



# Ekološko snovanje elektronskih naprav

## ENOTA 7: Recikliranje elektronskih naprav

Ime avtorja: Andrej Sarjaš

7.1. Recikliranje elektronskih naprav .....	2
7.3. Recikliranje elektronskih komponent .....	8
7.4. Zbiranje mesta in infrastruktura .....	10
7.5. Proces recikliranja elektronskih odpadkov .....	12
7.6. Reference.....	15

Vsebina poglavja:

- Pomeni recikliranja elektronskih naprav
- Zbiranje elektronskih naprav
- Postopki recikliranja elektronskih naprav

## 7.1. Recikliranje elektronskih naprav

Odpadna električna in elektronska oprema ('Wast Electrical and Electronic Equipment' -WEEE) beleži množični porast na svetovni ravni v zadnjih štiridesetih letih. V zadnjem desetletju pa WEEE beleži najvišji porast med vsemi odpadki. Zato je za trajnostno okolje in gospodarstvo, učinkovito recikliranje elektronskih odpadkov postalo nepogrešljivo. Za današnjo družbo recikliranje predstavlja velik izziv. V nasprotju z uveljavljenim postopki recikliranja kovinskih odpadkov, je veliko bolj zapleteno recikliranje elektronskih naprav, ki so dosegle konec življenjske dobe. Elektronske naprave vsebujejo veliko različnih vrst materialov, ki so med seboj povezani, kar pomeni, da onemogoča preprosto ločitev. Prav tak učinkovit WEEE ni odvisen samo od reciklažne industrije, kjer se pogosto pojavljajo dvomi o ustreznosti reciklažnih okoljih ter naprav. Prav tako je za učinkovit WEEE odvisen tudi uporabnik ter posredniki naprav, ki so pogosto premalo osveščeni glede recikliranja, ohranjanja okolja, porabe energije ter materialov.

V zadnjih dveh desetletjih se je obseg potrošniške in poslovne elektronske opreme drastično povečeval. Hkrati so hitre spremembe v informacijskih in komunikacijskih tehnologijah, sočasna večja vsestranskost elektronskih naprav in nizke cene, so pri večini naprav drastično zmanjšale življenjsko dobo ter dolgoročno uporabnost. To drži, čeprav nekatere elektronske naprave, na primer mobilni telefoni imajo lahko med svojo življenjsko dobo več lastnikov, preden se jih zavrže. V letu 2008 je število osebnih računalnikov že preseglo milijardo, pri čemer je večina že dosegla konec življenjskega cikla. To posledično pomeni, da imamo enormni porast elektronskih naprav, ki so ali bodo zavržene. Takšne količine odpadkov se pogosto prevažajo na deponije tretjega sveta. Njihovo nenadzorovano odlaganje pa predstavlja veliko grožnjo okolici ter zdravju širšemu prebivalstvu. Trenutno ni jasno opredeljen pojem e-odpadek ali kdaj izdelek postane odpadek. EU direktiva opredeljuje e-odpadek, kot zastarelo opremo, ki za svoje pravilno delovanje potrebuje električni tok ali magnetno polje. Prav tako med e-odpadke spadajo merilni instrumenti za merjenje električnih veličin. Strokovnjaki predlagajo, da bi e-odpadek karakteriziralo naslednje dejstvo; e-odpadek je zastareli proizvod ter odločitev lastnika, ki želi napravo zavreči. Elektronski izdelek postane odpadek takrat, kadar njegova struktura in stanje ne more več zagotavljati predpisane namembnosti. Razlogi, zakaj elektronski izdelek ni več uporaben so lahko številni. Najpogosteje elektronska naprava ni več funkcionalna zaradi poškodbe. Prav tako je možen vzrok, da je uporabljena tehnologija zastarela ali oblikovanje ni več v trendu. Na srečo reciklažna industrija zavržene odpadke uporabnikov šteje za dobičkonosne, saj se reciklirani materiali lahko prodajo za ponovno uporabo. Količina e-odpadkov, ki se ustvarja v ZDA in EU, pa tudi v državah v razvoju, se je v zadnjih desetih letih znatno povečala. Glede na ameriško agencijo za varstvo okolja v povprečju vsako gospodinjstvo v ZDA uporablja 34 elektronskih ali električnih naprav. To pomeni več kot  $5 \times 10^6$  ton e-odpadkov letno. Za EU je bilo ocenjeno, da vsak državljan v povprečju prispeva 15 kg e-odpadkov, kar znaša  $7 \times 10^6$  ton odpadkov letno.

V okviru WEEE raziskav, nekatere sestavine elektronskih izdelkov vsebujejo nevarne snovi kot so; živo srebro in kadmija. Obe surovini sta škodljivi za okolje, če nista



ustrezno obdelane in odstranjene. Nekateri izdelki vsebujejo dragocene materiale, ki se lahko vrnejo v proizvodnji cikel, če se predelajo. Obvladovanje velikih in stalno naraščajočih količin e-odpadkov, recikliranje ter predelava materialov za ponovno uporabo je ključno vprašanje tako iz ekološkega, kot tudi ekonomskega vidika. Kljub temu se danes celo v industrializiranih državah, odvisno od kategorije izdelka, reciklira le majhen delež e-odpadkov. Večina zavrženih naprav konča na odlagališčih ali se ji jih sežge. Ker so natančne statistike redke, so nekateri ocenjeni podatki zbrani v tabeli 1.

