

Nove metode u razvrstavanju otpada

Kaučić, Vjekoslava

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:547574>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek

Stručni studij elektroenergetike

NOVE METODE U RAZVRSTAVANJU OTPADA

Završni rad

Vjekoslava Kaučić

Osijek, 2018. godina

Sadržaj

1.	UVOD	2
2.	OTPAD I VRSTE OTPADA	3
2.1.	VRSTE OTPADA	4
2.2.	ELEKTRIČNI I ELEKTRONIČKI OTPAD	6
2.2.1.	Svojstva EE otpada.....	8
2.2.2.	Postupci recikliranja EE-otpada	9
3.	RAZVRSTAVANJE OTPADA	10
3.1.	RUČNO RAZVRSTAVANJE OTPADA.....	12
3.2.	AUTOMATSKO RAZVRSTAVANJE OTPADA.....	14
3.2.1.	Tehnologija za automatsko sortiranje.....	14
3.2.1.1.	Senzori za razvrstavanje.....	17
4.	PRIMJENA ROBOTIKE U RAZVRSTAVANJU OTPADA.....	22
4.1.	OSNOVE ROBOTA	24
4.1.1.	Mehanički sustav robota.....	25
4.1.2.	Senzorski sustav robota.....	25
4.1.3.	Pogonski sustav robota.....	26
4.1.4.	Upravljački sustav robota.....	27
4.2.	ROBOTIZIRANI SUSTAV ZA RAZVRSTAVANJE OTPADA ZENROBOTICS	28
4.2.1.	Opće karakteristike Zenrobotics uređaja	29
4.2.2.	TwinCAT aplikacija kao mozak ZenRoboticsa	36
4.2.3.	Sustav nadzora i kontrole rada uređaja.....	40
4.2.4.	Ekonomska analiza investicije u Zenrobotics opremu	41
4.3.	POSTROJENJE ZA SORTIRANJE OPTIBAG	45
4.3.1.	Faze u procesu recikliranja sustavom OptiBag	46
4.3.2.	Vrste proizvodnih linija.....	48
5.	ZAKLJUČAK	50
6.	LITERATURA	51
7.	POPIS SLIKA	53
8.	POPIS TABLICA.....	54
	SAŽETAK.....	55
	ABSTRACT	56
	ŽIVOTOPIS	57

1. UVOD

Svako suvremeno društvo suočeno je s mnogobrojnim pitanjima održivog gospodarenja otpadom jer su ta pitanja važna za očuvanje života na Zemlji. Kako su se kroz povijest razvijale civilizacije a broj stanovnika rastao, tako je rasla i količina otpada na Zemlji. Količine otpada su se nagomilavale razvojem industrije, a čovjek je težio odlagati otpad što dalje od mjesta na kojemu je živio.

Zbrinjavanje otpada postalo je jedan od važnih ciljeva suvremenog društva. Tendencija je da otpad ne bude zagađivač okoliša, nego materijal za novu proizvodnju, ovisno o vrsti otpada. Propisi EU određuju i prate gospodarenje otpadom i razvijaju strategije zaštite okoliša. Gospodarenje otpadom nailazi na nekoliko problema: pronalazak adekvatne lokacije za odlaganje otpada, gomilanje velike količine otpada, nelegalni deponiji koji se često nalaze u blizini gradova što dovodi do zagađenja zraka i trovanja pitke vode. Ulaganjem financijskih sredstava u izgradnju odgovarajućih pogona za zbrinjavanje i recikliranje otpada, tijela lokalne i regionalne samouprave pokazuju razvijen nivo ekološke svijesti u svrhu zaštite ljudi i okoliša.

Jedna od osnovnih zadaća u procesu gospodarenja otpadom je proces razvrstavanja i recikliranja otpada. Kako bi ponovno mogli koristiti materijal iz otpada, treba ga nakon sakupljanja preraditi da bi se izradili novi proizvodi ili dobili novi materijali. Razvrstavanje je proces kojim ispunjavamo prvi uvjet za recikliranje nekog proizvoda, a podrazumijeva izdvajanje različitih komponenti otpada. Taj proces u Republici Hrvatskoj odvija se u tvrtkama za gospodarenje otpadom u kojima se u većini slučajeva otpad ručno razvrstava. Potrebno je razmotriti automatizaciju razvrstavanja otpada jer je ručno razvrstavanje otpada spor proces i štetan po ljudsko zdravlje. Razvijene tehnologije za automatsko razvrstavanje otpada su učinkovitije i ekonomičnije u gospodarenju otpadom. U ovom završnom radu analizirat će se nove metode u sortiranju i recikliranju otpada koje pridonose povećanju učinkovitosti recikliranja.

2. OTPAD I VRSTE OTPADA

Znanstvene rasprave često su se vodile u smjeru definiranja otpada i onoga što nije otpad da bi se na što adekvatniji način gospodarilo otpadom. Zakon o održivom gospodarenju otpadom jasno je definirao otpad kao tvar ili predmet kojeg posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti [1]. Otpad predstavlja potencijalno golem gubitak resursa u obliku materijala i energije, a neadekvatno gospodarenje otpadom može ostaviti ozbiljne posljedice na čovjeka i prirodu.

Nekoliko važnih procesa ima utjecaj na smanjenje štetnog djelovanja otpada na ekosustave u cjelini: prikupljanje, transport, ponovno korištenje i zbrinjavanje otpada. Od iznimne je važnosti provoditi nadzor nad tim procesima jer je jedan od ciljeva gospodarenja otpadom smanjenje količine otpada u nastanku ili proizvodnji.

Kako bi se smanjio nastanak otpada i njime što bolje gospodarilo, utemeljen je redosljed gospodarenja otpadom: [2].

1. **spriječavanje nastanka otpada** – izvršavanje odgovarajućih radnji kojima će se spriječiti da izvjesni materijal ili proizvod postanu otpad
2. **priprema za ponovnu uporabu** – poduzimanje postupaka kojima se proizvodi koji nisu otpad ponovno koriste u istu svrhu za koju su zamišljeni
3. **recikliranje** – proces ponovne prerade otpada od kojeg će se dobiti novi proizvod ili materijali
4. **drugi postupci uporabe npr. energetska uporaba** - uporaba je svako djelovanje čiji je primarni rezultat iskorištavanje otpada na način da zamjenjuje druge materijale, npr. pretvorba biootpada u bioplin
5. **zbrinjavanje otpada** – odlaganje otpada na odlagalištima.

2.1. VRSTE OTPADA

Otpad dolazi u mnogo različitih oblika i može se kategorizirati na različite načine. Važno je istaknuti da se ista jedinica otpada može svrstati u nekoliko vrsta otpada, stoga dolazi do ponavljanja u kategorizaciji vrsta otpada kao što je prikazano u tablici 2.1.

Tablica 2.1. Vrste otpada prema svojstvima i mjestu nastanka

Vrsta otpada	Karakteristika otpada
Otpad prema svojstvima *	
Inertni otpad	Otpad koji nije ni kemijski niti biološki reaktivan i neće se razgraditi. Primjeri toga su pijesak i beton. Ova vrsta otpada koagulira u okolišu i može uzrokovati ozbiljne probleme, poput popunjavanja površina, ali ne generira štetne ostatke.
Opasni otpad	Sadrži komponente koje mogu predstavljati potencijalnu ili znatnu opasnost za ljudsko zdravlje i okoliš ukoliko se nepropisno odlažu. To su tvari koje mogu biti eksplozivne, oksidirajuće, zapaljive, nadražujuće, toksične, kancerogene..
Neopasni otpad	Otpad koji zbog svojih svojstava ne šteti čovjeku i okolišu.
Otpad prema mjestu nastanka **	
Kućanski otpad	U kućanski otpad ubrajaju se otpadi na bazi prehrambenih proizvoda, papira, kartona, plastike, tekstila, drva, stakla, metala, pepela, posebni otpadi i opasni otpadi iz kućanstva
Proizvodni otpad	Proizvodni otpad karakterističan je za svaku industriju, a njegovi se volumeni znatno razlikuju. Primjeri proizvodnog otpada uključuju sav otpad iz proizvodnih procesa i otpadni kamen iz rudarstva i kamenoloma.
Komercijalni otpad	Otpad koji nastaje u prodavaonicama, hotelima, restoranima, na tržnicama, u poslovnim zgradama i sl. Najčešće se radi o papiru, kartonu, plastici, drvu, ostacima hrane, staklu, metalima, posebnom otpadu i opasnom otpadu
Građevinski otpad	Otpad nastao na gradilištima poput betona, metala, drva, keramičkih pločica, elektrodijelova, prašine, šute i ostalog
Otpad tvrtki za održavanje	Otpad od čišćenja ulica, okoliša, parkova, plaža
Sve gore navedeno također se može svrstati u kategoriju miješanog komunalnog otpada	
Miješani komunalni otpad	Otpad iz kućanstava, javnih ustanova, prodajnih centara i industrije iz kojeg nisu odvojeni pojedini materijali (poput papira, stakla i sl.)
Poljoprivredni otpad	Otpad koji proizlazi od biljaka, iz voćnjaka, vinograda, mljekara i s farmi (poput ostataka hrane, biljnog i voćnog otpada, opasnog otpada poput herbicida, pesticida i slično.)

* prema: Sofilić, T., Bmardić, I.: Gospodarenje otpadom, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2013.

**prema: Daniel Hoomweg and Perinaz Bhada-Tata; WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management, 2012;

Osim navedenih vrsta otpada, otpad se razvrstava i po posebnim kategorijama otpada. Posebnom kategorijom otpada smatra se: otpadni električni i elektronički uređaji i oprema, otpadni tekstil i obuća, biootpad, otpadna ambalaža, otpadne baterije i akumulatori, otpadna vozila, otpadne gume, otpadna ulja, otpad koji sadrži azbest, medicinski otpad, otpadni brodovi, morski otpad, građevni otpad, otpadni mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, otpad iz proizvodnje titan dioksida, otpadni poliklorirani bifenili i poliklorirani terfenili [3]. Otpad koji je definiran kao posebna kategorija otpada mora se odvajati na mjestu nastanka, odvojeno sakupljati i skladištiti.



Sl. 2.1. Spremnici za odvojeno prikupljanje komunalnog otpada

U svrhu educiranja i upoznavanja stanovništva s potrebom razvrstavanja otpada, Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost provodi promotivne akcije putem medija i održava edukativne radionice. Isto tako, pomaže jedinicama lokalne i regionalne samouprave u osiguravanju novčanih sredstava za nabavu spremnika za odvojeno prikupljanje komunalnog otpada.

2.2. ELEKTRIČNI I ELEKTRONIČKI OTPAD

Elektronički otpad ili e-otpad predstavlja odbačene električne ili elektroničke uređaje. Električni i elektronički uređaji i oprema (EE oprema) predstavljaju sve proizvode koji su za svoje pravilno djelovanje ovisni o električnoj energiji ili elektromagnetskim poljima, kao i oprema za proizvodnju, prijenos i mjerenje struje, te je namijenjena korištenju pri naponu koji ne prelazi 1.000 V za izmjeničnu i 1.500 V za istosmjernu struju [4]. Elektronički otpad sastoji se od komponenti koje sadrže iskoristive i vrijedne materijale, no isto tako neke komponente sadrže opasne tvari, stoga je zbrinjavanje ove vrste otpada jedan od velikih problema u razvijenim zemljama i zemljama u razvoju širom svijeta. Iz tih razloga elektronički otpad je definiran kao opasni otpad i kao takav ne smije biti deponiran u miješani komunalni otpad, nego se mora odvojeno prikupljati.

Iako EE otpad sadrži opasne komponente, isto tako ima vrijedne materijale poput plastike i različitih metala koji nakon procesa recikliranja mogu biti plasirani na tržište sirovina te biti iskorišteni u proizvodnji novih proizvoda. Sve komponente EE otpada koje se ne mogu iskoristiti, moraju se zbrinjavati na adekvatan način kako ne bi imali negativne učinke na okoliš.

Od 15.8.2018. kategorije EE otpada obuhvaćene su grupacijama prikazanim u tablici 2.2. [5]

Tablica 2.2. Kategorizacije EE uređaja

Kategorizacija EE uređaja	Vrsta uređaja i otpada
1. Oprema za izmjenu topline	ledenice, hladnjaci, klima uređaji i ostali uređaji za ventilaciju, odražavanje i druga oprema za izmjenu topline
2. Zasloni, monitori i oprema koja sadrži zaslone površine veće od 100 cm ²	televizori, zasloni, LCD foto okviri, monitori, prijenosna računala
3. Žarulje	visokotlačne i niskotlačne žarulje s natrijevim parama, LED žarulje, fluorescentne žarulje i žarulje s izbijanjem
4. Velika oprema (svaka vanjska dimenzija veća od 50 cm)	strojevi za pranje posuđa, perilice i sušilice rublja, električni štednjaci, kuhinjske peći, glazbena oprema, oprema za reprodukciju zvuka, velika računala, veliki pisači, kopirna oprema i slično
5. Mala oprema (vanjska dimenzija nije veća od 50 cm)	kalkulatori, radio uređaji, videokamere, videorekorderi, usisavači, rasvjetna tijela, šivaći strojevi, mikrovalni uređaji, glačala, tosteri, ručni satovi, električni aparati za brijanje, vage, fenovi, glazbeni instrumenti, oprema za reprodukciju zvuka ili slike, mali električni i elektronički alati i slično
6. Mala oprema informatičke tehnike (IT) i oprema za telekomunikacije (vanjska dimenzija nije veća od 50 cm)	tableti, telefoni, mobilni telefoni, džepni kalkulatori, ruteri, osobna računala, pisači

Na slici 2.1. prikazan je nerazvrstani EE otpad.



Sl. 2.2. EE otpad

EE otpad se prikuplja od posjednika otpada koji je obvezan EE otpad izdvajati od ostalog komunalnog otpada i predati ga ovlaštenom sakupljaču bez prethodnog rastavljanja i vađenja njegovih komponenti. Ovlašteni sakupljači za sve vrste EE otpada u Republici Hrvatskoj su tvrtka Flora VTC iz Virovitice, CE-ZA-R iz Zagreba i Metis iz Kukuljanova. Svi oni imaju svoje kooperante u županijama diljem Hrvatske s kojima surađuju u procesu preuzimanja EE otpada od korisnika bez novčane naknade. Ovlašteni sakupljači i prerađivači EE otpada moraju osigurati uvjete kako bi se EE otpad pripremio za ponovnu uporabu, recikliranje i druge postupke oporabe, te izdvojile opasne tvari iz EE otpada.

2.2.1. Svojstva EE otpada

EE otpad se mora odvojeno prikupljati zbog opasnih tvari koje su sadržane u električnim i elektroničkim uređajima. Tablica 2.3. opisuje izvore otpada i njegova svojstva koja su potencijalno opasna za okoliš i zdravlje ljudi.

Tablica 2.3. Vrste i opasnosti EE otpada (prilagođeno prema [4].)

Vrsta otpada	Izvor	Opasnosti
Plastika	računala, TV uređaji, glazbeni uređaji, mobilni uređaji. U procesu spaljivanja plastike nastaju otrovni plinovi	sadrži različite štetne kemikalije i aditive koji narušavaju hormonsku ravnotežu kod ljudi i životinja
Kadmij	sadrže ga otpornici čipa, infracrveni čitači, poluvodiči i stariji tipovi katodnih cijevi, a koristi se odnedavno i kao stabilizator u plastici	otrov koji je povezan s bolestima bubrega i jetre
Živa	sadrže je svjetlosne žarulje u ravnim ekranima, sklopke, sva ožičenja u tiskanim pločama	oštećuje središnji živčani sustav, motoriku i unutarnje organe
Berilij	nalazi se na matičnim pločama i konektorima	uzrokuje alergijsku bolest berliozu i bolesti tkiva koje mogu biti opasne po život, klasificiran je kao kancerogena materija
Olovo	upotrebljava se u katodnim cijevima kao i na većini spojeva na pločama koje su zaštićene olovom	štetno je za bubrege, živčani i reproduktivni sistem, usporava mentalni razvoj djece, može izazvati anemiju i leukemiju
Heksavalentni krom	primjenjuje se za zaštitu od korozije pločica i konektora.	nadražuje kožu, pluća i probavni sustav te uzrokuje karcinom pluća
Barij	nalazi se u katodnim cijevima da bi zaštitio korisnike od zračenja	konzumacija manje količine barija može imati za posljedicu povraćanje, grčeve u trbuhu, poteškoće u disanju, povećani ili sniženi krvni tlak i slabost mišića dok veća količina može uzrokovati promjene srčanog ritma ili paralize kod ljudi
Fosfor	koristi se kao premaz unutarnje strane monitora	prekomjerne količine u krvotoku ubrzavaju gubitak kalcija

U slučaju nesavjesnog odlaganja EE-otpada u okoliš toksici kao što su olovo, živa i kadmij istječu u zemlju te zagađuju tlo i vodu što narušava kvalitetu života, stoga je potrebno ozbiljno pristupiti problemu prikupljanja i recikliranja takve vrste otpada.

