

PAMETNO UPRAVLJANJE OTPADOM – ADAPTIVNO UPRAVLJANJE POSLOVNIM PROCESIMA

Apstrakt: Jedan od ključnih faktora uspjeha digitalne transformacije preduzeća za prikupljanje i zbrinjavanje otpada neizostavno podrazumijeva i promjene pristupa menadžmentu poslovnih procesa. Uvođenje novih tehnologija, uz integraciju IoT, GIS, AI digitalnih alata u svakodnevno transakcijsko poslovanje neizostavno podrazumijeva i reinžinjerung poslovnih procesa primjenom agilnog pristupa i povećanje digitalnih kompetencija uposlenika uz automatizaciju donošenja odluka. Najznačajnije pitanje je model koji definira načine implementacije pojedinih tehnoloških rješenja i digitalnih alata, kojima se vrši prikupljanje svakodnevnih transakcijskih informacija sa AI tehnologijama, koje treba da potpomognu ili autoamtiziraju donošenje poslovnih odluka u svakodnevnom ili dugoročnom procesu upravljanja poslovnim odlukama, na strani menadžementa. Proces kontrolinga definira način mjerenja krajnjeg učinka na sveukupne ekonomske pokazatelje poslovanja preduzeća. U ovom radu je prikazan prijedlog modela integracije novih tehnologija u procesu digitalne transformacije studije slučaja preduzeća ALBA Zenica d.o.o.

Ključne riječi: pametno upravljanje otpadom, IoT senzori, GIS, AI, BPM, Adaptive BPM, adptivno upravljanje poslovnim procesima, Industrija 4.0

SMART WASTE MANAGEMENT – ADAPTIVE BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

Abstract: One of the key factors for the successful digital transformation of waste collection and disposal companies is a change in business process management. The introduction of new technologies, with the integration of IoT, GIS and AI tools, requires the reengineering of business processes through an agile approach. In addition, this requires the improvement of employees' digital competencies and the automation of decision-making. The key issue for the success of the digitalization process is in the model that defines the methods for implementing specific technological solutions and digital tools. These tools are necessary for collecting daily transactional information about the business, which can support or automate business decision-making in the short and long term context, assisted by AI technologies. The process of controlling business processes makes it possible to define and measure the impact on the overall economic indicators of the company. This paper proposes a model for integrating new technologies into the digital transformation process, illustrated through the case study of ALBA Zenica d.o.o.

Keywords: smart waste management, IoT sensors, GIS, AI, BPM, Adaptive BPM, adaptive business process management, Industry 4.0, Circular Economy

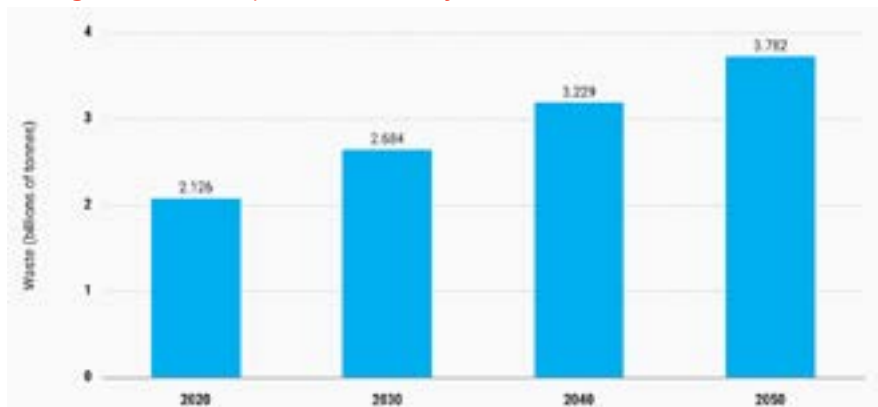
1 Univerzitet u Zenici, Politehnički fakultet; sanid.muhic@gmail.com

2 Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet; dautbegovic@alba.ba

1. UVOD

Ujedinjene nacije (2024) u svom izvještaju Globalni pregled upravljanja otpadom procjenjuju da je 2020. globalna količina generiranog čvrstog otpada iznosila 2,1 milijardu tona godišnje. Zbog kombinacije ekonomskog rasta i rasta stanovništva, predviđa se porast za 56 posto na 3,8 milijardi tona do 2050. ako se ne preduzmu hitne mjere.

