



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Logistično inženirstvo
Modul: Poslovna logistika

UPORABA ELEKTRIČNEGA SMETARSKEGA VOZILA V KOMUNALNEM PODJETJU

Mentor: mag. Branko Lotrič
Lektorica: Manja Plohl, univ. dipl. slov.

Kandidat: Alen Čosić

Kranj, maj 2025

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju, mag. Branku Lotriču, za pomoč, strokovno vodenje, usmerjanje in nasvete pri pripravi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi lektorici Manji Plohl, univ. dipl. slov., ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledal.

Hvaležen sem tudi svoji družini za podporo in razumevanje med študijem ter pripravo diplomske naloge.

Hvala vsem, ki ste kakorkoli pripomogli k nastanku te naloge.

IZJAVA

Študent Alen Čosić izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Branka Lotriča.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne: _____

Podpis: _____

POVZETEK

Trajnostna mobilnost postaja vse pomembnejša tema v sodobni družbi, saj se države in podjetja soočajo z izzivi zmanjšanja emisij toplogrednih plinov in izboljšanja kakovosti zraka v urbanih okoljih. V tem kontekstu elektrifikacija komunalnih vozil predstavlja enega od ključnih korakov k doseganju okoljskih ciljev in večji energetske učinkovitosti. Diplomsko delo se osredotoča na prehod s tradicionalnih dizelskih smetarskih tovornjakov na električne alternative ter analizira njihov vpliv na okolje, stroškovno učinkovitost in operativne vidike delovanja komunalnih podjetij. Rezultati raziskave potrjujejo, da električni smetarski tovornjaki omogočajo znatno zmanjšanje emisij v primerjavi z dizelskimi, pri čemer analiza kaže, da bi ob trenutnem energetskega miksu emisije CO₂ lahko upadle za 27 %, ob uporabi obnovljivih virov energije pa celo do 95 %. Poleg tega so električni tovornjaki stroškovno ugodnejši na dolgi rok, saj imajo nižjo porabo energije in manjše stroške vzdrževanja. Analiza celotnih stroškov lastništva kaže, da so trenutni stroški obratovanja električnih vozil za 18–30 % višji kot pri dizelskih vozilih, vendar se pričakuje, da bo s tehnološkim napredkom in večjo proizvodnjo ta razlika postopoma izginila. Raziskava je pokazala tudi, da električni smetarski tovornjaki omogočajo optimizacijo delovnih procesov zaradi regenerativnega zaviranja in boljše energetske izrabe pri pogostih postankih.

KLJUČNE BESEDE

- Elektrifikacija smetarskih tovornjakov
- Trajnostna mobilnost
- Zmanjšanje emisij CO₂
- Stroški
- Polnilna infrastruktura

ABSTRACT

Sustainable mobility is becoming an increasingly important topic in modern society, as countries and businesses face the challenges of reducing greenhouse gas emissions and improving air quality in urban environments. In this context, the electrification of municipal vehicles represents one of the key steps toward achieving environmental goals and increasing energy efficiency. This thesis focuses on the transition from traditional diesel-powered waste collection trucks to electric alternatives and analyzes their impact on the environment, cost efficiency, and operational aspects of municipal companies. The research findings confirm that electric waste collection trucks enable a significant reduction in emissions compared to diesel vehicles. The analysis shows that, under the current energy mix, CO₂ emissions could decrease by 27%, and by up to 95% when using exclusively renewable energy sources. Additionally, electric trucks are more cost-effective in the long run, as they consume less energy and have lower maintenance costs. The Total Cost of Ownership (TCO) analysis indicates that the current operating costs of electric vehicles are 18–30% higher than those of diesel vehicles, but this difference is expected to diminish over time due to technological advancements and increased production. The study also found that electric waste collection trucks optimize operational processes due to regenerative braking and better energy utilization during frequent stops.

KEYWORDS

- Electrification of waste collection trucks
- Sustainable mobility
- Reduction of CO₂ emissions
- Costs
- Charging infrastructure

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge.....	2
1.3	Predstavitev okolja	2
1.4	Predpostavke in omejitve	3
1.5	Metode dela.....	3
2	TEORETIČNE OSNOVE	4
2.1	Električna vozila v prometu.....	4
2.2	Upravljanje komunalnih odpadkov	6
2.3	Okoljski vpliv fosilnih goriv	9
2.3.1	Emisije toplogrednih plinov in podnebne spremembe	9
2.3.2	Onesnaževanje zraka in vpliv na zdravje	10
2.3.3	Kisli dež in degradacija tal	10
2.3.4	Onesnaževanje voda in ekosistemov	10
2.3.5	Izčrpavanje naravnih virov in energetska varnost	10
2.4	Prednosti in izzivi uporabe električnih tovornjakov pri pobiranju smeti	11
2.4.1	Prednosti električnih smetarskih tovornjakov	11
2.4.2	Izzivi pri uvajanju električnih smetarskih tovornjakov	11
3	OBSTOJEČE STANJE V KOMUNALNEM PODJETJU	13
3.1	Posnetek stanja	13
3.2	Kritična analiza	15
4	PRAKTIČNI DEL	18
4.1	Primerjalna analiza dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka	19
4.2	Preverjanje hipotez	22
4.3	Povzetek raziskave	23
5	ZAKLJUČEK	25
5.1	Omejitve raziskave.....	27
5.2	Praktične in teoretične implikacije	27
5.3	Predlogi za nadaljnje raziskave	27
6	LITERATURA IN VIRI.....	29
	PRILOGA	

KAZALO SLIK

Slika 1: Povprečna poraba goriva - vsa vozila v gospodinjstvih, Slovenija, 2010-2022	6
Slika 2: Stanje na področju ravnanja z odpadki v Evropi leta 2019	9
Slika 3: Trend prehoda na električne smetarske tovarnjake v Evropi	17
Slika 4: Trend prehoda na električne smetarske tovarnjake v Evropi	18

KAZALO TABEL

Tabela 1: Obstoječe stanje v komunalnem podjetju	14
Tabela 2: Primerjava dizelskega in električnega smetarskega tovarnjaka	15
Tabela 3: Interpretacija rezultatov ankete o električnih smetarskih tovarnjakih	19
Tabela 4: Primerjava lastnosti dizelskega in električnega smetarskega tovarnjaka	20
Tabela 5: Primerjava stroškov dizelskega in električnega smetarskega tovarnjaka	20
Tabela 6: Časovna primerjava dizelskega in električnega smetarskega tovarnjaka	21
Tabela 7: Primerjava operativnih stroškov v obdobju 5 let	21
Tabela 8: Primerjava operativnih stroškov v obdobju 5 let	22
Tabela 9: Primerjava ogljičnega odtisa med dizelskim in električnim tovarnjakom ..	23

KRATICE IN AKRONIMI

AC	Alternating Current (izmenični tok)
ARSO	Agencija Republike Slovenije za okolje
BMS	Battery Management System (sistem za upravljanje baterije)
CEWEP	Confederation of European Waste-to-Energy Plants (Konfederacija evropskih obratov za pretvorbo odpadkov v energijo)
CNG	Compressed Natural Gas (stisnjen zemeljski plin)
DC	Direct Current (enosmerni tok)
EU	Evropska unija
GPS	Global Positioning System (globalni navigacijski sistem)
IEA	International Energy Agency (Mednarodna agencija za energijo)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Medvladni odbor za podnebne spremembe)
LPG	Liquefied Petroleum Gas (utekočinjeni naftni plin)
PISRS	Pravno-informacijski sistem Republike Slovenije
PM	Particulate Matter (trdni delci v zraku)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (statistični programski paket)
UK	United Kingdom (Združeno kraljestvo)
WHO	World Health Organization (Svetovna zdravstvena organizacija)
ZDA	Združene države Amerike

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Odstranjevanje in ravnanje z odpadki sta globalna problema, zato številne države uvajajo strategije za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov pri upravljanju komunalnih odpadkov. Poleg tega naj bi to upravljanje igralo pomembno vlogo v krožnem gospodarstvu, saj lahko odlagališča kot končni prejemniki izdelkov ob koncu njihove življenjske dobe spodbudijo ponovno proizvodnjo in uresničevanje koncepta ničelnih odpadkov. Zato je trajnostno upravljanje odpadkov ključnega pomena za doseganje ciljev trajnostnega razvoja in oblikovanje bolj trajnostne družbe (Alao idr., 2022). Za doseg trajnostnih ciljev mora upravljanje komunalnih odpadkov reševati kompleksne izzive mobilnosti. Dobro zasnovan transportni sistem izboljšuje dostavne operacije in kakovost življenja z zmanjšanjem stroškov, porabe virov in energije. Zbiranje komunalnih odpadkov izvajajo različno velika zbiralna vozila, ki po določenih urnikih praznijo smetnjake na ulicah, dokler niso polna. Odpadki se nato prevažajo v obrate za obdelavo ali na vmesne prenosne postaje s pomočjo težkih tovornjakov, ki porabijo veliko energije. Ta energija trenutno večinoma izvira iz naftnih derivatov, predvsem dizelskega goriva, ki povzroča visoke ravni emisij toplogrednih plinov in hrupa. V zadnjih letih so evropske uredbe o ločenem zbiranju odpadkov prisilile občine, da povečajo število zbiralnih poti in vozil za zbiranje petih različnih frakcij odpadkov (steklo, papir in karton, embalaža, biološki odpadki in mešani odpadki) (Ebadi Torkayesh & Sahin, 2022). Poleg tega postaja zbiranje od vrat do vrat vse pogostejše v številnih občinah, saj ta sistem dosega najboljše razmerje ločevanja. Zato so optimalno načrtovanje poti, lokacija prenosnih obratov in izbira vrste zbiralnega vozila ključnega pomena za stroškovno učinkovite in okolju prijazne rešitve. Kljub obstoju na videz čistih in trajnostnih tehnoloških alternativ za prevoz obstajajo številne negotovosti glede njihove globalne okoljske primerljivosti in dolgoročne uporabe. Poleg vpliva ekonomskih, institucionalnih, socialnih, političnih in okoljskih dejavnikov obstaja tudi negotovost glede regulacije, standardizacije in uvedbe obstoječih zelenih vozil. Ti dejavniki in negotovosti otežujejo iskanje najbolj ustrezne alternative za realne razmere (Vlachokostas idr., 2021). Ker se vse več ljudi zaveda negativnega vpliva prometa na okolje, se povečuje zanimanje za električni prevoz. Eden glavnih razlogov za to je, da električna vozila uporabljajo obnovljive vire energije, kot je elektrika, namesto fosilnih goriv, kot sta bencin ali dizel. To pomeni, da proizvedejo bistveno manj škodljivih emisij kot tradicionalna vozila, kar pripomore k zmanjšanju onesnaženosti zraka in zaščiti javnega zdravja. Poleg tega električna vozila postajajo vse bolj priljubljena kot okolju prijaznejša alternativa, pri čemer številna podjetja in vlade njihovo uporabo spodbujajo z različnimi ukrepi, kot so finančne spodbude in širitev polnilne infrastrukture. Zato lahko v prihodnjih letih pričakujemo vedno več električnih vozil na cestah (Avtocenter, b. d.). V diplomskem delu obravnavamo problem uvedbe električnih smetarskih vozil v sistem zbiranja in prevoza komunalnih

odpadkov. Kljub naraščajočemu zanimanju za električne smetarje in prizadevanjem za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov se soočamo z izzivi, kot so potreba po ustrezni polnilni infrastrukturi, ekonomski stroški prehoda, logistična organizacija delovnih procesov ter zagotavljanje zadostne električne moči za polnjenje baterij. Razumevanje in reševanje teh izzivov je ključno za uspešen prehod na okolju prijaznejše načine zbiranja in prevoza komunalnih odpadkov.

