

UMJETNA INTELIGENCIJA U GOSPODARENJU OTPADOM U PAMETNIM GRADOVIMA

Velibor Božić

veliborbozic@gmail.com

Sažetak: Ova tema istražuje uloge i prednosti umjetne inteligencije (UI) u gospodarenju otpadom. Raspravlja o tome kako se UI može uporabiti u različitim aspektima gospodarenja otpadom, uključujući sortiranje otpada, prediktivnu analitiku, pametne kante, cijene temeljene na potražnji, detekciju ilegalnog odlaganja, optimizaciju procesa reciklaže, uporabu resursa i javnu svijest. Sažetak ističe prednosti korištenja UI u upravljanju otpadom, kao što su poboljšana operativna učinkovitost, poboljšana reciklaža i oporavak resursa, uštede troškova, donošenje odluka temeljeno na podacima i povećano angažiranje javnosti. Također se bave rizicima povezanim s UI u gospodarenju otpadom, uključujući privatnost podataka, pristranost, nedostatak transparentnosti i tehničke nedostatke, i pružaju strategije za ublažavanje tih rizika.

Ključne riječi: gospodarenje otpadom, oporavak resursa, operativna učinkovitost, reciklaža, UI

1. UVOD

Gospodarenje otpadom (1) je kritično pitanje s kojim se suočavaju gradovi i zajednice širom svijeta. Kako se urbane populacije nastavljaju povećavati i obrasci potrošnje se mijenjaju, učinkovito i održivo gospodarenje otpadom postaje sve veći izazov. Međutim, napredak u umjetnoj inteligenciji (UI) nudi obećavajuća rješenja za rješavanje ovih izazova. UI tehnologije, uključujući strojno učenje, analizu podataka i prediktivno modeliranje, mogu revolucionirati procese gospodarenja otpadom i omogućiti učinkovitiju upotrebu resursa.

Uloge UI u gospodarenju otpadom (2) su raznolike i obuhvaćaju različite aspekte životnog ciklusa gospodarenja otpadom. Od sortiranja otpada i prediktivne analitike do pametnih kanti i cijena temeljenih na potražnji, UI može optimizirati operacije, poboljšati napore za reciklažu i promicati održivost. Uporabom potencijala UI-a, sustavi gospodarenja otpadom mogu prijeći na podatkovno vođene i učinkovite prakse.

Ovaj članak će istražiti uloge i prednosti UI u gospodarenju otpadom, istražujući kako se UI može uporabiti u različitim područjima gospodarenja otpadom. Istaknut će se prednosti UI-a, kao što su poboljšana operativna učinkovitost, poboljšana reciklaža i uporaba resursa, uštede troškova, donošenje odluka temeljeno na podacima i povećano angažiranje javnosti. Osim toga, bavit će se potencijalnim rizicima povezanim s upotrebom UI-a u gospodarenju otpadom, uključujući privatnost podataka, pristranost, nedostatak transparentnosti i tehnička ograničenja, uz strategije za ublažavanje tih rizika.

Uporabom UI tehnologija na učinkovit način, tijela zadužena za gospodarenje otpadom mogu optimizirati svoje procese, smanjiti utjecaj na okoliš i potaknuti održiviji pristup gospodarenju otpadom. Sljedeće sekcije će se detaljno baviti specifičnim ulogama i primjenama UI u gospodarenju otpadom, pružajući uvid i primjere kako UI može revolucionirati ovo područje.

2. UI I UPRAVLJANJE OTPADOM

UI (Umjetna Inteligencija) ima potencijal da revolucionira urbano upravljanje otpadom optimizacijom procesa, poboljšanjem efikasnosti i unapređenjem održivosti. Evo nekoliko načina na koje se UI može primijeniti u urbanom upravljanju otpadom (3), (4).

Sortiranje otpada. UI se može uporabiti za automatizaciju procesa sortiranja otpada analizom slika ili uporabom senzora za identifikaciju različitih vrsta otpada. Algoritmi strojnog učenja mogu naučiti prepoznavati i kategorizirati razne materijale, kao što su plastika, papir, staklo i metal, omogućavajući efikasno sortiranje i recikliranje. *Primjer:* Postrojenje za sortiranje otpada koristi UI kamere i senzore za snimanje slika dolaznog otpada na transportnom traku. UI algoritam obrađuje slike u stvarnom vremenu, razlikujući plastiku, papir, staklo i metale, a zatim usmjerava svaki artikl u odgovarajući spremnik za sortiranje ili transportiranje za daljnju obradu.

Prediktivna analitika. Algoritmi UI mogu analizirati povijesne podatke i stvarne ulaze kako bi predvidjeli obrasce generiranja otpada, omogućujući komunalnim poduzećima optimizaciju ruta i rasporeda sakupljanja otpada. Predviđanjem kada i gdje će se otpada akumulirati, mogu se efikasnije rasporediti resursi, smanjiti troškovi i minimalizirati utjecaj na okoliš.

Pametne kante. Pametne kante za otpad opremljene sensorima i sustavima za kompresiju koje pokreće UI mogu u stvarnom vremenu pratiti razinu otpada. Ove kante mogu automatski obavijestiti timove za upravljanje otpadom kada je potrebno isprazniti ih, optimizirajući rute sakupljanja i izbjegavajući nepotrebna putovanja.

Cjenovna politika temeljem potražnje. Algoritmi UI mogu analizirati podatke o generiranju otpada i postaviti varijabilne cijene usluga odlaganja otpada temeljem potražnje. Podešavanjem cijena prema vremenima maksimalne potražnje, gradovi mogu poticati smanjenje otpada, recikliranje i efikasnije prakse upravljanja otpadom.

Otkrivanje ilegalnog odlaganja. UI može pomoći u identifikaciji i sprječavanju ilegalnog odlaganja otpada analizom snimaka nadzornih kamera ili drugih izvora podataka. Algoritmi prepoznavanja slika mogu otkriti sumnjive aktivnosti ili neovlašteno odlaganje otpada, omogućavajući pravovremenu intervenciju i ovrhe.

Optimizacija procesa recikliranja. UI može poboljšati operacije recikliranja optimizirajući cijeli lanac recikliranja, od sakupljanja otpada do obrade i ponovne upotrebe. Algoritmi strojnog učenja mogu optimizirati sortiranje materijala, odrediti najefikasnije tehnike recikliranja i identificirati mogućnosti za konverziju otpada u energiju ili druge alternativne metode. *Primjer:* Postrojenje za upravljanje otpadom koristi UI za praćenje i analizu performansi svojih operacija sortiranja otpada. UI sustav identificira uska grla, predlaže poboljšanja i dinamički prilagođava parametre sortiranja kako bi maksimizirao kapacitet sortiranja i minimizirao greške, što vodi do povećane učinkovitosti

Oporaba resursa. UI može pomoći u identificiranju dragocjenih resursa unutar otpada, kao što su metali ili organska tvar, koji se mogu reciklirati ili uporabiti za proizvodnju energije. Algoritmi UI mogu analizirati sastav otpada i preporučiti inovativne tehnike za oporabu resursa, doprinoseći cirkularnoj ekonomiji. *Primjer:* U reciklažnom pogonu koji obrađuje papirnati otpad, UI senzori mogu otkriti i ukloniti nepapirne kontaminante poput plastičnih folija, metalnih spajalica ili gumica. UI sustav koristi prepoznavanje slika i algoritme strojnog učenja za identifikaciju i odvajanje kontaminanata, osiguravajući veću čistoću konačnih recikliranih papirnih proizvoda.

Javna svijest i edukacija. UI-pokretani chatbotovi ili virtualni asistenti mogu komunicirati s građanima, pružajući informacije o praksama upravljanja otpadom, smjernicama za recikliranje i odgovarati na

česta pitanja. Ovi interaktivni alati mogu pomoći u podizanju javne svijesti, poticati promjene u ponašanju i promovirati održive navike upravljanja otpadom.

Važno je napomenuti da, iako UI nudi obećavajuća rješenja, njegova uspješna implementacija zavisi od dostupnosti podataka, infrastrukture i suradnje između svih dionika, uključujući komunalna poduzeća, pružatelje tehnologije i građane. Etička razmatranja i privatnost podataka također bi trebala biti pažljivo razmotrena prilikom implementacije sustava UI u urbanom upravljanju otpadom.

U nastavku detaljnije se objašnjava svaka od uloga UI i upravljanju otpadom.

2.1. Uloge umjetne inteligencije (UI) u prediktivnoj analitici u kontekstu upravljanja otpadom

Umjetna inteligencija igra ključnu ulogu u prediktivnoj analitici za upravljanje otpadom, omogućujući donositeljima odluka i organizacijama za upravljanje otpadom optimizaciju svojih operacija, smanjenje troškova i poboljšanje održivosti. Ključne uloge UI u prediktivnoj analitici za upravljanje otpadom, zajedno s primjerima donosimo u nastavku (5).