Slika 1: Projekcije globalne proizvodnje čvrstog komunalnog otpada u 2030., 2040. i 2050. godini ako se ne preduzmu hitne mjere.



Izvor: Global Waste Management Outlook 2024 - Beyond an age of waste: Turning rubbish into a resource. (2024). United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44939>

Globalne procjene povećanja količine otpada prate i trendovi u Bosni i Hercegovini odnosno na Zapadnom Balkanu.

Industrija 4.0 kao koncept direktno je povezana sa konceptom cirkularne ekonomije. Povezanost se ogleda u jednosmjerno vezi koja podrazumijeva da je Industrija 4.0 jedan od ključnih tehnoloških preduslova za razvoj cirkularne ekonomije a drugi se odnosi na sveukupni sinergijski efekt nakon i potpune implementacije oba koncepta. Ključni benefit i srž implementacije elemenata industrije 4.0 u kompanijama ogleda se kroz modele upravljanje poslovnim procesima. Uspješnost sveukupnih sinergijskih rezultat je direktno povezan sa horizontalnom i vertikalnom integriranošću same kompanije ali i branše u kojoj kompanija posluje.

U ovom radu je istaknuta važnost cjelovitog pristupa i načina integracije komponenata unutar preduzeća kao preduslov ostvarivanja sinergijskog efekta implementacije Industrije 4.0 u ekosisteme kompanije.

U radu je opisan i jedan od mogućih modela implementacije Industrije 4.0 na primjeru pilot projekta kompanije ALBA d.o.o. Zenica.

2. PREGLED PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA

U nastavku su rezultati pregleda najvažnijih radova koji povezuju pojmove industrije 4.0, cirkularne ekonomije, upravljanja otpadom i poslovnim procesima.

U radu Marek Cwiklicki i Magdalena Wojnarowska (2020), istražena je veza Industrije 4.0 sa cirkularnom ekonomijom i jasno su navedene neraskidive veze i sinergijski efekti ova dva koncepta, kao i važnost široke integriranosti za postizanje iste.

Rad autora Muhammad Hassan, Abdul Hafeez i Kabir Ghoto (2024) iznosi zaključke vezane za ključne izazove implementacije industrije 4.0 u sektoru prikupljanja i zbrinjavanja otpadom. Istaknute izazove koji uključuju finansijske prepreke, ograničenu svijest i saradnju javnosti i vlade, otpor promjenama, nedostatak stručnih resursa i zabrinutost za sigurnost, privatnost i interoperabilnost je moguće preovladati kroz proces zajedničke saradnje između industrijskih udruženja i partnerstva vlade i industrije ali i kreiranje strategija upravljanja promjenama kroz komunikaciju i edukaciju građana uz poseban napor akademske zajednice.

Carlos Andrés Tavera Romero et al.(2021) u svom radu ističu korelaciju između cirkularne ekonomije i industrije 4.0 kroz analizu različitih tehnologija u prelasku sa linearne ekonomije na integriranu cirkularnu ekonomiju. Ključna tehnologija je IoT, koja podrazumijeva upotrebu različitih pametnih senzorskih tehnologija za praćenje poslovnih procesa.

Rad autora, Yun Arifatul Fatimah et al (2020) prikazuje primjenu sveukupnog okvira integracije poslovnih elemenata identifikacije, sortiranja, recikliranja i zbrinjavanja otpada na višem nivou bez detaljnog opisa načina integracije istih.

Devika Kannan at al (2024) ističu važnost integriranog pristupa implementaciji Industrije 4.0 koji uključuje četiri glavna stuba kao preduslove uspješnosti a to su pametni ljudi, pametni gradovi, pametna preduzeća i pametne fabrike.

