

# Analiza recikličnosti LCD televizora

---

**Bošnjaković, Petar**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2023**

*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:200:577881>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-23**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Stručni studij**

**ANALIZA RECIKLIČNOSTI**  
**LCD TELEVIZORA**

**Završni rad**

**Petar Bošnjaković**

**Osijek, 2022.**

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

Osijek, 07.10.2022.

Odboru za završne i diplomske  
ispite**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime Pristupnika:</b>	Petar Bošnjaković
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
<b>Mat. br. Pristupnika, godina upisa:</b>	A 4453, 20.07.2017.
<b>OIB Pristupnika:</b>	04707841207
<b>Mentor:</b>	doc. dr. sc. Goran Rozing
<b>Sumentor:</b>	Dalibor Buljić, dipl. ing.
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	dr. sc. Krešimir Miklošević
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	doc. dr. sc. Goran Rozing
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	dr. sc. Željko Špoljarić
<b>Naslov završnog rada:</b>	Analiza recikličnosti LCD televizora
<b>Znanstvena grana završnog rada:</b>	<b>Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	
<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: 1 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
<b>Datum prijedloga ocjene od strane mentora:</b>	07.10.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:



**FERIT**

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

## IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 10.03.2023.

Ime i prezime studenta:

Petar Bošnjaković

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4453, 20.07.2017.

Turnitin podudaranje [%]:

14

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Analiza recikličnosti LCD televizora**

izrađen pod vodstvom mentora doc. dr. sc. Goran Rozing

i sumentora Dalibor Buljić, dipl. ing.

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

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1. Zadatak završnog rada.....	1
<b>2. RECIKLIRANJE I RECIKLIČNOST PROIZVODA .....</b>	<b>2</b>
2.1. Recikliranje .....	2
2.2. Recikliranje elektroničkog otpada.....	3
2.3. Recikličnost proizvoda.....	4
<b>3. PRIMJENA MODELA VREDNOVANJA RECIKLIČNOSTI LCD TELEVIZORA .....</b>	<b>6</b>
3.1. Analiza recikličnosti LCD televizora SONY KDL-26EX302 .....	7
3.2. Analiza recikličnosti LCD televizora Quadro LCD-22AB1 .....	12
<b>4. USPOREDBA PROVEDENE ANALIZE RECIKLIČNOSTI LCD TELEVIZORA I KONSTRUKCIJSKE SMJERNICE RECIKLIČNOSTI .....</b>	<b>17</b>
4.1. Usporedba provedene analize recikličnosti LCD televizora .....	17
4.1. Prijedlog postupaka u zbrinjavanju LCD televizora.....	19
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>23</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>24</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>25</b>

# 1. UVOD

Broj stanovnika na Zemlji je u naglom porastu, najvećem u svojoj povijesti, a glavni doprinos uzroku povećanja stanovništva je upravo tehnologija. Industrija je najviše napredovala napretkom tehnologije, tvornice postaju automatizirane i zahtijevaju sve manje radnika. Zbog tog ubrzanog napretka tehnologija se integrirala u ljudski život u skoro svakom aspektu. Koristimo računala za posao i razonodu, mobilni uređaji su uz nas konstantno a, televizori se nalaze u skoro svakom kućanstvu. Kada uzmemo u obzir da na Zemlji živi više od 7 milijardi ljudi dolazimo do zaključka da postoji ogromna količina elektroničkih uređaja. Svaki uređaj ima svoj životni vijek nakon kojega se prestaje koristiti.

Postoji mnogo razloga prestanka korištenja uređaja poput kvarova, dotrajalost, tehnološki višak i sl. Svaki uređaj koji se prestane koristiti je višak, a većina takvih uređaja postaje otpad. Rapidnim napredovanjem tehnologije potražnja raste i stari uređaji se mijenjanju za nove iako su još ispravni i tako postaju otpad. EE otpad spada u opasni otpad i sadrži mnoge štetne tvari za ljudsko zdravlje i okoliš, poput žive, kadmija, olova, arsena, azbesta, fosfora itd...

Kroz prošlo desetljeće televizija je postala standardna u većini domova, a nije ni neuobičajeno za kućanstvo da posjeduje više od jednog televizora. Ovim radom će se pokušati prikazati, na jednom od danas najzastupljenijih elektroničkih uređaja, na koji bi se način pravilno reciklirali LCD televizori i kako taj proces možemo poboljšati.

## 1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je provesti model vrednovanja recikličnosti na primjeru dva LCD televizora. Ukazati na konstrukcijske smjernice u svrhu poboljšanja recikličnosti uređaja i preporučiti adekvatne postupke zbrinjavanja istih.

## 2. RECIKLIRANJE I RECIKLIČNOST PROIZVODA

Recikliranje je pojam s kojim se sve češće susrećemo i pridodaje mu se sve veća važnost. Jedno od prvih zabilježenih procesa recikliranja je 1031. godine u Japanu, kada je porasla potražnja za papirom privatnici su otkupljivali stari papir i počeli su proizvoditi reciklirani papir koji je opet bio iskoristiv [1]. Količina odbačenih LCD televizora je ogromna i u stalnom je porastu, u većini slučajeva razlog kupovine novog televizora je izlazak novog i većeg modela na tržište. Rezultat prekomjerne uporabe LCD televizora je problem oko njegovog zbrinjavanja. Televizija je sama po sebi poprilično glomazan otpad, a ogromna količina televizora koja se odbacuje vrlo brzo nagomila reciklaža dvorišta i pogone.

### 2.1. Recikliranje

Recikliranje je proces skupljanja proizvoda i materijala koji bi inače bili odbačeni kao smeće i prerada u nove proizvode ili materijale koji se dalje koriste. Recikliranjem direktno utječemo na lokalnu zajednicu i prirodu. Riječ recikliranje dolazi od engleskog naziva *recycle* što znači kruženje.



Sl. 2.1 Simbol recikliranja [2]

S aspekta odbačenog proizvoda ili materijala, recikliranje možemo podijeliti na tri tipa: *Downcycling*, *Recycling*, *Upcycling*.

*Downcycling* je proces dobivanja materijala za novi proizvod, ali taj proizvod ima manju vrijednost od prvobitnog proizvoda. Polimeri su najčešće korištena u *downcyclingu* zbog gubitka svojstva nakon recikliranja. Cilj *downcyclinga* je smanjenje otpada. Primjer: papir za pisanje se iskoristi za kartonske kutije, koje se potom iskoriste za toaletni papir.

