

Napredni konceptualni model za mjerenje količine komunalnog otpada i optimizaciju procesa prikupljanja

Đokić, Kristian; Lacković, Krešimir; Radman-Funarić, Mirjana

Source / Izvornik: **Treća konferencija o slavonskom modelu zbrinjavanja komunalnog otpada - SLAMKO 2022, 2022, 79 - 89**

Conference paper / Rad u zborniku

Publication status / Verzija rada: **Published version / Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:277:575391>

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

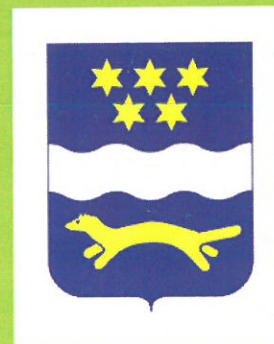
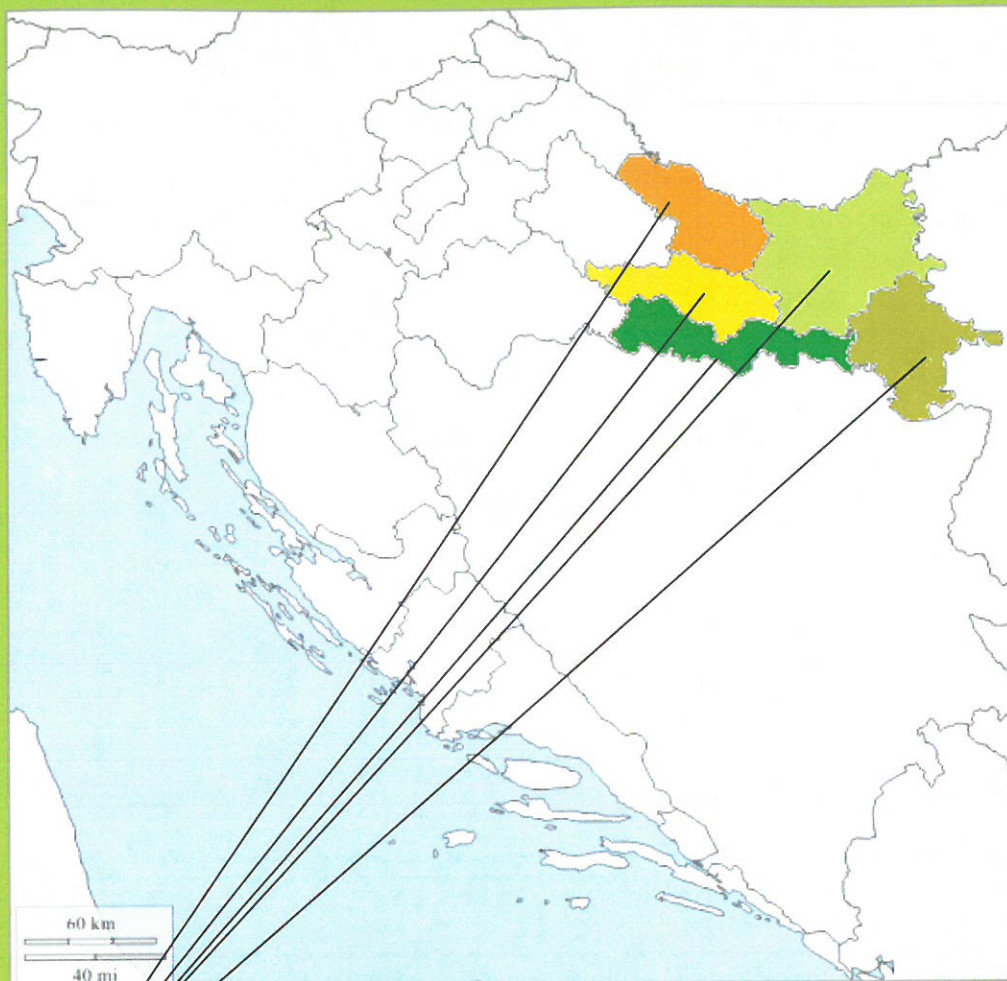
Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-02**



Repository / Repozitorij:

[FTRR Repository - Repository of Faculty Tourism and Rural Development Požega](#)





III. znanstveno-stručna konferencija

SLAVONSKI MODEL ZBRINJAVANJA KOMUNALNOG OTPADA

Stari Jankovci, 20. 12. 2022.

Panon – Institut za strateške studije - Osijek
Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija - Osijek
Građevinski i arhitektonski fakultet - Osijek

Panon – Think tank for strategic studies - Osijek
Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology - Osijek
Faculty of Civil Engineering and Architecture - Osijek

TREĆA KONFERENCIJA O SLAVONSKOM MODELU ZBRINJAVANJA KOMUNALNOG OTPADA - SLAMKO 2022.

Zbornik radova

**THIRD CONFERENCE ON THE SLAVONIAN MODEL OF
MUNICIPAL WASTE DISPOSAL - SLAMKO 2022**

Conference Proceedings

Stari Jankovci, 2022.

Izdavači / *Publishers*

Panon – Institut za strateške studije, Osijek / *Panon Think tank for strategic studies, Osijek*

<https://www.panon.eu>

Alberta naklada Osijek / *Alberta publishing Osijek*

<http://www.alberta-naklada.com/>

Partneri konferencije / *Conference partners*

Općina Stari Jankovci

<https://www.o-jankovci.hr/>

Eko Jankovci d.o.o. Stari Jankovci

<https://eko.o-jankovci.hr/>

Datum i mjesto održavanja konferencije / *Venue and date of the conference*

20.12. 2022. - Novi Jankovci, Dom kulture

Organizacijski odbor / *Organizing Board*

(Prema abecednom redu prezimena / *List in alphabetical order*)

Dragan Sudarević, ing. el. - predsjednik

mr. sc. Franjo Ambroš – Panon Osijek

Ivan Belaj, mag. iur. - Veleučilište Vukovar

prof. dr. sc. Zlatko Lacković – Panon Osijek

mr. sc. Tatjana Mijušković - GRAFOS

Nada Šaravanja - EKO JANKOVCI d.o.o.

Uredništvo Zbornika / *Editorial Board*

(Prema abecednom redu prezimena / *List in alphabetical order*)

izv. prof. dr .sc. Drago Bešlo - FAZOS

doc. dr .sc. Olivera Galović - glavna urednica

izv. prof. dr .sc. Josip Cumin – SF SSB

doc. dr .sc. Goran Rozing – FERIT Osijek

IT podrška

Ružica Kljajić, mag. ing. el

Službeni jezici konferencije su hrvatski i engleski.

