

Električni autobusi u funkciji održivog razvoja

Kovačević, Tomislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:119:167437>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-19**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -
Institutional Repository](#)



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ELEKTRIČNI AUTOBUSI U FUNKCIJI ODRŽIVOG
RAZVOJA**
**ELECTRIC BUSES IN THE FUNCTION OF SUSTAINABLE
DEVELOPMENT**

Mentor: doc.dr.sc. Marijan Jakovljević

Student: Tomislav Kovačević

Komentor: Marko Švajda mag. ing. traff.

JMBAG:0135264063

Zagreb, rujan 2024.

SVEUCILISTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRSNI RAD

Zagreb, 11. lipnja 2024.

Zavod: **Zavod za prometno planiranje**
Predmet: **Ekologija u prometu**

ZAVRSNI ZADATAK br. 7520

Pristupnik: **Tomislav Kovacevic (0135264063)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Cestovni promet**

Zadatak: **Elektricni autobusi u funkciji održivog razvoja**

Opis zadatka:

U radu je potrebno analizirati razvijenost elektricnih autobusa kao i infrastrukture namijenjene elektricnim autobusima. Također je potrebno analizirati prednosti i nedostatke upotrebe elektricnih autobusa te analizirati utjecaj elektricnih autobusa na održivi razvoj gradova.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Marijan Jakovljević

Marko Svajda, mag. ing. traff. (komentor)

SAŽETAK

Ovaj rad istražuje razvoj, infrastrukturu, prednosti i nedostatke električnih autobusa, s posebnim naglaskom na njihov utjecaj na održivi razvoj. Električni autobusi predstavljaju važnu komponentu modernog javnog prijevoza zbog svojih ekoloških i ekonomskih prednosti. U radu se analiziraju povijesni razvoj električnih autobusa, trenutna infrastruktura za punjenje i tehnologije baterija, te prednosti i nedostaci koje donose. Posebna pažnja posvećena je smanjenju štetnog utjecaja na okoliš i problemima reciklaže baterija. Povijesni razvoj električnih autobusa obuhvaća razdoblje od ranih pokušaja do suvremenih tehnoloških napredaka. Infrastruktura potrebna za električne autobuse uključuje punionice, održavanje i logistiku, s posebnim naglaskom na tehnologiju baterija, njihove karakteristike, kapacitete i izazove. Analiziraju se prednosti, poput smanjenja emisija i nižih operativnih troškova, te nedostaci, kao što su visoki početni troškovi i ograničeni doseg. Utjecaj električnih autobusa na održivi razvoj uključuje smanjenje štetnih emisija i doprinos klimatskim ciljevima, kao i važnost i metode reciklaže baterija za minimiziranje negativnog ekološkog utjecaja. Cilj rada je pružiti sveobuhvatan pregled i evaluaciju električnih autobusa kao održivog rješenja za javni prijevoz.

KLJUČNE RIJEČI: Električni autobusi; infrastruktura punjena; baterije; održivi razvoj, reciklaža

SUMMARY

This paper explores the development, infrastructure, advantages and disadvantages of electric buses, with a particular focus on their impact on sustainable development. Electric buses represent an important component of modern public transport due to their environmental and economic advantages. The paper analyzes the historical development of electric buses, the current charging infrastructure and battery technologies, and the advantages and disadvantages they bring. Special attention is paid to reducing the harmful impact on the environment and the problems of battery recycling. The historical development of electric buses spans the period from early attempts to modern technological advances. The infrastructure required for electric buses includes charging stations, maintenance and logistics, with a special focus on battery technology, their characteristics, capacities and challenges. Advantages, such as reduced

emissions and lower operating costs, and disadvantages, such as high initial costs and limited reach, are analyzed. The impact of electric buses on sustainable development includes reducing harmful emissions and contributing to climate goals, as well as the importance and methods of battery recycling to minimize negative environmental impact. The aim of the paper is to provide a comprehensive overview and evaluation of electric buses as a sustainable solution for public transport.

KEYWORDS: Electric buses; charging infrastructure; batteries; sustainable development; recycling

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	POVIJEST RAZVOJA ELEKTRIČNIH AUTOBUSA	4
3.	INFRASTRUKTURA	11
3.1	Infrastruktura za punjenje	11
3.2	Baterije.....	16
4.	PREDNOSTI I NEDOSTACI ELEKTRIČNIH AUTOBUSA.....	21
5.	UTJECAJ NA ODRŽIVI RAZVOJ	26
5.1	Smanjenje štetnog utjecaja	30
5.2	Reciklaža baterija	32
6.	ZAKLJUČAK	40
	LITERATURA.....	41
	POPIS SLIKA	47
	POPIS TABLICA.....	47
	POPIS GRAFIKONA	47

1. UVOD

Predmet ovog rada je istraživanje električnih autobusa kao održive alternative tradicionalnim dizelskim autobusima u javnom prijevozu. Električni autobusi predstavljaju značajan tehnološki napredak u urbanom transportu, nudeći potencijal za smanjenje emisija stakleničkih plinova, poboljšanje kvalitete zraka i smanjenje buke. Ovaj rad nastoji pružiti sveobuhvatan pregled različitih aspekata povezanih s električnim autobusima, uključujući povijest razvoja, infrastrukturu potrebnu za njihovu implementaciju, prednosti i nedostatke, te njihov utjecaj na održivi razvoj. Povijesni pregled razvoja električnih autobusa uključuje analizu njihovih tehničkih evolucija i promjena u dizajnu kroz desetljeća. Rad obuhvaća ključne faze razvoja, od prvih prototipova do modernih vozila, te istražuje kako su inovacije u baterijskim tehnologijama, elektromotorima i sustavima upravljanja unaprijedile performanse i efikasnost električnih autobusa. Rad detaljno istražuje infrastrukturu potrebnu za učinkovito punjenje električnih autobusa. To uključuje analizu različitih vrsta punionica, poput sporih, brzih i ultra-brzih, te njihove tehničke specifikacije i zahtjeve za instalaciju. Također, razmatraju se strategije za optimizaciju lokacija punionica kako bi se maksimizirala operativna efikasnost voznog parka i minimizirali zastoji.

Jedan od ključnih aspekata električnih autobusa je tehnologija baterija, koju rad detaljnije istražuje detaljno istražiti. Rad istražuje različite tipove baterija koje se koriste u električnim autobusima, s naglaskom na litij-ionske baterije koje su trenutno najzastupljenije. Analiziraju se karakteristike baterija kao što su energetska gustoća, kapacitet, vrijeme punjenja, trajnost i ekološki utjecaj proizvodnje i odlaganja. Također, razmatraju se napredci u tehnologijama baterija, uključujući baterije s čvrstim elektrolitom (eng. *solid-state*) i druge inovacije koje mogu dodatno unaprijediti performanse električnih autobusa.

Prednosti električnih autobusa su detaljno opisane, uključujući smanjenje emisija stakleničkih plinova, poboljšanje kvalitete zraka u urbanim sredinama, smanjenje operativnih troškova i buke, te povećanje energetske učinkovitosti. Svaka od ovih prednosti je potkrijepljena relevantnim istraživanjima i studijama slučaja. Iako električni autobusi nude mnoge prednosti, postoje i određeni nedostaci koji su razmotreni u radu. To uključuje visoke početne troškove nabavke, ograničeni domet između punjenja, potrebu za razvijenom infrastrukturom za punjenje, duže vrijeme punjenja i ekološke probleme povezane s

proizvodnjom i reciklažom baterija. Analiza ovih izazova pomaže u razumijevanju prepreka za širu primjenu električnih autobusa i mogućih rješenja.

Rad istražuje kako električni autobusi doprinose održivom razvoju. To uključuje smanjenje štetnog utjecaja na okoliš kroz smanjenje emisija i zagađenja, te mogućnosti za reciklažu i ponovnu upotrebu baterija. Posebna pažnja je posvećena analiziranju kako prelazak na električne autobuse može pomoći u postizanju ciljeva održivog razvoja na lokalnoj, nacionalnoj i globalnoj razini. Cilj rada je istražiti i analizirati različite aspekte električnih autobusa, uključujući njihovu povijest, infrastrukturne zahtjeve, prednosti, nedostatke i utjecaj na održivi razvoj. Poseban naglasak stavljen je na razumijevanje kako električni autobusi mogu doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i poboljšanju kvalitete zraka, te na identifikaciju izazova vezanih uz njihovu implementaciju.

Cilj ovog rada je pružiti nekoliko ključnih stručnih doprinosa. Kroz temeljitu analizu prednosti i nedostataka električnih autobusa, rad nudi uravnotežen pogled na njihove koristi i izazove. Ova evaluacija može pomoći donositeljima odluka u razumijevanju kompromisa i potencijalnih prepreka pri prelasku na električne autobuse. Rad istražuje kako električni autobusi doprinose smanjenju emisija stakleničkih plinova, poboljšanju kvalitete zraka i smanjenju buke u urbanim sredinama. Ovaj doprinos je ključan za oblikovanje politika i strategija koje promiču održivi razvoj i zelene tehnologije u javnom prijevozu. Rad postavlja temelje za buduća istraživanja električnih autobusa, posebno u kontekstu novih tehnologija baterija, optimizacije infrastrukture za punjenje i integracije s obnovljivim izvorima energije. Predložene istraživačke smjernice mogu potaknuti akademsku zajednicu i industriju na daljnje inovacije. Pružajući podatke i analize o utjecaju električnih autobusa na smanjenje emisija stakleničkih plinova i poboljšanje kvalitete zraka, rad može podržati lokalne i globalne inicijative za borbu protiv klimatskih promjena i unapređenje urbanih sredina. Očekuje se da su ovi doprinosi korisni za akademsku zajednicu, donositelje politika, stručnjake iz industrije javnog prijevoza i organizacije koje se bave zaštitom okoliša, pružajući im informacije i alate potrebne za promicanje i implementaciju električnih autobusa kao održivog rješenja za javni prijevoz.

Rad je temeljen na kompilaciji postojećih radova, odnosno na kompilaciji do sad poznatih spoznaja o električnim autobusima. Podaci korišteni u ovom radu prikupljeni su iz različitih izvora, uključujući znanstvene članke, studije, izvještaje industrije, te tehničke dokumentacije proizvođača električnih autobusa i infrastrukture za punjenje. Sekundarni

podaci na kojima se temelji teorijski dio rada prikupljeni su sustavnim proučavanjem stručne literature relevantne za tematiku rada i to dostupnim bazama sekundarnih podataka. Metode prikupljanja podataka uključuju pregled literature, analizu sekundarnih podataka i studije slučaja iz različitih gradova koji su implementirali električne autobuse. Kombiniranjem ovih metoda, rad nastoji pružiti cjelovitu i temeljitu analizu teme.

S ciljem ostvarivanja ciljeva ovog istraživanja, primijenjene su metode prikupljanja podataka, metode analize i sinteze, metoda deskripcije, metoda komparacije, kompilacije i metoda dedukcije kao i metoda anketiranja. Metoda prikupljanja podataka vezana je uz prikupljanje dostupne literarne građe. Metoda analize se koristi za raščlanjivanje općih ideja i sudova na pojedine elemente u odnosu na cjelinu, a rezultati se metodom sinteze ponovno stvaraju u novu cjelinu. Metoda deskripcije se odnosi na teoretske analize i opisivanje dok se metodom kompilacije preuzimaju tuđi rezultati i zaključci. Deduktivna metoda se koristi za donošenje pojedinačnih zaključaka koji proizlaze iz općih sudova.

Rad je koncipiran kroz 6 glavnih poglavlja, a koja su:

1. Uvod
2. Povijesni razvoj električnih autobusa
3. Infrastruktura
4. Prednosti i nedostaci
5. Utjecaj na održivi razvoj
6. Zaključak.

U uvodu je definiran predmet i cilj rada, metode prikupljanja podataka i strukturu rada. Prvo poglavlje opisuje povijest razvoja električnih autobusa. Prikazuje se evolucija električnih autobusa od njihovih početaka do današnjih dana. U drugom poglavlju se opisuje infrastruktura potrebna za električne autobuse, uključujući infrastrukturu za punjenje i tehnologiju baterija. Treće poglavlje opisuje prednosti i nedostatke. Pruža detaljan pregled prednosti i nedostataka električnih autobusa u usporedbi s tradicionalnim dizelskim autobusima. Posljednje poglavlje istražuje kako električni autobusi doprinose održivom razvoju, uključujući smanjenje štetnog utjecaja na okoliš i izazove reciklaže baterija. Na kraju rada se iznosi zaključak. Sažimaju se glavni nalazi rada i pružaju preporuke za buduća istraživanja i praksu.

2. POVIJEST RAZVOJA ELEKTRIČNIH AUTOBUSA

Razvoj električnih autobusa proteže se kroz više od jednog stoljeća, od njihovih ranih dana do modernih tehnoloških dostignuća. Postojeća literatura pruža sveobuhvatan pregled razvoja električnih autobusa, naglašavajući ključne tehnološke i ekološke aspekte kroz različita razdoblja. Prvi električni autobusi pojavili su se krajem 19. stoljeća. Električni tramvaji i autobusi bili su prisutni u mnogim gradovima prije nego što su se pojavila vozila s unutarnjim sagorijevanjem. Električni tramvaji i autobusi bili u upotrebi u nekoliko europskih gradova tijekom ovog razdoblja, ali su imali ograničenu autonomiju zbog slabih baterija i nedostatka infrastrukture za punjenje. [1]

Prvi električni autobus razvio je Werner von Siemens u Berlinu, Njemačka, 1882. godine. Poznato kao "Elektromote", ovo se vozilo napajalo nadzemnim žicama i označilo je početak tehnologije električnih autobusa. Međutim, tek je 1907. pokrenut prvi električni autobus na baterije. Tvrtka London Electrobuses upravljala je ovim autobusima, koji su vozili na baterije, duž rute u Londonu. Ova usluga, iako kratkog vijeka zbog financijskih problema, postavila je pozornicu za budućnost električnih autobusa. [2]

Ponovni interes za električne autobuse pojavljuje se tijekom 1960-ih i 1970-ih godina, uglavnom zbog zabrinutosti za životnu sredinu i rastuće cijene nafte. Tijekom ovog perioda mnogi su gradovi eksperimentirali s električnim autobusima, ali su se suočili s tehničkim i ekonomskim izazovima, poput ograničenog dometa i visokih troškova baterija [3].