Predikcija generiranja otpada. UI algoritmi mogu analizirati povijesne podatke o obrascima generiranja otpada, zajedno s podacima u stvarnom vremenu kao što su vremenski uvjeti, gustoća populacije i događanja, kako bi predvidjeli buduće generiranje otpada. Razumijevanjem kada i gdje bi se otpad mogao nakupljati, donositelji odluka mogu optimizirati rute, rasporede i alokaciju resursa. *Primjer:* Uz pomoć UI, donositelji odluka koriste povijesne podatke o stvaranju otpada, rastu populacije i lokalnim događanjima u gradu. Razmatrajući čimbenike poput festivala, praznika i zajedničkih događaja, UI sustav predviđa vršne periode generiranja otpada u različitim područjima. Ove informacije omogućavaju donositeljima odluka učinkovito raspoređivanje resursa, osiguravajući pravovremeno prikupljanje otpada i smanjenje situacija prepunih otpada.

Optimizacija ruta. UI algoritmi mogu optimizirati rute prikupljanja otpada na temelju predikcija generiranja otpada, uvjeta u prometu i drugih relevantnih čimbenika. Analizirajući povijesne i podatke u stvarnom vremenu, UI može odrediti najučinkovitije rute koje minimiziraju putnu udaljenost, vrijeme i potrošnju goriva. *Primjer:* Komunalno poduzeće koristi UI-osnaženi softver za optimizaciju ruta koji uzima u obzir predikcije generiranja otpada, obrasce prometa i povijesne podatke o prikupljanju. UI sustav izračunava optimalne rute za vozila za prikupljanje otpada, uzimajući u obzir ažuriranja prometa u stvarnom vremenu. Ova optimizacija smanjuje potrošnju goriva, snižava emisije i poboljšava sveukupnu učinkovitost.

Praćenje kanti. UI može nadzirati razinu otpada u pametnim kantama i predvidjeti kada ih treba isprazniti. Analizirajući povijesne podatke i koristeći senzore ili IoT uređaje, UI algoritmi mogu procijeniti razine punjenja, omogućujući timovima za upravljanje otpadom da optimiziraju rasporede prikupljanja i izbjegnu nepotrebne vožnje. *Primjer:* Pametne kante za otpad opremljene senzorima šalju podatke u stvarnom vremenu o razinama punjenja UI sustavu. UI algoritam analizira podatke, identificira obrasce i predviđa kada će svaka kanta doseći kapacitet. Ove informacije koriste se za planiranje ruta prikupljanja otpada, osiguravajući da se kante prazne kada je to potrebno, smanjujući probleme prepunih kanti i optimizirajući korištenje resursa.

Cijene temeljene na potražnji. UI može analizirati podatke o generiranju otpada i postaviti varijabilne cijene za odlaganje otpada temeljem potražnje. Uzimajući u obzir razdoblja vršnog generiranja otpada, UI algoritmi mogu prilagoditi cijene kako bi potaknuli smanjenje otpada, recikliranje i učinkovitije prakse upravljanja otpadom. *Primjer:* UI-osnaženi sustav za upravljanje otpadom analizira povijesne obrasce generiranja otpada i prilagođava cijene odlaganja na temelju potražnje. Tijekom razdoblja visokog generiranja otpada, cijene se povećavaju kako bi se potaknulo smanjenje otpada i recikliranje.

S druge strane, cijene se smanjuju tijekom razdoblja niske potražnje, potičući odlaganje otpada u tim trenucima.

Planiranje kapaciteta. UI može pomoći u planiranju kapaciteta za objekte i infrastrukturu za upravljanje otpadom. Analizirajući povijesne podatke i predviđeno generiranje otpada, UI algoritmi mogu procijeniti buduće potrebe infrastrukture, kao što je potreba za dodatnim reciklažnim postrojenjima ili postrojenjima za pretvaranje otpada u energiju. *Primjer:* Uz pomoć UI, donositelji odluka analiziraju povijesne podatke o generiranju otpada, projekcije rasta populacije i stope reciklaže. UI sustav predviđa buduće generiranje otpada i procjenjuje potrebni kapacitet za reciklažne objekte. Ove informacije pomažu donositeljima odluka da planiraju investicije u infrastrukturu kako bi učinkovito zadovoljili buduće zahtjeve upravljanja otpadom.

Procjena utjecaja na okoliš. UI može predvidjeti i procijeniti utjecaj na okoliš aktivnosti upravljanja otpadom. Uzimajući u obzir čimbenike kao što su emisije tijekom transporta, kapacitet odlagališta i stope reciklaže, UI algoritmi mogu ocijeniti održivost praksi upravljanja otpadom. *Primjer:* UI sustav analizira podatke o rutama prikupljanja otpada, metodama transporta, kapacitetima odlagališta i stopama reciklaže. Uporabom ovih informacija, UI sustav može predvidjeti i procijeniti utjecaj različitih strategija upravljanja otpadom na okoliš, omogućujući donositeljima odluka da donesu informirane odluke o smanjenju emisija ugljika i poboljšanju održivosti.

Ove uloge UI-ja u prediktivnoj analitici doprinose poboljšanju učinkovitosti, smanjenju troškova i doprinosu održivijoj praksi upravljanja otpadom.

2.2. Uloge UI u pametnim kontejnerima

UI igra razne ključne uloge u kontekstu pametnih kontejnera, koristeći svoje mogućnosti u analizi podataka, strojnome učenju i automatizaciji. U nastavku su nabrojene uloge UI u pametnim kontejnerima, zajedno s primjerima (6).

Praćenje razine punjenja. UI algoritmi mogu analizirati podatke sa senzora instaliranih u pametnim kontejnerima kako bi u stvarnom vremenu pratili razinu otpada u kontejnerima. Kontinuiranim prikupljanjem i obradom podataka, UI može precizno procijeniti razinu punjenja i pružiti pravodobne obavijesti za prikupljanje otpada ili održavanje. *Primjer:* Pametni kontejneri opremljeni ultrazvučnim senzorima mjere razinu otpada u stvarnom vremenu. Podaci se šalju UI sustavu koji analizira informacije i utvrđuje kada kontejner doseže kapacitet. UI sustav tada aktivira obavijest timu za upravljanje otpadom, omogućujući im da pravovremeno zakažu prikupljanje i izbjegnu situacije prepunjenosti.

Dinamičko usmjeravanje i optimizacija. UI može optimizirati rute prikupljanja otpada na temelju podataka o razini punjenja iz pametnih kontejnera u stvarnom vremenu. Analizirajući podatke i uzimajući u obzir čimbenike kao što su uvjeti prometa, blizina i razine punjenja obližnjih kontejnera, UI algoritmi mogu dinamički optimizirati rute prikupljanja kako bi se smanjila udaljenost putovanja i poboljšala učinkovitost. *Primjer:* Sustav upravljanja otpadom osnažen UI-em prima podatke o razini punjenja iz više pametnih kontejnera diljem grada. UI sustav obrađuje ove podatke, identificira kontejnere koji trebaju prikupljanje i optimizira rute prikupljanja sukladno tome. Dinamičkim prilagođavanjem ruta na temelju podataka u stvarnom vremenu, UI sustav pomaže timovima za upravljanje otpadom da uštede vrijeme, gorivo i resurse.

Prediktivno održavanje. UI može analizirati podatke iz pametnih kontejnera kako bi predvidio potrebe za održavanjem i proaktivno riješio probleme. Praćenjem različitih parametara poput funkcionalnosti senzora, trajanja baterije ili povezanosti, UI algoritmi mogu otkriti anomalije i predvidjeti kada će biti potrebno održavanje ili popravci. *Primjer:* Pametni kontejneri opremljeni senzorima pod upravljanjem

UI-je kontinuirano prate svoj operativni status. UI sustav analizira podatke senzora i identificira bilo kakve abnormalnosti, kao što su neispravan senzor ili slaba baterija. Na temelju ovih predikcija, tim za upravljanje otpadom može proaktivno zakazati održavanje ili zamjene, osiguravajući optimalnu funkcionalnost pametnih kontejnera.

Otkrivanje kontaminacije. UI može otkriti i identificirati kontaminaciju u pametnim kontejnerima analizirajući sastav otpada ili koristeći tehnike prepoznavanja slika. Razlikujući prihvatljive otpatke od neusklađenih stavki, UI algoritmi mogu pomoći u održavanju kvalitete reciklabilnog materijala i smanjenju rizika od kontaminacije. *Primjer:* Pametni kontejneri opremljeni UI kamerama snimaju slike dolaznog otpada. UI sustav analizira te slike, identificira kontaminante kao što su plastične vreće ili opasni materijali te aktivira upozorenja timu za upravljanje otpadom. Ovo omogućuje pravovremenu intervenciju kako bi se kontaminanti uklonili i osigurala čistoća reciklabilnog materijala.

Analiza ponašanja i educiranje. UI može analizirati podatke iz pametnih kontejnera kako bi stekao uvide u obrasce generiranja otpada i ponašanje korisnika. Identificirajući trendove i obrasce, UI algoritmi mogu pružiti vrijedne informacije donositeljima odluka za upravljanje otpada kako bi razvili ciljne edukativne kampanje i potaknuli održive prakse u upravljanju otpadom. *Primjer:* UI algoritmi analiziraju podatke iz pametnih kontejnera kako bi razumjeli obrasce generiranja otpada u određenim područjima ili demografskim skupinama. UI sustav može identificirati područja s visokim stopama recikliranja ili područja gdje je kontaminacija rasprostranjena. Ove informacije pomažu donositeljima odluka u oblikovanju edukativnih programa i inicijativa prilagođenih specifičnim zajednicama, promovirajući smanjenje otpada, recikliranje i poboljšane prakse upravljanja otpadom.

