola je predstavila DynaTAC 9800X koji je dolazio sa sklopivim poklopcem tipkovnice te je postavio standard za mobilne telefone tijekom 90-ih. Već 2000. godine Sharp je predstavio prvi mobilni telefon s kamerom te je bio dostupan samo u Japanu. [19]



Slika 3: DynaTAC 8000X [20]

Prevlačenje i pomicanje su zamijenili tradicionalnu metodu unosa pomoću gumba. Tako je LG izradio 2007. godine prvi pametni mobitel osjetljiv na dodir. Par mjeseci nakon LG-a je Apple izradio pametni mobitel koji je dokazao da ima jaču marku i superiorno znanje o potencijalu zaslona osjetljivog na dodir [19].

2.3. Trenutno stanje pametnih mobitela u svijetu i u hrvatskoj

Prodaja mobitel raste u svijetu i u Hrvatskoj. Mobiteli se češće prodaju nego osobna računala i najprodavanija su vrsta hardver-a.

2015. je u Hrvatskoj prodano oko milijun mobitela u vrijednosti od 1,2 milijardi kuna (13,2 milijuna eura). Na hrvatskom malom tržištu se bori desetak najvećih svjetski mobilnih brendovi. To su naprimjer Apple, Samsung, Xaomi, Huawei, Sony... Najprodavaniji brand mobitela je Samsung [21].

2021. je u svijetu prodano preko 1,7 milijardi mobitela. Tako je između 2009. i 2021. prodano više nego 22.4 milijardi mobitela globalno. Kina, Indija i SAD su zemlje koje su imale najveću prodaju mobitela. Samsung je bio najprodavaniji brend 2021. godine sa više nego 270 milijuna prodanih mobitela na svijetu. Na drugom mjestu je bio Apple sa prodanih 235 milijuna mobitela.

U današnje vrijeme dominiraju Samsung i Apple na globalnom tržištu. Prije skoro 20 godina situacija na globalnom tržištu je bila drugačija. Prije 20 godina su dominirali Nokia i RIM (BlackBerry) na globalnom tržištu. Ali izumom pametnog mobitela, od strane Apple-a, Nokia i RIM su izgubili svoju poziciju na globalnom tržištu. Tako je Apple već 2011. godine imao 30 puta veće prihode nego Nokia i RIM.

Zemlja koja ima najveću proizvodnju mobitel je Kina. Prosječno Kina proizvodi 4,5 milijuna mobitela dnevno. Najveću proizvodnju mobitela po danu, Kina je imala u listopadu 2019. godine sa proizvodnjom od 6 milijuna mobitela.

IPhone 11 je dospio na popis najrecikliranih mobitela 2022. godine u Ujedinjenom Kraljevstvu. Britanci koriste mobitel u prosjeku 3,6 godina prije recikliranja. 2022. godine je spriječeno preko 28.1 tona mobitela da postanu E-otpad [22].

3. FUNKCIONIRANJE MOBILNE TELEFONIJE

Za korištenje mobilne telefonije neophodne su bazne stanice. Bazna stanica služi kao središnja točka povezivanja bežičnog uređaja za komunikaciju. U telekomunikaciji, bazna stanica je fiksni primopredajnik koji je glavna komunikacijska točka za jedan ili više bežičnih mobilnih uređaja.

Bazne stanice su općenito primopredajnici koji mogu slati i primiti bežične signale. Ona će imati jednu ili više radiofrekventnih (RF) antena za prijenos i primanje RF signala s drugim uređajima [23].



Slika 4: Bazna stanica [24]

3.1. Sastavni dijelovi mobitela

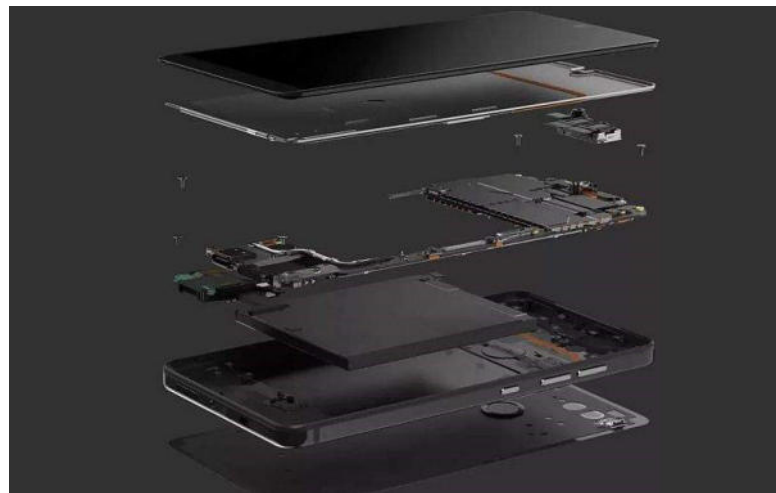
3.1.1. Kućište

Kućište je prva stvar koja se može uočiti na mobitelu. Kućište mobitela se sastoji od tri komponente.

Prva komponenta je prednja maska. Prednja maska je osnovna struktura mobitela. U prednju masku su ugrađeni senzori, kamera, tipke i zvučnici. Ta komponenta se proizvodi od polikarbonata.

Druga komponenta je stražnja maska. Stražnja maska je također osnovna struktura mobitela. Umetnuta je prednjoj maski za fiksiranje vanjskih dijelova mobitela.

Treća komponenta je poklopac baterije. Poklopac baterije služi za zaštitu baterije od vanjskih utjecaja. Razlikujemo neodvojivi metalni poklopac i odvojivi plastični poklopac [25].



Slika 5: Kućište mobitela [26]

3.1.1.1. Tipke

Pametni mobiteli su obično opremljeni tipkom za uključivanje i tipkom za glasnoću. Neki parovi tipki su objedinjeni. Neki mobiteli su opremljeni gumbom za okidanje kamere. Također mogu imati tipku za SOS poziv. Prisutnost fizičkih tipki s prednje strane, kao što su tipke za početni zaslon i tipke za navigaciju, su se smanjili tijekom 2010-ih godina. Sve više ih zamjenjuju senzori i simulirani gumbi [27].