2.2.2. Postupci recikliranja EE-otpada

Direktivu o recikliranju EE otpada donio je Europski parlament. Ona je obvezujuća za sve članice Europske unije, a izglasana je s ciljem smanjenja posljedica koje proizlaze iz EE otpada. Prema navedenoj odredbi svaka zemlja članica dužna je odvojeno prikupljati i prerađivati elektronički otpad te povećati stopu iskoristivosti reciklata iz elektroničkog otpada. Stopa iskoristivosti EE otpada od 2016. godine trebala je iznositi 45 % od ukupne mase sakupljenog EE otpada, uz postupno povećanje do 2019. godine kada stopa iskoristivosti otpada treba doseći razinu od 65 % nastalog EE otpada [3].

Ovisno o stupnju očuvanja prikupljenog otpada, otpad se može zbrinjavati na sljedeće načine [4]:

- ponovna upotreba dijelova ili sklopova, s ili bez prethode dorade ili obnavljanja
- ponovno iskorištavanje materijala (bez gubitka kvalitete)
- iskorištenje sirovine (dobivanje reciklata slabije kvalitete)
- iskorištenje energije (npr. dobivanje ulja ili plinova iz plastičnog otpada)
- uklanjanje spaljivanjem ili kompostiranjem
- odlaganje otpada

Recikliranje proizvoda i recikliranje materijala dva su osnovna postupka recikliranja. U procesu recikliranja materijala, prethodno stanje otpada nije bitno jer se odbačeni proizvod prerađuje u sirovinu za ponovno dobivanje materijala (sekundarna sirovina). Ako se radi o pristupu recikliranju proizvoda, onda se daje važnost očuvanosti proizvoda jer očuvani proizvod ima veću vrijednost na tržištu.

Prerada dotrajalih proizvoda može se promatrati u tri faze [4]:

- Prikupljanje – podrazumijeva rukovanje, prijevoz, pakiranje i skladištenje. Za ovu fazu zaduženi su centri za gospodarenje otpadom
- Vrednovanje otpada – procjena dotrajalosti. Odluke o načinu prerade otpada donose se na temelju procjene dotrajalosti i raspoloživih postupaka
- Prerada otpada – proizvodi koji se mogu ponovno upotrebljavati upućuju se na obnavljanje i vraćaju u ponovnu upotrebu dok se neispravni upućuju na rastavljanje gdje se odvajaju ispravni dijelovi koji se mogu ponovno koristiti, a neupotrebljivi dijelovi se upućuju na recikliranje i na odlagalište.

3. RAZVRSTAVANJE OTPADA

Mješoviti komunalni otpad u neobrađenom obliku ima malu vrijednost, ali pojedinačni materijali sadržani u miješanom komunalnom otpadu imaju svoju vrijednost. Kako bi se smanjila količina konačnog otpada i dobila ekonomska korist iz korisnog udjela otpada, pristupa se procesu razvrstavanja otpada. Pod razvrstavanjem otpada podrazumijevamo proces odvajanja otpada prema različitim vrstama.

Kako bi proces razvrstavanja i ponovne upotrebe iskoristivog dijela otpada bio što učinkovitiji, osim reciklažnih dvorišta i pogona za sortiranje otpada, važnu ulogu imaju i tzv. "zeleni otoci" koje postavljaju komunalna poduzeća. Primarno razvrstavanje otpada jedan je od preduvjeta za kvalitetniji proces razvrstavanja i recikliranja što osigurava veći stupanj čistoće korisnog otpada. Primarnu selekciju otpada provode kućanstva koja imaju obvezu razvrstavati otpad.

Postrojenja za razvrstavanje otpada upotrebljavaju se za povratak materijala iz struje komunalnog otpada djelujući kao filter između sakupljanja i odlaganja. Nakon što se obnove, reciklati mogu zamijeniti materijale u proizvodnji novih proizvoda, a njihovo uklanjanje iz otpada smanjuje količinu otpada koji se šalje na konačni tretman.

Prema članku 54. Zakona o održivom gospodarenju otpadom (N.N., br. 94/13.), do 1. siječnja 2015. Republika Hrvatska je putem nadležnih tijela bila obvezna osigurati provođenje odvojenog sakupljanja sljedećih vrsta otpada [6]:

- papir
- metal
- plastika i staklo
- električni i elektronički otpad
- otpadne baterije i akumulatori
- otpadna vozila
- otpadne gume
- otpadna ulja
- otpadni tekstil i obuća
- biootpad i
- medicinski otpad.

Osim odvojenog prikupljanja navedenih vrsta otpada, Republika Hrvatska kao država članica Europske unije ima obvezu do 1. siječnja 2020. osigurati pripremu za ponovnu uporabu i recikliranje metala, plastike, papira i stakla iz kućanstva u minimalnom udjelu od 50 % u odnosu na prikupljenu masu otpada.

Za navedene vrste otpada potrebno je osigurati uvjete za pripremu ponovne uporabe, recikliranje i druge načine materijalne oporabe otpada.

Upravo iz tog razloga potrebno je ulagati u izgradnju postrojenja za razvrstavanje otpada, zajedno s infrastrukturom prikupljanja koja će djelovati kao filter u lancu zbrinjavanja otpada te izdvajati iz prikupljenog otpada više ili manje kvalitetne sortirane frakcije materijala. One se izravno mogu preusmjeriti u ponovnu proizvodnju ili prodaju kao proizvod na lokalnom ili globalnom tržištu, a osim ostvarivanja ekonomske korisnosti smanjuju količinu otpada za konačno odlaganje.

Postoje dva tehnička pristupa razvrstavanju otpada: ručno sortiranje i automatsko sortiranje. Konfiguracija linije sortiranja ovisi o dolaznom toku otpada, svrsi postrojenja i tržištu na kojem djeluje. U razvijenim gospodarstvima, tržišna struktura podupire i zahtijeva sofisticirana tehnološka rješenja za sortiranje dok u zemljama u razvoju, niža tehnološka rješenja mogu biti dovoljna i realnija s obzirom na troškove rada i načine održavanja.

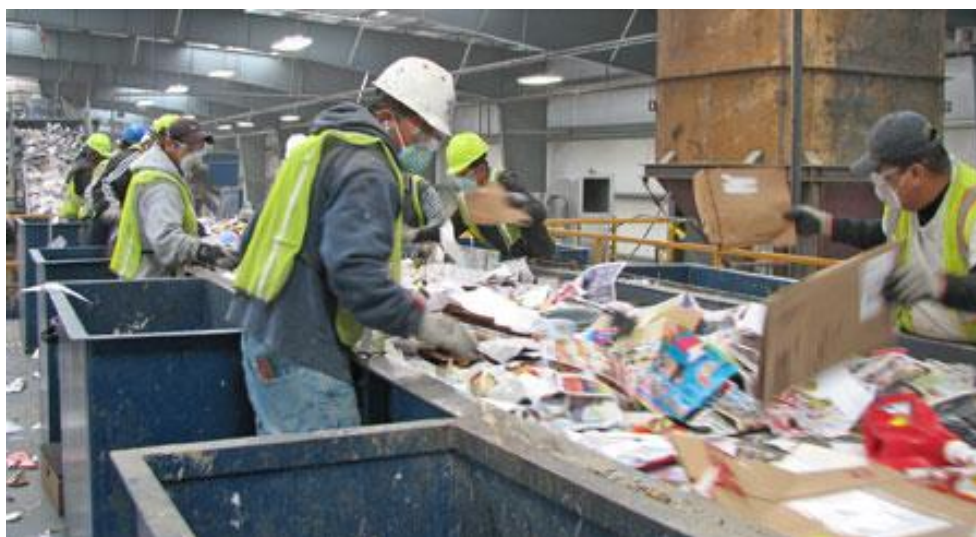
3.1. RUČNO RAZVRSTAVANJE OTPADA

Ručno razvrstavanje otpada je postupak kod kojeg se različite vrste otpadnog materijala ručno odvajaju te se reciklabilni materijali odvajaju od ostalih vrsta otpada.

Općenito, u procesu ručnog razvrstavanja obavljaju se sljedeće zadaće:

- izdvajanje otpada koji bi u daljnjem tijeku razvrstavanja i recikliranja mogao dovesti do zaustavljanja reciklažnog procesa
- s pokretne trake eliminiraju se preveliki ili teški materijali ili materijali koji nisu usklađeni s ostalim prikupljenim reciklažnim materijalima
- precizno izdvajanje otpada nakon procesa razvrstavanja u cilju osiguranja veće kvalitete razvrstanih materijala
- izdvajanje reciklabilnih materijala iz ostalog otpada.

U pogonima u kojima se obavlja ručno sortiranje otpada, proces sortiranja odvija se tako da se radnici nalaze s obje strane transportne trake i odvajaju različite frakcije otpada u odgovarajuće spremnike. Rad uz pokretnu traku i razvrstavanje otpada veoma je štetan za zdravlje radnika. Radnici su u pogonima za razvrstavanje otpada svakodnevno izloženi brojnim opasnostima (izloženost opasnim materijalima, rad u nezgodnom položaju, padovi, udisanje štetnih tvari, rad u konstantnoj buci, na ekstremnim temperaturama i slično).



Sl. 3.1. Ručno razvrstavanje otpada

S ciljem smanjenja mogućnosti nastajanja ozljeda na radu, radnici u pogonima za sortiranje otpada, kao i u ostalim proizvodnim postrojenjima, moraju biti educirani i imati posebnu zaštitnu opremu. Mjere zaštite na radu nalažu obvezno nošenje zaštitne opreme koja se sastoji od rukavica, zaštitnih naočala, zaštitne obuće, kacige, maske te reflektirajućeg prsluka. Osim korištenja zaštitne opreme poslodavac je obavezan svakog radnika educirati o mjerama zaštite na radu i postupcima ručnog sortiranja.

Smanjenju opasnosti u pogonima za ručno razvrstavanje otpada doprinosilo bi i izbjegavanje razvrstavanja medicinskog otpada, stakla, kemijskog otpada, azbesta, biološkog otpada te osiguravanje higijenskog standarda radnog mjesta što uključuje osiguravanje dovoljnog broja mjesta za pranje ruku i izdvojenu prostoriju za odmor kako se hrana ne bi konzumirala u pogonu za razvrstavanje čime bi se umanjila mogućnog unošenja opasnih tvari u organizam.

Da bi se u što većoj mjeri izbjegle opasnosti na radnim mjestima u pogonima za ručno sortiranje otpada, kontinuirano se poboljšavaju uvjeti rada tako da se [7]:

- optimizira radno mjesto, odnosno prilagodi visina pokretne trake
- omogući korištenje ručnih hvataljki za lakši dohvat otpada s pokretne trake ili s poda jer se na taj način smanjuje potreba za saginjanjem i istežanjem
- spremnici za otpad postave na način da zaposlenici ne troše puno vremena i snage za prebacivanje izdvojenih materijala u spremnik
- zaposlenicima osigura nesmetan pristup radnom mjestu.

Najčešće se u pogonima za sortiranje koristi kombinacija ručnih i automatiziranih postupaka razvrstavanja jer se neki koraci u postupku razvrstavanja najbolje rješavaju ručno, dok su za druge korake jednostavniji i praktičniji automatizirani postupci.

Opći ciljevi automatizacije procesa sortiranja su [8]:

- sortiranje većih količina raznovrsnog otpada
- veći sigurnosni i higijenski uvjeti u sortirnim postrojenjima
- sigurnost u kvalitetu razvrstane sirovine (otpada)
- izdvajanje opasnog od korisnog otpada
- ekonomska isplativost postupka.

3.2. AUTOMATSKO RAZVRSTAVANJE OTPADA

Ručno razvrstavanje otpada je monoton, fizički naporan i izuzetno opasan rad. Kako bi se zaštitilo zdravlje zaposlenika, ali i povećala ekonomičnost poslovanja, logično je primijeniti automatizaciju i suvremenu tehnologiju u procese razvrstavanja otpada. Na taj način sustav će postati sigurniji i profitabilniji. Uspješna upotreba automatiziranog razvrstavanja otpada ovisi o kvalitetnom projektiranju pogona za razvrstavanje od ulaza sirovine do izlaza reciklata te o upotrebi najadekvatnijih tehnologija u fazama razvrstavanja otpada.

3.2.1. Tehnologije za automatsko sortiranje

Vrsta otpada koja se razvrstava utječe na korake i primijenjene tehnologije razvrstavanja otpada. Zbog svakodnevnog razvoja zemalja i povećanja stupnja potrošnje, komunalni otpad ima tendenciju da postane velika mješavina materijala koja zahtijeva složenu tehnologiju kako bi se na temelju procesa razvrstavanja izdvojile čiste frakcije. Tehnologije za razvrstavanje otpada moraju imati sposobnost sortiranja sve raznovrsnijih vrsta i količina materijala bez obzira na veličinu, sadržaj vlage ili razinu onečišćenja. Ova visoka razina varijacija u tokovima otpada obično dovodi do kombinacije tehnologija koje se primjenjuju za uspješno odvajanje otpada.

Tablica 3.1. ukratko opisuje neke od glavnih tehnologija koje se koriste u postrojenjima za sortiranje otpada.

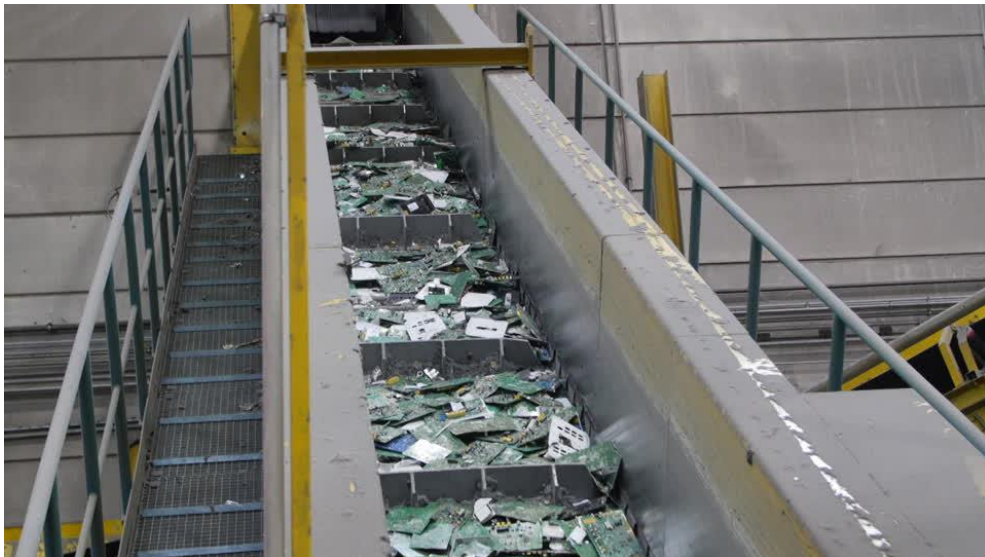
Tablica 3.1. Pregled tehnologija razvrstavanja otpada [8]

Tehnologija	Vrsta tehnologije	Opis rada uređaja
Prosijavanje otpada	Prosijavanje sitom	rotirajući cilindar s rupama dopušta propuštanje materijala određene veličine
	Prosijavanje diskovima	korito s vertikalno raspoređenim diskovima transportira velike dijelove otpada, ali omogućuje manjim predmetima da ispadnu kroz praznine
	Oscilirajuće prosijavanje	vibrirajuće spuštene postolje omogućava da manji otpad propada kroz postolje dok se veći otpad prenosi do kraja
Zračno odvajanje	Rotacijski zračni sorter	separator strujom zraka hvata lagane frakcije
	„Cross-current“ zračni sorter	otpad se kreće pokretnom trakom i propušta kroz struju zraka pri čemu se lagane komponente otpuhuju vodoravno do točke za sakupljanje a teške komponente padaju.
	Usisavač	usisava lagani otpad izravno s pokretne trake
Balistički separator		strmo nagnuta pokretna traka s perforiranom pločom ima alternativne vibrirajuće elemente pri čemu se lagane frakcije podižu bregastom trakom na vrh trake, a teške frakcije padaju na dno
Film grabber		otpad se usmjerava na rotirajući bubanj sa šiljcima koji hvataju platičnu foliju, a propuštaju druge vrste otpada
Magnetni separator		magneti podižu željezni metal iz otpada ili drže željezni metal na transportnoj traci dok se drugi otpad otpušta
Eddy current separator		eddy currents se koriste za guranje obojenih metala s magnetičnim sustavima u odvojenu sabirnu točku, a nemetalni otpad pada u drugi
Ručno sortiranje		zaposlenici su smješteni pored transportera i ručno uklanjaju materijale
Tehnologija senzora	NIR (<i>Near infrared</i>)	koristi se za razlikovanje plastičnih materijala (PET, HDPE, PVC, PP i PS).
	VIS (<i>Visual spectrometry</i>)	koristi se za prepoznavanje materijala na bazi boje.
	XRF (<i>X-ray Fluorescence</i>)	koristi se za razlikovanje metala / legura (npr, bakar od željeza)
	XRT (<i>X-ray Transmission</i>)	utvrđuje materijale na temelju atomske gustoće – npr, halogene i organske komponente.
	EMS (<i>electromagnetic sensor</i>)	identificira metale na temelju njihove vodljivosti
Robotika	AI roboti za razvrstavanje otpada	transportni remen provodi otpad preko paketa senzora, uključujući vidljive spektralne kamere, NIR spektroskopske kamere, 3D laserske skenere i metalne senzore, a robotske ruke djeluju iznad transportera uklanjajući materijal dok se otpad prebacuje ispod njega
Tehnologija prepoznavanja	RFID oznaka	koncept uključuje ugrađivanje RFID oznaka u pojedinačne artikle za pakiranje koje se zatim prepoznaju u bazi podataka kako bi se omogućilo precizno sortiranje različitih vrsta otpada

Tvornice za razvrstavanje otpada koriste više vrsta nabrojanih tehnologija u procesu razvrstavanja otpada. Kako bi protok otpada kroz pogon za razvrstavanje bio efikasan, izrađuju se planogrami kojima se određuje protok otpada kroz postrojenje.

