

Utjecaj električnog i elektroničkog otpada na okoliš

Turato, Tonino

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:595740>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij računarstva

Završni rad

**UTJECAJ ELEKTRIČNOG I ELEKTRONIČKOG OTPADA NA
OKOLIŠ**

Rijeka, lipanj 2024.

Tonino Turato

0069090496

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij računarstva

Završni rad

**UTJECAJ ELEKTRIČNOG I ELEKTRONIČKOG OTPADA NA
OKOLIŠ**

Mentor: prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Rijeka, lipanj 2024.

Tonino Turato

0069090496

Rijeka, 15.03.2024.

Zavod: Zavod za brodogradnju i inženjerstvo morskog tehnologije
Predmet: Zaštita okoliša

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Tonino Turato (0069090496)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij računarstva (1035)

Zadatak: **UTJECAJ ELEKTRIČNOG I ELEKTRONIČKOG OTPADA NA OKOLIŠ / IMPACT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC WASTE ON THE ENVIRONMENT**

Opis zadatka:

Ukratko opisati električni i elektronički otpad te obraditi njegov utjecaj na okoliš. Obraditi prijedloge za smanjenje negativnih učinaka te vrste otpada te razraditi cilj gospodarenja električnim i elektroničkim otpadom. Posebno analizirati računalni otpad na svjetskoj razini te mogućnosti njegovog smanjenja kroz promjene u dizajnu, proizvodnji i održavanju računala. Sve podatke odgovarajuće sustavno obraditi, analizirati i zaključno komentirati.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20.03.2024.

Mentor:
prof. dr. sc. Roko Dejhalla

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:
prof. dr. sc. Miroslav Joler

IZJAVA

kojom ja, Tonino Turato, JMBAG: 0069090496 student Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, kao autor završnog rada s naslovom: Utjecaj električnog i elektroničkog otpada na okoliš, izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Roka Dejhalle.

Završni rad je napisan sukladno članku 7 Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku sveučilišnog prijediplomskog studija Tehničkog fakulteta u Rijeci.

ZAHVALA

Želim iskazati zahvalnost svojem mentoru, prof. dr. sc. Roku Dejhali, za njegovo vodstvo tijekom procesa pisanja mog završnog rada. Također, zahvaljujem mu na ukazanoj prilici da pišem rad iz kolegija Zaštita okoliša.

Želio bih se zahvaliti i svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na podršci tijekom mojeg obrazovanja, koji su vjerovali u mene te poticali da nastavim napredovati. Vaša podrška bila je ključna za moj uspjeh.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. GLOBALNO UPRAVLJANJE E-OTPADOM.....	3
2.1. Elektronički otpad	3
2.2. Električni otpad	5
2.3. Organizacije u borbi protiv e-otpada.....	7
2.4. Zakoni i regulative donesene za upravljanje e-otpadom.....	11
2.5. Upravljanje e-otpadom u Hrvatskoj	17
3. STRATEGIJE ZA SMANJENJE NEGATIVNIH UČINAKA E-OTPADA	19
3.1. Produženje životnog vijeka proizvoda	19
3.2. Učinkoviti sustavi za prikupljanje e-otpada	22
3.3. Inovacije u reciklažnim tehnologijama	24
3.3.1. Hidrometalurške metode	24
3.3.2. Elektrometalurške metode.....	26
3.4. Ekološki dizajn.....	27
3.5. Obrazovanje i osvještavanje javnosti	28
3.6. Promjene u dostupnosti reciklažnih dvorišta	29
4. EKOLOŠKE PROMJENE U DIZAJNU I PROIZVODNJI RAČUNALA.....	30
4.1. Sastav računalnog otpada	31
4.2. Promjene u dizajnu.....	32
4.2.1. Dinamičko skaliranje frekvencije i napona	33
4.2.2. Integrirani grafički procesor	34
4.3. Promjene u proizvodnji	35
4.3.1. HP-ov closed-loop sustav recikliranja.....	36
4.3.2. Uloga vode u izradi računalnih komponenti	37
4.4. Promjene u održavanju.....	38
5. ZAKLJUČAK	40
LITERATURA	41
POPIS SLIKA	45
SAŽETAK.....	46
SUMMARY	47

1. UVOD

U drugoj polovici 20. stoljeća, veliki rast i ubrzani razvoj doživjela je tehnologija. Razvijaju se mnogi tehnološki aspekti i uređaji s ciljem olakšavanja ljudskog života. Neki od tih uređaja, poput televizije, kamera, mobitela su neizbježni u životu suvremenog čovjeka. No, što se događa s tim uređajima kada njihova izvedba ne zadovoljava i dođe vrijeme za zamjenu?

U najboljem slučaju, svoj će električni i elektronički otpad ljudi odvesti u reciklažna dvorišta. Ipak, veliki dio svoje uređaje odloži pored smeća ili ih baci zajedno s ostalim kućnim otpadom.

Električni i elektronički otpad, ili e-otpada, predstavlja jedan od najbrže rastućih problema u području upravljanja otpadom u svijetu. Neki od uređaja koji predstavljaju e-otpada već su navedeni, međutim on obuhvaća širok spektar odbačenih električnih i elektroničkih uređaja.

Problematika električnog i elektroničkog otpada je u njegovom složenom sastavu, koji uključuje metale poput olova, žive i arsena, kao i vrijedne metale poput zlata, srebra i bakra. Zbog prisutnosti toksičnih komponenti, nerazborito odlaganje e-otpada dovodi do ozbiljnih ekoloških problema. Teški metali zagađuju tlo i vodene resurse, dok spaljivanje e-otpada rezultira otpuštanjem štetnih plinova u atmosferu. Olovo uzrokuje oštećenja živčanog sustava, a živa, kada dođe u mora, se može taložiti u ribama i ugroziti prehrambeni lanac. Trovanje arsenom se događa kada se nađu povišene količine arsena u tijelu te može izazvati razne oblike raka. Kontaminirana tla gube svoju plodnost i to utječe na poljoprivrednu proizvodnju i opskrbu hranom. Nepravilno rukovanje e-otpada dovodi do znatnog gubitka oskudnih i vrijednih sirovina, uključujući plemenite metale kao što su neodimij (vitalan za magnete u motorima), indij (koji se koristi u televizorima s ravnim pločama) i kobalt (za baterije). Nadalje, metale u e-otpada teško je ekstrahirati i ponovno iskoristiti. Na primjer, ponovna iskoristivost kobalta je na samo 30% (unatoč postojećoj tehnologiji koja bi mogla reciklirati 95%). On je, međutim, u velikoj potražnji zbog baterija za prijenosna računala, pametne telefone i električne automobile. Reciklirani metali također su dva do deset puta energetske učinkovitiji od metala topljenih iz rude.

Prema podacima Organizacije za ekonomsku suradnju i razvoj (OECD), godišnja količina proizvedenog e-otpada prelazi 50 milijuna tona, a očekuje se da će ovaj broj rasti zbog brze tehnološke inovacije i sve kraćeg životnog vijeka elektroničkih proizvoda. Iako količina e-otpada raste, stopa reciklaže i odgovarajućeg recikliranja još uvijek je niska, što dodatno naglašava potrebu za poboljšanjem sustava upravljanja e-otpadom. U 2019. godini, samo 17,4% tog otpada je bilo formalno prikupljeno i reciklirano, dok je većina završila na odlagalištima ili je spaljena.[2]

U ovom završnom radu, pažljivo će se razmotriti različiti aspekti utjecaja električnog i elektroničkog otpada na okoliš, uključujući analizu trenutnih praksi zbrinjavanja, pregled zakonodavnih okvira i regulativa, te potencijalne strategije za smanjenje negativnih učinaka. Obraditi će se opcije za kvalitetnije gospodarenje e-otpadom. Detaljno će se analizirati problem računalnog otpada i mogućnosti njegovog suzbijanja kroz promjene u dizajnu, proizvodnji i održavanju. Cilj je pružiti sveobuhvatan pregled problema te predložiti učinkovite mjere koje bi mogle doprinijeti održivijem pristupu upravljanja e-otpadom.

2. GLOBALNO UPRAVLJANJE E-OTPADOM

Kao što je navedeno u uvodu, e-otpad je najbrže rastuća vrsta krutog otpada u svijetu. Zbog toga je važno dobro znati koje su to različite vrste ovakvog tipa materijala i koja je opasnost njihovog nepažljivog zbrinjavanja.

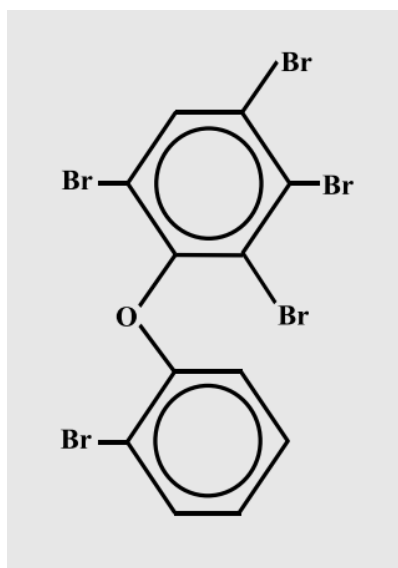
Za početak, treba napraviti jasnu distinkciju između električnog i elektroničkog otpada. To razumijevanje je važno za pravilno upravljanje otpadom i reciklažu. Električni otpad odnosi se na odbačene uređaje koji koriste električnu energiju za obavljanje jednostavnih funkcija. Ovi uređaji obično imaju osnovne električne komponente poput motora ili grijača, ali ne uključuju složene elektroničke sklopove. Elektronički otpad uključuje uređaje koji koriste elektroničke sklopove, integrirane krugove i mikročipove za obavljanje složenih funkcija. Ovi uređaji često imaju funkcionalnost obrade podataka, komunikacije ili upravljanja.

Pod električni otpad spadaju kućanski aparati, poput hladnjaka, sušilica, pećnica; grijači, ventilatori, klima uređaji, bušilice, pile, žarulje itd. Elektronički otpad predstavljaju informatička i telekomunikacijska oprema (računala, pametni telefoni i tableti, modemi i ruteri), glazbeni sustavi, televizori, kamere. Također, tu spada i profesionalna elektronička oprema poput nekih medicinskih uređaja (magnetska rezonanca) i elektronska laboratorijska oprema.

2.1. Elektronički otpad

Kao što je prethodno rečeno, elektronički otpad sadrži teške metale poput olova, kadmija i žive. Oni mogu dovesti do mnogih ekoloških, ali i zdravstvenih problema. Problem predstavljaju i plastika, te bromirani usporivači gorenja koji se često nalaze u elektronskim uređajima. Skraćenog naziva BFR (eng. „brominated flame retardant“), dodaju se plastici da bi se smanjila zapaljivost. Vrlo su stabilni u okolišu te se nakupljaju u organizmima kroz hranidbeni lanac. Nadalje, prevelika izloženost ovim spojevima može dovesti do ozbiljnih zdravstvenih problema kao što su problemi s plodnosti i povećan rizik od raka.

Upotreba ovih spojeva nailazi na velike kritike zbog njihovog pronalaska u kućanskim uređajima i tamo gdje djeca mogu stupiti u kontakt s njima. Neke europske zemlje su se čak odlučile na zabranu određenog dijela ovih spojeva. Na primjer, skupina BFR-a, pod nazivom Penta-BDE (pentabromodifenil eter), zaključen je kao visoko rizični spoj te je zabranjen kroz Direktivu o ograničenju opasnih tvari 2003. godine. [5] Njegova kemijska struktura prikazana je na slici 1.1 To je utjecalo na pronalazak manje štetnih alternativa, koje će i dalje imati zadovoljavajući učinak.



Slika 2.1 Kemijska struktura pentabromodifenil etera[5]

Složeni sklopovi i komponente elektroničkih uređaja također su važan čimbenik kod njihove kompleksnosti pri recikliranju. Ovi uređaji sadrže matične ploče, mikročipove i integrirane krugove koji su sastavljeni od različitih materijala, uključujući plemenite metale (zlato, srebro), rijetke zemne metale (neodimij, terbij) i teške metale (olovo, živa). Recikliranje elektroničkog otpada zahtijeva specijaliziranu opremu i tehnike kako bi se učinkovito razdvojili i oporabili navedeni materijali.

No ne samo da je potrebna specijalizirana oprema, nužno je i imati prostore za skladištenje elektroničkog otpada prije njegove obrade. Troškovi sakupljanja i transporta, također su značajni. Dovodi se u pitanje ekonomska isplativost cijelog procesa, međutim pravilna reciklaža će oporabiti vrijedne materijale, a i ključna je za zaštitu okoliša.

Jedan od poznatijih primjera iz prakse je reciklažno postrojenje Umicore u Belgiji. Ovo je jedno od vodećih postrojenja za reciklažu plemenitih metala u svijetu. Oni su uložili milijune eura u tehnologije za reciklažu i oporabu plemenitih metala iz elektroničkog otpada. Također, usklađeni su s najstrožim europskim ekološkim standardima. Ključni su pokazatelj da je, unatoč troškovima, pravilno upravljanje reciklažom, osim ključno za zaštitu okoliša te zdravlje ljudi, i ekonomski održivo. [6]

2.2. Električni otpad

S druge strane, električni uređaji, kao što su hladnjaci, perilice rublja, mikrovalne pećnice i klima uređaji, imaju nešto manji doprinos onečišćenju zbog lakše reciklaže. To proizlazi iz značajke da električni otpad ima manju složenost komponenti, te je stoga proces obrade otpada nešto jednostavniji. Međutim, on i dalje ima značajan utjecaj na okoliš kada se neadekvatno zbrinjava.

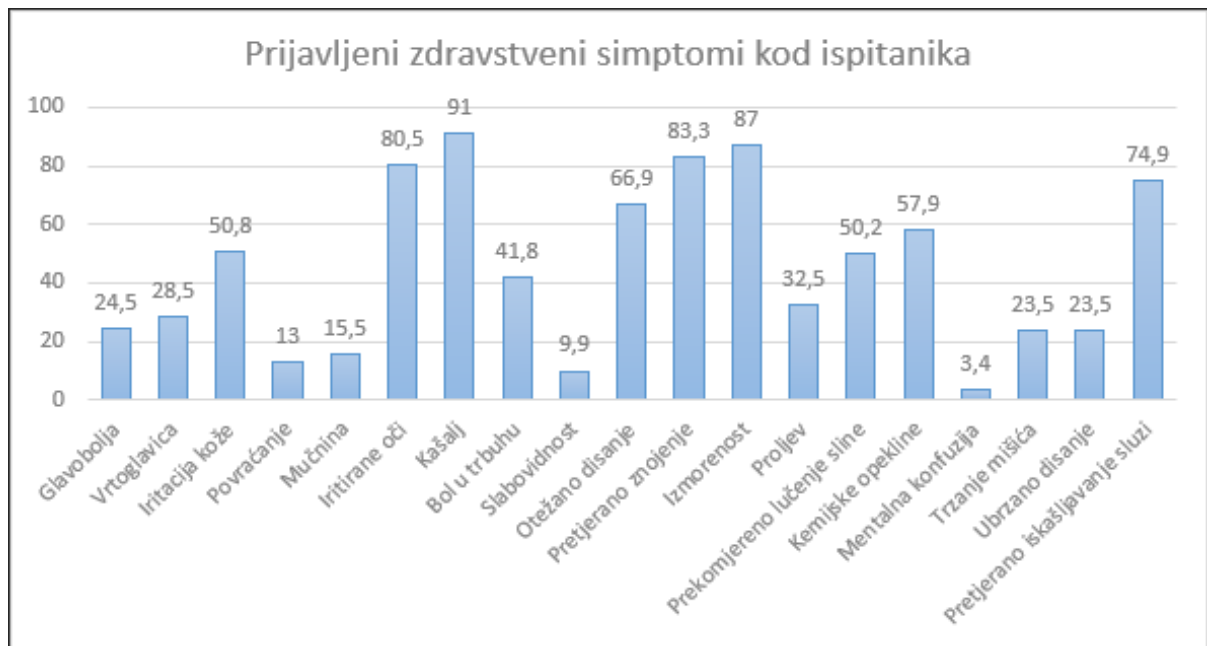
Mnogi električni uređaji sadrže tvari koje su štetne za okoliš. Hladnjaci i klima uređaji koriste specifične plinove za hlađenje. Oni sadrže klorofluorouglikove i hidrofluorouglikove, koji su snažni staklenički plinovi. Kada se ti uređaji neadekvatno zbrinjavaju, ove kemikalije mogu procuriti u atmosferu, doprinoseći globalnom zagrijavanju i uništavanju ozonskog sloja. Klorofluorouglici, ili skraćeno CFC, su glavni krivci za uništavanje ozonskog sloja, specifično atomi klora u sastavu ovoga spoja. Ti atomi klora reagiraju s molekulama ozona (O_3), razarajući ih u obični kisik (O_2) i smanjujući sposobnost ozonskog sloja da apsorbira UV zračenje. Najbolji primjer ovog razarajućeg utjecaja je Antarktička ozonska rupa koja se prvi put pojavila sredinom 1980-ih godina. O negativnim posljedicama uništenog ozonskog sloja ne treba puno pričati. Povećana razina UV zračenja i katastrofalan utjecaj na zemljine ekosustave samo su neke od njih. Godine 1987. potpisan je Montrealski protokol o tvarima koje oštećuju ozonski sloj. Ovaj sporazum se zalagao za postupno ukidanje uporabe klorofluorouglika. Do danas se smatra jednim od najuspješnijih međunarodnih sporazuma u povijesti. Njegova provedba dovela je do značajnog smanjenja emisija CFC-a i drugih štetnih kemikalija, a trenutni pokazatelji su da se ozonski sloj postupno oporavlja. [7]

Prethodno je napomenuto da su elektronički uređaji većinom manji sa brojnim složenim sklopovima koji sadrže različite materijale, što čini njihovu reciklažu kompleksnom. Kod električnih uređaja problem je suprotne prirode. Oni su često glomazni i zauzimaju značajan prostor na odlagalištima otpada. Tu spada otpad poput hladnjaka, perilica rublja, mikrovalnih pećnica, električnih peći i klima uređaja. Njegovo neadekvatno zbrinjavanje može dovesti do kraćeg vijeka trajanja odlagališta zbog brzog popunjavanja kapaciteta. Osim toga, ispuštanje opasnih tvari tijekom raspadanja ili izgaranja onečišćuje okolni zrak, tlo i vodu.