*Upcycling* je proces gdje iskorištavamo materijale starog proizvoda kako bi smo dobili novi proizvod veće vrijednosti. *Upcycling* postaje sve popularniji i sve češći hobi. Primjer: Izrada namještaja od starih drvenih paleta.

## 2.2. Recikliranje elektroničkog otpada

Električni i elektronički otpad se treba odvajati od komunalnog i ostalog otpada, pod njega spadaju veliki i mali kućanski aparati te informatička i telekomunikacijska oprema.

2019. godine je stvoreno oko 53,6 milijuna tona električnog otpada, ta brojka brzo raste te svake iduće godine se stvori oko 2 milijuna tona električnog otpada više. Iste te godine dokumentirano je da je prikupljeno oko 9,3 milijuna tona električnog otpada, što znači da se tek 17,4% generiranog otpada prikupi i reciklira na pravilan način [3].

LCD televizori spadaju pod opasni otpad. Sa LCD ekranima se mora vrlo pažljivo rukovati zato što mogu sadržavati živu koja je vrlo otrovna za ljude. Kako bi se ekrani mogli reciklirati prvo se moraju ukloniti opasni materijali, a zatim nam ostaje staklo i polimeri. Nakon odvajanja stakla većina materijala koja je preostala u televizoru su metali i polimeri, te tiskane pločice. Metali i polimeri se dalje prenamjenjuju u druge proizvode, a iz tiskanih pločica vadimo vrijedne metale. Gospodarenje ovom vrstom otpada u skladu s Pravilnikom o gospodarenju električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 42/2014) pridonosi zbrinjavanju opasnih komponenata EE otpada na odgovarajući način, kao i iskorištenju upotrebljivih dijelova EE otpada, odnosno smanjenju iskorištenja prirodnih resursa što je vrlo važan podatak ako se zna da je EE otpad najbrže rastuća vrsta otpada [4].

U Hrvatskoj trgovine koje imaju više od 400 četvornih metara su dužne preuzimati EE otpad veličine do 25 centimetara bez naknade i pritom su dužne to istaknuti na vidljivom mjestu. Za EE otpad kojemu je masa veća od 30 kilograma postoji mogućnost besplatnog odvoza na cijelome području Hrvatske [5].

Postupak recikliranja EE otpada možemo podijeliti na glavne korake:

- Prikupljanje otpada
- Rastavljanje
- Razvrstavanje
- Skladištenje
- Transport
- Prerada u uporabljive materijale



### 2.3. Recikličnost proizvoda

Recikličnost je obilježje proizvoda ili materijala koje predstavlja mogućnost preusmjerenja i vraćanja na novu uporabu kao funkcionalno ispravan dio ili sirovina za izradu novog proizvoda. Oznaka za recikličnost je R, a izračunavamo ga kao omjer sume pojedinih masa i recikličnosti proizvoda u odnosu na ukupnu masu i maksimalnu recikličnost. Iznos recikličnosti se kreće od 0 do 1. Recikličnost proizvoda računa se prema jednadžbi (2-1).

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i * r_i * m_i}{M * r_{max}} \quad (2-1)$$

Gdje je:

- R – recikličnost proizvoda
- $b_i$  – broj ponavljanja i-tog dijela u proizvodu
- $m_i$  – masa i-tog dijela, kg
- $r_i$  – ocjena recikličnosti i-tog dijela
- $r_{max}$  – najveća ocjena recikličnosti
- M – ukupna masa proizvoda, kg

Rezultat iznosa recikličnosti možemo svrstati u jednu od tri kategorije:[6]

- 0,75 do 1,00 – povoljna recikličnost
- 0,50 do 0,74 – potrebno selektivno rastavljanje ili rekonstrukcija proizvoda
- Ispod 0,50 – upućuje na downcycling proizvoda ili odlaganje

Tablicu 2.1 koristimo kako bi olakšali ocjenjivanje recikličnosti pojedinog materijala, a u tablici 2.2 možemo vidjeti konkretne primjere materijala.

Tablica 2.1 Ocjena recikličnosti materijala [6]

Ocjena	Opis mjerila
0	dio ili sklop koji sadrži opasne tvari, zahtjeva posebno postupanje
1	materijal s nepoznatom tehnologijom reciklaže
2	organski materijal, može se koristiti kao izvor energije, ali se ne može reciklirati
3	materijal je tehnološki moguće reciklirati, ali to zahtjeva dodatnu obradu, te razvoj postojećih procesa i materijala
4	materijal se tehnološki može reciklirati, ali oprema nije dostupna
5	materijal je recikličan, postupak recikliranja poznat i uspješno se primjenjuje

Tablica 2.2 Primjer korištenja tablice ocjene recikličnosti [6]

Ocjena	Opis mjerila
0	tiskane pločice, katodne cijevi, kondenzatori (PCB), baterije, negorivi polimeri, živin prekidač, dijelovi koji sadrže azbestna vlakna, živu (prekidači, žarulje), selen, LCD, itd.
1	duroplasti, viskeri, nerazvrstani usitnjeni otpad, kompoziti
2	polimeri nepoznate vrste, materijali na bazi celuloze (energetski iskoristivo)
3	željezo-bakar pomiješani, elektromotori, mješavina polimera
4	kabeli i izolirani vodiči, željezo + keramika, metal + polimer
5	željezo, bakar, aluminij i slitine, polimeri poznate vrste

Iz navedenih tablica možemo zaključiti da u LCD televizorima postoji poprilična količina tiskanih pločica, kondenzatora i LCD panel, sve te komponente imaju ocjenu 0 i to je glavni razlog niže ocjene recikličnosti kod LCD televizora i općenito EE uređaja.

### 3. PRIMJENA MODELA VREDNOVANJA RECIKLIČNOSTI LCD TELEVIZORA

Za provedbu analize recikličnosti odabrana su dva LCD televizora različitih dimenzija i konstrukcijskih izvedbi. Za analizu rastavljanja koje su vidljive u tablicama 3.1 i 3.3 potrebno je rastaviti uređaje i razvrstati ih na sastavne dijelove i sklopove koji su potrebni za daljnju analizu.