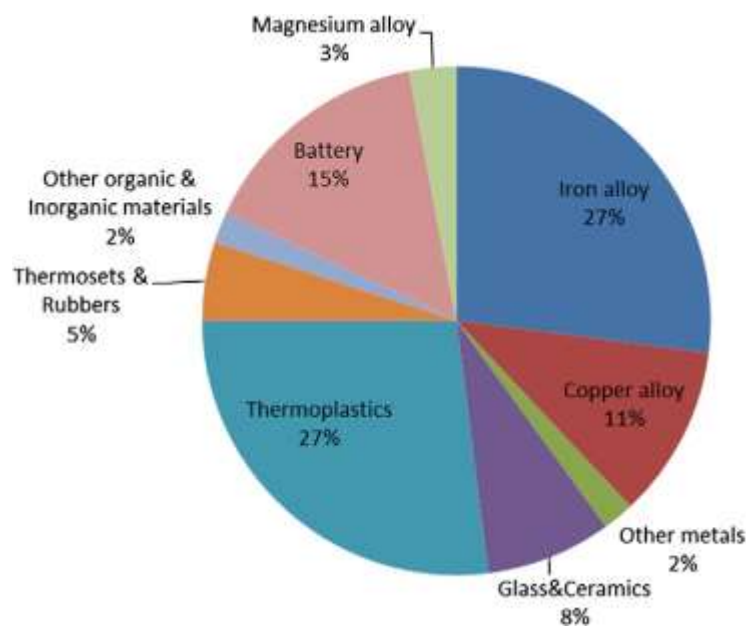
Type of WEEE	Arising	Collected	% Recycled
Television set	8000	4000	50
Video/sound	72000	3200	4
Computers/IT	357000	94600	26
Household appliances	392000	345300	88

*Tabela 1. Stopnja reciklaže izdelkov.*

V tabeli je razvidno, da je kvota za zbiranje in s tem povezana količina recikliranja velikih gospodinjskih aparatov in televizijskih sprejemnikov precej visoka, medtem ko je kvota za recikliranje majhnih elektronskih naprav izjemno nizka, samo 4%. V skladu z istim poročilom, je v letu 1998 nizka stopnja zbiranja in recikliranja povzročilo veliko izgubo kovin in drugih materialov, na primer  $2.4 \times 10^6$  tone kovin,  $0.625 \times 10^6$  ton bakra,  $0.33 \times 10^6$  tone aluminija,  $0.23 \times 10^6$  tone stekla,  $0.23 \times 10^6$  tone plastike. V tej oceni niso bile kovine iz redkih zemelj.

Sestava e-odpadkov se razlikuje od tipa do tipa izdelka, v enakem obsegu pa tudi razlike v sestavi materialov. To je ponazorjeno z vprašanjem recikliranja mobilnih telefonov, ki so danes v enormni uporabi in porasti. Mobilni telefon ima lahko plastične ali kovinske pokrivne dele. Prav tako ima lahko podobne notranje dele, ki so potrebni za njegovo funkcionalnost; zaslon, tiskana vezja in baterija. Primer vsebine materiala mobilnega telefona je prikazan na sliki 1. Če upoštevamo celotno skupino WEEE, je sestava mobilnega telefona napram drugim napravam kompleksnejša, kar pomeni, da odstopa od povprečja. Skupaj kovine (železo / jeklo) predstavljajo približno polovico materialov. Naslednje najobsežnejše skupine so plastika (21%) in barvne kovine (13%). Treba je opozoriti, da se te vrednosti lahko znatno razlikujejo glede na model določenega izdelka. Kot splošen trend je bila vsebnost železnih kovin vedno največji delež e-odpadkov, medtem ko se je količina bakra, plemenitih kovin in drugih onesnaževalcev zmanjšala.





Slika 1. Sestava mobilnega telefona.

Recikliranje WEEE je lahko dobičkonosno, če se materiali, ki jih vsebuje naprave v procesu recikliranja lahko povrnejo. Vendar obstajajo velike razlike med izdelki in zato je ekonomska vrednost odpadkov močno odvisna od vrste odpadkov, ki jih je potrebno reciklirati. Tako je recikliranje mobilnega telefona na primer veliko bolj donosno, kot recikliranja sušilnika za lase, ki vsebuje manj dragocenih materialov, ki jih je moč reciklirati. Kot smo podali že prej, e-odpadki vsebujejo sorazmerno visoke količine dragocenih materialov, kot so feriti, aluminij in baker. Te materiale je mogoče reciklirati in ponovno uporabiti v novih izdelkih. E-odpadki vsebujejo tudi plemenite kovine, ki imajo široko uporabo v elektronskih napravah (kontakti). Prav tako vsebujejo tudi posebne materiale, kot so indij, galij in redka zemlje. Ponavadi so ti materiali prisotni le v zelo majhnih količinah. Na primer v mobilnem telefonu je vsebnost takšnih materialov približno 0,15 % na celotno maso. Majhen delež vsebnosti dejansko otežuje njihovo reciklažo in ponovno uporabo. Prav tako postopki recikliranja morajo biti tudi ekonomsko vzdržni, kar pomeni, da se ločevanje in predelava različnih materialov izvede le, če se lahko dobičkonosno prodajajo, kot sekundarni material za ponovno uporabo v novih izdelkih. Glavna gonilna sila za pridelavo sekundarnih kovin in razvoj novih reciklažnih tehnologij, so naraščajoče tržne cene in omejena razpoložljivost materialov, na primer redkih zemelj.

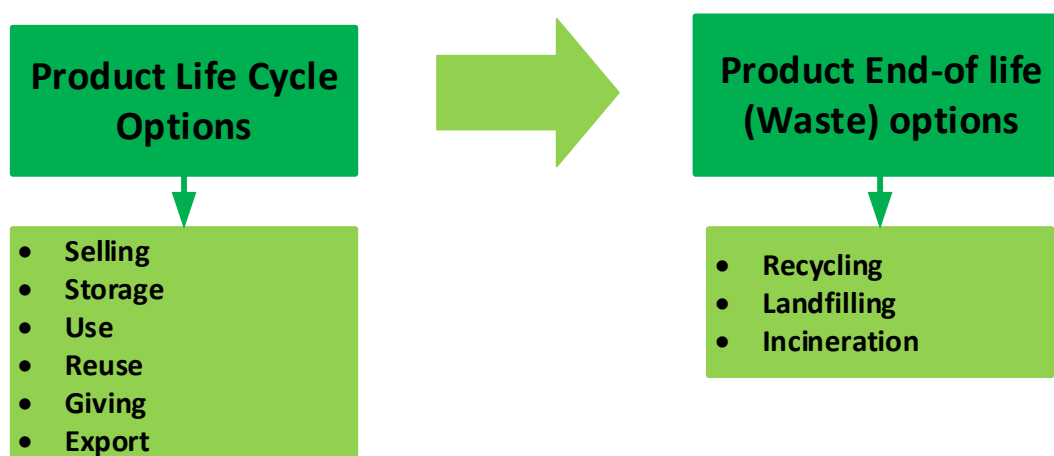
Nekatere komponente elektronskih naprav vsebujejo nevarne snovi, ki so lahko škodljive za okolje, če so neustrezno obdelane in odstranjene. Študije kažejo, da večina živega srebra in kadmija na odlagališčih v ZDA prihaja iz e-odpadkov. Čeprav se te snovi v večini novih sodobnih elektronskih izdelkov ne uporabljajo več, lahko starejši proizvodi, ki so dosegli konec življenjskega cikla, še naprej onesnažujejo okolje, če se odlagajo na neustrezna odlagališča. Nekonrolirana obdelava e-odpadkov, kot je na primer sežiganje na odprtem, lahko povzroči tudi negativne vplive na okolico in ljudi, ki so posredno ali neposredno v bližini sežigališča ali del tega okolja.