Analitika podataka i uvidi. UI može analizirati podatke prikupljene iz pametnih kontejnera kako bi pružio vrijedne uvide za donošenje odluka u upravljanju otpadom. Obradom i interpretacijom velikih količina podataka, UI algoritmi mogu identificirati trendove, optimizirati procese upravljanja otpadom i podržati donošenje politika temeljenih na dokazima. *Primjer:* UI-podržana platforma za upravljanje otpadom prikuplja podatke iz pametnih kontejnera diljem grada. UI sustav analizira te podatke, identificirajući obrasce kao što su „pikovi“ u generiranju otpada, područja s visokim ili niskim stopama recikliranja, ili neučinkovitosti u rutama prikupljanja. Donositelji odluka tada mogu uporabiti te uvide za optimizaciju raspodjele resursa, poboljšanje inicijativa za recikliranje i unaprjeđenje općih strategija upravljanja otpadom.

Ove uloge UI u pametnim kontejnerima ne samo da poboljšavaju učinkovitost i smanjuju troškove upravljanja otpadom, već doprinose i održivijem pristupu upravljanju resursima i ekološkoj svijesti u društvu

2.3. Uloge UI u formiranju cijena temeljenom na potražnji

UI igra značajne uloge u implementaciji cijena temeljenih na potražnji u upravljanju otpadom, koristeći svoje mogućnosti u analizi podataka, strojnom učenju i prediktivnom modeliranju. Uloge UI u formiranju cijena temeljenim na potražnji prikazane su u nastavku (7).

Analiza i modeliranje podataka. UI algoritmi analiziraju povijesne i stvarne podatke o stvaranju otpada, obrascima sakupljanja i tržišnim dinamikama kako bi razumjeli potražnju za uslugama odlaganja otpada. Procesirajući velike količine podataka, UI može identificirati trendove potražnje, sezonalnost i čimbenike koji utječu na generaciju otpada, omogućujući točno modeliranje cijena. *Primjer:* UI-podržani sustav upravljanja otpadom prikuplja i analizira povijesne podatke o obrascima stvaranja otpada, rastu stanovništva i ekonomskim pokazateljima. UI algoritam identificira korelacije između stvaranja otpada i raznih čimbenika kao što su razne manifestacije ili industrijske aktivnosti. Ova analiza pomaže odrediti odgovarajuće strukture cijena na temelju potražnje.

Predikcija potražnje. UI može predvidjeti potražnju za uslugama odlaganja otpada na temelju raznih čimbenika kao što su doba dana, dan u tjednu, sezona ili specifični događaji. Uzimajući u obzir povijesne podatke i stvarne ulaze, UI algoritmi mogu prognozirati obrasce generiranja otpada i prilagoditi cijene u skladu s tim. *Primjer:* UI sustav analizira povijesne podatke i stvarne ulaze poput vremenskih uvjeta, lokalnih događaja ili građevinskih aktivnosti. UI algoritam predviđa povećano generiranje otpada tijekom vikenda ili praznika i prilagođava cijene kako bi odražavao veću potražnju. To potiče smanjenje otpada i reciklažu tijekom vrhunskih razdoblja potražnje.

Optimizacija cijena. UI algoritmi optimiziraju strukture cijena na temelju predviđene potražnje i ponuda. Razmatrajući čimbenike kao što su kapacitet odlaganja otpada, operativni troškovi i ciljevi zaštite okoliša, UI može odrediti cijene koje učinkovito balansiraju dinamiku ponude i potražnje. *Primjer:* UI-podržana platforma za upravljanje otpadom analizira predviđenu potražnju, kapacitet odlaganja otpada i operativne troškove. UI algoritam optimizira strukturu cijena, prilagođavajući tarife tijekom vrhunskih perioda potražnje kako bi potaknuo smanjenje otpada, reciklažu ili alternativne prakse upravljanja otpadom. Ova optimizacija potiče održivije ponašanje u upravljanju otpadom.

Implementacija varijabilnih tarifa. UI omogućava implementaciju varijabilnih tarifa na temelju fluktuacija potražnje. Dinamičkim prilagođavanjem cijena, tvrtke za upravljanje otpadom mogu utjecati na ponašanje stvaranja otpada i promicati učinkovitije prakse upravljanja otpadom. *Primjer:* UI sustav za upravljanje otpadom kontinuirano prati potražnju za uslugama odlaganja otpada. UI algoritam dinamički prilagođava cijene na temelju podataka o stvarnoj potražnji, povećavajući tarife tijekom vršnih razdoblja i smanjujući ih tijekom razdoblja s niskom potražnjom. Ova implementacija varijabilne tarife potiče odlaganje otpada u vrijeme kada je kapacitet dostupan i minimizira preopterećenje.

2.4. Uloge umjetne inteligencije u detekciji nelegalnog odlaganja otpada

Umjetna inteligencija (UI) igra ključnu ulogu u otkrivanju i rješavanju aktivnosti nelegalnog odlaganja otpada, koristeći svoje sposobnosti u analizi slika, obradi podataka i prepoznavanju obrazaca. U nastavku su prikazane uloge UI u ovom području (8).

Prepoznavanje slika. UI algoritmi mogu analizirati slike ili video snimke zabilježene kamerama za nadzor ili dronovima kako bi identificirali instance nelegalnog odlaganja. Obučavanjem modela strojnog učenja na označenim podacima poznatih nelegalnih odlagališta, UI može točno prepoznati i označiti sumnjive aktivnosti u stvarnom vremenu. *Primjer:* Kamere za nadzor opremljene UI instalirane u udaljenim područjima ili poznatim žarištima odlaganja bilježe slike ili video snimke. UI sustav analizira vizuale, identificira objekte i ponašanje povezano s nelegalnim odlaganjem, kao što su pojedinci koji odbacuju otpad na zabranjenim područjima ili neovlašteno odlaganje velikih količina otpada. Sustav zatim obavještava relevantne vlasti za trenutnu akciju.

Analiza podataka sa senzora. UI može obraditi podatke s različitih senzora, poput senzora kvalitete zraka ili senzora sastava otpada, kako bi se otkrile anomalije koje mogu ukazivati na nelegalno odlaganje. Uspostavljanjem osnovnih vrijednosti i analizom odstupanja, UI algoritmi mogu identificirati neobične obrasce povezane s otpadom ili zagađivačima koji sugeriraju neovlašteno odlaganje otpada. *Primjer:* Senzori kvalitete zraka postavljeni na određenim područjima prate razine raznih zagađivača. UI algoritmi analiziraju podatke senzora i detektiraju iznenadne skokove razina zagađivača koji mogu ukazivati na nelegalno sagorijevanje ili odlaganje opasnog otpada. UI sustav šalje upozorenja donositeljima odluka, omogućujući im brzu istragu i odgovor.

Prepoznavanje obrazaca. UI može prepoznati obrasce u podacima o odlaganju otpada, kao što su neuobičajene rute prikupljanja otpada ili nekonzistentni obrasci generiranja otpada, kako bi otkrio potencijalne instance nelegalnog odlaganja. Uspoređujući povijesne podatke i identificirajući odstupanja, UI algoritmi mogu označiti sumnjive aktivnosti odlaganja otpada za daljnju istragu. *Primjer:* UI analizira povijesne podatke o rutama prikupljanja otpada i obrascima generiranja otpada. UI algoritam identificira područja gdje se rute prikupljanja otpada iznenada mijenjaju ili gdje obrasci

generiranja otpada značajno odstupaju od norme. Ova odstupanja mogu ukazivati na aktivnosti nelegalnog odlaganja, što omogućuje donositeljima odluka da reagiraju.

Praćenje društvenih medija. UI može pratiti platforme društvenih medija i online forume za postove, slike ili rasprave povezane s nelegalnim odlaganjem. Analizirajući tekst, slike i metapodatke, UI algoritmi mogu identificirati i označiti instance potencijalnih aktivnosti nelegalnog odlaganja koji se dijele ili o kojima se raspravlja online. *Primjer:* UI algoritmi pretražuju platforme društvenih medija za ključne riječi, hashtagove ili geolokacijske oznake povezane s nelegalnim odlaganjem. UI sustav analizira tekst i sadržaj slika vezanih uz te postove, tražeći indikacije o nelegalnom odlaganju, kao što su izravne naznake, slike odlagališta ili rasprave o neovlaštenom zbrinjavanju otpada. Vlasti su potom obaviještene da istraže o čemu se radi.

Fuzija i integracija podataka. UI može integrirati podatke iz više izvora, poput kamera za nadzor, senzora i javnih izvještaja, kako bi se stvorila sveobuhvatna slika aktivnosti nelegalnog odlaganja. Kombiniranjem i analizom raznoraznih skupova podataka, UI algoritmi mogu identificirati skrivene obrasce i pružiti holistički pregled za učinkovitu detekciju i prevenciju. *Primjer:* UI algoritmi kombiniraju podatke iz kamera za nadzor, senzora sastava otpada i izvještaja građana. UI sustav korelira informacije iz ovih izvora, identificirajući prostorne i vremenske obrasce povezane s incidentima nelegalnog odlaganja. Integriranjem različitih tokova podataka, donositelji odluka dobivaju sveobuhvatno razumijevanje aktivnosti nelegalnog odlaganja kako bi poduzele odgovarajuće mjere.