Pri rastavljanju uređaja korišteni su alati poput:

- Zvezdastih i ravnih odvijača
- Kliješta
- Skalpela
- Zaštitnih rukavica
- Digitalna vaga



Sl. 3.1 Digitalna vaga korištena za vaganje komponenti

Tokom rastavljanja važnost se pridonijela idućim podacima koji su upisani u navedene tablice:

- Opisati naziv operacije koja se izvodi
- Vrijeme potrebno za izvođene pojedine operacije (mjereno pomoću štoperice na mobilnom uređaju)
- Kumulativno vrijeme odvajanja
- Alat pomoću kojeg je izvršena operacije
- Opaska na operaciju

Svaki uređaj je fotografiran prije i poslije rastavljanja.

### 3.1. Analiza recikličnosti LCD televizora SONY KDL-26EX302

Analizirani LCD televizor SONY KDL-26EX302 je proizveden 2010. godine, a razlog dotrajanja je napuknuće LCD ekrana. LCD televizor ima masu 8250,3 grama. Analiza rastavljanja je provedena dana 12.6.2022.



Sl. 3.2 LCD televizor SONY KDL-26EX302 prije rastavljanja

U tablici 3.1 prikazana je provedena analiza rastavljanja LCD televizora SONY KDL-26EX302. Podatci koji su mjereni su vrijeme potrebno za izvršiti pojedinu operaciju te kumulativno vrijeme odvajanja. Ovi podatci nam mogu dati na uvid pojedine nedostatke u izvedbi ovog modela televizora.

Tablica 3.1 Analiza rastavljanja LCD televizora SONY KDL-26EX302

Naziv proizvoda: SONY KDL-26EX302		<b>VRIJEME RASTAVLJANJA</b>		Datum: 12.6.2022	
Redni broj	Naziv operacije	Vrijeme odvajanja	Kumulativno vrijeme odvajanja	Alat	OPASKA
		sek	sek		
1	Odvrtanje vijaka i skidanje nosača za tv	78	78	Odvijač	
2	Odvrtanje vijaka nosača za tv i skidanje poklopca	69	147	Odvijač	
3	Odvrtanje vijaka i skidanje stražnjeg poklopca	177	324	Odvijač	Dugo trajanje
4	Skidanje kabela za napajanje	4	328	Ručno	
5	Odvajanje metalnih navoja sa stražnjeg poklopca	22	350	Kliješta	
6	Skidanje polimera za nosač	12	362	Odvijač	
7	Odvrtanje vijaka i skidanje zvučnika sa matične ploče	77	439	Odvijač	
8	Odvrtanje vijaka i skidanje zvučnika sa polimernog nosača	198	637	Odvijač	Vijci su upekli
9	Skidanje tiskane pločice s tipkama	65	702	Odvijač	
10	Odvrtanje vijaka i skidanje zaštitne maske za pretvarač	46	748	Odvijač	
11	Odvajanje pretvarača s utora	3	751	Ručno	
12	Odvajanje kabela pretvarača	2	753	Ručno	
13	Odvajanje drivera za zvučnik	3	756	Ručno	
14	Odvajanje zaštitne maske za utore	2	758	Ručno	
15	Odvajanje kabela za napajanje LCD ekrana	5	763	Ručno	
16	Skidanje napajanja	29	792	Odvijač	
17	Odvrtanje vijaka i skidanje matične ploče	43	835	Odvijač	
18	Odvrtanje vijaka i skidanje metalne maske	18	853	Odvijač	
19	Odvajanje prednje maske	11	864	Ručno	
20	Skidanje metalnog gornjeg okvira za LCD panel	44	908	Odvijač	
21	Odvrtanje vijaka i skidanje polimernog okvira za LCD panel	67	975	Odvijač	
22	Odvajanje LCD panela	15	993	Ručno	
23	Odvajanje polarizatora	4	997	Ručno	
24	Odvajanje pozadinskog osvjetljenja	164	1161	Ručno	
25	Odvajanje konektora za pozadinsko osvjetljenje	21	1182	Ručno	

Iz tablice 3.1 se može vidjeti da je uređaj rastavljen za 1182 sekunde (19min i 42s). Vrijeme rastavljanja bi se moglo skratiti za 30 do 40% kada bi isti uređaj rastavljali drugi puta.

Najviše vremena pri rastavljanju je utrošeno na odvrtnje vijaka kojih ima šest različitih tipova glave za odvrtnje, neki od vijaka su zapekli od starosti. Osim toga rastavljanje je prošlo bez većih problema.

Elementi LCD televizora nakon rastavljanja su prikazani na slici 3.3



Sl. 3.3 LCD televizor SONY KDL-26EX302 poslije rastavljanja

Nakon rastavljanja svakom elementu je izmjerena masa ( $m_i$ ). Ovisno o ukupnom broju elemenata ( $b_i$ ) i njihovih pojedinačnih masa ( $m_i$ ) možemo dobiti ukupnu masu elemenata ( $m_i \times b_i$ ).

Nakon mjerenja mase svih elemenata dodjeljujemo im stupanj recikličnosti prema tablicama 2.1. i 2.2. Elementi koji sadržavaju opasne tvari (tiskane pločice, katodne cijevi) su dobili najnižu ocjenu recikličnosti (ocjena recikličnosti 0), a elementi poput poznatih polimera i metala su dobili najvišu ocjenu recikličnosti (ocjena recikličnosti 5).

U tablici 3.2 nalaze se podatci provedene analize recikličnosti LCD televizora SONY-KDL26EX302.