Atiq Zaman(2022) prikazuje studij slučaja upotrebe umjetne inteligencije za identifikiranje i mjerenje otpada iz domaćinstava u Australiji, ističući ograničenja ali i maksimalnu postignutu preciznost od 70%.

Rad autora Dominik Trubač (2022), predstavlja evaluaciju upotrebe odabranih koncepta i tehnologija industrije 4.0 u sektoru upravljanja otpadom na osnovu istraživanja kompanija koje posluju u sektoru upravljanja otpadom u Slovačkoj. Najraširenije digitalne tehnologije u sektoru su RFID tehnologije za praćenje kanti za smeće i količina otpada, te inteligentni softver za analizu i procjenu podataka. Upotreba naprednijih tehnologija, kao što su automatizovani roboti ili ultrazvučni senzori, još uvijek nije dobro razvijena.

Autori Amleto Di Salle et al (2024) predlažu model okvira za automatiziranu detekciju divljih deponija kroz upotrebu mobilnih tehnologija za prijavu već identifikovanih divljih deponija te primjenu umjetne inteligencije i algoritama za predikcije i simulacije koje bi pomogle u procesu odlučivanja srednjem i višem menadžmentu.

U radu autor, Clayton Burger et al (2018), prikazuje zaključke studije istraživanja upotrebe različitih softverskih alata kako bi se uporedio potencijal za poboljšanje dostupnosti podataka i kompletnosti podataka, kao i upravljanje poslovnim procesima recikliranja. Ključni zaključak se odnosi na nepostojanje općeprihvaćenog i integriranog modela i okvira.

Analizom dostupne literature možemo zaključiti da postoji istraživački gap za prijedlog modela koji će integrirati koncepte industrije 4.0 i cirkularne ekonomije kroz platforme pametnog upravljanja otpadom ali na nivou definiranja ključnih komponenti sistema i međusobne interakcije istih kako bi se postigao efikasan model za upravljanje poslovnim procesima što je i ključno za svaki poslovni sistem.

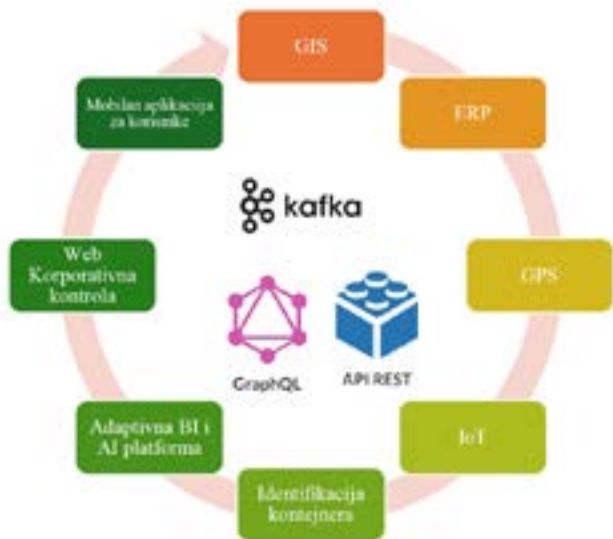
3. PRIJEDLOG ARHITEKTURE MODELA

Za implementaciju sistema pametnog upravljanje otpadom neophodno je predložiti model kojim bi se definirale osnovne komponente sistema zajedno sa načinom njihove međusobne integracije u jedan cjelovit sistem koji bi u konačnici omogućio adaptivno upravljanje poslovnim procesima da bi donosioci odluke mogli ostvariti sinergijski efekat industrije 4.0 u procesima prikupljanja i zbrinjavanja otpada.

Predloženi model se sastoji od:

- Geografski informacijski sistem (GIS) podsistem
- Enterprise resource planning (ERP) podsistem
- Podsistema za GPS praćenje vozila
- Podsistema za IoT senzorske uređaje za praćenje volumena popunjenosti kanti
- Podsistema za identifikaciju prihvatnih posuda (kontejnera)
- Podsistema za adaptivnu poslovnu inteligenciju (BI) sa AI (umjetna inteligencija) platformom
- Aplikativnih podsistema za Korporativnu kontrolu i Korisnike

Slika 2: Arhitektura sistema sa istaknutim podsistemima i načinom međusobnog povezivanja



Izvor: Autor

U nastavku je dat krati opis svakog od podsistema.