1.2 Cilji naloge

Namen diplomskega dela je sistematično preučiti možnosti posodobitve voznega parka za učinkovitejše odvažanje komunalnih odpadkov ter prehod na uporabo električnih smetarskih vozil. Poseben poudarek bo namenjen analizi potencialnih prihrankov ter promociji okolju prijaznejše uporabe vozil v kontekstu zmanjševanja emisij toplogrednih plinov.

Cilj diplomskega dela so:

- Raziskati možnosti za optimizacijo uporabe električnih tovornjakov v procesu pobiranja smeti, z namenom, da postane konkurenčna alternativa vozilom na fosilna goriva.
- Identificirati strategije za zmanjšanje potnih stroškov med izvajanjem dejavnosti pobiranja odpadkov, zlasti v povezavi z dolgimi vožnjami do zbirnega centra v Ljubljani.
- Oceniti in predlagati ukrepe za zmanjšanje negativnega okoljskega vpliva voznega parka Komunale, predvsem v kontekstu emisij toplogrednih plinov.
- Izvesti poglobljeno analizo zmogljivosti električnih tovornjakov glede na njihovo sposobnost prevoza najdaljših relacij z eno samo polnitvijo baterije, z namenom zmanjšanja potrebe po vmesnem polnjenju med operativnim delovanjem.

1.3 Predstavitev okolja

Komunalno podjetje, ki deluje na območju Gorenjske regije, je specializirano za zagotavljanje celovitih komunalnih storitev, med drugim tudi zbiranje in ravnanje z odpadki. Z razvito infrastrukturo in voznim parkom skrbi za čistočo in urejenost lokalnega okolja ter nudi trajnostne rešitve prebivalcem več občin. Podjetje si prizadeva za uvajanje sodobnih in okolju prijaznih tehnologij, pri čemer predstavlja prehod na uporabo električnih smetarskih vozil enega izmed ključnih korakov. Ta sprememba prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov, hrupa in operativnih stroškov, hkrati pa izboljšuje energetsko učinkovitost delovanja. Zaradi razgibanega terena in logistično zahtevnih pogojev podjetje nenehno optimizira zbiralne poti ter uvaja inovativne pristope za povečanje učinkovitosti svojih storitev. Pri tem aktivno sodeluje z občinami in lokalnimi skupnostmi, da vzpostavi čim bolj trajnosten in

stroškovno učinkovit sistem ravnanja z odpadki. Z jasno vizijo trajnostnega razvoja podjetje postavlja visoke standarde v panogi ter pomembno prispeva k izboljšanju kakovosti bivanja prebivalcev, obenem pa se prilagaja sodobnim okoljskim izzivom in regulativnim zahtevam.

1.4 Predpostavke in omejitve

Hipoteze, ki smo jih postavili v diplomskem delu so:

H1: Z uporabo električnega smetarskega vozila namesto standardnega, se bodo stroški podjetja znižali.

H2: Z zamenjavo standardnega smetarskega vozila z električnim se bo zmanjšal ogljični odtis.

Ena izmed omejitev diplomskega dela je dejstvo, da električna smetarska vozila morda še niso dovolj tehnično razvita, da bi lahko v celoti zadostila vsem operativnim potrebam komunalnega podjetja. To lahko vpliva na izvedljivost in učinkovitost predlaganih strategij ter predstavlja tveganje pri prehodu na okolju prijaznejši vozni park.

1.5 Metode dela

V teoretičnem delu smo uporabili deskriptivno metodo, s katero smo povzeli in analizirali dosedanje ugotovitve avtorjev o uporabi električnih smetarskih vozil v komunalnem sektorju. Poseben poudarek smo namenili primerjavi teh ugotovitev z uporabo komparativne metode, kar nam je omogočilo prepoznati prednosti in slabosti uvedbe električnih vozil v primerjavi s tradicionalnimi dizelskimi vozili. Pri tem smo upoštevali različne vidike, kot so stroškovna učinkovitost, okoljski vplivi, operativna zanesljivost ter uporabniške izkušnje. Vsa uporabljena literatura izhaja iz zadnjih desetih let, kar zagotavlja aktualnost in relevantnost informacij.

V empiričnem delu smo izvedli kvantitativno neeksperimentalno raziskavo med zaposlenimi v komunalnem podjetju. V ta namen smo oblikovali anketni vprašalnik, ki smo ga razdelili vodjem voznega parka. Izvedli smo primerjavo (stroškovno in časovno) med obstoječo transportno potjo enega izmed dizelskih vozil in primerljivo potjo z električnim smetarskim vozilom, ki je bilo začasno na testni vožnji v podjetju. Rezultate smo statistično obdelali s pomočjo programa SPSS, verzije 22.0, ter jih prikazali grafično in tabelarično z uporabo opisne statistike.

2 TEORETIČNE OSNOVE

Električna vozila so motorna vozila, ki jih poganjajo eden ali več elektromotorjev, napajanih z električno energijo, shranjeno v baterijah ali pridobljeno iz drugih virov, kot so vodikove gorivne celice. Njihova uporaba v prometu se je v zadnjih desetletjih znatno povečala zaradi tehnološkega napredka, okoljskih skrbi in političnih prizadevanj za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (Chen idr., 2020). Po podatkih Mednarodne agencije za energijo (IEA, 2022) se je število registriranih električnih vozil po svetu leta 2021 povečalo za več kot 40 % v primerjavi z letom 2020, kar potrjuje njihovo naraščajočo priljubljenost.

2.1 Električna vozila v prometu

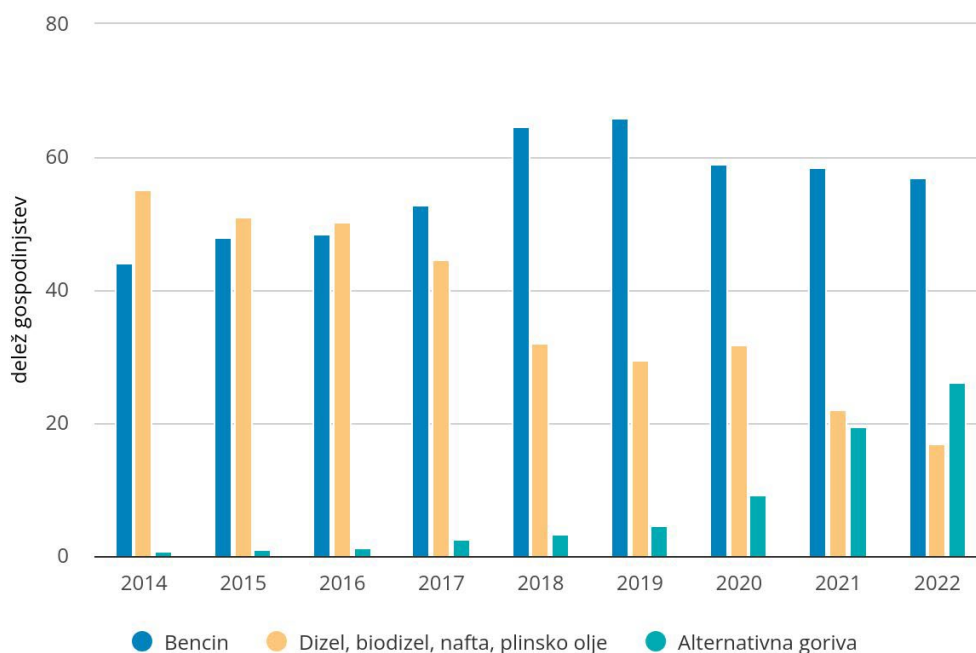
Električna vozila imajo daljšo zgodovino, kot se pogosto domneva. Prvi primeri vozil na električni pogon segajo v začetek 19. stoletja, ko je Ányos Jedlik leta 1828 izdelal enega prvih elektromotorjev, primerneza pogon vozil (Kalar & Vukasović, 2021). Konec 19. in v začetku 20. stoletja so električna vozila predstavljala resno konkurenco avtomobilom na fosilna goriva, saj so bila tišja, enostavnejša za upravljanje in niso povzročala emisij. Okoli leta 1900 je več kot tretjina avtomobilov v ZDA delovala na električni pogon (Kalar & Vukasović, 2021). Vendar so z večjo dostopnostjo bencina in uvedbo Fordove tekočnotrčne proizvodnje modela T leta 1908 električna vozila začela izgubljati tržni delež. Bencinska vozila so nudila daljši doseg, hitrejšo polnjenje (v smislu točenja goriva) in nižje stroške proizvodnje (IEA, 2022). Ponovno zanimanje za električna vozila se je pojavilo šele v drugi polovici 20. stoletja, kot posledica naftnih kriz in naraščajoče skrbi za trajnostni razvoj, kar je vodilo do razvoja sodobnih modelov, kot sta bila General Motors EV1 v devetdesetih letih in Tesla Roadster leta 2008, ki je dokazal, da so električna vozila lahko konkurenčna tudi v premijskem segmentu (Gunkel et al., 2020).

Sodobna električna vozila temeljijo na več ključnih komponentah, ki omogočajo njihovo učinkovito delovanje in konkurenčnost v primerjavi z vozili z motorjem z notranjim izgorevanjem. Najpomembnejša tehnološka inovacija je razvoj litij-ionskih baterij, ki zagotavljajo višjo energijsko gostoto, krajši čas polnjenja in daljšo življenjsko dobo v primerjavi s prejšnjimi svinčeno-kislinskimi baterijami (Chen et al., 2020). Poleg baterij so bistveni tudi napredki na področju elektromotorjev, ki so energetsko učinkovitejši in omogočajo večji izkoristek energije, zlasti s pomočjo tehnologije regenerativnega zaviranja (AudiLab Slovenija, 2023). Nadaljnjo optimizacijo omogočajo sodobni sistemi za upravljanje baterij (BMS), ki nadzorujejo delovanje baterijskih celic ter preprečujejo prenapolnitev in globoko praznjenje (Kalar & Vukasović, 2021). Poleg teh tehnoloških napredkov vse več držav in mest vlaga v širitev polnilne infrastrukture, s čimer se zmanjšuje eden glavnih pomislekov glede množične uporabe električnih vozil – dostopnost polnjenja (IEA, 2022).

Elektrifikacija prometa predstavlja enega ključnih ukrepov za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in izboljšanje kakovosti zraka, zlasti v urbanih okoljih. Po podatkih Evropske agencije za okolje (2019) električna vozila v povprečju proizvedejo do 50 % manj ogljikovega dioksida kot njihovi bencinski ekvivalenti, če upoštevamo emisije v celotnem življenjskem ciklu, vključno s proizvodnjo električne energije. Kljub tem prednostim pa obstajajo pomisleki glede okoljskega vpliva proizvodnje baterij, saj je pridobivanje surovin, kot so litij, kobalt in nikelj, povezano z negativnimi vplivi na okolje in lokalne skupnosti (Ayvens Slovenija, 2021). Poleg zmanjšanja emisij električna vozila prispevajo tudi k nižjim ravnom onesnaženosti zraka z dušikovimi oksidi in trdnimi delci ter k zmanjšanju hrupa, kar vodi k višji kakovosti življenja v mestih (Kalar & Vukasović, 2021). Za doseganje maksimalnih okoljskih koristi pa je ključnega pomena, da se električna energija za polnjenje pridobiva iz obnovljivih virov, kot sta sončna in vetrna energija (Gunkel et al., 2020).

Kljub številnim prednostim električna vozila še vedno niso v celoti nadomestila vozil z notranjim izgorevanjem, predvsem zaradi višjih začetnih stroškov, omejenega dosega ter pomanjkanja ustrezne polnilne infrastrukture v določenih regijah (Kalar & Vukasović, 2021). Raziskave kažejo, da so potrošniki pri nakupu električnih vozil pogosto zaskrbljeni zaradi stroškov lastništva, razpoložljivosti servisov in življenjske dobe baterij (Kalar & Vukasović, 2021). Vendar pa se pričakuje, da bodo ob nadaljnjem tehnološkem napredku in politični podpori električna vozila v prihodnje še naprej pridobivala na priljubljenosti. Ključni dejavniki za širšo uveljavitev električnih vozil bodo razvoj naprednejših baterij, širitev polnilne infrastrukture ter uvedba strožjih okoljskih predpisov, ki bodo spodbujali prehod na trajnostni promet (Chen et al., 2020). Vlade in avtomobilska industrija že vlagajo znatna sredstva v raziskave in razvoj, kar bo pripomoglo k večji dostopnosti in učinkovitosti električnih vozil kot trajnostne alternative vozilom na fosilna goriva (IEA, 2022).