Vsa elektronska in električna oprema, ki je na trgu, bo sčasoma postala zastarela in bo morala v ustrezen postopek recikliranja. S tem bomo prihranili izrabo še ne uporabljenih virov ter uporabili materiale, ki so že v obtoku. Prav tak je možno v procesu recikliranja prihraniti energijo. Da bi upočasnili naraščajočo stopnjo nastajanja e-odpadkov, je postalo glavno načelo upravljanja z e-odpadki naslednje.

- **Zmanjšati število naprav:** Manj izdelkov na trgu in obstoječe vzdrževati.
- **Ponovna uporaba naprav:** Z donacijo ali prodajo damo napravo v ponovno rabo.
- **Recikliranje:** Izdelke, ki niso več funkcionalni in uporabni.

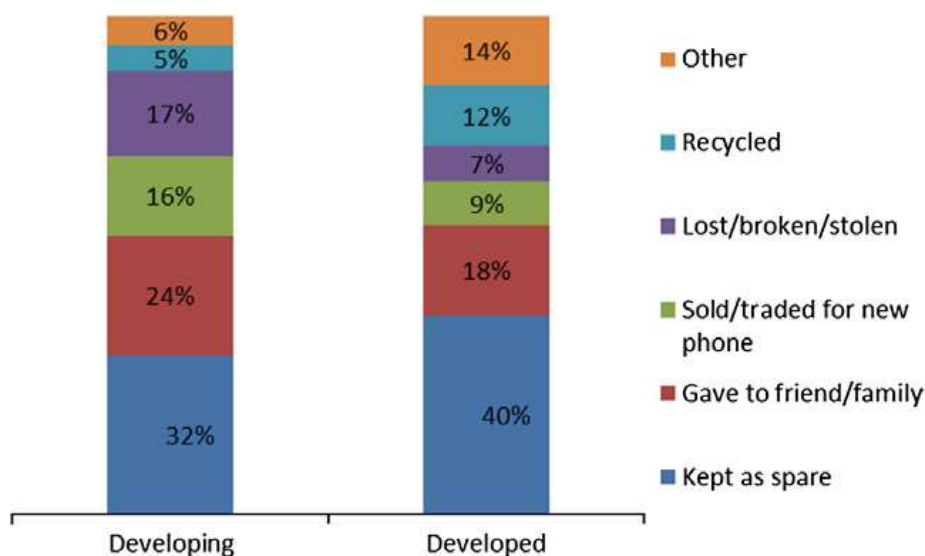
Slika 2. prikazuje različne možnosti življenjskega cikla tipične elektronske naprave, ko je dosegla konec življenjskega cikla. V vsaki od možnosti so možne tudi slabe prakse, ki so povezane z naslednjimi dejstvi. Na primer recikliranje na koncu življenjske dobe je lahko izvedeno pravilno ali nepravilno. Tekom življenjske dobe izdelka, le ta lahko ima več uporabnikov. Izdelek je v življenjskem ciklu lahko šel skozi fazo nadgradnje ali popravila. Izdelek je lahko prodan direktno uporabnik k uporabniku ali preko različnih posrednikov. Vendar pa je veliko zavrženih elektronskih naprav, zlasti manjših, na primer mobilni telefoni, prenosni računalniki in zabavna elektronika ostanejo doma, kot rezervne naprave v primeru okvare, za spomin, zbirateljstvo ali ker potrošniki precenijo njihovo realno vrednost in jih ne dajo v proces reciklaže. Z današnjo hitro rastočo tehnologijo, elektronski izdelki hitro izgubljajo svojo vrednost.



Slika 2. Možni življenjski cikli elektronskih naprav.

Na sliki 3. so prikazani rezultati zadnje študije, kje ostanejo elektronske naprave, ko jih ljudje zavržejo. Študija obsega manjše elektronske naprave, kot so telefoni, tablični računalniki predvajalniki glasbe itd.. V razvitih državah skoraj 40% zavrženih naprav ostane doma in le 12% gre v proces reciklaže. Razmerje med recikliranimi in ohranjenimi napravi doma je pokazatelj splošnega zavedanja potrošnikov o recikliranju in pomeni le tega.





Slika 3. Rezultat raziskave o uporabi elektronskih naprav, ki jih ne potrebujemo [1].

Prav tako nekontroliran in pogosto ilegalen izvoz uporabljenih naprav v države v razvoju predstavlja veliko tveganje ter skrb. Države v razvoju v večini nimajo urejenih aktov, direktiv in zakonov, ki bi urejale reciklažo elektronskih naprav. Z naraščanje elektronskih odpadkov v razvitem svetu se ta strah še povečuje, saj vzporedno narašča tudi izvoz v države v razvoju. Zato je zelo pomembno, da se prav tako kakor v razvitem svetu, tudi v državah v razvoju vzpostavi infrastruktura za reciklažo elektronskih odpadkov. Ko izdelek končno postane odpadke in se ga ne more več uporabljati za svoj prvotni namen obstajata dve možnosti, kako ravnati s takšno napravo. Prednostna možnost je recikliranje in predelava vsebovanih dragocenih materialov. Druga možnost, ki je manj zaželena je odlaganje ali sežig. Druge možnosti se je v največji možni meri potrebo izogniti, saj slabo vpliva na okolje in družbo.