Važno je da se električni uređaji adekvatno recikliraju jer njihova proizvodnja zahtijeva velike količine energije, vode i drugih resursa. Kada se oni bacaju umjesto recikliranja ili ponovne upotrebe, utrošeni resursi su izgubljeni, što opterećuje okoliš i nije ekonomski isplativo. Naime, ako se na primjer, neki metali korišteni prilikom proizvodnje ne recikliraju, povećava se pritisak na rudarenje potrebnih metala, koje je opet proces s negativnim utjecajem na prirodni svijet. Reciklaža materijala iz starih uređaja znatno je energetska učinkovitija nego proizvodnja novih materijala iz sirovina. Efikasna upotreba resursa je vrlo bitna, no čak i bitnija je njihova reciklaža i ponovna upotreba.

Veliki električni uređaji sadrže plastiku i sintetičke materijale koji nepravilnim odlaganjem dovode do ispuštanja stakleničkih plinova tijekom raspadanja ili spaljivanja. Njihovo izgaranje oslobađa ugljikov dioksid (CO_2), metan (CH_4), dioksine i druge štetne stakleničke plinove, koji doprinose globalnom zagrijavanju i klimatskim promjenama. No to nije jedino čemu doprinose. Ovi plinovi utječu i na zdravlje čovjeka i mogu uzrokovati zdravstvene probleme. U gradu Accri u neformalnim reciklažnim centrima koriste se primitivne metode, poput spaljivanja kabela za vađenje metala. Gana je inače država koja predstavlja destinaciju za veliku količinu e-otpada u svijetu i prikladno je nazvana svjetskim elektronskim grobljem.

Nekoliko autora provelo je istraživanje o uvjetima na radu na odlagalištu u Gani. Istraživanje se odvijalo nad 323 ispitanika. Cilj je bio saznati zdravstvene simptome koje su radnici doživjeli tijekom i poslije završetka posla. Rezultati su pokazali da radnici na odlagalištu nemaju adekvatno znanje o sigurnosti i praksi da zaštite svoje zdravlje. Naime, većina ih misli da korištenje zaštitne opreme, poput rukavica i čizmi, nije potrebno jer ih usporava u obavljanju posla. Na slici 2.2 opisani su prijavljeni simptomi koje su radnici zabilježili za vrijeme i nakon izvršavanja posla. Problem e-otpada koji se generira u razvijenim zemljama doprinio je okolišnim i zdravstvenim izazovima u neformalnom sektoru recikliranja e-otpada u Gani. [8]



Slika 2.2 Zdravstveni simptomi kod radnika u Accri tijekom i nakon završetka rada[8]

2.3. Organizacije u borbi protiv e-otpada

Iako elektronički i električni otpad sadrže mnoge razlike, globalna borba protiv njihovog utjecaja je zajednička. Tehnologija ide naprijed i nikoga ne čeka. Sve je veći broj elektroničkih uređaja i inovacija u tehnološkom svijetu. Čini se da u današnje vrijeme, postoji uređaj za bilo koji ljudski problem. U tom kontekstu, važno je biti osviješten i upućen u posljedice koje ti uređaji mogu izazvati. Zato su osnovane mnoge organizacije diljem svijeta koje nastoje smanjiti, reciklirati i podići svijest o negativnim posljedicama e-otpada.

Basel Action Network, ili skraćeno BAN, jedna je od najpoznatijih nevladinih organizacija u borbi protiv e-otpada. Sjedište im je u Sjedinjenim Američkim Državama, i bave se pitanjima vezanim uz izvoz toksičnog otpada iz razvijenih zemalja u zemlje u razvoju. U prethodnom poglavlju, spomenuo se problem neadekvatnog odlagališta za električni otpad u Gani. Upravo to je jedan od problema protiv kojih se BAN bori. Cilj im je kontroliranje prekograničnog kretanja opasnog otpada i njegovo zbrinjavanje. Fokusiraju se na izvještavanje o problemima vezanim uz e-otpad, te zalaganje za bolje zakonske regulative i edukaciju javnosti. Njihov najpoznatiji uspjeh je upravo zalaganje protiv ilegalnog izvoza e-otpada iz SAD-a u Afriku i Kinu. BAN je u tom izvještaju podigao globalnu svijest i potaknuo akcije protiv ilegalnog izvoza. Izvještaj sadrži intervjue, fotografije i dokaze o štetnom utjecaju na lokalnu zajednicu. Neke od najvažnijih stvari otkrivenih ovom akcijom uključuju pronalazak glomaznih odlagališta u Lagosu, prikazana na slici 2.3, koja se često pale. Većina tog otpada se uvozi kao rabljena oprema iz razvijenih zemalja, međutim

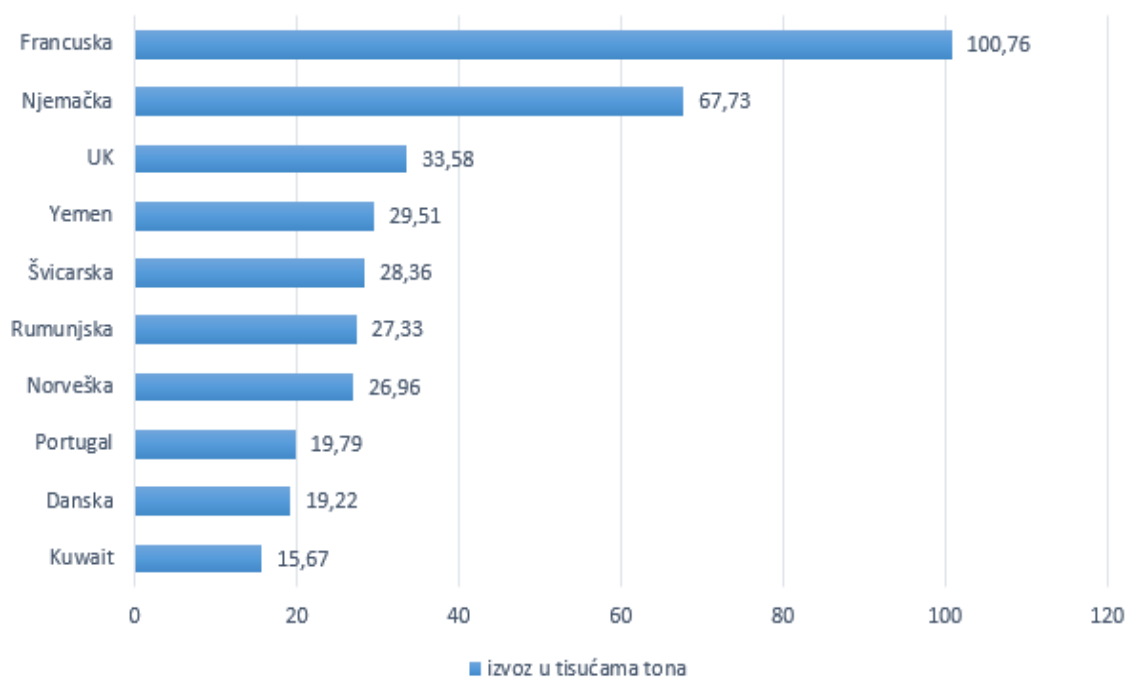
pronađena oprema je zastarjela i bačena na hrpu, te se ne može reći da je korisna.[9] Na temelju ovih pronalazaka, zalagali su se za strože mjere u izvozu e-otpada kod međunarodnih organizacija. Razvili su i e-Stewards program o kojem će se reći više u ovom poglavlju.

StEP inicijativa (eng. *Solving the E-Waste Problem*) globalna je inicijativa koja okuplja zainteresirane strane iz industrije i međunarodnih organizacija. Promoviraju održiva rješenja za e-otpad kroz suradnju i razmjenu znanja među različitim sektorima. Organizacija se bavi istraživanjem, razvojem standarda, organizacijom konferencija i radionica te podizanjem svijesti o e-otpadu. Najznačajniji projekt StEP inicijative je njihova mapa koja vizualizira tokove e-otpada širom svijeta. Osmišljena je da prikaže uvid o količinama e-otpada koje s uvoze i izvoze u različitim zemljama. Tako pridonosi identificiranju najboljih praksi i pruža podatke za donositelje odluka kako bi mogli pravilno upravljati tokom e-otpada. Korisnicima je ponuđeno istraživanje tokova e-otpada i njihova raspodjela prema zemljama. Slika 2.4 prikazuje najveće izvođače e-otpada u svijetu za 2022. godinu.



Slika 2.3 Odlagalište e-otpada u Lagosu[9]

Izvoz e-otpada u svijetu 2022.



Slika 2.4 Izvoz e-otpada u svijetu za 2022. godinu[11]

E-Stewards je program certifikacije i standarda za odgovorno recikliranje e-otpada, koji je kreirao, već spomenuti, Basel Action Network. Posao im je osigurati da e-otpad bude recikliran na ekološki prihvatljiv način te da se ne izvozi nepropisno u zemlje u razvoju. e-Stewards certificira reciklažne tvrtke koje se pridržavaju visokim ekološkim standardima, nadzire njihovo pridržavanje i educira potrošače. Također, bore se protiv nezakonitog izvoza u zemlje u razvoju. Ovaj program je razvijen kako bi osigurao da se elektronički otpad reciklira na ekološki prihvatljiv način. Na svojoj web stranici, razvili su sustav koji pomaže ljudima u pronalasku odgovornih reciklažnih tvrtki [12]. Iako sustav radi samo u određenim zemljama, omogućuje korisnicima u odabiru prave reciklažne tvrtke. E-Stewards većinom rade na poboljšanju lokalnih kapaciteta za reciklažu e-otpada i podizanju svijesti u zemljama koje nisu žrtve ilegalnog uvoza, već imaju problem s vlastitim upravljanjem e-otpadom.

Na primjer, radili su na nekoliko projekata u Kolumbiji kako bi poboljšali infrastrukturu za reciklažu i osigurali pravilno zbrinjavanje. Provodili su obuku lokalnih reciklažnih poduzeća o najboljim praksama. Ključno je bilo osigurati da lokalne tvrtke steknu potrebna znanja o pravilnom upravljanju otpadom, s ciljem stjecanja e-Stewards certifikacije. To je revidirani program certifikacije za reciklažna poduzeća koja obavljaju djelatnosti recikliranja elektronike, uključujući obradu i upravljanje imovinom. Prednosti stjecanja ove certifikacije su poboljšanje ugleda

kompanije i konkurentna prednost. Ove organizacije se ističu demonstriranjem visokih standarda za etično recikliranje elektroničkog otpada. Nadalje, organizirane su kampanje za podizanje svijesti o važnosti recikliranja. Te kampanje su uključivale radionice, informativne materijale i suradnju s lokalnim medijima. Kroz ovu obuku, kapaciteti za reciklažu su značajno povećani te se time smanjila količina e-otpada koja završava na ilegalnim odlagalištima. Poboľjšala se kvaliteta zraka i vode i ostvareno je bolje razumijevanje problema e-otpada među građanima.

WEEE Forum je pionir u upravljanju e-otpadom. Ova međunarodna neprofitna organizacija predstavlja proizvođače električne i elektroničke opreme. Okupljaju 51. organizaciju za odgovornost proizvođača iz cijelog svijeta. Njihov cilj je promicanje učinkovitog i ekološki prihvatljivog zbrinjavanja elektroničkog otpada kroz suradnju s proizvođačima i zakonodavcima. WEEE Forum razvija operativne i financijske modele za zbrinjavanje e-otpada i standardizira postupke reciklaže.

Jedan od značajnih problema kojim se bavi WEEE Forum je tzv. "nevidljivi" e-otpad. Ovaj pojam obuhvaća male elektroničke uređaje koje potrošači često ne prepoznaju kao e-otpad, poput kabela, elektroničkih igračkaka, e-cigareta, alata i drugih sitnih aparata. Podaci koje je WEEE Forum prikupio pokazuju da se godišnje generira oko 9 milijardi kilograma takvog otpada, što predstavlja ogromnu količinu sirovina koje se mogu reciklirati. Oko 35% tog materijala su pod skupinom električnih igračkaka. Tu spadaju električni vlakovi, glazbene igračke, roboti i lutke koje pričaju. Nadalje, podaci pokazuju da je oko 950 milijuna kilograma bakrenih kabela bačeno 2019. godine. To je dovoljno kabela da se obiđe Zemlju 107 puta. Razlog za ovakav poražavajući podatak je taj što se ovaj tip otpada ne shvaća kao e-otpad od onih koji ga odlažu. Kabele i elektroničke igračke je jednostavno baciti u smeće jer ljudi misle da ne sadrži toliko toksičnih komponenata kao standardni e-otpad, poput hladnjaka ili mikrovalnih pećnica. Ostali česti uređaji koji spadaju pod "nevidljivi" otpad su električne četkice, brijači, slušalice, zvučnici itd.[13]

Konkretan primjera rada WEEE Foruma je projekt u Indiji, gdje član organizacije Karo Sambhav aktivno radi na regulaciji e-otpada u neformalnom sektoru. Indija se suočava s velikim izazovima vezanim za neformalno recikliranje e-otpada. Ova tvrtka implementira sustave odgovornosti proizvođača kako bi osigurao pravilno prikupljanje i reciklažu e-otpada i time osigurava zdravlje svojih radnika. Transformirali su radne procese kod sakupljača otpada tako šta su omogućili prikupljanje e-otpada bez potrebe za njegovim rastavljanjem. Radnici više ne moraju prikupljati i sami reciklirati stara računala i tipkovnice, već ih šalju ovlaštenim reciklažnim tvrtkama. Tako se poboljšava sigurnost radnika i povećava učinkovitost poslovanja.[14]

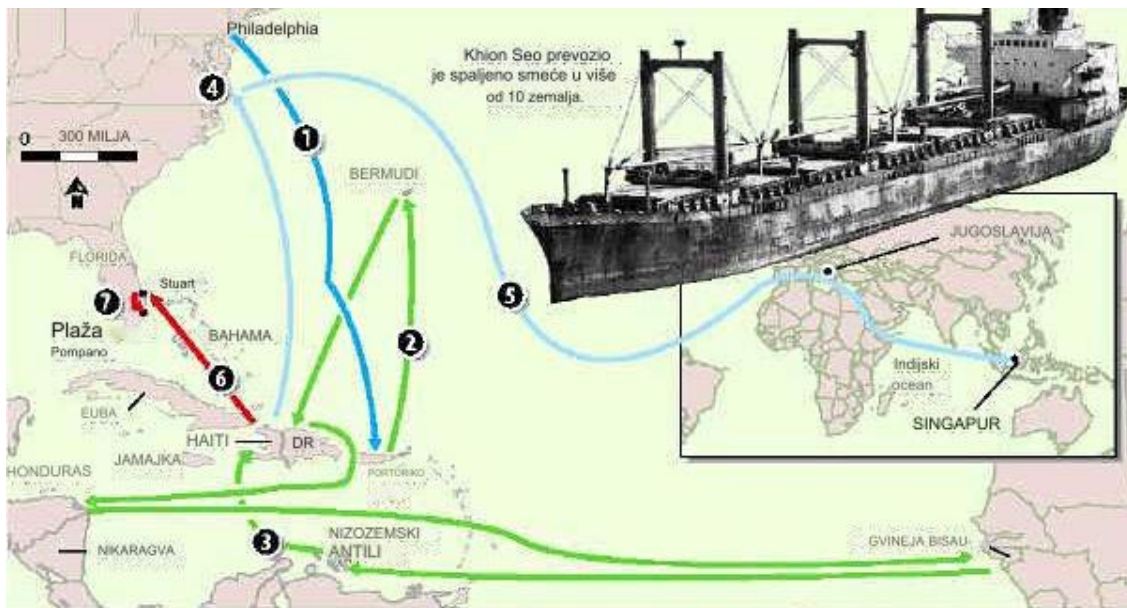
2.4. Zakoni i regulative donesene za upravljanje e-otpadom

Postoji mnoštvo organizacija koje su započele borbu protiv bezobzirnog odlaganja električnog i elektroničnog otpada. I u današnje vrijeme, broj organizacija koje se pridružuju ovom pokretu raste. No prije nego što se prva takva organizacija osvijestila, potrebno je bilo implementirati zakone i regulative koji će postaviti temelj za pravilno upravljanje električnim i elektroničkim otpadom. Kroz godine, usvajanje tih zakona omogućilo je stvaranje standarda i procedura koje su mnogim organizacijama dale smjernice za djelovanje. Tako su, zahvaljujući regulacijama i svijesti o ekološkoj odgovornosti, pokrenuti mnogi programi za sakupljanje, reciklažu i sigurno zbrinjavanje elektroničkog otpada.