GIS podsistem

Uzimajući u obzir činjenicu da je prikupljanje otpada kao jedan od ključnih procesa geografsko-transportni problem, neophodno je sve ključne elemente procesa imati zapisane u bazi podataka koja omogućava gelociranje najvažnijih tačaka. Podsistem GIS baze podataka treba da bude dovoljno fleksibilan kako bi mogao evidentirati sveukupno stanje svih stakeholdera od loakcije domaćinstava i kompanija, lokacija kontejnera za odlaganje otpada, istresnih mjesta, deponija, reciklažnih dvorišta.

ERP podsistem

Enterprise resource planning tj. Planiranje resursa preduzeća podrazumjeva podsistem za digitalizaciju poslovanja kompanije koji se odnosi na finansije, ljudske resurse, logistiku i proizvodnju, upravljanje lancem nabavke i upravljanje odnosima s kupcima. Pravovremene informacije o transakcijskom poslovanju su neophodne za procjenu sveukupnih mogućnosti kompanije ali i za analizu efekta organizacije poslovanja kroz praćenje ključnih indikatora performansi (KPI).

Podsistem za IoT senzorske uređaje za praćenje volumena popunjenosti kanti

Jedan od ključnih problema sistema za prikupljanje otpada se odnosi na popunjenost volumena prihvatnih posuda koje su često prenapunjene ili nedovoljno napunjene, što u oba slučaja predstavlja uzrok problema. Valjan sistem za praćenje popunjenosti i pravovremeni podaci omogućit će ključne informacije za planiranje i organiziranje sistema odvoza otpada.

Podsistem za identifikaciju prihvatnih posuda

Podsistemi za identifikaciju otpadnih posuda putem QR ili RFID tehnologija će dati informacije za potrošače o ispunjenosti ugovorenih obaveza prema klijetima ili će predefinirati organizaciju odvožnje otpada u slučaju da sam korisnik ne ispunjava dogovorne uslove.

Podsistem za adaptivnu BI sa AI platformom

Ovaj podsistem je dogovoran za integriranja svih transakcijih podataka u sistem koji će omogućiti primjenu AI i ML algoritama za analizu historijskih podataka kako bi se dobile što bolje informacije za donošenje poslovnih odluka.

Drugi dio podsistema se odnosi na adaptivnu poslovnu inteligenciju koja bi trebala prikupljati podatke u realnom vremenu te kroz aplikativne sisteme samostalno tj. automatizirano korigovati izvršenje pojedinih poslovnih procesa ili davati pravovremene podatke krzo aplikativnu platformu za korporativnu kontrolu kako bi menadžment mogao poduzeti pravovremene reakcije.

Aplikativni podsistem za Korporativnu kontrolu i Korisnike

Podsistem za korporativnu kontrolu je BI dashboard aplikacija za pravovremeno izvještavanje o stanju poslovnih procesa u kompaniji. Takođe bi aktivno trebala pratiti

KPI indikatore za efikasnost izvršenja poslovnih procesa. Ovaj podsistem bi trebao uključiti i eksterne stakeholdere za integrirani pristup sistemu zbrinjavanja otpada u okviru lokalne zajednice-grada i regije-kantona.

Aplikativni podsistem za korisnike bi trebao omogućiti dvosmjernu komunikaciju sa krajnjim korisnicima-klijentima za pravovremene informacije o potreba ili statusima izvršenja usluga.

Međusobno povezivanje podsistema je napravljeno kroz stream servise koji su bazirani na kafka platformi uz upotrebu standardiziranih REST i GraphQL API interfejsa između aplikacija.