Po definiciji recikliranje pomeni predelavo odpadkov nazaj v materialni cikel, tako da je kontaminacija okolja čim manjša. V bistvu ustrezni reciklažni postopki omogočajo predelavo dragocenih materialov, kot vir sekundarne oskrbe z materiali in možnost za ponovno uporabo v novih izdelkih. To vodi k zmanjšanju porabe primarnih surovin. Prav tako znatno vpliva na prihranek energije in pomaga zmanjšati onesnaževanje zraka, emisije toplogrednih plinov (od sežiganja) in tudi onesnaževanje voda (z odlaganjem). Učinkovito zbiranje in recikliranje izdelkov iz samo enega materiala, kot so časopisi, steklenice, plastenke, kovinska orodja, je v mnogih državah postala že uveljavljena praksa. Prav tako je podoben sistem potrebno vzpostaviti pri zbiranju elektronskih odpadkov.

## 7.2. Politika upravljanja z elektronskimi odpadki

Količina e-odpadkov se povečuje na svetovni ravni, kar ustvarja potrebo po iskanju modelov za nacionalno, kakor tudi mednarodno ravnanje z odpadki. Različne interesne skupine po svetu, vključno z mednarodnimi organizacijami, vladami, akademskimi krogi, industrijo in nevladnimi organizacijami, razpravljajo o ustreznem upravljanju z e-odpadki. Glavni razlog za to je skrb, da e-odpadki povzročajo zdravstvene in okoljske





težave v državah v razvoju. Težave povzročajo predvsem nevarni in okolju tvegani postopki ter slabe prakse, ki jih uporablja neformalni sektor pri iskanju dragocenih kovin in različnih izrabljenih izdelkov.

Splošni cilj pri načrtovanju nacionalne politike ravnanja z e-odpadki je oblikovanje trajnostne družbe za recikliranje. To vključuje vzpostavitev zanesljivih modelov in infrastrukture za zbiranje in recikliranje ter prizadevanja za ozaveščanje in spreminjanje vedenja potrošnikov. Vse nove prakse bodo potrebovale čas za razvoj. Rešitve pa bodo postale učinkovitejše ter prodorne, saj bo recikliranje postalo vsakodnevna praksa.

Pomembni koraki v smeri trajnostnega razvoja ter skrbi za okolje in zdravje ljudi, so bili narejeni z omejitvijo uporabe nevarnih snovi v elektronskih napravah. Omejitev nevarnih snovi je predpisana z direktivo 2002/95/EC ter RoHS. Prav tako so bile sprejete direktiv, ki so se posebej dotikale postopkov recikliranja 2002/96/EC. Podobne direktive se skušajo vzpostaviti tudi izven Evropske unije. Shema zbiranja e-odpadkov je bila prvič vzpostavljena v Evropi. Shema temelji na načelu, da uporabniki kadar želi brez dodatnega plačila odda napravo v postopek recikliranja. Cilje sheme je bil povečati ozaveščenost uporabnikov ter promovirati višanje reciklirnih kapacitet. Direktiva RoHS zahteva, da se v elektronskih izdelkih težke kovine, kot so; svinec, živo srebro, kadmij, heksavalentni krom ter zaviralci gorenja, kot so polibromirani bifenili ali polibromirani difenil eter nadomestijo z manj nevarnimi surovinami.

Kljub takim predpisom o zbiranju in recikliranju se v EU poroča, da je le ena tretjina električnih in elektronskih odpadkov zbrana, ločena in ustrezno obdelana. Drugi dve tretjini še vedno potencialno odhajata na odlagališča ter nedovoljena območja v EU ali z nezakonitim izvozom v države v razvoju. V evropskih državah je za elektronske odpadke vzpostavljena zakonodaja o odgovornosti proizvajalcev, da prevzame odgovornost za proizvode na koncu življenjskega cikla ter vodi pobudo za recikliranje in odstranjevanje. Da bi dosegli višjo učinkovitost in s tem povezane prihranke pri stroških, so bile ustanovljene organizacije PROs ('Producer responsibility organization'), ki so posebej upravljale in spoštovale naložene odgovornosti glede ravnanja z odsluženimi napravami v imenu večih proizvajalcev elektronske opreme.

Za učinkovitejšo rešitev problema ravnanja z e-odpadki so v zadnjem desetletju številne države sprejele predpise o razširjeni odgovornosti proizvajalcev EPR ('Extended producer responsibility').

EPR zahteva, da proizvajalci električne in elektronske opreme vzamejo nazaj in reciklirajo svoje izdelke, ko so ti dosegli konec svojega življenjskega cikla. EPR sloni na domnevi, da bo odgovornost proizvajalca k reciklaži lastnih produktov, prisilila in vzpodbudila proizvajalce, da bodo nove naprave snovali na način, da bodi čim nižji stroški recikliranja ter odstranjevanja. Pomemben vidik EPR-ja je tudi, da bo stopnja povrnjenih surovin čim višja, kar bi posledično znižalo okoljski vpliv ter pocenilo proizvodnjo elektronskih naprav. V praksi poznamo individualni EPR, kjer proizvajalec plača odstranjevanje ter reciklažo le za svoj produkt, ter kolektivni EPR,

kjer vsi proizvajalci v kvotah plačajo odstranjevanje vseh elektronskih produktov. Kvote se ocenjujejo glede na tržni delež ter število proizvedenih naprav.



Trenutno se v Evropski uniji uporabljajo različni modeli kvot za financiranje določenih stroškov v verigi recikliranja. Modeli kvot se med seboj ločijo glede na to, kaj se bo financiralo in kako oceniti stroške za različne kategorije izdelkov ter njihovo zbiranje. Stroški ocenitve različnih kategorij izdelkov ter zbiranje temelji na proizvajalcih, ki so v isti shemi ter proizvajajo različne elektronske naprave. Običajno je vzpostavitev sistemov zbiranja e-odpadkov najučinkovitejša, če je organizirana na kolektivni način, kar pomeni, da si mnogi proizvajalci skupaj delijo isti sistem zbiranja in s tem povezane stroške. To je v Evropi doseženo z vzpostavitvijo PRO-jev.