Jedan od najvažnijih međunarodnih ugovora koji se bavi e-otpadom je Bazelska konvencija iz 1989. godine. Potpisana je kao odgovor na rastuću zabrinutost zbog nepravilnog zbrinjavanja opasnog otpada. Ovaj ugovor kontrolira prekogranično kretanje opasnog otpada i njegovo zbrinjavanje, sprečavajući izvoz opasnog otpada, uključujući e-otpad, iz razvijenih zemalja u zemlje u razvoju bez njihove dozvole. Bazelska konvencija ključni je dokument za globalno upravljanje e-otpadom i postavlja osnovu za mnoge nacionalne i regionalne regulative. Spomenuti Basel Action Network se može smatrati neslužbenim izvršiteljem i promotorom Bazelske konvencije.

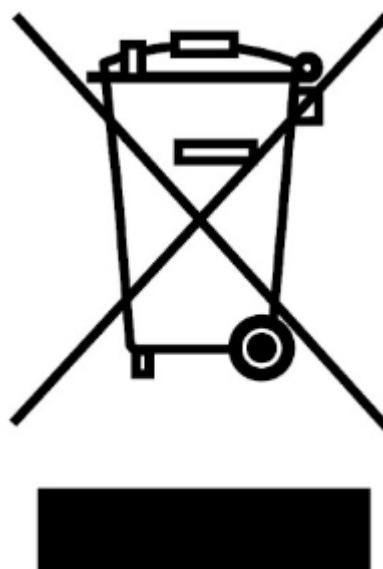
Glavni povod za raspisivanje konvencije bio je incident odlaganja otpada s broda Khian Sea 1984. godine, u kojoj je brod iz američkog grada Philadelphia, izbacio pola svojeg otpada na plaži u državi Haiti, a pola po Atlantskom oceanu. Naime, zaposlenici broda nisu imali namjere baciti taj otpad u more, međutim nitko ih nije htio primiti i preuzeti odgovornost. Tih godina nisu bile raspisane jasne međunarodne regulative koje bi spriječile takve incidente. [15] Na slici 2.5 prikazana je ruta kojom je brod išao.

1. Brod napušta Philadelphiju s 14355 tona pepela prema Bahamima. Pošiljka je odbijena i broj mijenja smjer.
2. Brod je odbijen u Puerto Ricu, Bermudi, Dominikanskoj Republici, Hondurasu i Nizozemskoj Antili.
3. Brod dolazi u Haiti i iskrcava oko 4000 tona pepela na plaži.
4. Brod prilazi Delawarskom zaljevu da iskrca ostatak tereta, ali je odbijen.
5. Brod dolazi u Jugoslaviju na popravke te se pojavljuje u Singapuru bez tereta, koji je bačen po putu.
6. Pepel je prenesen iz Haiti-a u Floridu.
7. Savezna država Florida potvrđuje zakopavanje pepela na plaži Pompano.



Slika 2.5 Incident odlaganja otpada s broda Khian Sea[15]

Direktiva o otpadu od električne i elektronske opreme (eng. *Waste Electrical and Electronic Equipment Directive*) donesena je 2002. godine u Europskoj uniji s ciljem smanjenja količine e-otpada i promicanja odgovornog gospodarenja njime. Obvezuje proizvođače da preuzmu odgovornost za cijeli životni ciklus svojih proizvoda, od proizvodnje do odlaganja. WEEE Forum igra ključnu ulogu u provedbi WEEE Direktive, s organizacijom kampanju za podizanje svijesti te sudjelovanjem u raznim istraživanjima.



Slika 2.6 Simbol WEEE Direktive

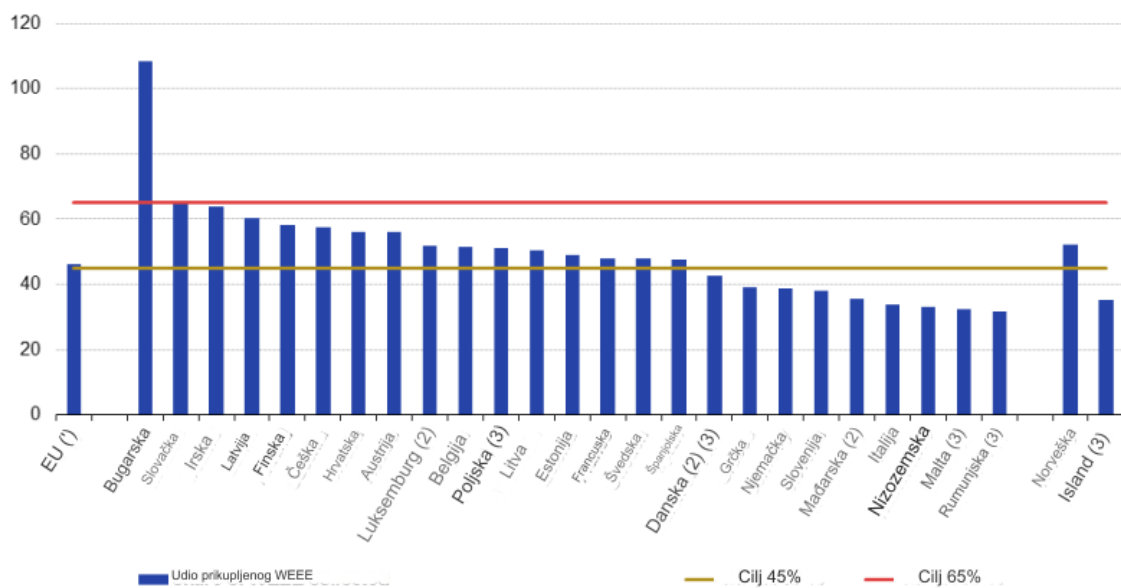
Na slici 2.6 prikazan je simbol WEEE Direktive. Crna linija ispod kontejnera na slici, ukazuje da je proizvod dospio na tržište, nakon što je zakon stupio na snagu. Proizvođači su odgovorni za označavanje svojih proizvoda simbolom prekriženog kontejnera na kotačima, kako se ne bi miješao s komunalnim otpadom.

Direktiva potiče smanjenje količine e-otpada koja završava na odlagalištima i promovira ponovnu upotrebu. Proizvođači moraju preuzeti odgovornost za zbrinjavanje proizvoda na kraju njegovog životnog ciklusa, a tu podrazumijeva financiranje sustava za reciklažu. Direktivom je postavljena meta za prikupljanje, recikliranje i obnovu svih vrsta električnog otpada sa minimalnim brojkom od četiri kilograma po glavi svake godine. Također, postavljeni su konkretni ciljevi za minimalne stope sakupljanja i reciklaže. Tvrtke su dužne prijaviti količine proizvedene, uvezene i reciklirane elektroničke opreme. Članice EU-a su dužne osigurati da se prikuplja najmanje 65% prosječne težine električne i elektronske opreme stavljene na tržište u prethodne tri godine. Nažalost, 2021. prikupljeni otpad iznosio je 46.2%, a 24 od 27 članica nisu došle do željene granice. Na slici 2.7 jasno se vidi koje članice su bile uspješne u prikupljanju otpadne električne i elektroničke opreme (Slovačka, Bugarska i Luksemburg). Broj dva pored imena države označava da se na nju ne primjenjuje standardna granica od 65%, već ona od 45%, a broj tri prikazuje podatke iz 2020. godine. [17] Direktiva raspisuje i ekološki prihvatljiv dizajn proizvoda koji omogućava lakšu reciklažu. Potiču se lako obnovljivi proizvodi dužeg životnog vijeka.

WEEE Direktiva je postavila deset različitih kategorija za razvrstavanje električnog i elektroničkog otpad, a one su:

- Veliki kućanski aparati
- Mali kućanski aparati
- IT i telekomunikacijska oprema
- Potrošačka oprema
- Osvjetljenje
- Električni i elektronički alati
- Igračke, rekreacijska i sportska oprema
- Medicinski uređaji
- Uređaji za nadzor i kontrolu
- Automatski distributeri

Ukupna stopa prikupljanja otpadne električne i elektroničke opreme (EEE), 2021
(% prosječne težine EEO stavljene na tržište u prethodne tri godine)



Slika 2.7 Stopa prikupljanja e-otpada za članice EU, 2021. godina[18]

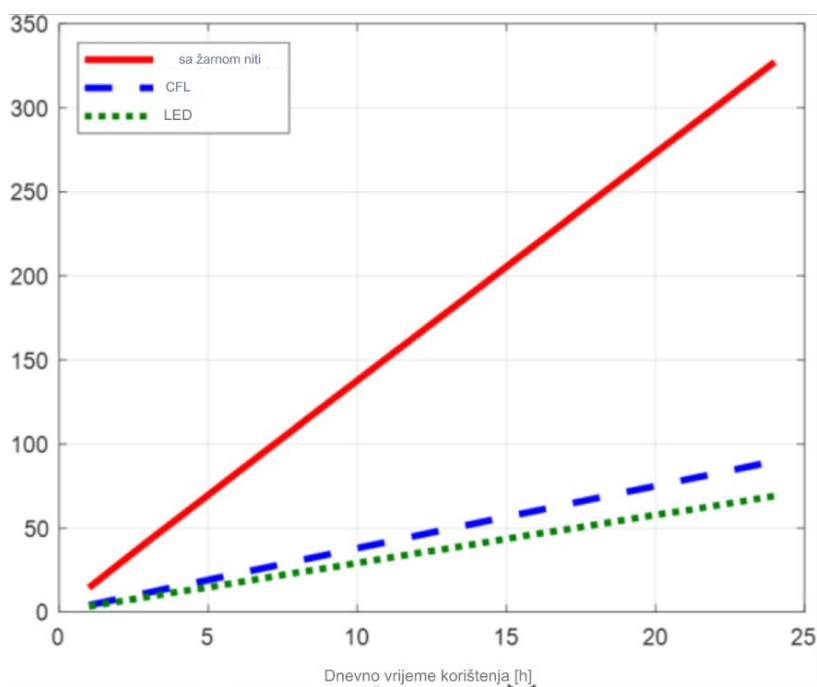
Direktiva o ograničenju upotrebe određenih opasnih tvari u električnoj i elektroničkoj opremi, (RoHS Direktiva), donesena je 2002. godine u Europskoj uniji. Spominjana je ranije kada se govorilo o bromiranim usporivačima gorenja. Upravo je s njom zabranjen spoj Penta-BDE, kao jedan od prvih takvih spojeva zabranjenih na svijetu. Direktiva ima za cilj smanjiti toksičnost elektroničkog otpada ograničavanjem upotrebe određenih opasnih materijala u elektroničkim proizvodima.

RoHS Direktiva ograničava upotrebu šest ključnih opasnih tvari. To su olovo (Pb), živa (Hg), kadmij (Cd), heksavalentni krom (Cr⁶⁺), polibromirani bifenili (PBB) i polibromirani difenil eteri (PBDE). Proizvodi koje sadrže ove tvari u koncentracijama višim od propisanih ne smiju se stavljati na EU tržište. Nadalje, proizvođači moraju osigurati da njihovi proizvodi zadovoljavaju RoHS standarde, a to uključuje testiranja i dobivanja certifikata. Njihova dužnost je i označavanje svojih proizvoda. Na slici 2.8 vide se dvije najvažnije oznake koje trebaju biti vidljive: CE oznaka koja predstavlja da proizvod zadovoljava sve relevantne zakonodavne mjere Europske unije i, već spomenuti, simbol prekriženog kontejnera na kotačima koji označava da električni i elektronički uređaji ne smiju biti odloženi s komunalnim otpadom.



Slika 2.8 Primjer CE oznake na punjaču mobilnog uređaja

Ova direktiva također potiče proizvođače da nađu nove tehnologije koje će koristiti manje štetne materijale. Unapređuje se proizvodni proces, koji uključuju dizajniranje proizvoda koji su lakše rastavljivi te koji sadrže manje opasnih tvari. Neki od njih su bezolovni lemovi, bazirani na leguri od srebra, bakra i cinka, te rasvjeta bez žive. LED tehnologija je primjer uspješne inovacije potaknute RoHS Direktivom. Ove žarulje ne koriste živu, te su dobra ekološka alternativa tradicionalnim žaruljama. Kao što je prikazano na slici 2.9, LED rasvjeta je i ekonomski isplativa. Slika prikazuje potrošnju (u američkim dolarima) obične električne žarulje sa žarnom niti (označene crvenom), štedne žarulje (označene plavom bojom) i svijetleće diode (označene zelenom bojom). Rezultati pokazuju da nakon pet sati, potrošnja obične žarulje iznosi 69,71 USD, štedne žarulje 19,15 USD, a LED žarulje 14,73 USD. [19]



Slika 2.9 Usporedba ekonomske isplativosti žarulja sa žarnom niti, štednih i LED žarulja[19]

Mnoge vlade i organizacije nude financijsku potporu za projekte koji istražuju ekološki prihvatljive tehnologije. Horizon 2020 je jedan takav vladin program koji financira istraživačke projekte usmjerene na održivi razvoj i inovacije u materijalima s budžetom od gotovo 80 milijardi eura. Hrvatska je od ovoga projekta dobila oko 56 milijuna eura, a u njegovoj provedbi je sudjelovalo 37 organizacija. [20]

Najpoznatija američka tvrtka Apple, bila je primorana adaptirati svoje proizvode i proizvodne procese kako bi osigurala pristup europskom tržištu. RoHS direktiva zabranjuje određene elemente, te je Apple morao provesti sveobuhvatne promjene u dizajnu i proizvodnji. Maknuli su olovo iz matičnih ploča te žive iz baterija i zaslona. Razvili su i implementirali nove materijale i komponente koji zadovoljavaju RoHS standarde. Na primjer, neki plastični materijali i boje koje se koriste u izradi uređaja su formulirani tako da ne sadrže regulirane opasne tvari.

Politika proširene odgovornosti proizvođača, skraćeno EPR, (eng. „Extended producer responsibility“) igra ključnu ulogu u održivom upravljanju otpadom, posebno u razvijenim zemljama koje su implementirale ove strategije kako bi se smanjila količina otpada i potaknula održivija praksa proizvodnje. Međutim, EPR politike nisu ograničene samo na razvijene zemlje, one se primjenjuju i u raznim zemljama u razvoju. Ova politika zahtijeva da proizvođači preuzmu odgovornost za životni ciklus svojih proizvoda, međutim razlikuje se od ostalih zakona po tome što uključuje i fazu nakon što proizvod dođe do kraja svog životnog vijeka.