3.1.2. Zaslon

Jedna od glavnih dijelova pametnih mobitela je ekran. Ovisno o dizajnu uređaja, zaslon ispunjava većinu ili gotovo sav prostor na prednjoj strani uređaja. Mnogi zasloni pametnih mobitela imaju omjer slike 16:9, ali veći omjeri zaslona su postali sve češći od 2017. godine., kao i cilj da se uklone okviri produžavanjem površine zaslona što bliže rubovima.

Veličine zaslona mjere se u dijagonalnim inčima. Mobiteli sa zaslonom većim od 5,2 inča se često nazivaju „*phableti*“ (*phone + tablet*). Pаметne mobitele sa zaslonima većim od 4,5 inča je obično teško koristiti samo jednom rukom, jer većima palaca (pretežito žene) ne može dosegnuti cijelu površinu zaslona [28].

U današnjim zaslonima postoje dve glavne vrste. Oni temeljeni na LCD-u i oni temeljeni na LED-u. Razlika je u tome što na LCD zaslonu postoji pozadinsko osvjetljenje koje svijetli kroz neke polarizatore i filtre, a na LED-u postoje diode koje emitiraju svjetlost. [29].

3.1.3. Baterija

Većina modernih mobilnih telefona koristi litij-ionsku bateriju. Dugo popularna baterija za mobilne telefone bila je niki-metal-hidridna (NMH). Bila je popularna radi svoje relativno male veličine i male težine. Litij-ionske baterije kasnije su postale uobičajene jer su lakše i nemaju pad napona zbog dugotrajnog prekomjernog punjenja kao NMH baterije [30].

3.1.3.1. Litij-ionska baterija

Litij-ionska baterija pripada skupini punjivih baterija. U ovoj vrsti baterija tijekom pražnjenja litijevi ioni kreću se od negativne elektrode prema pozitivnoj. Suprotan proces se zbiva tijekom punjenja baterije. Osnovna tvar baterije je vrlo lagana kovina litij. Zbog

toga je i sama baterija vrlo lagana. Jedna od prednosti litij-ionske baterije je što se baterija može puniti u bilo kojem vremenu, te ima dugi životni vijek koji može biti od 500 pa do 1000 ciklusa. Mana litij-ionskih baterija je ta što je baterija vrlo osjetljiva na prepunjavanje kao i na pretjerano pražnjenje [31].

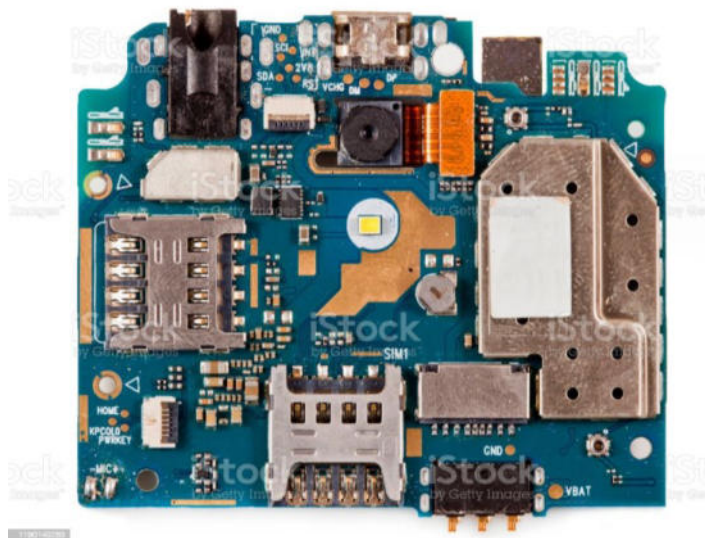
Rudarstvo litija se odvija u Sjevernoj i Južnoj Americi, Aziji, Južnoj Africi, Australiji i Kini. Kobalt za Li-ionske baterije uglavnom se vade u Kongu.

Za proizvodnju jednog kilograma Li-ionske baterije potrebno je oko 67 MJ [32].

3.1.4. Tiskane pločice

Tiskane pločice (TP) su važni dijelovi električne i elektrotehničke (EE) opreme i čine oko 3-6% ukupne količine uređaja. Brzi tehnološki razvoj zahtijeva evoluciju nove generacije tiskanih pločica što rezultira stalnim rastom njegove proizvodnje. Tiskane pločice sadrže bakar, zlato, paladij i druge vrijedne materijale, kao i opasne spojeve kao što su usporivači na bazi arsena, olova, žive, kadmija, berilija i broma. Oko 30% ukupne mase tiskanih pločica uključuje širok raspon različitih metala. To je glavni razlog za recikliranje tiskanih pločica. Ostalih 70% mase tiskanih pločica uključuje plastiku, keramiku, staklena vlakna i slične spojeve bez značajne tržišne vrijednosti [33].

Tiskane pločice imaju veliki raspon kvalitete, pouzdanosti, složenosti i cijene. Proizvodnja tiskane pločice uobičajeno dođe od 50 centi do 300 dolara. Cijena proizvodnje tiskanih pločica ima mnoge različite čimbenike. Cijena može ovisiti o broju slojeva, složenosti i količini komponenata uključene u ploču. Tipičan primjer skupe tiskane pločice je 32-slojna tiskana ploča. 32-slojna tiskana ploča je iznimno složena i njihova proizvodnja obično dođe par stotina dolara [34]



Slika 6: Izgled tiskane pločice u mobitelu [35]

3.1.4.1. Soc (System on a Chip)

Jedna od bitnih komponenta prisutna u pametnom mobitelu je System on a Chip (SoC). SoC ne sadrži samo CPU pametnog mobitela, nego već i GPU, LTE modem, procesor zaslona, video procesor i druge komadiće silicija koji ga pretvaraju u funkcionalni „sustav“ u mobitelu [29].