Tablica 3.2 Analiza recikličnosti SONY KDL-26EX302

Naziv proizvoda: SONY KDL-26EX302					Masa: 8250.3 grama				
Proizvođač: SONY					Uzrok dotrajavanja: Napuknuće LCD ekrana				
God. Proizvodnje: 2010					Datum obrade: 12.06.2022				
Redni broj	Naziv elementa	Vrsta elementa (SE, PE, SK)	Vrsta materijala	Masa elementa	Komada po	Stupanj recikličnosti	Masa elemenata (5x6)	Recikličnost elementa (8x9)	OPASKA
i			$vm_i$	$m_i$	$b_i$	$r_i$	$m_i * b_i$	$m_i * b_i * r_i$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Polimerni okvir nosača	SE	PC+ABS	511,0	1	4	511,0	2044,0	
2	Metalni nosač	PE	Čelik	1091,0	1	5	1091,0	5455,0	
3	Maska za zvučnike	SE	PC+ABS	64,0	2	4	128,0	512,0	
4	Zvučnici	PE	Složeni materijal (ABS+Fe)	130,0	2	4	260,0	1040,0	
5	Kablovi za zvučnike	SK	Složeni materijal (Cu+PVC)	22,0	1	4	22,0	88,0	
6	Okvir za tipke	PE	PC+ABS	34,0	1	4	34,0	136,0	
7	Maske za tipke	PE	Polistiren	4,0	1	5	4,0	20,0	
8	Tiskana pločica tipki	SK	Opasni materijal	7,0	1	0	7,0	0,0	
9	Tiskana pločica zvučnika	SK	Opasni materijal	5,0	1	0	5,0	0,0	
10	Pretvarač	SK	Opasni materijal	119,0	1	0	119,0	0,0	
11	Napajanje	SK	Opasni materijal	372,0	1	0	372,0	0,0	
12	Matična ploča	SK	Opasni materijal	238,0	1	0	238,0	0,0	
13	Kabel za napajanje	SK	Složeni materijal (Cu+PVC)	80,0	1	4	80,0	320,0	
14	Kabl za napajanje pretvarača	SK	Složeni materijal (Cu+PVC)	8,0	1	4	8,0	32,0	
15	Maska za pretvarač	PE	PC+ABS	44,0	1	4	44,0	176,0	

16	Konektori za pozadinsko osvijetljene	PE	Složeni materijal (ABS+Fe)	3,0	6	4	18,0	72,0	
17	Metalni kostur	SE	Čelik	1683,0	1	5	1683,0	8415,0	
18	Maske za utore	PE	PC+ABS	37,0	1	4	37,0	148,0	
19	Kabl za napajanje LCD-a	SK	Složeni materijal (Cu+PVC)	9,0	1	4	9,0	36,0	
20	Metalni okvir za LCD	PE	Čelik	161,0	1	5	161,0	805,0	
21	Polimerni okvir za LCD	PE	PC+ABS	116,0	1	4	116,0	464,0	
22	Stražnji poklopac	PE	PC+ABS	1053,0	1	4	1053,0	4212,0	
23	Držač katodnih cijevi	PE	Polikarbonat	50,0	2	5	100,0	500,0	
24	Katodne cijevi	SK	Opasni materijal	16,0	3	0	48,0	0,0	
25	Difuzori	SE	Nepoznati polimeri	522,0	1	2	522,0	1044,0	
26	LCD panel	SK	Opasni materijal	830,0	1	0	830,0	0,0	
27	Prednji okvir	PE	PC+ABS	682,0	1	4	682,0	2728,0	
28	Vijak 4x20 sa podloškom	SE	Fe	3,8	4	5	15,2	76,0	Podloška i vijak su spojeni
29	Vijak 2x18	SE	Fe	1,5	11	5	16,5	82,5	
30	Vijak 3x12 sa podloškom	SE	Fe	1,4	8	5	11,2	56,0	Podloška i vijak su spojeni
31	Vijak 2x10 sa podloškom	SE	Fe	0,7	6	5	4,2	21,0	Podloška i vijak su spojeni
32	Vijak 2x14	SE	Fe	0,8	12	5	9,6	48,0	
33	Vijak 2x14	SE	Fe	0,8	10	5	8,0	40,0	
34	Vijak 2x8	SE	Fe	0,5	6	5	3,0	15,0	
35	Vijak 1x6	SE	Fe	0,2	3	5	0,6	3,0	
					97		8250,3	28588,5	

Prema podacima iz tablice 3.2 te prema jednadžbi (3-1) izračunata je recikličnost LCD televizora SONY KDL-26EX302.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i * r_i * m_i}{M * r_{max}} = 0,69 \quad (3-1)$$



Recikličnost LCD televizora SONY KDL-26EX302 iznosi 0,69 i razlog niske ocjene recikličnosti je velik udio složenih materijala i opasnih materijala koji nisu pogodni za recikliranje.

### **3.2. Analiza recikličnosti LCD televizora Quadro LCD-22AB1**

LCD televizor Quadro LCD-22AB1 je proizveden 2010. godine i razlog dotrajavanja je kvar. LCD televizor ima masu 3379,2 grama. Analiza rastavljanja je provedena na uređaju koji je prikazan na slici 3.4 dana 20.6.2022.



Sl. 3.4 LCD Quadro LCD-22AB1 prije rastavljanja

U tablici 3.3 prikazana je provedena analiza rastavljanja LCD televizora Quadro LCD-22AB1. Podatci koje smo mjerili su vrijeme potrebno za izvršiti pojedinu operaciju te kumulativno vrijeme odvajanja. Ovi podatci nam mogu dati na uvid pojedine nedostatke u izvedbi ovog modela televizora.

Tablica 3.3 Analiza rastavljanja LCD televizora Quatro-LCD-22AB11

Naziv proizvoda: Quatro-LCD-22AB11		<b>VRIJEME RASTAVLJANJA</b>		Datum: 20.6.2022	
Redni broj	Naziv operacije	Vrijeme odvajanja	Kumulativno vrijeme odvajanja	Alat	OPASKA
		sek	sek		
1	Odvrtanje vijaka i skidanje stražnjeg polimera	242	242	Odvijač	Veliki broj vijaka
2	Odvrtanje vijaka i odvajanje zvučnika	45	287	Odvijač	
3	Odvrtanje vijaka i odvajanje zvučnika od metalnog kućišta	129	416	Odvijač	
4	Odvrtanje vijaka i odvajanje matične ploče	62	478	Odvijač	
5	Odvrtanje vijaka i odvajanje polimera za matičnu ploču	42	520	Odvijač	
6	Lomljenje metalnog poklopca za napajanje LCD-a	72	592	Odvijač	Vijci su zapekli
7	Odvrtanje vijaka i odvajanje tiskane pločice s tipkalima	21	613	Odvijač	
8	Odvrtanje vijaka i odvajanje polimera za tipke	13	626	Odvijač	
9	Odvajanje žice za tipkala	3	629	Ručno	
10	Odvrtanje vijaka i odvajanje tiskane pločice s IC senzorom	6	635	Odvijač	
11	Odvajanje kabla za napajanje LCD-a	3	638	Ručno	
12	Odvrtanje vijaka i odvajanje prednjeg polimernog okvira	47	685	Odvijač	
13	Odvajanje zaštite za IC senzor	3	688	Ručno	
14	Odvrtanje vijaka i skidanje metalnih žlijebova	27	715	Odvijač	
15	Saviti i skinuti metalni okvir za LCD	57	772	Odvijač	
16	Odvajanje LCD ekrana	8	780	Ručno	
17	Odvrtanje vijaka i lomljenje polimernog okvira za LCD	78	858	Odvijač	
18	Odvajanje difuzora i sjenila	13	871	Ručno	
19	Odvajanje katodnih cijevi od metalnog kućišta	132	1003	Skalpel	Dugo traje