To uključuje odgovornost za sakupljanje, recikliranje i ponovnu upotrebu proizvoda. Naravno, to povlači sa sobom troškove i organizaciju recikliranja otpada. EPR je stoga nailazio na dosta otpora. Teška implementacija najveći je problem politike proširene odgovornosti proizvođača. Da bi bili u skladu s ovom politikom, poduzeća moraju pokazati svoje napore prema postizanju modela kružnog gospodarstva, uključujući programe ponovne upotrebe proizvoda, otkupa i recikliranja. EPR pristupa praktičnije i prepoznaje da se najbolji rezultati mogu postići kada su proizvođači, a ne lokalne vlasti, odgovorni za trošak održivosti – od nabave sirovina do kraja životnog vijeka proizvoda i recikliranja. Zadaća proizvođača oduvijek je bila stvaranje proizvoda koje najbolje odgovara potrebama i željama kupaca. Što se događa s tim proizvodima kada ih kupci više ne koriste, proizvođača tradicionalno nije bilo briga. Mnoge tvrtke počinju s postojećim proizvodima i procesima te od svojih proizvođača zahtijevaju da pronađu načine za njihovu ekološku prilagodbu – to predstavlja linijski model proizvodnje. No, takav pristup ima ograničenu učinkovitost. Za postizanje potpuno kružnog gospodarstva i lanca opskrbe, proizvodi moraju biti osmišljeni tako da se od samog početka misli na njihovu ponovnu upotrebu.

2.5. Upravljanje e-otpadom u Hrvatskoj

Ulaskom u EU, Hrvatska je bila primorana prilagoditi se, već spomenutim direktivama koje opisuju pravilno zbrinjavanje e-otpada. U Republici Hrvatskoj, gospodarenje ovim vrstama otpada regulirano je nizom zakona, pravilnika i direktiva usklađenih s europskim pravnim okvirom.

Temeljni zakon koji regulira gospodarenje svim vrstama otpada, uključujući električni i elektronički otpad je Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/13, 73/17, 14/19, 98/19). On postavlja hijerarhiju upravljanja otpadom kao ključni princip za smanjenje njegovog štetnog utjecaja na okoliš. Prvi i najvažniji korak je prevencija nastanka otpada, kojoj je cilj smanjiti njegovu količinu, već u fazi dizajna proizvoda. Ukoliko prevencija nije moguća, sljedeći korak je priprema za ponovnu upotrebu. Ovaj korak uključuje postupke koji omogućuju ponovno korištenje proizvoda ili njegovih dijelova bez potrebe za daljnjom obradom. Na primjer, stari mobilni telefoni ili računala mogu se popraviti i ponovno staviti u upotrebu, umjesto da se odbace kao otpad. Nadalje, recikliranje i uporaba na druge načine su prioritet kada prevencija i ponovna upotreba nisu opcija. Kao posljednja opcija, zakon dopušta odlaganje otpada na kontroliranim odlagalištima. Ova opcija se koristi samo kada sve druge metode nisu moguće. Odlaganje e-otpada na odlagalištima se smatra krajnjim rješenjem zbog potencijalnog rizika od onečišćenja tla i podzemnih voda te emisija opasnih tvari poput olova, kadmija ili žive koje se mogu nalaziti u starim uređajima.

Drugi ključni propis za zbrinjavanje e-otpada u Hrvatskoj propisan je kroz Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 42/14, 48/14). Donesen je s ciljem da se osigura sigurno i učinkovito zbrinjavanje električnog i elektroničkog otpada, u skladu s ekološkim standardima i propisima EU. Pravilnik se temelji na načelima propisanim u, već spomenutoj, WEEE direktivi te tako prenosi te odredbe u državno zakonodavstvo i prilagođava ih domaćem tržištu.

Pravilnik precizira da e-otpad mora biti sakupljan odvojeno od ostalih vrsta otpada kako bi se omogućilo njegovo pravilno zbrinjavanje. Ovdje se uvode tzv. sakupljališta, odnosno posebno određena mjesta gdje građani mogu besplatno odložiti svoj otpad. Primjerice, stare perilice rublja, televizori, računala ili mobilni telefoni mogu se predati na ta sakupljališta, gdje se potom dalje preusmjeravaju na odgovarajuće centre za obradu.

Jedan od ključnih elemenata Pravilnika je koncept proširene odgovornosti proizvođača, koji je spomenut u prethodnom poglavlju. Ovaj koncept nalaže da proizvođači i uvoznici električne i elektroničke opreme snose odgovornost za zbrinjavanje otpada koji nastaje od njihovih proizvoda. Distributeri električne i elektroničke opreme, poput trgovina i maloprodajnih lanaca, također imaju svoje obveze prema Pravilniku. Kada kupac kupuje novi uređaj, distributer je dužan prihvatiti stari uređaj iste vrste na ekološki prihvatljiv način, bez dodatnog troška za kupca. Implementacijom ovih načela u svakodnevnoj praksi smanjuju se količine nepropisno zbrinutog otpada i njegova nekontrolirana proizvodnja u Hrvatskoj.

Pravilnikom su propisani i zadani ciljevi koje je potrebno postići kako bi se učinkovito gospodarilo e-otpadom. Člankom 4 Pravilnika o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom (NN 48/14), od 2019. godine, cilj odvojenog sakupljanja je postizanje stope od 65% kada se izračunava na temelju ukupne mase e-otpada sakupljenog iz kućanstava i od registriranih osoba. Nakon toga se ta masa uspoređuje s prosječnom masom električne i elektroničke opreme stavljene na tržište u posljednje tri godine.[41] U tom slučaju, ako je prosječna masa nove opreme na tržištu u prethodne 3 godine 1000 tona, cilj je prikupiti barem 650 tona otpada te godine.

3. STRATEGIJE ZA SMANJENJE NEGATIVNIH UČINAKA E-OTPADA

Današnji problem glomazne količine e-otpada u svijetu je toliko velik da je teško uopće zamisliti njegovo rješenje. Spomenute organizacije su veliki borci u njegovom suzbijanju, dok su regulative i zakoni pomogli pri kontroliranju ljudske pohlepe i dali novu nadu planetu.

Kako bi se ova borba obilježila izabran je Međunarodni dan borbe protiv e-otpada koji se obilježava 14. listopada svake godine. Ključni element ovog dana je globalna suradnja. Problem e-otpada nije ograničen granicama pojedinih država, on je globalni izazov koji zahtijeva koordinirane napore diljem svijeta. Međunarodne inicijative omogućavaju razmjenu znanja, tehnologija i najboljih praksi između različitih zemalja i organizacija. Također, ovaj dan pomaže u usklađivanju i jačanju zakonskih regulativa koje reguliraju upravljanje e-otpadom na međunarodnoj razini.

Međunarodni dan borbe protiv e-otpada podsjeća da globalna suradnja pruža najbolje prijedloge u ograničavanju sve većih količina ovog tipa otpada. Posvećenost i zajednički rad su ključni koraci za što bolja rješenja i očuvanje planeta.

3.1. Produženje životnog vijeka proizvoda

Svi proizvodi imaju svoj životni vijek. Nakon nekog vremena, takvim stvarima istekne rok trajanja i traži im se zamjena. Međutim, kod e-otpada to predstavlja puno veći problem zbog, već spomenutog, kobnog utjecaja na svijet. Proizvođači bi trebali dizajnirati elektroničke uređaje tako da traju duže, uz mogućnost lakše popravke i nadogradnje. Ovakav pristup ne samo da smanjuje količinu e-otpada, već također pridonosi održivijem korištenju resursa i smanjenju ukupnih troškova za potrošače.

Jedan od ključnih elemenata u produženju životnog vijeka proizvoda je modularni dizajn. On predstavlja pristup dizajnu proizvoda gdje je proizvod sastavljen od nekoliko odvojenih, zamjenjivih modula ili komponenti, koji se mogu lako zamijeniti, nadograditi ili popraviti bez potrebe za zamjenom cijelog uređaja. Svi moduli se mogu lako ukloniti i zamijeniti bez potrebe za specijaliziranim alatima i vještinama, dok omogućavaju korisnicima da nadgrade određene dijelove uređaja. Na slici 3.1 se vidi Fairphone 4, pametni telefon poznat po svojoj modularnosti, koji se ponosi svojim dizajnom koji pruža dug životni vijek. Prikazane su odvojene komponente baterije, kamere, zaslona i glavne ploče, koja uključuje CPU.[22]



Slika 3.1 Modularni dizajn Fairphone-a 4[22]

Drugi veliki čimbenik pri produženju trajanja proizvoda je izdržljivost i kvaliteta izrade. Odnosi se na sposobnost uređaja da izdrži svakodnevno korištenje, fizička opterećenja i potencijalno teške uvjete bez značajnih kvarova ili smanjenja performansi.

Pod izdržljivošću se misli na sposobnost uređaja da podnese vanjske utjecaje, a i dalje funkcionira optimalno tijekom dužeg razdoblja. Tu spadaju otpornost na udarce, vodu, prašinu te otpornost na ekstremne temperature. Moderni pametni telefoni imaju certifikate vodootpornosti, a mnogi uređaji imaju ojačana kućišta i unutarnje komponente koje su otpornije na mehanička oštećenja. Industrijski senzori su dizajnirani za rad u ekstremnim uvjetima i mogu izdržati širok raspon temperatura.

Kvaliteta izrade podrazumijeva materijale korištene u proizvodnji uređaja. Trajni materijali poput aluminijske i kaljenog stakla povećavaju otpornost uređaja tijekom svakodnevnog trošenja. Također, ovi materijali su dobar izbor za reciklažu jer se cijela ulazna sirovina vraća u obliku nove reciklirane. Na primjer, iPhone 12 i kasniji modeli koriste Ceramic Shield staklo koje je otpornije na udarce i ogrebotine. Pruža četiri puta bolju otpornost na padove u usporedbi s prethodnim modelima. Osim toga, modeli imaju aluminijske okvire koji povećavaju izdržljivost na trošenje.[23] Ovo je dobar primjer uređaja koji je kombiniranjem kvalitetnih materijala s dobrim dizajnom, smanjio potrebu za čestim popravcima i produžio svoj životni vijek.

Dobar primjer električnog uređaja unaprijeđenog po pitanju produženja vijeka trajanja je perilica rublja. U posljednjim godinama, mnogi su proizvođači počeli implementirati promjene u dizajnu i materijalu perilica kako bi povećali trajnost i smanjili potrebu za čestim zamjenama.

Najvažnija promjena koja se počela primjenjivati je korištenje inverter motora. Inverter motori imaju manje pokretnih dijelova i ne podliježu istom stupnju trošenja, što znači da mogu raditi duže bez potrebe za popravkom ili zamjenom. Također, moderni dizajni perilica omogućuju lakši pristup ključnim dijelovima, olakšavajući popravke i zamjenu dijelova kada je to potrebno, čime se dodatno produžava vijek trajanja uređaja.

Tvrtka Bosch već godinama implementira inverter motore u svoje perilice rublja, a poznati su po svojim EcoSilence Drive motorima. Ova tehnologija temelji se na motoru bez četkica, što je vrsta elektromotora koji ne koristi mehaničke četkice za prijenos električne energije, već kontrolira protok pomoću senzora i elektronike. Prednosti ovog dizajna su:

- Manje trenja i trošenja - budući da nema četkica koje bi se trošile, motor bez četkica ima duži vijek trajanja i zahtijeva manje održavanja.
- Tiši rad - zbog nedostatka trenja uzrokovanog četkicama, ovi motori su znatno tiši u radu, što je posebno korisno u kućanskim uređajima poput perilica rublja.
- Energetska učinkovitost - motori bez četkica su obično energetski učinkovitiji jer mogu precizno kontrolirati brzinu i snagu, prilagođavajući se potrebama uređaja.
- Bolje performanse - ovi motori pružaju veću snagu i precizniju kontrolu nad rotacijom, što može poboljšati učinkovitost uređaja.

Zahvaljujući ovom inovativnom dizajnu, Bosch-ov EcoSilence Drive je znatno efikasniji od običnih motora. Razlika u učinkovitosti je čak 35%, što rezultira nižim troškovima struje i manjim emisijama CO_2 . Nadalje, razina buke je smanjena za 25% u usporedbi sa standardnim modelima. Sve ove prednosti čine EcoSilence Drive motor značajno boljim izborom u odnosu na standardne motore s četkicama, osobito u pogledu trajanja proizvoda.[40]

Proizvođači trebaju omogućiti dugotrajnu dostupnost rezervnih dijelova kroz nekoliko godina nakon šta su prestali s proizvodnjom modela. Tako korisnici mogu popravljati svoje uređaje umjesto da ih zamjenjuju. Također, važno je da postoji dobra tehnička podrška koja će omogućiti lako pronalaženje potrebnih informacija i dijelova za popravke. Mnoge uspješne tvrtke imaju servisne centre i mreže za popravke gdje se nude zamjena dijelova i tehnička podrška.

3.2. Učinkoviti sustavi za prikupljanje e-otpada

Obzirom da je e-otpad danas klasificiran kao opasni otpad, on se iz kućanstava mora odvojiti od komunalnog ostatka. Već je spomenuto da ljudi nemarno bacaju svoj e-otpad s drugim, te tako narušavaju napore za reciklažu i obnovu sirovina. Stoga je potrebno razviti učinkovite sustave prikupljanja koji će omogućiti jednostavno i sigurno odlaganje električnog i elektroničkog otpada od strane kućanstava i gospodarstava. Uspostava takvih sustava uključuje nekoliko ključnih koraka:

- Lako dostupne lokacije za odlaganje
- Programi preuzimanja na kućnom pragu
- Inicijative za povrat stare opreme

Postavljanje kontejnera za e-otpad na lokacije poput trgovina elektronikom, supermarketeta, škola i javnih ustanova potaknuti će potrošače na pravilno odlaganje. Ove lokacije su pristupačne građanima, a to se pokazalo kao važan čimbenik u povećanju količine pravilno prikupljenog otpada. Na primjer, ako potrošač zna da se pored supermarketeta nalazi kontejner za e-otpad, on će sljedeći put kada bude išao u supermarket, uzeti svoj e-otpad i pravilno ga baciti.



Slika 3.2 Rozi kontejner za sakupljanje malog e-otpada[25]

U Ujedinjenom Kraljevstvu, veliki lanac supermarketa Tesco je uveo kontejnere za prikupljanje malih elektroničkih uređaja poput mobilnih telefona, punjača i baterija. Ovo je dovelo do dobrih rezultata jer imaju veliki promet kupaca, a s time i veću količinu sakupljenog otpada. Na slici 3.2 prikazani su kontejneri koje je Tesco uveo. Korištenje ovih, žarko rozih, kontejnera dovelo je do devet puta veće količine prikupljenih starih elektronskih uređaja, koji bi inače završio u standardnim zelenim kontejnerima.[25]

Većina ljudi danas ne shvaća recikliranje dovoljno ozbiljno. Međutim, oni nisu protiv njegovog implementiranja. Neke zemlje nude usluge preuzimanja e-otpada na kućnom pragu, što izbacuje potrebu za odlaženje u reciklažne centre. New York je 2013. godine uveo e-cycleNYC, program za reciklažu elektroničkog otpada. Program funkcionira na način da stanovnici stambenih zgrada svoj e-otpad odlažu u posebne kontejnere postavljene unutar njihovih zgrada. Gradska agencija za sanitarne usluge redovno prikuplja i odvozi otpad, a on se u reciklažnim centrima razvrstava, obrađuje i reciklira.

Otpad koji prihvaća e-cycleNYC:

- Televizori
- Računala i prijenosna računala
- Monitori
- Pisači
- Mobilni uređaji
- Periferni uređaji (tipkovnice, miševi i kablovi)

U Australiji, primjer programa preuzimanja e-otpada na kućnom pragu je TechCollect. Kao i e-cycleNYC, program je osmišljen kako bi građanima olakšao pravilno odlaganje starih elektroničkih uređaja. Građani mogu putem internetske stranice TechCollect-a zakazati preuzimanje e-otpada iz svojih domova. Usluga je besplatna za potrošače, a pokriva većinu velikih gradova i urbanih područja u Australiji. Nakon zakazivanja, ovlaštene sakupljači dolaze na adresu korisnika i preuzimaju e-otpad. Prikupljeni uređaji se zatim prevoze do certificiranih reciklažnih centara, gdje se obrađuju na ekološki prihvatljiv način. TechCollect omogućava građanima jednostavan način da se riješe svojeg e-otpada, a uz to i podižu svijest o važnosti recikliranja.