SoC-ovi viših performansi su često upareni sa namjenskom i fizički odvojenom memorijom i čipovima za sekundarnu pohranu. SoC su u kontrastu s uobičajenim tradicionalnim PC-om arhitekturom temeljeni na matičnoj ploči koja odvaja komponente na temelju funkcije i povezuje ih kroz središnju ploču sučelja. Matična ploča sadrži i povezuje odvojive komponente, a SoC-ovi integriraju sve komponente u jedan integrirani krug [36].

4. TEHNOLOGIJA RECIKLIRANJA EE OPREME

Sve veća potražnja i potrošnja mobilnih telefona i drugih električnih uređaja potaknulo je globalnu potražnju, te potrošnju plemenitih i kritičnih metala. Plemeniti i kritični metali su glavne komponente bilo kojeg električnog uređaja. Tako se otprilike godišnji koristi 861,8 t zlata, 6619 t srebra i 29 t paladija. 2014. godine globalna proizvodnja e-otpada iznosila je oko 41,8 mil. t otpada. Od toga su otpadni mobilni telefoni činili oko 0,189 t otpada u 2014. godini. E-otpad se trenutno smatra jednim od najbrže rastućih tokova otpada na globalnoj razini.

Mobilni telefoni imaju vrlo nisku stopu recikliranja. Većina otpada se skladišti u kućanstvima ili odlaže na odlagalištima.

Globalna stopa recikliranja otpadnih mobilnih uređaja je oko 3%. U zemljama u razvoju je stopa recikliranja otpadnih mobilnih uređaja ispod 1%. Otpad mobilnih telefona u Kini godišnji iznosi 10 milijuna uređaja, dok je stopa recikliranja mobilnih uređaja manja od 1% [38].

4.1. Recikliranje kućišta

Kućište mobitela sastoji se od plastike, te se reciklira kao svaka druga plastika. Plastika se u pravilu ne može vratiti u prirodni ciklus procesima biološke razgradnje. Plastika i biorazgradiva plastika mogu imati toksični učinak na svoj okoliš, te mogu poremetiti metaboličke procese živih bića.

Plastika se uglavnom sastoji od fosilnih sirovina kao što su nafta ili prirodni plin, te se može proizvoditi i od obnovljivih biljaka [39]. Ponovna upotreba plastike nije ekonomski isplativa radi niskih cijena nafte [40].

Postoje dvije vrste recikliranja plastike: mehaničko recikliranje i recikliranje sirovine.

Pri mehaničkom recikliranju se većina plastičnog otpada sastoji od termoplastičnih polimera koji se mehaničkim recikliranjem mogu ponovno rastaliti i preoblikovati u nove predmete. Ovo je najčešći oblik recikliranja [41].

Druga metoda je recikliranje sirovine. To se ujedno zove i kemijsko recikliranje. U ovoj metodi polimeri se reduciraju na svoje kemijske sastave koji se zatim mogu polimerizirati u svježu plastiku [42]. U teoriji, kemijsko recikliranje, omogućuje gotovo beskonačno recikliranje, pošto se nečistoće, aditivi, boje, i kemijski nedostaci potpuno uklanjaju sa svakim ciklusom [43]. Kemijsko recikliranje rjeđe je od mehaničkog recikliranja [44].

4.2. Recikliranje zaslona

Liquid crystal display (LCD) ili zaslon s tekućim kristalima široko je korišten u LCD monitorima, prijenosnim računalima, *tabletima*, televizorima i mobitelima. Životni vijek ovih električnih uređaja općenito je 3-8 godina. Oporaba otpadnih LCD panela posljednjih je godina postala fokus istraživanja u području otpadne električne i elektrotehničke opreme. Postojeći procesi za recikliranje otpadnog LCD panela može izvršiti ekstrakcija otapala, elektro-jetkanje i klor [45].

Tanka prevlaka od indijevog kositrenog oksida, je glavni funkcionalni dio LCD-a. Stvaranje LCD-a potrošio je više od 70% svjetske proizvodnje indija. U današnje vrijeme indij je kategoriziran kao jedan od kritičkih metala. Svjetske rezerve indija procijenjena su na 16 000 t. Stoga je potrebno reciklirati indij iz otpadnih LCD-a.

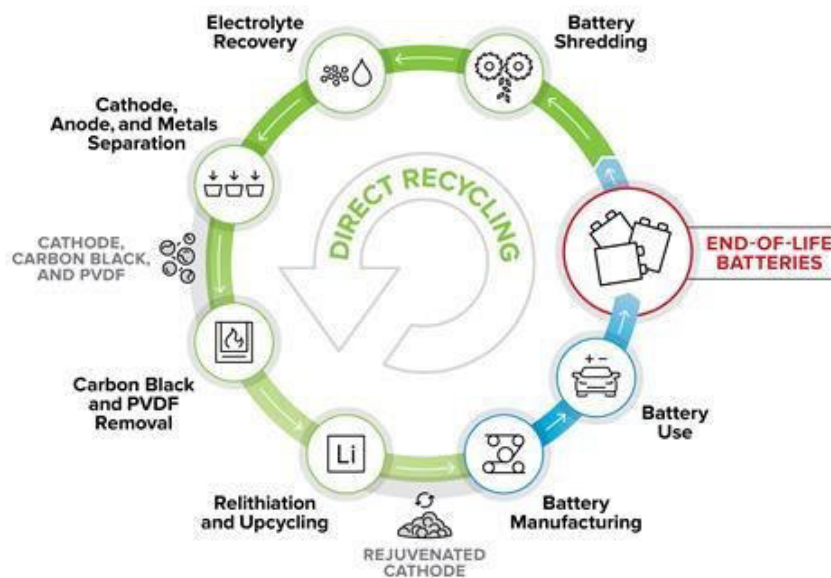
Studije su se od 2000. godine bavile obradom otpadnog LCD-a. Bavile su se sigurnim odlaganjem i oporabom vrijednih materijala kao što je staklena podloga koja pokriva 85% LCD panela kao i s tekućim kristalima koji su opasni, ali skupi. Međutim, u ovim istraživanjima nije poduzeti nikakav postupak za recikliranje indija. U međuvremenu su nekoliko velikih tvrtki za proizvodnju LCD-a istražili tehnike za recikliranje indija. Te je ustanovljeno da je stopa recikliranja indija iz LCD-a manja od 1% [46].