Prediktivna analitika. UI može analizirati povijesne podatke o incidentima nelegalnog odlaganja, okolišnim faktorima i socioekonomskim pokazateljima za predviđanje potencijalnih budućih žarišta nelegalnog odlaganja. Uzimajući u obzir razne varijable, UI algoritmi mogu pomoći donositeljima odluka u proaktivnom raspoređivanju resursa i implementaciji preventivnih mjera. *Primjer:* UI analizira povijesne podatke o incidentima nelegalnog odlaganja, korištenju zemljišta, blizini objekata za zbrinjavanje otpada i socioekonomskim faktorima. UI sustav identificira područja s visokom vjerojatnošću nelegalnog odlaganja na temelju korelacije između tih varijabli. Donositelji odluka mogu usmjeriti svoje napore nadzora i provesti preventivne mjere u tim predviđenim žarištima.

Ove uloge umjetne inteligencije u detekciji nelegalnog odlaganja otpada pomažu donositeljima odluka u brzom identificiranju i rješavanju neovlaštenog zbrinjavanja otpada, štiteći okoliš i održavajući čistoću zajednica. Uporabom naprednih tehnologija, UI može značajno unaprijediti učinkovitost u borbi protiv nelegalnog odlaganja i osigurati održiviji pristup upravljanju otpadom.

2.5. Uloge UI u optimizaciji procesa recikliranja

UI igra ključnu ulogu u optimizaciji procesa recikliranja, omogućujući organizacijama za gospodarenje otpadom i reciklažnim postrojenjima poboljšanje učinkovitosti, povećanje stopa recikliranja i jačanje održivosti. Ključne uloge UI u optimizaciji procesa recikliranja su (9):

Sortiranje i klasifikacija otpada. UI algoritmi mogu analizirati slike ili podatke sa senzora kako bi točno sortirali i klasificirali različite vrste otpada. Uporabom tehnika strojne obrade i računalnog vida, UI može identificirati i odvojiti reciklirajuće materijale od nereciklirajućih, olakšavajući učinkovite procese recikliranja. *Primjer:* UI-usmjerene optički sortirni strojevi opremljeni kamerama i senzorima snimaju slike dolaznog otpada na transportnu traku. UI algoritmi u stvarnom vremenu analiziraju slike, prepoznajući i klasificirajući različite reciklirajuće materijale poput plastike, metala ili papira. Ovo automatsko sortiranje omogućuje učinkovito razdvajanje materijala za daljnje procese recikliranja.

Optimizacija procesa. UI algoritmi mogu optimizirati procese recikliranja analizirajući podatke o performansama opreme, potrošnji energije i protoku materijala. Identificiranjem uskih grla, neučinkovitosti ili prilika za poboljšanje, UI može preporučiti prilagodbe koje poboljšavaju operativnu učinkovitost i povećavaju proizvodnju recikliranih materijala. *Primjer:* UI kontinuirano nadzire podatke iz reciklažne opreme, kao što su drobilice ili separatori, mjereći parametre poput potrošnje energije, protoka materijala i potreba za održavanjem. UI sustav analizira ove podatke kako bi identificirao

optimalne parametre procesa, poput optimalne brzine ili postavki za opremu, minimizirajući potrošnju energije i maksimizirajući učinkovitost recikliranja.

Prediktivno održavanje. UI može predvidjeti kvarove opreme ili potrebe za održavanjem u reciklažnim postrojenjima analizirajući podatke sa senzora, povijesne zapise o održavanju i operativne parametre. Otkrićem anomalija i obrazaca, UI algoritmi mogu anticipirati potrebe za održavanjem, smanjujući vrijeme zastoja i optimizirajući dostupnost opreme. *Primjer:* UI algoritmi obrađuju podatke sa senzora instaliranih u reciklažnoj opremi, kao što su senzori vibracija ili temperature. UI sustav prati performanse opreme, identificira obrasce koji prethode kvarovima i predviđa potrebe za održavanjem. To omogućuje proaktivno planiranje aktivnosti održavanja, minimizirajući nenamjerne zastoje i optimizirajući korištenje opreme.

Kontrola kvalitete. UI može izvoditi zadatke kontrole kvalitete analizirajući podatke sa senzora, slike ili svojstva materijala kako bi osigurao čistoću i kvalitetu recikliranih materijala. Otkrićem kontaminanata, nečistoća ili defekata, UI algoritmi mogu poboljšati kvalitetu recikliranih proizvoda i smanjiti rizik od problema u daljnjem procesu obrade. *Primjer:* UI analizira podatke sa senzora ili slike vizualne inspekcije kako bi identificirao kontaminante ili nečistoće u recikliranim materijalima. UI sustav može otkriti anomalije kao što su nerekicirajući materijali, strana tijela ili nedostatno sortiranje. To omogućuje reciklažnim postrojenjima da poduzmu korektivne mjere kako bi osigurali visokokvalitetni izlaz i minimizirali odbijanja ili probleme u daljnjem obradi.

Upravljanje zalihama i predikcija potražnje. UI algoritmi mogu optimizirati upravljanje zalihama u reciklažnim postrojenjima analizirajući povijesne podatke, tržišne trendove i prognoze potražnje. Uzimajući u obzir čimbenike poput dostupnosti materijala, potražnje na tržištu i promjene cijena, UI može preporučiti razine zaliha i optimizirati operacije opskrbnog lanca. *Primjer:* UI analizira povijesne podatke o dostupnosti materijala, potražnji na tržištu i cijenama. UI sustav identificira trendove i obrasce kako bi prognozirao buduću potražnju za recikliranim materijalima. Na temelju tih predikcija, UI sustav optimizira razine zaliha, osiguravajući dovoljnu opskrbu kako bi se zadovoljila potražnja, dok istovremeno minimizira troškove skladištenja i otpad.

Sustavi za podršku odlučivanju. UI može pružiti podršku u odlučivanju analizirajući podatke o procesima recikliranja, troškovnim strukturama i utjecaju na okoliš. Uzimajući u obzir više varijabli i ograničenja, UI algoritmi mogu pomoći u optimizaciji odlučivanja vezanog uz odabir materijala, izbor procesa ili investicijske odluke. *Primjer:* UI analizira podatke o procesima recikliranja, troškovnim strukturama, utjecaju na okoliš i regulativama. UI sustav razmatra više čimbenika, poput potrošnje energije, stope oporavka materijala i potražnje na tržištu, kako bi pružio uvide i preporuke za donošenje odluka. To pomaže donosiocima odluka u reciklažnim postrojenjima da donesu informirane odluke koje optimiziraju raspodjelu resursa i povećavaju održivost.

Ove uloge UI u optimizaciji procesa recikliranja omogućuju organizacijama za gospodarenje otpadom i reciklažnim postrojenjima unapređenje učinkovitosti, povećanje stopa recikliranja i doprinos održivijem načinu upravljanja resursima. Kroz implementaciju UI tehnologija, bilježi se smanjenje troškova, poboljšanje kvalitete recikliranih materijala i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš, što sve zajedno pridonosi boljoj budućnosti za planet.

2.6. Uloga UI u uporabi resursa

Identifikacija resursa: UI analizira sastav otpada koristeći metode strojnog učenja kako bi prepoznao vrijedne materijale poput metala i plastike, omogućujući ciljanije napore u recikliranju. Na primjer, UI može obraditi podatke sa senzora za sortiranje kako bi istaknuo specifične reciklabilne komponente.

Optimalne tehnike ekstrakcije: UI preporučuje najbolje metode za ekstrakciju resursa analizirajući karakteristike otpada zajedno s tehnologijama ekstrakcije. Primjer bi bio korištenje UI-a za određivanje je li proliza ili hidrometalurgija prikladnija za određene vrste otpada na temelju sadržaja vlage i veličine čestica.

Optimizacija procesa: UI poboljšava procese uporabe resursa identificirajući neučinkovitosti unutar operativnih parametara poput temperature i brzine. Analizirajući podatke u stvarnom vremenu, UI može predložiti prilagodbe za poboljšanje stopa uporabe i smanjenje otpada, kao što je optimizacija postavki na strojevima za sortiranje.

Analiza tržišta i predikcija potražnje: UI predviđa tržišne trendove i cijene kako bi učinkovitije usmjerio strategije uporabe resursa. Na primjer, ako UI uoči povećanu potražnju za određenim metalom, može savjetovati prioritarno vađenje na temelju očekivane profitabilnosti.

Sustavi podrške odlučivanju: UI pomaže u strateškom odlučivanju procjenjujući procese uporabe resursa u odnosu na troškove i ekološke metrike. Na primjer, može preporučiti ulaganja u tehnologije koje su i ekonomski isplative i ekološki održive, uzimajući u obzir trenutne propise.

Kontinuirano poboljšanje i učenje: UI sustavi koriste strojno učenje kako bi s vremenom usavršili procese uporabe. Na primjer, analiziranjem povijesnih podataka o radu i povratnim informacijama, UI može predložiti kontinuirane prilagodbe za poboljšanje učinkovitosti, poput modificiranja tehnika ekstrakcije.

Ove uloge zajednički doprinose održivijem kružnom gospodarstvu optimiziranjem uporabe resursa iz otpada i promicanjem održivih praksi (10).