Uvidom u tablicu 3.3. vidimo da je uređaj rastavljen za 1003 sekunde (16min i 43s). Vrijeme rastavljanja bi se moglo skratiti za 30 do 40% kada bi isti uređaj rastavljali drugi puta. Iako je LCD televizor Quadro LCD-22AB1 znatno manji od SONY KDL-26EX302 vrijeme rastavljanja nije znatno manje. Glavni uzrok je veliki broj vijaka i dosta elemenata je zalijepljeno ljepljivom trakom, što je i najveći uzrok dugog vremena rastavljanja.

Na slici 3.5 su prikazani elementi LCD televizora Quadro LCD-22AB1 nakon rastavljanja.



Sl. 3.5 LCD Quadro LCD-22AB1 poslije rastavljanja

Nakon rastavljanja svakom elementu je izmjerena masa ( $m_i$ ). Ovisno o ukupnom broju elemenata ( $b_i$ ) i njihovih pojedinačnih masa ( $m_i$ ) možemo dobiti ukupnu masu elemenata ( $m_i \times b_i$ ).

Nakon mjerenja mase svih elemenata dodjeljujemo im stupanj recikličnosti prema tablicama 2.1. i 2.2. Elementi koji sadržavaju opasne tvari (tiskane pločice, katodne cijevi) su dobili najniži stupanj recikličnosti (stupanj recikličnosti 0), a elementi poput poznatih polimera i metala su dobili najviši stupanj recikličnosti (stupanj recikličnosti 5).

U tablici 3.4. nalaze se podatci provedene analize recikličnosti LCD televizora Quadro LCD-22AB11.

Tablica 3.4 Analiza recikličnosti Quadro LCD-22AB11

Naziv proizvoda: Quadro LCD-22AB11					Masa: 3379,2g				
Proizvođač: Quadro					Uzrok dotrajanja: Kvar				
God. Proizvodnje: 2010					Datum obrade: 20.06.2022				
Redni broj	Naziv elementa	Vrsta elementa (SE, PE, SK)	Vrsta materijala	Masa elementa	Komada po proizvodu	Stupanj recikličnosti	Masa elemenata (5x6)	Recikličnost elementa (8x9)	Opaska
				g/kom	kom	0..5	grama		
i			vm <sub>i</sub>	m <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>	r <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> * b <sub>i</sub>	m <sub>i</sub> *b <sub>i</sub> *r <sub>i</sub>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Stražnji poklopac	SE	ABS	511,0	1	5	511,0	2555,0	
2	Polimer za matičnu ploču	SE	ABS	152,0	1	5	152,0	760,0	
3	Zvučnici	SK	Opasni materijal	36,0	1	0	36,0	0,0	
4	Polimer za tipke	SE	PC+ABS	12,0	1	4	12,0	48,0	
5	Žlijeb za matičnu ploču	SE	Čelik	72,0	1	5	72,0	360,0	
6	Tiskana pločica s IC senzorom	SK	Opasni materijal	2,0	1	0	2,0	0,0	
7	Žlijeb za LCD	SE	Čelik	35,0	2	5	70,0	350,0	
8	Zaštita za IC senzor	SE	Polistiren	1,2	1	5	1,2	6,0	
9	Tiskana pločica s tipkalima	SK	Opasni materijal	7,0	1	0	7,0	0,0	
10	Kabel za napajanje tipkala	SK	Složeni materijal (Cu+PVC)	13,0	1	4	13,0	52,0	
11	Kabel za napajanje LCD-a	SK	Složeni materijal (Cu+PVC)	16,0	2	4	32,0	128,0	
12	Matična ploča	SK	Opasni materijal	192,0	1	0	192,0	0,0	
13	Poklopac za napajanje	SE	Aluminij	57,0	1	5	57,0	285,0	
14	Polimerni okvir za LCD	SE	ABS	34,0	1	5	34,0	170,0	
15	Metalni okvir za LCD	SE	Čelik	122,0	1	5	122,0	610,0	
16	Katodne cijevi	SK	Opasni materijal	9,0	2	0	18,0	0,0	
17	Prednji okvir	SE	ABS	192,0	1	5	192,0	960,0	
18	Metalni kostur	SE	Čelik	254,0	1	5	254,0	1270,0	
19	Difuzor	PE	Akril	998,0	1	5	998,0	4990,0	

20	Sjenilo	PE	Mješavina polimera	81,0	1	3	81,0	243,0	
21	LCD panel	SK	Opasni materijal	523,0	1	0	523,0	0,0	
22	Vijak 2x8	SE	Fe	0,8	5	5	4,0	20,0	
23	Vijak 2x10	SE	Fe	0,6	24	5	14,4	72,0	
24	Vijak 2x7	SE	Fe	0,5	24	5	12,0	60,0	
25	Vijak 2x6	SE	Fe	0,4	6	5	2,4	12,0	
26	Vijak 1x4	SE	Fe	0,2	4	5	0,8	4,0	
					87		3412,8	12955,0	

Prema podacima iz tablice 3.4 te prema jednadžbi (3-2) izračunata je recikličnost LCD televizora Quadro LCD-22AB1.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n b_i * r_i * m_i}{M * r_{max}} = 0,76 \quad (3-2)$$

Recikličnost LCD televizora Quadro LCD-22AB1 iznosi 0,76 što ukazuje na povoljnu recikličnost. Također je uređaj vrlo lako rastaviti i posjeduje manji broj komponenata od Sony televizora.