The official languages of the conference are Croatian and English

Grafička oprema / *Design and layout*

Alberta naklada - Osijek

Tisak / *Printed by*

Infos_promotion d.o.o. Osijek

ISSN 2706 - 4131

Kontakt / *Contact e-mail:*

panon.institut@gmail.com

Zbornik radova sadrži radove koji su prošli dvije neovisne recenzije. Organizator konferencije nije ulazio u načine izražavanja te oni predstavljaju stavove i stil autora.

Each paper in the conference proceedings was reviewed by independent reviewers. The content of the conference proceedings does not reflect the official opinion of the conference organizers. Res-ponsibility for the information and views expressed in the papers lies entirely with the respective author(s).

Programski odbor / Programme Committee

(Prema abecednom redu prezimena / List in alphabetical order)

- doc. dr. sc. **Krešimir Lacković** – Sveučilište Sjever, Koprivnica - predsjednik
- dr. sc. **Ivan Ambroš** – Centar kompetencija d.o.o. - Vinkovci
- doc. dr. sc. **Sanja Gongeta** – Veleučilište Vukovar
- izv. prof. dr. sc. **Hrvoje Glavaš** – FERIT Osijek
- izv. prof. dr. sc. **Mirko Karakašić** – SF SSB
- izv. prof. dr. sc. **Hrvoje Krstić** - GRAFOS, Osijek
- prof. dr. sc. **Tomislav Matić** - FERIT, Osijek
- doc. dr. sc. **Katarina Štavlić** – FTRR Požega

Znanstveni odbor / Scientific Committee

(Prema abecednom redu prezimena / List in alphabetical order)

- dr. sc. **Milan Ivanović** - Panon Osijek - predsjednik
- izv. prof. dr. sc. **Tina Bobić** - FAZOS Osijek
- izv. prof. dr. sc. **Hrvoje Glavaš** - FERIT, Osijek
- izv. prof. dr. sc. **Tomislav Keser** – FERIT Osijek
- doc. dr. sc. **Željko Sudarić** - Veleučilište Vukovar
- doc. dr. sc. **Mirjana Radman** – Funarić, FTRR Požega

S a d r Ź a j

Predgovor	7
1. Zbrinjavanje komunalnog otpada u Slavoniji 2021. godini <i>Milan Ivanović</i>	11
2. Marketinški informacijski sustavi za prijavu i provedbu EU projekata iz područja komunalnih djelatnosti <i>Berislav Andrić</i>	23
3. Pravni aspekti zaštite okoliša i zbrinjavanja komunalnog otpada <i>Sanja Gongeta</i>	31
4. Općinska legislativa i mobilizacija građana za zbrinjavanje komunalnog otpada na području općine Stari Jankovci <i>Dragan Sudarević</i>	37
5. Organizacija zbrinjavanja komunalnog otpada na području općine Stari Jankovci <i>Nada Šaravanja</i>	49
6. Upravljanje otpadom na području općine Kaptol <i>Antun Marinac, Marko Dumančić, Ivan Kolesarić</i>	57
7. Rezultati primjene principa „onečišćivač plaća“ korištenjem standardiziranih vrećica u gradu Zagrebu <i>Bojan Ribić, Alen Hadžić, Davor Vič</i>	67
8. Analiza broja kućanstava i rasprostranjenosti poduzeća u skupini djelatnosti gospodarenja otpadom u regiji Slavonija i Baranja <i>Katarina Štavlić, Patricija Velečki, Katarina Potnik-Galić</i>	73
9. Napredni informacijski sustav za mjerenje količine komunalnog otpada i optimizaciju procesa prikupljanja <i>Kristijan Đokić, Krešimir Lacković, Mirjana Radman-Funarić</i>	79
10. Rana detekcija požarne opasnosti u prostorima za odlaganje otpada <i>Josip Balen, Krešimir Vdovjak, Hrvoje Glavaš</i>	91
11. Postupanje s otpadom u Europskoj Uniji <i>Mirjana Radman-Funarić, Katarina Potnik Galić, Katarina Štavlić</i>	93
12. Web upravljanje reciklažnim dvorištima <i>Jakov Sudar, Ivica Lukić, Miljenko Švarcmajer</i>	95
13. Analiza broja kućanstava i rasprostranjenosti poduzeća u skupini djelatnosti gospodarenja otpadom u regiji Slavonija i Baranja <i>Katarina Štavlić, Patricija Velečki, Mirjana Radman-Funarić</i>	97
14. Alternativni modeli zbrinjavanja otpada u ruralnim domaćinstvima <i>Darko Mrkonjić</i>	103

15. Mogućnosti izgradnje malih bioplinskih postrojenja za OPG (5 - 100 KV) na području Slavonsko-baranjske regije Danijel Zolić	113
16. Biootpad se može razgraditi i ponovno uporabiti Siniša Franjić	121
17. Zbrinjavanje i recikliranje infrastrukture Franjo Ambroš, Paulina Božičković, Vedran Stojnović, Perica Mihaljević, Ivan Sambunjak, Romana Virgej-Đurašević	129
18. Slama - otpadni materijal u proizvodnji žitarica – kvalitetan materijal za pokrivanje, termoizoliranje i gradnju objekata Đorđe Balić	137
19. Zaključna riječ Milan Ivanović	143
PRILOZI	
Ranije objavljeni radovi u drugim zbornicima	145
20. Politika i regulativa Europske Unije u zaštiti okoliša – obnovljivi izvori energije Hrvoje Glavaš, Milan Ivanović	147
21. Prednosti bioplinskih elektrana u energetskej tranziciji panonskih zemalja (2) - Koristi za nacionalno gospodarstvo Milan Ivanović, Hrvoje Glavaš	159

NAPREDNI KONCEPTUALNI MODEL ZA MJERENJE KOLIČINE KOMUNALNOG OTPADA I OPTIMIZACIJU PROCESA PRIKUPLJANJA

Prethodno priopćenje

Kristian Đokić^{1*}, *Krešimir Lacković*², *Mirjana Radman-Funarić*¹

¹ Fakultet turizma i ruralnog razvoja u Požegi, Vukovarska 17, Požega,

² Sveučilište Sjever, Centar Koprivnica, Trg dr. Žarka Dolinara 1, Koprivnica,
Kristian Đokić. E-mail: kdokic@ftrr.hr