Slika 1 prikazuje deleže prvih registracij novih osebnih avtomobilov v Sloveniji glede na vrsto goriva v obdobju 2014–2022. V začetku tega obdobja so avtomobili na bencinski pogon predstavljali največji delež prvih registracij, pri čemer je bil ta delež razmeroma stabilen. Dizelska vozila so dosegla vrhunec priljubljenosti okoli leta 2017, nato pa je njihov delež začel izrazito upadati. Kategorija alternativnih goriv, kamor sodijo električna vozila, hibridi in vozila na plin (LPG, CNG), je sprva predstavljala le majhen delež registracij, a se je po letu 2018 začela njihova rast. Ta trend je posledica večje dostopnosti tehnologije, državnih spodbud in večje ozaveščenosti o okoljskih koristih alternativnih pogonov. Na splošno slika 1 ponazarja postopno preoblikovanje trga osebnih vozil v Sloveniji, kjer vozila na alternativna goriva vse bolj nadomeščajo tradicionalne bencinske in dizelske avtomobile. Tak razvoj je v skladu s cilji trajnostnega razvoja in prizadevanji za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v prometnem sektorju (Statistični urad Republike Slovenije, 2022).



Slika 1: Povprečna poraba goriva - vsa vozila v gospodinjstvih, Slovenija, 2010-2022
(Vir: Statistični urad Republike Slovenije, 2022)

2.2 Upravljanje komunalnih odpadkov

Upravljanje komunalnih odpadkov je ena izmed ključnih nalog sodobnih mest in občin, saj neposredno vpliva na javno zdravje, okoljsko trajnost in kakovost življenja prebivalcev. Z naraščajočo urbanizacijo in potrošnjo se povečuje tudi količina odpadkov, kar zahteva celovit in trajnostno naravnan sistem ravnanja. Sodobno upravljanje odpadkov vključuje preprečevanje njihovega nastajanja, zbiranje, prevoz, predelavo in končno odstranjevanje. V zadnjih desetletjih se sistem razvija v smeri krožnega gospodarstva, v katerem odpadki ne predstavljajo več zgolj bremena, temveč postajajo sekundarni viri surovin. Poudarek je na strategijah, ki omogočajo ponovno uporabo, recikliranje in energetske predelavo odpadkov, s čimer se zmanjšujeta okoljska obremenitev in odvisnost od primarnih surovin (Ebadi Torkayesh & Sahin, 2022).

Eden ključnih vidikov sodobnega upravljanja komunalnih odpadkov je zmanjševanje količine odpadkov na izvoru, kar se dosega z optimizacijo proizvodnih procesov, spodbujanjem odgovorne potrošnje ter z zasnovo izdelkov z daljšo življenjsko dobo. Ponovna uporaba izdelkov in materialov pripomore k zmanjšanju količine odpadkov in k učinkovitejši rabi virov. Ključno vlogo ima tudi učinkovito ločevanje odpadkov, ki omogoča nadaljnjo obdelavo in zmanjšuje potrebo po odlaganju (GOV.SI, n. d.).

Učinkovit sistem zbiranja in prevoza odpadkov je temelj za nemoteno delovanje celotnega sistema ravnanja z odpadki. Tradicionalni pristopi, kot so javni zabojniki, se nadgrajujejo s sistemi zbiranja od vrat do vrat, ki omogočajo boljše ločevanje odpadkov že pri viru. Pri organizaciji zbiranja je ključna optimizacija poti in lokacij zbiralnic, saj to zmanjšuje stroške in okoljski vpliv. Sodobni logistični modeli pripomorejo k zmanjšanju porabe goriva in večji učinkovitosti, kar vodi tudi v nižje emisije in manjšo prometno obremenitev (Voka Snaga, n. d.).

Predelava odpadkov igra osrednjo vlogo pri trajnostnem ravnanju. Recikliranje omogoča ponovno uporabo materialov, kot so plastika, steklo, papir in kovine, kar zmanjšuje potrebo po pridobivanju novih surovin ter količino odpadkov, ki končajo na odlagališčih. Uspešnost recikliranja je močno odvisna od ustreznega ločevanja pri viru in zmogljivosti centrov za obdelavo. Poleg mehanske predelave se vse bolj uveljavljajo tudi kemične in energetske metode, ki omogočajo pridobivanje energije ali sekundarnih surovin iz odpadkov in s tem povečujejo energetske samozadostnost skupnosti (Mahéo, Rossit & Kilby, 2022).

Odlaganje odpadkov ostaja skrajna možnost v hierarhiji ravnanja, namenjena tistim odpadkom, ki jih ni mogoče ponovno uporabiti, reciklirati ali kako drugače predelati. Kljub temu da so odlagališča okoljsko manj zaželeni rešitev, predstavljajo še vedno pomemben del sistema. Sodobna odlagališča so opremljena s tehnologijami za zmanjšanje negativnih vplivov, kot so sistemi za zajemanje izcednih vod in plinov ter postopki zapiranja po zaključku uporabe. Zmanjšanje količine odpadkov, ki končajo na odlagališčih, je eden glavnih ciljev evropskih okoljskih politik in strategij krožnega gospodarstva (GOV.SI, n. d.).

Vloga lokalnih skupnosti je pri ravnanju s komunalnimi odpadki ključna, saj se večina operativnih dejavnosti izvaja na ravni občin. Občinski odloki določajo način izvajanja javnih služb zbiranja, obdelave in odstranjevanja odpadkov. Prilagajanje nacionalnim in evropskim okoljskim standardom zahteva tesno sodelovanje med občinskimi službami, izvajalci komunalnih storitev in prebivalstvom. Na primer, Uredba o obvezni občinski gospodarski javni službi zbiranja komunalnih odpadkov natančno določa obvezne dejavnosti in standarde, ki jih morajo občine spoštovati (PISRS, n. d.).

Tehnološke inovacije omogočajo nadaljnjo optimizacijo procesov zbiranja, obdelave in reciklaže. Napredni algoritmi ter podatkovno podprto upravljanje omogočajo optimizacijo poti zbiranja in zmanjševanje operativnih stroškov. Razvijajo se tudi napredni postopki za energetske predelavo odpadkov, kot so termična obdelava, piroliza in biološki postopki razgradnje, ki omogočajo pridobivanje bioplina in drugih uporabnih produktov iz organskih odpadkov. Digitalizacija in avtomatizacija centrov za ravnanje z odpadki dodatno prispevata k učinkovitejšemu sortiranju in predelavi (Rossit & Bard, 2024).

Javna ozaveščenost in izobraževanje igrata pomembno vlogo pri uspešnem ravnanju z odpadki. Ozaveščevalne kampanje lahko spodbudijo prebivalce k doslednejšemu ločevanju, zmanjševanju količin odpadkov in večji uporabi ponovne rabe. Vključevanje skupnosti v projekte trajnostnega upravljanja z odpadki prispeva k dolgoročnemu uspehu. Na primer, občini Škofja Loka in Železniki sta z uvedbo strategij Zero Waste vključili občane v nadzor nad stanjem okolja in v procese odločanja, kar je pripomoglo k zmanjšanju količine proizvedenih komunalnih odpadkov (Zero Waste strategija – Občine Škofja Loka in Železniki, 2021).

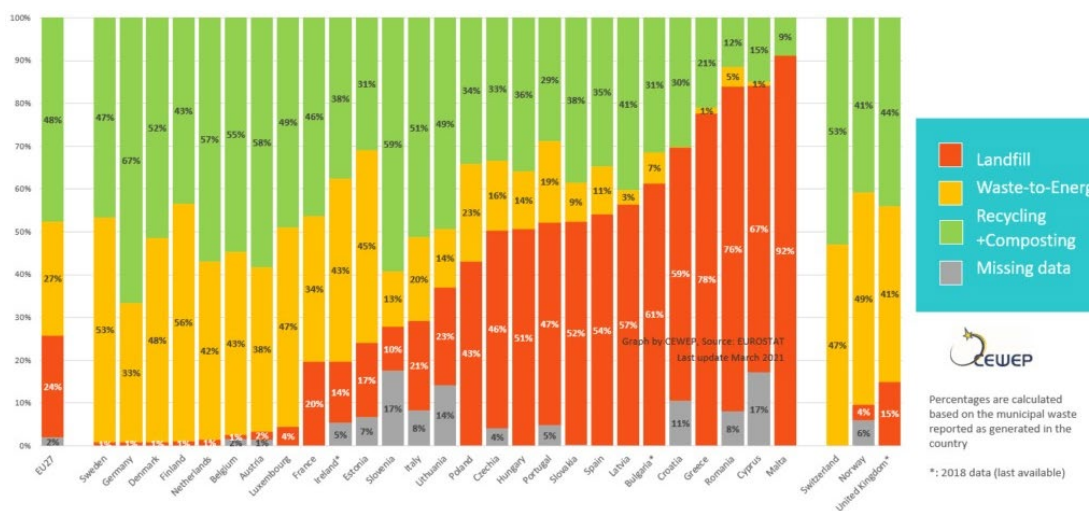
Kljub izboljšavam in naprednim tehnologijam upravljanje komunalnih odpadkov ostaja kompleksno področje, ki se sooča s številnimi izzivi. Naraščajoče količine odpadkov zaradi rasti prebivalstva in potrošnje zahtevajo nenehno prilagajanje sistemov. Obstajajo tudi negotovosti glede dolgoročnih učinkov posameznih metod obdelave, zlasti v kontekstu globalne okoljske trajnosti. Potrebne so nadaljnje raziskave ter razvoj politik, ki bodo podpirale zmanjšanje nastajanja odpadkov, povečanje recikliranja in uvedbo novih trajnostnih metod obdelave (GOV.SI, n. d.).

Celosten pristop k upravljanju komunalnih odpadkov mora temeljiti na povezovanju tehnoloških inovacij, zakonodajnih ukrepov, ekonomskih spodbud in aktivnega sodelovanja javnosti. Trajnostni razvoj na tem področju bo mogoč le z optimizacijo logistike zbiranja, izboljšanjem postopkov reciklaže in razvojem alternativnih metod predelave. Z dolgoročnim in celovitim načrtovanjem je mogoče znatno zmanjšati okoljski vpliv ter vzpostaviti trajnostno krožno gospodarstvo, ki temelji na odgovorni rabi virov in minimalnem obremenjevanju okolja (GOV.SI, n. d.).

Učinkovito ravnanje s komunalnimi odpadki je bistvenega pomena za javno zdravje, okoljsko trajnost in kakovost bivanja. V Sloveniji je bilo leta 2009 zbranih 912.981 ton komunalnih odpadkov, kar je predstavljalo 449 kg na prebivalca. To je bilo prvič po letu 2002, da se je količina komunalnih odpadkov rahlo zmanjšala (ARSO, n. d.). Leta 2009 je pri ravnanju s komunalnimi odpadki prevladovalo odlaganje – kar 64 % vseh odpadkov je končalo na odlagališčih. Preostalih 36 % je bilo predelanih, pri čemer je bilo 96 % teh odpadkov recikliranih (ARSO, n. d.). Skupno je bilo v tem letu odstranjenih 27 % in predelanih 73 % vseh komunalnih odpadkov. V primerjavi z letom 2008 je količina nastalih odpadkov upadla za približno 4 %. Kljub temu ostaja odstranjevanje (zlasti odlaganje) še vedno prevladujoč način ravnanja (GOV.SI, n. d.; ARSO, n. d.). V primerjavi z evropskim povprečjem, kjer je bilo leta 2009 na prebivalca proizvedenih 524 kg komunalnih odpadkov, se je Slovenija s 449 kg uvrščala pod povprečje EU-27 (ARSO, n. d.).