Pri dolasku otpada u postrojenje za razvrstavanje, otpad prolazi kroz predobradne operacije. Najprije se vertikalnim pokretnim trakama (slika 3.2.) otpad podiže na visinu prikladnu za nastavak obrade u ostalim uređajima.

Transport otpada između pojedinačnih uređaja provodi se pokretnim trakama. Pokretne trake sastoje od valjaka i gumenih traka koja spajaju valjke. Gumene trake pomiču se rotiranjem i na taj način transportiraju objekte od jednog do drugog ardnog mjesta, tj. s točke istovara do pogona za razvrstavanje otpada.



Sl. 3.2. Vertikalna pokretna traka s EE otpadom

Pokretne trake dovode otpad do uređaja za razvrstavanje. Ovisno o vrsti otpada koriste se uređaji za razvrstavanje različitog stupnja tehnološkog napretka. U tablici 3.1. dan je pregled tehnologija za razvrstavanje otpada. Među novije tehnologije u razvrstavanju otpada ubrajaju se senzori za razvrstavanje, umjetna inteligencija, upotreba robota i tehnologija prepoznavanja (RDIF).

3.2.1.1. Senzori za razvrstavanje

Primjena optičkog sortiranja u procesu razvrstavanja otpada predstavlja suvremenu metodu razvrstavanja otpada na bazi senzora. Takav sustav je u mogućnosti raspoznati i izdvojiti različite vrste otpada pomoću senzora, manipulatora, robota i slično. Korištenjem ove tehnologije, iz otpada se željene frakcije materijala izdvajaju brzo i ekonomično.

Senzor je uređaj koji pretvara fizičku pojavu u električni signal. Kao takvi, senzori predstavljaju dio sučelja između fizičkog dijela i dijela elektroničkih uređaja, poput računala. [9].

Pogoni za sortiranje koji sadržavaju uređaje na bazi senzora sastoje se od tri podsustava [9]:

- **sustav za prilaz otpada** (vibracijski dodavači, pokretne trake) ima zadatak obaviti transport otpada do sustava senzora. Kako bi se otpad mogao razvrstavati uz pomoć tehnologije potrebno je osigurati razmak između jedinica otpada da bi senzori mogli prepoznati komponente
- **sustav senzora** (senzori za raspoznavanje otpada prema karakteristikama) ima ulogu odašiljanja zraka na otpad. Uz pomoć kamera i lasera sustav senzora ili jedinica senzora prepoznaje otpad prema vrstama i obavlja mjerenje dimenzija otpada te šalje signal u računalo gdje se on obrađuje. Nakon obrade primljenih informacija računalo šalje zadatak sustavu za uklanjanje otpada s pokretne trake. U zadatku su definirane dimenzije i pozicija objekta.
- **sustav za uklanjanje** (roboti ili manipulatori) ima zadatak ukloniti otpad s pokretne trake i odložiti ga u pripadajuće spremnike, ovisno o vrsti otpada.

Sustav senzora bazira se na strojnom vidu. Strojni vid je optički i elektronički sustav koji može automatski snimati 2D sliku ili analizirati 3D sliku objekta ili dijela objekta te obraditi takvu sliku. [10]

Osnovni uređaj sustava strojnog vida je kamera. Pomoću kamere snima se željeni objekt nakon čega se dobivene informacije upućuju na analogno-digitalnu pretvorbu i daljnu obradu uz programsku podršku.

Optički senzori koji se upotrebljavaju u procesima razvrstavanja otpada su [8]:

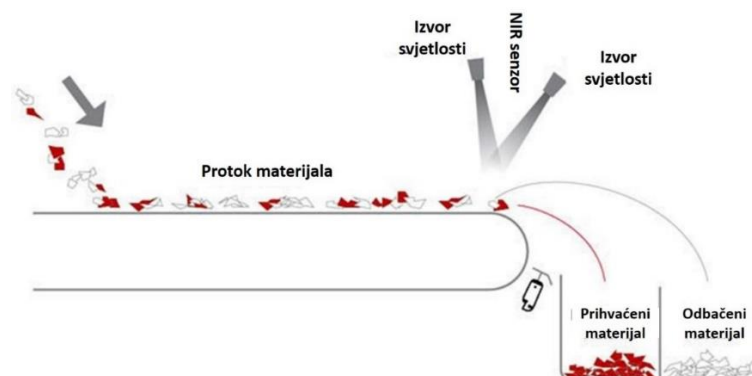
- NIR (Near infrared) senzori - koriste se za razlikovanje plastičnih materijala (PET, HDPE, PVC, PP i PS).
- VIS (senzori vidljive svjetlosti) - koriste se za prepoznavanje materijala na bazi boje.
- XRF (X-ray Fluorescence) - koristi se za razlikovanje metala/legura (npr, bakar od željeza)
- XRT (X-ray Transmission) - utvrđuje materijale na temelju atomske gustoće – npr, halogene i organske komponente.
- EMS (elektromagnetski senzor) - identificiraju metale na temelju njihove vodljivosti.

Optički senzori koji se koriste u pogonima za razvrstavanje otpada najčešće su bazirani na NIR ili VIS tehnologiji.

NIR (Near-InfraRed) senzor

NIR je metoda koja koristi blisko infracrveno područje elektromagnetskog spektra (od oko 700 do 2500 nm). Mjerenjem raspršenog svjetla koje prolazi kroz uzorak, NIR reflektivni spektri koriste se za brzo određivanje svojstava materijala bez mijenjanja uzorka. Zrake infracrvenog svjetla usmjeravaju se na objekt koji se nalazi na pokretnoj traci. Na temelju različitih intenziteta svjetlosti koja se vraća u sustav nakon odbijanja od predmeta, NIR prosljeđuje dobivene informacije na obradu podataka nakon čega se dobiva informacija o kojem se materijalu radi. NIR senzor raspoznaje različite vrste polimera, papira, kamen, drvo i građevinski otpad.

Princip rada uređaja NIR senzora prikazan na slici 3.3.



Sl. 3.3. Princip rada uređaja s NIR senzorom

Nekoliko tvrtki proizvodi uređaje za razvrstavanje otpada koji se baziraju na tehnologiji NIR senzora. Slika 3.4. prikazuje uređaj za optičko razvrstavanje otpada UNISORT razvijen u njemačkoj tvrtki Steinert koji sadrži NIR senzor. Uređaj razvrstava raznovrsni otpad u sitnim frakcijama do 30 mm.



Sl. 3.4. UNISORT uređaj za optičko sortiranje otpada na bazi NIR senzora

Senzor vidljive svjetlosti (VIS)

VIS senzor koristi spektar vidljive svjetlosti elektromagnetskog zračenja. Najčešće se koristi u međusobnoj interakciji s NIR sensorima i kamerama. VIS senzor daje potrebne informacije NIR senzoru kako bi mogao prepoznati o kojim vrstama otpada se radi na temelju njihovih boja. Proces prepoznavanja odvija se tako da senzor odašilje valne duljine različitih boja na otpadni materijal. Na temelju razlike primljene valne duljine u odnosu na poslanu zraku, zraka koja se vraća u senzor daje informaciju senzoru o kojoj se boji, odnosno vrsti materijala radi [11].

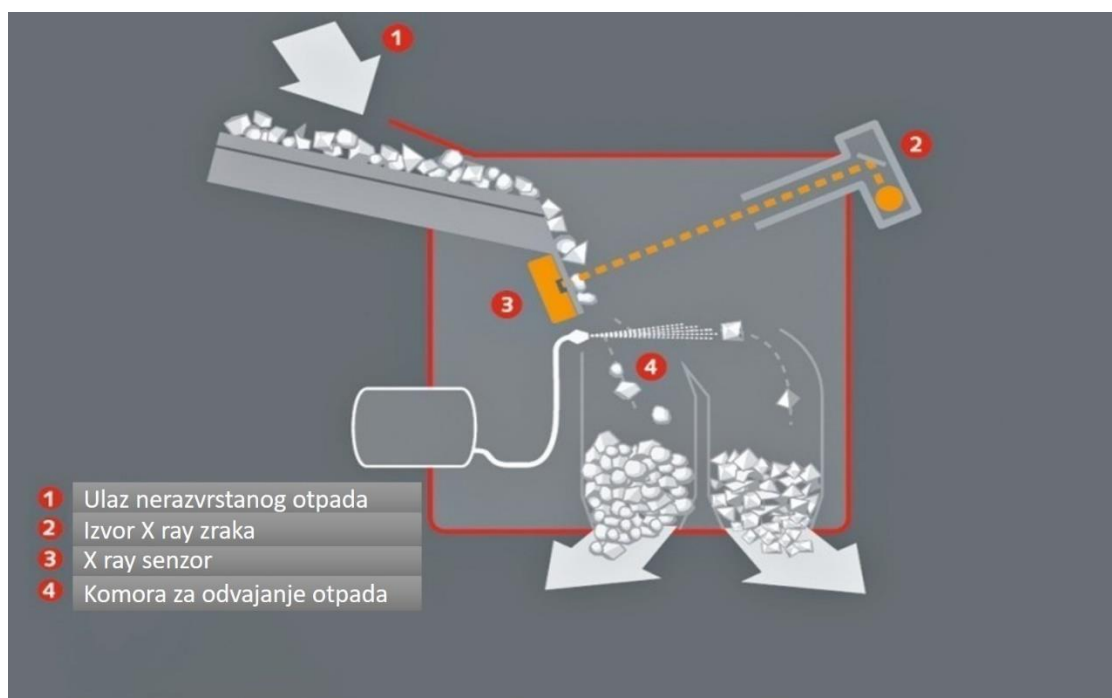


Sl. 3.5. Uređaj za optičko sortiranje tvrtke MSS

Slika 3.5. prikazuje uređaj tvrtke MSS iz grupacije CP grupe koja predvodi industriju u proizvodnji najsuvremenijih optičkih sustava sortiranja. Optički sustavi sortiranja MSS-a su na terenu dokazani kao najučinkovitiji uređaji za automatsko odvajanje papira, plastike, metala, stakla, drveta, e-otpada i ostalih vrsta otpada.

Senzor X zraka

Senzor X zraka koristi rendgenske zrake za analizu materijala koji se nalazi na pokretnoj traci. Senzor analizira odzive različitih materijala i dobiva podatke o njihovim vrstama na temelju razlike u gustoći rendgenskih zraka koje se vraćaju u informacijski sustav. Na slici 3.6. prikazan je rad senzora X zraka koji nakon skeniranja otpada, rendgenskim zrakama razvrstava otpad u pripadajuće komore za odvajanje otpada.



Sl. 3.6. Shematski prikaz rada senzora X zraka

Prijenos materijala po transportnoj traci odvija se pomoću vibracijskog transportera. Po potrebi se transportna traka može zaustaviti ili mijenjati brzinu kretanja što dovodi do kontrole protoka otpada do separatora, nakon čega se razdvaja materijal. U trenutku kada se otpad nalazi u području skeniranja senzorom, traka se zaustavlja a rendgenski izvor smješten ispod transportne trake zrači njegovo usko područje. Količina zračenja koju materijal upija mjeri se detektorima koji su smješteni na nosaču transportera. Svaki objekt na traci razvrstava se prema kriterijima koji su programirani u računalnom programu. Kada odluka o razvrstavanju odgovara postavljenim kriterijima razvrstavanja, skenirani objekt se odvaja od ostatka materijala i odvaja u komoru za odvajanje otpada.

EMS (elektromagnetski senzor)

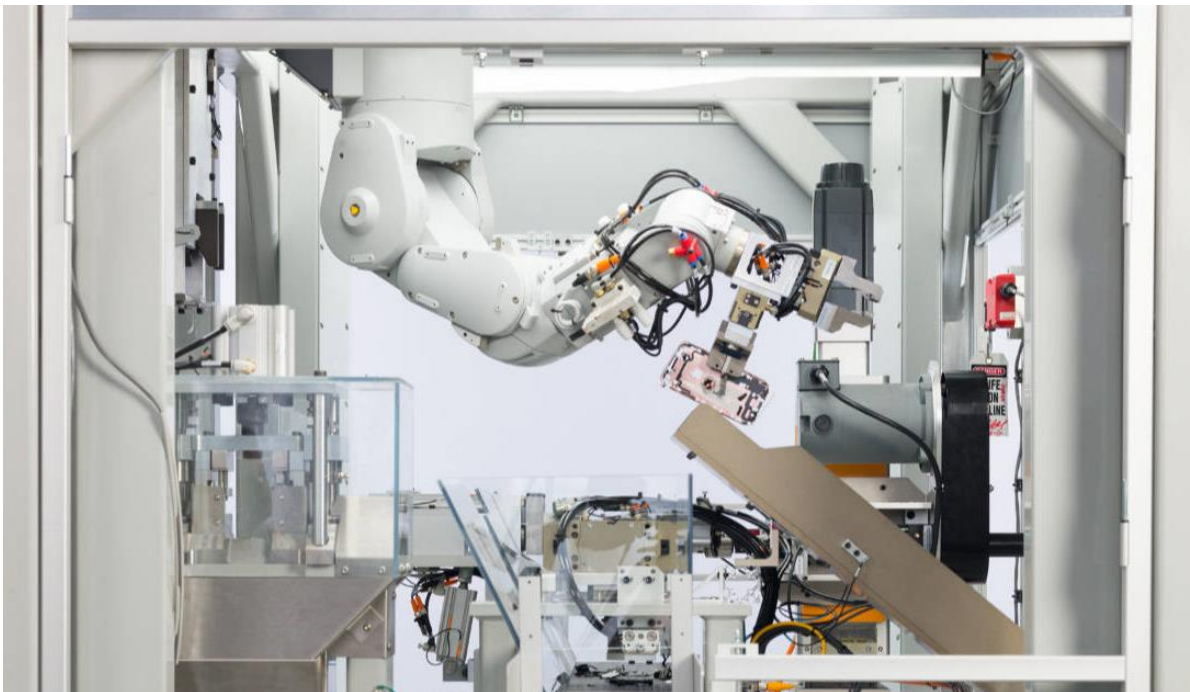
Elektromagnetski senzori koriste se u sortiranju metalnih otpadaka i elektroničkom obrađivanju otpada. Kao kriterij razlikovanja među metalima EMS koristi interakciju između metala i izmjeničnog magnetskog polja [12].