Devedesete godine donose značajne tehnološke napretke u baterijama i elektronici, što omogućava razvoj efikasnijih i pouzdanijih električnih autobusa. Litijum-jonske baterije su razvijene tijekom ovog razdoblja, omogućile duži domet i bolje performanse električnih vozila, uključujući autobuse [4]. Početak 21. stoljeća obilježava masovna proizvodnja i komercijalizacija električnih autobusa. Bilježi se da je sve veći broj gradova širom svijeta počeo uvoditi električne autobuse u svoje vozne parkove zbog njihovih ekoloških prednosti i poboljšane tehnologije baterija [5].

Od 2010. godine do danas dolazi do globalne ekspanzije električnih vozila, zahvaljujući značajnim poboljšanjima u tehnologiji baterija, smanjenju troškova i povećanoj podršci vlada za zelene tehnologije. Ova kombinacija faktora omogućila je brži razvoj i implementaciju električnih vozila u različitim sektorima, uključujući javni prijevoz. Električna vozila

identificirana su kao ključno rješenje za postizanje javnog prijevoza bez fosilnih goriva [6] i odskočna daska prema potpunoj održivosti [7].

Električni autobus je svako vozilo koje za pogon i pomoćne sustave koristi isključivo električnu energiju bez emisija [8]. Izvori električne energije mogu uključivati ugrađene baterije, vodikove gorivne ćelije (engl. *fuel cells*), nadzemne vodove kao kod trolejbusa, ili zemaljske bežične vodiče [9]. Svaka od ovih opcija može se dopuniti mogućnošću ponovnog punjenja, koristeći ugrađene sustave poput solarnih panela ili vanjskih punjača i skladišnih baterija. Autobusi se mogu puniti na priključnim stanicama ili posebnim bežičnim punjačima.

Većina električnih autobusa su vozila na baterije, gdje motor dobiva energiju iz ugrađenih baterija. Prvi ovakvi autobusi bili su manji, kao što su *mini* ili *midi* busevi. Glavni nedostatak baterijskih električnih autobusa u usporedbi s dizel motorima je njihov ograničen domet po jednom punjenju. Ipak, od 2010. godine, tehnologija baterija je znatno napredovala zahvaljujući upotrebi litij-titanat baterija. Ovo je omogućilo proizvodnju baterijskih autobusa većih dimenzija, uključujući standardne autobuse dužine 12 metara i zglobne autobuse. [10]

Od 2018. godine, električni autobusi na baterije mogu prijeći više od 280 km s jednim punjenjem, iako se taj domet može smanjiti u uvjetima ekstremnih temperatura i brdovitog terena. Zbog ograničenog dometa, njihova upotreba je uglavnom ograničena na urbana područja. Operativni zahtjevi električnih autobusa nalažu ugradnju većih baterija u usporedbi s drugim vrstama električnih vozila, pa za brzo punjenje može biti potrebno od desetak minuta do nekoliko sati [11].

U Europi, mnogi gradovi ulažu značajna sredstva u elektrifikaciju svojih voznih parkova. Na primjer, Amsterdam ima ambiciozan plan za prelazak na potpuno električni javni prijevoz do 2025. godine. Većina autobusa u gradu već je električna. London ima jedan od najvećih voznih parkova električnih autobusa u Europi, sa stotinama autobusa koji već rade i planovima za daljnje proširenje. Pariz ulaže u električne autobuse kao dio strategije za smanjenje zagađenja i poboljšanje kvaliteta zraka. Do 2025. godine, cilj je da značajan dio autobusnog voznog parka bude električan. [12]

U Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi, nekoliko gradova vodi u implementaciji električnih autobusa. Los Angeles planira da do 2030. godine svi autobusi budu električni. Grad je već počeo s integracijom stotina električnih autobusa u svoj vozni park. New York City planira da do 2040. godine svi autobusi budu električni, s tim da je već nekoliko desetina

električnih autobusa u upotrebi. Toronto je jedan od kanadskih gradova koji intenzivno investira u električne autobuse i infrastrukturu za njihovo punjenje. Grad Seoul ima plan za značajno povećanje broja električnih autobusa u narednim godinama. Trenutno, grad već koristi električne autobuse na nekim linijama. Tokyo ulaže u električne autobuse, posebno u kontekstu priprema za Olimpijske igre i kao dio šireg napora za smanjenje emisija. [13]

Kina prednjači u primjeni električnih autobusa, s desetinama tisuća ovih vozila širom zemlje, što predstavlja veliki dio svjetske flote. Kineski gradovi, poput Shenzhena, koji je prvi grad na svijetu s potpuno elektrificiranim autobusnim voznom parkom, demonstriraju sposobnost Kine da predvodi u ovoj tranziciji [14].

U nastojanju da kontrolira onečišćenje zraka u ovoj golemoj industrijskoj regiji, grad je 2009. godine počeo uvoditi električne autobuse. Sada je postao prvi grad koji je elektrificirao 100 % svojih javnih autobusa. To je najveći ekološki prihvatljiv autobusni vozni park na svijetu [15]. Shenzhen je izbacio dizelske autobuse i postao potpuno električni, a njegova taksi flota ne zaostaje mnogo. Drugi kineski gradovi su nakon toga slijedili primjer, a mnogi imaju za cilj potpuno promijeniti svoje sustave prije 2025.

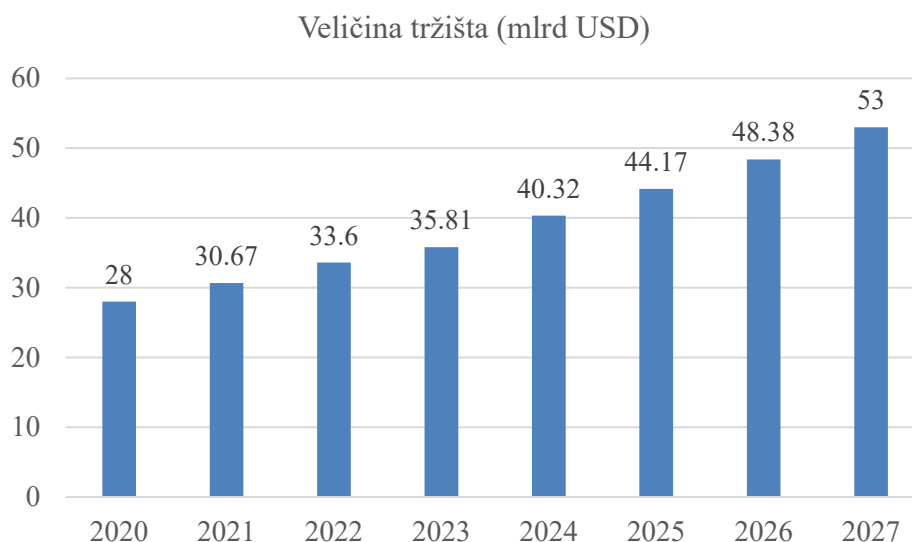
Slijedi prikaz električnih autobusa u gradu Shenzhen.



Slika 1. Dio voznog parka kineskog grada Shenzhena

Izvor: [15]

Kako Shenzhen također, sve svoje taksije pretvara u električne, drugi kineski gradovi počinju slijediti taj primjer, zamjenjujući vozne parkove autobusima na plin. Na svakih 1000 električnih autobusa, prema izvješću, globalna potražnja za gorivom pada za oko 500 barela dnevno. Kina vodi revoluciju zelenog tranzita uglavnom zato što mora. Kolosalni gradovi i industrijske zone u zemlji neka su od najzagađenijih mjesta na svijetu. Vrijedno je napomenuti da unatoč ogromnom broju električnih i hibridnih autobusa, oni još uvijek čine samo 17 % ukupne flote zemlje. Shenzhen je jedan od samo nekoliko gradova u Kini koji je dramatično smanjio zagađenje zraka, a vlada velik dio tog napretka pripisuje elektrifikaciji autobusa. U nastavku se prikazuje projekcija veličine tržišta električnih autobusa diljem svijeta između 2020. i 2027. (u milijardama američkih dolara). [16]



Grafikon 1. Projekcija veličine tržišta električnih autobusa diljem svijeta između 2020. i 2027. (u milijardama američkih dolara)

Izvor: [16]

Grafikon 1. prikazuje rast tržišta električnih autobusa od 2020. do 2027. godine, izražen u milijardama američkih dolara. Predviđa se da će do 2027. tržište električnih autobusa iznositi oko 53 milijarde američkih dolara. To predstavlja ukupnu godišnju stopu rasta od oko 9,5 posto tijekom sedam godina, u odnosu na nekih 28 milijardi američkih dolara u 2020. Taj je rast djelomično generiran pomakom prema propisima o emisijama od strane nacionalnih vlada. [16]

Grafikon jasno pokazuje konstantan rast tržišta električnih autobusa tijekom sedmogodišnjeg perioda. Početna tržišna veličina od 28 milijardi dolara u 2020. godini raste svake godine, dostigavši 53 milijarde dolara do 2027. godine. Ovaj rast odražava sve veći interes i ulaganja u električne autobuse kao održivo rješenje za javni prijevoz. Ključni razlozi rasta su [16]:

1. Ekološka regulativa: Sve stroži ekološki propisi i ciljevi smanjenja emisija stakleničkih plinova prisiljavaju gradove i države da prelaze na ekološki prihvatljivije oblike prijevoza, uključujući električne autobuse.
2. Napredak tehnologije: Tehnološki napredak u baterijama i stanicama za punjenje čini električne autobuse efikasnijima i ekonomičnijima.
3. Financijska potpora: Vlade mnogih zemalja nude subvencije i druge financijske poticaje za kupovinu električnih vozila, što dodatno potiče rast tržišta.

4. Javno zdravlje: Smanjenje zagađenja zraka ima direktan pozitivan utjecaj na javno zdravlje, što je dodatni motiv za gradove da investiraju u električne autobuse.

Ovaj kontinuirani rast tržišta električnih autobusa pokazuje da će oni igrati sve značajniju ulogu u globalnom javnom prijevozu, doprinoseći smanjenju zagađenja i poboljšanju kvaliteta zraka u urbanim sredinama.

Električni autobusi ne samo da smanjuju emisiju stakleničkih plinova, već također doprinose smanjenju zagađenja zraka u urbanim sredinama, što ima značajne pozitivne efekte na javno zdravlje [17]. Nadalje, prema istraživanju tehnološki napredak u proizvodnji baterija, uključujući smanjenje troškova proizvodnje, dodatno je ubrzao usvajanje električnih vozila u javnom prijevozu [18].

Jasno je da je vladina podrška kroz subvencije, olakšice i razvoj infrastrukture za punjenje ključna za uspješnu integraciju električnih autobusa u javni prijevoz. Kineska vlada, na primjer, pruža značajne subvencije za kupovinu električnih autobusa i ulaže u infrastrukturu za punjenje, što je omogućilo bržu tranziciju ka zelenijem transportnom sustavu. Naglašava se svakako, važnost vladine podrške za uspješnu integraciju električnih autobusa u javni prijevoz, posebno kroz subvencije, porezne olakšice i razvoj infrastrukture za punjenje. Ova podrška omogućava smanjenje inicijalnih troškova nabavke električnih vozila i osigurava potrebnu infrastrukturu za njihovo svakodnevno korištenje. [19]

Kineska vlada predstavlja izvanredan primjer kako strateška vladina intervencija može ubrzati tranziciju prema zelenijem transportnom sustavu. Kroz značajne subvencije za kupovinu električnih autobusa, kineska vlada smanjuje financijski teret za prijevoznike, čime postaje ekonomski isplativije prelazak na električna vozila. Uz to, ulaganja u infrastrukturu za punjenje, kao što su stanice za brzo punjenje, osiguravaju da operateri mogu efikasno koristiti vozila bez dugih zastoja za punjenje. Ovakvi naponi su rezultirali bržom i efikasnijom integracijom električnih autobusa u javni prijevoz u Kini, što doprinosi smanjenju emisija štetnih plinova i poboljšanju kvalitete zraka u urbanim područjima.

Primjer Kine može poslužiti kao model za druge zemlje koje teže smanjenju emisija i unaprjeđenju održivosti u javnom prijevozu. Vladina podrška kroz financijske i infrastrukturne mjere pokazuje se ključnom za prevladavanje početnih prepreka i poticanje široke primjene ekološki prihvatljivih tehnologija u transportu.