## **4. USPOREDBA PROVEDENE ANALIZE RECIKLIČNOSTI LCD TELEVIZORA I KONSTRUKCIJSKE SMJERNICE RECIKLIČNOSTI**

Najveću odgovornost za poboljšanje recikličnosti proizvoda imaju upravo proizvođači, oni su odgovorni za dizajniranje proizvoda koji nisu pogodni za recikliranje te se na taj način stvara ogroman otpad, pogotovo EE otpad koji je vrlo opasan.

Postavljanjem standarda da proizvodi moraju biti lako rastavljivi i imajući na umu recikličnost proizvoda možemo uvelike smanjiti EE otpad. Samim time mnoge proizvode ne bi morali mijenjati novima nego bi ih mogli jednostavno zamijeniti dijelove koji nisu ispravni.

Konstruktivne smjernice koje bi se mogle primijeniti na analizirane LCD televizore su:

- Olakšati rastavljaljivost proizvoda, modularna konstrukcija
- Koristiti materijale s većim postotkom recikličnosti
- Smanjiti broj različitih vrsta materijala
- Označiti svaku vrstu materijala prema standardima

Uz navedene smjernice potrebna je postojeća infrastruktura i sustav koji će efikasno razdvojiti otpad u segmente spremne za daljnji proces recikliranja, također zbrinjavanje opasnog otpada je jednako važno.

### **4.1. Usporedba provedene analize recikličnosti LCD televizora**

Nakon izračunavanja stupnja recikličnosti prema izrazu (2-1) su dobivene recikličnosti pojedinih uređaja. Iako je uređaj Quadro LCD-22AB1 manjih dimenzija, znatno je lakši zbog manje veličine ekrana ali zbog bolje konstrukcijske izvedbe kao npr. manji broj vijaka, bolja integracija tiskanih pločica u svrhu smanjenja polimernih i metalnih komponenti poput raznih držača za tiskane pločice kojih ima veći broj u SONY KDL-26EX302.

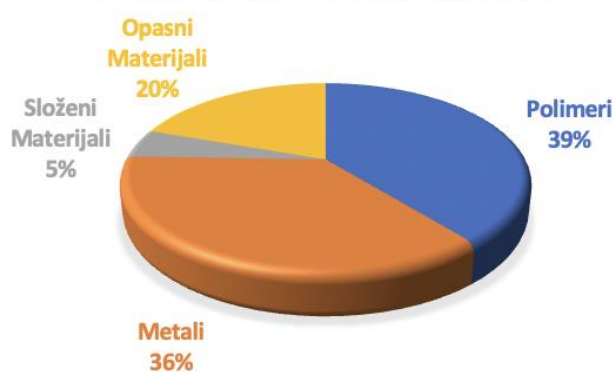
Zbog bolje konstrukcijske izvedbe i korištenja manje složenih materijala dobili smo povoljan rezultat recikličnosti za Quadro LCD-22AB1.

Tablica 4.1 Usporedba udjela masa pojedinih materijala LCD televizora

	SONY KDL-26EX302	Quadro LCD-22AB1
Vrsta Materijala	Masa [g]	Masa [g]
Polimeri	3231	1981,2
Metali	3003,3	608,6
Složeni Materijali	397	45
Opasni Materijali	1619	778
UKUPNO	8250,3	3412,8

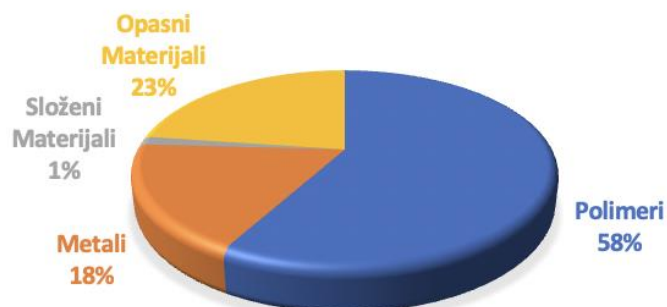
Na slikama 4.1 i 4.2 možemo vidjeti grafički prikaz udjela materijala u pojedinim uređajima.

### SONY KDL-26EX302



Sl. 4.1 Grafički prikaz udjela materijala za LCD televizor SONY KDL-26EX302

### QUADRO LCD-22AB1

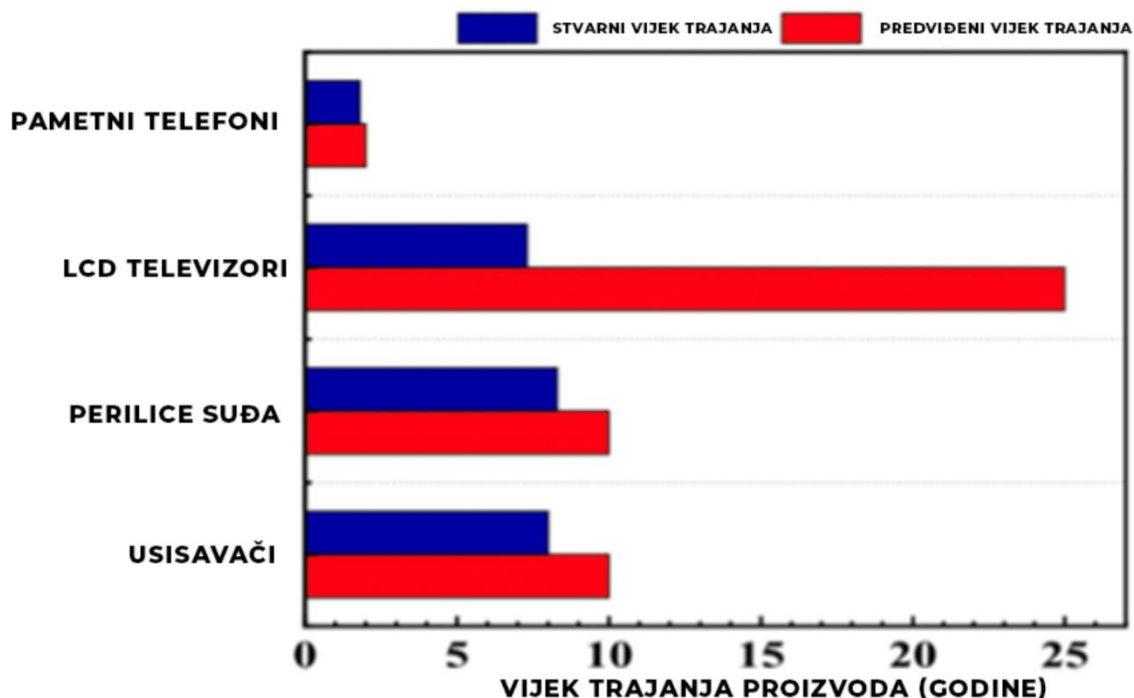


Sl. 4.2 Grafički prikaz udjela materijala za LCD televizor QUADRO LCD-22AB1

Veći udio metala, a samim time i vijaka na uređaju SONY KDL-26EX302 znatno produljuje vrijeme rastavljanja, što stvara dodatan trošak rastavljanja. Uređaj Quadro LCD-22AB1 se sastoji od 19% više polimera. Korištenjem polimera poznatih vrsta dolazimo do povoljne recikličnosti.