Princip se temelji na promjeni u snazi elektromagnetskog polja umjetnog magnetskog polja kod električno vodljivih materijala u tokovima otpada. Kada vodljivi materijal (npr. metalna žica) prolazi kroz magnetsko polje, dolazi do indukcije vrtložnih struja što dovodi do gubitka energetskog polja a tu pojavu otkrivaju osjetljivi elektromagnetski senzori. Nakon detektiranja metala u toku otpada, mehanička ruka ili pokretna traka odvajaju određenu frakciju u odložnu posudu.

4. PRIMJENA ROBOTIKE U RAZVRSTAVANJU OTPADA

Robotika je znanstveno-tehnička disciplina čiji je cilj izrada i razvoj robota, automatiziranih strojeva kojima upravljaju računala pomoću upravljačkog programa i informacija primljenih preko senzora - elektroničkih osjetila [13]. Područja kojima se robotika bavi su projektiranje, izgradnja, rukovanje i korištenje robota, kao i računalni sustavi za njihovu kontrolu .

Roboti se danas koriste u opasnim okruženjima (između ostalog za detekciju i deaktiviranje bombi), proizvodnim procesima ili u prostorima gdje postoji opasnost za zdravlje i ljudski život. Roboti pronalaze svoju primjenu u brojnim industrijama, od proizvodnje automobila do kirurških zahvata u operacijskim salama, ali isto tako svoju primjenu imaju u sortiranju različitih vrsta otpada. Jedan od primjera primjene robotike u razvrstavanju elektroničkog otpada je Appleov robot "Daisy", predstavljen u travnju 2018. godine, koji rastavlja neispravne iPhone uređaje i ponovno vraća u upotrebu vrijedne materijale poput srebra i volframa. Robot Daisy rastavlja devet vrsta iPhone uređaja u 18 sekundi razvrstavajući ih u korisne dijelove.



Sl. 4.1. Apple robot Daisy

Roboti obavljaju poslove u okruženjima koja su opasna za ljude ali isto tako monotone i zamorne poslove koji se ponavljaju. Za razliku od ljudskog rada, roboti rade bez prekida i bez potrebe za odmorom, stoga omogućavaju pojednostavljanje radnog procesa i poboljšavanje proizvodnog ciklusa.

Područje industrijske robotike definira se kao proučavanje, dizajn i uporaba robotskih sustava u proizvodnim procesima. Tipične primjene industrijskih robota uključuju zavarivanje, montažu, odabir i postavljanje, pregled proizvoda i ispitivanje uz visoku izdržljivost, brzinu i preciznost rada.

Dosadašnja praksa u razvrstavanju otpada bila je primjena ljudskog rada, odnosno ručno razvrstavanje u sortirnicama. Zaposlenici su izdvajali otpad prema specifičnosti materijala s namjenom izdvajanja frakcija za reciklažu. Uvjeti u kojima čovjek razvrstava otpadni materijal, u svrhu izdvajanja ekonomski vrijednih reciklata, vrlo često su izuzetno teški i narušavaju njegovo zdravlje. Zbog jednostavnosti rukovanja, mogućnosti prepoznavanja različitih vrsta otpada, manipulacije, brzine i točnosti u obavljanju zadataka a prvenstveno sigurnosti radnog okruženja, industrijski roboti pronašli su svoje mjesto i u pogonima za gospodarenje otpadom.

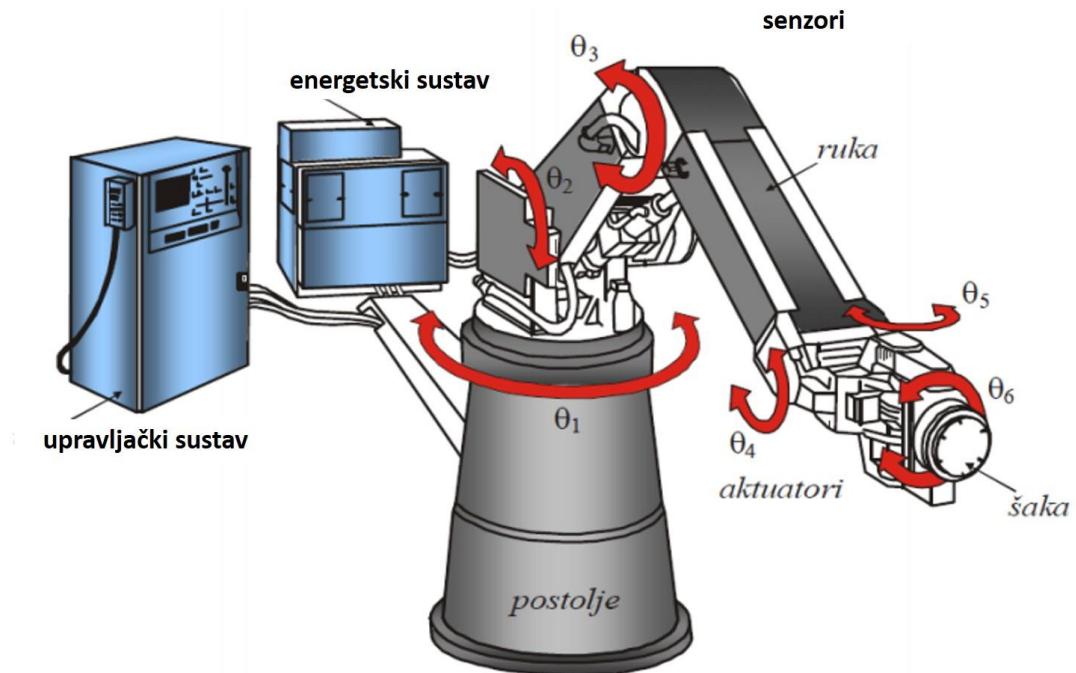
Primjena robota u preradi otpada je potreba i realnost za budućnost koja će osigurati čovjeku nove i značajne koristi kroz automatiziran proces koji će se zasigurno između svih ostalih prednosti ogledati u brzini, preciznosti, sigurnosti i izdržljivosti. Umjetna inteligencija i robotizacija zasigurno predstavljaju budućnost upravljanja otpadom. Ovi inteligentni sustavi pomoći će zajednicama da učinkovitije upravljaju centrima za recikliranje.

4.1. OSNOVE ROBOTA

Industrijski robot je reprogramibilni uređaj dizajniran za manipulaciju i transport dijelova, alata, materijala ili specijaliziranih proizvodnih uređaja kroz varijabilne programirane kretnje radi izvedbe specifičnih proizvodnih zadataka.

Konstrukcija robota sadrži sljedeće sustave [14] :

- a) mehanički sustav
- b) energetska sustav
- c) senzore
- d) upravljački sustav.



Sl. 4.2. Industrijski robot

4.1.1. Mehanički sustav robota

Mehanički sustav industrijskog robota dijeli se na sljedeće podsustave [14]:

- a) postolje robota
- b) ruka i šaka robota
- c) prihvatnica robota

Postolje robota je lijevana ili zavarena ploča od profilnog željeza koja je učvršćena na kućište. Na postolje robota nadovezuje se ruka robota na koju se serijski spaja zglob šake robota koji čine jednu cjelinu. Zadatak ruke robota je voditi prihvatnicu na temelju dobivenih naredbi programskih algoritama. Prihvatnica robota je samostalna jedinica koja se nadovezuje na zglob šake i u direktnoj je vezi s predmetom nad kojim se vrši odgovarajuća operacija i strukturom robota. Prihvatnica je alat tehnološkog robota, senzor je alat mjernog robota, a hvataljka je alat robota za montažu.

4.1.2. Senzorski sustav robota

Senzor ili pretvornik je uređaj koji pretvara mjerenu fizikalnu veličinu u električni signal [9]. Dobivenim informacijama robot je u mogućnosti izvoditi složene operacije i radne zadatke u okolini koja je promjenjiva. Roboti uz pomoć senzora proširuju autonomiju svojih radnji i povećavaju preciznost u izvođenju zadataka za koje su namijenjeni jer su u stanju obraditi informacije o promjenama u položaju radnih objekata i njegovoj okolini. Na temelju primljenih informacija mogu prilagoditi svoje djelovanje bez interveniranja operatera.

U robotima se najčešće primjenju dvije vrste senzora - kontakti (taktilni) ili beskontaktni. Kontakti senzor detektira promjenu položaja, ubrzanja, sile, zakretnog momenta i slično, dok beskontaktni senzor detektira prisutnost, udaljenost, značajke radnog komada itd. Kontakti senzor koristi transduktor za detekciju. Neki najčešće korišteni senzori su potencijometar, mjerač napreznja itd. Kontakti ili dodirni senzor jedan je od najčešćih senzora u robotici. Općenito se koriste za otkrivanje promjene položaja, brzine, ubrzanja, sile ili zakretnog momenta pri zglobovima manipulatora i krajnjeg alata u hvataljci. Beskontaktni senzori također su vrlo važan tip senzora koji detektira parametarske informacije o okruženju objekta. Najčešće se koriste za otkrivanje udaljenosti, postojanja i značajki objekta.

4.1.3. Pogonski sustav robota

Zadaća pogonskog sustava je omogućiti pretvorbu i prijenos energije do zgloba manipulatora. U zglobovima robota nalaze se motori koji se nazivaju aktuatori. Zadatak pogonskog sustava robota je osigurati da robot ostvari zadanu putanju te pozicioniranje i orjentiranje završnog dijela robota (hvataljka, uređaj).

Pogonski sustavi za aktiviranje spojeva robota mogu biti [14]:

- pneumatski pogonski sustav
- hidraulički pogonski sustav
- električni pogonski sustav

Pneumatski pogonski sustavi za pogon robota koriste energiju stlačenog zraka. Posebno se koriste za tipove malih robota koji imaju manje od pet stupnjeva slobode. Pneumatski sustav ima sposobnost pružiti točnost i brzinu. Ovaj pogonski sustav može izazvati rotacijske pokrete pokretanjem rotirajućih pokretača dok se translacijska kretanja kliznih spojeva osiguravaju pokretanjem klipa.

Hidraulički pogonski sustavi za pogon robota koriste energiju stlačenog ulja. Ovakvi sustavi u potpunosti su namijenjeni velikim robotima. Ovaj sustav može isporučiti veću snagu ili brzinu nego električni pogonski sustavi. Hidraulički pogonski sustav može se koristiti za linearna i rotacijska gibanja. Rotacijsko gibanje osiguravaju rotirajući pokretači lopatica, dok linearna gibanja proizvode hidraulički klipovi. Ispuštanje hidrauličkih ulja smatra se glavnim nedostatkom ovog pogona.

Sustavi električnog pogona za pogon robota koriste električnu energiju. (istosmjerni motori (DC), izmjenični motori (AC), koračni motori). Sposobni su pokretati robote koji imaju veliku snagu ili brzinu. Za pokretanje robota najčešće se koriste DC servo motori ili DC motori. Može se dobro prilagoditi rotacijskim zglobovima kao i linearnim zglobovima. Električni pogonski sustav je idealan za male robote i precizne primjene. Ono što je najvažnije, ima veliku točnost i ponovljivost.

Najvažniji zahtjevi koje pogoni moraju zadovoljavati su mala težina i zapremina motora, veći obrtni momenti, točnost pozicioniranja i velika pouzdanost.

4.1.4. Upravljački sustav robota

Kako bi industrijski robot mogao ostvariti željeno kretanje s krajnjim ciljem obavljanja postavljenog zadatka, važna je mogućnost programiranja i reprogramiranja rada robota. Reprogramiranje robota omogućava brzu prilagodbu robota novim zadacima. Programiranje i reprogramiranje rada robota omogućeno je upravljanjem računalnih sustava čiji se programi relativno lako mijenjaju i prilagođavaju potrebama korisnika. Jedna od osnovnih funkcija upravljačkog sustava je omogućiti efikasnu upotrebu robota na različitim zadacima.

Program robotu treba dati informacije o redosljedu izvršavanja operacija, koordinacije točaka i međutočaka kroz koje mora proći, o statusu prihvatnica u svim točkama – odnosno je li prihvatnica zatvorena ili otvorena, te kojom brzinom se treba odraditi svaki pokret.

U industrijskoj primjeni robota postoje različite metode programiranja robota, no najčešće se primjenjuju [15]:

- metoda on-line programiranja
- metoda off-line programiranja

Metoda on-line programiranja je proces „učenja“ robota kako bi izvršio željeni zadatak. Taj proces izvršavaju operateri-programeri tako da provode robota kroz željene putanje uz snimanje željenih točaka između putanja u memoriju. Razvojem tehnologije u posljednje vrijeme se sve više primjenjuju suradnički roboti. U ovom načinu programiranja, robot se ručno pomakne na svaku poziciju. Ta se pozicija pohrani, a zatim se premješta na sljedeći položaj. U namjeri da se pokrene određena naredba, kao što je npr. funkcije hvataljke, operater može odabrati funkciju na ploči za poučavanje. Naredba će se pohraniti u sustavu i izvršiti u odgovarajućem položaju. Suradnički roboti imaju raznovrstan opseg poslova poput podrške u montažnim operacijama, izvođenju zadataka za odabir i postavljanje i slično.

Offline metoda programiranja robota obavlja se uz pomoć računalnog sustava i programske podrške. Postupak off-line programiranja obavlja se u programskim alatima poput RoboDK, Delmia ili u programskim alatima proizvođača robotskih stanica kao što je TwinCAT. Programski jezik sadrži sve opće programske konstrukcije koje su potrebne za programiranje robota.

4.2. ROBOTIZIRANI SUSTAV ZA RAZVRSTAVANJE OTPADA ZENROBOTICS

ZenRobotics Ltd, finska tvrtka osnovana 2007. godine, razvila je sustav robotiziranog sortiranja otpada. ZenRobotics Recycler (ZRR) je razvojem inovativnog koncepta u razvrstavanju otpada omogućio zamjenu opasnog i neučinkovitog ručnog rada s vrlo učinkovitim i brzim autonomnim robotskim sakupljačima. Ključna inovacija ZRR-a jedinstven je sustav temeljen na strojnom učenju koji prikuplja gigabajte podataka o svom okruženju iz čega proizlaze naredbe koje pomiču ruku robota u nepredvidljiv okoliš i obavljaju razvrstavanje otpada.

ZenRobotics recycler sastoji se od skupa senzora, upravljačkog sustava i industrijskih robota. Senzori i upravljački sustav kontroliraju industrijske robote kako bi odabrali ciljane materijale iz otpada na transporteru te ih odvojili u više odjeljaka. Kombinacija senzora integrirana s rješenjima umjetne inteligencije (AI) omogućava ZRR sustavu da prepozna i odabere nove frakcije po potrebama kupaca. Kada se izlazne frakcije koriste kao sirovine, preciznost i čistoća fraktura izuzetno je važna. ZRR može doseći do 98% čistoće izlaznih frakcija ovisno o materijalu i otpadu što izlazni proizvod čini kvalitetnom sirovinom na tržištu.

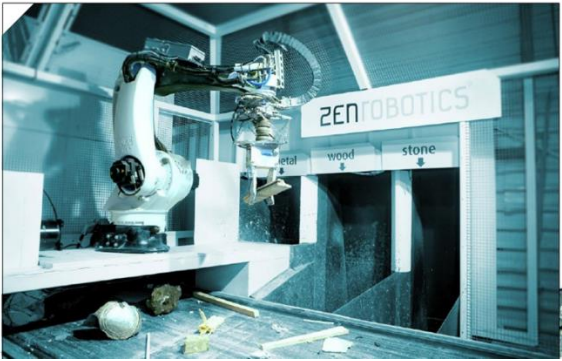


Sustav koristi više senzorskih ulaza i umjetnu inteligenciju za prepoznavanje predmeta i materijala u toku otpada kako bi se odvojile vrijedne sirovine od otpada. Senzor uključuje spektralne kamere i x-zrake 3D skenera. Za razliku od bilo kojeg drugog sustava za razvrstavanje otpada, ZenRobotics Recycler istodobno obavlja različite zadatke; vraća sirovine i istodobno uklanja kontaminante. Prvobitno je bio konstruiran za sortiranje građevinskog otpada, ali se tijekom procesa učenja raspoznavanja različitih vrsta materija sustav nadgradio na sortiranje drugih vrsta otpada.

Identificira i ponovno vraća vrijedne sirovine poput metala, drva, kamena, tvrde plastike i kartona iz mješovite konstrukcije i industrijskog otpada. Specijalno dizajniran za robusne izvedbe, brzi robot Cartesian identificira objekte različitih oblika i veličina, te može obaviti 10 do 15 milijuna prihvata otpada godišnje. (2500 odabira po satu x 6000 sati) [16].