Slika 2 prikazuje obdelavo komunalnih odpadkov v letu 2019 v državah EU-27 ter v Švici, Norveški in Združenem kraljestvu. Na grafu so prikazani deleži štirih glavnih metod: odlaganje na odlagališčih (rdeče), pretvorba v energijo (rumeno), reciklaža (zeleno) in kompostiranje (modro). Nekatere države imajo tudi nepopolne podatke

(sivo). Države, kot so Nemčija, Švedska, Nizozemska in Belgija, imajo visoke deleže recikliranja in energetske predelave, s čimer znatno zmanjšujejo delež odpadkov, ki končajo na odlagališčih. Nasprotno pa države, kot so Romunija, Malta, Grčija in Ciper, več kot 75 % komunalnih odpadkov še vedno odlagajo. Slovenija se uvršča med države z zmernim deležem recikliranja in kompostiranja (približno 31 %), a še vedno precej visoko stopnjo odlaganja (okoli 45 %). Primerjava s povprečjem EU-27 kaže, da imajo države z višjo stopnjo recikliranja tudi bolj razvite sisteme ločenega zbiranja in obdelave bioloških odpadkov.



Slika 2: Stanje na področju ravnanja z odpadki v Evropi leta 2019
(Vir: CEWEP, 2021)

2.3 Okoljski vpliv fosilnih goriv

Fosilna goriva, kot so premog, nafta in zemeljski plin, že desetletja predstavljajo glavni vir energije po vsem svetu. Njihova široka uporaba je omogočila industrijski razvoj in gospodarsko rast, hkrati pa povzročila številne okoljske težave. Med najpomembnejšimi so emisije toplogrednih plinov, ki prispevajo k globalnemu segrevanju, onesnaževanje zraka, ki negativno vpliva na zdravje ljudi, ter degradacija ekosistemov zaradi izkoriščanja in transporta teh virov (International Energy Agency, 2021).

2.3.1 Emisije toplogrednih plinov in podnebne spremembe

Gorenje fosilnih goriv je glavni vir emisij ogljikovega dioksida (CO_2), enega najpomembnejših toplogrednih plinov. Povečanje koncentracije CO_2 v ozračju je tesno povezano z naraščanjem globalnih temperatur. Študije kažejo, da so se globalne temperature od predindustrijske dobe zvišale za približno $1,2^\circ\text{C}$, pri čemer je uporaba fosilnih goriv glavni vzrok za to segrevanje (Smith et al., 2021).

Naraščajoče temperature povzročajo taljenje ledenikov, dvig morske gladine ter pogostejše in intenzivnejše vremenske ekstreme, kot so vročinski valovi, poplave in suše (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021).

2.3.2 Onesnaževanje zraka in vpliv na zdravje

Poleg CO₂ fosilna goriva med zgorevanjem sproščajo tudi druge škodljive snovi, kot so žveplov dioksid (SO₂), dušikovi oksidi (NO_x) in trdni delci (PM). Te snovi prispevajo k onesnaževanju zraka, kar ima resne posledice za zdravje ljudi. Dolgotrajna izpostavljenost onesnaženemu zraku je povezana s povečanim tveganjem za bolezni dihal, srčno-žilne bolezni in prezgodnjo smrt (World Health Organization, 2022). Raziskave kažejo, da je onesnaženje zraka zaradi izgorevanja fosilnih goriv odgovorno za več milijonov smrti letno po vsem svetu (Lelieveld et al., 2020).

2.3.3 Kisli dež in degradacija tal

Emisije SO₂ in NO_x, ki nastajajo pri zgorevanju fosilnih goriv, lahko v atmosferi reagirajo z vodo in tvorijo kisline, kar vodi do pojava kislega dežja. Kisli dež zakisa tla in vodne ekosisteme, kar negativno vpliva na rastline, živali in mikroorganizme. Zakisana tla postopoma izgubljajo hranila, kar zmanjšuje njihovo rodovitnost in lahko povzroči degradacijo gozdov ter kmetijskih površin (Burns, 2016).

2.3.4 Onesnaževanje voda in ekosistemov

Izkoriščanje in transport fosilnih goriv predstavljata pomembno tveganje za onesnaževanje voda. Na primer, razlitja nafte lahko povzročijo obsežno onesnaženje morskih in obalnih ekosistemov, kar ima dolgoročne posledice za biotsko raznovrstnost in ribištvo. Prav tako lahko izcedne vode iz rudnikov premoga onesnažijo reke in podtalnico s težkimi kovinami ter drugimi strupenimi snovmi (Gao & Chen, 2021).

2.3.5 Izčrpavanje naravnih virov in energetska varnost

Fosilna goriva so omejen vir energije, njihovo izčrpavanje pa predstavlja resno tveganje za energetska varnost. Povečano povpraševanje po energiji in omejene zaloge fosilnih goriv lahko vodijo do cenovne nestanovitnosti in geopolitičnih napetosti. Zato je prehod na obnovljive vire energije ključnega pomena za zagotovitev trajnostne in stabilne oskrbe z energijo v prihodnosti (International Energy Agency, 2021).

2.4 Prednosti in izzivi uporabe električnih tovornjakov pri pobiranju smeti

Električni smetarski tovornjaki predstavljajo pomemben korak k trajnostnemu razvoju komunalnih storitev ter prehodu na nizkoogljični promet. Njihova uporaba prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov, zmanjšanju hrupa ter izboljšanju energetske učinkovitosti in kakovosti zraka v urbanih območjih. Po podatkih Mednarodne agencije za energijo (IEA, 2022) so težka tovorna vozila, vključno s smetarskimi tovornjaki, odgovorna za približno 25 % vseh emisij CO₂ v cestnem prometu. Zato je njihova elektrifikacija ključnega pomena za doseganje podnebnih ciljev. Kljub številnim prednostim pa uvedba električnih tovornjakov v komunalne storitve prinaša tudi tehnične, ekonomske in infrastrukturne izzive.

2.4.1 Prednosti električnih smetarskih tovornjakov

Ena najpomembnejših prednosti električnih smetarskih tovornjakov je njihova okoljska učinkovitost. V primerjavi z dizelskimi vozili imajo električni tovornjaki ničelne neposredne emisije izpušnih plinov, kar bistveno prispeva k izboljšanju kakovosti zraka v mestnih središčih (World Economic Forum, 2021). Raziskava Evropske agencije za okolje (European Environment Agency, 2024) je pokazala, da lahko električni tovornjaki zmanjšajo emisije CO₂ za 60–70 % v primerjavi s konvencionalnimi vozili, če se električna energija pridobiva iz obnovljivih virov.

Poleg zmanjšanja emisij električni smetarski tovornjaki prispevajo tudi k zmanjšanju hrupnega onesnaževanja. Med delovanjem so bistveno tišji od dizelskih vozil, saj električni motorji ne povzročajo vibracij in hrupa, značilnega za motorje z notranjim izgorevanjem (Frontier Group, 2021). To je še posebej pomembno v urbanih območjih, kjer zgodnje jutranje zbiranje odpadkov pogosto moti prebivalce.

Tudi z vidika ekonomičnosti imajo električni tovornjaki pomembne prednosti. Čeprav so začetni stroški nakupa višji, imajo nižje stroške energije na prevoženi kilometer, saj je električna energija cenejša od dizelskega goriva (IEA, 2021). Po analizi podjetja McKinsey (2023) lahko električni tovornjaki zmanjšajo stroške vzdrževanja za 30–50 %, saj imajo manj gibljivih delov in ne potrebujejo oljnih filtrov, menjalnika ali kompleksnega izpušnega sistema. Poleg tega regenerativno zaviranje podaljšuje življenjsko dobo zavrtnega sistema in izboljšuje celotno energetsko učinkovitost vozila (Lutsey et al., 2021).

2.4.2 Izzivi pri uvajanju električnih smetarskih tovornjakov

Kljub jasnim prednostim se komunalna podjetja pri uvajanju električnih tovornjakov srečujejo s pomembnimi finančnimi, tehnološkimi in logističnimi izzivi. Cena električnih smetarskih tovornjakov je še vedno približno dvakrat višja od cene

primerljivih dizelskih modelov (IEA, 2022). Na primer, električni smetarski tovornjak Volvo FE Electric stane približno 650.000 evrov, medtem ko je cena primerljivega dizelskega modela okoli 300.000 evrov (Volvo Trucks, 2022). Visoki stroški so predvsem posledica cene baterij, ki predstavljajo med 30 % in 50 % skupne vrednosti vozila (BloombergNEF, 2021). Dodatni stroški nastanejo tudi pri vzpostavitvi ustrezne polnilne infrastrukture, saj komunalna podjetja potrebujejo zmogljive polnilne postaje, ki lahko hkrati polnijo več vozil. Polnjenje električnih smetarskih tovornjakov na običajnih AC polnilnicah traja od 6 do 8 ur, medtem ko hitre DC polnilnice ta čas skrajšajo na 1 do 2 uri (Lutsey et al., 2021).

Trenutna generacija električnih smetarskih tovornjakov ima omejen doseg, običajno med 100 in 200 kilometri na eno polnjenje (IEA, 2022). Ker zbiranje odpadkov vključuje pogosto ustavljanje in speljevanje, se poraba energije povečuje, kar dodatno vpliva na skupni doseg vozila. Čeprav regenerativno zaviranje prispeva k učinkovitejši rabi energije, so električni tovornjaki trenutno manj primerni za daljše relacije ali za uporabo v večjih občinah z razpršenimi naselji.

Za uspešno integracijo električnih tovornjakov v delovne procese je potrebna prilagoditev urnikov in načrtovanja poti. Glede na omejeno kapaciteto baterij morajo komunalna podjetja poti optimizirati tako, da omogočajo vračanje v bazo za polnjenje ali uporabo hitrih polnilnic med delom (IEA, 2022). To pogosto zahteva spremembe v obstoječih delovnih procesih in dodatne organizacijske prilagoditve.

Kljub tem izzivom se vedno več občin in komunalnih podjetij odloča za elektrifikacijo smetarskega voznega parka. Na Norveškem je mestna uprava leta 2023 napovedala, da bodo do leta 2025 vsa komunalna vozila brez emisij. Trenutno je tam več kot 30 % smetarskih tovornjakov že električnih, kar je prispevalo k zmanjšanju emisij CO₂ za več kot 3.000 ton letno. Na Švedskem so leta 2022 uvedli več električnih tovornjakov Volvo FE Electric, pri čemer so ugotovili, da so stroški energije na prevoženi kilometer približno 40 % nižji kot pri primerljivih dizelskih modelih (Volvo Trucks, 2022).

3 OBSTOJEČE STANJE V KOMUNALNEM PODJETJU

V komunalnem podjetju nenehno iščejo rešitve za izboljšanje učinkovitosti zbiranja odpadkov ter zmanjšanje okoljskih vplivov. V okviru teh prizadevanj je bilo preizkušeno električno smetarsko vozilo, ki bi lahko predstavljalo alternativo obstoječim dizelskim tovornjakom. Kljub tehnološkemu napredku in ugodnim okoljskim značilnostim tovrstna vozila še niso vključena v redni vozni park podjetja. Preizkus električnega smetarskega tovornjaka je omogočil vpogled v praktične izzive ter potencialne koristi teh vozil v dejanskih delovnih pogojih.

3.1 Posnetek stanja

Komunalno podjetje trenutno pri zbiranju odpadkov pretežno uporablja dizelske smetarske tovornjake, ki omogočajo zanesljivo izvajanje storitev zbiranja in prevoza. Tovornjaki zagotavljajo zadostno avtonomijo in so prilagojeni zahtevnim terenskim razmeram, vendar hkrati prispevajo k emisijam toplogrednih plinov in hrupu v urbanem okolju.