#### 4.1. Prijedlog postupaka u zbrinjavanju LCD televizora

Na slici 4.3 možemo vidjeti usporedbu predviđenog životnog vijeka deklariranu od strane proizvođača nekih EE proizvoda sa stvarnim životnim vijekom, posebnu pažnju trebamo posvetiti LCD televizorima.



Sl. 4.3 Usporedba predviđenog životnog vijeka sa stvarnim životnim vijekom EE proizvoda [7]

Prema slici 4.3 možemo zaključiti da postoji ogromna razlika između predviđenog i stvarnog životnog vijeka LCD televizora. Glavni razlog ovog trenda je brzo napredovanje tehnologije LCD televizora i integracija sa raznim pametnim aplikacijama koje su dostupne samo na novim uređajima. Rezultat je da se u prosjeku LCD televizor koristi samo 33% od predviđenog životnog vijeka. Ovaj problem se djelomično može riješiti edukacijom populacije kako bi kolektivno razvili svijest o EE otpadu. Također inicirati populaciju da se odluče za popravak umjesto kupovine novog uređaja.



LCD televizori se sastoje od potencijalno štetnih, ali i vrlo vrijednih materijala. Proces recikliranja ove vrste uređaja treba započeti efikasnim razdvajanjem dijelova i sklopova. Razdvajanje se provodi prema dijelovima koji sadrže iste materijale kako bi se kasnije mogli kvalitetno preraditi. Također posebnu pažnju treba posvetiti razdvajanju dijelova i sklopova koji sadrže opasne i štetne tvari.

U zadnje vrijeme postoji puno više reciklažnih dvorišta, iako se nazivaju reciklažna oni ne recikliraju nego skupljaju i sortiraju otpad po kategorijama. Jedan od prijedloga da se u reciklažna dvorišta integriraju stanice koje bi služile za provjeru ispravnosti LCD televizora kao i ostalog EE otpada, na taj način bi se moglo razdvojiti stvarno neispravne uređaje od onih lako popravljivih. Uređaje koji se mogu popraviti vratilo bi se u specijalizirane prodavaonice rabljenih televizora ili eventualno poklanjalo. Navedenim pristupom bi se smanjila količina otpada, pogotovo onog opasnog za okoliš i zdravlje.

Neispravni uređaji slali bi se u pogone za preradu EE otpada kroz tehnološke procese. Jedna od tvrtki u RH koja je koncesionar za recikliranje EE otpada je Spectra Media iz Virovitice njihov proces obrade EE otpada se sastoji od primarne i sekundarne obrade.

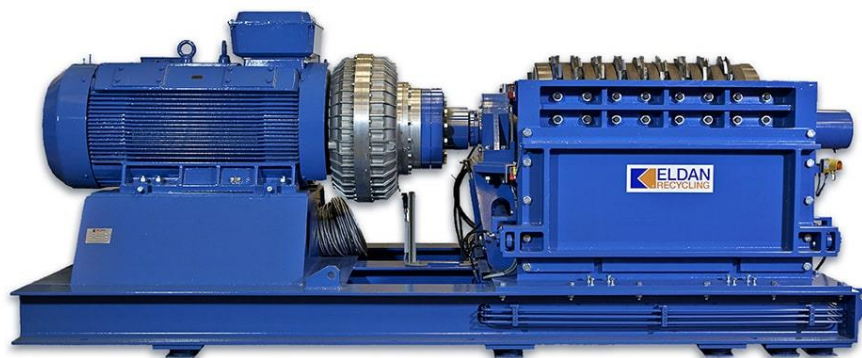
U pogonima primarne obrade provodi se rastavljanje otpadnih uređaja i opreme te izdvajanje opasnih komponenti kao npr:

- Katodne cijevi
- Baterije
- Elektrolitski kondenzatori
- Toneri

Također se izdvajaju vrijedne komponente kao što su:

- Transformatori
- Električni kablovi
- Tiskane pločice
- Tvrđi diskovi

Primarno obrađeni elektro otpad se stavlja na transportnu traku koja transportira materijal do usitnjivača veličine noževa 78mm.



Sl. 4.4 Usitnjavač za primarnu obradu tvrtke Eldan Recycling [8]

Nakon što se materijal usitni počinje sekundarna obrada. Usitnjeni materijal se razdvaja na željezne i ostale komponente pomoću magnetskog separatora. Iz ostalih materijala se ručno odvajaju preostale komponente, a preostali materijal se dodatno usitnjava i proces se ponavlja dok se nisu razdvojili svi materijali.



Sl. 4.5 Metalni separator tvrtke Goudsmit [9]

Drugi prijedlog za zbrinjavanje otpada su spalionice. Spalionice proizvode električnu i toplinsku energiju izgaranjem otpada. Dobar primjer je spalionica „Amager Bakke“ u Kopenhagenu.



Sl. 4.6 Amager Bakke spalionica otpada u Kopenhagenu [10]

U spalionici „Amager Bakke“ godišnje se spali oko 400 tisuća tona otpada, a 11% od tog otpada je opasni otpad. Toplina od spaljenog otpada se koristi za zagrijavanje vode čija para pokreće turbine i generator za proizvodnju električne energije, a ostatak energije se koristi za grijanje kućanstava. Količina električne energije proizvedene je 0,8MWh i toplinske 2,7MWh za svaku 1 tonu procesuiranog otpada. 2021. godine „Amager Bakke“ je pokrila potrošnju električne energije za 90000 kućanstava i toplinske energije za 80000 kućanstava. Ova spalionica posjeduje jedan od najefikasnijih sustava filtracije zraka na svijetu, čak 95% svih nečistoća se pročišćavaju [11]. Najveći nedostatak spalionica je jako visoka cijena projektiranja i izgradnje.