4.2.1. Opće karakteristike Zenrobotics uređaja

Tvrtka ZenRobotics u ponudi ima tri sustava s manipulatorima [17].

Tablica 4.1. Vrste i karakteristike ZenRobotics uređaja

Naziv i karakteristike uređaja	Prikaz linije
<p>Model ZRR1</p> <ul style="list-style-type: none"> • brzina uzimanja predmeta u satu: 2000 komada • masa predmeta: 20kg • duljina: 1,5 m • širina: 0,5 m • područje hvatanja ruke <ul style="list-style-type: none"> – 2m duljina - 1,4 m širina • broj manipulatora: 1 • duljina manipulatora: 6 m sa sigurnosnim kavezom • cijena sustava: 395.000 EUR. 	<p style="text-align: center;">ZRR Heavy Picker (1-robot)</p>  <p style="text-align: center;">Sl. 4.3. ZenRobotics sistem s jednim manipulatorom</p>
<p>Model ZRR2</p> <ul style="list-style-type: none"> • brzina uzimanja predmeta u satu: 4000 komada • masa predmeta: 20kg • duljina: 1,5 m • širina: 0,5 m • područje hvatanja ruke <ul style="list-style-type: none"> – 2m duljina - 1,4 m širina • broj manipulatora: 2 • duljina manipulatora je 9,5 m sa sigurnosnim kavezom • cijena sustava: 495.000 EUR. 	<p style="text-align: center;">ZRR Fast Picker (2-robot)</p>  <p style="text-align: center;">Sl. 4.4. ZRR 2 – Zenrobotics sistem s dva manipulatora</p>
<p>Model ZRR3</p> <ul style="list-style-type: none"> • brzina uzimanja predmeta u satu: 6000 komada • predmet razvrstavanja: 18 različitih frakcija u vrećicama u boji • težina vrećica: 0-30 kg • težina razvrstanog otpada na sat: 50 tona • broj manipulatora: 3 • cijena sustava: 863.210 EUR 	<p style="text-align: center;">ZRR Fast Picker (3-robot)</p>  <p style="text-align: center;">Sl. 4.5. ZRR 3 – Zenrobotics sistem s tri manipulatora</p>

ZRR sustavi imaju mogućnost razvrstavanja sljedećih vrsta otpada: metali (željezni i neželjezni), drvo, kruta plastika (miješana kruta plastika, cijevi po bojama), građevinski otpad (miješani građevinski otpad, građevinski otpad po frakcijama: beton, cigla, vapnenac, asfalt), stare kartonske ploče (OCC) i miješani komunalni otpad razvrstan u vrećice po bojama.

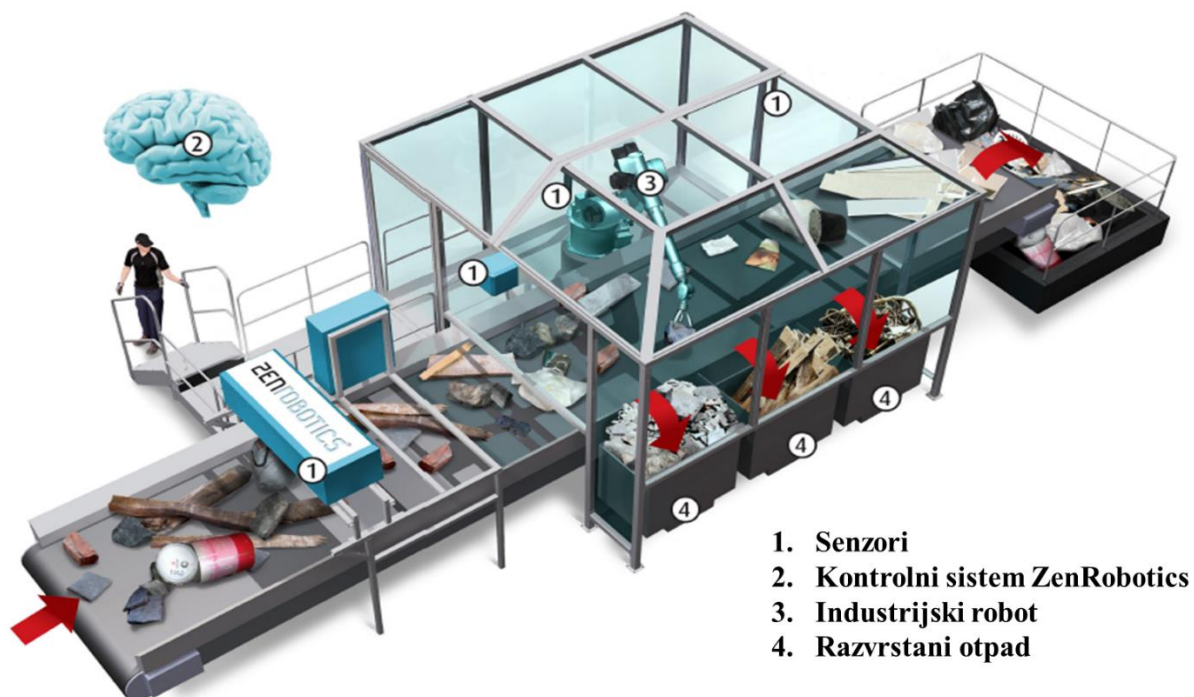


Sl. 4.6. Sortiranje plastičnih vrećica prema bojama uz pomoć ZenRobotics uređaja (ZRR 3)

Za razliku od tradicionalnih strojeva za recikliranje koji se temelje na mehaničkim i električnim komponentama, Zenrobotics Recycler (ZRR) pokreće se umjetnom inteligencijom (AI). Jezgra ZRR-a je ZenRobotics Brain, jedinstveni softver koji analizira podatke i kontrolira robote. To je bitan dio sustava sortiranja otpada ZRR. Poput pametnog telefona, ZRR dobiva nadogradnje softvera koje ga čine još pametnijim i učinkovitijim. Buduće nadogradnje softvera mogu dodavati nove značajke, poput dodatnih frakcija i novih tokova otpada, ili povećati učinkovitost, preciznost, brzinu i sposobnost postojećeg sustava.

ZRR se lako obučava za uvođenje nove frakcije za sortiranje, poboljšanje kvalitete sortiranja frakcije ili podjelu postojećih frakcija u nove podfrakcije. Učenje se jednostavno izvršava prikazivanjem uzoraka ZRR-u i na taj način sustav dobiva informaciju što treba sortirati. Tijekom procesa učenja i vježbanja, tipični uzorci predmeta željenih frakcija stavljaju se na pokretnu traku za sortiranje i prolaze kroz ZenRobotics Recycler.

ZRR uređaj sastoji se od senzorskog modula na vrhu transportne trake, nakon čega slijedi jedan ili više robotskih manipulatora koji premještaju objekte različitih frakcija s pokretne trake u boksove ili odjeljke kao što je prikazano na slici 4.7. Ulazi višestrukih senzora kombiniraju se kako bi se identificirali objekti i prepoznali njihovi materijali pomoću senzora i algoritama strojnog učenja.

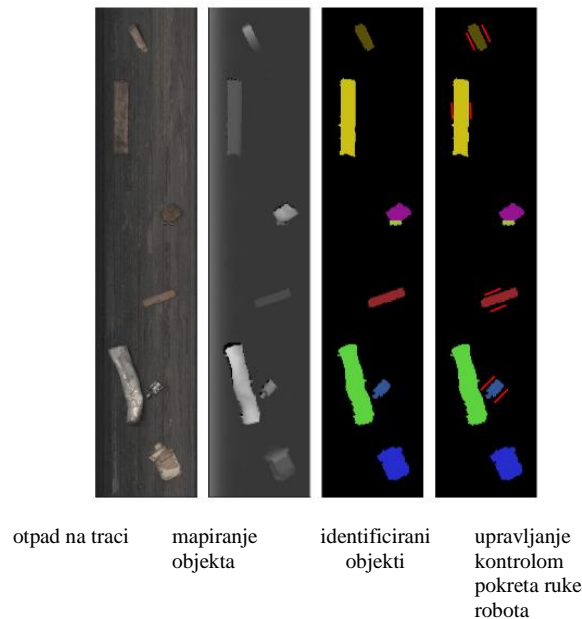


Sl. 4.7. ZenRobotics Recycler

Razvrstavanje otpada u sustavu ZenRobotics prolazi kroz sljedeće faze:

1. Prije dolaska otpada na pokretnu traku potrebno je obaviti predobradu otpada. U ovom slučaju predobrada otpada podrazumijeva: uklanjanje sitnog otpada i krupnog otpada većeg od 1,5m. Za uspješno odvijanje procesa razvrstavanja potrebno je osigurati razmak među jedinicima otpada na vrpce kako bi senzori mogli očitavati vrijednosne parametre. Razmak između objekata treba biti oko 30mm.
2. Nakon obavljene predobrade otpada, otpad se pokretnom trakom dovozi do sezora koji prikupljaju podatke o dimezijama i orijentaciji otpada pomoću 2D i 3D kamera.
3. Uz pomoć različitih senzora (NIR, VIS i detektora metala) senzorska jedinica daje informaciju programskoj jedinici koja vrsta materijala se nalazi na traci.
4. Računalo (kontrolni sistem ZenRobotics uređaja tzv. mozak) analizira prikupljene podatke i kontrolira rad industrijskog robota.
5. Industrijski robot uzima pojedine vrste otpada pojedinačno, velikom brzinom i točnošću te ih odlaže u predviđene boksove.

Sustav optimizira redosljed sakupljanja otpada s obzirom na njegova svojstva. Optimizacija ovog procesa maksimizira financijsku dobit od ponovne upotrebe reciklata. Robotska ruka programirana je da izvršava precizne i točne radnje hvatanja materijala. U programu su pohranjene informacije o tome gdje i kako robot može potencijalno uhvatiti materijal: koordinate X, Y i Z, rotaciju, otvaranje i eventualno druge stupnjeve slobode. Najbitniji ulaz za odabir robotske ruke je 3D senzor. Slika 4.8. prikazuje RGB ilustraciju identificiranih objekata uz pomoć 3D senzora [18].



Sl. 4.8. Ilustracija RGB prikaza identificiranih objekata u sustavu ZenRobotics Recycler

Pneumatska hvataljka, (slika 4.9.) koja je pričvršćena na industrijsku ruku robota, prima naredbu od „kontrolnog mozga“. Nakon primljenih informacija ima zadatak odabrati predmete željenih frakcija te ih odlagati u odgovarajuće spremnike. Sustav je mnogo kompleksniji od čisto mehaničkog sortiranja jer se može programirati kako bi odabrao gotovo sve čvrste predmete prepoznatljive od strane senzora, pod pretpostavkom da su predmeti u odgovarajućoj veličini za manipulaciju robotom.

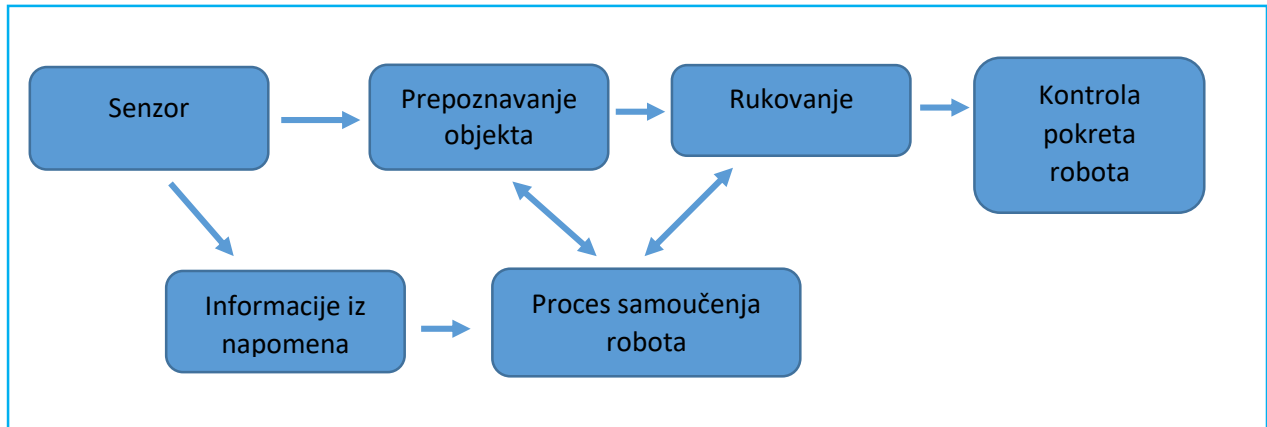
Budući da sustav radi u nestrukturiranom okruženju, mora tolerirati povremene sudare, na primjer, pokretanjem objekata. Zenrobotics pronašao je rješenje ovog problema (prikazano na sredini slike 4.9.) u slobodi pokreta od 6 stupnjeva oslobođenoj od napetosti pneumatske opruge.



Sl. 4.9. Pneumatska hvataljka ZenRobotics Recycler-a

Na slici 4.10. prikazan je blok dijagram svih koraka u procesu obrade podataka u ZenRobotics Recycleru.

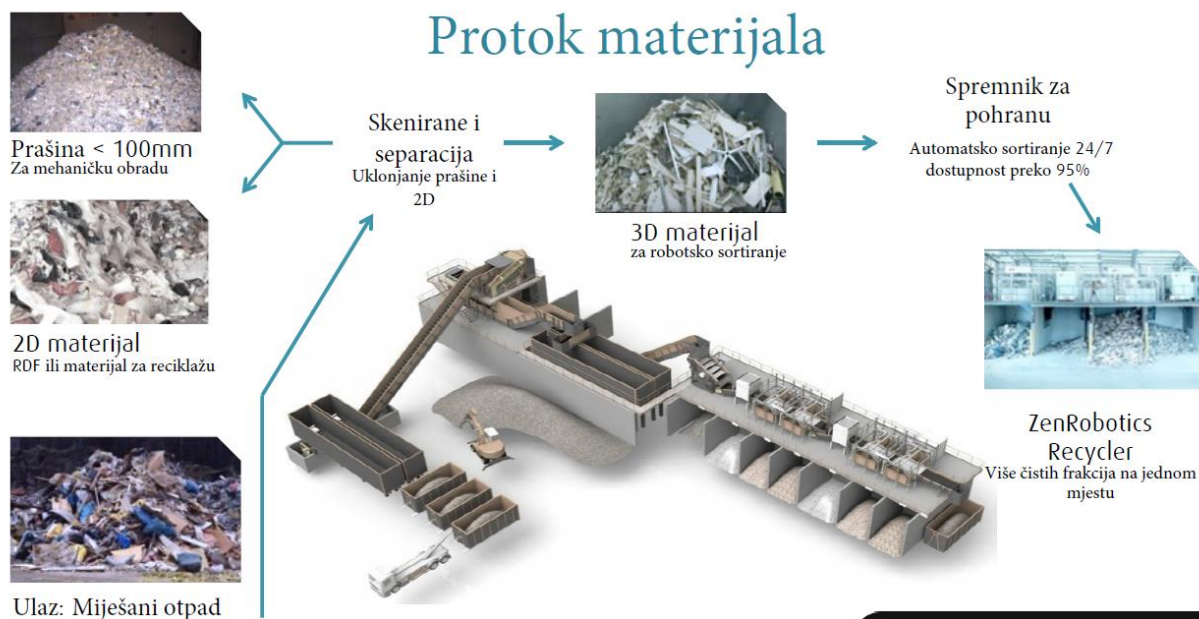
Dva važna problema učenja stroja koji su uključeni u proces obrade podataka su razlikovanje identificiranih objekata i odabir načina pronalaženja nepravilnih predmeta. [18].