Sažetak

Optimizacija prikupljanja komunalnog otpada predmet je interesa niza znanstvenika i analizom literature se vidi kako informacijski sustavi i za to potreban hardver, napreduju. Taj napredak uzrokovan je prije svega napretkom tehnologije koja se može implementirati u takve sustave. U ovom radu prikazan je konceptualni model za mjerenje količine komunalnog otpada i optimizaciju procesa prikupljanja koji koristi kameru za mjerenje količine otpada, a za komunikaciju sa poslužiteljem koristi Wi-Fi mrežu korisnika usluge odvoza komunalnog otpada. Navedeni pristup uključuje neka rješenja koja su postala izvodiva razvojem cjenovno povoljnih IoT modula. Korištene platforme omogućuje spajanje kamere, te se mogu koristiti za vizualnu analizu količine otpada u spremniku. Osim toga ta ista kamera znatno pojednostavljuje korištenje Wi-Fi mreže korisnika usluge odvoza komunalnog otpada za prijenos podataka o količini otpada. Predloženi model donosi niz prednosti za komunalnu tvrtku koja prikuplja otpad, ali i za korisnika usluge. Isto tako uvođenje novih tehnologija traži dodatno održavanje, a predloženo rješenje je samo jedan korak u smjeru potpune automatizacije prikupljanja komunalnog otpada uz pomoć vozila pete razine autonomije.

Ključne riječi: Gospodarenje otpadom, Kamera, Pametna kanta, Prikupljanje otpada

Advanced Conceptual Model for Measuring the Amount of Municipal Waste and Optimizing the Collection Process

Abstract

The optimization of municipal waste collection is the subject of interest of a number of scientists, and an analysis of the literature shows how information systems and the necessary hardware are progressing. This progress is primarily caused by the advancement of technology that can be implemented in such systems. This paper presents a conceptual model for measuring the amount of municipal waste and optimizing the collection process, which uses a camera to measure the amount of waste, and uses the Wi-Fi network of users of the municipal waste collection service to communicate with the server. The aforementioned approach includes some solutions that have become feasible through the development of cost-effective IoT modules. The platforms used allow the connection of a camera, and can be used for visual analysis of the amount of waste in the container. In addition, the same camera significantly simplifies the use of the Wi-Fi network by users of the municipal waste collection service to transfer data on the amount of waste. The proposed model brings a number of advantages for the utility company that collects waste, but also for the user of the service. Likewise, the introduction of new technologies requires additional maintenance, and the proposed solution is only one step in the direction of complete automation of municipal waste collection with the help of vehicles of the fifth level of autonomy.

Ključne riječi: Camera, Smart bin, Waste collection, Waste management

*Epošta: kdokic@ftrr.hr

1. UVOD

Europska unija ima više planova vezanih uz zbrinjavanje otpada, među kojima su najvažniji: Strategija "od proizvodnje do otpada", Direktiva o biorazgradivom otpadu, Direktiva o komunalnom otpadu i Direktiva o industrijskom otpadu.

Strategija "od proizvodnje do otpada" ima za cilj smanjenje količine otpada i povećanje recikliranja. Direktiva o biorazgradivom otpadu propisuje ciljeve za smanjenje količine biorazgradivog otpada koji se odlaže na odlagališta, dok Direktiva o komunalnom otpadu propisuje ciljeve za recikliranje i odlaganje otpada. Direktiva o industrijskom otpadu se odnosi na upravljanje industrijskim otpadom i propisuje mjere za njegovo recikliranje i uništavanje. Sve ove direktive imaju za cilj povećati učinkovitost u upravljanju otpadom i smanjiti njegov negativan utjecaj na okoliš. Ciljevi se postižu kroz planiranje i praćenje učinkovitosti, kao i kroz sankcije za one koji ne poštuju propisane mjere [1] [2].

Direktiva o komunalnom otpadu (Directive 2008/98/EC) ima za cilj poboljšati upravljanje komunalnim otpadom u Europskoj uniji tako da se smanji količina otpada koja se odlaže na odlagališta i poveća recikliranje.

Ciljevi direktive uključuju:

- a) Smanjenje količine komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta: države članice trebaju postići cilj od 50% recikliranja i pripreme za ponovnu uporabu komunalnog otpada do 2020. godine.
- b) Povećanje recikliranja: države članice trebaju postići cilj od 60% recikliranja i pripreme za ponovnu uporabu komunalnog otpada do 2030. godine.
- c) Priprema za ponovnu uporabu: Države članice trebaju poticati i podržavati pripremu komunalnog otpada za ponovnu uporabu.
- d) Planiranje i praćenje: države članice trebaju planirati i praćenje svojih aktivnosti u vezi s upravljanjem komunalnim otpadom i redovito izvještavati Europsku komisiju o postignutim rezultatima.
- e) Edukacija i informiranje: države članice trebaju poduzeti mjere za edukaciju i informiranje građana o pravilnom načinu sakupljanja, prijevoza, obrade i odlaganja komunalnog otpada [2].

Države Europske unije su u različitoj mjeri uspjele ispuniti ciljeve iz Direktive o komunalnom otpadu. Prema podacima Europske agencije za okoliš (EEA), u 2019. godini, 27 od 28 država članica EU-a je ispunilo cilj od 50% recikliranja i pripreme za ponovnu uporabu komunalnog otpada. Međutim, tek nekoliko država članica EU-a je ispunilo cilj od 60% recikliranja i pripreme za ponovnu uporabu komunalnog otpada koji je zadano za 2030. godinu. Podaci EEA-e također pokazuju da su Belgija, Danska, Njemačka, Austrija i Švedska imale najveći postotak recikliranja komunalnog otpada u 2019. godini, dok su Rumunjska, Bugarska, Latvija i Litva imale najmanji postotak recikliranja. Isto tako, države članice EU-a također su u različitoj mjeri uspjele ispuniti ciljevi vezane uz odlaganje otpada na odlagalištima [3] [4].

Hrvatska je uspjela ispuniti neke ciljeve iz Direktive o komunalnom otpadu, ali još uvijek postoje poteškoće s postizanjem ciljeva iz Direktive. Prema podacima Europske agencije za okoliš (EEA), u 2019. godini Hrvatska je imala postotak recikliranja komunalnog otpada od 27%, što je niže od cilja od 50% recikliranja i pripreme za ponovnu uporabu komunalnog otpada koji je zadano za 2020. godinu [5].