Pri ravnanju z e-odpadki so vključene različne interesne skupine, ki imajo dodeljene vloge v celotnem procesu recikliranja. To pomeni od zbiranja zastarelih izdelkov, recikliranja do končnega odstranjevanja komponent, ki jih ni mogoče reciklirati na odlagališčih. Pri tem je potreba zagotoviti, da vse interesne skupine sodelujejo v sistemu za ravnanja z e-odpadki. Le tako je možno, da bi sledili strategiji, ki optimizira učinkovitost zbiranja, čim višji izkoristek vsebovanih dragocenih materialov in zmanjša količino materiala, ki ga je treba odstraniti. V tem kontekstu ni dovolj, da se odgovornost omeji le na proizvajalca, ampak tudi trgovce, vlade, lokalne organe, končne uporabnike in industrijo recikliranja. Tudi ti imajo pomemben položaju in vpliv na učinkovitost recikliranja. Da bi razvili učinkovite in trajnostne rešitve, se morajo vsi ustrezni akterji dogovoriti o financiranju in delitvi stroškov. Vse zainteresirane strani tako, nacionalne kot regionalne vlade, potrošniki, nevladne organizacije, imajo pomembno vlogo pri zagotavljanju, da se recikliranje WEEE lahko zgodi na način, ki je trajnosten, stroškovno učinkovit, dostopen in pošten za vse.

### 7.3. Recikliranje elektronskih komponent

Konec življenjskega cikla izdelka lahko razdelimo na več podprocesov, katerih namen je povrnitev uporabljenih materialov in energije. Optimizacija celotne verige reciklirnih procesov je ključna za doseganje učinkovitega recikliranja, tako za okolje, kot tudi za gospodarstvo. To pomeni, da je potrebno upoštevati vse korake recikliranega postopa, saj so med seboj povezani in odvisni. Učinkovitost recikliranja e-odpadkov ni samo odvisna od tehničnih zmogljivostih, ampak tudi od drugih dejavnikov. Obstajajo izzivi, ki so povezani s politiko, zakonodajo, ekonomijo ter z družbo in kulturo. Ena od glavnih ovir pri recikliranju je še vedno pomanjkanje ozaveščenosti potrošnikov o možnosti recikliranja elektronskih odpadkov in njenem ugodnem vplivu na okolje ter ustvarjanju družbe, ki je usmerjena v trajnostni razvoj. To očitno pomanjkanje ozaveščenosti kaže na precej nizko stopnjo zbiranja zavrženih elektronskih izdelkov. Zadnje raziskave po Evropi kažejo le 10% vrnitev elektronskih naprav v proces recikliranja.

Na koncu življenjskega cikla izdelka lahko proces recikliranja razdelimo v tri različne faze, ki potrebujejo različne metode vodenja in različni tehnični pristop, slika 4. Prvi korak je zbiranje in konsolidacija odpadkov, tako imenovani 'vzemi nazaj'. To je predvsem logistični izziv in zahteva visoko raven ozaveščenosti in pripravljenosti potrošnika za vračanje zastarelih elektronskih naprav za recikliranje. V drugem koraku

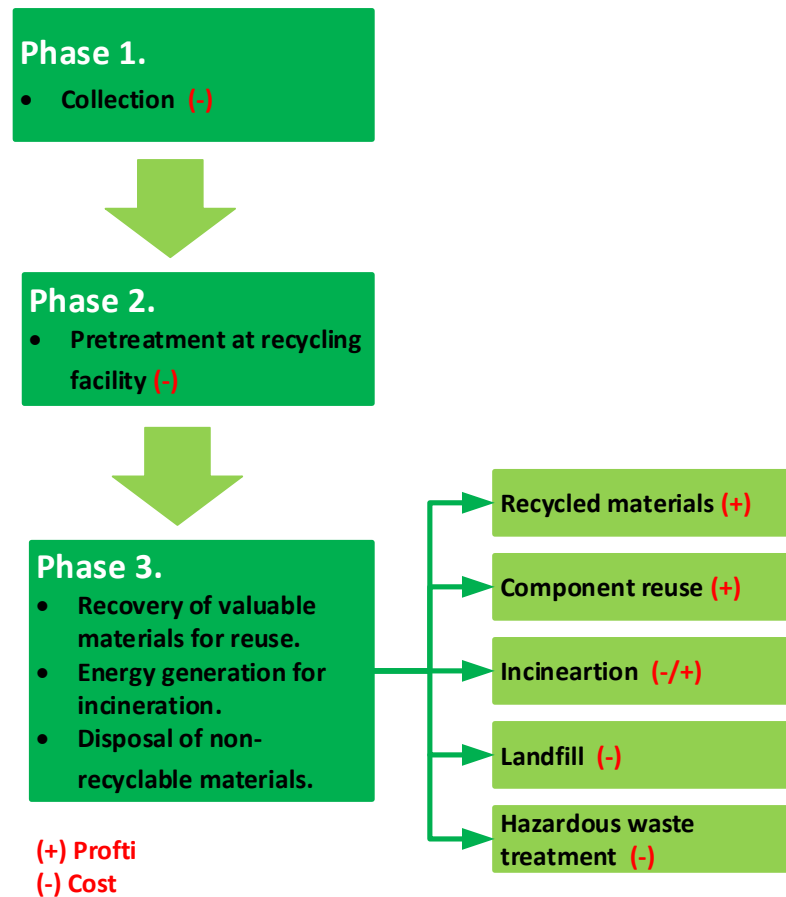




pred obdelavo elektronskih odpadkov, odpadke prevzamejo specializirana podjetja za recikliranje. Ta izvedejo sortiranje naprav, glede na tip naprave. Na primer, posebej se sortirajo računalniški monitorji, televizorji, avdio naprave, stacionarni računalniki, prenosni naprave, kot so mobilni telefoni, prenosni in tablični računalniki, printerji, gospodinjski aparati itd.. Sortiranje se prav tako izvede glede uporabljene in vgrajene materiale v napravi. Ta proces ločevanja se izvede še preden grede naprave v proces recikliranja. Materiale, ki ni moč ponovno reciklirati, se skušajo uporabiti za generiranje energije pri sežigu ali se dokončno zavržejo na odlagališču. Vsak korak pomeni manjši stranski tok, ki ga ni mogoče dodatno obdelati. Odvisno od tipa elektronske naprave ter njene zgradbe je odvisno, kako težaven je proces recikliranja. Učinkovito doseganje druge in tretje faze recikliranja je pogojen s samo napravo. Zato je zelo pomembno, da ima vsak izdelek ali tip naprave izdelan načrt za recikliranje.