Još jednu važnu inicijativu kod učinkovitih sustava za prikupljanje e-otpada, predstavlja mogućnost povrata stare opreme. Potrošači to shvaćaju kao jednostavan i motivirajući način da se

pravilno riješe svojih starih elektroničkih uređaja. Ovi programi ne samo da olakšavaju proces reciklaže, već pružaju korisnicima financijske poticaje i ekološku svijest.

Apple Trade In potiče korisnike da zamijene svoje stare uređaje za kredit pri kupnji novog proizvoda. Na njihovoj stranici može se provjeriti vrijednost starog uređaja unosom informacija poput stanja i modela. Ako je korisnik zadovoljan procijenjenom vrijednosti, može odnijeti uređaj u Apple trgovinu, gdje dobiva kredit ili poklon-karticu koja se može iskoristiti u njihovoj trgovini.

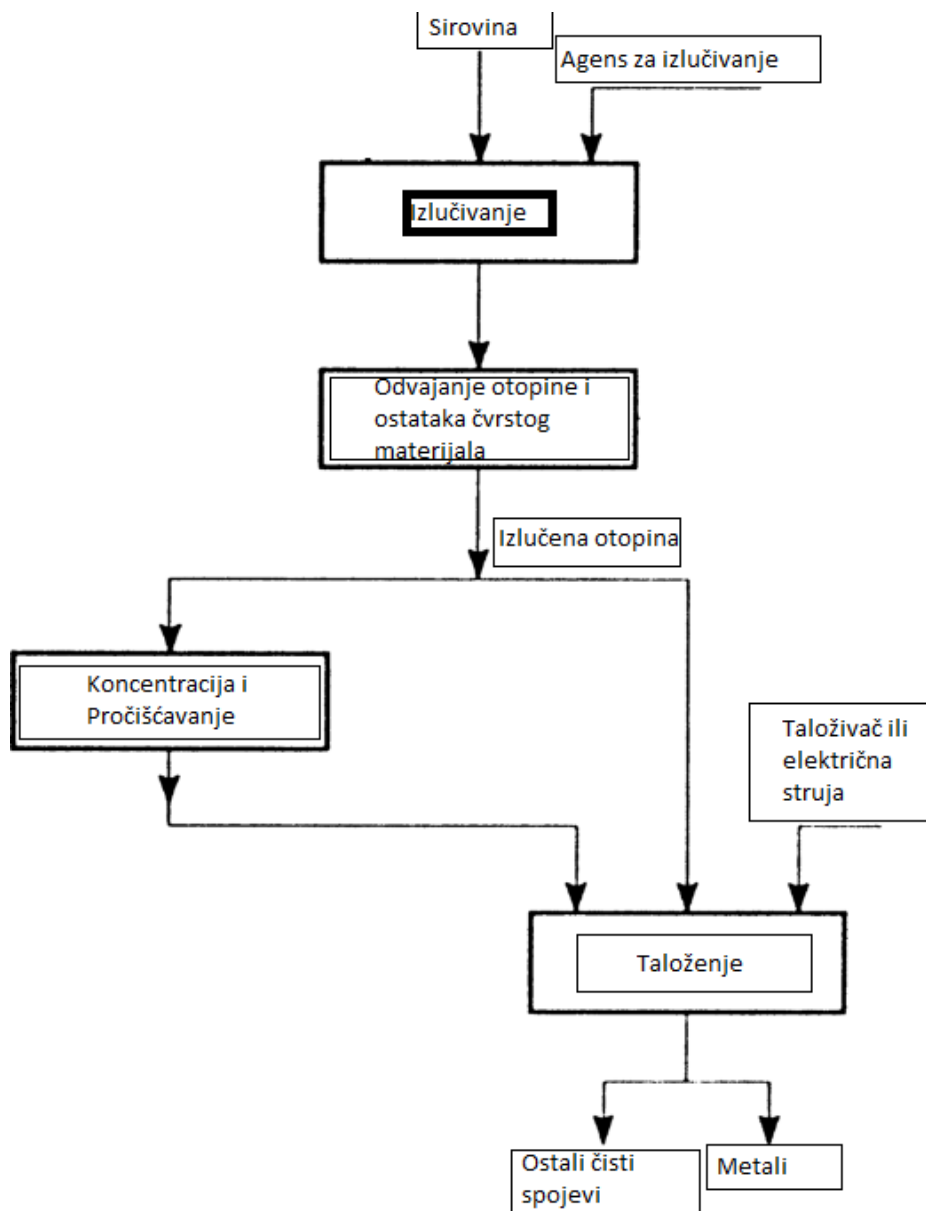
3.3. Inovacije u reciklažnim tehnologijama

Kako količina nezbrinutog e-otpada raste iz godine u godinu, nije dovoljno samo stvarati uređaje koji traju duže i razvijati nove sustave za efikasno prikupljanje. Vjerojatno najveća razlika može se napraviti u moderniziranju tehnologija recikliranja. Reciklaža mora napredovati kako bi se nosila sa složenošću i volumenom e-otpada. Moderne metode recikliranja e-otpada uključuju pažljivu ekstrakciju metala i drugih sirovina iz uređaja.

3.3.1. Hidrometalurške metode

Hidrometalurške metode koriste vodene otopine za izdvajanje vrijednih materijala iz e-otpada. Ove metode su ekološki prihvatljivije od tradicionalnih pirometalurških metoda, jer smanjuju emisije i energiju potrebnu za proces. Glavna prednost je u ekološkoj prihvatljivosti i smanjenoj emisiji štetnih plinova i čestica. Također, proces se može odvijati na niskim temperaturama, smanjujući troškove energije. U pravilu se proces može podijeliti na tri različita dijela: izlučivanje, koncentracija i pročišćavanje otopine te obnova metala.[26]

Na slici 3.3. prikazan je pojednostavljeni prikaz hidrometalurškog procesa. Izlučivanje uključuje korištenje neke vrste vodene otopine da bi se odvojio metal od elemenata koje sadrže metalne komponente. Postoji više načina za proces izlučivanja. Nakon odvajanja izlučene otopine od ostatka čvrstog materijala, ona, ako je nužno, prolazi kroz pročišćavanje i koncentraciju otopine, gdje se obnavljaju izgubljeni metalni ioni. Ovi procesi služe da bi se dobila čista otopina iz koje se vrijednosti metala mogu efektivno obnoviti. Zadnji proces je ekstrakcija metala koja uključuje taloženje. To se ostvaruje ili strujnim postupkom ili dodavanjem određenog taloživača.[27]



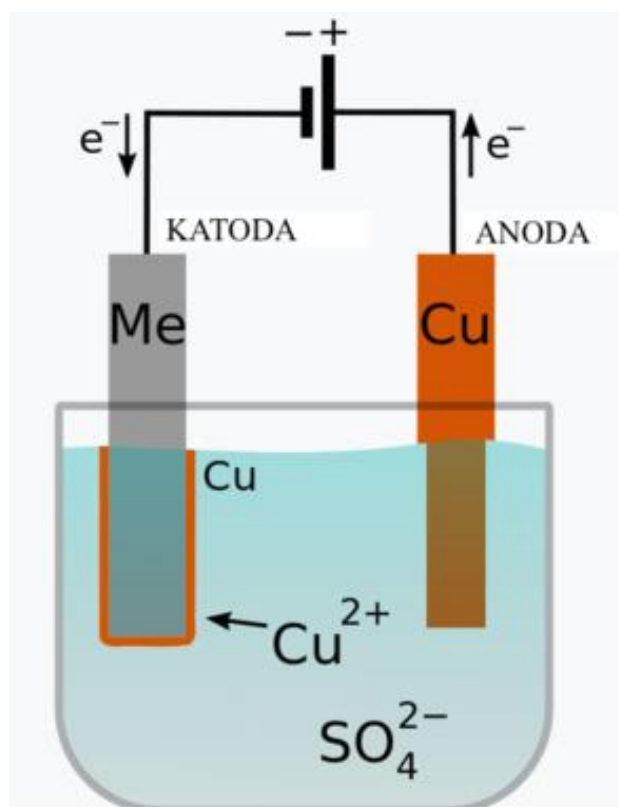
Slika 3.3 Pojednostavljen prikaz hidrometalurškog procesa[27]

Jedan od primjera primjene hidrometalurških metoda u reciklaži je izdvajanje zlata iz matičnih ploča elektroničkih uređaja. Matične ploče sadrže male količine zlata koje se koriste za poboljšanje električnih veza i signalne učinkovitosti. Odvija se proces sličan onome prikazanom na slici 3.3, ali kao agens za izlučivanje se koristi bakterija koja pomaže u oslobađanju zlata iz spojeva. Ovaj postupak omogućava ekstrakciju zlata s manjim utjecajem na okoliš u usporedbi s tradicionalnim metodama koje koriste visoke temperature i toksične kemikalije.

3.3.2. Elektrometalurške metode

Za razliku od hidrometalurških metoda, ove metode koriste električne struje za izdvajanje metala iz otopina. Također su nadogradnja na pirometalurške metode, koje uključuju visoke temperature i generiraju više toksičnog nusproizvoda. Proces uključuje električnu energiju za proizvodnju i dobivanje metala pomoću procesa elektrolize. To je proces u kojem se kemijska reakcija pokreće prolaskom električne struje kroz elektrolit, tvar koja sadrži slobodne ione i može provoditi električnu struju. Elektrometalurgija općenito se smatra posljednjom i završnom fazom proizvodnje i ekstrakcije metala.

Slika 3.4 prikazuje jednostavniji primjer elektrometalurške metode, proces elektroplatiranja bakra. Elektroplatiranje je proces u kojem se tanki sloj jednog metala nanosi na površinu drugog metalnog objekta pomoću elektrolize. Na početku se priprema otopina elektrolita s dodatkom kiseline. Dodaju se pozitivno nabijena anoda od čistog bakra i negativno nabijena katoda na kojoj će se taložiti bakar. Kada struja prođe kroz otopinu između anode i katode, bakreni ioni iz anode migriraju i talože se na katodi. Nakon određenog vremena, se dobije sloj bakra na katodi. Cilj ovog procesa je precizno i učinkovito nanošenje bakra, čime se poboljšavaju fizikalna i kemijska svojstva obrađenih objekata. [28]



Slika 3.4 Elektroplatiranje bakra(Cu) s metalnom katodom[28]

3.4. Ekološki dizajn

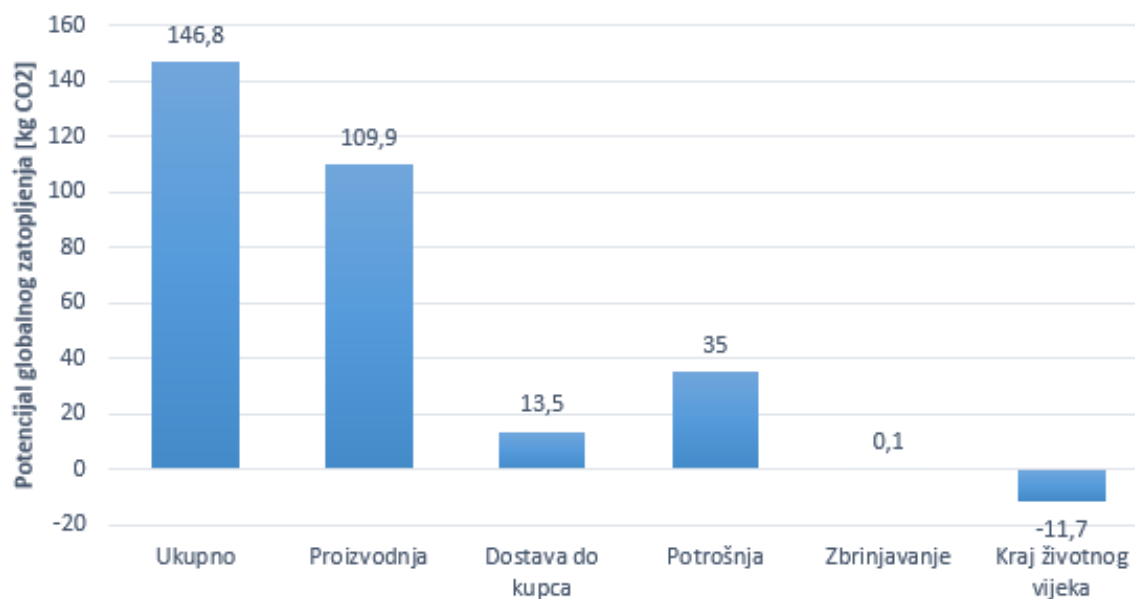
Svake godine gospodarstva diljem svijeta ulažu ogromne količine novca u promoviranje ekološki osviještenog dizajna elektroničke opreme. Takav dizajn je usmjeren na stvaranje proizvoda koji minimaliziraju negativan utjecaj na okoliš kroz cijeli njihov životni ciklus. Jedan aspekt ovakvog pristupa je dizajn za reciklažu. On podrazumijeva proizvode koji se lako mogu rastaviti i reciklirati na kraju svog životnog vijeka. To uključuje jednostavnu demontažu i, već spomenutu, modularnost komponenata. Cilj je dizajnirati proizvode koji ne zahtijevaju specijalne alate za rastavljanje.

Upotreba manje toksičnih materijala je još jedan aspekt koji treba imati na umu pri dizajniranju ekološki prihvatljivog proizvoda. U uvodu je spomenuto nekoliko štetnih metala i supstanci koje sadrži e-otpad, a ekološki dizajn uključuje odabir materijala koji su manje štetni za okoliš i ljudsko zdravlje. To podrazumijeva korištenje materijala koji se mogu prirodno razgraditi bez štetnih učinaka na okoliš i izbjegavanje, već spomenutih, opasnih kemikalija poput olova, žive i kadmija koji su svi jako štetni za Zemljin ekosustav.

Tvrtka Dell je 2019. godine razvila svoj Dell Latitude 7300 model prijenosnog računala s kojim je uvela brojne inicijative u smanjenju toksičnih materijala. U toj seriji, Dell je prvi puta koristio recikliranu plastiku iz oceana za izradu dijelova svojih prijenosnih računala. Ovime ne samo da se smanjuje plastični otpad u oceanima, nego se smanjuje potreba za proizvodnjom nove plastike. Spomenute kemikalije poput bromiranih usporivača plamena i PVC-a zamijenjene su manje štetnim alternativama poput termoplastičnih elastomera koji ne sadrže klor i koriste se kod kabela i zaštitnih slojeva. Također, koriste fosforne usporivače plamena koji su manje skloni akumulaciji u okolišu. [29]

Slika 3.5 prikazuje potencijalno globalno zatopljenje preko različitih faza životnog ciklusa Dell Latitude 7300 prijenosnog računala u Europskoj Uniji. Mjerenje se izvodi u kilogramima otpuštenog CO_2 . Analiza rezultata pokazuje da glavni dio utjecaja – otprilike 85% proizlazi iz proizvodnje i faze korištenja Dell Latitude 7300. Zbrinjavanje ima minimalan doprinos emisiji, a kraj životnog vijeka doprinosi smanjenju od oko 7% u odnosu na ukupnu emisiju CO_2 tijekom životnog vijeka proizvoda. Rezultati pokazuju da proizvodnja prijenosnog računala ima velik utjecaj na okoliš tijekom njegovog životnog vijeka, osobito zato što komponente relevantne za fazu korištenja koriste mnogo energije. Dell je ovim modelom pokazao da tehnologija može biti dizajnirana s minimalnim negativnim utjecajem na okoliš, bez žrtvovanja performansi ili kvalitete proizvoda.[29]

Potencijal globalnog zatopljenja Dell Latitude 7300 serije u 100 godina



Slika 3.5 Doprinos različitih faza životnog ciklusa globalnom potencijalu zagrijavanja Dell Latitude 7300 serije u EU[29]

3.5. Obrazovanje i osvještavanje javnosti

Predzadnja strategija koja će se obraditi u ovom poglavlju, može donijeti najbolje rezultate u suzbijanju nemarnog odlaganja e-otpada. Kada bi ljudi uvidjeli koliko je situacija ozbiljna, velike su šanse da bi se rezultati poboljšali preko noći. Zato je obrazovanje i osvještavanje javnosti izuzetno važan korak u borbi protiv negativnog utjecaja e-otpada. Razumijevanje utjecaja e-otpada na okoliš i zdravlje može motivirati ljude da promjene ponašanje i prihvate odgovornije metode zbrinjavanja.