Hrvatska je također imala visok postotak odlaganja otpada na odlagalištima, koji iznosi 64,8% u 2019. godini. To znači da Hrvatska još uvijek nije ispunila cilj od 65% smanjenja količine komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta. Prema izvještaju Europske komisije iz 2020. godine Hrvatska još uvijek nije ispunila obveze iz Direktive o komunalnom otpadu i potrebno je poduzeti dodatne mjere kako bi se postigli ciljevi [5] [3]. Jedan od načina je razvoj

tehnoloških rješenja koja omogućuju smanjenje količine komunalnog otpada koji se odlaže na odlagališta na način da što više doprinesu razdvajanju i recikliranju što većeg postotka otpada. U ovom radu dan je pregled dijela literature i konceptualni model koji spremniku za komunalni otpad korištenjem naprednih senzora omogućuje niz dodatnih funkcija koje imaju za cilj smanjenje količine komunalnog otpada i optimizaciju procesa prikupljanja.

2. PREGLED LITERATURE

Yahya i ostali analizirali su upotrebu tehnologije Internet of Things (IoT) u upravljanju komunalnim otpadom. Rad se fokusira na to kako se IoT može koristiti za poboljšanje efikasnosti i efektivnosti sakupljanja i obrade komunalnog otpada. Opisane su različite primjene IoT-a u upravljanju komunalnim otpadom, kao što su automatizirano sakupljanje otpada, praćenje količine i kvalitete otpada, kao i praćenje rada kamiona za sakupljanje otpada. Rad također opisuje kako se IoT može koristiti za poboljšanje interakcije između građana i vlasti kroz sustave online prijave za sakupljanje otpada. Rezultati rada pokazuju da upotreba IoT-a u upravljanju komunalnim otpadom ima potencijal za poboljšanje efikasnosti i efektivnosti sakupljanja i obrade otpada te pomaže u postizanju ciljeva održivog upravljanja otpadom. Autori rada ističu kako je upotreba IoT-a u upravljanju komunalnim otpadom još uvijek u ranoj fazi razvoja, ali da ima velik potencijal za poboljšanje efikasnosti i efektivnosti u ovom području. Također se ističe potreba za daljnjim istraživanjem i razvojem tehnologije kako bi se iskoristio puni potencijal IoT-a u upravljanju komunalnim otpadom [6].

Wirsinna analizira kako se tehnologija LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) može koristiti kao dio strategije pametnih gradova. LoRaWAN je bežična tehnologija koja se koristi za povezivanje uređaja na velike udaljenosti s niskim potrošnjom energije. Rad opisuje kako se LoRaWAN može koristiti za poboljšanje upravljanja komunalnim otpadom, kao što je praćenje količine otpada i automatizirano sakupljanje otpada. Također se opisuje kako LoRaWAN može poboljšati efikasnost u drugim područjima pametnih gradova, kao što su upravljanje prometom, održavanje infrastrukture i upravljanje energijom. Rezultati rada pokazuju da je LoRaWAN tehnologija korisna za rješavanje izazova u upravljanju komunalnim otpadom i drugim područjima pametnih gradova. Autori rada ističu važnost integriranja LoRaWAN tehnologije u strategije pametnih gradova kako bi se postigli ciljevi održivosti i efikasnosti. Također se ističe potreba za daljnjim istraživanjem i razvojem tehnologije kako bi se iskoristio puni potencijal LoRaWAN-a u pametnim gradovima [7].

Vishnu i ostali u radu pod naslovom "IoT-Enabled solid waste management in smart cities" analiziraju kako se tehnologija Internet of Things (IoT) može koristiti u upravljanju komunalnim otpadom u pametnim gradovima. Rad se fokusira na to kako IoT može poboljšati efikasnost i efektivnost sakupljanja i obrade komunalnog otpada. Opisuju se različite primjene IoT-a u upravljanju komunalnim otpadom, kao što su automatizirano sakupljanje otpada, praćenje količine i kvalitete otpada, kao i praćenje rada kamiona za sakupljanje otpada. Rad također opisuje kako se IoT može koristiti za poboljšanje interakcije između građana i vlasti kroz sustave online prijave za sakupljanje otpada. Rezultati rada pokazuju da upotreba IoT-a u upravljanju komunalnim otpadom ima potencijal za poboljšanje efikasnosti sakupljanja i obrade otpada, te pomaže u postizanju ciljeva održivog upravljanja otpadom u pametnim gradovima. [8].

Ramson i ostali predstavljaju dizajn i implementaciju sustava za praćenje razine popunjenosti kante za smeće koji koristi tehnologiju LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) i IoT (Internet of Things). LoRaWAN je bežična tehnologija koja se koristi za povezivanje uređaja na velike udaljenosti s niskom potrošnjom energije. Sustav se sastoji od senzora koji se postavljaju u kante za smeće i koji mjere razinu smeća u kanti te prenose podatke putem LoRaWAN mreže na centralni server. Centralni server analizira podatke i obavještava vlasti o potrebi za pražnjenjem kante. Opisuje se kako je sustav testiran u stvarnom okruženju te kako su rezultati pokazali visoku točnost u mjerenju razine smeća u

kantama. Sustav također omogućuje automatizirano planiranje pražnjenja kanti i smanjuje potrebu za ručnim planiranjem. Autori također napominju kako je ovaj sustav prilagodljiv i moguće ga je primijeniti na različite vrste kanta za smeće i različite vrste otpada, te kako je jednostavan za instalaciju i održavanje [9].

Lozano i ostali u svom radu opisuju dizajn i implementaciju inteligentnog sustava za sakupljanje otpada koji koristi LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) tehnologiju i algoritme optimizacije ruta. Sustav se sastoji od senzora koji se postavljaju na kante za smeće i koji mjere razinu smeća u kanti te prenose podatke putem LoRaWAN mreže na centralni server. Centralni server analizira podatke i generira optimizirane rute za kamione za sakupljanje otpada. Opisano je testiranje sustava u stvarnom okruženju te kako su rezultati pokazali značajno smanjenje potrošnje energije i poboljšanje efikasnosti u sakupljanju otpada. Autori također navode kako se sustav može prilagoditi različitim potrebama grada te kako je jednostavan za instalaciju i održavanje. Autori rada ističu važnost ovakvog sustava u upravljanju komunalnim otpadom te navode kako bi ovakvi sustavi mogli imati značajan utjecaj na postizanje ciljeva održivosti u gradovima [10].