Druga faza recikliranja je lahko sestavljena iz ročnega razstavljanja naprave do mehanske ali kemične predelave. Tretja faza reciklaže predstavlja vračanje predelanega materiala nazaj na trg. Prva faza zbiranje odpadkov je organizirana na lokalni ravni. Veliko vlogo zbiranja imajo pri tem lokalne skupnosti, lokalna politika ter organizacije za varstvo okolja. Druga faza je lahko lokalnega ali regionalnega pomena, glede na razpoložljivost recikliranih zmogljivosti ter podjetij. Del tretjega koraka običajno vključuje posebne tehnike, ki so ponavadi organizirane na nacionalni ali mednarodni ravni. Za primer vzemimo rafiniranje plemenitih kovin ali kovin iz redkih zemelj, ki za svojo reciklažo potrebujejo kompleksne in dražje postopke predelave. Slike 4. razkriva, da je zbiranje, recikliranje ter ponovna uporaba materialov povezana z določenimi stroški. Ti stroški se v celoti ali deloma povrnejo s prodajo materiala v tretji fazi. Iz ekonomskega vidika je sežiganje in odlaganje odpadkov na deponijah ničelna dejavnost. Materiali, ki so nevarni in jih ni možno reciklirati predstavljajo le strošek, saj ravnanje s takšnimi odpadki zahteva specializirana odlagališča ter strog nadzor. Z uvedbo politike 'za skrb naprave v celotnem življenjskem ciklu ter prevzem odslužene naprave', proizvajalca usmerja k uporabi materialov, ki se v največji možni meri lahko reciklirajo.





Slika 4. Tri faze recikliranja elektronskih odpadkov.

Učinkovito ravnanje z elektronskimi odpadki zahteva podobno infrastrukturo, kot upravljanje katere koli vrste 'klasičnih' odpadkov. Trije glavni temelji za učinkovito ravnanje z odpadki so; zbiralna infrastruktura, reciklirna industrija in podporne dejavnosti, kot so sistemi ozaveščanja in poročanja. Vse to je potrebno vzpostaviti, še preden se recikliranje elektronskih odpadkov lahko izvede na učinkovit in trajnosten način.

#### 7.4. Zbiranje mesta in infrastruktura

Zbiranje in prevoz elektronskih odpadkov predstavlja glavni strošek celotnega procesa recikliranja. Stroški zbiranja se lahko enormno dvignejo, če se v strošek zbiranja vključijo tudi stroški za osveščanje uporabnikov preko različnih javnih medijev. Optimizacija procesa zbiranja, skupaj z vzpostavitvijo stroškovno učinkovitih načinov za komunikacijo in osveščanje uporabnikov o obstoječih programih za recikliranja, so zato ključnega pomena za učinkovito recikliranje WEEE. Za primer vzemimo zbiranje pošiljk v obcestnih poštnih nabiralnikih, so zelo primerne za potrošnika, toda predstavljajo velik logistični strošek za zbiratelje. Mnoge zbirateljske sheme, ki potrošniku omogočajo, da kadar koli vrnejo svojo zastarelo elektronsko opremo, povzročijo kopičenje elektronskih odpadkov, kar zahteva veliko dragega dodatnega razvrščanja. Priročna zbiralna mesta, na primer v trgovinah z elektronsko opremo ali na mestih, kjer je množičen prehod ljudi



zahtevajo dodaten prostor in nadzorno osebje. Priročnost odlaganja odpadkov ter stroški poslovanja zbiranja odpadkov potekajo sorazmerno. Priročna zbirna mesta znotraj naselij ter velika pokritost mest pomenijo visoke stroške poslovanja zbiranja odpadkov. Nižanje cene poslovanja zbiranja pomeni manj zbirnih mest ter večjo verjetnost za manj zbranih odsluženih naprav. V tem segmentu ima ključno vlogo osveščanje ljudi in pripravljenost uporabnikov, da se odslužene naprave transportirajo v namenska zbirna mesta, ki pogosto niso na vsakdanji poti. Prav tako zbiranje odpadkov ter stroški niso enaki za vse elektronske naprave, na primere zbiranje mobilnih telefonov in hladilnikov zahteva precej drugačen pristop.

Torej vzpostavitev stroškovno učinkovite sheme zbiranja e-odpadkov, ki bo dobro sprejeta iz strani uporabnikov zahteva veliko dela in časa. Uvedba programa recikliranja in izgradnja potrebne infrastrukture sta prva koraka v vzpostavitvi zbiralnega omrežja za e-odpadke. Ko je program enkrat preizkušen ter validiran, ga je mogoče razširiti s sodelovanjem z različnimi partnerji kot so; maloprodajna podjetja, izobraževalni inštituti, nevladne organizacije ter lokalne ali regionalne oblasti. Naslednja faza je izboljšanje zbiralne mreže in nadaljnji razvoj programa s pomočjo zbiranja in analize podatkov ter boljšega razumevanja lokalnega vedenja potrošnikov. V državah Evropske unije so proizvajalci oblikovali PRO-se ('Producer responsibility organisations'), ki so v imenu proizvajalcev vzpostavili stalno zbirno infrastrukturo za e-odpadke. Tako so izpolnili zahteve, ki jih določa Evropska direktiva WEEE.