Globalna ekspanzija električnih autobusa predstavlja važan korak ka smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima i ublažavanju klimatskih promjena, pri čemu Kina prednjači kao svjetski lider u ovoj tehnologiji. Predviđa se da će električni autobusi nastaviti rasti u svojoj popularnosti, posebno s daljim razvojem tehnologija baterija i obnovljivih izvora energije. Uvođenje novih tehnologija kao što su baterije s čvrstim elektrolitom i punjenje indukcijom će dodatno poboljšati efikasnost i održivost električnih autobusa u budućnosti. [20]

Tablica 1. M3 vozila po županijama na električni i hibridni pogon u 2023. godini

Županija	Vrsta vozila	Električna energija	Hibridno vozilo
ZAGREBAČKA	M3	0	0
KRAPINSKO-ZAGORSKA	M3	0	0
SISAČKO-MOSLAVAČKA	M3	0	0
KARLOVAČKA	M3	0	0
VARAŽDINSKA	M3	0	0
KOPRIVNIČKO-KRIŽEVAČKA	M3	0	0
BJELOVARSKO-BILOGORSKA	M3	0	0
PRIMORSKO-GORANSKA	M3	0	0
LIČKO-SENJSKA	M3	0	0
VIROVITIČKO-PODRAVSKA	M3	0	0
POŽEŠKO-SLAVONSKA	M3	0	0
BRODSKO-POSAVSKA	M3	0	0
ZADARSKA	M3	0	0
OSJEČKO-BARANJSKA	M3	0	0
ŠIBENSKO-KNINSKA	M3	0	10
VUKOVARSKO-SRIJEMSKA	M3	0	0
SPLITSKO-DALMATINSKA	M3	0	0
ISTARSKA	M3	0	0
DUBROVAČKO-NERETVANSKA	M3	0	0
MEDIMURSKA	M3	0	0
GRAD ZAGREB	M3	2	0

Izvor: [21]

3. INFRASTRUKTURA

3.1 Infrastruktura za punjenje

Infrastruktura za punjenje električnih autobusa ključna je komponenta za uspješnu integraciju ovih vozila u javni prijevoz. Ova infrastruktura uključuje različite tehnologije i sustave koji omogućuju brzo i efikasno punjenje velikih baterija koje pogone električne autobuse. Električni autobusi koriste različite metode punjenja, od kojih svaka ima svoje prednosti i mane. Infrastruktura za punjenje električnih autobusa predstavlja ključni faktor u njihovoj široj primjeni i održivosti. Efikasno planiranje i implementacija punionica direktno utječu na operativne performanse, ekonomske koristi i ekološki učinak električnih autobusa. Postoje tri glavne vrste infrastrukture za punjenje električnih autobusa, a to su plug-in sustavi, punjenje s pomoću provodnog pantografa (nadzemno), induktivno punjenje. [20]

Glavne vrste punjenja koje se koriste:

1. *Plug-in* punjenje:

- Opis: Najčešći i najekonomičniji način punjenja. Ovaj sistem koristi kabel koji se povezuje između autobusa i punjača.
- Prednosti: Fleksibilnost u brzini punjenja (od sporog do brzog punjenja), relativno jednostavna i jeftina infrastruktura.
- Nedostaci: Potrebno je vrijeme da se autobus priključi i odvoji od punjača, što može smanjiti operativnu efikasnost [22].

2. Pantografsko (nadzemno) punjenje:

- Opis: Koristi pantograf koji se podiže s krova autobusa i povezuje s nadzemnim kontaktima na stanicama za punjenje.
- Prednosti: Brzo punjenje, pogodno za punjenje na krajnjim stanicama ili tijekom kratkih pauza između vožnji.
- Nedostaci: Visoki troškovi instalacije, potrebna specifična infrastruktura na lokacijama za punjenje [23].

3. Induktivno (bežično) punjenje:

- Opis: Koristi elektromagnetsku indukciju za bežični prijenos energije između podzemnih predajnika i prijemnika u vozilu.
- Prednosti: Ne zahtijeva fizičko povezivanje, što smanjuje trošenje i olakšava automatsko punjenje.

- Nedostaci: Niža efikasnost u usporedbi s direktnim povezivanjem, visoki troškovi instalacije, potrebna precizna poravnanja između predajnika i prijemnika.

Svaka vrsta punjenja ima svoje specifične primjene, prednosti i izazove, te se često biraju prema specifičnim operativnim potrebama i infrastrukturi dostupnoj u određenom području. Različite tehnike punjenja su u različitim fazama tehnološke zrelosti.

Tradicionalno *plug-in* punjenje je najčešći i najekonomičniji način punjenja za električne autobuse. Ova metoda nudi različite opcije, od sporog do brzog punjenja. Konduktivno punjenje, kod kojeg postoji izravan fizički kontakt kojim se električna energija prenosi na krajnjim stanicama, trenutno je najraširenija tehnologija za koju je relativno lako procijeniti troškove.



Slika 2. Plug in punjenje

Izvor: [24]

Pantograf punjenje omogućava brzo punjenje tijekom kratkih zaustavljanja na stanicama, čime se produžava autonomija autobusa bez potrebe za dugim stajanjem. Pantografsko (nadzemno) punjenje postaje sve popularnije kod novih flota električnih autobusa u Europi i SAD-u. Ova tehnologija, kao i *plug-in* punjenje, omogućava različite brzine punjenja, a najefikasnije je za brzo punjenje. Pantografsko punjenje se najčešće koristi za punjenje manjih baterija. Utvrđeno je da pantografski i bežični punjači imaju niske zahtjeve za kapacitet ugrađenih baterija kod električnih autobusa, ali su manje fleksibilni, ograničeni dostupnim prostorom i regulacijama lokalnih vlasti. [25]



Slika 3. Pantograf punjenje

Izvor: [26]

Induktivno punjenje je rješenje za punjenje s malim vizualnim učinkom. Ovdje se električna energija prenosi s pomoću elektromagnetskih polja umjesto fizičkog kontakta. Oprema je montirana ispod površine ceste i ispod autobusa. To je razumno u okruženjima gdje je prisutnost infrastrukture za punjenje osjetljivo pitanje. Međutim, trenutno postoji vrlo malo terenskih ispitivanja s induktivnim punjenjem iz kojih se mogu izvući iskustva, a troškovi su vrlo neizvjesni. Bežično punjenje predstavlja najskuplju opciju za punjenje električnih vozila i trenutno se koristi samo u pilot projektima koji uključuju električne autobuse. Ova tehnologija omogućava punjenje bez potrebe za fizičkim priključivanjem vozila na punjač, što znači da se energija prenosi preko elektromagnetskih polja [27].



Slika 4. Induktivno punjenje

Izvor: [28]

Postoje dvije glavne vrste bežičnog punjenja: stacionarno i dinamičko. Stacionarno bežično punjenje je već dostupno i koristi se kada je vozilo parkirano ili stacionirano na određenoj lokaciji. Ovo je praktično za mjesta kao što su terminali autobusa ili specifične stanice za punjenje, gdje vozila mogu redovno pristupati i puniti se bez potrebe za manualnim povezivanjem [27].

S druge strane, dinamičko bežično punjenje je još uvijek u fazi demonstracije. Ova tehnologija omogućava punjenje vozila dok su u pokretu, što bi teoretski moglo omogućiti neprekidno punjenje tijekom vožnje, na primjer, dok autobus prolazi određenim dijelovima puta opremljenim bežičnim punjačima ispod površine ceste. Iako obećava povećanje efikasnosti i fleksibilnosti u punjenju, dinamičko bežično punjenje je još uvijek u ranoj fazi razvoja i testiranja. Slično kao kod punjenja putem pantografa, bežično punjenje može ponuditi različite brzine punjenja. Pantograf je sustav gdje se metalne ruke povezuju s naponskim vodom iznad ili ispod vozila, omogućavajući brzo i efikasno punjenje. Brzine punjenja bežičnih sustava mogu varirati zavisno od tehnologije i konfiguracije, ali jedno je jasno, brzo punjenje je optimalno za baterije. Brzo punjenje omogućava da vozila provode manje vremena van operacije i više vremena u upotrebi, što je posebno važno za vozila koja su stalno u pokretu, kao što su autobusi. Međutim, unatoč svim prednostima, visoki troškovi implementacije bežičnog punjenja i dalje predstavljaju značajnu prepreku za širu primjenu ove tehnologije.

Pilot projekti i demonstracije pomažu u procjeni održivosti i efikasnosti bežičnog punjenja, ali će biti potrebne značajne investicije i daljnji razvoj tehnologije prije nego što postane široko prihvaćena i korištena u svakodnevnom transportu [27].

Efikasno planirana i strateški raspoređena infrastruktura za punjenje omogućava električnim autobusima da održavaju redovan raspored vožnje bez dužih prekida. Ovo uključuje punionice na terminalima, stanicama i depoima koje omogućavaju brzo i praktično punjenje. Prema istraživanju optimalno postavljena mreža punionica može minimizirati vrijeme čekanja i povećati ukupnu efikasnost voznog parka [29].

Integracija infrastrukture za punjenje s obnovljivim izvorima energije, poput solarnih ili vjetroelektrana, može dodatno smanjiti ugljični otisak električnih autobusa. Ovo omogućava korištenje zelene energije za punjenje vozila, što doprinosi održivijem transportnom sustavu. Studija naglašava značaj korištenja obnovljivih izvora za punjenje električnih vozila, čime se dodatno smanjuju emisije stakleničkih plinova [30].

Iako inicijalna investicija u infrastrukturu za punjenje može biti visoka, dugoročne ekonomske koristi uključuju niže troškove goriva i održavanja. Električna energija je često jeftinija od fosilnih goriva, a električni autobusi imaju manje pokretnih dijelova, što smanjuje troškove održavanja. Dobro planirana infrastruktura za punjenje može značajno smanjiti operativne troškove u dugom roku [29]. Razvoj infrastrukture za punjenje električnih autobusa doprinosi poboljšanju kvaliteta života u urbanim sredinama smanjenjem buke i zagađenja zraka.

Jedan od glavnih izazova u implementaciji infrastrukture za punjenje je potreba za velikim početnim ulaganjima i prilagođavanjem postojeće električne mreže. Također, postoji potreba za standardizacijom punjača i tehnologija kako bi se omogućila interoperabilnost između različitih sistema i proizvođača. Ipak, s napretkom tehnologije i povećanjem broja električnih vozila, očekuje se da će troškovi implementacije infrastrukture opadati, dok će njena efikasnost rasti.

Grad Shenzhen u Kini je odličan primjer uspješne implementacije infrastrukture za punjenje električnih autobusa. Shenzhen ima preko 16.000 električnih autobusa i opsežnu mrežu punjača koja uključuje depo punjače i brze punjače postavljene na strateškim lokacijama diljem grada. Prema podacima, Shenzhen ima preko 8.000 punionica za električne autobuse,

što omogućuje efikasno upravljanje velikim voznim parkom i održavanje visokog stupnja operativnosti.

Nadalje se prikazuje punionica električnih autobusa.



Slika 5. Punjenje električnih autobusa

Izvor: [31]

Na slici su prikazani električni autobusi koji se pune na stanicama za punjenje. Autobusi su parkirani u nizu, a svaki je povezan kabelom za punjenje koji vodi do stacionarne stanice za punjenje. Ova stanica je natkrivena kako bi se oprema i vozila zaštitili od vremenskih uvjeta. Električni autobusi su plave boje, a stanice za punjenje su također, pretežno plave boje. Ova slika ilustrira praktičan aspekt infrastrukturne podrške koja je ključna za održavanje voznog parka električnih autobusa, omogućavajući im redovnu upotrebu i doprinos održivom javnom prijevozu.

3.2 Baterije

Električni autobusi koriste nekoliko vrsta baterija, od kojih svaka ima svoje prednosti i nedostatke. Najčešći tipovi baterija koje se koriste su [32], [33]:

1. Litij-ionske (Li-ion) baterije:
 - Opis: Najraširenija vrsta baterija u električnim autobusima, poznata po visokoj energetske gustoći i dugotrajnosti.

- Prednosti: Visoka energetska gustoća, relativno duga vijek trajanja (do 20 godina), i stalna tehnološka poboljšanja koja povećavaju kapacitet i smanjuju težinu baterija.
 - Nedostaci: Proizvodnja je energetske intenzivna, a recikliranje je izazovno, iako se postižu veliki napreci u reciklažnim tehnologijama.
2. Litij-željezo-fosfat (LiFePO₄) baterije:
- Opis: Ove baterije su poznate po svojoj sigurnosti i dugotrajnosti.
 - Prednosti: Veća sigurnost u usporedbi s drugim litij-ionskim baterijama, stabilnija kemija koja smanjuje rizik od požara, dug radni vijek.
 - Nedostaci: Manja energetska gustoća u usporedbi s drugim litij-ionskim baterijama, što može značiti kraći domet za iste dimenzije baterija.
3. Litij-titanat (LTO) baterije:
- Opis: Ove baterije koriste litij-titanat kao anodni materijal, što omogućava vrlo brze cikluse punjenja i pražnjenja.
 - Prednosti: Ekstremno brzo punjenje, dug vijek trajanja s velikim brojem ciklusa punjenja/pražnjenja, stabilnost i sigurnost.
 - Nedostaci: Niža energetska gustoća u usporedbi s tradicionalnim litij-ionskim baterijama, što zahtijeva veće i teže baterije za isti kapacitet.
4. Nikal-metal-hidridne (NiMH) baterije:
- Opis: Ove baterije su bile popularne u ranijim fazama razvoja električnih vozila.
 - Prednosti: Bolja ekološka prihvatljivost u odnosu na olovno-kiselinske baterije, dobra otpornost na pretjerano punjenje i pražnjenje.
 - Nedostaci: Manja energetska gustoća i kraći vijek trajanja u usporedbi s modernijim litij-ionskim baterijama.

Svaka od ovih baterija ima specifične primjene i može biti odabrana na temelju specifičnih zahtjeva vozila i operativnih potreba. Razvoj i inovacije u baterijskim tehnologijama nastavljaju se ubrzano, što doprinosi sve većoj efikasnosti i održivosti električnih autobusa. Baterije koje se koriste u električnim autobusima trebaju biti visoke energetske gustoće, dugog vijeka trajanja i sposobne za brzo punjenje. Najčešće korištene vrste baterija su litij-ionske baterije.

Litij-ionske baterije pružaju visoku energetske gustoću, što znači da mogu pohraniti veliku količinu energije u relativno malom volumenu i masi. Ovo je ključno za električne

autobuse iz nekoliko razloga. Prije svega, osigurava se veći domet između punjenja. Veća energetska gustoća omogućuje da autobusi prijeđu veće udaljenosti na jednom punjenju, što je važno za održavanje operativnosti tijekom cijelog dana bez potrebe za čestim punjenjem. Ova karakteristika omogućuje autobusima da pokrivaju duže rute i smanjuje potrebu za velikim brojem punionica. Također, smanjuje se težina i prostor. Visoka energetska gustoća omogućuje korištenje manjih i lakših baterija, što smanjuje ukupnu težinu vozila i oslobađa prostor za putnike ili dodatnu opremu. To također, doprinosi boljoj učinkovitosti vozila jer smanjenje težine povećava energetska učinkovitost.

Litij-ionske baterije koriste kemijske procese koji omogućuju skladištenje velike količine energije u kompaktnim veličinama. Ove baterije sastavljene su od ćelija koje sadrže litij-ionske elektrode i elektrolit koji omogućuju prijenos iona između elektroda tijekom punjenja i pražnjenja. Tehnološki napredak omogućio je povećanje gustoće energije, čime se smanjuje potreban volumen i težina baterija, što je osobito važno za vozila kao što su električni autobusi koji zahtijevaju velike kapacitete energije za rad [32].