V letu 2022 je podjetje v sklopu testiranja preizkusilo električni smetarski tovornjak. Cilj preizkusa je bil oceniti operativne zmogljivosti, ekonomsko upravičenost ter možnosti integracije v obstoječi sistem zbiranja odpadkov. Med testiranjem so bile zaznane številne prednosti, kot so tišje delovanje, odsotnost neposrednih emisij ter manjša poraba energije v primerjavi z dizelskimi vozili. Kljub temu so se pokazali tudi izzivi, zlasti omejena zmogljivost baterij in potreba po ustrezni polnilni infrastrukturi, kar trenutno omejuje možnost celovite zamenjave voznega parka.

Tabela 1 prikazuje trenutne operativne zmogljivosti komunalnega podjetja pri zbiranju in prevozu odpadkov. Podjetje upravlja s 56 različnimi progami, ki pokrivajo obsežno območje. Povprečen tovornjak dnevno prevozi med 100 in 150 kilometri, medtem ko najdaljša proga meri približno 135 kilometrov in dnevno prepelje do 21 ton odpadkov. Na dan se opravi dve praznjenji tovornjaka – odvoz na glavno deponijo in vračanje v operativno bazo. Smetarski tovornjaki so opremljeni s hidravličnimi stiskalniki za povečanje prostorninske učinkovitosti, ločenimi predali za različne vrste frakcij ter sistemi GPS za sledenje in optimizacijo poti. Poleg rednega zbiranja gospodinjstskih odpadkov podjetje opravlja tudi dodatne storitve, kot so odvoz nevarnih odpadkov, sezone zbiralne akcije in upravljanje reciklažnih centrov. Podatki, predstavljeni v tabeli, služijo kot osnova za nadaljnjo analizo učinkovitosti obstoječega sistema ter možnosti za izboljšave v prihodnosti.

Parameter	Podatki
Število aktivnih smetarskih tovornjakov	8 (pozimi) – 10 (poleti)
Število različnih prog	56
Število rednih urnikov odvoza	17
Najdaljša proga (približno)	135 km (proga "9m")
Dnevno prevoženi kilometri (na tovornjak)	Približno 100–150 km
Povprečna nosilnost tovornjaka	10 ton
Količina zbranih odpadkov na najdaljši progi ("9m")	21 ton dnevno
Število praznjenj tovornjaka dnevno (odvoz na deponijo)	2-krat
Vrste odpadkov v sistemu pobiranja	Mešani komunalni odpadki, biološki odpadki, embalaža, steklo, papir, kosovni odpadki
Število gospodinjstev v sistemu zbiranja	Približno 38.000

Tabela 1: Obstoječe stanje v komunalnem podjetju

(Vir: Interni podatki komunalnega podjetja)

Tabela 2 prikazuje primerjalno analizo dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka. Električni tovornjak ponuja pomembne okoljske prednosti, saj ne povzroča neposrednih emisij CO₂, zmanjšuje onesnaženost zraka in prispeva k nižji ravni hrupa v urbanem okolju. Poleg tega so operativni stroški nižji, saj je električna energija cenejša od dizelskega goriva, vozila pa zaradi preprostejše mehanike in regenerativnega zaviranja zahtevajo manj vzdrževanja. Kljub tem prednostim električni smetarski tovornjaki trenutno še vedno predstavljajo določene izzive, predvsem zaradi višjih začetnih investicijskih stroškov, omejenega dosega z enim polnjenjem in potrebe po ustrezni polnilni infrastrukturi. Medtem ko lahko dizelski tovornjak brez težav opravi celodnevni delovni cikel z enim rezervoarjem goriva, morajo električni tovornjaki natančno načrtovati postanke za polnjenje. Električni smetarski tovornjaki so zato posebej primerni za mestna okolja, kjer so razdalje krajše, emisijske omejitve strožje in vpliv hrupa pomembnejši dejavnik. Na dolgi rok lahko postanejo privlačnejša alternativa dizelskim modelom zaradi manjših operativnih stroškov in boljših okoljskih učinkov, vendar bo njihova širša uporaba odvisna od nadaljnjega tehnološkega razvoja baterij ter širitve polnilne infrastrukture.

Parameter	Dizelski smetarski tovornjak	Električni smetarski tovornjak
Nakupna cena	Približno 300.000 €	Približno 650.000 €
Operativni stroški (gorivo/elektrika)	Višji (dizelsko gorivo, povprečna poraba 40 l/100 km)	Nižji (električna energija, povprečna poraba 1,2 kWh/km)
Stroški vzdrževanja	Višji (menjava olja, filtrov, izpušnega sistema itd.)	Nižji (manj gibljivih delov, regenerativno zaviranje)
Domet na eno polnjenje/tankanje	400–600 km	100–200 km
Čas polnjenja/tankanja	5–10 minut	1–2 uri (DC hitra polnilnica) / 6–8 ur (AC polnjenje)
Emisije CO ₂	Povprečno 1.000 g CO ₂ /km	0 g CO ₂ /km (če se uporablja elektrika iz OVE)
Hrup	80–90 dB pri delovanju motorja	60–70 dB (tišje delovanje, manj vibracij)
Življenjska doba	Približno 10–12 let	Približno 12–15 let (baterijska degradacija je dejavnik)
Možnost regenerativnega zaviranja	Ne	Da (do 30 % energije se povrne)
Polnilna infrastruktura	Široko dostopna (bencinske črpalke)	Omejena (potrebne hitre polnilnice na baznih lokacijah)
Primernost za dolge razdalje	Da	Omejeno
Okoljski vpliv	Visok (izpusti NO _x , PM, CO ₂)	Nizek (odvisno od vira električne energije)

Tabela 2: Primerjava dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka
(Vir: European Environment Agency, 2022; IEA, 2022; Lutsey et al., 2021; Volvo Trucks, 2022)

3.2 Kritična analiza

Komunalno podjetje je testiralo električni smetarski tovornjak Renault E-Tech D Wide, vendar ga zaenkrat še ni vključilo v svoj vozni park. Ključne ugotovitve testiranja so bile naslednje:

- Doseg baterije: električni tovornjak je z enim polnjenjem zanesljivo opravil celoten osemurni delovnik, kar kaže na ustrezno avtonomijo za običajne dnevne operacije.
- Hrupnost: vozilo je delovalo bistveno tišje v primerjavi z dizelskimi tovornjaki, kar prispeva k zmanjšanju hrupnega onesnaževanja v urbanih območjih.
- Emisije: uporaba električnega tovornjaka je omogočila odpravo neposrednih emisij, kar pozitivno vpliva na kakovost zraka in splošno okolje.
- Operativni izzivi: med testiranjem se je izkazalo, da je treba prilagoditi logistiko odvoza odpadkov glede na zmogljivosti vozila, predvsem zaradi omejenega dosega baterije in potrebe po pravočasnem polnjenju.

Električni smetarski tovornjaki ponujajo pomembne okoljske in ekonomske prednosti, vendar njihova uvedba zahteva celovito analizo operativnih in infrastrukturnih dejavnikov. Na podlagi testiranja električnega vozila so bile identificirane naslednje ključne prednosti in izzivi:

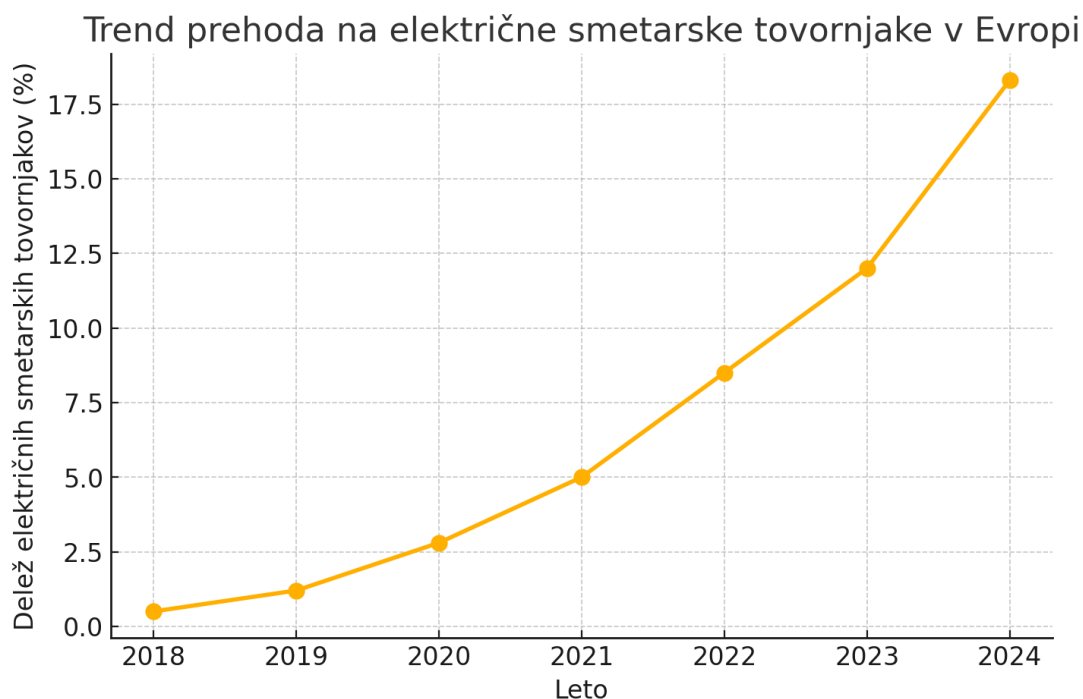
Prednosti:

- Zmanjšanje emisij: električni tovornjaki ne oddajajo izpušnih plinov, kar pripomore k izboljšanju kakovosti zraka v urbanih območjih.
- Tišje delovanje: zmanjšana raven hrupa pozitivno vpliva na prebivalce, še posebej pri zbiranju odpadkov v zgodnjih jutranjih urah.
- Nižji stroški energije: električna energija je cenovno ugodnejša v primerjavi z dizelskim gorivom, kar lahko vodi do dolgoročnih prihrankov pri operativnih stroških.

Izzivi:

- Doseg in čas polnjenja: trenutna baterijska tehnologija omogoča omejen doseg, kar zahteva prilagoditve pri načrtovanju zbirnih poti in vzpostavitev ustrezne polnilne infrastrukture. Med testiranjem je bilo ugotovljeno, da je dejanski doseg električnega smetarskega tovornjaka povprečno za 30–40 % nižji od nominalnih vrednosti, ki jih navajajo proizvajalci. To pomeni, da je potrebno prilagoditi urnike in trase zbiranja odpadkov.
- Visoki začetni stroški: nabavna cena električnih smetarskih tovornjakov je bistveno višja kot pri dizelskih modelih, kar predstavlja pomembno finančno oviro pri uvajanju.
- Potrebna prilagoditev infrastrukture: za učinkovito delovanje električnega voznega parka je treba zagotoviti zadostno število hitrih polnilnic in prilagoditi obstoječe logistične procese. Polnjenje električnega vozila traja bistveno dlje kot točenje goriva pri dizelskem tovornjaku. Čeprav hitre DC-polnilnice omogočajo polnjenje v nekaj urah, je za optimizacijo delovanja potrebno natančno načrtovanje, da se čas izpada vozila iz operativne rabe čim bolj zmanjša.

Na podlagi opravljenega testiranja je mogoče sklepati, da električni smetarski tovornjaki predstavljajo realno alternativo konvencionalnim vozilom, vendar njihova uvedba zahteva dodatne investicije ter skrbno in dolgoročno strateško načrtovanje. Ključni dejavniki pri odločitvi za prehod na električni vozni park vključujejo nadaljnji razvoj baterijske tehnologije, širitev ustrezne polnilne infrastrukture ter zagotavljanje finančnih spodbud s strani države in evropskih skladov. Slika 3 prikazuje trend prehoda na električne smetarske tovornjake v Evropi med letoma 2018 in 2024. Razvidno je, da se delež električnih smetarskih vozil v uporabi postopno povečuje, pri čemer se rast v zadnjih letih izrazito pospešuje. Ta trend kaže na vse večjo sprejetost električnih vozil v komunalnih storitvah, kar je posledica tehnološkega napredka, izboljšanih baterijskih sistemov in naraščajočih političnih prizadevanj za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov.