Sl. 4.10. Blok dijagram procesa obrade podataka ZenRobotics Recycler

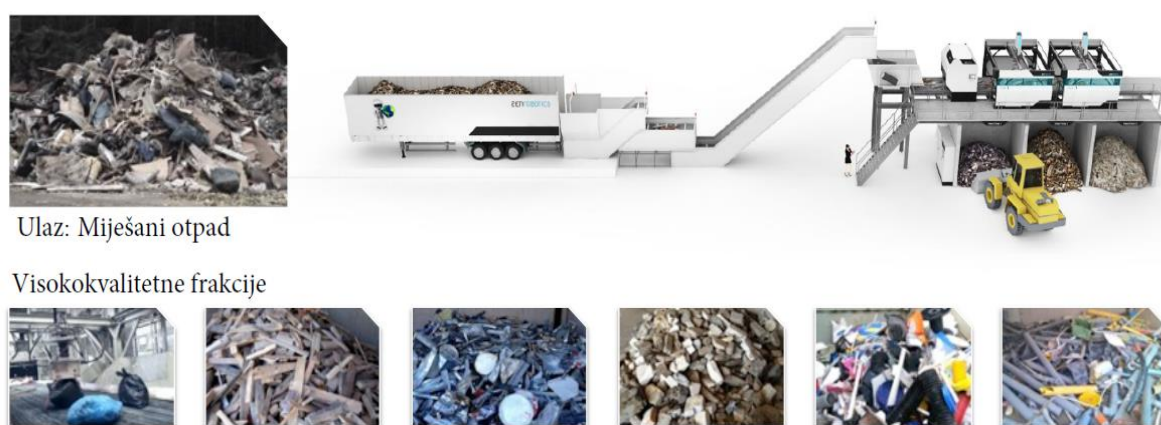
Zenrobotics kontinuirano poboljšava rad robotiziranog sustava za sortiranje otpada na taj način da administrator prvo bilježi pogreške koje se dogode u sustavu. To uključuje [18]:

- pogreške klasifikacije u obnovljenim frakcijama ili propuštanje vrijednih predmeta
- neuspješno hvatanje koje dovodi do gubitka nekog objekta ili izaziva kontaminaciju i
- sudare dok bacaju uhvaćene predmete.



ZENROBOTICS®

Sl. 4.11. Protok sirovine kroz Zenrobotics postrojenje



ZENROBOTICS®

Sl. 4.12. Protok sirovine i razdvojeni otpad

U slučajevima kada materijali nisu prepoznatljivi ili su previše rijetki da bi ih uređaj prepoznao, uključuju se i ljudi koji razvrstavaju stvarni otpad u željene frakcije koje potom unose kroz sustav kako bi se dobili uzorci za buduće prepoznavanje materijala. Slike 4.11. i 4.12. prikazuju funkcioniranje postrojenja.

4.2.2. TwinCAT aplikacija kao mozak ZenRoboticsa

Njemačka tvrtka Beckhoff, koja se bavi implementacijom automatizacije na temelju tehnologije, razvila je aplikaciju TwinCat koja je implementirana u ZenRobotics [19].

Glavno računalo obrađuje podatke senzora u stvarnom vremenu, prepoznaje objekte na transportnoj traci i izračunava ciljanu poziciju za pozicioniranje robota. Upravljanje pokretom ruke robota obavlja se pomoću CX2050 ugrađenog računala koje također upravlja svim I / O operacijama sustava. Glavno računalo šalje naredbe za osi gibanja, pokrete hvataljke i kontrolu transportne trake putem EtherCAT Automation Protocol (EAP). Uz ubrzanje do 3G i brzine do 3 metra u sekundi, pokreti osovine robota su vrlo dinamični. (slika 4.13.)



Sl. 4.13. Rad robotskog manipulatora ZenRobotics-a

Prepoznavanje različitih predmeta koji dolaze na transportnu traku na temelju njihove veličine, oblika i materijala, moguće je samo uz proces „samoučenja“ robota i umjetnu inteligenciju koja brzo reagira na kontinuirane promjene i uči iz pogrešaka. Budući da se sudari između hvataljke i objekta robota povremeno mogu dogoditi, kontrolor ih mora brzo prepoznati kako bi spriječio mehaničku štetu i izbjegao zaustavljanje linije. TwinCAT omogućava stabilno upravljanje pokretom ruke robota jer programeri i upravitelji uređaja mogu reagirati u stvarnom vremenu i korigirati rad uređaja [19].

Svaki robot radi s četiri AX5000 servo pogona koji uključuju integrirane TwinSAFE dodatne kartice i AM8000 servomotore, razvijene u tvrtci Beckhoff.



Sl. 4.14. AX5000 servo pogon



Sl. 4.14. AM8000 servomotor

Korištenjem motora One Cable Technology u procesu rada Zenrobotics uređaja smanjene su potrebe ožičenja za 50 %. HMI temeljen na webu radi na Beckhoff CP2915 upravljačkoj ploči s 15-inčnim zaslonom osjetljivim na dodir.

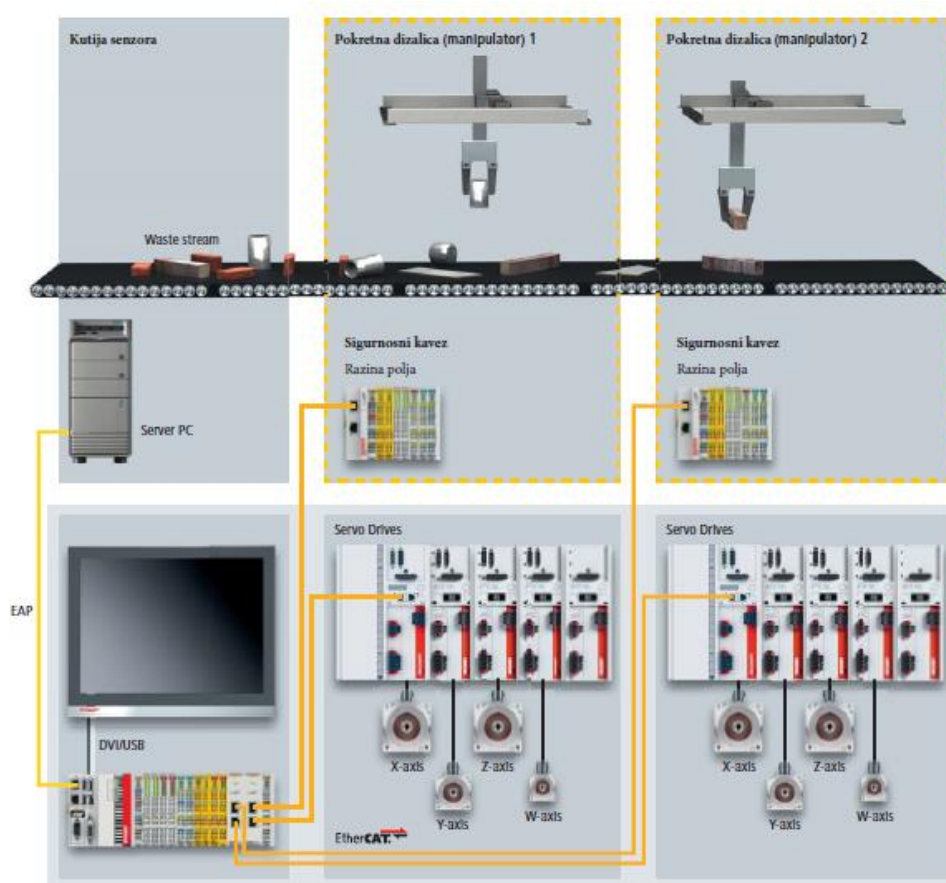


Sl. 4.16. Ilustracija Beckhoff CP2915



Sl. 4.17. Rad na upravljačkoj ploči Beckhoff CP2915

Beckhoff nudi široki spektar modularnih i prilagodljivih komponenti, što omogućava kontinuirani razvoj Zenrobotics uređaja i fleksibilnost u osmišljavanju sustava. Velika je prednost mogućnost upravljanja i kontrole pokreta unutar jednog programskog okruženja. Osim navedenih prednosti, izuzetna je važnost u činjenici da se Beckhoff PLC jednostavno integrira s drugim Ethernet-based tehnologijama preko EAP.



Sl. 4.18. Kontrolna topologija robota za obradu otpada

Budući da je TwinSAFE integrirani dio TwinCAT platforme koji se lako može kombinirati s drugim komponentama sustava, pojedini sigurnosni objekti mogu se integrirati u projekt ili iz njega izuzeti. Ova funkcija veoma je korisna ako je, na primjer, potrebno uključiti neodređeni broj pojedinačnih robota u projekt.

Dizajner može odabrati između različitih sigurnosnih značajki kao što su SLS (*Safe Limited Speed*) ili SLP (*Safe Limited Position*) - ovisno o zahtjevima kupaca. Integrirane TwinSAFE kartice imaju prednost u pogonima jer nema dodatnih ožičenja ili upravljačkog programa za pogon. Sve funkcionalnosti i poboljšanja temelje se na softveru i mogu se lako ažurirati.

ZenRobotics Recycler koristi nekoliko senzorskih ulaza za prepoznavanje širokog raspona objekata i / ili materijala na traci s otpadom. Ujedinjavanje podataka koje daju senzori omogućava preciznije analiziranje otpada pa sustav može pripremiti podatke o sastavu otpada na traci u stvarnom vremenu, kao i pratiti težine i vrijednosti tokova otpada.

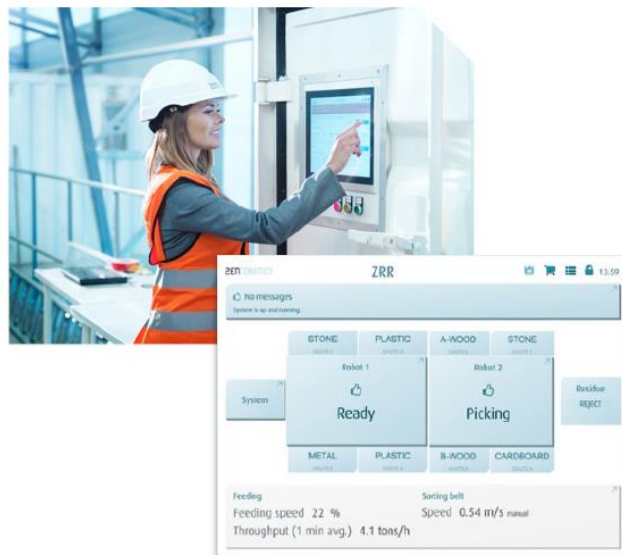
Za razliku od ostalih metoda razvrstavanja otpada, robotski sustav za razvrstavanje otpada može prepoznati i izdvojiti specifične komponente uz visoki stupanj točnosti izdvajanja. Sustav može simultano obraditi više komponenti što poboljšava učinkovitost sustava za obradu otpada. Uz pomoć aplikacije TwinCAT, sustav kontinuirano preuzima ažuriranje softvera i na taj način ZenRobotics Recycler se kontinuirano usavršava i nadograđuje. Softver se može ažurirati radi boljih performansi ili razvrstavanja novih materijala što pretvara metodologiju razvrstavanja otpada uz pomoć Zenroboticsa u još profitabilniji proces za reciklažu.



Sl. 4.19. Primjena TwinCAT aplikacije u Zenrobotics procesu

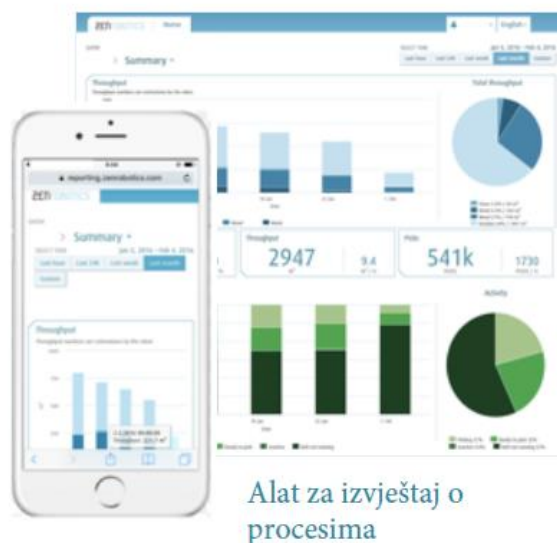
4.2.3. Sustav nadzora i kontrole rada uređaja

Kako bi korištenje postrojenja bilo jednostavnije za upotrebu, stvoreno je jednostavno korisničko sučelje koje omogućava korisniku fleksibilnost upravljanja pogonom. Operater može jednostavno promijeniti zadatak sortiranja i odabrati željene objekte za razvrstavanje kao što je vidljivo iz slike 4.20.



Sl. 4.20. Korisničko sučelje sustava

Radi bolje kontrole rada uređaja omogućen je online nadzor i analiza rada putem interneta uz pomoć računala ili pametnog telefona. (slika 4.21.)



Alat za izvještaj o procesima

Sl. 4.21. Sustav nadzora nad radom uređaja putem interneta

4.2.4. Ekonomska analiza investicije u Zenrobotics opremu

Prilikom pokretanja projekta bitno je napraviti ekonomsku analizu poslovanja i isplativosti investicije. Analiza troškova i očekivane koristi je jednostavan alat za procjenu vrijednosti projekta u koji se planira investirati kako bi se utvrdilo treba li se projekt nastaviti ili ne. Osim financijske isplativosti planiranog projekta, pažnju je potrebno usmjeriti i na:

- prikladnost projekta - usklađenost s ciljevima organizacije i potrebama lokalne zajednice
- učinkovitost projekta - usklađenost procesa i optimalnost iskorištavanja resursa u projektu
- djelotvornost - ostvarenje željenih ciljeva [20].

Najjednostavniji kriterij za analizu financijskog odlučivanja je metoda razdoblja povrata ulaganja, odnosno izračun u kojem vremenu će se ostvariti povrat ulaganja. Razdoblje povrata iskazuje broj godina koji je potreban da se vrati ulaganje.

Početna točka u analizi investicije u sustav ZenRobotics Recycler je odabir između modela ZRR sustava i dodatnim značajkama. Raspon cijena za jedinicu ZRR obično je između 600.000 i 800.000 EUR u zemljama Europske unije. Operativni trošak poslovanja ZenRobotics Recycler sustava sastoji se od troškova električne energije, održavanja uređaja i licenciranja programske podrške. Niska potrošnja energije, 14 kW za ZRR2 s dvije ruke i minimalni trošak održavanja od 2 EUR po ruci robota po radnom satu, rezultira niskim troškovima rada po satu. Osim operativnih troškova, plaća se mjesečna naknada za licencu, odnosno, korištenje programske podrške koja iznosi 2.350 EUR [17]. Jedna od glavnih prednosti robota je mogućnost rada dugotrajnog rada kao i u tome što ne troši puno energije.

Osnovni modeli ZRR sustava imaju početne cijene:

- ZRR 1 po cijeni od 395.000 EUR
- ZRR 2 po cijeni od 495.000 EUR
- ZRR 3 po cijeni od 863.210 EUR

Cijene dodatne opreme koju je moguće ugraditi u sustav:

- programski modul za razvrstavanje metala po vrstama: 29.000 EUR
- programski modul za kontrolu brzine pokretnih traka: 19.000 EUR
- programski modul za kontrolu doziranja otpada: 25.000 EUR.

Izračun isplativosti investicije u sustav ZenRobotics i vrijeme povrata investicije analizirati ćemo na dva pokazatelja:

- a) vrijeme povrata u odnosu na troškove rada (tablica 4.2.)
- b) vrijeme povrata u odnosu na dobit od prerade otpada (tablica 4.3.)

Tablica 4.2. Usporedna analiza troškova automatiziranog pogona i pogona za ručno sortiranje otpada

Kriterij usporedbe	ZenRobotics sustav	Ručno sortiranje Finska	Ručno sortiranje Hrvatska
broj radnika	0	4	6
cijena rada radnika	-	25 EUR	3,75 EUR *
cijena 3.300 sati rada radnika, odnosno troškovi pogona	40.000 EUR	82.500 EUR	12.375 EUR
prosječna brzina uzimanja predmeta	3000 kg/h	800 do 1200 kom	800 do 1200 kom**
prosječni rad za vrijeme radnog vremena (od ukupnog radnog vremena)	90 %	70 %	70 % **
otpad obrađen u 1 godini (u tonama)	8 900	2 310	2 310 **
Ušteda u cijeni rada Zenrobotics postrojenja u odnosu na ručno sortiranje broj radnika pomnožen s godišnom cijenom rada radnika umanjen za troškove rada pogona		4 x 82.500 – 40.000 = 281.750 EUR	6 x 12.375 – 40.000 = 34.250 EUR
Vrijeme povrata investicije u odnosu na troškove rada vrijednost investicije podijeljena s godišnjom uštedom (pod pretpostavkom da je predviđena ukupna investicija 500.000 EUR)		1,77 godina	14,60 godina

*izvor: Europski statistički ured Eurostat

** pretpostavka da radnici u Finskoj i Hrvatskoj rade jednako učinkovito u procesu razvrstavanja

Vrijeme povrata investicije je oko 1,8 godina kod razvijenih zemljama u kojima je cijena sata rada radnika veća, dok je u zemljama gdje je još uvijek mala cijena rada radnika, u kategoriji jednostavnih poslova, vrijeme povrata investicije duže i za Hrvatsku bi vrijeme povrata investicije iznosilo 14,6 godina. Dok god je cijena sata rada u Hrvatskoj i ostalim zemljama u razvoju ovako niska, investitori će se teško odlučiti za veliku investiciju u uvođenje suvremene tehnologije.