Tehnološki napredak omogućuje litij-ionskim baterijama brzo punjenje, što je ključna prednost za električne autobuse. Osigurava se smanjenje vremena zastoja. Brzo punjenje smanjuje vrijeme koje autobusi provode izvan operacije zbog punjenja. To je posebno važno za autobuse u javnom prijevozu koji imaju stroge rasporede i moraju osigurati kontinuiranu uslugu. Isto tako, postiže se fleksibilnost u operacijama. Autobusi mogu iskoristiti kratka zaustavljanja na krajnjim stanicama ili tijekom pauza za brzo punjenje, čime se povećava njihova operativna fleksibilnost i učinkovitost [32]. Ove baterije su dizajnirane da podnose visoke struje punjenja bez značajnog gubitka učinkovitosti ili oštećenja ćelija. Sustavi za brzo punjenje, poput DC brzih punjača, mogu u kratkom razdoblju nadopuniti značajan dio kapaciteta baterije. To se postiže korištenjem visokih napona i struja, uz napredne metode upravljanja toplinom kako bi se spriječilo pregrijavanje i osigurao siguran proces punjenja.

Prema istraživanju napredne litij-ionske baterije s visokim omjerom kapaciteta prema težini omogućuju značajna poboljšanja u performansama električnih vozila, uključujući autobuse [34]. Istraživanje naglašava da brzo punjenje litij-ionskih baterija može značajno poboljšati efikasnost operacija električnih autobusa, omogućujući im da bolje zadovolje zahtjeve javnog prijevoza [35].

Litij-ionske baterije imaju dug radni vijek, što je ključna karakteristika za smanjenje ukupnih troškova vlasništva i održavanja. S pomoću ovih baterija manje se rade zamjene. Dug

vijek trajanja baterija znači da ih nije potrebno često mijenjati, što smanjuje operativne troškove i vrijeme zastoja. Ovo je posebno važno za javne prijevozne sustave koji se oslanjaju na pouzdanost i konzistentnost usluge. Njima se smanjuju i troškovi održavanja. Litij-ionske baterije zahtijevaju manje održavanja u usporedbi s tradicionalnim olovno-kiselinskim baterijama. Njihova dugovječnost smanjuje potrebu za čestim intervencijama, što dodatno smanjuje troškove povezane s održavanjem vozila [35].

Litij-ionske baterije su poznate po svojoj izuzetnoj dugovječnosti, što ih čini popularnim izborom za različite primjene, uključujući električna vozila, prijenosna računala, pametne telefone i mnoge druge uređaje [35]. Ova dugovječnost je rezultat kombinacije naprednih kemijskih sastava i sofisticiranih sustava upravljanja baterijom.

Kemijski sastav litij-ionskih baterija je ključan za njihovu trajnost. Ove baterije koriste litijeve spojeve kao materijal za elektrode, što omogućava visoku gustoću energije. To znači da mogu pohraniti veliku količinu energije u relativno malom volumenu. Litijevi spojevi također omogućuju visoku učinkovitost u procesu punjenja i pražnjenja, što smanjuje gubitke energije i produžava životni vijek baterije. [35]

Uz napredne kemijske sastave, litij-ionske baterije koriste sofisticirane sustave upravljanja baterijom (eng. *Battery Management System* - BMS). Ovi sustavi imaju ključnu ulogu u nadzoru i optimizaciji rada baterije. BMS nadzire svaki ciklus punjenja i pražnjenja baterije, osiguravajući da se procesi odvijaju unutar sigurnih i optimalnih granica. Na primjer, BMS prati napon, struju, temperaturu i stanje napunjenosti svake ćelije u bateriji. Ako sustav detektira abnormalnosti, kao što su pregrijavanje ili prenapon, automatski poduzima korektivne mjere kako bi spriječio oštećenje baterije.

Sustav upravljanja baterijom također, optimizira proces punjenja i pražnjenja kako bi se smanjilo starenje baterijskih ćelija. Jedan od ključnih čimbenika u dugovječnosti baterija je izbjegavanje ekstremnih stanja napunjenosti i pražnjenja. BMS osigurava da baterija ne bude previše napunjena ili previše ispražnjena, čime se smanjuje stres na ćelije i produžava njihov vijek trajanja. Također, BMS može balansirati napunjenost među različitim ćelijama u bateriji, osiguravajući da sve ćelije rade na optimalnoj razini. Osim što produljuje životni vijek baterije, sofisticirani sustav upravljanja baterijom također povećava sigurnost korištenja litij-ionskih baterija. Sprječavanjem pregrijavanja i prenapona, BMS smanjuje rizik od kvarova i potencijalno opasnih situacija poput požara ili eksplozije. Dakle, kombinacija naprednih kemijskih sastava i sofisticiranih sustava upravljanja čini litij-ionske baterije izdržljivima i

pouzdanima. Ova tehnologija omogućava učinkovitu i sigurnu pohranu energije, čineći litij-ionske baterije ključnom komponentom u modernim električnim uređajima i sustavima za pohranu energije.

Baterije su dizajnirane da izdrže tisuće ciklusa s minimalnim gubitkom kapaciteta. Održavanje dugovječnosti uključuje kontrolu temperature, balansiranje ćelija i zaštitu od prekomjernog punjenja i pražnjenja, čime se produžava radni vijek i osigurava pouzdanost tijekom dugotrajnog korištenja. Litij-ionske baterije dizajnirane za električne autobuse mogu izdržati veliki broj ciklusa punjenja i pražnjenja, zadržavajući pritom visoku razinu kapaciteta tijekom više godina korištenja [36]. Prema istraživanju litij-ionske baterije s visokom energetsom gustoćom i dugim vijekom trajanja najpogodnije su za električne autobuse zbog njihove sposobnosti da izdrže velik broj ciklusa punjenja i pražnjenja bez značajnog gubitka kapaciteta [37].

4. PREDNOSTI I NEDOSTACI ELEKTRIČNIH AUTOBUSA

Električni autobusi, kao i svaka tehnologija, imaju svoje prednosti i nedostatke. Ovi autobusi nude brojne prednosti koje ih čine privlačnom alternativom tradicionalnim dizelskim autobusima. Te prednosti uključuju smanjenje emisija stakleničkih plinova, poboljšanje kvalitete zraka, smanjenje operativnih troškova, smanjenje buke i povećanje energetske učinkovitosti.

Iako električni autobusi donose mnoge prednosti, postoje i određeni nedostaci. Ti nedostaci uključuju visoke početne troškove, ograničeni domet, potrebu za razvijenom infrastrukturuom za punjenje, duže vrijeme punjenja i ekološke probleme povezane s proizvodnjom i zbrinjavanjem baterija. Razmatranje prednosti i nedostataka ključno je prilikom donošenja odluke o prelasku na električne autobuse. Iako ovi autobusi nude značajne ekološke i ekonomske koristi, potrebno je pažljivo planirati njihovu implementaciju kako bi se maksimizirale prednosti i minimizirali izazovi.

Slijedi prikaz prednosti električnih autobusa.

Tablica 2. Prednosti električnih autobusa

Prednosti su:
1. Ekološka prihvatljivost:
○ Nulta emisija: Električni autobusi ne emitiraju štetne plinove tijekom vožnje, što doprinosi smanjenju zagađenja zraka u urbanim sredinama.
○ Manji ugljični otisak: Kada se električna energija proizvodi iz obnovljivih izvora, ukupni ugljični otisak je znatno manji nego kod autobusa na fosilna goriva.
2. Energetska efikasnost:
○ Veća efikasnost: Električni motori su efikasniji od motora s unutarnjim sagorijevanjem, što znači da troše manje energije za isti prijeđeni put.
3. Manji troškovi održavanja:

<ul style="list-style-type: none"> ○ Jednostavnija mehanika: Električni motori imaju manje pokretnih dijelova, što smanjuje troškove održavanja i popravaka.
<ul style="list-style-type: none"> ○ Manje potrošnog materijala: Nema potrebe za uljem, filterima za gorivo i slično.
4. Tiši rad:
<ul style="list-style-type: none"> ○ Smanjenje buke: Električni autobusi su znatno tiši u usporedbi s autobusima s unutarnjim sagorijevanjem, što doprinosi smanjenju buke u urbanim sredinama.
5. Subvencije i podrška:
<ul style="list-style-type: none"> ○ Državne subvencije: Mnoge vlade pružaju subvencije i druge poticaje za prelazak na električna vozila, uključujući autobuse.

Izvor: [17], [38], [39]

Sektor prometa ima značajan udio u emisijama stakleničkih plinova. Stoga je elektrifikacija ovog sektora ključan doprinos ublažavanju globalnog zatopljenja [40]. Sektor prometa jedan je od najvećih potrošača fosilnih goriva, pridonoseći 16,2 % emisija stakleničkih plinova (GHG) u 2020. godini [41]. Putnička vozila (automobili, motocikli i autobusi) proizvode oko 45 % ovog udjela emisije. Stoga dekarbonizacija ovog podsektora može igrati ključnu ulogu u ublažavanju klimatskih promjena i njihovih šteta za ekosustave [42]. Osim što pomaže u smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima i smanjenju emisija ako se pokreću obnovljivi izvori energije, primjena električnih vozila u urbanom kontekstu pridonosi poboljšanju kvalitete zraka, smanjenju zagađenja bukom i povećanju energetske učinkovitosti [43].

Koncept električnih autobusa uklapa se u strategije razvoja gradova diljem svijeta. Svi veći gradovi bore se s lošom kvalitetom zraka i bučnim prometom. Električni autobus jedno je od rješenja za gradove da napuste ovisnost o fosilnim gorivima i mogao bi za nekoliko godina biti najisplativija obnovljiva tehnika za javni prijevoz.

Električni autobusi značajno smanjuju emisije stakleničkih plinova, što doprinosi borbi protiv klimatskih promjena. Umjesto sagorijevanja fosilnih goriva, električni autobusi koriste električnu energiju, koja sve više dolazi iz obnovljivih izvora poput solarne i vjetroelektrane.

Istraživanje pokazuje da električni autobusi mogu značajno smanjiti emisije CO₂ u usporedbi s dizelskim autobusima, čime doprinose smanjenju ukupnog ugljičnog otiska javnog prijevoza [17]. Prema navedenom, električni autobusi su ekološki prihvatljiviji jer ne emitiraju štetne plinove tijekom vožnje, što pomaže smanjenju zagađenja zraka u gradovima. Ako se električna energija proizvodi iz obnovljivih izvora, smanjuje se i ukupni ugljični otisak. Ovi autobusi su energetske efikasniji jer troše manje energije za isti pređeni put u usporedbi s motorima s unutrašnjim sagorijevanjem. Održavanje je jeftinije jer električni motori imaju manje pokretnih dijelova i ne zahtijevaju potrošni materijal poput ulja i filtera. Električni autobusi su tiši, što doprinosi smanjenju buke u urbanim sredinama, a mnoge vlade pružaju subvencije i druge poticaje za njihovo usvajanje.

Električni autobusi ne emitiraju štetne tvari poput dušikovih oksida (NO_x) i čestica (PM), koji su glavni zagađivači zraka u urbanim sredinama. Ovo je posebno važno za gradove s visokim razinama zagađenja, gdje onečišćenje zraka može uzrokovati zdravstvene probleme poput respiratornih i kardiovaskularnih bolesti. Prelazak na električne autobuse može značajno poboljšati kvalitetu zraka u gradovima, što direktno utječe na zdravlje stanovništva. [38]

Iako su početni troškovi nabavke električnih autobusa viši, njihovi operativni troškovi su niži u usporedbi s dizelskim autobusima. Električni autobusi imaju manje pokretnih dijelova, što smanjuje troškove održavanja. Također, električna energija je često jeftinija od dizelskog goriva, što dodatno smanjuje operativne troškove. Istraživanja pokazuju da su ukupni troškovi vlasništva za električne autobuse niži kada se uzmu u obzir dugoročni operativni troškovi i održavanje [44].

Električni autobusi proizvode znatno manje buke u usporedbi s dizelskim autobusima, što poboljšava kvalitetu života u urbanim sredinama. Niža razina buke posebno je važna za noćne linije javnog prijevoza i područja sa stambenim zgradama. Smanjenje buke može pozitivno utjecati na zdravlje i dobrobit stanovnika gradova [45]. Nužno je ulagati u tehnološki razvoj i uvođenje električnih autobusa u javni prijevoz, čime se izravno poboljšava kvaliteta života u velikim gradovima.

Električni autobusi su energetske učinkovitiji od dizelskih autobusa. Elektromotori imaju veću učinkovitost u pretvorbi energije iz baterije u pokret, dok dizelski motori gube značajan dio energije kroz toplinu. Prema istraživanjima, električni autobusi učinkovitije koriste energiju, što doprinosi smanjenju potrošnje energije i emisija stakleničkih plinova na globalnoj razini [39].

Tablica 3. prikazuje nedostatke električnih autobusa.

Tablica 3. Nedostaci

Nedostaci su:
1. Visoki početni troškovi:
<ul style="list-style-type: none">○ Kupovina i instalacija: Električni autobusi i potrebna infrastruktura za punjenje često su skuplji u početnoj fazi nego tradicionalni dizel ili plinski autobusi.
2. Domet i punjenje:
<ul style="list-style-type: none">○ Ograničen domet: Električni autobusi obično imaju ograničen domet u usporedbi s onima na fosilna goriva, što može biti problematično za duže rute.○ Vrijeme punjenja: Punjenje baterija može potrajati znatno duže nego što je potrebno za punjenje rezervoara goriva.
3. Tehnološka zavisnost:
<ul style="list-style-type: none">○ Zavisnost od baterija: Performanse autobusa zavise o tehnologiji baterija, koja još uvijek ima prostora za poboljšanje, naročito u pogledu energetske gustoće i trajnosti.○ Ekološki utjecaj proizvodnje baterija: Proizvodnja baterija može imati negativne ekološke posljedice, uključujući eksploataciju resursa i zagađenje.
4. Infrastruktura:
<ul style="list-style-type: none">○ Potrebna infrastruktura: Implementacija zahtijeva razvoj infrastrukture za punjenje, što može biti skupo i zahtjevno, naročito u urbanim sredinama s ograničenim prostorom.
5. Utjecaj na elektroenergetski sustav:
<ul style="list-style-type: none">○ Opterećenje mreže: Povećana upotreba električnih vozila može dodatno opteretiti elektroenergetski sistem, naročito tijekom vršnih sati potrošnje.