Čeprav je infrastruktura za zbiranje malih elektronskih naprav, kot so; mobilni telefoni, predvajalniki glasbe, tablični računalniki v mnogih državah že nekaj časa v veljavi, se večina potrošnikov še vedno ne zaveda možnosti recikliranja svojih zastarelih naprav. Veliko komunikacije z javnostjo ter enostavno možnost za prevzem velja, kot vodilo pri ozaveščanju uporabnikov, da bi znatno povečali število zbranih odsluženih elektronskih naprav. Vidna zbirna mesta, ki hkrati zelo učinkovito sporočajo uporabniku sporočilo o možnosti recikliranja naprave, so locirani pri raznih kioskih in drugih zbirnih mestih, slika 5. V tem primeru morajo biti zbirna mesta lahko dostopna na vidiku ljudi in na varnem. Pogosto je težko oceniti, kdaj je zaboj poln in ga je potrebno izprazniti. Zato je potrebno vzpostaviti učinkovito logistično rešitev, ki je ekonomsko upravičena. Prav tako ljudje ponavadi v takšne zbirna mesta odlagajo vse vrste odpadkov, kot so; prazne pločevinke, papirnate skodelice, biološke odpadke, ki se pogosto nahajajo v nakupovalnih centrih ali kavarnah. To povečuje potrebo po dodatne razvrščanju odpadkov.



Slika 5. Zbirno mesto za elektronske odpadke.

Za potrošnika je en od najlažjih načinov za vrnitev majhne zastarele elektronske naprave za recikliranje z uporabo poštne storitve. S predplačniškim okencem za poštni



nabiralnik, slika 6., lahko napravo spustite v najbližji nabiralnik in ga pošljete na ustrezno recikliranje. Ovojnice lahko pridobimo na več načinov. Predplačniške poštne pošiljke in naslove je mogoče prenesti in natisniti z interneta, medtem, ko so ovojnice lahko po naročilu poslane neposredno potrošnikom, razdeljenim v maloprodajnih trgovinah ali v prodajnem paketu novega izdelka. Ovojnice zagotavljajo enostaven postopek vračanja, vendar so nekoliko dražje glede povratne logistike.



Slika 6. Ovojnica za recikliranje mobilnega telefona.

## 7.5. Proces recikliranja elektronskih odpadkov

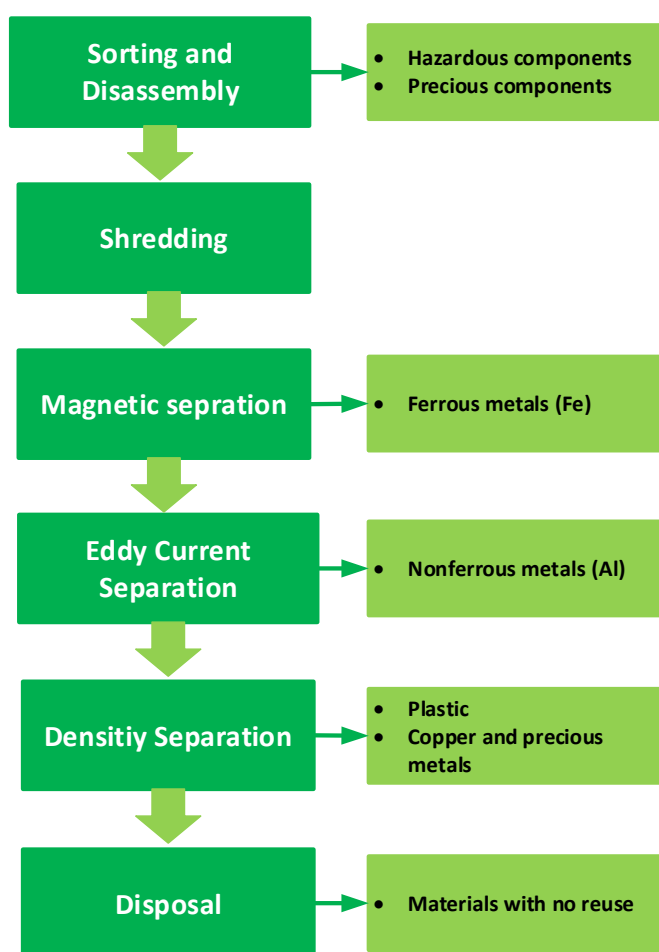
Recikliranje množice različnih kovin, na primer črne zlitine, aluminija ima dolgo zgodovino v metalno predelovalni industriji. Tehnologija recikliranja je dobro razvita in je zelo učinkovita. Nasprotno je s tehnologijo recikliranja elektronskih odpadkov in s tem predelavo kovin, kot vir sekundarnih surovin. Postopki imajo precej kratko zgodovino in imajo precej manj uveljavljenih tehnologij. Elektronski izdelki imajo zapleteno zgradbo in vsebujejo različne materiale. Različni materiali so med seboj integrirani drug v drugega. Ponavadi so prisotni v majhnih količinah in so pogosto vgrajeni v tanke plasti. Razločevanje materialov na različne skupine precej otežuje postopek recikliranja. Prav tako obstaja množica različnih električnih naprav, ki imajo različno strukturo in različne komponente. Tako se postopki recikliranja razlikujejo od naprave do naprave in jih lahko strnemo v nekaj pglavitnih korakov procesa recikliranja elektronskih naprav:

- Sortiranje po komponentah.
- Razgraditev in demontaža. Odstranitev nevarnih elementov in baterij.
- Priprava materiala za nadaljnjo predelavo. Metalurški ali mehanski procesi.
- Recikliranje. Povrnitev materialov v ponovno uporabo.
- Sežig. Uporaba energije.
- Odstranitev materialov, ki jih ni moč reciklirati.

Večina podjetij za recikliranje veliko pozornosti namenijo procesu pred predelavo. To pomeni, da e-odpadke sortirajo na ločene materiale, ki jih pripravijo za končno predelavo. Predelane materiale vrnejo na tržiške, nekatere sežgejo ostale odstranijo na deponijah.