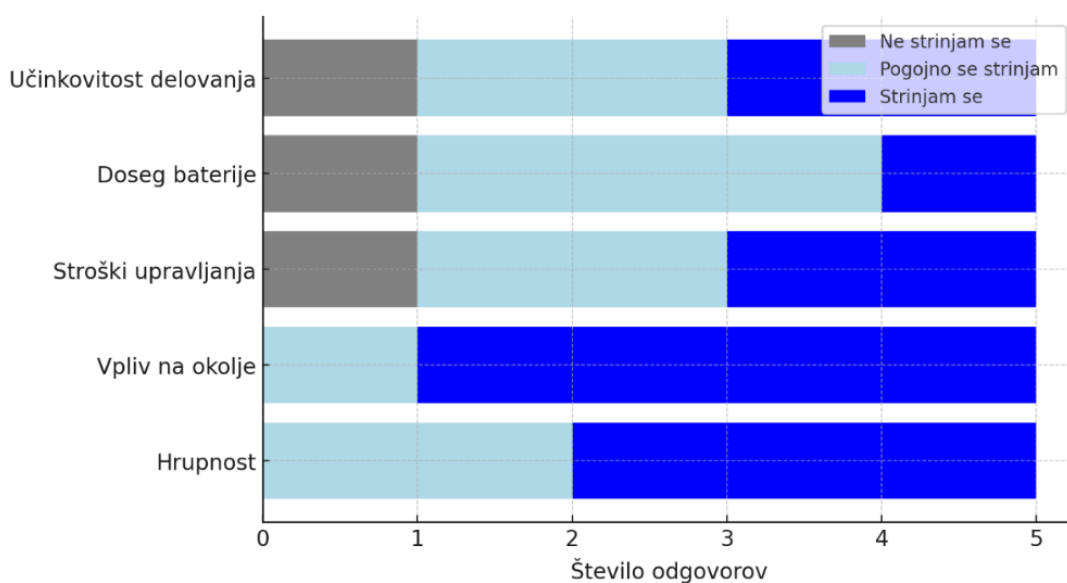


Slika 3: Trend prehoda na električne smetarske tovornjake v Evropi
(Vir: IEA, 2024)

Analiza testnega obdobja električnega smetarskega tovornjaka je razkrila tako potencial kot tudi omejitve trenutne tehnologije. Ključni izzivi ostajajo omejen doseg vozila, potreba po bolj razviti infrastrukturi za polnjenje ter visoki začetni stroški nakupa. Kljub temu pozitivni vplivi na okolje in nižji operativni stroški nakazujejo, da bi lahko bila elektrifikacija smetarske flote dolgoročno smiselna, zlasti ob ustrezni podpori lokalnih oblasti in obstoju državnih oziroma evropskih subvencij.

4 PRAKTIČNI DEL

Iz Slike 4 je razvidno, da se večina anketirancev strinja, da električni smetarski tovornjaki pozitivno vplivajo na okolje in prispevajo k zmanjšanju hrupa, saj je vseh pet sodelujočih izkazalo strinjanje s tema dvema trditvama. Pri vprašanju o stroških upravljanja in dosegu baterije so bili odgovori bolj razpršeni – nekateri anketiranci so izrazili zadržke, kar kaže na prisotne pomisleke glede praktične izvedljivosti in ekonomičnosti njihove uporabe. Najbolj raznolike ocene so se pojavile pri vprašanju učinkovitosti delovanja, kar nakazuje potrebo po nadaljnji optimizaciji vozil in nadaljnjem razvoju tehnologije.



Slika 4: Trend prehoda na električne smetarske tovornjake v Evropi
(Vir: IEA, 2024)

Tabela 3 prikazuje rezultate ankete, opravljene med vodji voznega parka komunalnega podjetja, v zvezi s testiranjem in uvedbo električnih smetarskih tovornjakov. Kar 80 % anketirancev je sodelovalo pri testiranju, kar pomeni, da imajo neposredne izkušnje z delovanjem električnega vozila. Vsi anketiranci (100 %) so izrazili mnenje, da so električni tovornjaki ekološko boljši od dizelskih, kar potrjuje močno zaznavo njihovega pozitivnega vpliva na okolje. Poleg tega 80 % vprašanih meni, da bi uvedba električnih vozil prispevala k izboljšanju stroškovne učinkovitosti podjetja. Po drugi strani pa 60 % anketirancev podpira le postopno zamenjavo dizelskih vozil, kar kaže na določene pomisleke glede takojšnje in celovite implementacije električnega voznega parka.

Vprašanja	Da (%)	Ne %
Ste sodelovali pri testiranju električnega smetarskega tovornjaka?	80	20
Ali menite, da je električni smetarski tovornjak bolj ekološki od dizelskega?	100	0
Ali menite, da bi električni tovornjaki izboljšali stroškovno učinkovitost podjetja?	80	20
Ali menite, da bi morali električni tovornjaki postopoma nadomestiti dizelske?	60	40

Tabela 3: Interpretacija rezultatov ankete o električnih smetarskih tovornjaki
(Lastni vir)

4.1 Primerjalna analiza dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka

Za primerjavo smo izbrali progo »9m«, ki velja za eno najdaljših tras v sistemu pobiranja komunalnih odpadkov. Ključne značilnosti te poti so naslednje:

- Dolžina poti: približno 135 km.
- Povprečno število pobranih zabojnikov: 850 na dan.
- Povprečna hitrost pobiranja: 18km/h (dizel) / 16 km/h (električni).
- Povprečna količina pobranih odpadkov: 21 ton/dan.
- Število praznjenj tovornjaka: 2-krat dnevno.
- Povprečna hitrost pobiranja: 15–25 km/h (zaradi pogostih postankov).

V analizo smo vključili obstoječi dizelski smetarski tovornjak in električni smetarski tovornjak, ki je bil testiran v okviru podjetja. Tabela 4 primerja ta dva vozila glede na ključne operativne in ekonomske značilnosti. Električni tovornjak ima ničelne emisije CO₂, nižjo porabo energije in tišje delovanje, vendar tudi krajši doseg (200 km v primerjavi s 500 km pri dizelskem) ter daljši čas polnjenja. Čeprav so stroški energije in vzdrževanja pri električnem vozilu občutno nižji, ostaja visoka nabavna cena (600.000 € v primerjavi z 250.000 € pri dizelskem tovornjaku) ena glavnih ovir za širšo implementacijo električne tehnologije v komunalni sektor.

Lastnosti	Dizelski smetarski tovornjak	Električni smetarski tovornjak (testiran)
Vrsta goriva	Dizel (Euro 6)	Električna baterija (300 kWh)
Povprečna poraba energije	40 L/100 km	1,2 kWh/km
Poraba energije (na 135 km)	~54 L dizla	~162 kWh
Domet z enim polnjenjem/rezervoarjem	~500 km	~200 km

Lastnosti	Dizelski smetarski tovornjak	Električni smetarski tovornjak (testiran)
Moč motorja	320 KM	400 KM (elektromotor)
Največja nosilnost	10 ton	10 ton
Povprečna emisija CO ₂ na dan	~300 kg CO ₂	0 kg CO ₂
Hrupnost med delovanjem	~85 dB	~65 dB
Strošek goriva/elektrike na dan	~90 € (dizel 1,67 €/L)	~24 € (elektrika 0,15 €/kWh)
Stroški vzdrževanja (letno)	~8.000–10.000 €	~5.000–7.000 €
Cena tovornjaka	~250.000 €	~600.000 €
Čas polnjenja/tankanja	~10 min	~6–8 h (AC) / ~2 h (DC)

Tabela 4: Primerjava lastnosti dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka
(Lastni vir)

Stroški so bili ocenjeni na podlagi povprečnih cen goriva, električne energije in stroškov vzdrževanja. Tabela 5 prikazuje primerjavo letnih operativnih stroškov dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka. Električni tovornjak ima znatno nižje stroške goriva (11.250 € v primerjavi s 37.500 € letno) ter nižje stroške vzdrževanja (6.000 € proti 9.000 € letno). Skupni letni operativni stroški električnega tovornjaka so kar 63 % nižji od stroškov dizelskega vozila, kar potrjuje njegovo dolgoročno stroškovno učinkovitost, kljub višji začetni investiciji.

Kategorija	Dizelski smetarski tovornjak	Električni smetarski tovornjak
Strošek goriva/elektrike	37.500 €/leto (pri ~250 delovnih dneh)	11.250 €/leto
Stroški vzdrževanja	9.000 €/leto	6.000 €/leto
Letni operativni stroški (skupaj)	46.500 €	17.250 €

Tabela 5: Primerjava stroškov dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka
(Lastni vir)

Časovna primerjava prevozne poti »9m«. V analizo smo vključili naslednje dejavnike:

- Povprečno hitrost pobiranja smeti (dizel: 18 km/h, elektrika: 16 km/h).
- Število postankov za praznjenje.
- Dodatni čas potreben za polnjenje električnega tovornjaka.

Tabela 6 prikazuje časovno primerjavo med dizelskim in električnim smetarskim tovornjakom. Električni tovornjak potrebuje približno 30 minut več za izvedbo celotne trase zaradi nekoliko počasnejšega pobiranja in daljših postankov. Poleg tega zahteva dnevno polnjenje (približno 2 uri na hitri polnilnici), medtem ko dizelski tovornjak za tedensko točenje goriva potrebuje le približno 10 minut. Kljub daljšemu operativnemu času električni tovornjak ponuja okoljske in ekonomske prednosti, ki lahko ob ustreznem prilagajanju urnikov in logistike opravičijo njegovo uvedbo v sistem zbiranja odpadkov.

Faktor	Dizelski smetarski tovornjak	Električni smetarski tovornjak
Povprečen čas trajanja celotne poti	7 ur	7,5 ure
Povprečen čas na postanek	30 sek	35 sek
Dodatni čas za polnjenje/tankanje	10 min (1x/teden)	2 h (1x/dan, hitra polnilnica)

Tabela 6: Časovna primerjava dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka
(Lastni vir)

Tabela 7 prikazuje dolgoročno analizo operativnih stroškov dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka v petletnem obdobju. Električni tovornjak prinaša občutne prihranke, saj so njegovi letni obratovalni stroški približno 63 % nižji od stroškov dizelskega vozila. V obdobju petih let to pomeni skupni prihranek v višini 146.250 €.

Kljub višji začetni investiciji v električni tovornjak se obratovalni stroški dolgoročno bistveno zmanjšajo, kar predstavlja finančno prednost za podjetje in krepi argumente za postopno elektrifikacijo voznega parka.

Leto	Dizelski tovornjak (strošek energije + vzdrževanja)	Električni tovornjak (strošek energije + vzdrževanja)
1. leto	46.500 €	17.250 €
2. leto	46.500 €	17.250 €
3. leto	46.500 €	17.250 €
4. leto	46.500 €	17.250 €
5. leto	46.500 €	17.250 €
Skupaj (5 let)	232.500 €	86.250 €

Tabela 7: Primerjava operativnih stroškov v obdobju 5 let
(Lastni vir)

4.2 Preverjanje hipotez

Hipoteza 1 (H1): Z uporabo električnega smetarskega vozila namesto standardnega se bodo stroški podjetja znižali.

Pri izračunu stroškov smo upoštevali:

- Dnevne stroške energije (dizel vs. elektrika).
- Stroške vzdrževanja.
- Investicijske stroške.