Izvor: [46], [35], [47].

Jedan od najvećih nedostataka električnih autobusa su visoki početni troškovi nabavke. Električni autobusi su značajno skuplji od dizelskih autobusa zbog visokih cijena baterija i naprednih tehnologija koje koriste. Visoki kapitalni troškovi električnih autobusa mogu predstavljati prepreku za mnoge javne prijevoznike, posebno u zemljama s nižim proračunima za infrastrukturu i transport [48].

Električni autobusi imaju ograničeni domet između punjenja, što može predstavljati problem na dužim rutama ili za autobuse koji moraju raditi tijekom cijelog dana bez mogućnosti čestog punjenja. Domet električnog autobusa uvelike ovisi o kapacitetu baterije, terenu, opterećenju vozila i uvjetima vožnje. Ograničeni domet jedan je od ključnih izazova u integraciji električnih autobusa u postojeće prometne mreže [35].

Uspješna implementacija električnih autobusa zahtijeva razvijenu infrastrukturu za punjenje, uključujući dovoljan broj punionica na strateškim lokacijama. Izgradnja ove infrastrukture može biti skupa i dugotrajna. Nedostatak adekvatne infrastrukture za punjenje može ograničiti operativnost i fleksibilnost električnih autobusa, što predstavlja jedan od glavnih izazova s kojima se gradske uprave suočavaju pri prelasku na električne autobuse [47].

Punjenje baterija električnih autobusa može trajati duže u usporedbi s punjenjem rezervoara dizelskog goriva. Čak i uz brze punjače, vrijeme punjenja može biti znatno dulje od vremena potrebnog za točenje goriva, što može rezultirati duljim zastojevima i logističkim izazovima u upravljanju voznim parkom. Vrijeme punjenja predstavlja značajan operativni izazov za električne autobuse, osobito na linijama s visokim prometom [19].

Proizvodnja i odlaganje litij-ionskih baterija imaju ekološke aspekte koje treba uzeti u obzir. Proizvodnja baterija uključuje vađenje i preradu rijetkih metala poput litija, kobalta i nikla, što može imati negativan utjecaj na okoliš i lokalne zajednice. Također, recikliranje i odlaganje istrošenih baterija predstavlja izazov zbog toksičnih materijala koje sadrže. Važno je razvijati održive metode za proizvodnju, recikliranje i odlaganje baterija kako bi se smanjio njihov ekološki otisak [49].

Unatoč ovim izazovima, mnogi gradovi i transportne kompanije širom svijeta prelaze na električne autobuse zbog njihovih dugoročnih koristi za okoliš i ekonomiju. S daljnjim tehnološkim napretkom, očekuje se da će se ovi nedostaci smanjivati, čineći električne autobuse još atraktivnijim rješenjem za javni prijevoz.

5. UTJECAJ NA ODRŽIVI RAZVOJ

Autobusi kao sredstvo javnog prijevoza imaju ključnu ulogu u promicanju održivog razvoja iz nekoliko razloga. Prvo, autobusi mogu prevoziti veliki broj putnika odjednom, što značajno smanjuje potrebu za korištenjem privatnih automobila. Ova sposobnost masovnog prijevoza doprinosi smanjenju broja vozila na cestama, što direktno rezultira smanjenjem prometnih zagušenja. Manje vozila na cestama također dovodi do smanjenja emisija štetnih plinova, poput ugljičnog dioksida (CO₂) i dušikovih oksida (NO_x), čime se poboljšava kvaliteta zraka i smanjuje negativan utjecaj na okoliš.

Ekološki gledano, autobusi smanjuju emisiju stakleničkih plinova po putniku u usporedbi s automobilima, osobito kada se koriste ekološki prihvatljive tehnologije kao što su električni autobusi ili autobusi na biogoriva. Na taj način direktno se doprinosi smanjenju emisija CO₂ i drugih štetnih plinova, što poboljšava kvalitetu zraka u urbanim sredinama i smanjuje utjecaj na klimatske promjene.

Autobusi igraju ključnu ulogu u održivom razvoju, posebno u kontekstu urbanog prijevoza. Njihova sposobnost da prevoze veliki broj putnika čini ih izuzetno učinkovitim sredstvom za smanjenje prometa i zagađenja u gradovima. Održivi razvoj teži ravnoteži između ekonomskog rasta, zaštite okoliša i društvene dobrobiti, a autobusi doprinose svim tim aspektima. Oni omogućuju ekonomičniji i pristupačniji prijevoz za širu populaciju, što je ključno za socijalnu inkluziju. Pristup javnom prijevozu omogućuje ljudima iz različitih socioekonomskih slojeva lakše kretanje gradom, čime se poboljšava dostupnost radnih mjesta, obrazovnih ustanova i drugih važnih usluga. To smanjuje potrebu za privatnim vozilima, što zauzvrat smanjuje prometne gužve i potrebu za infrastrukturnim ulaganjima u ceste i parkirališta.

Osim toga, autobusi zauzimaju znatno manje prostora na cestama u odnosu na broj automobila potreban za prijevoz istog broja ljudi. Ova prostorna učinkovitost znači da urbane sredine mogu bolje iskoristiti postojeću infrastrukturu, izbjegavajući potrebu za proširenjem cesta i stvaranjem dodatnih parkirališta, što bi dodatno narušilo ekosustave i povećalo troškove održavanja. Zbog svoje učinkovitosti, autobusi koriste manje prostora po putniku nego automobili, što omogućava bolje iskorištavanje urbanih površina. Manje prostora posvećenog cestama i parkiralištima znači više prostora za zelene površine, pješačke i biciklističke staze, što doprinosi zdravijem i ugodnijem urbanom životu.

Uvođenjem ekološki prihvatljivih autobusa, poput onih na električni pogon ili hibridnih modela, dodatno se smanjuje negativan utjecaj na okoliš. Ovi moderni autobusi omogućuju smanjenje emisije stakleničkih plinova i buke, čineći gradove ugodnijim i zdravijim mjestima za život. U kontekstu energetske održivosti, autobusi koji koriste alternativne izvore energije pomažu u smanjenju ovisnosti o fosilnim gorivima. To je važno ne samo za smanjenje emisija, već i za povećanje energetske sigurnosti zajednica, jer diversifikacija izvora energije smanjuje rizik od energetske krize.

Sveukupno, autobusi predstavljaju važan alat za postizanje ciljeva održivog razvoja, nudeći učinkovit, ekološki prihvatljiv i društveno odgovoran način prijevoza. Oni omogućuju bolje planiranje urbanog razvoja, smanjenje ekološkog otiska i povećanje kvalitete života u gradovima. Sve ove prednosti čine autobuse izuzetno važnima za održivi razvoj urbanih područja, jer omogućuju učinkovito kretanje velikog broja ljudi uz minimalan ekološki otisak. Time autobusi postaju ne samo ekonomična i praktična opcija, već i ključni alat u borbi protiv klimatskih promjena i očuvanju okoliša.

Prometni sektor uvelike ovisi o fosilnim gorivima, a to se mora promijeniti kako bi se ispunili ciljevi globalne klimatske politike. Očite prednosti korištenja električnih autobusa su niža razina buke i izostanak štetnih emisija, što ih čini prirodnim izborom za sljedeći korak u implementaciji električnih vozničkih parkova u gradovima. Iako su biogoriva važan element održivog transportnog sustava, njihov proizvodni potencijal nije dovoljan da zamijeni velike količine nafte koje se trenutno troše. Elektrifikacija je nužna, a autobusni vozni park idealan je za početak. Grad s električnim autobusima doista je spreman za budućnost jer su ti autobusi klimatski neutralni (pod uvjetom da je proizvodnja električne energije zelena), učinkoviti i čisti.

Promatrajući statistiku registracija novih automobila, nemoguće je ne primijetiti rapidan porast broja vozila na baterije posljednjih godina. Ovaj trend vidljiv je i u svijetu autobusa, gdje su električne verzije iz godine u godinu sve prisutnije u europskim vozničkim parkovima. Održivi javni prijevoz je modna riječ koja je već čvrsto ugrađena u razmišljanje modernog svijeta koji traži načine za borbu protiv klimatskih promjena. To i ne čudi – promet je odgovoran za gotovo 30 % ukupnih emisija ugljičnog dioksida u Europskoj uniji, a cestovni promet čini čak 70 % [50].

Uz povećanje broja vozila proizvedenih diljem svijeta svake godine, smanjenje emisija iz transportnog sektora postaje jedan od ključnih izazova s kojima se suočava civilizacija. Električna vozila postala su jedan od alata u borbi za okoliš zbog velikog potencijala smanjenja

emisije stakleničkih plinova i poboljšanja kvalitete zraka. Zahvaljujući stalnom tehnološkom napretku u području baterija, koji je rezultirao visokom razinom operativnosti vozila, električni automobili i autobusi brzo su postali održiva alternativa prijevozu na naftu.

Električni autobusi igraju značajnu ulogu u postizanju ciljeva održivog razvoja kroz nekoliko ključnih aspekata. Prvo, smanjenje emisija stakleničkih plinova: električni autobusi ne emitiraju štetne plinove tijekom vožnje, za razliku od tradicionalnih autobusa s motorima s unutarnjim sagorijevanjem. Time direktno doprinose smanjenju emisije ugljičnog dioksida (CO₂), dušikovih oksida (NO_x) i drugih zagađivača zraka. Ovo pomaže u borbi protiv klimatskih promjena i poboljšava kvalitetu zraka u urbanim sredinama. Prelazak na električne autobuse može značajno smanjiti emisiju CO₂ u transportnom sektoru, čineći ih ključnim elementom u naporima za održivi razvoj. [50]

Korištenje električnih autobusa smanjuje emisiju sitnih čestica (PM_{2.5} i PM₁₀), koje su glavni uzročnici respiratornih i kardiovaskularnih oboljenja. Ovo ima značajan pozitivan utjecaj na javno zdravlje, posebno u gusto naseljenim urbanim područjima. Studije pokazuju da električni autobusi mogu značajno poboljšati kvalitetu zraka u gradovima, smanjujući zagađenje koje uzrokuju konvencionalna vozila. Time se smanjuje rizik od bolesti povezanih sa zagađenjem zraka, što doprinosi zdravijem i kvalitetnijem životu stanovnika urbanih sredina. [50]

Električni motori su efikasniji od motora s unutarnjim sagorijevanjem. Ovo znači da električni autobusi mogu prijeći veću udaljenost s manjom potrošnjom energije, što doprinosi ekonomičnijem korištenju resursa i smanjenju ukupne potrošnje energije. Istraživanje objavljeno ukazuje na visoku energetske efikasnost električnih vozila u usporedbi s njihovim fosilnim suparnicima [29].

Električni autobusi su ključni element održivih gradskih transportnih sustava. Oni omogućavaju gradovima da razvijaju mreže javnog prijevoza koje su ekološki prihvatljive i energetske efikasne. Održivi transportni sustavi smanjuju potrebu za privatnim automobilima, što dalje smanjuje emisije i zagađenje. Integracija električnih autobusa u gradski prijevoz može značajno smanjiti ukupne emisije iz transporta [22].

Električni autobusi se mogu puniti električnom energijom proizvedenom iz obnovljivih izvora, poput solarnih ili vjetroelektrana. Ovo dodatno smanjuje ugljični otisak sustav javnog

prijevoza i podržava prelaz ka čistoj energiji. ukazuje na potencijal integracije obnovljivih izvora energije u sisteme punjenja za električna vozila [30].

Iako su početna ulaganja u električne autobuse i infrastrukturu za njihovo punjenje visoka, dugoročne ekonomske koristi su značajne. One uključuju smanjene operativne troškove zahvaljujući nižoj cijeni električne energije u usporedbi s fosilnim gorivima i manjim potrebama za održavanjem zbog jednostavnije mehanike električnih motora. Analize naglašavaju ekonomsku isplativost električnih autobusa na duži rok, uz značajne uštede u troškovima održavanja i energije, što čini ove autobuse atraktivnom opcijom za gradski prijevoz s dugoročnim financijskim prednostima [51].

Uvođenje električnih autobusa može povećati kvalitetu života u urbanim sredinama smanjenjem buke i zagađenja. Ovo doprinosi boljim životnim uvjetima i većoj atraktivnosti javnog prijevoza kao ekološke alternative privatnim vozilima. Prema studiji smanjenje buke i zagađenja zraka ima direktne pozitivne efekte na zdravlje i blagostanje stanovništva u gradovima [52]. No, sve većom popularnošću električnih pogona, otvaraju se sumnje je li ovo rješenje ekološki i jesu li električni autobusi doista ekološki prihvatljivi. Uz brojne prednosti električnih vozila, postoji i zabrinutost oko toga je li električni pogon doista čist i ekološki prihvatljiv.

Električni autobusi, kao održiva alternativa tradicionalnim vozilima na fosilna goriva, trebaju biti napajani električnom energijom iz obnovljivih izvora kako bi se maksimalno smanjio njihov utjecaj na okoliš. Ako se električni autobusi napajaju električnom energijom iz izvora poput ugljena ili nafte, i dalje će se indirektno stvarati emisije ugljičnog dioksida (CO₂). Korištenje obnovljivih izvora energije kao što su solarna energija, vjetroturbine, hidroelektrane ili geotermalni izvori eliminira emisije stakleničkih plinova prilikom proizvodnje električne energije. Obnovljivi izvori energije koriste resurse poput sunca, vjetra i vode, koji su prirodni i praktički neiscrpni. Na taj način se smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima koja su ograničena i često uzrokuju ekološke probleme prilikom eksploatacije i izgaranja. Električni autobusi su tihi i ne ispuštaju zagađujuće tvari tijekom vožnje, ali je ključno da i energija koja se koristi za njihovo napajanje bude čista kako bi se u potpunosti iskoristile njihove ekološke prednosti. Korištenje obnovljivih izvora energije za električne autobuse može poslužiti kao primjer i poticaj za širu upotrebu čiste energije, podržavajući globalne ciljeve energetske tranzicije i smanjenja utjecaja na klimatske promjene.