Tvrtke poput Spectra Media iz Virovitice su odlično rješenje za manje i srednje urbane sredine. Osim što ovaj način recikliranja stvara dodatna radna mjesta, Spectra Media ima preko 50 zaposlenih koji rade na trakama za sortiranje otpada. Također se može stvoriti kružna ekonomija u smislu da se materijali koje dobijemo recikliranjem LCD televizora i ostalog EE otpada, prodaju lokalnim industrijama koji koriste te sirovine. Nedostatak ovakvog modela poslovanja gdje su zakoni zastarjeli i ne idu u korist vlasnicima koncesija.

Spalionice su zanimljiv pristup rješavanju problema recikliranja. Izrazito su se pokazale efikasne u velikim urbanim sredinama koje gomilaju veliku količinu otpada. „Amager Bakke“ je najmoderniji primjer jedne spalionice koji ima sofisticiran sustav filtriranja zraka i pritom se emisije smanjuju na minimum. Najveća prepreka kod izgradnje spalionica ovakvog razmjera su troškovi projektiranja i izgradnje koji mnoge države ne mogu priuštiti.

## 5. ZAKLJUČAK

Živimo u svijetu gdje je tehnologija neophodna za život i prisutna je u svakom aspektu našeg života. Računala, mobilni uređaji, televizori i pogotovo pametni uređaji su postali svakodnevica u skoro svakom domu. Svaki od tih uređaja sadrži matične ploče, baterije, kondenzatore itd... To su komponente koje sadrže opasne i štetne tvari za ljudsko zdravlje i prirodu ako se pravilno ne postupa nakon što se odbace. Prvi korak za budućnost sa što manje otpada je educirati populaciju o važnosti recikliranja, popravaka proizvoda i ponovnog korištenja. Zakoni igraju veliku ulogu u tom cilju, potrebno je donositi zakone u dogovoru sa tvrtkama koje se bave recikliranjem otpada kako bi on efikasno funkcionirao. Također uvođenje predmeta na temu recikliranja i sortiranja otpada u kurikulum osnovnih i srednjih škola je vrlo bitno.

Kroz analizu rastavljanja dobivene su korisne informacije koje su vezane za konstrukciju samog proizvoda, a imaju utjecaj na njegovu recikličnost. LCD televizor SONY KDL-26EX302 sadrži jako puno zasebnih dijelova koji su povezani sa vijcima, a služe istoj svrsi da nose elektroničke komponente, promjenom konstrukcije tih dijelova i objedinjavanjem u jednu cjelinu, može se smanjiti broj vijaka i pritom skratiti vrijeme rastavljanja.

Nakon provedene analize recikličnosti može se zaključiti da LCD televizor Quadro LCD-22AB1 ima povoljniju recikličnost zbog bolje konstrukcije proizvoda, sastoji se od manje složenih materijala, a komponente imaju oznaku od kojeg polimera su napravljene. LCD televizor SONY KDL-26EX302 nema poželjan stupanj recikličnost zbog velikog udjela složenih materijala i korištenja mješavina raznih polimera.

LCD televizori i ostali EE uređaji čine sve veći udio u otpadu i taj trend je iz godine u godinu u porastu. Proizvođači trebaju konstruirati uređaje imajući na umu recikličnost proizvoda i konstruirati na način da je uređaj lako popravljiv. Obrazovni sustav ima veliku ulogu da nauči nove generacije o važnosti recikliranja EE otpada kako bi savjesno koristili EE uređaje i ne kupovali nove bez razloga.

## LITERATURA

- [1] D. Hunter, Papermaking: The History and Technique of an Ancient Craft, 2nd ed. 1957.
- [2] Simbol recikliranja [Online], Wikipedia, dostupno na:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Recycling\\_symbol](https://en.wikipedia.org/wiki/Recycling_symbol) [12.6.2022]
- [3] V. Forti, The Global E-waste Monitor 2020, 2020.
- [4] Pravilnik o gospodarenju EE otpada [Online], Narodne Novine, dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014\\_04\\_42\\_782.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2014_04_42_782.html) [21.9.2022]
- [3] Električni I elektronički otpad [Online], e-Građani, dostupno na: <https://gov.hr/hr/elektricni-i-elektronicki-otpad/1328> [12.6.2022]
- [6] A. Pintarić, Prilog razvoju metoda vrednovanja recikličnosti materijala i proizvoda, Doktorska disertacija, FESB, Zagreb. 2001.
- [7] R. Ramachandran, Environmental Challenges, [Online], ScienceDirect ,2022 , dostupno na:  
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100507> [21.9.2022]
- [8] Material separation [Online], Eldan Recycling, dostupno na:  
<https://eldan-recycling.com/material-separation/> [13.9.2022]
- [9] Metal separator [Online], Filtration + Separation, dostupno na:  
<https://www.filtsep.com/content/news/goudsmit-and-sortatec-create-metal-separator> [13.9.2022]
- [10] Copenhill [Online], Design Educates Awards, dostupno na:  
<https://designeducates.com/portfolio/copenhill/> [13.9.2022]
- [11] Om Amager Bakke [Online], ARC, dostupno na:  
<https://a-r-c.dk/om-arc/presse/om-amager-bakke/> [13.9.2022]

## **SAŽETAK**

U završnom radu prikazani su i pojednostavljeni osnovni pojmovi recikliranja, problematika oko EE otpada i zakonska regulativa u Hrvatskoj vezana za EE otpad. Pomoću metode vrednovanja provedena je analiza recikličnosti na primjeru dva LCD televizora. Nakon usporedbe rezultata predložene su konstrukcijske smjernice i postupci zbrinjavanja.

Ključni pojmovi: EE otpad, LCD televizor, recikliranje, recikličnost

## **ABSTRACT**

### **LCD TV recyclability analysis**

The final paper presents and simplifies basic concepts of recycling, problems surrounding EE waste and legislation related to EE waste in Croatia. Using the evaluation method, recyclability analysis was performed on the example of two LCD television. After comparing the results, construction guidelines and disposal methods are proposed

Key words: EE waste, LCD television, recycling, recyclability