4.3. Recikliranje litijskih baterija

Litijske baterije se recikliraju tako da se prvo zagriju na 600°C kako bi se isparili elektroliti. U protivnom postoji opasnost od eksplozije. Baterije se zatim usitnjavaju, a pojedine komponente se odvajaju u višefaznom procesu [47].

U drugom koraku uzimaju se ti fizičko odvojeni materijali i ponovno obrađuju taj međuproizvod kako bi izvukli krajnje elemente kao litij, nikel i kobalt koji su prikladni da se ponovno vrata u katode. To je sveukupno 95% oporabe, a materijali koje izrađujemo su jednake kvalitete materijalima iz rudnika i rafiniranim materijalima [48].

Svi ovi metali mogu se prodati i ponovno upotrijebiti. Nakon recikliranja litijskih baterija ostane na kraju litiji. On se baca, zato jer je još uvijek jeftinije minirati litij iz Južne Amerike ili Australije iako to miniranje nosi posljedice za okoliš i stanovništvo [47].



Slika 8: Shematski prikaz recikliranja litijskih baterija [49]

4.4. Recikliranje tiskanih pločica

Tiskane pločice (TP) možemo djelomično reciklirati. Djelomično možemo reciklirati zato jer samo bakar i FR-4 (flame retardant) možemo obnoviti, a samo će bakar zadržati dovoljnu čistoću da se ponovno upotrijebi. Kvaliteta sadržane stakloplastike je vjerojatno degradirana tijekom vremena i to se nerekiclira, ali se može preraditi. Stakloplastika se može ponovno upotrijebiti za niskotehnološke primjene poput izolacije zgrada, raznih punila itd.

Tiskane pločice mogu se reciklirati, ali se ne može reciklirati svaka njihova komponenta. Na primjer se mogu obnoviti bakar i kositar s tiskanih pločica korištenjem nekih od navedenih metoda.

Mnoge metode imaju štetan utjecaj na okoliš, a neke od njih su opasne za zdravlje osoba koje provode te metode. Kako bi se maksimalno mogao iskoristiti proces recikliranja, predlaže se korištenje metode fizičkog obnavljanja.

Postoje tri osnovna načina recikliranja tiskanih pločica: termičkim postupkom, kemijskim i fizičkim. [50]

4.4.1. Termički postupak

Prva metoda je termički postupak. Za ovaj proces se tiskana pločica mora zagrijati na visokoj temperaturi kako bi se prisutni metali na ploči mogli vratiti u prvobitno stanje. Termički postupak će spaliti FR-4, ali će zadržati bakar. Toplinski obnova će stvoriti štetne plinove u zraku poput olova i dioksina. [50]

4.4.2. Kemijski postupak

Druga metoda je kemijski postupak. Kemijski postupak koristi kiseline za otapanje i odvajanje metala iz tiskanih pločica. Tiskana ploča se stavlja u otapala, uglavnom kiseline koje otapaju metale sa pločice. Nedostatak ovog postupka je nastanak velike količine

otpadne vode koju je potrebno pročišćavati prije nego što se može ispustiti u recipijent.
[50]

4.4.3. Fizički postupak

Treća metoda je fizički postupak. Ova metoda uključuje usitnjavanje, drobljenje, lomljenje i odvajanje metalnih od nemetalnih komponenata. Fizički postupak je metoda koja ima najmanji utjecaj na okoliš, ipak postoje loše posljedice.

Ova metoda je opasna za sve osobe koje rade oko tiskanih pločica jer se šalju sitne čestice prašine, metala i stakla u zrak. To može dovesti do problema s disanjem ako su dulje vrijeme izloženi tim česticama. Ovom metodom može se oporabiti najveći dio metala.
[50]

5. BENIFITI I RIZICI RECIKLIRANJA OTPADNIH MOBITELA

5.1. Ee-otpad

Kako svijet postaje sve digitalniji, povećava se broj električnih uređaja koje koristimo ili koje kupujemo svake godine. Time nastaju velike količine EE-otpada koje mogu biti štetne za okoliš. Prema istraživanju provedenog u SAD-u, u 2015. godini nakupljeno je približno 2624 milijuna tona EE-otpada, od čega otprilike 137,7 tona se nalazi na odlagalištima. Te brojke se mogu smanjiti s recikliranjem [51].



Slika 9: EE-otpad na odlagalištima [52]

5.2. Benifiti recikliranja otpadnih mobitela

Recikliranje otpadnih mobitela je jedan od najboljih načina da se stari mobiteli maksimalno iskoriste. Također je recikliranje poznato kao jedan od ekološki najprihvatljiviji i najetičniji način zbrinjavanja otpadnih mobitela [51]

5.2.1. Sirovine

Mobitel sadrži nekoliko plemenitih metala. To su naprimjer srebro, paladij, platina. Mnogi mobiteli se sastoje pretežito od metala kao što su bakar i aluminij. Mobiteli se također sastoje 17 kritičkih metala kao što su itrij, lantanoidi, skandij, terbij, neodim, gadolinij, disprozij, lantan i praseodim. Proces recikliranja pomaže pri ponovnoj uporabi plemenitih metala [51].