5.1 Smanjenje štetnog utjecaja

Glavna i neosporna prednost električnih autobusa je to što ne ispuštaju štetne tvari u atmosferu, bez obzira na to gdje se vozilo koristi, jer nemaju ispušnu cijev i ne sagorijevaju gorivo. Ova značajka značajno doprinosi smanjenju gradskog onečišćenja i poboljšanju kvalitete zraka, koji je, u slučaju vozila s motorima s unutarnjim izgaranjem, zagađen raznim štetnim tvarima poput dušikovih oksida (NO_x), čestica (PM) i ugljičnog dioksida (CO₂).

Električni autobusi su također energetske učinkovitiji. Elektromotori pretvaraju veći postotak energije iz baterije u pogon u usporedbi s motorima s unutarnjim izgaranjem. Osim toga, koriste tehnologiju regenerativnog kočenja, koja omogućuje pohranu i ponovnu upotrebu potrošene energije, što dodatno smanjuje potrošnju energije. Zahvaljujući ovim karakteristikama, električni autobusi imaju znatno manji ugljični otisak u usporedbi s modelima na konvencionalni pogon.

Kako bi se dodatno smanjio štetni utjecaj električnih autobusa, moguće je primijeniti nekoliko strategija. Te strategije uključuju korištenje obnovljivih izvora energije za punjenje, optimizaciju proizvodnje i reciklaže baterija, povećanje energetske učinkovitosti, poboljšanje infrastrukture za punjenje, pažljivo planiranje ruta i operacija, integraciju s drugim oblicima transporta, te edukaciju javnosti o prednostima korištenja električnih vozila. Ove mjere mogu dodatno povećati pozitivne učinke električnih autobusa na okoliš i doprinijeti održivom razvoju urbanih sredina.

Električni autobusi mogu značajno doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova izvan svoje neposredne točke uporabe sve dok energija koja se koristi za njihovo punjenje dolazi iz obnovljivih izvora. Tek tada se može govoriti o nultoj emisiji. Ekološki učinak električnih autobusa stoga izravno ovisi o energetskej mješavini specifične za zemlju. Međutim, i to je iznimno važno, čak i u zemljama u kojima se proizvodnja energije uglavnom temelji na fosilnim gorivima, utjecaj električnih autobusa na okoliš još uvijek je znatno manji od utjecaja vozila s unutarnjim izgaranjem.

Korištenjem električne energije iz obnovljivih izvora, kao što je solarni izvor energije, vjetroelektrana i hidroenergija, smanjuje se ugljični otisak povezan s punjenjem baterija. Prelazak na zelenu energiju može značajno smanjiti ukupne emisije stakleničkih plinova. Proizvodnja baterija za električne autobuse može imati negativan ekološki utjecaj zbog potrebnih materijala i energetske intenzivnih proizvodnih procesa. Uvođenje ekološki

prihvatljivijih metoda ekstrakcije i reciklaže materijala kao što su litij, kobalt i nikl može smanjiti ove negativne efekte. Reciklaža baterija može pomoći u smanjenju otpada i ponovnom korištenju vrijednih materijala [53]. Pravilna reciklaža baterija može smanjiti ekološki otisak proizvodnje novih baterija [54].

Ulaganje u obnovljivu energiju u prometnom sektoru također je važan dio šire energetske strategije Europske komisije, koja promiče korištenje obnovljive energije u svojoj Direktivi o čistoj energiji za sve Europljane, uključujući cilj od 14 % ukupne potrošnje energije u prometnom sektoru do 2030. godine.

Prolazak vremena i vrlo intenzivno korištenje baterija u električnim vozilima dovodi do toga da ona tijekom godina gube dio svog kapaciteta. Ključni prioritet za proizvođače vozila s nultom emisijom je kontinuirani razvoj tehnologije kako bi se osiguralo da jedinice za pohranu energije traju što je dulje moguće. Korištenje naprednijih tehnologija baterija koje imaju veću gustoću energije i duži vijek trajanja može poboljšati efikasnost električnih autobusa. Također, primjena regenerativnog kočenja, koje vraća energiju u bateriju prilikom kočenja, može dodatno povećati efikasnost i smanjiti potrošnju energije [55].

Razvoj brzih i efikasnijih punionica može smanjiti vrijeme potrebno za punjenje baterija i povećati operativnu fleksibilnost električnih autobusa. Također, implementacija pametnih mreža za punjenje može pomoći u optimalnom raspoređivanju opterećenja na elektroenergetsku mrežu i smanjenju vršnih opterećenja [56].

Optimizacija ruta autobusa kako bi se smanjila udaljenost i vrijeme putovanja može pomoći u smanjenju potrošnje energije. Planiranje operacija koje omogućavaju punjenje tijekom neaktivnih perioda, kao što su noćni sati, može smanjiti opterećenje elektroenergetske mreže i povećati efikasnost [54].

Promocija multimodalnog transporta koji uključuje električne autobuse u kombinaciji s drugim oblicima javnog prijevoza, poput bicikala, može značajno doprinijeti smanjenju ukupnih emisija i povećanju efikasnosti transportnog sustava. Javna i vozačka edukacija o ekološkim prednostima električnih autobusa i njihovoj efikasnoj upotrebi može dodatno smanjiti štetan utjecaj na okoliš. Promoviranjem održivih praksi, kao što su korištenje električnih autobusa i poticanje na kombinirano korištenje različitih oblika prijevoza, moguće je povećati njihovu prihvaćenost i učestalost korištenja. Kada se ove mjere implementiraju

zajedno, mogu značajno doprinijeti smanjenju štetnog utjecaja i stvaranju održivijeg i ekološki prihvatljivijeg javnog prijevoza.

5.2 Reciklaža baterija

Reciklaža baterija za električne autobuse igra ključnu ulogu u smanjenju ekološkog i ekonomskog opterećenja povezanog s rastućom upotrebom električnih vozila. Kako se broj električnih autobusa povećava, raste i potreba za učinkovitim upravljanjem otpadnim baterijama kako bi se izbjeglo njihovo odlaganje na deponije, gdje mogu uzrokovati zagađenje tla i vode zbog prisutnosti toksičnih materijala kao što su olovo, kadmij i litij.

S ekološke strane, reciklaža baterija smanjuje negativan utjecaj na okoliš sprječavanjem odlaganja velikih količina istrošenih baterija, što pomaže u očuvanju prirodnih resursa i smanjenju ekološkog otiska. S ekonomske strane, reciklaža omogućava oporavak vrijednih materijala, poput litija, kobalta, nikla i mangana, koji se mogu ponovno koristiti u proizvodnji novih baterija. Ovo smanjuje potrebu za eksploatacijom i preradom sirovina, što dovodi do smanjenja troškova proizvodnje i podržava održivi ciklus resursa.

Na taj način, reciklaža baterija ne samo da pomaže u smanjenju ekološkog zagađenja, već također doprinosi ekonomskoj održivosti i smanjenju troškova povezanih s proizvodnjom novih baterija, čime se podržava razvoj zelenije transportne infrastrukture. Reciklaža baterija također značajno doprinosi energetske učinkovitosti, jer vađenje i prerada sirovina zahtijevaju znatno više energije u usporedbi s recikliranjem postojećih materijala. Ovaj pristup ne samo da smanjuje potrošnju energije, već i doprinosi smanjenju emisije stakleničkih plinova povezanih s ekstrakcijom i preradom sirovina.

Dodatno, poticanje reciklaže baterija otvara mogućnosti za nova radna mjesta u sektoru upravljanja otpadom i reciklaže, dok istovremeno jača tehnološke kapacitete za razvoj naprednijih i učinkovitijih metoda recikliranja. Ovi tehnološki napretci omogućuju da se više materijala oporavi iz starih baterija, čime se dodatno povećava ekonomska i ekološka vrijednost procesa.

Sve u svemu, reciklaža baterija je ključna za održivost električnih autobusa jer smanjuje ekološki otisak, pomaže u očuvanju prirodnih resursa i stvara ekonomsku vrijednost putem

ponovne upotrebe materijala. Time se omogućava izgradnja održivijeg transportnog sustava koji istovremeno koristi manje energije, smanjuje zagađenje i pruža socioekonomske koristi.

Reciklaža baterija električnih autobusa je kompleksan proces koji uključuje nekoliko ključnih koraka kako bi se maksimiziralo ponovno korištenje materijala i minimizirao utjecaj na životnu sredinu. Proces se može opisati kroz sljedeće faze:

1. Sakupljanje i transport: Prvi korak u reciklaži baterija je njihovo sakupljanje iz vozila koja su dosegla kraj svog radnog vijeka ili iz baterija koje su postale neupotrebljive. Ove baterije se zatim transportiraju do reciklažnih centara specijaliziranih za obradu litijum-jonskih baterija [54].
2. Demontiranje: U reciklažnim centrima, baterije se razmontiraju kako bi se uklonile sve komponente koje nisu dio baterijskog paketa. To uključuje kućište baterije, kablove i druge povezane dijelove. Nakon demontiranja, baterijski moduli se dalje obrađuju [55].
3. Mehanička obrada: Mehanička obrada uključuje drobljenje baterija kako bi se smanjila veličina dijelova i olakšala dalja obrada. Tijekom ovog procesa, metali i drugi materijali se odvajaju s pomoću različitih metoda kao što su magnetska separacija, flotacija i gravimetrijska separacija [55].
4. Termička obrada: Termička obrada, poznata i kao pirometalurgija, koristi visoke temperature za razgradnju materijala u bateriji. Ovaj proces može pomoći u ekstrakciji metala kao što su kobalt, nikal i bakar. Termička obrada se koristi za odstranjivanje organskih komponenata i koncentriranje metala za dalju rafinaciju [54].
5. Hidro metalurgija: Hidro metalurgija uključuje upotrebu kemijskih otopina za ekstrakciju metala iz drobljenih baterijskih materijala. Ovaj proces obuhvaća kiselinsko rastvaranje, precipitaciju i elektrolizu za izdvajanje čistih metala. Na primjer, litij se može ekstrahirati s pomoću kiselina kao što su sumporna ili fluorovodična kiselina [55].
6. Rafiniranje i pročišćavanje: Nakon hidrometalurške obrade, dobiveni metali se dalje rafiniraju kako bi se postigle visoke razine čistoće potrebne za ponovnu upotrebu u novim baterijama. Ovo uključuje elektrolitičku rafinaciju i druge metode pročišćavanja koje omogućavaju dobivanje visokokvalitetnih materijala [55].
7. Ponovna upotreba materijala: Materijali dobiveni reciklažom, kao što su litij, kobalt, nikal i bakar, mogu se koristiti za proizvodnju novih baterija ili drugih proizvoda. Ponovna upotreba ovih materijala smanjuje potrebu za rudarenjem novih resursa i pomaže u zatvaranju kružne ekonomije [55].

Efikasne metode reciklaže mogu značajno doprinijeti održivosti električnih vozila. Istraživanje naglašava zdravstvene i ekološke benefite povezane s uvođenjem električnih vozila i važnost reciklaže baterija kako bi se smanjio negativan utjecaj na životnu sredinu [54]. Ove studije potvrđuju da efikasna reciklaža baterija može smanjiti ekološki otisak električnih autobusa i omogućiti ponovnu upotrebu vrijednih materijala, čime se doprinosi održivijoj budućnosti transporta [17].

Implementacija metoda reciklaže i korištenja obnovljivih izvora energije može značajno smanjiti negativne utjecaje električnih autobusa na životnu sredinu. Iako danas električni autobusi još uvijek ne postižu potpuno nulte emisije tokom svog životnog ciklusa, oni predstavljaju ključan korak prema održivijem i ekološki prihvatljivijem javnom prijevozu. Ovi autobusi ne ispuštaju štetne plinove u atmosferu, što smanjuje emisije stakleničkih plinova i zagađenje zraka, dok visoka energetska efikasnost donosi stvarne ekološke prednosti u odnosu na tradicionalne dizelske autobuse.

Potpuno postizanje nulte emisije za električne autobuse zahtijeva rješavanje izazova, poput korištenja 100% obnovljivih izvora energije za njihovo napajanje. Uvođenje obnovljivih izvora energije, poput solarne ili vjetroelektrične energije, može značajno unaprijediti ekološke koristi električnih vozila. Iako trenutno postoje izazovi u osiguravanju potpuno čiste energije, optimizam raste kako se udio obnovljivih izvora energije povećava. S vremenom, povećanje udjela ovih izvora u elektroenergetskoj mreži može dodatno smanjiti ukupni ugljični otisak električnih autobusa, čineći ih još održivijim i ekološki prihvatljivijim izborom za javni prijevoz.

Problematika reciklaže baterija postaje sve važnija s obzirom na rastuću upotrebu prijenosnih elektroničkih uređaja, električnih vozila i obnovljivih izvora energije. Baterije, osobito one s litij-ionskom tehnologijom, postaju dominantne na tržištu zbog svojih superiornih performansi. Međutim, njihova reciklaža predstavlja značajan izazov zbog nekoliko ključnih čimbenika.

Baterije sadrže razne materijale, uključujući metale poput litija, kobalta, nikla i mangana, kao i elektrolite, separatore i druge kemikalije. Ova složenost čini proces reciklaže tehnički zahtjevnim i skupim. Odvajanje i ponovna upotreba tih materijala zahtijevaju sofisticiranu tehnologiju i precizne metode. Ako se baterije ne recikliraju pravilno, mogu predstavljati ozbiljan rizik za okoliš. Teški metali i toksične kemikalije mogu procuriti u tlo i

vodene izvore, uzrokujući onečišćenje i štetu ekosustavima. Istovremeno, neadekvatno zbrinjavanje može stvoriti otpad koji nije biorazgradiv, što dodatno opterećuje okoliš.