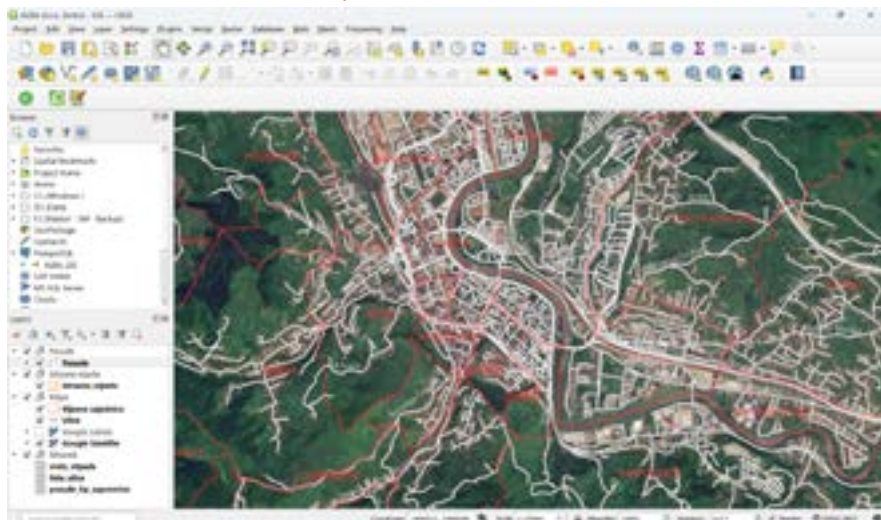
4. IMPLEMENTACIJA PILOT PROJEKTA

Kompaniji ALBA d.o.o. Zenica, kroz različite projektne aktivnosti, nastoji sprovesti procese digitalne transformacije kao preduslov za implementaciju komponenti koje bi u konačnici omogućile primjenu koncepta Industrije 4.0.

Trenuti pilot projekt na kojima se aktivno radi podrazumijevaju komponente GIS, GPS i IoT te početne faze integracijskih apliaktivnih rješenja.

GIS model se trenutno proširuje za efikasnu evidenciju stambenih jedinica i integraciju sa ERP sisitemom za efikasno povezivanje krajnjih korisnika sa istresnim mjestima.

Slika 3: QGIS sa modelom baze podataka



Izvor: Autor

Drugi aspekt se odnosi na nadzor vozila i integraciju informacija sa GIS bazom podataka, a sve u cilju mjerenja prosječnog vremena za istresanje pojedinih posuda.

Slika 4: GPS rješenje za nadzor vozila



Izvor: Autor

Dva podsistema koja podrazumijevaju upotrebu IoT se odnose na razvoj podsistema za nadzor volumena napunjenosti posuda i identifikaciju istresnih posuda.

Slika 5: IoT Senzor



Izvor: Autor

U saradnji sa lokalnom kompanijom razvijen je senzor za efikasno mjerenje zapunjenosti posude sa popratnom aplikacijom za nadzor volumena, koja je pripremljena sa protokolima za integraciju na kontrolnu BI platformu.

Platforma za identifikaciju posuda podrazumijeva upotrebu AI algoritama za prepoznavanje i čitanje QR kodova prilikom istresa posuda u kamione.

Sljedeće faze razvoja podrazumijevaju integralnu aplikativnu platformu za adaptivni AI te proširenje postojećih korisničkih web i mobilnih platformi kao i razvoj aplikacije za kontroling i nadzor ključnih KPI indikatora.

Predloženi okvir poreda navedenih komponenti arhitekture, koji se odnose na tehnološke alata, podrazumijeva kontinuiran radi na edukaciji osoblja i građana kroz jačanje javne svijesti o zbrinjavanju otpada i generalno digitalizaciji.

Jedan od ključnih problema za integraciju nakon što se kompletiraju digitalni alati predstavljat će izazov kreiranja strategije prema radnicima te nadzor korištenja i primjene datih alata u svakodnevnom poslovanju.