U mobitelima također se nalaze opasni elementi kao što su olovo, živa, arsen, kadmij i bromirani usporivači gorenja. Kada se mobiteli bace i spale, ti se otrovni metali ispuštaju u okoliš i time ga zagađuju. Kada se mobiteli ne spale, oni završavaju u tlu i polagano zagađuju vodene resurse i odlagalište. Recikliranjem se ti opasni materijali recikliraju i mogu se ponovno iskoristiti bez zagađivanja okoliša.

Ako se reciklira milijun telefona, možemo dobiti 16 000 kg bakra, 350 kg srebra, 34 kg zlata i 15 kg paladija. Recikliranjem se također smanjuje količine miniranih metala koji su potrebni za stvaranje novih mobitela [53].

5.2.2. Ponovna upotreba

Nakon što otpadni mobitel dođe na mjesto recikliranja, on se tamo provjerava dali je u dobrom stanju te se certificira i testira za daljnju upotrebu. Ako je moguća ponovna upotreba, tada je otpadni mobitel označen kao obnovljeni mobitel. Obnovljeni mobiteli rade jednako dobro kao i novi. Ti mobiteli se tada prodaju za nižu cijenu od tržišne cijene. Obnovljivi mobiteli su izvrsna opcija za osobe koji si ne mogu priuštiti kupnju novih pametnih telefona [51]

5.2.3. Nova radna mjesta

Proces recikliranja je uveo mnoge mogućnosti zapošljavanja na tržištu. Prema nedavnom istraživanju, bilo je više od 750 000 stvorenih novih radnih mjesta svake godine nakon svakih 1000 tona recikliranog materijala. U 2016. godini je otprilike stvoreno 20 000 – 30 000 novih radnih mjesta što je rezultiralo plaćama od približno milijun dolara. Ima mnogo novoosnovanih tvrtki za električno recikliranje elektronike koje stvaraju nova radna mjesta s obzirom na veliku potražnju recikliranja [51].

5.3. Rizici recikliranja otpadnih mobitela

E-otpad ne uključuje samo mobitele, kućanske i industrijske električne uređaje, nego već uključuje i njihove komponente kao što su baterije, kondenzatori, odljevci, katodne cijevi, staklo... Recikliranje takvog otpada provodi se formalno i neformalno u zemljama poput Kine, Indije, Gane, Tajlanda, Vijetnam... Formalne tehnike recikliranja koriste dobro osmišljene tehnike i strojeve za sigurno odvajanje potrebnih frakcija, ali su skupe za izgradnju i rad. Takve tehnike recikliranja nemaju veliki utjecaj na okoliš. U raznim nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju, gdje su financije glavni problem, primjenjuju se jeftine neformalne metode recikliranja. Ta neformalna metoda može osloboditi nekoliko onečišćujućih tvari u okoliš, čija bi izloženost mogla rezultirati nekoliko štetnih učinaka na različite biotičke i abiotičke komponente u blizini takvih neformalnih postrojenja za recikliranje.

Najčešći način izlaganja opasnim komponentama e-otpada su gutanje, kontakt s kožom i udisanje. Putem medija kao što su kontaminirano tlo, voda, hrana i zrak. Trudnice, radnici u neformalnim postrojenjima za recikliranje e-otpada, djeca i druge ranjive skupine susreću se s relativno većim rizicima izloženosti. Djeca su izložena najvećim riziku zbog dodatnih medija izloženosti (npr. majčino mlijeko), ponačanja prekomjernog dermalnog kontakta i njihovih promjenjivih tjelesnih zahtjeva. Učinak se također može prenijeti s radnika u neformalnim pogonima za reciklažu na druge članove obitelji putem dermalnog kontakta, odjeća...

Opasne kemikalije ili spojevi iz e-otpada mogu potjecati iz samih komponenti te iz elektroničke opreme ili nastati tijekom procesa recikliranja. Zagađivači koje je teško razgraditi zbog dugog poluživota, poznati su kao postojani organski zagađivači (POPs), glavni su opasni zagađivači u e-otpadu. Neki od najčešćih POPs-ova koji su pronađeni tijekom recikliranja su bromirani usporivači plamena (BFRS), poliklorirani bifenili, heksa-bromciklododekani, poli-bromirani difenili... Policiklični aromatski ugljikovodici nastaju zbog nepotpunog izgaranja fosilnih sirovina kao što su ugljen, plin, nafta... Ovi ugljikovodici se ispuštaju u okoliš tijekom izgaranja e-otpada. Teški metali kao što su olovo, kadmij, krom, živa, bakar, mangan, nikal, arsen, cink, željezo i aluminij također mogu predstavljati opasne prijetnje [54].

Recikliranje može uzrokovati zagađenje okoliša. To se posebno odnosi na recikliranje elektronike. Većina elektronike predviđena za recikliranje se šalje u inozemstvo u slabije razvijene zemlje, gdje se tamo elektronika ručno sortira. Tijekom procesa sortiranja, metali i druge kemikalije mogu istjecati u zemlju i vodu gdje se odvija recikliranje. To predstavlja gubitak za okoliš i stanovništvo [55].

Kritičari kažu da su troškovi pri recikliranju veći od koristi ili premašuju resurse zajednice. Neka mjesta i gradovi kažu da se ne mogu priuštiti vođenje programa recikliranja. U SAD-u je prostor na odlagalištima općenito jeftiniji, što znači da cijena recikliranja može premašiti cijenu odlaganja otpada na odlagalištima [55].

Pojedini kritičari recikliranja kažu da recikliranje daje ljudima osjećaj da rade sve u ime okoliša, kada zapravo recikliranje nije dovoljno za borbu protiv klimatskih promjena ili uklanjanja zagađenja. Kritičari se brinu da će biti previše ljudi koji puno kupuju, hrane se s puno životinjskih proizvoda i putuju na duge udaljenosti, te da misle da recikliranje nadoknađuje utjecaj na okoliš njihovih drugih izbora [55].