Trošak reciklaže baterija često premašuje vrijednost materijala dobivenih reciklažom. To predstavlja ekonomsku prepreku za široko prihvaćanje reciklaže, posebno u zemljama u razvoju gdje ekonomski faktori igraju presudnu ulogu [57]. Potrebne su inovacije u tehnologijama reciklaže kako bi se smanjili troškovi i učinila reciklaža isplativijom. U mnogim dijelovima svijeta, infrastruktura za reciklažu baterija je nedovoljno razvijena [58]. Postoji manjak specijaliziranih postrojenja i usluga za reciklažu, što rezultira time da se veliki broj baterija ne reciklira već završava na odlagalištima. Baterije, posebno litij-ionske, mogu biti opasne za rukovanje zbog mogućnosti eksplozije ili požara ako nisu pravilno zbrinute [58], [59]. To stvara dodatne izazove u reciklaži, zahtijevajući posebne sigurnosne mjere i opremu.

Reciklaža baterija za autobuse, osobito litij-ionskih baterija koje se sve više koriste u električnim autobusima, predstavlja značajan izazov zbog visokih troškova i tehničke složenosti procesa. Trenutno, troškovi reciklaže često nadmašuju troškove proizvodnje novih baterija, što stvara ekonomske prepreke za široko prihvaćanje reciklaže u ovom sektoru.

Ključni izazovi u reciklaži baterija za autobuse [59], [60]:

1. Visoki troškovi reciklaže: Proces reciklaže litij-ionskih baterija uključuje složene kemijske i mehaničke postupke za izdvajanje i ponovno korištenje vrijednih materijala poput litija, kobalta, nikla i mangana. Zbog tehničke složenosti, kao i zbog potrebe za specijaliziranim opremom i postrojenjima, troškovi reciklaže su trenutno visoki. U mnogim slučajevima, ove troškove je teško opravdati kada su cijene sirovina niske, što je često slučaj zbog pada cijena osnovnih metala na svjetskom tržištu.
2. Ekonomski aspekti: S obzirom na to da je proizvodnja novih baterija, osobito u velikim količinama, postala relativno jeftinija zbog optimizacije proizvodnih procesa i ekonomije obujma, reciklaža se suočava s konkurencijom u obliku niskih troškova proizvodnje novih baterija. To smanjuje poticaj za ulaganje u reciklažne kapacitete, posebno u zemljama gdje regulativa ne nameće obveznu reciklažu.
3. Složenost baterijskih sustava: Autobusne baterije su često veće i složenije od onih koje se koriste u osobnim vozilima ili potrošačkoj elektronici. To dodatno komplicira proces reciklaže, jer zahtijeva više energije i resursa za rastavljanje i obradu velikih baterijskih modula.

4. Sigurnosni rizici: Reciklaža velikih baterijskih sustava nosi povećane sigurnosne rizike zbog potencijalne zapaljivosti i toksičnosti materijala. To zahtijeva dodatne mjere opreza, koje također povećavaju troškove reciklaže.
5. Nedostatak ekonomski isplativih tehnologija: Iako postoje različiti postupci za reciklažu, poput pirometalurgije, hidrometalurgije i direktne reciklaže, većina tih metoda još uvijek nije dovoljno ekonomski isplativa za masovnu primjenu. Razvoj novih tehnologija koje bi smanjile troškove i povećale učinkovitost reciklaže ključan je za održivu budućnost električnih autobusa.

Potrebna su dodatna istraživanja i razvoj kako bi se unaprijedile postojeće metode reciklaže i učinile ih ekonomičnijima. To uključuje optimizaciju procesa za izdvajanje materijala s većom učinkovitošću i manjim troškovima. Povećanje ekonomske isplativosti reciklaže moglo bi se postići kroz subvencije, porezne olakšice ili strožu regulativu koja bi potaknula proizvođače da osiguraju odgovarajuće zbrinjavanje i reciklažu svojih proizvoda. Europska unija, primjerice, radi na donošenju strožih propisa o odgovornosti proizvođača baterija. Koncept cirkularne ekonomije, koji se sve više promovira, usredotočuje se na maksimalno iskorištavanje resursa i minimiziranje otpada [61]. U tom kontekstu, reciklaža baterija može postati važan element u stvaranju održivih lanaca vrijednosti u industriji transporta. Reciklaža baterija za autobuse, iako trenutno ekonomski neisplativa, predstavlja ključni izazov i priliku za održivost u prometnom sektoru. Kroz tehnološke inovacije, regulativne poticaje i razvoj cirkularne ekonomije, moguće je unaprijediti procese i učiniti reciklažu učinkovitijom i isplativijom.

EU ima ambiciozne planove za reciklažu u okviru svoje šire strategije za kružnu ekonomiju, čiji je cilj smanjenje otpada i povećanje recikliranja. Jedan od ključnih ciljeva je da do 2030. godine svi plastični ambalažni materijali budu reciklirajući. Također, ciljevi za reciklažu komunalnog otpada su postavljeni na 55 % do 2025. godine, 60 % do 2030. godine i 65 % do 2035. godine [62]. Jedan od glavnih razloga za neispunjenje planova je nedovoljno razvijena infrastruktura za prikupljanje i obradu otpada. Mnoge države članice nemaju kapacitete potrebne za postizanje zadanih ciljeva. Različite zemlje EU imaju različite kapacitete i standarde za reciklažu, što otežava provedbu jedinstvenih pravila i ciljeva na razini cijele Unije [63]. Cijene recikliranih materijala često su nekonkurentne u usporedbi s cijenama novih sirovina, što obeshrabruje korištenje recikliranih proizvoda [64]. Iako postoje ambiciozni ciljevi za smanjenje plastičnog otpada, u praksi se količina plastičnog otpada i dalje povećava, čime

se dodatno opterećuje sustav reciklaže. Iako EU postavlja ambiciozne ciljeve, provedba tih ciljeva često izostaje zbog nedostatka političke volje ili resursa na nacionalnoj razini.

Europska unija ima posebne planove i propise za reciklažu baterija, koji su dio šire strategije za kružnu ekonomiju i smanjenje utjecaja na okoliš. Glavni elementi planova EU za reciklažu baterija:

1. Direktiva o baterijama i akumulatorima [65], [66], [67], [68]:

- Prva verzija ove direktive donesena je 2006. godine (2006/66/EC) i postavila je pravni okvir za prikupljanje, tretman, reciklažu i zbrinjavanje baterija i akumulatora u EU.
- Direktiva postavlja obvezu prikupljanja i recikliranja baterija, uključujući obavezne ciljeve prikupljanja za prijenosne baterije (45 % stope prikupljanja).
- Također propisuje ograničenja za upotrebu opasnih tvari, poput žive i kadmija, u baterijama.

2. Revidirana Direktiva o baterijama:

- U prosincu 2020. godine, Europska komisija je predložila novu uredbu o baterijama kao dio Zelenog plana (Green Deal) i kružne ekonomije.
- Ova nova uredba zamjenjuje prethodnu direktivu i donosi strože propise o dizajnu, proizvodnji, upotrebi i zbrinjavanju baterija.
- Uredba uključuje zahtjeve za minimalnim recikliranim sadržajem u novim baterijama, obvezama proizvođača za prikupljanje i recikliranje, te ciljevima za reciklažu ključnih materijala kao što su litij, kobalt, nikal i olovo.
- Uvedeni su i propisi o "putovnici baterija", digitalnom dokumentu koji prati informacije o svakoj bateriji, uključujući njen sastav, povijest i održivost.

3. Ciljevi reciklaže materijala:

- Uredba predlaže ambiciozne ciljeve za reciklažu ključnih materijala:
 - Do 2025. godine: 65 % reciklaža olovnih baterija, 95 % reciklaža nikal-kadmij baterija, te 50 % za druge baterije.
 - Do 2030. godine: 70 % reciklaža olovnih baterija, 95 % reciklaža nikal-kadmij baterija, te 55 % za ostale baterije.

- Obaveza za oporavak 70 % litija do 2030. godine.

4. Podrška istraživanju i inovacijama:

- EU financira brojne istraživačke projekte i inicijative usmjerene na poboljšanje tehnologija reciklaže baterija, kao i razvoj novih metoda za oporavak vrijednih materijala iz baterija.

Iako su postavljeni ambiciozni ciljevi, mnoge države članice još uvijek nemaju odgovarajuću infrastrukturu za učinkovitu reciklažu baterija. S porastom broja električnih vozila, očekuje se značajan porast količine otpadnih litij-ionskih baterija, što predstavlja dodatni izazov za reciklažni sektor. EU je svjesna da nedostatak kritičnih sirovina, poput kobalta, nikla i litija, može predstavljati prepreku za industriju, pa se reciklaža baterija smatra ključnim korakom prema osiguravanju održivog izvora tih materijala. Ovi planovi i propisi ključni su za postizanje održivog upravljanja baterijama u EU i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš.

Unatoč ambicioznim planovima EU-a za reciklažu baterija, njihova provedba suočava se s brojnim izazovima i preprekama. Mnoge države članice EU još uvijek nemaju dovoljno razvijenu infrastrukturu za učinkovito prikupljanje i recikliranje baterija, osobito novih vrsta poput litij-ionskih baterija koje se koriste u električnim vozilima.

Nedostatak postrojenja za obradu takvih baterija znači da se mnoge od njih ne recikliraju na optimalan način, već završavaju na odlagalištima ili se izvoze u zemlje izvan EU-a, gdje se njihova obrada ne provodi u skladu s europskim ekološkim standardima.

Iako EU ima postavljene ciljeve za prikupljanje baterija, stvarne stope prikupljanja često su ispod ciljanih vrijednosti. Na primjer, ciljana stopa prikupljanja prijenosnih baterija od 45 % do 2016. godine nije ostvarena u mnogim državama članicama. Potrošači često ne znaju gdje ili kako pravilno odložiti svoje rabljene baterije, a svijest o važnosti reciklaže nije dovoljno razvijena. [57]

Reciklaža određenih vrsta baterija, posebno litij-ionskih, tehnički je složena i skupa. Procesi za sigurno izdvajanje vrijednih materijala poput litija, kobalta i nikla još uvijek nisu u potpunosti optimizirani. Kao rezultat toga, mnoge reciklažne tvrtke ne mogu ostvariti dobit, što ograničava ulaganja u proširenje kapaciteta i tehnologije reciklaže. Regulacije i pristupi reciklaži variraju među državama članicama EU. To dovodi do neujednačene primjene pravila,

što otežava postizanje zajedničkih ciljeva na razini cijele EU. Neke zemlje imaju napredne programe reciklaže, dok druge zaostaju, što stvara neravnotežu i otežava postizanje ciljeva EU.

Rast tržišta električnih vozila i prijenosne elektronike stvorio je veliku potražnju za novim baterijama, što dodatno komplicira napore za reciklažu. Kako se sve više baterija stavlja na tržište, reciklažni sektor suočava se s rastućim pritiskom, a trenutne kapacitete često nije moguće prilagoditi rastućim količinama otpadnih baterija. Cijene recikliranih materijala često su više od cijena novih materijala, što obeshrabruje korištenje recikliranih materijala u novim proizvodima. To smanjuje ekonomski poticaj za reciklažu i usporava napredak prema ciljevima EU. Unatoč ambicioznim planovima EU za reciklažu baterija, njihova provedba u stvarnosti zaostaje zbog kombinacije infrastrukturnih, tehničkih, ekonomskih i regulatornih izazova. Ovi problemi ukazuju na potrebu za daljnjim ulaganjima, inovacijama i jačom koordinacijom među državama članicama kako bi se postigli zadani ciljevi [69].

6. ZAKLJUČAK

Ovaj rad pruža sveobuhvatan pregled i analizu električnih autobusa kao održive alternative tradicionalnim dizelskim autobusima u sustavu javnog prijevoza. Kroz istraživanje povijesti razvoja, infrastrukture za punjenje, tehnologija baterija, prednosti i nedostataka, te njihovog utjecaja na održivi razvoj, identificirane su ključne komponente koje doprinose njihovom uspješnom uvođenju i implementaciji.

Električni autobusi predstavljaju značajan korak naprijed u smanjenju emisija stakleničkih plinova i poboljšanju kvalitete zraka u urbanim sredinama. Njihova visoka energetska učinkovitost i niske operativne troškove čine ih privlačnom opcijom za gradove koji teže održivom razvoju. Uz to, smanjenje buke i bolja kvaliteta života za stanovnike također su važni benefiti koje donose električni autobusi.

Međutim, visoki početni troškovi, ograničeni domet, potreba za razvijenom infrastrukturom za punjenje i izazovi vezani uz proizvodnju i reciklažu baterija predstavljaju značajne prepreke koje treba prevladati. Unatoč tim izazovima, tehnološki napredak i povećana podrška vladajućih struktura za zelene tehnologije ukazuju na pozitivan trend prema širem usvajanju električnih autobusa.

Kroz analizu infrastrukturnih zahtjeva, rad je identificirao potrebu za strateškim planiranjem i investicijama u infrastrukturu za punjenje. Brzo punjenje i povećanje kapaciteta baterija ključni su za smanjenje vremena zastoja i povećanje operativne efikasnosti voznog parka. Električni autobusi također igraju ključnu ulogu u postizanju ciljeva održivog razvoja. Njihov doprinos smanjenju štetnog utjecaja na okoliš i mogućnost reciklaže baterija predstavljaju značajne korake ka održivijoj budućnosti. Preporuke za daljnja istraživanja uključuju razvoj novih tehnologija baterija, optimizaciju infrastrukture za punjenje i istraživanje mogućnosti integracije s obnovljivim izvorima energije.

Električni autobusi imaju potencijal značajno unaprijediti sustave javnog prijevoza kroz poboljšanje ekoloških i ekonomskih pokazatelja. Kroz daljnje istraživanje i inovacije, moguće je prevladati trenutne izazove i omogućiti širu primjenu ove tehnologije, čime će se postići značajan napredak u smjeru održivog urbanog prijevoza. Donositelji politika, stručnjaci iz industrije i akademska zajednica trebaju surađivati kako bi se ostvarili ciljevi održivog razvoja i osigurala čišća, učinkovitija budućnost za sve.