2.7. UI u javnoj svijesti i obrazovanju

UI može igrati značajnu ulogu u podizanju javne svijesti i pružanju obrazovanja o različitim temama. Kada je riječ o upravljanju otpadom i održivosti, UI može pomoći u diseminaciji informacija, angažiranju javnosti i promicanju promjene ponašanja. Ključne uloge UI u javnoj svijesti i obrazovanju navodimo u nastavku (11).

Diseminacija informacija. UI algoritmi mogu prikupiti i analizirati ogromne količine informacija o upravljanju otpadom, praksama recikliranja i utjecaju na okoliš. Obrađujući te podatke, UI može generirati točne i ažurirane informacije kako bi educirao javnost o važnosti održivih praksi upravljanja otpadom. *Primjer:* UI-pokretani chatbotovi ili virtualni asistenti putem web stranica ili mobilnih aplikacija koriste prirodno jezično procesiranje za interakciju s korisnicima i pružanje odgovora na pitanja o upravljanju otpadom, smjernicama recikliranja ili ekološkim praksama. UI sustav može pružiti informacije i resurse u stvarnom vremenu kako bi educirao javnost.

Personalizirane preporuke. UI algoritmi mogu analizirati individualne preferencije, ponašanja i obrasce potrošnje kako bi pružili personalizirane preporuke za održive prakse upravljanja otpadom. Razmatrajući čimbenike kao što su lokacija, stil života i navike generiranja otpada, UI može ponuditi prilagođene savjete za promicanje održivih izbora. *Primjer:* UI-pokretane mobilne aplikacije prikupljaju podatke o navikama generiranja otpada korisnika, kao što su vrste generiranog otpada i ponašanje u recikliranju. UI sustav analizira te podatke i pruža personalizirane preporuke, poput savjeta za recikliranje, obližnjih centara za reciklažu ili alternativnih praksi smanjenja otpada temeljenih na individualnim preferencijama.

Gamifikacija i angažman. UI može uporabiti tehnike gamifikacije kako bi obrazovanje o upravljanju otpadom i održivosti učinilo zanimljivijim i interaktivnijim. Uključivanjem elemenata kao što su izazovi, nagrade i natjecanja, UI može motivirati i educirati javnost na zabavan i pristupačan način. *Primjer:* UI-

pokretane mobilne aplikacije ili online platforme koriste gamifikaciju da angažiraju korisnike u aktivnostima vezanim uz upravljanje otpadom. Korisnici mogu zarađivati bodove, oznake ili nagrade za recikliranje, smanjenje otpada ili sudjelovanje u akcijama čišćenja zajednice. UI sustav prati napredak korisnika, pruža povratne informacije i potiče osjećaj natjecateljskog duha, potičući kontinuirano angažiranje i učenje.

Analiza društvenih medija. UI algoritmi mogu analizirati platforme društvenih medija i online rasprave kako bi stekli uvid u javne percepcije, zabrinutosti i praznine u znanju vezanim uz upravljanje otpadom. Praćenjem trendova i osjećaja, UI može identificirati područja gdje su potrebne ciljanje obrazovne i svjesne kampanje. *Primjer:* UI algoritmi analiziraju podatke s društvenih medija, kao što su objave, komentari i hashtagovi vezani uz upravljanje otpadom. UI sustav identificira uobičajena pitanja, zablude ili područja interesa među javnošću. Ove informacije pomažu donositeljima odluka da dizajniraju obrazovne sadržaje i kampanje koje se obraćaju specifičnim prazninama u znanju ili zabrinutostima.

Prijateljsko procesiranje jezika. UI može analizirati i interpretirati velike volumene sadržaja temeljenog na tekstu, poput članaka, istraživačkih radova ili online foruma, kako bi izvukao relevantne informacije i generirao obrazovne materijale. Razumijevanjem konteksta i izdvajajući ključne uvide, UI može sažeti složene informacije i predstaviti ih u pristupačnijem formatu. *Primjer:* UI algoritmi obrađuju velike količine istraživačkih članaka, izvještaja i obrazovnih resursa o upravljanju otpadom i održivosti. UI sustav izvlači ključne koncepte, generira sažetke i predstavlja informacije u korisniku prijateljskom formatu, poput infografika ili interaktivnih vodiča. Ovo pojednostavljenje složenih tema olakšava javnosti razumijevanje.

Povratne informacije i analiza sentimenta. UI može analizirati povratne informacije i sentiment javnosti vezano uz prakse upravljanja otpadom, reciklažne objekte ili ekološke inicijative. Obradom povratnih podataka, UI algoritmi mogu identificirati područja za poboljšanje, adresirati zabrinutosti i prilagoditi obrazovne strategije prema potrebi. *Primjer:* UI analizira povratne informacije iz javnih anketa, online recenzija ili sustava povratnih informacija korisnika vezanih uz usluge upravljanja otpadom ili programiranjem reciklaže. UI sustav identificira uobičajene zabrinutosti, sugestije ili područja nezadovoljstva. Ove povratne informacije koriste se za poboljšanje obrazovnih materijala, rješavanje zabrinutosti javnosti i unapređenje inicijativa za upravljanje otpadom.

Navedeni primjere ističu kako UI može značajno unaprijediti javnu svijest i obrazovanje o ključnim pitanjima kao što su upravljanje otpadom i održivost, pomažući ljudima da se bolje informiraju i aktivno sudjeluju u očuvanju okoliša.

3. PREDUVJETI ZA UČINKOVITU UPOTREBU UI U UPRAVLJANJU OTPADOM

Kako bi se osigurala učinkovita upotreba UI u upravljanju otpadom, potrebno je ispuniti nekoliko preduvjeta. Ovi preduvjeti uključuju (12), (13):

Dostupnost i kvaliteta podataka. Dovoljni i visokokvalitetni podaci ključni su za treniranje UI algoritama te za donošenje točnih predikcija ili preporuka. Važno je imati pristup sveobuhvatnim podacima o upravljanju otpadom, uključujući sastav otpada, stope recikliranja, rute prikupljanja i operativne parametre. Sustavi za prikupljanje podataka trebaju biti dobro osmišljeni, pouzdani i standardizirani kako bi se osigurala točnost i dosljednost podataka.

Integracija podataka i interoperabilnost. Kako bi se maksimizirala učinkovitost UI u upravljanju otpadom, integracija podataka i interoperabilnost su bitni. Različiti izvori podataka, poput sustava za upravljanje otpadom, senzora i vanjskih baza podataka, trebaju se integrirati kako bi se stvorila

holistička slika procesa upravljanja otpadom. Trebaju se uspostaviti standardi i protokoli interoperabilnosti za olakšavanje besprijekorne razmjene i integracije podataka.

Spremnost infrastrukture i tehnologije. Odgovarajuća infrastruktura i tehnologija potrebni su za implementaciju UI rješenja u upravljanju otpadom. To uključuje pouzdanu povezanost, računalne resurse i kapacitete za pohranu kako bi se obradili veliki volumen podataka. Osim toga, objekti za upravljanje otpadom trebali bi imati odgovarajuće senzore, kamere i druge uređaje za praćenje za prikupljanje podataka u stvarnom vremenu za UI analizu.

Obučena radna snaga. Prisutnost obučених radnika ključna je za učinkovitu implementaciju i upravljanje UI rješenjima u upravljanju otpadom. Potrebni su stručnjaci s iskustvom u analitici podataka, strojnog učenja i praksama upravljanja otpadom kako bi razvijali i održavali UI algoritme, tumačili rezultate i donosili informirane odluke na temelju UI uvida.

Suradnja i partnerstva. Suradnja među različitim dionicima vitalna je za uspješnu implementaciju UI u upravljanju otpadom. Suradnja između tvrtki za upravljanje otpadom, pružatelja tehnologije, istraživačkih institucija i industrijskih partnera može olakšati razmjenu podataka, razmjenu znanja i razvoj UI temeljenih rješenja. Partnerstva također mogu omogućiti okupljanje resursa i stručnosti za rješavanje zajedničkih izazova i poticanje inovacija.

Regulatorni okvir. Odgovarajući regulatorni okvir nužan je za upravljanje upotrebom UI u upravljanju otpadom. Propisi trebaju adresirati pitanja privatnosti i zaštite podataka, osigurati transparentnost UI algoritama i uspostaviti etičke smjernice za korištenje UI. Regulatorni okviri mogu pružiti jasnoću i odgovornost dok potiču povjerenje javnosti u UI sustave.

Troškovna učinkovitost. Implementacija UI rješenja u upravljanju otpadom trebala bi pokazati troškovnu učinkovitost i pružiti pozitivan povrat na ulaganje. Koristi od UI, poput poboljšane operativne učinkovitosti, smanjene proizvodnje otpada i povećanih stopa recikliranja, trebaju nadmašiti troškove povezane s implementacijom i održavanjem UI tehnologija.

Rješavanjem ovih preduvjeta, dionici u upravljanju otpadom mogu stvoriti okruženje pogodno za učinkovitu upotrebu UI, što vodi do poboljšanih praksi upravljanja otpadom, oporavka resursa i održivosti.

3.1. Osiguranje ispunjenja preduvjeta

Kako bi se osiguralo ispunjenje preduvjeta za učinkovitu upotrebu UI u upravljanju otpadom, mogu se poduzeti sljedeći koraci (13), (14):

Prikupljanje i standardizacija podataka. Uspostaviti robusne sustave za prikupljanje podataka koji bilježe relevantne informacije o upravljanju otpadom, uključujući sastav otpada, stope recikliranja i operativne parametre. Osigurati kvalitetu podataka kroz standardizirane protokole prikupljanja podataka i procese validacije.