Inasaridze i ostali analiziraju korištenje IoT senzora i tehnologije LoRaWAN za mjerenje razine punjenja miješanog otpada u kantama. Rad opisuje dizajn i implementaciju sustava koji koristi senzore za mjerenje razine punjenja otpada u kantama te prenosi podatke putem LoRaWAN mreže na centralni server za analizu. Rezultati rada pokazuju visoku točnost u mjerenju razine punjenja otpada u kantama te kako sustav omogućuje automatizirano planiranje pražnjenja spremnika [11].

Gawande i ostali se bavi mjerenjem sadržaja vlage u komunalnom otpadu. Opisano je korištenje senzora za mjerenje količine vlage u komunalnom otpadu. Ovaj senzor se sastoji od elektroda koje se postavljaju u komunalni otpad te se koriste za mjerenje električnog otpora otpada, što se zatim koristi za određivanje sadržaja vlage. Rezultati rada pokazuju da je senzor pokazao visoku preciznost u mjerenju sadržaja vlage u komunalnom otpadu, te da je ovaj način mjerenja pokazao veću preciznost u usporedbi sa drugim metodama, kao što su termometri i higrometri. Autori rada ističu kako ovaj način mjerenja sadržaja vlage u komunalnom otpadu ima potencijal za poboljšanje efikasnosti u upravljanju komunalnim otpadom. To se postiže zato što se precizno zna količina vlage u otpadu što omogućuje bolju procjenu procesa kompostiranja i recikliranja, te kako se na taj način može smanjiti potrošnja energije i emisije ugljičnog dioksida. Autori također navode da se ovaj senzor može koristiti i za druge vrste otpada, kao što su biogoriva i kompost te da je jednostavan za instalaciju i održavanje [12].

Ferrari i ostali opisuju dizajn i implementaciju inovativne IoT platforme za upravljanje i iskorištavanje organske frakcije komunalnog otpada. Rad se fokusira na dizajn i implementaciju platforme koja se sastoji od IoT senzora, LoRaWAN mreže i aplikacije za upravljanje podacima. Prototip platforme omogućuje praćenje razine punjenja kanta za smeće, kao i kvalitete organske frakcije otpada. Podaci se prenose putem LoRaWAN mreže na centralni server za analizu i obradu. Platforma također omogućuje korištenje podataka za planiranje i optimizaciju procesa kompostiranja. Rezultati rada pokazuju da je prototip platforme uspješno implementiran i testiran te da je pokazao visoku točnost u praćenju razine punjenja kanta za smeće i kvalitete organske frakcije otpada. [13].

Cruz i ostali u svom radu analiziraju primjenu LoRaWAN tehnologije u upravljanju gradskim otpadom. U ovom radu se opisuje provedba pilot projekta u kojem se koristi LoRaWAN tehnologija za praćenje razine punjenja kontejnera za otpad u gradu. Rezultati rada pokazuju kako je LoRaWAN tehnologija uspješno implementirana i kako je pokazala visoku točnost u praćenju razine punjenja kontejnera. Autori rada ističu kako je ovakva tehnologija korisna za optimizaciju rasporeda kamiona za odvođenje otpada te da može smanjiti troškove i smanjiti emisije ugljičnog dioksida. Oni također navode kako LoRaWAN tehnologija ima potencijal za primjenu u različitim gradovima diljem svijeta [14].

Baldo i ostali implementirali su višerazinske LoRaWAN mreže za inteligentno upravljanje otpadom. U radu se opisuje dizajn i implementaciju LoRaWAN mreže koja se sastoji od senzora za praćenje razine punjenja kontejnera za otpad, baznih stanica za prijenos podataka i aplikacije za upravljanje podacima. Ova mreža omogućuje praćenje razine punjenja kontejnera u stvarnom vremenu te automatsko planiranje rasporeda kamiona za odvoz otpada. Rezultati rada pokazuju da je LoRaWAN infrastruktura uspješno implementirana i testirana te da je pokazala visoku pouzdanost u praćenju razine punjenja kontejnera. [15].

Alqahtani i ostali analiziraju dizajn i implementaciju sustava za upravljanje gradskim otpadom temeljenog na IoT tehnologijama, korištenjem algoritma Cuckoo Search. U radu se opisuje dizajn i implementaciju sustava koji se sastoji od senzora za praćenje razine punjenja kontejnera za otpad, posrednika za prijenos podataka i aplikacije za upravljanje podacima. Algoritam Cuckoo Search koristi se za optimizaciju rasporeda kamiona za odvoz otpada, kako bi se smanjio broj potrebnih kamiona i smanjila emisija ugljičnog dioksida. Rezultati rada pokazuju da je sustav uspješno implementiran i testiran te da je pokazao visoku preciznost u praćenju razine punjenja kontejnera i optimizaciji rasporeda kamiona [16].

Ali i ostali predlažu dizajn i implementaciju inteligentnog sustava za praćenje punjenja kante za otpad i upravljanje komunalnim otpadom temeljenog na IoT tehnologijama. U ovom radu se opisuje dizajn i implementaciju sustava koji se sastoji od senzora za praćenje razine punjenja kontejnera za otpad, uređaja za prijenos podataka i aplikacije za upravljanje podacima. Ova tehnologija omogućuje praćenje razine punjenja kontejnera u stvarnom vremenu, automatsko planiranje rasporeda kamiona za odvoz otpada i optimizaciju procesa upravljanja komunalnim otpadom. Rezultati rada pokazuju da je sustav uspješno implementiran i testiran te da je pokazao visoku preciznost u praćenju razine punjenja kontejnera te automatskom planiranju rasporeda kamiona. [17].

Addabbo i ostali analiziraju dizajn i implementaciju LoRa IoT senzorskog čvora za upravljanje otpadom koji se temelji na prilagođenom ultrazvučnom primopredajniku. Opisan je čvor koji se sastoji od ultrazvučnog senzora za mjerenje razine punjenja kontejnera, LoRa primopredajnika za prijenos podataka, mikrokontrolera i baterije za napajanje. Ovaj senzorski čvor omogućuje praćenje razine punjenja kontejnera u stvarnom vremenu te automatsko planiranje rasporeda kamiona za odvoz otpada. [18].

Abu-Qdais i ostali analiziraju energetske vrijednosti komunalnog otpada u Jordanu te potencijalne načine korištenja. U ovom radu se koriste analize sadržaja ugljika, kalorimetrijske analize te druge metode za određivanje energetske vrijednosti komunalnog otpada. Rezultati pokazuju da komunalni otpad u Jordanu ima visoku energetske vrijednosti, što ga čini pogodnim za iskorištavanje kao izvor energije. Autori rada također analiziraju različite metode korištenja komunalnog otpada kao izvora energije, uključujući termičku pretvorbu, anaerobnu digestiju te korištenje za proizvodnju bio-plina. Oni ističu kako bi iskorištavanje komunalnog otpada kao izvora energije moglo pomoći u smanjenju potrebe za fosilnim gorivima te u reduciranju emisije stakleničkih plinova [19].