LITERATURA

1. Hughes TP. *Networks of power: electrification in Western society, 1880-1930*. Baltimore: JHU Press; 1993.
2. Guarnieri M, Morandin M, Ferrari A, Campostrini P, Bolognani S. Electrifying Water Buses: A Case Study on Diesel-to-Electric Conversion in Venice. *IEEE Industry Applications Magazine*. 2017;24(1):71-83. Dostupno na: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8082516/>
3. Sun, X., Li, Z., Wang, X., & Li, C. (2019). Technology development of electric vehicles: A review. *Energies*, 13(1), 90. Dostupno na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/1/90>
4. Armaroli N, Balzani V. Towards an electricity-powered world. *Energy and Environmental Science*. 2011;4(9):3193-3222. Dostupno na: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2011/ee/c1ee01249e>
5. Sperling D. *Two Billion Cars: Driving Toward Sustainability*. New York: Oxford University Press; 2009.
6. Johansson TB, Kågesson P, Johansson H, Jonsson L, Westin J, Hejenstedt H, Wollin P. *Fossilfrihet på väg*. Stockholm: Ministry of Enterprise, SOU; 2013.
7. Borén S, Ny H. A strategic sustainability analysis of electric vehicles in EU today and towards 2050. *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*. 2016;10(3):294-302. Dostupno na: <https://www.academia.edu/download/107627893/10003726.pdf>.
8. Deliali A. Zero-Emission Transit Bus And Refueling Technologies And Deployment Status: A Review Across US Transit Agencies. 2018. Dostupno na: https://scholarworks.umass.edu/cee_transportation/5/.
9. Ayres RU. Creative Urban Transport. In: *Sustainable City and Creativity*. Routledge; 2016. p. 391-412.
10. Barbosa FC. Bus' system electrification review—A technological operational comparative assessment. *SAE Technical Paper*. 2018;2018-36-0095. Dostupno na: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2018-36-0095/>.
11. Perugu H, Collier S, Tan Y, Yoon S, Herner J. Characterization of battery electric transit bus energy consumption by temporal and speed variation. *Energy*. 2023;263:125914. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222028006>

12. Bezruchonak A. Geographic features of zero-emissions urban mobility: the case of electric buses in Europe and Belarus. *Eur Spat Res Policy*. 2019;26(1):81-99.
13. Yang Z, Liu Y, Bai K, Li N. Economic benefits analysis of battery charging and swapping station for pure electric bus in public transportation field. Dostupno na: <https://scholar.archive.org/work/vpvjnzqwyzc45mgvuh5cmejbvy/access/wayback/http://dpi-proceedings.com/index.php/dtssehs/article/download/10246/9797>
14. Li W, Castellanos S, Maassen A. Emerging trends and innovations for electric bus adoption – A comparative case study of Shenzhen and Santiago. *Research in Transportation Economics*. 2018;69:292-302. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0739885917302330>
15. Poon L. How China Took Charge of the Electric Bus Revolution. 2018. Available from: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2018-05-08/in-china-shenzhen-electrified-its-entire-bus-fleet>.
16. Statista. Projection for the electric bus market size worldwide between 2020 and 2027 (in billion U.S. dollars). 2024. Available from: <https://www.statista.com/statistics/1264411/electric-bus-global-market-size-forecast/>.
17. Buekers J, Van Holderbeke M, Bierkens J, Panis LI. Health and environmental benefits related to electric vehicle introduction in EU countries. *Transport Research Part D: Transport and Environment*. 2014;33:26-38.
18. Chian TY, Wei W, Ze E, Ren L, Ping Y, Bakar NA, Sivakumar S. A review on recent progress of batteries for electric vehicles. *Int J Appl Eng Res*. 2019;14(24):4441-4461. Dostupno na: https://www.academia.edu/download/61735418/ijaerv14n24_0720200109-75705-k7qro2.pdf
19. Liu X, Sun X, Zheng H, Huang D. Do policy incentives drive electric vehicle adoption? Evidence from China. *Transp Res Part A Policy Pract*. 2021;150:49-62.
20. Heid B, Hensley R, Knupfer S, Tschiesner A. What's sparking electric-vehicle adoption in the truck industry?. *McKinsey & Company*; 2017.
21. CVH <https://www.cvh.hr/gradani/tehnicki-pregled/statistika/>
22. Yu B, Ma Y, Xue M, Tang B, Wang B, Yan J, Wei YM. Environmental benefits from ridesharing: A case of Beijing. *Appl Energy*. 2017;191:141-52.
23. Yang M, Zhang L, Dong W. Economic benefit analysis of charging models based on differential electric vehicle charging infrastructure subsidy policy in China. *Sustain Cities Soc*. 2020;59:102206.

24. EV trgovina <https://www.ev-trgovina.com/punjenje/trosak-punjenja-elektricnog-vozila-koliko-kosta-punjenje-elektricnog-vozila/>
25. Bloomberg Finance. Electric Buses in Cities: Driving Towards Cleaner Air and Lower CO2. *Bloomberg New Energy Finance*; 2018. Available from: <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf>
26. Bug.hr <https://www.bug.hr/transport/london-dobiva-elektricne-autobuse-koji-ce-se-puniti-na-inovativan-nacin-30025>
27. Kostelac M. Rijeka, Croatia: University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Department of Maritime Transportation; 2022. Available from: <https://www.unirepository.svkri.uniri.hr/islandora/object/pfri:3059>.
28. Electrive.com <https://www.electrive.com/2021/07/14/momentum-delivers-300-kw-inductive-charging/>
29. Kearney MJ. Electric vehicle charging infrastructure deployment: policy analysis using a dynamic behavioral spatial model [doctoral dissertation]. Cambridge (MA): Massachusetts Institute of Technology; 2011. Dostupno na: <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/65504>
30. Barman P, Dutta L, Bordoloi S, Kalita A, Buragohain P, Bharali S, Azzopardi B. Renewable energy integration with electric vehicle technology: A review of the existing smart charging approaches. *Renew Sustain Energy Rev.* 2023;183:113518. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123003751>
31. Morris C. To catch up on electric buses, Europe's transit firms are working with China. 2024. Available from: <https://chargedevs.com/newswire/to-catch-up-on-electric-buses-europes-transit-firms-are-working-with-china/>.
32. Sustainable Bus. Available from: <https://www.sustainable-bus.com/>.
33. IBI Group. Available from: <https://www.sustainable-bus.com/>.
34. Hannan MA, Hoque MM, Hussain A, Yusof Y, Ker PJ. State-of-the-art and energy management system of lithium-ion batteries in electric vehicle applications: Issues and recommendations. *IEEE Access.* 2018;6:19362-78.
35. Li M, Feng M, Luo D, Chen Z. Fast charging Li-ion batteries for a new era of electric vehicles. *Cell Rep Phys Sci.* 2020;1(10). Dostupno na: [https://www.cell.com/cell-reports-physical-science/fulltext/S2666-3864\(20\)30227-7](https://www.cell.com/cell-reports-physical-science/fulltext/S2666-3864(20)30227-7)

36. Simão M, Prytz R, Nowaczyk S. Long-term evaluation of the state-of-health of traction lithium-ion batteries in operational buses. *Int J Progn Health Manag.* 2022;13(1).
37. Chen X, Shen W, Vo TT, Cao Z, Kapoor A. An overview of lithium-ion batteries for electric vehicles. U: 2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC); 2012 Dec; Ho Chi Minh City, Vietnam. IEEE; 2012. p. 230-5.
38. Tong F, Jaramillo P, Azevedo IM. Comparison of life cycle greenhouse gases from natural gas pathways for medium and heavy-duty vehicles. *Environmental Science & Technology.* 2018;49(12):7123-7133.
39. Hannan MA, Hoque MM, Mohamed A, Ayob A. Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2017;69:771-789. Dostupno na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116309182>
40. Manzolli JA, Trovao JP, Antunes CH. A review of electric bus vehicles research topics—Methods and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2022;159:112211.
41. Ritchie H, Roser M, Rosado P. CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our World in Data;* 2020.
42. Densing M, Turton H, Bäuml G. Conditions for the successful deployment of electric vehicles—a global energy system perspective. *Energy.* 2012;47(1):137-149. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212006895>.
43. Wolking B, Haas W, Bachner G, Weisz U, Steininger KW, Hutter HP, Reifeltshammer R. Evaluating health co-benefits of climate change mitigation in urban mobility. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2018;15(5):880. Available from: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/5/880>.
44. Lajunen A, Lipman T. Lifecycle cost assessment and carbon dioxide emissions of diesel, natural gas, hybrid electric, fuel cell hybrid and electric transit buses. *Energy.* 2016;106:329-342. Dostupno na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421630319X>
45. Bingham C, Walsh C, Carroll S. Impact of driving characteristics on electric vehicle energy consumption and range. *IET Intell Transp Syst.* 2012;6(1):29-35.
46. He X, Zhang S, Wu Y, Wallington TJ, Lu X, Tamor MA, et al. Economic and climate benefits of electric vehicles in China, the United States, and Germany. *Environ Sci Technol.* 2019;53(18):11013-22.

47. Lebeau P, Macharis C, Van Mierlo J, Maes G. Implementing electric vehicles in urban distribution: A discrete event simulation. *World Electr Veh J.* 2013;6(1):38-47.
48. Du J, Ouyang M. Review of electric vehicle technologies progress and development prospect in China. U: 2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27); 2013 Nov; Barcelona, Spain. IEEE; 2013. p. 1-8.
49. Dunn JB, Gaines L, Kelly JC, James C, Gallagher KG. The impact of recycling on cradle-to-gate energy consumption and greenhouse gas emissions of automotive lithium-ion batteries. *Environmental Science & Technology.* 2012;46(22):12704-12710.
50. Jian L, Yongqiang Z, Larsen GN, Snartum A. Implications of road transport electrification: A long-term scenario-dependent analysis in China. *Etransportation.* 2020;6:100072.
51. Chan, C. C., Chau, K. T. (1996, August). An overview of electric vehicles-challenges and opportunities. In *Proceedings of the 1996 IEEE IECON. 22nd International Conference on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation* (Vol. 1, pp. 1-6). IEEE.
52. Mazzi EA, Dowlatabadi H. Air quality impacts of climate mitigation: UK policy and passenger vehicle choice. *Science of The Total Environment.* 2007;385(1-3):161-172. doi:10.1016/j.scitotenv.2007.07.029.
53. Green. Electric Buses: A New Era for Urban Transport? 2021. Available from: <https://green.org/2021/09/07/electric-buses-a-new-era-for-urban-transport/>.
54. Ambrose H, Kendall A. Effects of Battery Chemistry and Driving Style on the Performance and Life Cycle Emissions of Plug-In Hybrid Electric Vehicles. *Journal of Power Sources.* 2016;262:488-494. doi:10.1016/j.jpowsour.2014.02.086.
55. Go Motive. Electric buses: A definitive guide for commercial fleets. Available from: <https://gomotive.com/blog/electric-buses-guide-commercial-fleets/>.
56. Enel X. What is an electric bus? Available from: <https://corporate.enelx.com/en/question-and-answers/what-is-electric-bus>.
57. Gaines L. The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course. *Sustainable Materials and Technologies.* 2014;1-2:2-7.
58. Harper G, Sommerville R, Kendrick E, Driscoll L, Slater P, Stolkin R, et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature.* 2019;575(7781):75-86.
59. Zeng X, Li J, Singh N. Recycling of spent lithium-ion battery: A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology.* 2014;44(10):1129-1165.

60. Reuter MA, Hudson C, van Schaik A, Heiskanen K, Meskers CE, Hagelüken C. Metal recycling: opportunities, limits, infrastructure. A Report of the United Nations Environment Programme (UNEP). 2013.
61. Harper G, Sommerville R, Kendrick E, Driscoll L, Slater P, Stolkin R, et al. Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*. 2019;575(7781):75-86.
62. Minelgaitė A, Liobikienė G. Waste problem in European Union and its influence on waste management behaviours. *Science of the Total Environment*. 2019;667:86-93.
63. Spani RC. The new circular economy action plan. *FEEM Policy Brief*. 2020;(09-2020). Available from: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3711331.
64. Moreno B, García-Álvarez MT. Measuring the progress towards a resource-efficient European Union under the Europe 2020 strategy. *Journal of Cleaner Production*. 2018;170:991-1005.
65. Melin HE, Rajaeifar MA, Ku AY, Kendall A, Harper G, Heidrich O. Global implications of the EU battery regulation. *Science*. 2021;373(6553):384-387. Available from: <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.abh1416>.
66. Rajaeifar MA, Ghadimi P, Raugei M, Wu Y, Heidrich O. Challenges and recent developments in supply and value chains of electric vehicle batteries: A sustainability perspective. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022;180:106144.
67. Strategic Action Plan on Batteries (report). 2019. Available from: <https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/opinions-information-reports/opinions/strategic-action-plan-batteries-report>.
68. Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC. *Official Journal of the European Union*. 2006;L266:1-14. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006L0066>.
69. Richa K, Babbitt CW, Gaustad G, Wang X. A future perspective on lithium-ion battery waste flows from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*. 2014;83:63-76. doi:10.1016/j.resconrec.2013.11.008.

POPIS SLIKA

Slika 1. Dio voznog parka kineskog grada Shenzhena	7
Slika 2. Plug in punjenje	12
Slika 3. Pantograf punjenje	13
Slika 4. Induktivno punjenje	14
Slika 5. Punjenje električnih autobusa	16

POPIS TABLICA

Tablica 1. M3 vozila po županijama na električni i hibridni pogon u 2023. godini	10
Tablica 2. Prednosti električnih autobusa.....	21
Tablica 3. Nedostaci	24

POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Projekcija veličine tržišta električnih autobusa diljem svijeta između 2020. i 2027. (u milijardama američkih dolara)	8
--	---

Prilog: Izjava o akademskoj čestitosti i suglasnosti

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog izvora te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom ELEKTRIČNI AUTOBUSI U FUNKCIJI ODRŽIVOG RAZVOJA, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student:

Tomislav Kovačević

U Zagrebu, 04.09.2024.

(ime i prezime, potpis)