Integracija podataka i interoperabilnost. Razviti okvire za integraciju podataka i standarde interoperabilnosti koji omogućuju besprijekornu razmjenu i integraciju podataka iz različitih izvora. Potaknuti suradnju između sustava za upravljanje otpadom, senzora i vanjskih baza podataka kako bi se stvorio sveobuhvatan ekosustav podataka.

Investicija u infrastrukturu i tehnologiju. Dodijeliti resurse za izgradnju potrebne infrastrukture i tehnoloških kapaciteta potrebnih za implementaciju UI u upravljanju otpadom. Ovo uključuje ulaganje u računalne resurse, povezanost, infrastrukturu za pohranu i senzorske tehnologije.

Razvoj radne snage. Promicati programe obuke i izgradnje kapaciteta kako bi se razvila obučena radna snaga s ekspertizom u analitici podataka, strojnog učenja i praksama upravljanja otpadom. Poticati suradnju između stručnjaka za upravljanje otpadom, znanstvenika za podatke i UI stručnjaka kako bi se potaknula međusobna razmjena znanja.

Poticanje suradnje i partnerstva. Uspostaviti partnerstva i okvire suradnje između tvrtki za upravljanje otpadom, pružatelja tehnologije, istraživačkih institucija i industrijskih dionika. Poticati razmjenu podataka, zajedničke istraživačke projekte i razmjenu znanja kako bi se iskoristila zajednička stručnost i resursi.

Regulatorni okvir i upravljanje. Razviti i implementirati regulatorne okvire koji adresiraju etičke, privatne i zaštitne aspekte povezane s UI u upravljanju otpadom. Poticati transparentnost UI algoritama i osigurati odgovornost u njihovom korištenju putem regulatornih smjernica.

Pilot projekti i demonstracije. Pokrenuti pilot projekte za testiranje i evaluaciju UI rješenja u upravljanju otpadom. Ovi projekti mogu pružiti vrijedne uvide, procijeniti izvedivost i učinkovitost UI tehnologija te identificirati potrebne prilagodbe prije šire implementacije.

Analiza troška i koristi. Provesti sveobuhvatne analize troška i koristi kako bi se procijenila ekonomska isplativost i povrat ulaganja u implementaciju UI u upravljanju otpadom. Procijeniti potencijalne koristi u smislu operativne učinkovitosti, smanjenja otpada, oporavka resursa i utjecaja na okoliš.

Javna svijest i angažman. Angažirati javnost putem kampanja podizanja svijesti i obrazovnih inicijativa kako bi se potaknulo razumijevanje i prihvaćanje UI u upravljanju otpadom. Istaknuti potencijalne koristi i naglasiti ulogu UI u poboljšanju održivosti i unapređenju praksi upravljanja otpadom.

Slijedeći korake navedene ovdje, dionici u upravljanju otpadom mogu raditi na ispunjavanju preduvjeta neophodnih za učinkovitu upotrebu UI u upravljanju otpadom, otvarajući put prema održivim i podacima vođenim praksama upravljanja otpadom.

4. DOPRINOS ZAPOSLENIKA U UČINKOVITOM KORIŠTENJU UI U GOSPODARENJU OTPADOM

Zaposlenici igraju ključnu ulogu u osiguravanju učinkovitog korištenja UI u gospodarenju otpadom na različite načine (15).

Upravljanje podacima i kontrola kvalitete. Zaposlenici mogu doprinijeti osiguravanju točne i pouzdane prikupljanja, unosa i održavanja podataka. Trebali bi slijediti protokole za prikupljanje podataka, pratiti kvalitetu podataka i pravovremeno rješavati bilo kakve probleme ili nesuglasice. Osiguravanjem visokokvalitetnih podataka, zaposlenici omogućuju UI algoritmima da generiraju točnije uvide i preporuke.

Suradnja i dijeljenje znanja. Zaposlenici bi trebali aktivno sudjelovati u inicijativama dijeljenja znanja i suradnje unutar svoje organizacije i s vanjskim dionicima. Dijeljenje iskustava, stečenih lekcija i najbolji praksi vezanih uz implementaciju UI može pomoći optimizirati procese, identificirati prilike za poboljšanje i poticati inovacije u gospodarenju otpadom.

Kontinuirano učenje i razvoj vještina. Zaposlenici bi trebali prihvatiti mogućnosti za kontinuirano učenje i razvoj vještina u tehnologijama povezanim s UI i praksama gospodarenja otpadom. Održavanjem ažurnosti o napretku u UI i gospodarenju otpadom, zaposlenici mogu učinkovito doprinijeti implementaciji i optimizaciji UI rješenja u svojim ulogama.

Povratne informacije i evaluacija. Zaposlenici bi trebali davati povratne informacije o izvedbi i učinkovitosti UI sustava u gospodarenju otpadom. Mogu dijeliti uvide, prijedloge i zabrinutosti na temelju svog iskustva s radom s UI tehnologijama. Ove povratne informacije mogu pomoći u refiniranju UI algoritama, identificiranju područja za poboljšanje i rješavanju bilo kakvih operativnih izazova ili ograničenja.

Prilagodba novim radnim tokovima. S uvođenjem UI sustava, zaposlenici se mogu morati prilagoditi novim radnim tokovima i procesima. Važno je da zaposlenici prihvate promjene, budu otvoreni za učenje novih alata i tehnologija te proaktivno doprinesu glatkoj integraciji UI u svoje radne rutine. Trebali bi biti voljni istražiti inovativne načine za korištenje UI sposobnosti za poboljšane prakse gospodarenja otpadom.

Etičke razmatranja. Zaposlenici bi trebali biti svjesni etičkih razmatranja povezanih s UI u gospodarenju otpadom. Trebali bi se pridržavati smjernica o privatnosti i zaštiti podataka, održavati povjerljivost i osigurati odgovornu upotrebu UI sustava. Zaposlenici također trebaju biti svjesni mogućih pristranosti ili ograničenja u UI algoritmima i poduzeti odgovarajuće mjere za njihovo ublažavanje.

Angažman s UI ishodima. Zaposlenici bi trebali aktivno komunicirati s ishodima i preporukama koje generiraju UI sustavi. Mogu usporediti uvide koje pruža UI za donošenje informiranih odluka, optimizaciju raspodjele resursa i poboljšanje procesa gospodarenja otpadom. Učinkovitim Uporabom UI ishodâ, zaposlenici doprinose cjelokupnoj učinkovitosti i efektivnosti operacija gospodarenja otpadom.

Praćenje i evaluacija. Zaposlenici bi trebali pratiti i evaluirati izvedbu UI sustava i njihov utjecaj na rezultate gospodarenja otpadom. Mogu procijeniti točnost prognoza, evaluirati učinkovitost UI vođenih intervencija i identificirati područja za doradu ili optimizaciju. Ovo kontinuirano praćenje i evaluacija pomažu osigurati stalno poboljšanje UI sustava i njihovu usklađenost s ciljevima gospodarenja otpada.

Aktivnim sudjelovanjem, prilagodbom i iskorištavanjem sposobnosti UI, zaposlenici mogu doprinijeti učinkovitom i efektivnom korištenju UI u gospodarenju otpadom, što vodi ka poboljšanoj održivosti, oporavku resursa i operativnoj učinkovitosti.

5. PREDNOSTI KORIŠTENJA UI U GOSPODARENJU OTPADOM

Korištenje UI u gospodarenju otpadom donosi niz prednosti koje mogu značajno poboljšati prakse gospodarenja otpadom (16).

Poboljšana operativna učinkovitost. UI može optimizirati procese gospodarenja otpadom analizirajući podatke, identificirajući obrasce i izrađujući predikcije. Omogućava učinkovitu raspodjelu resursa, optimizaciju ruta za prikupljanje otpada i raspored održavanja aktivnosti. UI algoritmi mogu pomoći smanjiti troškove, smanjiti potrošnju goriva i povećati opću operativnu učinkovitost sustava gospodarenja otpadom.

Poboljšano recikliranje i oporavak resursa. UI može poboljšati stope recikliranja i povećati oporavak resursa analizirajući podatke o sastavu otpada i identificirajući reciklabilne materijale. Točno klasificiranje i sortiranje otpada omogućava optimizaciju procesa recikliranja, smanjenje onečišćenja i osiguranje učinkovite uporabe vrijednih resursa. To dovodi do smanjene ovisnosti o sirovim materijalima i održivijeg pristupa gospodarenju otpadom.

Prediktivna analiza i planiranje. UI može uporabiti prediktivnu analizu za prognoziranje obrazaca generiranja otpada, identifikaciju vrhunskih razdoblja potražnje i planiranje aktivnosti gospodarenja otpadom sukladno tome. Analizom povijesnih podataka i vanjskih čimbenika, UI sustavi mogu

predvidjeti buduće količine otpada, omogućujući donositeljima odluka za gospodarenje otpadom da učinkovito raspoređuju resurse, planiraju razvoj infrastrukture i optimiziraju rasporede prikupljanja otpada.