6. ZAKLJUČAK

Daljinske komunikacije imaju dugu povijesti. Tako su se već prije nekoliko tisućama godina koristili različiti načini za prijenos informacija da bi u današnje vrijeme tu funkciju preuzeli mobiteli. Prvi mobiteli izumljeni su u 20. stoljeću, te se iz tih prvobitnih mobitela razvio današnji pametni mobilni telefon. Za funkcioniranje mobitela neophodne su bazne stanice koje služe kao središnja točka povezivanja bežičnog uređaja za komunikaciju. Mobiteli imaju različite sastavne dijelove. To su kućište, zaslon, baterija i tiskane pločice.

Sve veća potražnja i potrošnja mobilnih telefona i drugih električnih uređaja nametnulo je potrebu njihovog recikliranja. U svijetu je sve manje sirovina i recikliranjem bi se materijali mogli ponovno upotrijebiti. Recikliranje otpadnih mobitela, ali i drugih električnih uređaja, ima svoje benifite i rizike. Recikliranje otpadnih mobitela je jedan od najboljih načina da se otpadni uređaji maksimalno iskoriste. Pomoću recikliranja se mogu očuvati sirovine. Tako bi se milijun recikliranih mobitela dobilo 16 000 kg bakra, 340 kg srebra, 35 kg zlata i 15 kg paladija i t.d. Mobiteli sadrže i 17 različitih kritičkih metala kao što su itrij, lantanoidi, skandij, terbij.... Također, kada otpadni uređaji dođu na recikliranje, mogu se popraviti i ponovno upotrijebiti. Recikliranjem se stvaraju nova radna mjesta.

Kućište je prva koja se može uočiti na mobitelu. Uglavnom je izrađeno od plastike, te se reciklira kao svaka druga plastika. Postoje mehaničko i kemijsko recikliranje plastike. Najčešći oblik recikliranja plastike je mehaničko recikliranje.

Zaslon je jedan od glavnih dijelova pametnih mobitela i zauzima sav prostor na prednjoj strani mobitela. Zaslon mobitela se sastoji od LCD panela s tekućim kristalima. Postojeći procesi za recikliranje otpadnog LCD panela su ekstrakcija otapalima, elektro-jetkanjem i klorom. Glavni funkcionalni dio LCD-a je tanka prevlaka od indijevog kositrenog oksida. Indij je kategoriziran kao jedan od kritičkih metala. Stopa recikliranja indija iz LCD panela je manja od 1%.

Većina modernih mobitela koristi litij-ionsku punjivu bateriju. Osnovna tvar baterije je vrlo lagana kovina litij. Rudarstvo litija se odvija u Sjevernoj i Južnoj Americi, Aziji, Južnoj Africi, Australiji i Kini. Litijske baterije se recikliraju tako da se prvo zagriju na 600°C kako bi se isparili elektroliti. Baterije se zatim usitnjavaju, a pojedine

komponente se odvajaju u višefaznom procesu. U drugom koraku ti fizičko odvojeni materijali ponovno se obrađuju kako bi odvojili elemente kao litij, nikal i kobalt. Svi izvučeni metali mogu se ponovno upotrijebiti.

Tiskane pločice su važni dijelovi električne i elektrotehničke opreme, te čine oko 3-6% ukupne količine uređaja. Tiskane pločice sadrže bakar, zlato, paladij i druge vrijedne materijale kao i opasne spojeve kao što su usporivači na bazi arsena, olova, žive, kadmija, berilija i broma. Oko 30% ukupne mase tiskanih pločica uključuje široki raspon različitih metala, te je to glavni razlog za recikliranje tiskanih pločica. Postoje tri osnovna načina recikliranja tiskanih pločica. To su termički postupak, kemijski i fizički. Za termički postupak se tiskana pločica mora zagrijati na visokoj temperaturi kako bi se prisutni metali na ploči mogli vratiti u prvobitno stanje. Prilikom termičkog postupka FR-4 se spali, a preostanu metali i nesagorivo. Prilikom ovog postupka nastati štetni plinovi u zraku poput dioksina. Kemijski postupak koristi kiseline za otapanje i odvajanje metala iz tiskanih pločica. Prilikom kemijskog postupka nastaju velike količine otpadne vode koju je potrebno pročišćavati prije nego što se može ispustiti u recipijent. Fizički postupak uključuje usitnjavanje, drobljenje, lomljenje i odvajanje metalnih od nemetalnih komponenti. Fizički postupak je metoda koja ima najmanji utjecaj na okoliš.

Kako postoje benefiti, tako i rizici recikliranja. U nekim državama je jeftinije koristiti odlagališta otpada pošto su troškovi pri recikliranju veći od koristi. Recikliranje može uzrokovati zagađenje okoliša jer tijekom procesa mogu istjecati štetni metali i druge kemikalije u zemlju i vodu. Recikliranje otpadnih uređaja se pretežito odvija u zemljama poput Kine, Tajlanda, Indije, Gane, Vijetnam i dr. gdje se koriste jeftine tehnološki zaostale metode recikliranja kojima se onečišćuje okoliš. Najčešći način izlaganja opasnim komponentama e-otpada su gutanje, kontakt s kožom i udisanje. Trudnice, radnici u neadekvatnim postrojenjima za recikliranje e-otpada, djeca i druge ranjive skupine susreću se s relativno većim rizicima izloženosti.

Ja smatram da recikliranje mobitela i e-otpada imaju pozitivan učinak koji premašuju negativne učinke. Recikliranje e-otpada ne pomaže samo pri očuvanju sirovina koje su sve manje nego i stvara nova radna mjesta koja smanjuju stopu nezaposlenosti i pomažu pri održavanju ekonomije.