Tabela 8 prikazuje primerjavo operativnih stroškov dizelskega in električnega smetarskega tovornjaka. Električni tovornjak prinaša nižje stroške energije ter nižjo ceno vzdrževanja v primerjavi z dizelskim, kar prispeva k njegovi večji dolgoročni stroškovni učinkovitosti.

Faktor	Dizelski tovornjak	Električni tovornjak
Cena goriva/elektrike na dan	~90 € (54 L dizla)	~24 € (162 kWh elektrike)
Letni stroški energije (250 delovnih dni)	22.500 €	6.000 €
Letni stroški vzdrževanja	6.000 €	3.000 €
Skupni letni operativni stroški	28.500 €	9.000 €
Cena novega vozila	300.000 €	600.000 €

Tabela 8: Primerjava operativnih stroškov v obdobju 5 let
(Lastni vir)

Električni smetarski tovornjak je stroškovno učinkovitejši pri obratovanju, saj letni prihranek znaša 19.500 €, kar predstavlja približno 69 % nižje operativne stroške v primerjavi z dizelskim vozilom. Vendar pa visoka začetna investicija v višini 600.000 € pomeni daljše obdobje povračila stroškov, ki traja približno 15 let. Na podlagi izračunov obratovalni prihranki pokrijejo razliko v ceni po približno 12 letih, kar pomeni, da hipoteza H1 velja predvsem v dolgoročnem obdobju.

Čeprav ima električni tovornjak nižje operativne stroške, ga visoki začetni stroški uvrščajo med dražje kratkoročne naložbe. V primeru, da bi podjetje pridobilo državne subvencije ali davčne olajšave za električna vozila, bi se doba povračila investicije bistveno skrajšala. Sklepno lahko ugotovimo, da je hipoteza H1 (z uporabo električnega smetarskega vozila se bodo stroški podjetja znižali) delno potrjena – vendar se ta učinek uresniči predvsem v dolgoročni perspektivi.

Hipoteza 2 (H2): Z zamenjavo standardnega smetarskega vozila z električnim se bo zmanjšal ogljični odtis.

Za izračun smo upoštevali:

- Povprečno porabo dizelskega tovornjaka: 40 L/100 km.
- Povprečne emisije CO₂ na liter dizla: 2,68 kg CO₂/L.
- Porabo elektrike na 100 km: 120 kWh.
- Emisije CO₂ iz elektrike (slovensko povprečje 2023): 0,25 kg CO₂/kWh.

Tabela 7 prikazuje primerjavo emisij CO₂ med dizelskim in električnim smetarskim tovornjakom.

Faktor	Dizelski tovornjak	Električni tovornjak
Emisije na 100 km	107,2 kg CO ₂	30 kg CO ₂
Emisije na 135 km (trasa "9m")	144,7 kg CO ₂	40,5 kg CO ₂
Emisije na leto (250 delovnih dni)	36,175 kg CO ₂	10,125 kg CO ₂
Znižanje emisij	-72 %	

Tabela 9: Primerjava ogljičnega odtisa med dizelskim in električnim tovornjakom
(Lastni vir)

Električni smetarski tovornjak proizvede približno 72 % manj emisij CO₂ na dan v primerjavi z dizelskim vozilom. V primeru, da bi električna energija izvirala 100 % iz obnovljivih virov, bi bile emisije skoraj ničelne. Na letni ravni bi zamenjava enega dizelskega tovornjaka z električnim prinesla prihranek do 26 ton CO₂, kar predstavlja pomemben okoljski prispevek.

Ugotovitve potrjujejo, da električni smetarski tovornjak znatno zmanjšuje ogljični odtis v primerjavi z dizelskim. Če bi podjetje v celoti prešlo na uporabo zelenih virov energije, bi bil ta učinek še izrazitejši. Na podlagi teh rezultatov lahko zaključimo, da je hipoteza H2 (z zamenjavo standardnega smetarskega vozila z električnim se bo zmanjšal ogljični odtis) potrjena.

4.3 Povzetek raziskave

V raziskavi smo analizirali vpliv uvedbe električnih smetarskih tovornjakov v komunalno podjetje ter ocenili njihovo stroškovno in okoljsko učinkovitost v primerjavi z dizelskimi vozili. Raziskovalni pristop je temeljil na kvantitativni analizi anketnih podatkov, primerjalni analizi delovanja obstoječih in testnih vozil ter simulaciji operativnih stroškov in emisij CO₂ na konkretni, daljši trasi.

Anketna raziskava, izvedena med vodji voznega parka, je pokazala, da je 80 % anketirancev prepoznalo potencial električnih vozil za izboljšanje stroškovne učinkovitosti, medtem ko jih 60 % podpira postopno uvedbo teh vozil v obstoječi vozni park.

Primerjalna analiza med dizelskim in električnim smetarskim tovornjakom je pokazala pomembne razlike: električni tovornjak ima približno 69 % nižje stroške energije, nižjo potrebo po vzdrževanju in povzroča 72 % manj emisij CO₂. Glavne ovire ostajajo visoka začetna investicija in potreba po logističnem prilagajanju delovnih procesov.

Simulacija na trasi »9m«, ki je ena najzahtevnejših v sistemu, je pokazala, da je električni tovornjak nekoliko počasnejši zaradi pogostejših postankov in dodatnega časa za polnjenje. Kljub temu dolgoročna analiza stroškov kaže, da bi podjetje v petletnem obdobju prihranilo več kot 140.000 € na vozilo z uvedbo električnega pogona.

Na podlagi vseh ugotovitev lahko zaključimo, da ima uvedba električnih smetarskih tovornjakov pomembne finančne in okoljske prednosti, ki pa zahtevajo dolgoročno strateško načrtovanje, dodatne infrastrukturne prilagoditve ter – za hitrejšo izvedbo – podporo v obliki državnih ali evropskih subvencij. V prihodnje bi bilo smiselno nadaljevati s testiranjem električnih vozil, spremljanjem njihovega razvoja in pripravo sistemskih ukrepov za spodbujanje trajnostnega prehoda v komunalnem sektorju.

5 ZAKLJUČEK

V diplomskem delu smo raziskali možnosti uporabe električnih smetarskih vozil v komunalnem podjetju in ocenili njihov vpliv na stroškovno učinkovitost ter okoljske koristi. Rezultati raziskave potrjujejo, da prehod na električna vozila predstavlja trajnostno alternativo tradicionalnim dizelskim tovornjakom, saj prispeva k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov, nižjim operativnim stroškom in manjši hrupni obremenitvi urbanih okolij. Elektrifikacija voznega parka v komunalnih podjetjih je lahko pomemben korak k zmanjšanju ogljičnega odtisa in povečanju energetske učinkovitosti, kar se odraža tudi v dolgoročnih finančnih prihrankih. Poleg tega je bilo ugotovljeno, da električni smetarski tovornjaki omogočajo optimizacijo delovnih procesov, saj zaradi boljše energetske izrabe in regenerativnega zaviranja zmanjšujejo porabo energije pri pogostih postankih in speljevanjih. Ta vidik je še posebej pomemben v urbanih območjih, kjer smetarska vozila pogosto ustavljajo in pospešujejo, kar pri klasičnih motorjih z notranjim izgorevanjem vodi do visoke porabe goriva. Ugotovili smo, da električni smetarski tovornjaki prispevajo k znatnemu zmanjšanju emisij CO₂ in drugih škodljivih izpustov, še posebej v urbanih okoljih. Simulacije kažejo, da lahko elektrifikacija mestnega zbiranja odpadkov ob predvidenem energetskega miksu v letu 2030 zmanjša emisije za približno 27 %, ob uporabi izključno obnovljivih virov energije pa celo do 95 %. Kljub višji začetni investiciji v električne tovornjake analiza celotnih stroškov lastništva kaže, da lahko dolgoročno prinesejo prihranke zaradi nižjih stroškov vzdrževanja in nižje porabe energije. Po ocenah znaša povečanje stroškov v primerjavi z dizelskimi vozili trenutno med 18 % in 30 %, vendar se pričakuje, da se bo ta razlika v prihodnosti zmanjšala zaradi padca cen baterij in ekonomije obsega.

Raziskava (Eweret et al., 2021) o elektrifikaciji smetarskih tovornjakov v Berlinu je pokazala, da je elektrifikacija mestnega zbiranja odpadkov tehnično izvedljiva z obstoječo tehnologijo. Rezultati simulacij so pokazali, da so vsakodnevne poti smetarskih tovornjakov v Berlinu v povprečju krajše od 100 km, kar pomeni, da lahko električni tovornjaki s srednje veliko baterijo to nalogo opravijo brez potrebe po vmesnem polnjenju. Ta ugotovitev potrjuje, da elektrifikacija mestnega zbiranja odpadkov ne pomeni kompromisa pri nosilnosti vozil ali dosegu.

Podatki iz primerjalne analize med električnim in dizelskim smetarskim tovornjakom so pokazali, da je električni tovornjak kljub višji nabavni ceni dolgoročno stroškovno učinkovitejši, saj so njegovi stroški vzdrževanja in poraba energije znatno nižji. Električna vozila imajo manj mehanskih komponent kot dizelska, kar pomeni manjšo potrebo po rednem vzdrževanju ter nižje stroške popravil in zamenjav delov, kar potrjujejo tudi študije Lutsey et al. (2021) in Ewert et al. (2021). Dodatno so analizirani podatki pokazali, da električni smetarski tovornjaki porabijo do 60 % manj energije na enoto opravljene storitve v primerjavi z njihovimi dizelskimi ekvivalenti, kar vodi do znatnega znižanja operativnih stroškov.

Poleg teh ugotovitev pa širši kontekst elektrifikacije transportnega sektorja v Evropi vključuje tudi zaveze Evropske unije glede zmanjšanja emisij toplogrednih plinov. EU in številne države članice so si zastavile ambiciozne cilje za postopno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov do leta 2050, pri čemer Nemčija cilja na 55 % zmanjšanje emisij do leta 2030 glede na ravni iz leta 1990. Transportni sektor naj bi k temu cilju prispeval z 42-odstotnim zmanjšanjem emisij do leta 2030. Ključni izziv pri doseganju teh ciljev je potreba po celoviti transformaciji celotnega transportnega sistema, saj zgolj optimizacija trenutnih prevoznih sredstev ne bo zadostovala za doseganje teh ambicioznih ciljev.

Elektrifikacija transportnega sistema je ena izmed najobetavnejših strategij za doseganje teh ciljev, saj omogoča hkratno zmanjšanje emisij in onesnaženosti zraka. Študije, kot je projekt »zeroCUTS« (zero Carbon Urban Transport System) na Tehniški univerzi v Berlinu, raziskujejo možnosti za popolno dekarbonizacijo urbanega transporta. Prvi rezultati kažejo, da bi bilo mogoče elektrificirati celoten taksisektor v Berlinu brez povečanja stroškov, prav tako pa bi se lahko celoten osebni avtomobilski promet v Berlinu preusmeril na avtonomna električna vozila. Podobni napredki se dogajajo tudi na področju elektrifikacije mestnih avtobusnih omrežij, kjer so številne terenske študije že v teku.

Kljub napredku na področju elektrifikacije osebnih in javnih prevoznih sredstev pa je elektrifikacija gospodarskih in komunalnih vozil še vedno v zgodnji fazi razvoja. Mestna komunalna vozila, kot so smetarski tovornjaki, predstavljajo majhen delež celotnega urbanega voznega parka, vendar prispevajo nesorazmerno visok delež emisij zaradi svojih intenzivnih delovnih ciklov. Zato je njihova elektrifikacija pomembna priložnost za zmanjšanje emisij v urbanih območjih.

Številni evropski proizvajalci, kot so Volvo, Daimler in MAN, že razvijajo električne tovornjake, primerno zasnovane za mestni transport, medtem ko so specializirani proizvajalci komunalnih vozil, kot so Faun, Geesinknorba in Zöller, že predstavili električne prototipe smetarskih tovornjakov. Kljub temu ostajajo odprta vprašanja glede njihove dejanske vzdržljivosti v realnih delovnih pogojih, ustrezne kapacitete baterij in optimalne strategije polnjenja. Velikost baterije je ključni dejavnik, saj večje baterije omogočajo daljši doseg, vendar hkrati povečujejo stroške in zmanjšujejo uporabno nosilnost vozila.