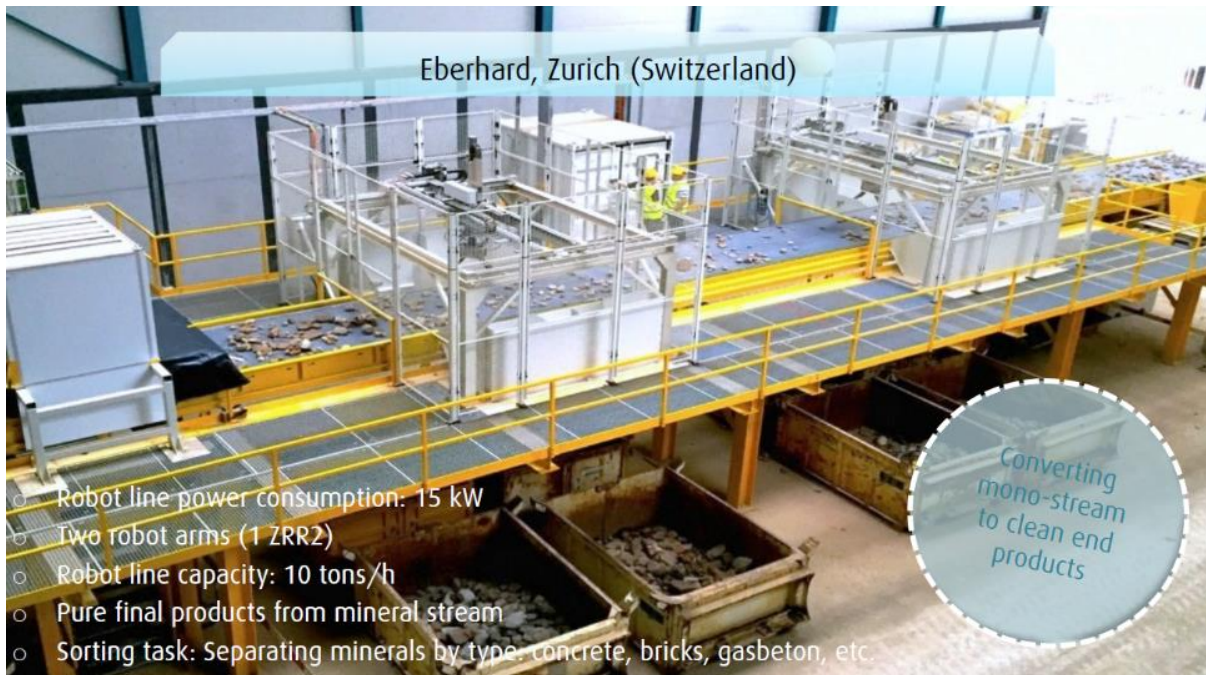
Tablica 4.3. Izračun isplativosti investicije u odnosu na dobit od prerade otpada

Kriterij usporedbe	ZenRobotics sustav	Ručni sustav
prosječna brzina uzimanja predmeta	3000 kg/h	800 do 1200 komada
godišnja količina prerađenog otpada	8 900 tona	2 310 tona
procijenjena cijena tone otpada	50 EUR	50 EUR
prihod = godišnja masa obrađenog otpada pomnožena s procijenjenom cijenom otpada	500.000,00 EUR	115.500,00 EUR
cijena ZRR2 uređaja s dodatnim sustavima	600.000,00 EUR	
troškovi licence i pogona rada	40.000 EUR	
vrijeme povrata investicije u odnosu na predviđenu dobit vrijednost investicije podijeljena s godišnjim prihodom	1,28 godina	

Ručnim sustavom razvrstavanja otpada moguće je ostvariti dobit u iznosu od 115.500,00 EUR, dok sustav ZenRobotics daje mogućnost ostvarivanja godišnjeg prihoda od 500.000,00 EUR. Ako se promatra vrijeme povrata investicije s obzirom na godišnji prihod, investicija se isplati za 1,3 godine.

Glavne prednosti ovakvog sustava razvrstavanja otpada su [17]:

- 24/7 rada za troškovnu učinkovitost. Robotski sustavi su vrlo izdržljivi i zahtijevaju minimalno vrijeme za zastoj ili održavanje. Uvođenjem dodatnog radnog vremena mogu se sortirati materijali koji prije nisu bili profitabilni za razvrstavanje jer se za taj posao ne troši znatno više energije
- Decentralizacija + jednostavan proces = veća dobit. ZRR se može postaviti u malim postrojenjima čime se smanjuje potreba za transportom otpada na velika postrojenja za obradu. Također, nema potrebe za odvojenim tokovima otpada, budući da ZRR može razvrstati otpad na frakcije po potrebi.
- Povećana dobit od recikliranja i smanjenja troškova otpada. Frakcije visoke čistoće daju bolje cijene i sortirani materijal se lakše plasira na tržište.
- Smanjeni troškovi rada. Industrijski roboti neumorno rade cijelo vrijeme. Jednom instalirani, roboti svake godine štede puno sati rada i povećavaju sigurnost rada smanjujući ozljede osoblja tijekom ručnog razvrstavanja.



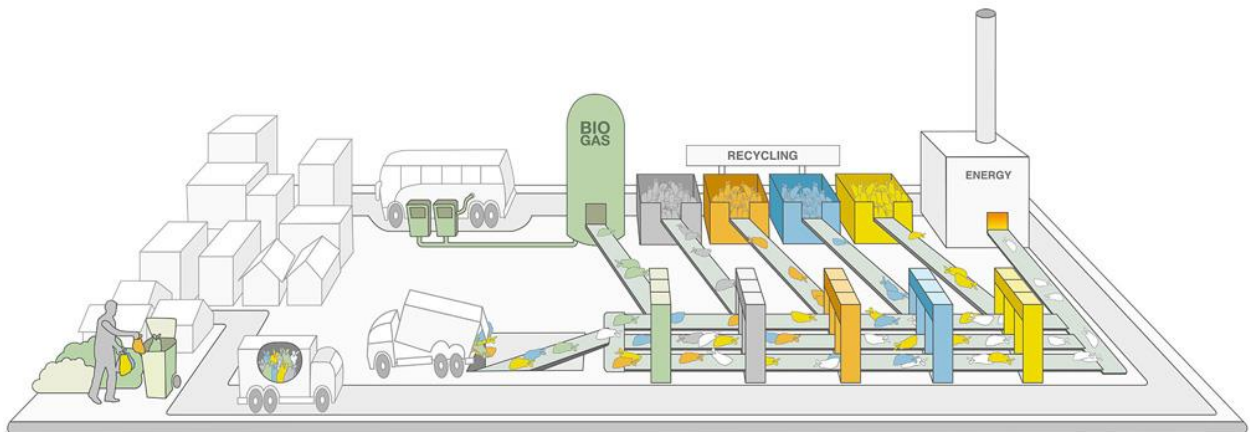
Sl. 4.22. Prikaz Zenrobotics postrojenja u Zurichu

ZenRobotics ima za cilj poboljšati sortiranje otpada s vrlo učinkovitim i brzim autonomnim robotskim sakupljačima. Recikliranje ZenRobotics sustavom omogućava prilagodljivost u razvrstavanju otpada. Klijent može prilagoditi zadatak sortiranja svaki put kad dođe do promjene vrste otpada. ZRR sustav se kontinuirano usavršava jer se tehnologije temeljene na softveru nadograđuju novim značajkama za raspoznavanje više vrsta otpada što ga čini pouzdanim rješenjem za sve potrebe na području razvrstavanja otpada. Zenrobotics sustavi su prepoznati na tržištu i ugrađeni u postrojenja u nekoliko zemlja svijeta poput Finske, Nizozemske, Švedske, Švicarske, Sjedinjenih Američkih Država, Australije i Japana.

4.3. POSTROJENJE ZA SORTIRANJE OPTIBAG

Švedska grupacija Envac jedna je od vodećih svjetskih proizvođača optičkih postrojenja za sortiranje kućnog otpada. Osnovna ideja je da kućanstva razvrstavaju otpad u unaprijed definirane vrećice u boji. Svaka frakcija otpada ima svoju boju vrećice. Otpad se zatim prevozi upotrebom postojeće infrastrukture u središnju jedinicu za sortiranje. U ovom postrojenju otpad se automatski razvrstava po boji otpadnih vrećica. Ovaj jednostavan proces i tehnologija dokazali su svoju primjenjivost i funkcionalnost u više od 20 velikih pogona izgrađenih širom svijeta od 1994. Više od 120 općina u Švedskoj i Norveškoj razvrstaju otpad u tvornicama sortiranja koju je konstruirano i opremio Optibag.

Koncept Optibag razvijen je kao potpuno automatiziran proces koji doprinosi boljem vanjskom i unutarnjem okruženju. Ovakav proces osigurava suvremenu i higijensku radnu okolinu, te čisto i ekološki prihvatljivo upravljanje cijelim procesom sortiranja otpada. Osim izdvajanja korisnih frakcija iz otpada, Optibag sustav omogućava pretvorbu otpada u energiju te se iz otpada proizvodi bioplin i toplinska energija.

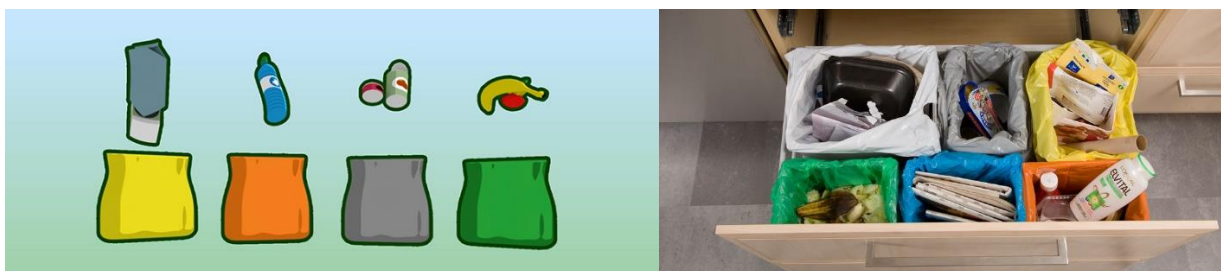


Sl. 4.23. Shematski prikaz pogona OptiBag

Kategorije otpada koje se mogu sortirati u sustavu OptiBag su; prehrambeni otpad, papirna ambalaža, plastična ambalaža, metal, tekstil, novine, staklo u boji, bezbojno staklo i zapaljivi otpad. Ovakav način sortiranja i prerade otpada moguć je isključivo ako je stanovništvo, čiji se kućanski otpad prikuplja, ekološki osviješteno te se pridržava pravila sortiranja otpada.

4.3.1. Faze u procesu recikliranja sustavom OptiBag

Sustav Optibag je jednostavan, lagan za korištenje i higijenski zbog upotrebe hermetičkih vrećica, stoga materijal iz vrećica ide izravno u proces recikliranja. Educiranost i odgovornost kućanstava imaju izuzetno važnu ulogu za uspješnost procesa recikliranja na razini cijelog sustava. Kućanski otpad se razvrstava u posebne vrećice u bojama (slika 4.24.).



Sl. 4.24. Prikaz razvrstavanja otpada u pripadajuće vrećice

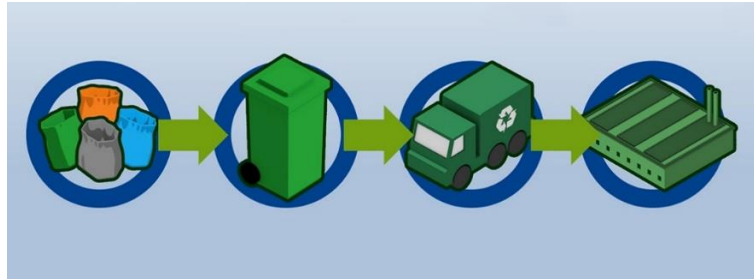
Faze prikupljanja i sortiranja otpada:

1. Kućanstva imaju obvezu razvrstavanja otpada. Različiti reciklirajući proizvodi imaju svoju boju, kao što su zelena za otpatke hrane i ljubičasta za tekstil. Ovisno o vrsti otpada, otpad se odlaže u predviđene vrećice.



Sl. 4.25. Kante za otpad koje se koriste u Optibag sustavu

2. Sve vreće se zatim bacaju u jednu posudu koja se prazni komunalnim kamionom za sakupljanje otpada i odvozi u pogone za razvrstavanje otpada.



Sl. 4.26. Put otpada do reciklažnog centra sistema OptiBag

3. Vrećice se iskrcavaju na ulaznu pokretnu traku koja transportira vrećice prema uređaju za sortiranje. Kamere u sustavu, uz pomoć VIS senzora, razaznaju o kojoj je boji vrećice riječ te daju naredbu manipulatoru za pomicanje vrećica s dolazne pokretne trake na traku koja transportira određenu boju vrećice.



Sl. 4.27. Transportiranje otpada prema jedinici za razvrstavanje

4. Na optičkom postrojenju za sortiranje vrećice se razvrstavaju po boji u odgovarajući spremnik i odvoze se na recikliranje.



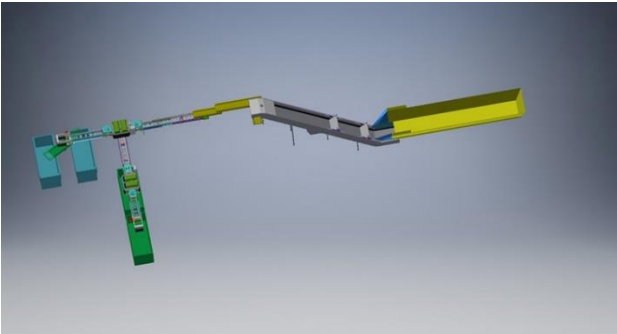
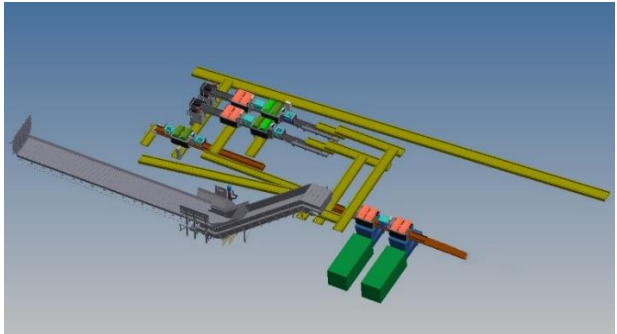
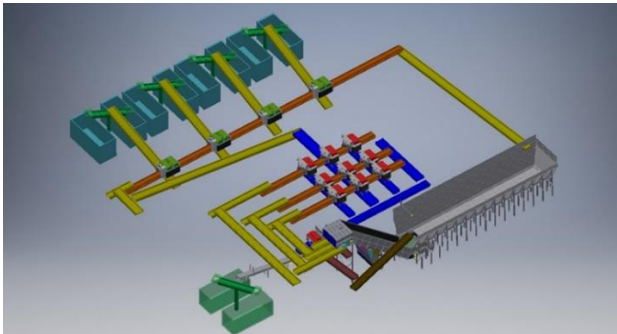
Sl. 4.28. Proces razvrstanja otpada OptiBag

Sustav je dizajniran tako da se sav otpad koji je ušao u pogon za recikliranje u potpunosti iskorištava. Dio otpada se vraća u ponovni proces proizvodnje kao sirovina, a dio se pretvara u toplinsku energiju i biogorivo.