LITERATURA

- [1] (2023.) Kružno gospodarstvo: definicija vrijednosti i korist - <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/economy/20151201STO05603/kruzno-gospodarstvo-definicija-vrijednosti-i-korist> - 10.3.2023.
- [2] Tomkinks W. (2016.): Smoke Signals: <http://www.inquiry.net/outdoor/native/sign/smoke-signal.htm> - 10.3.2023.
- [3] (2006.) Talking Drum: https://web.archive.org/web/20060910172613/http://www.si.umich.edu/chico/instrument/pages/tlkdrum_gnrl.html – 22.2.2023.
- [4] Levi, Wendell (1977). *The Pigeon*. Sumter, S.C.: Levi Publishing Co – 22.2.2023.
- [5] Lahanas M. (2014.): Ancient Greek Communication Methods: <https://web.archive.org/web/20141102224501/http://www.mlahanas.de/Greeks/Communication.htm> – 22.2.2023.
- [6] (2022.) History of Telecommunication: <https://encyclopedia.pub/entry/35081> - 22.2.2023.
- [7] Challenger H.M.S. (2019.): From Deep Sea to Laboratory 1: <http://www.iste.co.uk/book.php?id=1474> – 10.3.2023.
- [8] (2012.) Roland Wenzlhuemer: Connecting the Nineteenth-Century World: <https://www.cambridge.org/core/books/connecting-the-nineteenthcentury-world/12743072DEB4F98C126DF5E81895FA2F> – 10.3.2023.
- [9] Ronalds, B.F. (2016). Sir Francis Ronalds: Father of the Electric Telegraph. London: Imperial College Press – 10.3.2023.
- [10] Slika 1: Morsov telegraf - Zubro, 2006. - https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_telegraph#/media/File:Morse_Telegraph_1837.jpg – 19.2.2023.

- [11] Brown T., Historical first patents : the first United States patent for many everyday things: <https://archive.org/details/historicalfirstp0000brow> - 15.3.2023.
- [12] Milestones in AT&T History: <https://web.archive.org/web/20080906003711/http://www.att.com/history/milestones.html> - 15.3.2023.
- [13] Slika 2: Bell-ov prvi telefon: <https://www.amacad.org/news/bell-demonstrates-telephone> - 19.2.2023.
- [14] (2019.) First transatlantic telephone call video: <https://www.history.com/topics/inventions/first-transatlantic-telephone-call-video> - 10.3.2023.
- [15] Bennet A.R. (2012.): Telephone Systems: <https://archive.org/details/telephonesystems00bennrich/page/332/mode/1up?view=theater> - 15.3.2023.
- [16] (2012.) A Brief History: Origins: <https://web.archive.org/web/20120820015455/http://www.corp.att.com/history/history1.html> - 17.3.2023.
- [17] (2012.) Cover sheet for technical memoranda: <https://web.archive.org/web/20120207062016/http://www.privateline.com/archive/Ringcellreport1947.pdf> - 20.3.2023.
- [18] Srivastava V.M. et. Singh G. (2014.): MOSFET Technologies for double-pole four-throw radio-frequency switch: https://books.google.hr/books?id=fkO9BAAAQBAJ&pg=PA1&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false - 20.3.2023.
- [19] (2019.) Evolution of the mobile phone: <https://www.tigermobiles.com/evolution/#start> - 25.3.2023.
- [20] Slika 3: DynaTAC 800X: <https://www.tportal.hr/tehno/clanak/sjecate-li-ih-se-ovo-su-tehnoloski-preokreti-po-kojima-pamtimo-1980-te-foto-20180819/slika-4823147d66e3d182b161e05fc3194354> - 17.3.2023.

- [21] Ivezić B. (2016.): Tržište za milijun uređaja godišnje i čak 1,2 milijarde kuna prometa: <https://www.poslovni.hr/sci-tech/trziste-za-milijun-ureaja-godisnje-i-cak-12-milijarde-kuna-prometa-318557> - 25.3.2023.
- [22] (2023.) Year in Review: The Most Recycled Phones of 2022: [Year in Review: The Most Recycled Phones of 2022 | Compare and Recycle](#) – 10.4.2023
- [23] Wright G. (2021.): What is a base station?: [What is a base station? \(techtargget.com\)](#) – 10.4.2023.
- [24] Slika 4: Bazna stanica: <https://www.dreamstime.com/cloudy-sky-telephone-base-station-transmitters-image228031284> – 10.4.2023.
- [25] Jung A. (2019.): TEHNOLOGIJE RECIKLIRANJA MOBILNIH TELEFONA: <https://core.ac.uk/download/pdf/270103075.pdf> – 5.5.2023.
- [26] Slika 5: Kućište mobitela: <https://pcchip.hr/moby/pametni-telefoni/metal-plastika-ili-staklo-koji-je-najbolji-materijal-za-pametne-telefone/> - 20.5.2023.
- [27] Probst C. (2013.): Best rugged smartphones of 2023: waterproof, shockproof and IP68 mobiles: <https://www.techradar.com/best/best-rugged-smartphones> – 25.3.2023.
- [28] Savov V. (2017.): We’re gonna need Pythagoras’ help to compare screen sizes in 2017: <https://www.theverge.com/tldr/2017/3/30/15120824/screen-aspect-ratio-mathematics-galaxy-s8-lg-g6> – 10.4.2023.
- [29] Staff F. (2022.): What’s Inside My Smartphone? — An In-Depth Look At Different Components Of A Smartphone: <https://fosbytes.com/whats-inside-smartphone-depth-look-parts-powering-everyday-gadget/> – 10.4.2023.
- [30] Cell Phone Battery Guide: https://web.archive.org/web/20100611221236/http://funsms.net/cellphone_battery_guide.htm - 10.4.2023.
- [31] Baterije: liion, nimh, nicd: <https://web.archive.org/web/20160725203858/http://www.info-mob.com/clanci/baterije-liion-nimh-nicd.html> – 10.4.2023.