3. KONCEPTUALNO RJEŠENJE

Razvojem tehnologije i u znanstvenoj literaturi se predlažu različite implementacije za optimizaciju procesa prikupljanja otpada. Iz pregledane literature očigledno je da autori pokušavaju spremnike za komunalni otpad učiniti „pametnijim“ ugradnjom mikroupravljača, dodatnih senzora i modula za komunikaciju. Ako se fokusiramo na spremnik za komunalni otpad, njegovu evoluciju možemo podijeliti u faze:

1. faza – plastični spremnik za komunalni otpad (Kanta V 1.0)
2. faza – plastični spremnik za kom. otpad sa strojno čitljivim serijskim brojem (Kanta V 3. 1.1)
3. faza – plastični spremnik za komunalni otpad sa jednostavnim sensorima (Kanta V 2.0)
4. faza – plastični spremnik za komunalni otpad sa naprednim sensorima (Kanta V 3.0)

Prva faza je početno stanje u kojem se spremnici ne razlikuju, mada najčešće imaju utisnut serijski broj koji nije namijenjen za strojno čitanje. Radi se o spremnicima koje poznajemo već desetljećima, bez obzira na materijal od kojeg su napravljeni.

U drugoj fazi na spremnike se dodaje strojno čitljiv serijski broj. Pri tome se koriste različite tehnologije, pa tako Gregor-Svetec navodi četiri najčešće i to:

- a) crtični kod
- b) DataMatrix
- c) QR
- d) RFID [20].

Na prostoru Republike Hrvatske često se koristi najjednostavniji crtični kod iz jednostavnog razloga što je najotporniji te je čitljiv i nakon manjih oštećenja. DataMatrix i QR kod su osjetljiviji jer se radi o dvodimenzionalnom zapisu.

U trećoj fazi u spremnike se ugrađuju mikroupravljači koji prikupljaju informacije iz jednostavnih senzora te imaju sklop za komunikaciju i napajanje. U prethodno opisanoj literaturi je niz takvih spremnika, a na slici broj 1 je vidljiv spremnik jedne nizozemske tvrtke koja koristi ultrazvučne senzore udaljenosti za procjenu količine otpada i LoRaWAN tehnologiju za komunikaciju sa poslužiteljem [21].

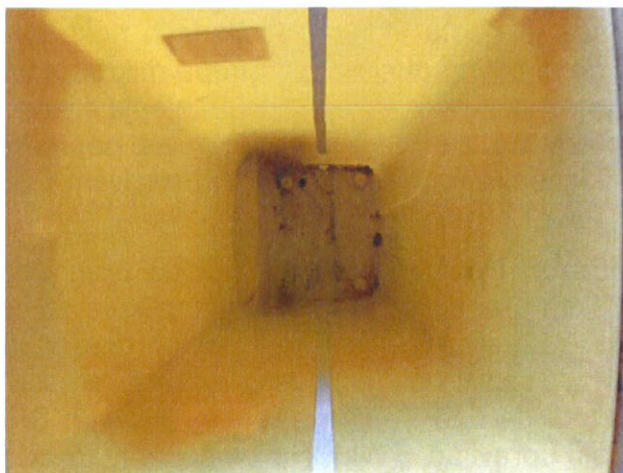


Slika 1. Spremnik otpada sa ultrazvučnim senzorima

U četvrtoj fazi na spremnik se osim navedenih tehnologija dodaju napredni senzori, a prije svega se tu misli na kameru koja otvara niz mogućnosti nadogradnje. U nastavku su navedene dodatne mogućnosti:

- a) Preciznije mjerenje količine smeća u spremniku
- b) Jednostavan unos podataka u mikro upravljač korištenjem QR kodova generiranih od strane pametnog telefona
- c) Kontrola ispravnosti sortiranja smeća korištenjem crtičnog koda na proizvodima čija se ambalaža odlaže u spremnik
- d) Nadzor nad spremnikom komunalnog otpada

Količina otpada u spremniku u pravilu se mjeri ultrazvučnim primopredajnikom koji ponekad mogu imati problema s preciznošću. Korištenjem kamere taj problem bio bi smanjen, a da bi se količina otpada mogla mjeriti s kamerom potrebno je da spremnici imaju s unutrašnje strane određeni broj okomitih jednobojnih traka od dna do vrha spremnika. Boja tih traka mora biti drugačija od boje spremnika da bi se mogle koristiti za mjerenje. Sama ideja svodi se na mjerenje površine traka koja predstavlja popunjenost spremnika. Da bi se vidljiva površina traka mogla mjeriti potrebna je kamera u boji. Predloženo rješenje sa trakama vidi se na slici 2. Da bi se s kamerom dobila slika prihvatljiva za mjerenje količine otpada nužno je koristiti širokokutne leće.



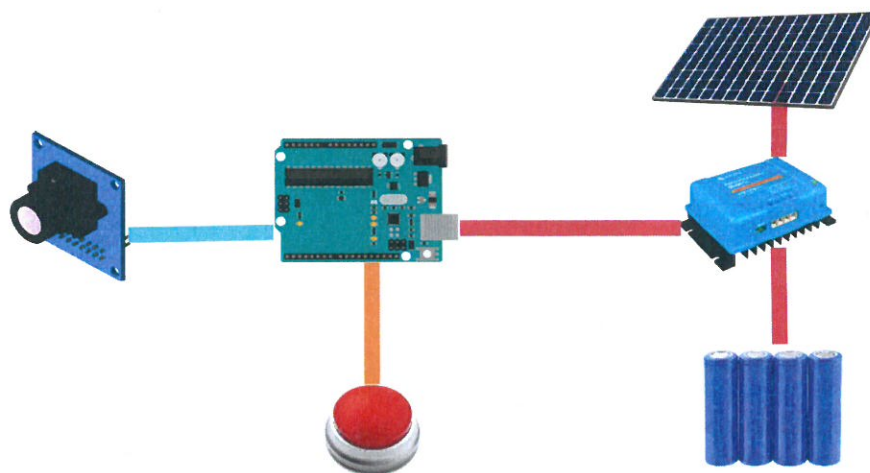
Slika 2. Unutrašnjost spremnika sa trakama

Osim kamere u spremnik za komunalni otpad mogao bi se implementirati WiFi modul za komunikaciju za bežičnim mrežama vlasnika objekta. Spremnici za komunalni otpad najčešće se nalaze uz stambene objekte u kojima je dostupna infrastruktura za pristup internetu korištenjem nekog od IEEE 802.11 protokola. Na taj način bi se uz dozvolu vlasnika omogućila relativno brza i sigurna komunikacija sa poslužiteljem u komunalnoj tvrtki.