Pravilna izbira tehnologije električnih komunalnih vozil mora upoštevati tudi specifično porabo energije glede na delovne pogoje. Medtem ko je možno porabo energije pri vožnji oceniti s standardiziranimi voznimi cikli, pa je poraba pomožnih sistemov, kot so hidravlični mehanizmi za stiskanje odpadkov, odvisna od delovnih pogojev in lahko predstavlja velik del celotne porabe energije. Prihodnje raziskave se bodo morale osredotočiti tudi na celoten življenjski cikel teh vozil, vključno s proizvodnjo in razgradnjo baterij, kar zahteva tesno sodelovanje z industrijskimi proizvajalci.

Elektrifikacija mestnega zbiranja odpadkov torej predstavlja pomemben korak k razogljičenju transportnega sistema in zmanjšanju vplivov na okolje, vendar pa je za njeno širšo implementacijo potrebna nadaljnja analiza stroškovne učinkovitosti, vplivov na infrastrukturo ter možnosti za povečanje energetske učinkovitosti vozil.

5.1 Omejitve raziskave

Kot pri vsaki empirični študiji se tudi naša raziskava sooča z določenimi omejitvami. Prva pomembna omejitev je velikost vzorca, saj smo analizirali zgolj en primer električnega smetarskega tovornjaka v enem komunalnem podjetju. Rezultati bi bili bolj splošno uporabni, če bi vključili več primerov iz različnih podjetij in regij.

Druga omejitev se nanaša na ocenjevanje dolgoročnih finančnih prihrankov, ki temeljijo na predpostavkah o stabilnosti cen električne energije in stroškov vzdrževanja, kar lahko vpliva na dejansko stroškovno učinkovitost v prihodnosti.

Tretja omejitev je povezana z infrastrukturo. Električni smetarski tovornjaki zahtevajo namensko polnilno infrastrukturo, ki je trenutno še vedno omejena. Naše raziskovalne ugotovitve bi bile natančnejše, če bi vključili tudi podrobno analizo stroškov vzpostavitve te infrastrukture ter njenega vpliva na logistične procese v komunalnih podjetjih.

5.2 Praktične in teoretične implikacije

Rezultati raziskave imajo pomembne praktične in teoretične implikacije. Na praktični ravni kažejo na potrebo po nadaljnjem razvoju električnih smetarskih vozil in izboljšavi baterijske tehnologije, da bi dosegli večjo avtonomijo in zmanjšali potrebo po pogostem polnjenju. Prav tako raziskava opozarja na potrebo po vladnih subvencijah in davčnih spodbudah, ki bi lahko zmanjšale finančno breme podjetij pri prehodu na električna vozila.

5.3 Predlogi za nadaljnje raziskave

Na podlagi ugotovitev predlagamo več smeri za nadaljnje raziskave. Prva priporočljiva smer je raziskava, ki bi vključevala večje število podjetij in daljše obdobje spremljanja stroškov ter učinkovitosti električnih smetarskih tovornjakov. To bi omogočilo natančnejšo oceno dejanskega vpliva na stroškovno učinkovitost in okoljske koristi.

Druga možnost je analiza vpliva različnih modelov financiranja prehoda na električna vozila. Raziskave bi lahko vključevale primerjave med različnimi oblikami

subvencioniranja, davčnimi olajšavami in modeli javno-zasebnega partnerstva pri uvajanju trajnostnih transportnih rešitev.

Tretja priporočljiva raziskovalna smer je analiza uporabniške izkušnje voznikov in operaterjev električnih smetarskih tovornjakov. Razumevanje dejanske uporabe vozil v praksi bi lahko pripomoglo k prilagoditvi njihovega dizajna ter razvoju bolj učinkovitih operativnih strategij.

6 LITERATURA IN VIRI

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO). (b. l.). *Kazalci okolja v Sloveniji*. Pridobljeno 01. 02. 2025 z naslova <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/kazalci-okolja-v-sloveniji>

Alao, M. A. in Atherton, M. A. (2022). A review of municipal solid waste management in the BRIC and high-income countries: A focus on waste collection. *Environmental Challenges*, 7, 100-104.

AudiLab Slovenija. (2023). *Preizkusi trkov električnih avtomobilov*. Pridobljeno s spletne strani: <https://lab.audi.si/preizkusi-trkov-elektricnih-avtomobilov>

Avtocenter. (b. l.). *Prednosti in slabosti električnih vozil*. Avtocenter.si. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://www.avtocenter.si>

Ayvens Slovenija. (2021). *Glavni miti o električnih vozilih*. Pridobljeno 01. 12. 2024 z naslova <https://www.ayvens.com/sl-si/o-nas/blog/varnost-voznikov/electric-car-myths/>

BloombergNEF. (2021). *Battery pack prices fall to an average of \$132/kWh, but rising commodity prices start to bite*. Pridobljeno 12. 12. 2024 z naslova <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-to-an-average-of-132-kwh-but-rising-commodity-prices-start-to-bite>

Burns, D. A. (2016). Acid rain and its environmental effects: Recent scientific advances. *Atmospheric Environment*, 146, 1-4.

CEWEP. (2021). *Municipal waste treatment in 2019: EU 27 + Switzerland, Norway and the UK*. Pridobljeno 12. 02. 2025 z naslova <https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2019>

Chen, Y., Wu, G., Sun, R., Dubey, A., Laszka, A. in Pugliese, P. (2020). *A Review and Outlook of Energy Consumption Estimation Models for Electric Vehicles*. arXiv preprint arXiv:2003.12873.

Ebadi Torkayesh, A. in Sahin, O. (2022). An integrated multi-criteria decision-making framework for sustainable municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129-134.

Evropska agencija za okolje. (2019). *Električna vozila: pametna izbira za okolje*. Pridobljeno 12. 03. 2025 z naslova <https://www.eea.europa.eu/sl/articles/elektricna-vozila-pametna-izbira-za-okolje>

European Environment Agency. (2024). *Greenhouse gas emissions from transport in Europe*. Pridobljeno 12. 03. 2025 z naslova <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-transport>

Ewert, R., Grahle, A. in Syre, A. (2021). Electrification of Urban Waste Collection: Introducing a Simulation-Based Methodology for Technical Feasibility, Impact and Cost Analysis. *World Electric Vehicle Journal*, 12(3), 122.

Gao, J. in Chen, Y. (2021). Environmental impacts of coal mining and utilization. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5559–5572.

GOV.SI. (b. l.). *Uredba o obvezni občinski gospodarski javni službi zbiranja komunalnih odpadkov*. Pridobljeno 12. 03. 2025 z naslova <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED7485>

Gunkel, P. A., Bergaentzlé, C., Jensen, I. G. in Scheller, F. (2020). *From passive to active: Flexibility from electric vehicles in the context of transmission system development*. arXiv preprint arXiv:2011.05830.

International Energy Agency (IEA). (2021). *World Energy Outlook 2021*. Pridobljeno 12. 03. 2025 z naslova <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC.

International Energy Agency (IEA). (2024). *Global EV Outlook 2024*. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024>

International Energy Agency (IEA). (2022). *Global EV Outlook 2022*. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>

Kalar, M. in Vukasović, T. (2021). Stališča potrošnikov do nakupa električnih avtomobilov in njihovega vpliva na okolje v Sloveniji. *Journal of Innovative Business and Management*, 13(2), 29-45.

Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Burnett, R. T., Haines, A. in Ramanathan, V. (2020). Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(15), 7192–7197.

Lutsey, N., Slowik, P. in Hall, D. (2021). Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles. *The International Council on Clean Transportation*. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://theicct.org/publication/transitioning-zero-emission-hdv-2021>

McKinsey & Company. (2023). *The bumpy road to zero-emission trucks*. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/the-bumpy-road-to-zero-emission-trucks>

Mahéo, A., Rossit, D. A. in Kilby, J. (2022). A survey of combinatorial optimization problems under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 296(3), 791–805.

Mednarodna agencija za energijo (IEA). (2022). *Global EV Outlook 2022*. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>

PISRS. (b. l.). *Uredba o obvezni občinski gospodarski javni službi zbiranja komunalnih odpadkov*. Pridobljeno 15. 02. 2025 z naslova <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED7485>

Rossit, D. A. in Bard, J. F. (2024). Optimization in waste management: A review of models and methods. *Computers & Operations Research*, 145, 105-109.

Smith, S. J., Kramer, R. J. in Myhre, G. (2021). The role of short-lived climate forcings in our understanding of the climate system. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2(5), 285–299.

Statistični urad Republike Slovenije. (2022). *Osebni avtomobili glede na gorivo: prve registracije – nova vozila, Slovenija, 2014–2022*. Pridobljeno 10. 02. 2025 z naslova <https://kazalci.arso.gov.si/sl/content/odnos-prebivalstva-do-porabe-goriv-v-prometu-v-sloveniji-0>

Vlachokostas, C., Achillas, C. in Moussiopoulos, N. (2021). Decision support system for the optimal location of electrical and electronic waste recycling plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105-110.

Voka Snaga. (b. l.). *Naše storitve*. Pridobljeno 20. 02. 2025 z naslova <https://www.vokasnaga.si/storitve>

Volvo Trucks. (2022). *Volvo FE Electric specifications*. Pridobljeno 17. 02. 2025 z naslova <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/volvo-fe/specifications.html>

World Economic Forum. (2021). *The future of mobility: Decarbonizing heavy-duty transport*. Pridobljeno 15. 02. 2025 z naslova <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-mobility-decarbonizing-heavy-duty-transport>

World Health Organization (WHO). (2022). *Air pollution and health*. Pridobljeno 20. 02. 2025 z naslova <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>

Zero Waste strategija – Občine Škofja Loka in Občine Železniki. (2021). Pridobljeno 22. 02. 2025 z naslova <https://loskoekolosko.si/zero-waste-strategija/>

PRILOGA

Priloga 1: Anketni vprašalnik

Spoštovani/a,

sem Alen Čosić, študent višješolskega študija B&B in pod mentorstvom mag. Braneta Lotriča pripravljam diplomsko delo z naslovom: Uporaba električnega smetarskega vozila v komunalnem podjetju.

Vljudno vas prosim za sodelovanje v raziskavi. Vprašalnik je anonimen, vse zbrane podatke bom uporabila izključno v diplomskem delu. Za vaše sodelovanje se Vam v naprej zahvaljujem.

S spoštovanjem,
Alen Čosić

Kateri dejavniki menite, da vplivajo na učinkovitost uporabe električnih tovornjakov v vašem podjetju? (Prosimo, označite vse, ki se vam zdijo ustrezni)

- ☐ Dostopnost polnilnih postaj
- ☐ Kapaciteta baterije
- ☐ Razdalja vožnje
- ☐ Operativni stroški
- ☐ Okoljski vpliv
- ☐ Drugo

Prosimo, ocenite svoje strinjanje s spodnjimi izjavami na lestvici od 1 do 5, kjer 1- sploh ne strinjam, 2- se ne strinjam, 3- niti se strinjam niti se ne strinjam, 4- se strinjam, 5- popolnoma se strinjam.

	1	2	3	4	5
1. Električni tovornjaki so prihodnost v industriji zbiranja komunalnih odpadkov.					
2. Uvedba električnih tovornjakov bi lahko zmanjšala negativni vpliv na okolje.					
3. Komunalno podjetje Kranj bi moralo dodeliti več sredstev za nakup električnih tovornjakov.					
4. Električni tovornjaki bi lahko zmanjšali stroške obratovanja Komunalnega podjetja Kranj.					
5. Električni tovornjaki bi lahko povečali učinkovitost zbiranja komunalnih odpadkov.					