Praćenje u stvarnom vremenu i podrška donošenju odluka. UI-pokretani senzori i sustavi praćenja mogu pružiti podatke u stvarnom vremenu o razinama otpada u kontejnerima, stopama popunjenosti i izvedbi opreme. Ovo praćenje omogućava proaktivno donošenje odluka, kao što je optimizacija ruta prikupljanja na temelju stvarnih razina popunjenosti ili pravovremeno identificiranje potreba za održavanjem. Pomaže spriječiti prepunjene kontejnere, smanjuje nepotrebne prikupljanja i poboljšava opću reakciju u sustavu gospodarenja otpadom.

Ušteda troškova. UI može dovesti do ušteda u troškovima u operacijama gospodarenja otpadom. Optimizacijom ruta, rasporeda i raspodjele resursa, UI pomaže smanjiti potrošnju goriva, troškove radne snage i troškove održavanja opreme. Osim toga, UI-podržano prediktivno održavanje može pomoći u otkrivanju i rješavanju problema s opremom prije nego što se pogoršaju, smanjujući skupe popravke i vrijeme neispravnosti.

Odlučivanje temeljeno na podacima. UI algoritmi analiziraju velike količine podataka i pružaju pozitivne uvide za donošenje odluka. Donosioci odluka mogu uporabiti te uvide za donošenje informiranih odluka o investicijama u infrastrukturu, razvoju politika i poboljšanjima usluga. Odlučivanje temeljeno na podacima osigurava učinkovitiju i efektivniju raspodjelu resursa te poboljšava strategije gospodarenja otpadom.

Poboljšanje utjecaja na okoliš. UI u gospodarenju otpadom doprinosi održivosti okoliša poticanjem recikliranja, smanjenjem generiranja otpada i optimizacijom procesa tretmana otpada. Minimiziranjem odlaganja otpada, maksimiziranjem uporabe resursa i smanjenjem emisija stakleničkih plinova, prakse gospodarenja otpadom potpomognute UI pomažu ublažavanju utjecaja na okoliš i podržavaju kružnu ekonomiju.

Javno angažiranje i edukacija. UI može poboljšati angažman i obrazovanje javnosti pružanjem personaliziranih preporuka, edukativnih materijala i interaktivnih platformi. UI-pokretane mobilne aplikacije ili chatbotovi mogu educirati javnost o praksama gospodarenja otpadom, smjernicama za recikliranje i održivim ponašanjima. Ovo potiče promjenu ponašanja i potiče pojedince na aktivno sudjelovanje u inicijativama smanjenja otpada i recikliranja.

Prednosti korištenja UI u gospodarenju otpadom uključuju poboljšanu operativnu učinkovitost, unaprijeđeno recikliranje i oporavak resursa, prediktivnu analizu za planiranje, praćenje u stvarnom vremenu, uštede troškova, odlučivanje temeljeno na podacima, smanjenje utjecaja na okoliš i povećano angažiranje te edukaciju javnosti. Sve ove prednosti doprinose održivijim i učinkovitijim praksama gospodarenja otpadom.

Kombinacija doprinosa zaposlenika i prednosti korištenja UI pruža snažnu osnovu za unapređenje sustava gospodarenja otpadom, što rezultira boljim upravljanjem resursima, smanjenjem negativnih okolišnih utjecaja, a time i doprinose održivijoj budućnosti.

6. RIZICI KORIŠTENJA UI U UPRAVLJANJU OTPADOM I NJIHOVO UBLAŽAVANJE

Iako UI nudi brojne prednosti u upravljanju otpadom, također postoje rizici povezani s njegovom primjenom. U nastavku se navode najčešći rizici i načini mitigacije (17).

Privatnost i sigurnost podataka. UI se oslanja na velike količine podataka, koji mogu uključivati osjetljive informacije. Postoji rizik od neovlaštenog pristupa, provale podataka ili zloupotrebe osobnih podataka. Kako bi se ublažio ovaj rizik, potrebno je implementirati robusne mjere zaštite podataka, uključujući enkripciju, kontrole pristupa i usklađenost sa relevantnim propisima o privatnosti kao što je GDPR. Redoviti sigurnosni auditi i obuka zaposlenika o postupcima rukovanja podacima također su neophodni.

Pristranost i diskriminacija. UI algoritmi se treniraju na povijesnim podacima koji mogu sadržavati pristranosti koje UI sustav može perpetuirati. To može dovesti do diskriminativnih ishoda ili učvrstiti postojeće nejednakosti u upravljanju otpadom. Da bi se ublažila pristranost, važno je osigurati raznolike i reprezentativne podatke za obuku, implementirati tehnike otkrivanja i ublažavanja pristranosti te redovito provoditi audite i procjene UI sustava radi pravednosti i jednakosti.

Nedostatak transparentnosti i objašnjenja. UI algoritmi mogu biti složeni i teški za razumijevanje, što dovodi do nedostatka transparentnosti u donošenju odluka. Ovaj nedostatak transparentnosti može narušiti povjerenje javnosti i otežati odgovornost. Primjena tehnika objašnjivog UI, poput pružanja transparentnih objašnjenja ili vizualizacija UI rezultata, može pomoći u poboljšanju transparentnosti, omogućujući korisnicima da razumiju kako UI sustavi donose odluke.

Prekomjerno oslanjanje na UI. Postoji rizik od prekomjernog oslanjanja na UI sustave bez uzimanja u obzir stručnosti i prosudbe ljudskih operatera. Važno je postići ravnotežu između UI-pokretanih uvida i ljudskog donošenja odluka. Ljudska stručnost treba biti integrirana u UI sustave, a ljudski operateri trebaju imati mogućnost poništiti ili izmijeniti preporuke koje generira UI na temelju svog znanja i iskustva.

Tehnička ograničenja i pogreške. UI sustavi mogu biti skloni tehničkim ograničenjima i pogreškama. Ključno je rigorozno validirati i testirati UI algoritme prije implementacije kako bi se smanjio rizik od netočnih predikcija ili preporuka. Redovito praćenje, procjena i održavanje UI sustava su neophodni za identifikaciju i rješavanje bilo kakvih tehničkih problema pravovremeno.

Nedostatak javnog prihvaćanja i razumijevanja. Uvođenje UI u upravljanje otpadom može naići na otpor ili skeptičnost javnosti zbog zabrinutosti o gubitku radnih mjesta, privatnosti ili povjerenju u UI sustave. Učinkovita komunikacija, angažman javnosti i obrazovni programi su potrebni za rješavanje ovih briga, povećanje javnog prihvaćanja i promicanje razumijevanja prednosti i ograničenja UI u upravljanju otpadom.

Etička razmatranja. UI u upravljanju otpadom postavlja etička razmatranja, poput odgovornog korištenja podataka, transparentnosti i odgovornosti. Uspostavljanje etičkih smjernica i okvirnih politika ključno je za osiguranje etičke primjene UI sustava. Uključivanje dionika, uključujući etičare i predstavnike zajednice, može pomoći u razvoju etičkih okvira i politika koje su u skladu s društvenim vrijednostima i promiču odgovorne UI prakse.

Proaktivnim rješavanjem ovih rizika putem robusnih mjera zaštite privatnosti, tehnika ublažavanja pristranosti, transparentnosti, suradnje između ljudi i UI sustava, rigoroznog testiranja, angažmana javnosti i etičkih razmatranja, potencijalni rizici povezani s Uporabom UI u upravljanju otpadom mogu se učinkovito smanjiti. To omogućuje odgovornu i korisnu implementaciju UI tehnologija u području upravljanja otpadom.

7. STUDIJE O UPORABI UI U UPRAVLJANJU OTPADOM

Na ovom mjestu navodi se nekoliko studija o uporabi UI u upravljanju otpadom (18).

Optimizacija ruta prikupljanja otpada

Studija u Barceloni:

Podaci: Korištenjem algoritama za optimizaciju ruta, sustav je analizirao podatke o prometu i povijesne podatke o količini otpada.

Rezultat: Uštede do 20% u potrošnji goriva i 15% smanjenje emisija CO₂, uz smanjenje vremena vožnje za vozila za prikupljanje otpada.

Razvrstavanje otpada u Koreji

Studija u Seulu:

Podaci: Primjena strojnog učenja u automatiziranim postrojenjima za razvrstavanje otpada.

Rezultat: Povećanje točnosti razvrstavanja s 77% na 98%, čime se smanjio postotak pogrešno razvrstanog otpada s 23% na 2%. Ovaj postupak je također ubrzao proces razvrstavanja od 5 do 10 puta.

Pametni kontejneri u Helsinkiju

Studija primjene senzora i UI tehnologije:

Podaci: Korištenje senzora za praćenje nivoa otpada u kontejnerima u stvarnom vremenu.

Rezultat: Povećanje učinkovitosti prikupljanja otpada smanjilo je broj potrebnih pražnjenja kontejnera za 30%, smanjujući troškove i poboljšavajući dostupnost usluge.

UI u analizi podataka o otpadu

Studija u San Diegu:

Podaci: Analiza povratnih informacija korisnika i obrazaca otpada pomoću UI.

Rezultat: Uspjeh u predviđanju vršnih razdoblja za prikupljanje otpada, što je omogućilo optimizaciju rasporeda i smanjenje troškova rada za 10%.

UI sustavi za otkrivanje ilegalnog odlaganja otpada

Studija u Los Angelesu:

Podaci: Korištenje videonadzora s AI tehnologijom za otkrivanje lokacija ilegalnog odlaganja.