Uvođenje edukativnih inicijativa i kampanja pokazalo se kao efektivan način obrazovanja potrošača i zajednica. Distribuiranje brošura i vodiča koji objašnjavaju šta je e-otpad, zašto ga je važno pravilno zbrinjavati, dobra je strategija za obrazovanje ljudi. Također, korištenje plakata i videa koji prikazuju proces reciklaže i štetne posljedice nepravilnog odlaganja. U moderno vrijeme, najčešće se koriste web stranice i aplikacije za širenje informacija i poticanje korisnika na pravilno odlaganje otpada.

Što ranije ljudi počnu nešto učiti, to će prije te informacije biti integrirane u njihov način života. Zato je dobra praksa imati ovakve obrazovne programe u školama jer bi oni pomogli u izgradnji ekološke svijesti od najranije dobi. To može uključivati organiziranje radionica i seminara za

učenike i nastavnike o e-otpadu, organiziranje školskih projekata koji se bave temama poput reciklaže. Škole mogu ući u suradnju s lokanim organizacijama za pružanje podrške pri implementaciji ovakvog programa. Kroz kampanje za osvještavanje i suradnju s obrazovnim institucijama, moguće je postići značajne promjene u ponašanju potrošača i zajednica. Primjeri uspješnih kampanja i obrazovnih programa pokazuju kako ciljane i dobro osmišljene inicijative mogu utjecati na podizanje svijesti i promicanje održivosti.

3.6. Promjene u dostupnosti reciklažnih dvorišta

Glomaznost električnih uređaja stvara ozbiljne probleme kod njihovog adekvatnog odlaganja. Zbog toga je ključno razviti strategije i infrastrukturu koja omogućuje efikasno prikupljanje, transport, i reciklažu tih velikih uređaja. Reciklažna dvorišta su posebno uređeni prostori gdje građani mogu odložiti različite vrste otpada koji se ne smije odlagati u uobičajene kante za otpad.

Najvažniji dio ove promjene u organizaciji je povećanje dostupnosti reciklažnih dvorišta. Primjerice, uvođenjem dodatnih lokacija u gusto naseljenim područjima, ili proširenjem radnog vremena kako bi obuhvatilo vikende i večernje sate, reciklažna dvorišta mogu postati dostupnija većem broju ljudi.

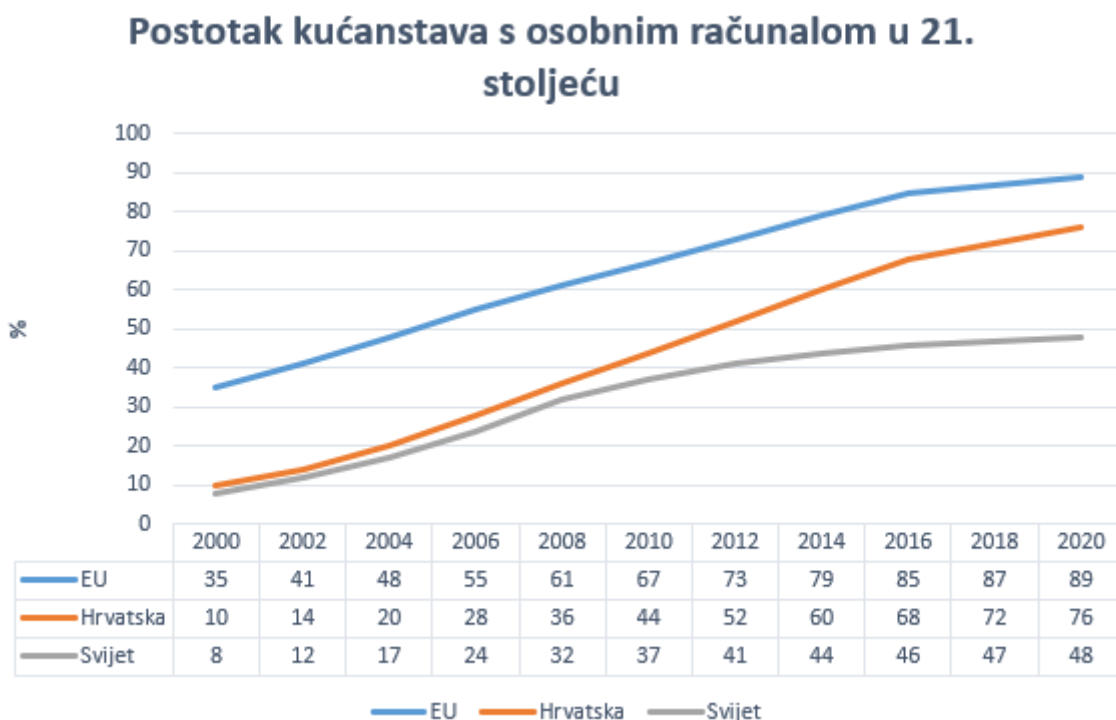
Primjer uspješne izvedbe može se naći u Kopenhagenu gdje je mreža reciklažnih dvorišta izuzetno dobro razvijena. Mnoga rade i do 20 sati te su besplatna za sve građane. To potiče stanovnike da se koriste ovim uslugama umjesto da nepropisno odlažu električni otpad. Organizirano je na način da se električki otpad koji nije prikladan za reciklažu mora odložiti u posebni spremnik. Na stranicama za upravljanje otpadom u Kopenhagenu, može se vidjeti točno vrijeme pražnjenja spremnika. Ako je otpad prevelik za spremnik, mora se razvrstati kao "velika elektronika", te se onda može putem iste stranice naručiti odgovorna osoba koja će ga prevesti na reciklažno dvorište, bez troška.

4. EKOLOŠKE PROMJENE U DIZAJNU I PROIZVODNJI RAČUNALA

U modernom svijetu, računala su toliko česta da se ne mogu nabrojati osobe i poznanici da nemaju isto na prste jedne ruke. Ona su postala prijeko potrebna za poslove koji se obavljaju i za svakodnevni život, od komunikacije i obrazovanja do zabave i kupovine. Međutim, s naglim razvojem tehnologije, računala brzo zastarijevaju, što dovodi do značajnog povećanja računalnog otpada.

Danas više od 1,3 milijarde ljudi posjeduje računalo, dok se procjenjuje da je u svijetu u uporabi oko dvije milijarde računala.[30] Prosječno računalo troši oko 700 kWh godišnje. Uspoređujući to s nekim drugim elektronskim uređajima, poput hladnjaka, koji troši oko 500 kWh godišnje, vidi se koliko značajnu ulogu osobna računala imaju u ukupnoj potrošnji energije. Iako se često ne razmišlja o njima kao velikim potrošačima energije, njihov ukupni energetska otisak postaje značajan kada se uzme u obzir globalna skala. Računalni otpad prate svi ostali problemi koje prate e-otpad u cijelosti. Također, često završava na odlagalištima ili u zemljama u razvoju, gdje se nepropisno reciklira, uzrokujući ozbiljne ekološke i zdravstvene probleme.

Na svijetu skoro pola kućanstava ima neku vrstu računala. Taj prosjek je puno veći kada se ubroje samo razvijene zemlje. Hrvatska je u zadnjih 15 godina doživjela porast kućanstava s osobnim računalom, pa i cijela EU, kao što je vidljivo na slici 4.1.[31]



Slika 4.1 Porast broja osobnih računala u kućanstvima u svijetu, EU i Hrvatskoj[30][31]

Kao što je vidljivo iz grafa, porast broja osobnih računala na svijetu zastajkuje za porastom u EU i Hrvatskoj. To je indikator da, unatoč rastu, postoji očit digitalni rascjep između razvijenih i manje razvijenih regija. Regije s nižim BDP-om imaju manji postotak kućanstava s računalom, što ukazuje na razliku u digitalnoj infrastrukturi.

4.1. Sastav računalnog otpada

Računalni otpad predstavlja sve komponente vezane uz funkciju jednog računala. To uključuje kućište, matične ploču, grafičku karticu, procesor, a i periferne uređaje poput tipkovnice, miša i monitora. Svi ovi dijelovi zajedno čine računalo, a kada više nisu u funkciji ili su zastarjeli, postaju dio e-otpada.

Metali su sastavni dio računala i vrijedna sirovina na kojoj je izgrađena čitava industrija elektronskih uređaja. Računalni sustavi sadrže različite metale prisutne u različitim komponentama.

Bakar se koristi u procesorima i matičnim pločama zbog svoje visoke električne i toplinske vodljivosti. Zbog drugog razloga, često je i izbor u komponentama poput hladnjaka, koji pomažu u održavanju optimalne temperature računala. Lako se obrađuje i oblikuje što ga čini učinkovitim za dizajn složenih sklopova na matičnoj ploči. Aluminijski se koristi za izradu kućišta i ventilatora zbog svoje lagane mase i dobre izdržljivosti. Također se lako obrađuje i otporan je na koroziju. To je važno za dulji životni vijek kućišta. Zlato je jedan od najboljih električnih vodiča i koristi se za visoko precizne elektroničke komponente. Izuzetno je otporno na koroziju te se koristi za premazivanje kontakata na procesorima i RAM modulima. Srebro je još bolji vodič električne struje, iako nema tu otpornost zlata. Najčešće se koristi kada je potrebno kombinirati visoke performanse s nižim troškovima u odnosu na zlato.

Plastika je ključan materijal u modernim računalima, međutim i jedan od najvećih zagađivača okoliša u svijetu. Ipak, ima mnogo korisnih svojstava što je čini nezamjenjivom u izgradnji računala. Fleksibilna je, i može se lako oblikovati u različite oblike i veličine što pomaže u izradi kućišta. Lakša je od aluminijske čime se smanjuje ukupna težina te je otporna na udarce i lomove, što je čini dobrim izborom za zaštitu unutarnjih komponenti. Tipkovnice i miševi izrađeni su od plastike zbog njene dugovječnosti i izdržljivosti, a koristi se i za izradu raznih poklopaca i zaštita. Služi kao izolator kod prekidača i drugih električnih sklopova te tako osigurava sigurnost i jeftinija je od metala, što omogućuje proizvođačima da snize troškove proizvodnje i učine proizvode pristupačnijima.

Staklo je važan materijal u izradi monitora i ekrana, a različita vrste se koriste u CRT, LCD i LED ekranima. CRT ekrani se više ne koriste u toj mjeri, ali i dalje je prisutan kod starijih modela. Oni koriste olovo u staklenom sloju ekrana koje štiti korisnika od rendgenske zrake i poboljšava kvalitetu slike. Olovo je metal koji predstavlja ozbiljan ekološki problem. Moderni LCD i LED ekrani su lakši i tanji, što olakšava njihovu reciklažu.

4.2. Promjene u dizajnu

Napredak tehnologije često prati i nužnost za ekološki prihvatljivijim dizajnom. Dizajn računala, iz godine u godinu, teži novim načinima za smanjenje CO_2 emisija. Iako su se računalni uređaji značajno unaprijedili u pogledu performansi i funkcionalnosti, proizvođači se suočavaju s izazovima kako bi osigurali da ovi uređaji budu održivi. Ranije spomenuti, Dell Latitude 7300 model prijenosnog računala dobar je primjer kako velike tvrtke mogu napraviti ekološki prihvatljiv proizvod, bez odraza na njegove performanse.

Modularni dizajn kod računala, kao i kod druge elektronske opreme, uključuje lako zamjenjive komponente. Računala koriste modularnost kako bi se prilagodila različitim zahtjevima potrošača te napravila proces proizvodnje adaptivnijim na promjene te su jedan od najboljih primjera modularnog dizajna. Moduli kod računala su procesori, matične ploče, grafičke kartice, tvrdi diskovi i dr. Svi ovi dijelovi se mogu lako zamijeniti ukoliko ih korisnik zamijeni dijelovima koji podržavaju isto sučelje. [32]

Korištenje napajanja s visokim stupnjem učinkovitosti, poput onih s 80 PLUS certifikatom, smanjuje potrošnju energije i emisije CO_2 . 80 PLUS certifikacija osigurava da napajanja pretvaraju barem 80% energije iz električne mreže u korisnu energiju za računalo, smanjujući gubitke energije u obliku topline. Napajanja s 80 PLUS certifikatom dolaze u različitim razinama učinkovitosti, a to su:

- 80 PLUS Bronze: 82-85% učinkovitost
- 80 PLUS Silver: 85-88% učinkovitost
- 80 PLUS Gold: 87-90% učinkovitost
- 80 PLUS Platinum: 90-94% učinkovitost
- 80 PLUS Titanium: 92-96% učinkovitost

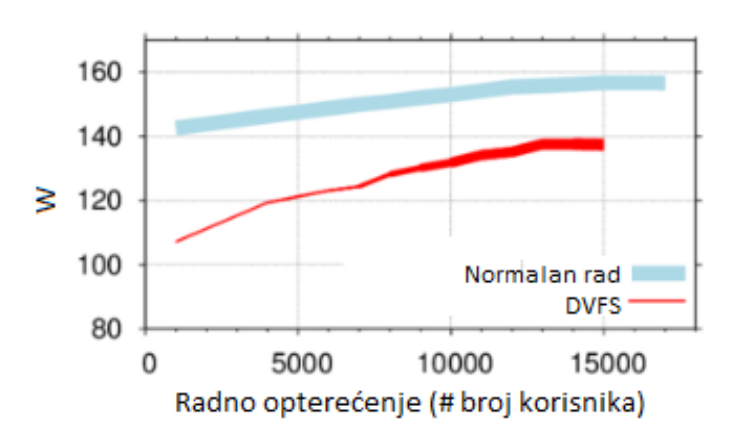
Kod sastava računalnog otpada spominjale su se različite vrste ekrana koje se koriste kod monitora. Prvotno su to bili CRT ekrani, međutim LED i LCD ekrani su jedini pravi izbor u današnjem svijetu. No i tu postoji bolji odabir za očuvanje okoliša. Korištenje LED ekrana umjesto LCD ekrana s fluorescentnim pozadinskim osvjetljenjem smanjuje potrošnju energije. Također, LED tehnologija omogućava preciznije podešavanje svjetline i kontrasta te ima duži vijek trajanja.

4.2.1. Dinamičko skaliranje frekvencije i napona

Najveće razlike u ekološkom dizajnu kod računala se rade na procesoru. Dizajn procesora koji optimiziraju potrošnju energije bez žrtvovanja performansi su glavni fokus „zelenog“ dizajniranja računala. Moderni procesori su svi dizajnirani s više jezgri. To je takozvani „multi-core“ dizajn koji ne samo da raspodjeljuje opterećenja među jezgrama, nego i omogućava učinkovitije izvršavanje više zadataka istovremeno uz manje potrošnje energije. Jezgre rade na nižim frekvencijama i s manjim naponom kada dijele radno opterećenje. Tako, također, smanjuje toplinu sustava i potrebu za hlađenjem.

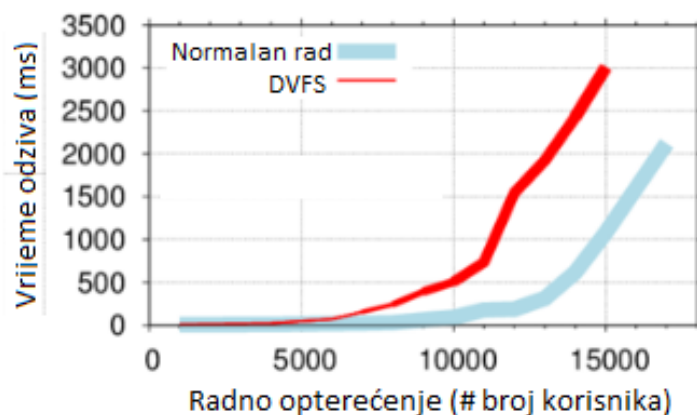
Nova tehnologija koja se počela koristiti u procesorima DVFS (eng. *Dynamic Voltage and Frequency Scaling*), skraćena za dinamičko skaliranje frekvencije i napona omogućuje procesorima da prilagode radnu frekvenciju i napon u skladu s trenutnim opterećenjem.