- [32] Albrecht B.: How “Green” is Lithium?: <https://www.kitco.com/ind/Albrecht/2014-12-16-How-Green-is-Lithium.html> – 10.4.2023.
- [33] Premur, V., Anić Vučinić, A., Vujević, D., Bedeković, D., The Possibility for Environmental Friendly Recycling of Printed Circuit Boards, J. sustain. dev. energy water environ. syst., 4(1), pp 14-22, 2016, DOI: <http://dx.doi.org/10.13044/j.sdewes.2016.04.0002> – 10.4.2023.
- [34] (2020.) PCB Cost Estimator – How To Estimate Printed Circuit Boards Costs: <https://www.gerberlabs.com/pcb-cost-estimator/#:~:text=PCB%20Cost%20Estimator%20%E2%80%93%20How%20To,produce%2C%20depending%20on%20your%20needs> – 5.5.2023.
- [35] Slika 6: Izgled tiskane pločice u mobitelu : <https://www.istockphoto.com/photo/printed-circuit-board-of-smartphone-gm1190140283-337255866> – 1.5.2023.
- [36] Nolan S.M. (2018.): Power Management for Internet of Things (IoT) System on a Chip (SoC) Development: <https://www.design-reuse.com/articles/42705/power-management-for-iot-soc-development.html> - 10.4.2023.
- [37] Slika 7: SoC: <https://www.semiconductorforu.com/system-on-chip-brain-of-a-smartphone/> - 31.3.2023.
- [38] Singh N., Duan H., Yin F., Song Q.: Characterizing the Materials Composition and Recovery Potential from Waste Mobile Phones: A Comparative Evaluation of Cellular and Smart Phones: [\(PDF\) Characterizing the Materials Composition and Recovery Potential from Waste Mobile Phones: A Comparative Evaluation of Cellular and Smart Phones \(researchgate.net\)](#) – 5.5.2023.
- [39] Tamara Worzewski (2020.): Zurück in den Kreislauf. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft – 29.5.2023.
- [40] Goldsberry C. (2015.): Who wants plastic scrap? Recycling and the issue of material compatibility: <https://www.plasticstoday.com/who-wants-plastic-scrap-recycling-and-issue-material-compatibility> – 29.5.2023.

- [41] Schyns Z.O.G et. Shaver M.P.: Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33000883/> – 29.5.2023.
- [42] Lee A. et. Liew M.S.: Tertiary recycling of plastics waste: an analysis of feedstock, chemical and biological degradation methods: <https://www.semanticscholar.org/paper/Tertiary-recycling-of-plastics-waste%3A-an-analysis-Lee-Liew/ccfe4e8e95186c70d27a2870bfea79dcfb85e42c> – 29.5.2023.
- [43] Thiounn T. et. Smith R.C.: Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pol.20190261> – 30.5.2023.
- [44] KUMAGAI S., NAKATANI J., SAITO Y., FUKUSHIMA Y., YOSHIOKA T.: Latest Trends and Challenges in Feedstock Recycling of Polyolefinic Plastics: [Latest Trends and Challenges in Feedstock Recycling of Polyolefinic Plastics \(jst.go.jp\)](https://www.jst.go.jp/abstract/20230530-001) – 30.5.2023.
- [45] Ma E. et. Xu Z. (2013.): Technological process and optimum design of organic materials vacuum pyrolysis and indium chlorinated separation from waste liquid crystal display panels – 30.5.2023
- [46] Zhang K., Wu Y., Wang W., Li B., Zhang Y., Zou T. (2015.): Recycling indium from waste LCDs: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344915300483> – 30.5.2023.
- [47] Schwandner M. (2021.): Daran hakt es beim Recyceln von Akkus <https://www.quarks.de/umwelt/daran-hakt-es-beim-recyceln-von-akkus/#:~:text=Akkus%20werden%20recycelt%2C%20indem%20sie,in%20einem%20mehrstufigen%20Verfahren%20getrennt> (Schwandner, 2021.) – 5.5.2023.
- [48] Morris C. (2020.): Li-Cycle recovers usable battery-grade materials from shredded Li-ion batteries: <https://chargedevs.com/features/li-cycle-recovers-usable-battery-grade-materials-from-shredded-li-ion-batteries/> – 5.5.2023.
- [49] Slika 8: Shematski prikaz recikliranja litijjski baterija - <https://www.chemistryworld.com/features/the-drive-to-recycle-lithium-ion-batteries/4012222.article> – 1.5.2023.
- [50] (2020.) PCB Recycling: How to Recycle Circuit Boards: <https://www.candorind.com/pcb-recycling/> – 5.5.2023.

- [51] (2021.) 5 Benefits of recycling a cell phone you would appreciate to know <https://www.techgenyz.com/2021/03/16/benefits-of-recycling-cell-phone/> – 10.5.2023.
- [52] Slika 9: EE-otpad na odlagalištima: <https://www.hsph.harvard.edu/hoffman-program/2016/08/26/formal-e-recycling-the-complexity-of-solving-the-e-waste-problem-worldwide/> - 2.5.2023.
- [53] Importance of Cell Phone Recycling: <https://getrepowered.org/importance-of-cell-phone-recycling> – 10.5.2023.
- [54] Gupta S., Modi G., Saini R., Agarwala V. (2014.): International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES) – A review on various electronic waste recycling techniques and hazards due to its improper handling – 31.5.2023.
- [55] Josephson A. (2023.): The Pros and Cons of Recycling: <https://smartasset.com/insights/the-pros-and-cons-of-recycling> – 10.5.2023.

POPIS SLIKA

Slika 1: Morseov telegraf

Slika 2: Bell-ov prvi telefon

Slika 3: DynaTAC 800X

Slika 4: Bazna stanica

Slika 5: Kućište mobitela

Slika 6: Izgled tiskane pločice u mobitelu

Slika 7: SoC

Slika 8: Shematski prikaz recikliranja litijski baterija

Slika 9: EE-otpad na odlagalištima