Za razliku od LoRaWAN tehnologije koja se najčešće spominje u literaturi, predloženi moduli troše znatno više električne energije te bi im bio potreban izvor napajanja što je moguće riješiti solarnim naponskim modulima uz korištenje punjivih baterija (npr. Li-Ion). Nakon analize koncepta 4. faze razvoja, u nastavku su navedene dostupne tehnologije koje omogućavaju implementaciju.

4. DOSTUPNE TEHNOLOGIJE

Predloženo konceptualno rješenje moguće je implementirati koristeći dostupne tehnologije, a na slici broj 3 je shematski prikaz elektroničkog dijela spremnika za komunalni otpad sa naprednim senzorima.



Slika 3- Shematski prikaz elektroničkog dijela spremnika za komunalni otpad s naprednim senzorima

U sredini shematskog prikaza nalazi se mikroupravljač, dok je sa lijeve strane kamera. Ispod mikroupravljača se nalazi višenamjenski taster, a sa desne strane je modul za napajanje na koji je spojen solarni modul i punjive Litij-ionske baterije. Višenamjenski taster i modul za napajanje sa baterijama i solarnim modulom u nastavku se neće dodatno opisivati jer se tu radi o upotrebi poznatih i duže vremena dostupnih tehnologija, za razliku od mikroupravljača i kamera koje će biti opisane u nastavku.

Tržište mikroupravljača je dosta aktivno posljednjih nekoliko godina. Sveprisutni *IoT* uređaji spojeni na Internet ne bi bili mogući bez upotrebe mikroupravljača čija hiperprodukcija im je drastično smanjila cijene. Ta hiperprodukcija i smanjenje cijena najočitiji su bili u Kini, pa je za razvoj plastičnog spremnika za komunalni otpad sa naprednim sensorima planiran i testiran mikrokontroler/SoC kineske tvrtke Espressif pod nazivom ESP32. Osim njega testiran je i SoC OpenMV Cam H7 Plus.

ESP32 je vrlo popularan i postoji velika zajednica programera koja ga podržava, a koristi se često i u industrijskim uređajima. Ono što ga razlikuje od ostalih u istom cjenovnom rangu je implementiran WiFi i Bluetooth. Posjeduje mikroprocesor Xtensa LX6 s dvije jezgre koje rade na 160 ili 240 MHz, a razvila ga je kineska tvrtka Espressif Systems. Proizvođač na svojim web stranicama navodi da ESP32 ima slijedeća sučelja: SPI, I2C, I2S, UART, CAN sabirnica, infracrveni daljinski upravljač, PWM, Hallov senzor, 12-bitni SAD ADC, 8-bitni DAC i kapacitivni senzorski GPIO-ovi. Također ima 520 KB SRAM i između 1 i 16 MB FLASH memorije. Modul ESP32-WROOM-32 može se vidjeti na slici 4.



Slika 4 – ESP32-WROOM-32 modul

Za razvoj i testiranje spremnika za komunalni otpad sa naprednim sensorima korištena je razvojna pločica pod nazivom ESP32-CAM koja osim procesora, RAM i FLASH memorije ima na sebi implementiranu i kameru OV2640 ili OV7670, te čitač microSD kartica. Navedena razvojna pločica ima nisku nabavnu cijenu od oko 10 dolara, a u literaturi se spominje niz uspješnih implementacija na različitim uređajima [22] [23] [24] [25] [26]. Pločica je vidljiva na slici broj 5.



Slika 5 – ESP32-CAM pločica

Znatno moćniji izbor koji je također korišten za testiranje je OpenMV Cam H7 Plus razvojna pločica. Bazirana je na procesoru STM32H743 koji sadrži ARM Cortex-M7 jezgru s koprocesorom za operacije sa pomičnim zarezom. Razvojna ploča na sebi ima 5 MP OV5640 kameru. Kamera dolazi s lećom od 2,8 mm. Procesor radi na 480 MHz s 32 MB SDRAM-a i 1 MB SRAM-a. Pločica također sadrži 32 MB vanjske *flash* memorije i 2 MB interne *flash* memorije. Core-Mark Score procesora je 2400. Na web stranici proizvođača postoji i usporedba s procesorom implementiranim na razvojnoj pločici Raspberry Pi 2, čija je Core-Mark Score 2340. Razvojna ploča košta 100 dolara, a samo procesor košta nešto više od 10 dolara. Razvojna pločica je na slici 1.



Slika 6 - OpenMV Cam H7 Plus pločica

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

S obzirom da u Hrvatskoj još nije postignut cilj da se reciklira 50% otpada, tehnološka rješenja koja vode k tom cilju su nužna. Opisan koncept koji služi kao osnova za dalji razvoj nudi neke nove mogućnosti koje nisu do sada susretane u literaturi, mada se ne radi o nekim revolucionarnim konceptima primjene tehnologije. Povećanje preciznosti mjerenja količine otpada korištenjem kamere, kao i pomoć kod razvrstavanja otpada svakako su dobrodošle mogućnosti koje će bi nam mogle na razini države pomoći da postignemo zadani cilj.

Predloženi koncept nije bez mana, tako da korištenje Li-Ion baterija utječe na dodatno zagađenje okoliša, a osim toga uvodi potrebu za održavanjem „pametnih“ kanti jer iste zahtijevaju povremenu izmjenu baterija. U kojoj mjeri će taj nedostatak umanjiti prednosti, predmet je dodatnog istraživanja koje bi se trebalo provesti prije eventualne masovne implementacije.

Navedene razvojne pločice pokazale su se prihvatljivim za razvoj pametnog spremnika za prikupljanje otpada. ESP32-CAM je svakako zanimljivije rješenje zbog desetak puta manje cijene od OpenMV Cam H7 Plus mada je potonji superioran po brzini procesora. S druge strane nedostatak modula za bežičnu komunikaciju velik je nedostatak na OpenMV Cam H7 Plus pločici.