Rezultat: Smanjenje ilegalnog odlaganja otpada za 30% u područjima gdje je UI sustav implementiran, a brza reakcija na prijave povećala je svijest građana o pravilnom odlaganju otpada.

Robotika u reciklaži

Studija u Nizozemskoj:

Podaci: Upotreba robota s AI za automatsko razvrstavanje reciklabilnog otpada.

Rezultat: Smanjenje radne snage za 40% i povećanje učinkovitosti razvrstavanja, uz uspješno razvrstavanje do 1.000 kilograma otpada na sat.

Ovi primjeri pokazuju konkretne kvantificirane koristi korištenja umjetne inteligencije u različitim aspektima upravljanja otpadom.

8. REZULTATI UPORABE UI U UPRAVLJANJU OTPADOM

Operativna učinkovitost: UI algoritmi za optimizaciju mogu pomoći u smanjenju potrošnje goriva i poboljšanju planiranja ruta za prikupljanje otpada. Izvještaji sugeriraju da implementacija UI-pokretne optimizacije ruta može rezultirati uštedama goriva u rasponu od 10% do 40%, ovisno o učinkovitosti postojećih ruta i praksi prikupljanja.

Optimizacija pametnih kanti: Praćenje razina otpada u pametnim kantama u stvarnom vremenu može dovesti do značajnih ušteda troškova optimizacijom ruta i učestalosti prikupljanja. Studije su pokazale da implementacija sustava pametnih kanti s UI-pokrenutim optimizacijskim algoritmima može rezultirati smanjenjem troškova prikupljanja do 30%.

Dodjela resursa: UI osnovane prediktivne analitike mogu optimizirati dodjelu resursa točno predviđajući obrasce generiranja otpada. Izbjegavanjem prekomjernog ili nedovoljnog prikupljanja, vlasti za upravljanje otpadom mogu postići uštede u radu, opremi i operativnim troškovima. Specifične uštede ovise o točnosti prediktivnih modela i učinkovitosti praksi dodjele resursa.

Obrada i reciklaža: UI tehnologije mogu poboljšati učinkovitost procesa recikliranja, što dovodi do smanjenja vremena obrade i povećanja stopa recikliranja. Učinkovito sortiranje i uporaba materijala koju omogućuju UI algoritmi mogu rezultirati uštedama troškova minimiziranjem potreba za ručnim radom i poboljšanjem vrijednosti oporabljenih materijala. Ipak, veličina ovih ušteda ovisit će o razmjeru reciklažnih operacija i specifičnim materijalima koji se obrađuju.

Važno je napomenuti da uštede ostvarene primjenom UI u upravljanju otpadom zavise od raznih čimbenika, uključujući veličinu sustava upravljanja otpadom, razinu tehnološke integracije, točnost prediktivnih modela i učinkovitost postojećih praksi. Podaci iz stvarnog svijeta i studije slučaja iz konkretnih implementacija mogu pružiti preciznije i kontekstualno specifične informacije o uštedama troškova postignutim kroz UI u upravljanju otpadom.

9. ZAKLJUČAK

Integracija UI u upravljanje otpadom nudi ogromni potencijal za poboljšanje učinkovitosti, održivosti i uporabe resursa u sustavima upravljanja otpadom. Uloge UI u upravljanju otpadom su višestruke, od sortiranja otpada i prediktivne analitike do pametnih kantica, cjenovnog modela temeljenog na potražnji, otkrivanja ilegalnog odlaganja, optimizacije procesa reciklaže, uporabe resursa i podizanja svijesti javnosti.

Prednosti korištenja UI u upravljanju otpadom su brojne. UI omogućuje poboljšanu operativnu učinkovitost optimizirajući dodjelu resursa, planiranje ruta i rasporede održavanja. Povećava reciklažu i uporabu resursa točno identificiranjem i sortiranjem reciklabilnih materijala, smanjujući kontaminaciju i promičući kružnu ekonomiju. UI-ine mogućnosti prediktivne analitike pomažu u predviđanju obrazaca generiranja otpada, omogućavajući bolje planiranje i dodjelu resursa. Praćenje u stvarnom vremenu i podrška odlukama koje pružaju UI-pokretni senzori i sustavi olakšavaju proaktivan pristup upravljanju otpadom i brzu prilagodbu.

Osim toga, UI u upravljanju otpadom dovodi do ušteda troškova, donošenja odluka temeljenih na podacima i povećane angažiranosti i obrazovanja javnosti.

Međutim, važno je rješavati rizike povezane s UI u upravljanju otpadom. Privatnost i sigurnost podataka, pristranost i diskriminacija, nedostatak transparentnosti, prekomjerno oslanjanje na UI, tehnička ograničenja, nedostatak javnog prihvaćanja i etička razmatranja su neki od potencijalnih rizika. Ublažavanje tih rizika zahtijeva robusne mjere zaštite podataka, raznolike i reprezentativne podatke za obuku, objašnjive UI tehnike, suradnju ljudi i UI, rigorozno testiranje, angažman javnosti i etičke okvire.

Sve u svemu, integracija UI u upravljanje otpadom nudi ogromne prednosti u smislu operativne učinkovitosti, uporabe resursa, ušteda troškova i ekološke održivosti. Učinkovitim Uporabom UI tehnologija i adresiranjem povezanih rizika, sustavi upravljanja otpadom mogu postići značajne napretke u smanjenju otpada, recikliranju i sveukupnoj održivosti, što na kraju dovodi do čistijih i održivijih gradova i zajednica.

REFERENCES

1. Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management.
2. Andeobu, L., Wibowo, S., & Grandhi, S. (2022). Artificial intelligence applications for sustainable solid waste management practices in Australia: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 155389.
3. Abdallah, M., Talib, M. A., Feroz, S., Nasir, Q., Abdalla, H., & Mahfood, B. (2020). Artificial intelligence applications in solid waste management: A systematic research review. *Waste Management*, 109, 231-246.
4. Strollo, E., Sansonetti, G., Mayer, M. C., Limongelli, C., & Micarelli, A. (2020). An UI-Based approach to automatic waste sorting. In *HCI International 2020-Posters: 22nd International Conference, HCII 2020, Copenhagen, Denmark, July 19–24, 2020, Proceedings, Part I* 22 (pp. 662-669). Springer International Publishing.
5. Mishra, S., Jena, L., Tripathy, H. K., & Gaber, T. (2022). Prioritized and predictive intelligence of things enabled waste management model in smart and sustainable environment. *Plos one*, 17(8), e0272383.
6. Abeygunawardhana, A. G. D. T., Shalinda, R. M. M. M., Bandara, W. H. M. D., Anesta, W. D. S., Kasthurirathna, D., & Abeysiri, L. (2020, December). UI-Driven Smart Bin for Waste Management. In *2020 2nd International Conference on Advancements in Computing (ICAC)* (Vol. 1, pp. 482-487). IEEE.
7. Li, Y., Yang, Z., Sun, J., & Hu, X. (2022, December). Pricing Strategies of UI-enabled and Regular Products. In *2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 0859-0863). IEEE.
8. Harada, R., Oyama, T., Fujimoto, K., Shimizu, T., Ozawa, M., Samuel, A. J., & SAKUI, M. (2022). Development of an UI-based illegal dumping trash detection system. *Intelligence, Informatics and Infrastructure*, 3(3), 1-9.
9. Yu, K. H., Zhang, Y., Li, D., Montenegro-Marin, C. E., & Kumar, P. M. (2021). Environmental planning based on reduce, reuse, recycle and recover using artificial intelligence. *Environmental Impact Assessment Review*, 86, 106492.
10. Kazim, H., Sabri, M., Al-Othman, A., & Tawalbeh, M. (2023). Artificial Intelligence Application in Membrane Processes and Prediction of Fouling for Better Resource Recovery. *Journal of Resource Recovery*, 1(2-in Progress).
11. Heriyanto, A., Firyanza, E., Kian, L. S., Iman, M. N., Helwah, N. F., & AnggrUini, R. I. (2023, May). Smart Education System to Enhance Public Awareness about Climate Change: A Literature Review. In *Business Innovation and Engineering Conference (BIEC 2022)* (pp. 148-156). Atlantis Press.
12. Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*, 27(4), 1275-1290.
13. Chen, S. H., Jakeman, A. J., & Norton, J. P. (2008). Artificial intelligence techniques: an introduction to their use for modelling environmental systems. *Mathematics and computers in simulation*, 78(2-3), 379-400.

14. Wolf, J. (2013). Improving the sustainable development of firms: The role of employees. *Business Strategy and the Environment*, 22(2), 92-108.
15. Reno, J. (2015). Waste and waste management. *Annual Review of Anthropology*, 44, 557-572.
16. Chandra, P., Yeh, C. H., & Dutta, P. (2022). Managing strategies for mitigating interacting barriers to sustainable online e-waste collection platforms in India. *Benchmarking: An International Journal*, (ahead-of-print).
17. Phonphoton, N., & Pharino, C. (2019). Multi-criteria decision analysis to mitigate the impact of municipal solid waste management services during floods. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 106-113.
18. D. Charalampidis et al. (2021). The Role of Artificial Intelligence in Waste Management: The Case of the Smart City. *Sustainability* 12, 23-41