4.3.2. Vrste proizvodnih linija

Proizvođač je na tržištu ponudio tri opcije proizvodnih linija za razvrstavanje otpada, ovisno o potrebama lokacije i reciklažne tvrtke kao što je prikazano u tablici 4.4. [21]:

Tablica 4.4. Vrste proizvodnih linija Optibag

Naziv i karakteristike proizvodne linije	Prikaz proizvodne linije
<p>1L-2F-9T</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapacitet: 9 tona/sat • NIR sustav sortiranja; otvaranje vrećica, sustav pranja, statističko praćenje količina i vrsta otpada • Tona/godini: 18 000-36000 • Kućanstva: 36 000-72 000 • Broj stanovnika: 88 000-160 000 • Površina pogona: 1 000 m² 	
<p>2L-4F-18T</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapacitet: 18 tona/sat • NIR sustav sortiranja; otvaranje vrećica, sustav pranja, statističko praćenje količina i vrsta otpada • Tona/godini: 36 000-72 000 • Kućanstva: 72 000-144 000 • Stanovnika: 160 000-320 000 • Površina pogona: 1 000-1 500 m² 	
<p>3L-6F-27T</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kapacitet: 27 tona/sat • NIR sustav sortiranja; otvaranje vrećica, sustav pranja, statističko praćenje količina i vrsta otpada • Tona/godini: 54 000-108 000 • Kućanstva: 110 000-220 000 • Stanovnika: 240 000-480 000 • Površina pogona: 1 500-3 000 m² 	

Sustav kontrolira ugrađeno računalo koje pokreće platformu softvera za automatizaciju TwinCAT, a koje je razvila njemačka tvrtka Beckoff. Isti sustav koristi se i u Zenrobotics sustavu.

Optibag je siguran i provjeren sustav za gospodarenje otpadom. Sustav ima jasne financijske i ekološke prednosti kao i jedinstveni razvojni potencijal. Ako postoji potreba za povećanjem raznovrsnosti frakcija za sortiranje, dodaje se nova boja za vrećicu koja će predstavljati traženu frakciju u sustavu upravljanja. Ovaj postupak se može primijeniti na bilo koju vrstu otpada, od kategorije ostali otpad do proizvoda za reciklažu kao što su tvrda plastika, metali, elektonički otpad, baterije, reciklirani papir ili slično. Ova prilagodljivost promjenama znači da je Optibag sustav jedinstveno pripremljen za budućnost. Bez obzira na zahtjeve koji će biti postavljeni za upravljanje otpadom u narednim godinama, Optibag sustav će moći zadovoljiti najviše zahtjeve za razvrstavanje otpada. Optibag uređaj danas može sortirati do devet različitih vrećica u boji, a cijena izgradnje pogona ovisi o broju stanovnika, broju kućanstava i prosječnoj količini otpada koji se generira u kućanstvima. Cijena izgradnje pogona u Amsterdamu iznosila je oko 30 000 000 EUR.



Sl. 4.29. OptiBag shema uspostave „pametnog grada“

Korisnici Optibag sustava su općine, gradovi, lokalne vlasti, kao i privatni poduzetnici u sektoru gospodarenja otpadom. Korisnici se kreću od kućanstava do različitih tvrtki. Tvrtka Optibag razvojem svog sustava za odvajanje i recikliranje otpada postala je vodeća europska tvrtka za stvaranje pametnih gradova koji teže postizanju nulte stope otpada.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj i primjena suvremenih metoda za razvrstavanje i iskorištavanje otpada dali bi u gospodarenju otpadom rezultate kojima bi se ostvarili standardi postavljeni direktivama Europskog parlamenta za gospodarenje otpadom. Gospodarski potencijal predstavljaju reciklabilne frakcije otpada, a kvalitetnim i automatiziranim procesima gospodarenja otpad se može pretvoriti u vrijedan ekonomski resurs.

Sortiranje otpada je prva faza u procesu izdvajanja reciklabilnih frakcija iz otpada. Ručno razvrstavanje otpada ekonomski je neučinkovito u odnosu na suvremene tehnologije i donosi brojne opasnosti za zdravlje radnika. Iz tog razloga je nužna automatizacija procesa razvrstavanja otpada. Napretkom znanosti i informacijskih tehnologija razvila se i nova tehnologija za razvrstavanje otpada koja daje nove mogućnosti, stoga ju je potrebno primijeniti. Integracija robota u pogone donijela je tehnološki napredak, udaljuje čovjeka od opasnog i zamornog rada, te povećava produktivnost u svim područjima industrije.

U ekološki osviještenim zemljama Europske unije izgrađuju se automatizirani pogoni za recikliranje s udjelom razvrstavanja i iskoristivosti otpada do 96 %, za razliku od Republike Hrvatske u kojoj se otpad najčešće ručno razvrstava a stopa iskoristivosti otpada iznosi 21 %.

Korištenje umjetne inteligencije u procesu razvrstavanja i sortiranja otpada dovodi do velike ekonomičnosti u procesu recikliranja, no takav proces je iznimno skup. Ipak, unatoč visokoj cijeni, ulaganje u automatizirane pogone za recikliranje otpada ekonomski je isplativo. Primjena robotike u procesu sortiranju otpada povećava učinkovitost, smanjuje troškove i povećava kvalitetu reciklata što dovodi do veće cijene reciklata na tržištu sekundarnih sirovina.

U ovom radu su prikazana dva razvijena sustava za razvrstavanje otpada, Zenrobotics i Optibag. Skandinavske zemlje imaju razvijenu svijest o recikliranju otpada, kako na mikrorazini od kućanstava, tako i na makrorazini koja obuhvaća društvo u cjelini.

Proračuni su dokazali da se investicija za nabavku ZenRobotics pogona ili OptiBag pogona vraća u razdoblju od 1,8 godina, a koristi su višestruke, od sigurnijeg radnog okruženja za čovjeka, do vraćanja u ponovnu upotrebu različitih materijala i iskorištavanja otpada u svrhu proizvodnje električne i toplinske energije.

6. LITERATURA

- [1] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode: <http://www.mzoip.hr/hr/otpad/otpadxx.html>
- [2] Regionalni centar zaštite okoliša: EU i zaštita okoliša – gospodarenje otpadom na lokalnoj razini, Znanje d.d., Zagreb, 2009.
- [3] B. FUK: Posebne kategorije otpada (II. dio), SIGURNOST 59 (2) 167 - 172 (2017); izvor: <https://hrcak.srce.hr/file/272662>
- [4] Kljajin, M., Opalić, M., Pintarić, A.: Recikliranje električnih i elektroničnih proizvoda, Sveučilište Josipa Jurja Strossmajera u Osijeku, Elektrotehnički fakultet u Osijeku, studeni 2006.
- [5] Ministarstvo zaštite okoliša i prirode: Pravilnik o gospodarenju otpadnom električnom i elektroničkom opremom; http://mzoip.hr/doc/prijedlog_pravilnika.pdf
- [6] Zakon o održivom gospodarenju otpadom (N.N. 94/13) https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_07_94_2123.html
- [7] Health and Safety Executive (HSE): Hand sorting of recyclables, Prepared by the Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive 2008
- [8] ISWA, Waste sorting plants Extracting value from waste, 2017.
- [9] Jon S. Wilson: Sensor Technology Handbook; Elsevier; 2005.
- [10] Peter Kuzman, Natalija Klepej, Denis Kač; Sustavi strojnog vida; nastavni material; ERASMUS+ SECTOR SKILLS ALLIANCE, Slovenia 2016.
- [11] Ligus, G.: Municipal waste management model with the use of optical sorting elements, Opole University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, 2012.
- [12] Improvements in separation of non-ferrous scrap metals using an electromagnetic sensor; Physical Separation in Science and Engineering, 2003, Vol. 12, No. 2, pp. 87–101
- [13] www.gimpoz.hr/izvannastavne-aktivnosti/roboticari/roboticari
- [14] Doleček, V., Karabegović, I.: Robotika; Tehnički fakultet Bihać, 2002.
- [15] Radočaj, Jurica, Kos, Pavlic: Programiranje industrijskog robota za potrebe robotiziranog zavarivanja; časopis Zavarivanje, Zagreb, 2016.
- [16] Juha Mieskonen: ZenRobotics: The Green Future of Robotics; Short presentation, 2013, www.zenrobotics.com
- [17] Resource Efficient Use of Mixed Wastes: Case study: ZenRobotics Recycler Robotic waste sorting; V2 – April 2016; http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/cdw/CDW_Task%20Case%20studies_ZenRobotics.pdf
- [18] Dr. Tuomas J. Lukka, Dr. Timo Tossavainen, Dr. Janne V. Kujala, and Dr. Tapani Raiko: Robotic Sorting using Machine Learning; Sensor Based Sorting 2014; <https://users.ics.aalto.fi/p/raiko/papers/SBS14.pdf>
- [19] PC Control 02 | 2015; Self-learning robot recycles materials in fully-automated waste sorting facility; TwinCAT Motion Control automates recycling processes; https://www.pc-control.net/pdf/022015/solutions/pcc_0215_zenrobotics_e.pdf
- [20] Analiza financijske isplativosti ulaganja, nastavni materijali, https://elf.foi.hr/pluginfile.php/54360/mod_resource/content/0/01_Isplativost-KM_20130131.pdf
- [21] <http://optibag.nu/en/products/>

- [22] Sofilić, T., Brnardić, I.: Gospodarenje otpadom, Sveučilište u Zagrebu, Metalurški fakultet, Sisak, 2013.
- [23] Daniel Hoornweg and Perinaz Bhada-Tata; WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management, 2012;
- [24] Ivković, E.: Zbrinjavanje otpada, 2012.
http://www.ssmareljkovicassb.skole.hr/upload/ssmareljkovicassb/newsattach/200/GOSPODA RENJE-OTPADOM_SKRIPTA.pdf,
- [25] Rainer Rehn, Chief Commercial Officer, ZenRobotics: Smart robotics for next generation recycling; www.vttresearch.com/Documents/events/3%20-%20BioeconomyPitches.pdf
- [26] Innovative waste management for a circular economy in the Netherlands; Assessing the potential of a multi-stream waste collection system for the city of Amsterdam;
https://www.vangha.nl/publish/pages/111444/bachelor_ibe_ws1516_sperl_louisa_953038_innovativewastemanagementinnl.pdf
- [27] Časopis: Recycling Technology 2018 The robot is taking over .
https://recyclinginternational.com/wp-content/uploads/2018/05/RecyclingTechnology_2018.pdf
- [28] Yakah Samuel: Maximizing secondary raw material and energy recovery-sustainable logistics networking (case study), 2014.
- [29] Esther Alvarez-de-los-Mozosa, Arantxa Renteria: Collaborative robots in e-waste management; 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing, FAIM2017, 27-30 June 2017, Modena, Italy
- [30] Gernot Kreindl: Material Recycling of Mixed Commercial Waste in Austria;
http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2011_wm/2011_WM_647_656_Kreindl.pdf
- [31] Involuntary Method for Separating Wastes by Using Regional Sensors; Innovative Trends in Applied Physical, Chemical, Mathematical Sciences and Emerging Energy Technology for Sustainable Development” ISBN: 978-93-83083-71-8;
http://www.krishisanskriti.org/vol_image/23Sep201506092516.pdf
- [32] <https://www.letsrecycle.com/news/latest-news/robotic-recycling-a-glimpse-of-the-future/>
- [33] <https://techcrunch.com/2013/06/21/zenrobotics/?guccounter=1>
- [34] <https://www.businessinsider.com/zenrobotics-recycler-2013-6#that-was-stone-wood-and-metal-but-what-about-gadgets-20>

7. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Spremnici za odvojeno prikupljanje komunalnog otpada	5
Slika 2.2. EE otpad	7
Slika 3.1. Ručno razvrstavanje otpada	12
Slika 3.2. Vertikalna pokretna traka s EE otpadom	16
Slika 3.3. Princip rada uređaja s NIR senzorom	18
Slika 3.4. UNISORT uređaj za optičko sortiranje otpada na bazi NIR senzora	19
Slika 3.5. Uređaj za optičko sortiranje tvrtke MSS	20
Slika 3.6. Shematski prikaz rada senzora X zraka	20
Slika 4.1. Apple robot Daisy	22
Slika 4.2. Industrijski robot	24
Slika 4.3. ZenRobotics	28
Slika 4.4. ZenRobotics system s jednom rukom	29
Slika 4.5. ZRR 2 – Zenrobotics system s dvije ruke	29
Slika 4.6. ZRR 3 – Zenrobotics sistem s tri ruke	29
Slika 4.7. Sortiranje plastičnih vrećica prema bojama uz pomoć ZenRobotics uređaja	30
Slika 4.8. Ilustracije RGB prikaza identifikacijskih podataka ZenRobotics Recycler	32
Slika 4.9. Pneumatska hvataljka ZenRobotics Recycler-a	33
Slika 4.10. Blok dijagram procesa obrade podataka ZenRobotics Recycler	34
Slika 4.11. Protok sirovine kroz Zenrobotics postrojenje	35
Slika 4.12. Protok sirovine i razdvojeni otpad	35
Slika 4.13. Rad robotske ruke ZenRobotics-a	36
Slika 4.14. AX5000 servo pogon	37
Slika 4.15. AM8000 servomotor	37
Slika 4.16. Ilustracija Beckhoff CP2915	37
Slika 4.17. Rad na upravljačkoj ploči Beckhoff CP2915	37
Slika 4.18. Kontrolna topologija robota za obradu otpada	38
Slika 4.19. Primjena TwinCAT aplikacije u Zenrobotics procesu	39
Slika 4.20. Korisničko sučelje sustava	40
Slika 4.21. Sustav nadzora nad radom uređaja putem interneta	40
Slika 4.22. Prikaz Zenrobotics postrojenja u Zurichu	44
Slika 4.23. Shematski prikaz pogona OptiBag	45
Slika 4.24. Prikaz razvrstavanja otpada u pripadajuće vrećice	46
Slika 4.25. Kante za otpad po Optibag sustavu	46
Slika 4.26. Put otpada do reciklažnog centra sistema OptiBag	47
Slika 4.27. Transport otpada prema jedinici za razvrstavanje	47
Slika 4.28. Proces razvrstanja otpada OptiBag	47
Slika 4.29. OptiBag shema uspostave „pametnog grada“	49

8. POPIS TABLICA

Tablica 2.1. Vrste otpada prema svojstvima i mjestu nastanka	4
Tablica 2.2. Kategorizacija EE uređaja	6
Tablica 2.3. Vrste i opasnosti EE otpada	8
Tablica 3.1. Pregled tehnologija razvrstavanja otpada	15
Tablica 4.1. Karakteristike ZenRobotics uređaja	29
Tablica 4.2. Usporedba troškova rada sustava s radom u pogonima za ručno sortiranje otpada	42
Tablica 4.3. Izračun isplativnosti investicije u odnosu na dobit od prerade otpada	43
Tablica 4.4. Vrste proizvodnih linija Optibag	48

SAŽETAK

U ovom radu obrađena je problematika novih metoda recikliranja otpada s naglaskom na mogućnosti upotrebe robota u procesu razvrstavanja otpada. Za razliku od tradicionalnih načina za razvrstavanje otpada koji se temelje na ručnom radu, robotski sustav za sortiranje otpada temelji se na umjetnoj inteligenciji (AI). Kontinuirano se nadograđuje programska podrška u svrhu povećanja učinkovitosti, preciznosti, brzine i sposobnosti postojećeg sustava u procesu razvrstavanja otpada. Nadogradnja sustava omogućava dodavanje novih frakcija i čini proces razvrstavanja prilagodljivim za sve postavljene zadatke. Glavna prednost automatizacije je rad pogona u više smjena bez zaustavljanja i bez prekida procesa sortiranja, te visoka stopa točnosti razvrstavanja i čistoća reciklata.

Ključne riječi: recikliranje, robot, ručno sortiranje otpada, automatsko sortiranje otpada, automatizacija, umjetna inteligencija, opasni otpad, elektronski otpad, senzor

ABSTRACT

This paper deals with the issue of new methods of recycling of waste with an emphasis on the possibility of using robots in the process of waste selection. Unlike traditional waste sorting methods based on manual work, the robotic waste sorting system is based on artificial intelligence (AI). In order to increase the efficiency, precision, speed and ability of the existing system in the waste sorting process, it is continuously upgraded by software support that allows adding new fractions and makes the sorting process adaptable to all job placements. The main advantage of automation is drive operation in multiple shifts without stopping and interrupting the sorting process with high accuracy of sorting as well as fraction purity.

Keywords: recycling, robots, manual waste sorting, automatic waste sorting, automation, artificial intelligence, hazardous waste, electronic waste, sensor

ŽIVOTOPIS

Vjekoslava Kaučić je rođena 21.4.1995. godine u Požegi gdje je završila i osnovnu školu. Srednjoškolsku izobrazbu završila je na Tehničkoj školi u Požegi. Maturirala je 2014. godine i stekla zanimanje tehničar za telekomunikacije.

Iste godine upisuje se na Elektrotehnički fakultet u Osijeku, sveučilišni stručni studij elektrotehnike smjera automatika iz kojeg je 2016.godine prešla u smjer elektroenergetika.