Autori smatraju da je predloženi koncept spremnika za komunalni otpad sa naprednim sensorima dobra osnova za dalji razvoj. Taj isti razvoj ovisi o nizu čimbenika, a autori se nadaju da će projekt biti nastavljen u okvirima javno-privatnog partnerstva ili neke startup tvrtke.

Izvori i literatura

- [1] European Environment Agency, »Integrated waste management systems in the European Union,« 2022. [Mrežno]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/integrated-waste-management-systems-in-the-european>. [Pokušaj pristupa 5 Studeni 2022].
- [2] E. unija, »Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives,« 2008. [Mrežno]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0098>. [Pokušaj pristupa 10 Studeni 2022].
- [3] - J. Picazo-Tadeo, »Measuring environmental performance in the treatment of municipal solid waste: The case of the European Union-28,« *Ecological Indicators*, svez. 123, p. 107328, 2021.
- [4] European Environment Agency, »Waste Management in Europe,« 2022. [Mrežno]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/waste-management-in-europe-2017>.

[Pokušaj pristupa 5 Studeni 2022].

- [5] komisija, Europska, »Waste Management: European Union,« 2022. [Mrežno]. Available: https://ec.europa.eu/environment/waste/index_en.htm. [Pokušaj pristupa 5 Studeni 2022].
- [6] O. Yahya, H. Alrikabi, M. Faezipour i others, »Using internet of things application for disposing of solid waste,« 2020.
- [7] A. Wirsinna, »LoRaWAN AS PART OF A SMART CITY STRATEGY,« *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, 2022.
- [8] S. Vishnu, S. J. Ramson, S. Senith, T. Anagnostopoulos, A. M. Abu-Mahfouz, X. Fan, S. Srinivasan i A. A. Kirubaraj, »IoT-Enabled solid waste management in smart cities,« *Smart Cities*, svez. 4, p. 1004–1017, 2021.
- [9] S. J. Ramson, S. Vishnu, A. A. Kirubaraj, T. Anagnostopoulos i A. M. Abu-Mahfouz, »A LoRaWAN IoT-Enabled Trash Bin Level Monitoring System,« *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, svez. 18, p. 786–795, 2021.
- [10] Á. Lozano, J. Caridad, J. F. De Paz, G. Villarrubia Gonzalez i J. Bajo, »Smart waste collection system with low consumption LoRaWAN nodes and route optimization,« *Sensors*, svez. 18, p. 1465, 2018.
- [11] N. Inasaridze i V. Vaišis, »FILLING LEVEL MEASUREMENTS OF MIXED WASTE BINS USING LOW POWER IOT SENSORS AND LORA WAN TECHNOLOGY,« u *22nd CONFERENCE „ENVIRONMENT PROTECTION ENGINEERING“*, 2020.
- [12] N. A. Gawande, D. R. Reinhart, P. A. Thomas, P. T. McCreanor i T. G. Townsend, »Municipal solid waste in situ moisture content measurement using an electrical resistance sensor,« *Waste Management*, svez. 23, p. 667–674, 2003.
- [13] F. Ferrari, R. Striani, S. Minosi, R. De Fazio, P. Visconti, L. Patrono, L. Catarinucci, C. E. Corcione i A. Greco, »An innovative IoT-oriented prototype platform for the management and valorisation of the organic fraction of municipal solid waste,« *Journal of Cleaner Production*, svez. 247, p. 119618, 2020.
- [14] N. Cruz, N. Cota i J. Tremoceiro, »Lorawan and urban waste management—A trial,« *Sensors*, svez. 21, p. 2142, 2021.
- [15] D. Baldo, A. Mecocci, S. Parrino, G. Peruzzi i A. Pozzebon, »A multi-layer lorawan infrastructure for smart waste management,« *Sensors*, svez. 21, p. 2600, 2021.
- [16] F. Alqahtani, Z. Al-Makhadmeh, A. Tolba i W. Said, »Internet of things-based urban waste management system for smart cities using a Cuckoo Search Algorithm,« *Cluster Computing*, svez. 23, p. 1769–1780, 2020.
- [17] T. Ali, M. Irfan, A. S. Alwadie i A. Glowacz, »IoT-based smart waste bin monitoring and municipal solid waste management system for smart cities,« *Arabian Journal for Science and Engineering*, svez. 45, p. 10185–10198, 2020.
- [18] T. Addabbo, A. Fort, A. Mecocci, M. Mugnaini, S. Parrino, A. Pozzebon i V. Vignoli, »A lora-based iot sensor node for waste management based on a customized ultrasonic transceiver,« u *2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*, 2019.
- [19] H. A. Abu-Qdais i others, »Energy content of municipal solid waste in Jordan and its potential utilization,« *Energy conversion and management*, svez. 41, p. 983–991, 2000.
- [20] D. Gregor-Svetec, »Intelligent packaging,« u *Nanomaterials for Food Packaging*,

Elsevier, 2018, p. 203–247.

- [21] IMST GmbH, »A Smart Waste Management for a Smart City using LoRa,« IMST GmbH, 7 May 2019. [Mrežno]. Available: <https://wireless-solutions.de/blog/2019/05/07/abel-sensors-lora-smart-waste-management/>. [Pokušaj pristupa 21 January 2023].
- [22] H. Dietz, D. Abney, P. Eberhart, N. Santini, W. Davis, E. Wilson i M. McKenzie, »ESP32-Cam as a programmable camera research platform,« *Imaging*, svez. 232, 2022.
- [23] A. I. Purnamasari i A. Setiawan, »Pengembangan Passive Infrared Sensor (PIR) HC-SR501 dengan Microcontrollers ESP32-CAM Berbasiskan Internet of Things (IoT) dan Smart Home sebagai Deteksi Gerak untuk Keamanan Perumahan,« *Prosiding SISFOTEK*, svez. 3, p. 148–154, 2019.
- [24] P. W. Rusimamto, L. A. Endryansyah, R. Harimurti i Y. Anistyasari, »Implementation of arduino pro mini and ESP32 cam for temperature monitoring on automatic thermogun IoT-based,« *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci*, svez. 23, p. 1366–1375, 2021.
- [25] V. Yevsieiev i O. Luchaninova, »Development of the Environmental Visualization System Based on ESP32-CAM,« 2022.
- [26] S. N. Utama, O. V. Putra i others, »Rancang Bangun Robot Pemotong Rumput Otomatis Menggunakan Wireless Kontroler Modul ESP32-CAM Berbasis Internet of Things (IoT),« *Jurnal Teknoinfo*, svez. 15, p. 45–55, 2021.