ZAKLJUČAK

Organizacija odvoza otpada, posebno na prostoru regije Balkana, tradicionalno se posmatra kroz sociološki aspekt i rijedak je slučaj dobro organizovanog i poslovno zdravog sistema prikupljanje i zbrinjavanja otpada.

Cirkularna ekonomija prevashodno podrazumijeva poštivanje hijerarhije postupanja sa otpadom i održivi razvoj.

Primjena senzora za dojavu napunjenosti posuda je optimizacija odvoza putem planiranja ruta odvoza selektivno sakupljenih vrsta otpada po materijalima iz kojih su napravljeni (papir, karton, staklo, plastika, metal i dr.). Korištenje namjenskih senzora, prenos digitalne informacije i kretanje softverski predloženim rutama pražnjenja optimizira operativno sakupljanje sekundarnih sirovina na određenom području. Manjom pređenom kilometražom, smanjenom potrošnjom goriva po prevezenoj masi putem povećanja iskoristivosti zapremine i nosivosti voznih jedinica, umanjnjem vremena potrebnog za izvršavanje radnih zadataka se pozitivno utječe na potrošnju energije, učinkovitost rada i vrijeme radnog angažmana, doprinosi održivom razvoju.

Pored finansijskih problema, koji nepsoredno onda uzrokuju sve ostale probleme, neophodno je istaći potrebu za posebnom strategijom upravljanja promijenam posebno prema upsolenicima ovog tipa kompanija.

U radu je dat prijedlog arhitekture teoretskog modela implementacije tehnologija koje bi trebale omogućiti primjenu koncepta industrija 4.0 u sistemu prikupljanja i zbrinjavanja otpada zajedno sa kratkim pregledom stanja implementacije pojedinačnih pilot projekta u kompaniji Alba d.o.o. Zenica.

Posebnu priliku za unapređenje sistema odvoza otpada čine projekti, posebno Evropske Unije, koji se odnose na digitalizaciju i cirkularnu ekonomiju. Za uspješnu implementaciju istih neophodno je stvoriti veći ekosistem za razmjenu znanja i tehnologije kako bi se omogućila regionalan integracija lokalni preduzeća za prikupljanje i zbrinjavanje otpada.

LITERATURA

1. Burger, C., Kalverkamp, M., & Pehlken, A. (2018). Decision making and software solutions with regard to waste management. *Journal of Cleaner Production*, 205, 210–225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.093>
2. Cwiklicki, M., & Wojnarowska, M. (2020). Circular economy and industry 4.0: One-way or two-way relationships? *Engineering Economics*, 31(4), 387–397. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.31.4.24565>
3. di Salle, A., Fedeli, A., Iovino, L., Mariani, L., Micucci, D., Rebelo, L., & Rossi, M. T. (2024). Waste Management Through Digital Twins and Business Process Modeling. *Proceedings of the ACM/IEEE 27th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems*, 513–517. <https://doi.org/10.1145/3652620.3687796>
4. Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>
5. Ghoto, K., Hassan, M., & Hafeez, A. (2024). Industry 4.0 In Waste Management: Unleashing Efficiency Amidst Challenge. *Issue 1 Land Management and Utilization*, 1(1). <https://doi.org/10.30564/cet.v1i1.1574>

6. Kannan, D., Khademolqorani, S., Janatyan, N., & Alavi, S. (2024). Smart waste management 4.0: The transition from a systematic review to an integrated framework. In *Waste Management* (Vol. 174, pp. 1–14). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.08.041>
7. Romero, C. A. T., Castro, D. F., Ortiz, J. H., Khalaf, O. I., & Vargas, M. A. (2021). Synergy between circular economy and industry 4.0: A literature review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/su13084331>
8. Trubač, D., Smolka, D., Papulová, Z., & Smolka, D. (n.d.). *The Use of Industry 4.0 Concepts and Technologies in Waste Management Sector*. <https://www.researchgate.net/publication/379270641>
9. Zaman, A. (2022). Waste Management 4.0: An Application of a Machine Learning Model to Identify and Measure Household Waste Contamination—A Case Study in Australia. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14053061>