V fazi pred obdelave se uporabljajo različni tehnološki postopki za ločevanje materialov v izdelku. Tako se lahko različne frakcije materialov usmerijo v ustrezne postopke recikliranja. Postopek ločevanja je prikazan na sliki 7. Demontaža kompleksne elektronske opreme se izvaja samo, če naprava vsebuje dragocene dele. Teh delov po navadi ne smemo razredčiti z manj dragocenimi. Kakor tudi pri ločenem recikliranju, kot so tiskanine (PCB), katere vsebuje nevarne snovi in zahtevajo poseben tretma. Na primer vzemimo žarnice, ki vsebujejo živo srebro. V večini primerov se demontaža še vedno izvaja ročno, kar je tudi ozko grlo pri ravnanju z velikimi količinami e-odpadkov. Pri odstranjevanju potencialno nevarnih snovi v proizvodnji elektronskih izdelkov je bilo storjeno že veliko. Postavljene so mnoge direktive ter zakoni, ki omejuje ali prepovedujejo uporabo takšnih snovi. Na primer, materiali, kot so svinec, bromirani zaviralci gorenja in polivinilklorid so popolnoma odstranjeni iz proizvedenih elektronskih naprav.



Slika 7. Proces obdelave odpadkov.

Naslednja faza v postopku pred obdelave je običajno zmanjšanje velikosti materiala z uporabo drobilnikov. Naslednji koraki po procesu drobljenja so namenjeni ločevanju železnih kovin, aluminija in plastike iz zmlitega materiala. Tukaj poznamo tri tehnološke pristope ločevanja, ki temeljijo na uporabi magnetnega polja za magnetne kovine, vrtničnih tokov za nemagnetne in prevodne kovine in princip ločevanja gostote



za ne nekovine. Poudariti je potrebno, da se postopki prilagajajo glede na predelano zmes, tako da se ločitev opravi samo v obsegu, ki je potrebna. Različne frakcije materialov pridobljene z ločevanjem pred obdelavo ter recikliranjem se prodajo istim podjetjem, ki proizvajajo materiale iz primarnih virov, kakor tudi sekundarnih virov surovin pridobljenih s postopki recikliranja. Glede na reciklažo najdragocenejših materialov, kakor tudi žlahtnih kovin integrirane topilnice bakra poročajo o visokih predelavah, ki znaša tudi do 95%. Organski materiali se v tem postopku uporabljajo, kot nadomestki za koks, redukcijsko sredstvo in kot gorivo. Železo in aluminij se preneseta v žlindro pri integriranem taljenju bakra in se ne regenerirata, kot kovine. Žlindro odstranijo na odlagališče. Veliko elektronskih izdelkov vsebuje zaviralce gorenja, ki lahko tekom predelave tvorijo dioksine, če niso primerno nadzorovani in vodeni. V integriranih talilnicah bakra je mogoče e-odpadke obdelati brez emisij dioksina.

Recikliranje plastike je bolj zapleteno, kot recikliranje kovin. E-odpadki vsebujejo različne umetne snovi, ki jih je potrebno identificirati in ločiti za recikliranje. Plastike so pogosto prevlečene, pobarvane in zaščitene pred ognjem. Vse umetne mase veljajo za nečistoče pri recikliranju, zaradi česar je material manj dragocen in tako manj dobičkonosen. Plastika se lahko uporablja tudi, kot gorivo v procesu recikliranja bakra in plemenitih kovin.

K učinkovitemu recikliranju lahko pripomore tudi zgodnja faza načrtovanja elektronske naprave. Ta lahko bistveno pripomore k učinkoviti pred obdelavi WEEE in znatno vpliva na strošek recikliranja. Ravno zaradi različnosti strukturi elektronskih naprav, je težko razviti napredne tehnologije recikliranja, ki so primerne za vse naprave. Prav tako glavni dejavnik, ki ovira razvoj naprednih tehnologij recikliranja, so majhne količine zbranih e-odpadkov. Ta zbrana dejstva lahko potrdijo, zakaj še ni veliko podjetij, ki bi bila specializirana za recikliranje določenih vrst e-odpadkov. Prav tako podaja dejstvo, zakaj že obstoječa podjetja ne morejo sprejeti vse odpadkov za postopek recikliranja. Ker so količine zbranih e-odpadkov še vedno nizke je raven avtomatiziranega recikliranja še vedno v več ali manj v začetnem stadiju in fazi razvoja.

Recikliranje izdelkov se ne razlikuje samo po njihovi zgradbi, ampak tudi o ekonomski upravičenosti reciklaže. Nekateri izdelki vsebujejo relativno velike količine dragocenih materialov, recikliranje teh izdelkov pa ustvarja vrednost in dobiček. To so ponavadi izdelki z žlahtno kovino, ki vsebuje tiskanine (PCB) ali velike kovinske dele. Nekateri izdelki vsebujejo nevarne materiale, ki jih je treba ločiti in obdelati v specializiranih objektih za obdelavo odpadkov. To so ponavadi hladilna sredstva v starih hladilnikih ali v kartušah za tonerje. Nekatero elektronske naprave so lahko izdelane tudi iz materialov brez prodajne vrednosti. V teh primerih recikliranje naprave ni upravičeno saj predstavlja samo strošek. Izkazalo se je, da bodo izdelki, ki vsebujejo relativno visoke količine plemenitih kovin, (mobilni telefoni, tablični računalniki, računalniki itd..) bo ločeno zbiranje in obdelava z vključno višjimi logističnimi stroški, prinesli višjo okoljsko in gospodarsko vrednost.

Za izdelke, ki vsebujejo več kot 250 ppm zlata in 150 ppm paladija, je ločeno zbiranje vedno bolj ekološko učinkovito, kot mešanje teh izdelkov z drugimi, ki vsebujejo manjše količine plemenitih kovin.





## 7.6. Reference

- [1] Pia Tanskanen, Management and recycling of electronic waste, ACT Materialia,(61)2013, p.1001-1011
- [2] Jirang Cui, Roven J. Waste – a handbook for management, Elsevier: Academic Press; 2011. p. 281–96.