Znači, kada su zahtjevi za performansama visoki, procesor povećava svoju frekvenciju i napon, a kada su niski, on ih smanjuje i time minimizira potrošnju energije i proizvodnju topline. DVFS donosi značajne prednosti u pogledu energetske učinkovitosti i smanjenju temperature procesora, no postoje i neki problemi kod performansi pod velikim opterećenjima. Provedeno je istraživanje gdje se nastoje utvrditi razlike između performansi, potrošnje energije i vremenu odziva između procesora koji ne koristi DVFS tehnologiju i onoga koji koristi.



Slika 4.2 Značajne uštede energije kod procesora s DVFS tehnologijom[34]

Naime, procesor bez DVFS tehnologije uvijek radi na najvećim fiksnim frekvencijama i naponu bez obzira na opterećenje. Slika 4.2 prikazuje razliku u potrošnji energije između procesora s normalnim radom i onim s DVFS tehnologijom. Drugi procesor troši puno manje energije za sve vrijednosti radnog opterećenja, izraženog u broju trenutnih korisnika.[34]



Slika 4.3 Vrijeme odziva sustava se povećava s uključenim DVFS-om[34]

No, postoji i problem kod učinkovitosti u čuvanju energije DVFS-a. Slika 4.3 prikazuje da dolazi do značajnog povećanja vremena odziva kod većih radnih opterećenja. Procesor koji ne koristi DVFS ima puno manje vrijeme odziva na većim radnim opterećenjima, iako na nižim nema značajne razlike.[34] Dinamičko skaliranje frekvencije i napona široko je primijenjeno i dokazano smanjuje potrošnju energije pri niskim razinama iskorištenosti procesora. Međutim, istraživanja su pokazala da značajno smanjuje performanse procesora pri visokim razinama iskorištenosti, s vremenom odziva koje je nekoliko puta duže.

4.2.2. Integrirani grafički procesor

Svako računalo ima grafičku karticu na kojoj se nalazi GPU (eng. *Graphics Processing Unit*). Bez nje, bilo bi nemoguće prikazati bilo kakvu sliku na ekran, čak ni početni prikaz kada se upali računalo. Kod grafičkog procesora (GPU), kao i kod procesora, postoji načina da se smanji potrošnja energija i minimizira negativan utjecaj na okoliš.

GPU je zasebna komponenta u računalima i kao takva traži puno resursa. Međutim, postoje grafički procesori koji su ugrađeni u središnji procesor (CPU), ili na matičnu ploču, umjesto da su zasebna, diskretna jedinica, a zovu se integrirani grafički procesori (iGPU). Integrirani GPU koristi zajedničku memoriju sustava umjesto vlastite, posvećene memorije i dijeli resurse s CPU-om. Također, ugradnja integriranog grafičkog procesora smanjuje ukupne troškove sustava jer nema potrebe za dodatnom grafičkom karticom.

Postoje mnoge prednosti kod korištenja iGPU-a. Zbog toga što koristi zajedničku memoriju središnjeg procesora, koristi manje energije u usporedbi s diskretnim GPU-ovima. Također, diskretni GPU-ovi zahtijevaju svoje napajanje i hlađenje, što predstavlja problem za prijenosne uređaje kod kojih je trajanje baterije ključno. Integrirani grafički procesori smanjuju ukupne troškove sustava jer nema potrebe za kupnjom dodatne, skupe grafičke kartice. Međutim, nisu idealni za vrlo zahtjevne grafičke zadatke, kod kojih diskretni GPU pruža vrhunske performanse zbog veće procesorske snage i vlastite memorije.

Apple-ov M2 Ultra čip, koristi integrirani GPU te pokazuje iznimno visoke performanse, čak i usporedive sa sustavima koji koriste diskretne GPU-e. Naravno, i dalje postoje diskretni GPU-ovi koji nude iznimno visoke performanse znatno veće nego M2 Ultra, međutim on pokazuje visoku energetske učinkovitost i nisku potrošnju energije.

Za usporedbu s drugim GPU-om, može se koristiti NVIDIA RTX 4090, koji ima nevjerojatnu snagu grafičkog procesuiranja zbog velikog broja jezgara i značajnog VRAM kapaciteta. U ekstremnim scenarijima, poput složenih grafičkih operacija i renderiranju najnovijih igara u 4K rezoluciji, ima prednost nad M2 Ultrom. Međutim, zbog ogromne potrošnje, generira jako puno topline. Njegov TDP (eng. *thermal design power*) iznosi 450 W, dok je za Apple-ov čip to 90 W. TDP je pokazatelj maksimalne količine topline koju GPU može proizvesti i koliko energije treba za optimalno hlađenje, ali također ukazuje na ukupnu potrošnju energije tijekom intenzivnog korištenja.[34][35] To je ogromna razlika u generiranoj toplini i, konačno, dobar pokazatelj na različit mentalitet u dizajniranju grafičkih procesora.

4.3. Promjene u proizvodnji

Proizvodnja računala traži velike energetske i materijalne resurse, čime postaje veliki problem zbog manjka materijala i lošeg ekološkog utjecaja. Rudarenje rijetkih metala i potrošnje velikih količina vode za proizvodnju računala neodržive su prakse i potreban je pristup. Stoga je nužno pronaći održivije načine proizvodnje, uključujući korištenje recikliranih materijala, razvoj novih tehnologija koje smanjuju potrebu za rijetkim metalima i povećanje energetske efikasnosti.

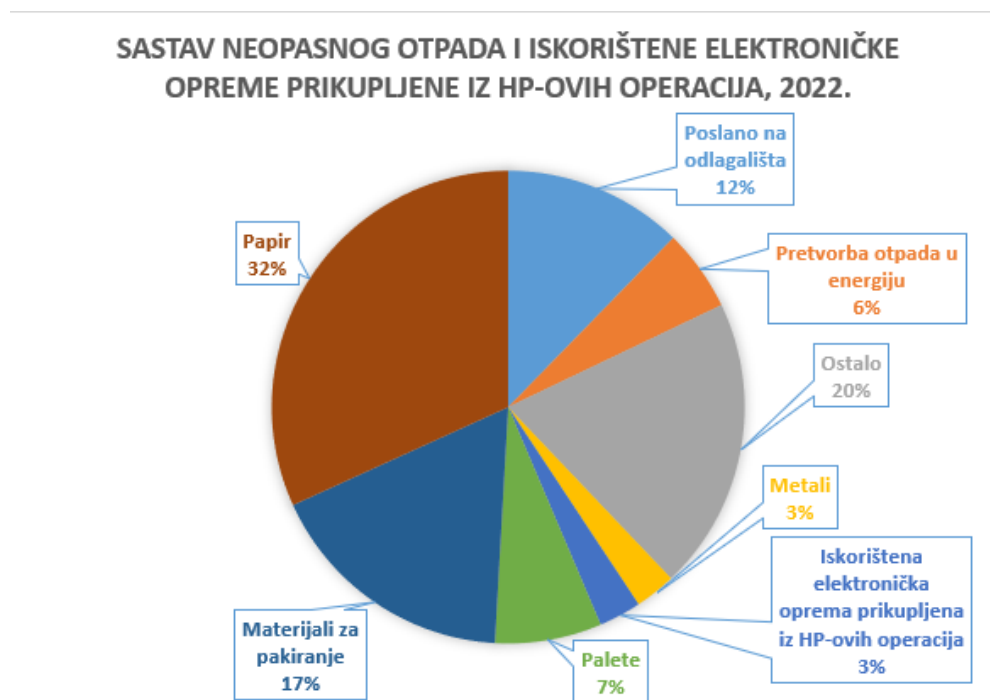
Reciklirani materijali prave veliku razliku kad je u pitanju proizvodnja računala. Proizvodnja kućišta od reciklirane plastike smanjuje potrebu za novom, a aluminij je korišten u izradi kućišta prijenosnih računala. Sve metalne sirovine mogu biti reciklirane i ponovno iskorištene u proizvodnji.

4.3.1. HP-ov closed-loop sustav recikliranja

HP-ov „closed-loop“ sustav recikliranja je inovativni pristup upravljanju e-otpadom koji omogućava recikliranje starih uređaja i ponovno korištenje dobivenih materijala u proizvodnji novih proizvoda. On predstavlja HP-ove primjenu uspješnog kružnog gospodarstva računalnim otpadom i proizvodnjom novih računala.

Sustav funkcionira na sljedeći način. HP provodi programe za prikupljanje starih i istrošenih uređaja od korisnika. Ovi programi uključuju inicijative poput povrata starih uređaja pri kupnji novih, te posebne kampanje za recikliranje. Ti uređaji se transportiraju do centara za reciklažu, gdje se rastavljaju i razvrstavaju prema materijalima. Plastika, metal i staklo se odvajaju i pripremaju za reciklažu, kako bi se od njih opet dobile korisne komponente. Reciklirani materijali se zatim koriste u proizvodnji novih HP-ovih računala.

U 2022. godini HP je napravio velike korake prema potpunom kružnom gospodarstvu. Te godine generirali su 18 tisuća tona neopasnog otpada, što je 17% manje nego godinu prije. Od tog broja, reciklirano je 15,3 tisuće tona što znači da je reciklirano 86% ukupnog neopasnog otpada. Neopasni otpad u proizvodnji računala su papir, materijali korišteni za pakiranje, metali, palete i dr. Slika 4.4 prikazuje sastav prikupljenog neopasnog otpada i iskorištene elektroničke opreme za 2022. godinu. Iz slike je vidljivo da je čak 87,7% otpada uspješno reciklirano i ponovno iskorišteno, umjesto poslano na odlagališta.[37]



Slika 4.4 Prikaz prikupljenog otpada i elektronske opreme na kružnom grafikonu[37]

Pretvorba otpada u energiju predstavlja proces pretvorbe neopasnog otpada u iskoristivu energiju. Ovo se najčešće odnosi na metode spaljivanja, gdje se otpad pali i generira toplinu, koja se može koristiti za proizvodnju struje ili mogućnosti grijanja. Ovim se svakako smanjuje količina otpada koja bi inače završila na odlagalištima. Ostalo se odnosi na organski otpad hrane, zeleni otpad, ponovno korištene materijale i donacije.[37]

4.3.2. Uloga vode u izradi računalnih komponenti

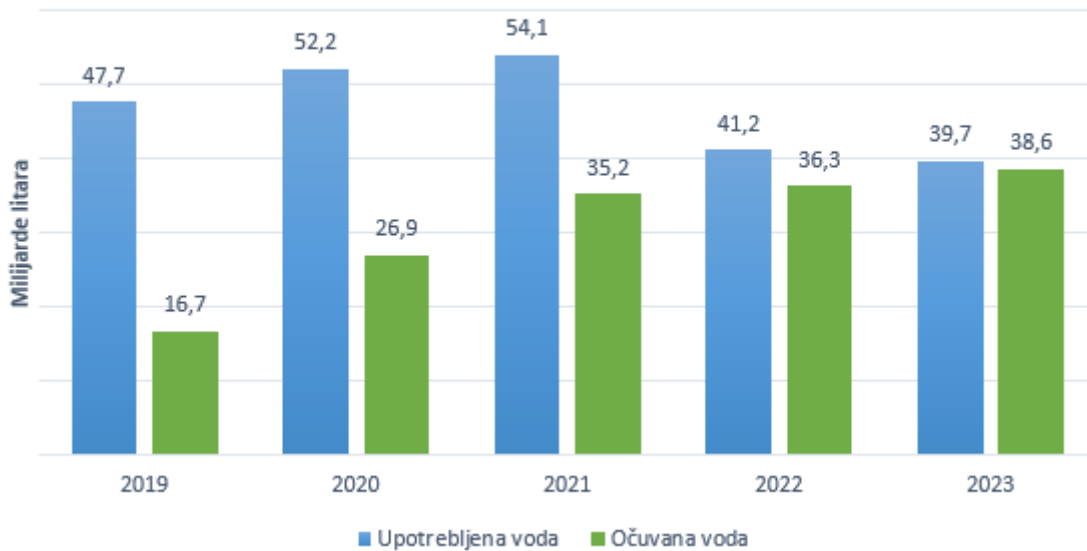
Reciklaža materijala je jedan od načina ekološki osvještenije proizvodnje računala. No nije dovoljno samo koristiti reciklirane materijale u proizvodnji računala. U proizvodnji računala troši se mnogo energije i ključno je korištenje obnovljivih izvora za dobrobit planete.

Jedan od tih obnovljivih izvora je voda. Ona igra ključnu ulogu u izradi računala zbog različitih funkcija i procesa koji su od velike važnosti za proizvodnju i funkcionalnost komponenti. U proizvodnji računalnih komponenti, kao što su čipovi i ploče, voda se koristi u različitim fazama hlađenja kako bi se kontrolirala temperatura i spriječilo pregrijavanje. Također se koristi u procesu uklanjanja slojeva materijala s površine čipova kako bi se oblikovali uzorci i električne staze. Nezamjenjiva je u različitim fazama proizvodnje računala zbog svojih svojstava koja omogućuju hlađenje, čišćenje i kontrolu kvalitete.

Intel je globalni lider u dizajnu i proizvodnji poluvodičkih čipova, najpoznatiji po svojim procesorima koji pogone osobna računala, poslužitelje i brojne druge elektroničke uređaje. Kao takav, većina njihovog korištenja vode događa se tijekom procesa proizvodnje, u obliku tornjeva za hlađenje koji prenose toplinu u atmosferu i graviranju pločica. Do 2030. godine Intel planira očuvati 227 milijardi litara vodenih resursa, koji su važan dio u postizanju neto pozitivne upotrebe vode. Neto pozitivna upotreba vode, ne znači samo minimiziranje negativnih učinaka na vodene resurse, već njihovo aktivno poboljšavanje.[38]

Slika 4.5 prikazuje Intel-ove napore u očuvanje vode. U 2023. godini sačuvali su oko 38 milijardi litara. Potrošnja vode prošle godine je također smanjena za 4% od 2022. i 24% od referentne 2020. Zahvaljujući značajnim ulaganjima u projekte očuvanja, od 2020. sačuvano je oko 136 milijardi litara što je dovoljno za opskrbu 330,000 kućanstava. Ova operacija predstavlja značajan korak prema održivijoj budućnosti, pokazujući da ulaganje u projekte očuvanja vode može donijeti pozitivne rezultate kako za poslovanje, tako i za okoliš.[38][39]

Upotreba i očuvanje vode



Slika 4.5 Intel-ovo raspolaganje vodenim resursima od 2019. do 2023. [39]

4.4. Promjene u održavanju

Inovacije u dizajnu i proizvodnji računala bitne su za ekološki otisak koji računala ostavljaju na svijet. Postoji mnogo stvari koje se mogu promijeniti u dizajnu i proizvodnji iz kojih se može naučiti. Održavanje računala je, također, ključan aspekt u smanjenju njihovog ekološkog otiska. Redovito održavanje omogućava dugotrajnu upotrebu uređaja, smanjujući potrebu za novim proizvodima i time smanjujući količinu računalnog otpada.

Računala se dizajniraju s naglaskom na lakoću pristupa komponentama. Već spomenuti, modularni dizajn, s komponentama koje se mogu lako zamijeniti bez potrebe za složenim alatima, značajno olakšava popravak. Također, upotreba standardiziranih dijelova koji su lako dostupni i kompatibilni s različitim modelima može smanjiti troškove popravaka i vrijeme potrebno za popravke.

Veliku važnost u održavanju računala ima dostupnost rezervnih dijelova. Dostupnost dijelova, čak i nakon što model računala bude povučen s tržišta, osigurati će dugotrajniju uporabu uređaja. Originalni proizvođači dijelova često nude visoku kvalitetu i garanciju kompatibilnosti, ali postoje i tzv. „aftermarket“ dijelovi, dostupni uz različite cijene i performanse. Ti dijelovi su komponente proizvedene od trećih strana koje nisu originalno proizvod od proizvođača računala.

Oni uključuju sve od zamjenskih hard diskova, memorijskih modula, procesora, grafičkih kartica, pa do manjih komponenti poput tipkovnica i miševa. Često su povoljniji od originalnih dijelova, a mogu nuditi i bolje performanse. Njihova važnost je u tome što predstavljaju rješenje za stare uređaje. „Aftermarket“ dijelovi mogu pružiti potrebne komponente za starije modele računala za koje originalni dijelovi više nisu dostupni, omogućujući korisnicima da produže životni vijek svojih uređaja. Također, objavljivanje tehničkih priručnika, shema i vodiča za popravak može pomoći korisnicima i servisnim centrima u obavljanju popravaka.

Sljedeći aspekt koji čini održavanje stabilnijim je garancija računala. To je službena obveza proizvođača ili prodavača da će popraviti ili zamijeniti uređaj ako se jave problemi zbog grešaka u izradi ili materijalima tijekom određenog vremenskog razdoblja. Obično za računala ona iznosi jednu do tri godine, ali postoje i opcije za produženom garancijom. Garancija predstavlja značajan dio strategije održavanja jer nudi zaštitu i sigurnost u slučaju tehničkih problema te doprinosi dugoročnoj pouzdanosti i ekonomičnosti računalnog sustava.

5. ZAKLJUČAK

E-otpad je glavni ekološki problem modernog doba. Brzo rastuće onečišćenje planeta, ukazalo je da je potrebno poduzeti mjere u suzbijanju ove opasnosti, koje prijete očuvanju svakodnevnog života. Kao što je istraženo u radu, njegov utjecaj dolazi iz različitih uređaja iz ljudske svakodnevice, poput hladnjaka, televizora, mobitela, računala i dr.

Najalarmantniji problemi uzrokovani e-otpadom su nezbrinuto odlaganje opasnih kemikalija poput olova, žive, kadmija, broma i dr. Kada se nepravilno odlažu, te tvari mogu procuriti u tlo i podzemne vode, uzrokujući ozbiljno zagađenje. Također, proizvodnja novih elektroničkih uređaja zahtijeva mnogo energije. Mora postojati dobra struktura, kako ne bi dolazilo do bespotrebnih energetske gubitaka.

Ljudi ne shvaćaju nerekicirani e-otpad, a i bilo kakvu drugu vrstu nezbrinutog otpada, dovoljno velikim problemom jer često nisu svjesni dugoročnih posljedica na okoliš i zdravlje. Potrebno je promijeniti ugrađene navike i odlučiti se za poboljšanje naših života, a i života budućih generacija. To kreće od bolje edukacije i osvještavanja ljudi. Nadalje, potrebno je uložiti veće resurse u postavljanje kontejnera, kutija i raznih reciklažnih centara koji bi olakšali pravilno odlaganje e-otpada. Ljudi nisu protiv recikliranja, ali svatko ima neke svoje probleme i brige. Nažalost, zbog toga, brige planeta nisu prioritet. Postavljanje što više reciklažnih objekata, podsjetiti će ljude na reciklažu, i da treba čuvati Zemlju za buduće generacije, s nadom da će oni nastaviti taj pristup.

LITERATURA

- [1] Brežnjak Jelušić I.: „Što ide u koju kantu?“, s Interneta, <https://net.hr/danas/vijesti/sto-ide-u-koju-kantu-imamo-detaljni-popis-gdje-odlagati-pojedine-vrste-otpada-7a4830d2-302a-11ed-bf04-b2d2f05c7ab0>, 9.9.2022.
- [2] United Nations University: „Global E-Waste Surging: Up 21% in 5 Years“, s Interneta, <https://unu.edu/press-release/global-e-waste-surging-21-5-years>, 2.7.2020.
- [3] World Health Organization: „Electronic waste (e-waste)“, s Interneta, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electronic-waste-%28e-waste%29>, 18.10.2023.
- [4] Wikipedia: „Brominated flame retardant“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Brominated_flame_retardant, 14.3.2024.
- [5] McSweeney B.; Currie J.: „European Union Risk Assessment Report“, s Interneta, <https://echa.europa.eu/documents/10162/781ee1e9-6c90-467e-998b-8910ca2793e5>, 12.8.2000.
- [6] Umicore: „What we do“, s Interneta, <https://www.umicore.com/en/careers/working-at-umicore/what-we-do/>, 19.12.2022.
- [7] UN Environment Programme, „The Montreal Protocol“, s Interneta, <https://www.unep.org/ozonaction/index.php/who-we-are/about-montreal-protocol>, 15.3.2022.
- [8] Agyemang Addae O.; Fahad Alomirah H.; Rangarajan R.: „Exploring Influencing Safety and Health Factors among E-Waste Scavengers in Accra, Ghana“, s Interneta, <https://www.mdpi.com/2673-947X/3/2/17>, 17.6.2023.
- [9] Puckett J.; Westervelt S.; Gutierrez R.; Takamiya Y.: „The Digital Dump: Exporting Re-use and Abuse to Africa“, s Interneta, <https://static1.squarespace.com/static/558f1c27e4b0927589e0edad/t/55d79038e4b069c9055c8720/1440190520196/BANsDigitalDump-2005.pdf>, 24.10.2005.
- [10] Europski parlament: „E-otpad u EU-u: činjenice i brojke (infografika)“, s Interneta, <https://www.europarl.europa.eu/topics/hr/article/20201208STO93325/e-otpad-u-eu-u-cinjenice-i-brojke-infografika>, 23.12.2020.

- [11] Alves B.: „Global electronic waste exports 2023“, s Interneta, <https://www.statista.com/statistics/1389274/e-waste-exports-worldwide-by-country/>, 28.6.2024.
- [12] e-Stewards: „Find a Recycler“, s Interneta, <https://e-stewards.org/find-a-recycler/>, 12.1.2024.
- [13] WEEE Forum: „‘Invisible’ E-Waste: Almost \$10 Billion in Essential Raw Materials Recoverable in World’s Annual Mountain of Electronic Toys, Cables, Vapes & more“, s Interneta, https://weee-forum.org/ws_news/invisible-e-waste-almost-10-billion-in-essential-raw-materials-recoverable-in-worlds-annual-mountain-of-electronic-toys-cables-vapes-more/, 12.10.2023.
- [14] Ganesan R.: „Cleaning up India’s mountains of e-waste“, s Interneta, <https://news.microsoft.com/source/asia/features/karo-sambhav-responsible-e-waste-recycling-india/>, 9.12.2020.
- [15] Jaffe M.: „Garbage Barge (Khian Sea)“, s Interneta, <https://philadelphiaencyclopedia.org/essays/garbage-barge-khian-sea/>, 22.9.2016.
- [16] Wikipedia: „Waste Electrical and Electronic Equipment Directive“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Waste_Electrical_and_Electronic_Equipment_Directive, 10.7.2024.
- [17] Dao B.: „Most EU member states miss collection target for electronic waste, NGOs demand quick action from European Commission“, s Interneta, <https://eeb.org/eu-miss-collection-target-for-electronic-waste/>, 11.3.2022.
- [18] Eurostat: „Waste statistics - electrical and electronic equipment“, s Interneta, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment#Electronic_equipment_.28EEE.29_put_on_the_market_and_WEEE_collected_by_country, 29.10.2023.
- [19] Ferreira de Souza D. i dr.: „Efficiency, quality, and environmental impacts: A comparative study of residential artificial lighting“, s Interneta, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484718303652#fig24>, 5.11.2019.
- [20] Divjak B.: „Horizon 2020: Success Stories in Croatia“, s Interneta, https://www.mobilnost.hr/cms_files/2019/02/1549530136_horizon-2020-web.pdf, prosinac 2018.
- [21] Wikipedia: „Extended producer responsibility“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/Extended_producer_responsibility, 15.7.2024.
- [22] Fairphone: „Fairphone Longevity“, s Interneta, <https://www.fairphone.com/en/impact/long-lasting-design/>, 2.6.2022.

- [23] Rogerson J.: „What is Apple's Ceramic Shield? The iPhone protection tech explained“, s Interneta, <https://www.techradar.com/news/what-is-apples-ceramic-shield-the-iphone-protection-tech-explained>, 4.12.2021.
- [24] Bitkom Compliance Solutions: „Retail take-back obligation according to ElektroG“, s Interneta, <https://bitkom-compliance-solutions.com/en/take-back-obligation-for-retailers#:~:text=This%20retail%20take%2Dback%20obligation,it%20is%20disposed%20of%20professionally.>, 1.7.2022.
- [25] BBC, „Pink bins increase e-waste collections, councils say“, s Interneta, <https://www.bbc.com/news/articles/crg15d0wk21o>, 13.10.2023.
- [26] Ashiq A.; Janhavi K.; Meththika V.: „Chapter 10 - Hydrometallurgical Recovery of Metals From E-waste“, s Interneta, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128161906000108>, prosinac 2019.
- [27] Khaliq A. i dr.: „Metal Extraction Processes for Electronic Waste and Existing Industrial Routes: A Review and Australian Perspective“, s Interneta, https://www.researchgate.net/publication/261181219_Metal_Extraction_Processes_for_Electronic_Waste_and_Existing_Industrial_Routes_A_Review_and_Australian_Perspective, veljača 2014.
- [28] Evans J.W.: „Introduction and the Significance of Electrometallurgy“, s Interneta, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128035818035943>, 2016.
- [29] Fitzpatrick C.: „Life Cycle Assessment of Dell Latitude 7300 25th Anniversary Edition“, s Interneta, <https://www.delltechnologies.com/asset/en-us/products/laptops-and-2-in-1s/technical-support/full-lca-latitude7300-anniversary-edition.pdf>, 11.7.2019.
- [30] Alsop T.: „Share of households with a computer at home worldwide from 2005 to 2019“, s Interneta, <https://www.statista.com/statistics/748551/worldwide-households-with-computer/>, 6.11.2023.
- [31] OECD Dana Explorer, „ICT Access and Usage by Households“, s Interneta, [https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=1&vw=tb&df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_IC T_HH_IND%40DF_HH&df\[ag\]=OECD.STI.DEP&df\[vs\]=&pd=2012%2C&dq=.A.B1_HH.. T... T.&to\[TIME_PERIOD\]=false&lc=en&ly\[cl\]=TIME_PERIOD&ly\[rw\]=REF_AREA](https://data-explorer.oecd.org/vis?pg=0&snb=1&vw=tb&df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_IC T_HH_IND%40DF_HH&df[ag]=OECD.STI.DEP&df[vs]=&pd=2012%2C&dq=.A.B1_HH.. T... T.&to[TIME_PERIOD]=false&lc=en&ly[cl]=TIME_PERIOD&ly[rw]=REF_AREA)

- [32] Ibnu Azeez N.: „Design and Engineering-Module 6:Modular Design, Design Optimization, Internet of Things, IPR, Product Liability“, s Interneta, <https://www.slideshare.net/slideshow/design-and-engineeringmodule-6modular-design-design-optimization-internet-of-things-ipr-product-liability/61552976>, 1.5.2016.
- [33] Wikipedia: „80 Plus“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/80_Plus, 25.2.2024.
- [34] Qingyang W. i dr.: „Impact of DVFS on n-Tier Application Performance“, s Interneta, https://www.researchgate.net/figure/Advantage-and-disadvantage-of-DVFS-turned-on-Figure-1a-shows-DVFS-can-save-power-at_fig1_266679772, studeni 2013.
- [35] Burgess J.: „Apple Mac Studio (M2 Ultra) review: Pro Performance in a compact package“, s Interneta, <https://www.techradar.com/reviews/apple-mac-studio-m2-ultra#:~:text=The%20Apple%20Mac%20Studio%20using,desktop%20Intel%20Core%20i9%2D13900K.>, 4.10.2023.
- [36] Wikipedia: „GeForce 40 Series“, s Interneta, https://en.wikipedia.org/wiki/GeForce_40_series, 13.7.2024.
- [37] Hewlett-Packard: „2022 HP Sustainable Impact Report“, s Interneta, <https://h20195.www2.hp.com/v2/getpdf.aspx/c08636600.pdf>, 2022.
- [38] Intel Corporation: „Global Water Policy“, s Interneta, <https://www.intel.com/content/www/us/en/policy/policy-water.html>, rujan 2020.
- [39] Intel Corporation: „2023-24 Corporate Responsibility Report“, s Interneta, <https://csrreportbuilder.intel.com/pdfbuilder/pdfs/CSR-2023-24-Full-Report.pdf>, 2024.
- [40] BOSCH: „Bosch Technical Report“, s Interneta, https://media3.bosch-home.com/Documents/16903224_bosch_laundry_52pp_Lores-20200915.pdf, 2020.
- [41] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode: „PRAVILNIK O GOSPODARENJU OTPADNOM ELEKTRIČNOM I ELEKTRONIČKOM OPREMOM“, s Interneta, <https://www.zakon.hr/cms.htm?id=31223>, 2016.

POPIS SLIKA

Slika 2.1	Kemijska struktura pentabromodifenil etera[5]	4
Slika 2.2	Zdravstveni simptomi kod radnika u Accri tijekom i nakon završetka rada[8]	7
Slika 2.3	Odlagalište e-otpada u Lagosu[9]	8
Slika 2.4	Izvoz e-otpada u svijetu za 2022. godinu[11]	9
Slika 2.5	Incident odlaganja otpada s broda Khian Sea	12
Slika 2.6	Simbol WEEE Direktive	12
Slika 2.7	Stopa prikupljanja e-otpada za članice EU, 2021. godina[18]	14
Slika 2.8	Primjer CE oznake na punjaču mobilnog uređaja	15
Slika 2.9	Usporedba ekonomske isplativosti žarulja sa žarnom niti, štednih i LED žarulja[19]	15
Slika 3.1	Modularni dizajn Fairphone-a 4[22]	20
Slika 3.2	Rozi kontejner za sakupljanje malog e-otpada[25]	22
Slika 3.3	Pojednostavljen prikaz hidrometalurškog procesa[27]	25
Slika 3.4	Elektroplatiranje bakra(Cu) s metalnom katodom[28]	26
Slika 3.5	Doprinos različitih faza životnog ciklusa globalnom potencijalu zagrijavanja Dell Latitude 7300 serije u EU[29]	28
Slika 4.1	Porast broja osobnih računala u kućanstvima u svijetu, EU i Hrvatskoj[30][31]	30
Slika 4.2	Značajne uštede energije kod procesora s DVFS tehnologijom[34]	33
Slika 4.3	Vrijeme odziva sustava se povećava s uključenim DVFS-om[34]	34
Slika 4.4	Prikaz prikupljenog otpada i elektronske opreme na kružnom grafikonu[37]	36
Slika 4.5	Intel-ovo raspolaganje vodenim resursima od 2019. do 2023.[39]	38

SAŽETAK

E-otpad predstavlja ozbiljan ekološki problem zbog toksičnih materijala poput olova, žive i kadmija koji mogu onečistiti tlo, zrak i vodu, te negativno utjecati na ljudsko zdravlje. Globalno upravljanje e-otpadom zahtijeva razvoj međunarodnih standarda i regulativa za pravilno prikupljanje, reciklažu i odlaganje e-otpada. Međunarodne organizacije, poput Baselske konvencije, rade na poboljšanju globalne suradnje. Strategije za smanjenje negativnih učinaka e-otpada uključuju povećanje svijesti o važnosti pravilnog zbrinjavanja, unapređenje infrastrukture za reciklažu, te poticanje ponovne upotrebe i popravka uređaja. Programi povrata, gdje proizvođači preuzimaju odgovornost za svoje proizvode, također su ključni. Ekološke promjene u dizajnu i proizvodnji računala uključuju korištenje ekološki prihvatljivih materijala, smanjenje upotrebe toksičnih supstanci i dizajniranje proizvoda koji su lakši za reciklažu. Produženje vijeka trajanja proizvoda, jednostavniji popravci i nadogradnja, te smanjenje energetske potrošnje, doprinose smanjenju ekološkog otiska. Uvođenje ovih mjera značajno će smanjiti negativan utjecaj e-otpada na okoliš i promovirati održiviji pristup u upravljanju elektroničkim uređajima.

Ključne riječi: e-otpad, okoliš, zagađenje, elektronički i električki uređaji, reciklaža, ekološki dizajn, održivi razvoj.

SUMMARY

E-waste represents a serious environmental problem due to toxic materials such as lead, mercury, and cadmium, which can contaminate soil, air, and water, and negatively impact human health. Global management of e-waste requires the development of international standards and regulations for the proper collection, recycling, and disposal of e-waste. International organizations, like the Basel Convention, are working to improve global cooperation. Strategies to reduce the negative impacts of e-waste include increasing awareness of the importance of proper disposal, enhancing recycling infrastructure, and encouraging the reuse and repair of devices. Take-back programs, where manufacturers take responsibility for their products, are also crucial. Environmental changes in computer design and production involve using eco-friendly materials, reducing the use of toxic substances, and designing products that are easier to recycle. Extending product lifespans, simplifying repairs and upgrades, and reducing energy consumption contribute to lowering the environmental footprint. Implementing these measures will significantly reduce the negative impact of e-waste on the environment and promote a more sustainable approach to managing electronic devices.

Key words: e-waste, environment, pollution, electronic and electrical devices, recycling, eco-friendly design, sustainable development.