

# Automatizacija i elektrifikacija autobusa

---

**Kostelac, Marko**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:504718>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-27**



**Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**  
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**MARKO KOSTELAC**

**AUTOMATIZACIJA I ELEKTRIFIKACIJA AUTOBUSA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**AUTOMATIZACIJA I ELEKTRIFIKACIJA AUTOBUSA**

**AUTOMATION AND ELECTRIFICATION OF BUSES**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Automatizacija u prometu

Mentor: prof. dr. sc. Vinko Tomas

Student: Marko Kostelac

Studijski smjer: Organizacija i tehnologija prometa

JMBAG: 0112073782

Rijeka, rujan 2022.

Student: Marko Kostelac

Studijski program: Organizacija i tehnologija prometa

JMBAG: 0112073782

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom AUTOMATIZACIJA I ELEKTRIFIKACIJA AUTOBUSA izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Vinka Tomasa.

U radu sam primijenio metodologiju stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

---

Marko Kostelac

Student: Marko Kostelac

Studijski program: Organizacija i tehnologija prometa

JMBAG: 0112073782

IZJAVA STUDENTA – AUTORA O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG  
RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada AUTOMATIZACIJA I ELEKTRIFIKACIJA AUTOBUSA dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student

---

Marko Kostelac

## SAŽETAK

Cestovni promet opterećen je visokom razinom zagušenosti u gradovima, bukom i zagađenjem okoliša. Problemi se nastoje otkloniti uvođenjem novih tehnoloških rješenja kojima bi se povećala energetska učinkovitost, smanjili troškovi prijevoza, smanjili negativni učinci na okoliš te povećala sigurnost putnika. U tom smjeru, automatizacija i elektrifikacija autobusa vide se kao sljedeća faza u razvoju cestovnog prijevoza, posebice javnog gradskog prijevoza. U radu se kompiliraju teorijska i praktična saznanja o elektrifikaciji i automatizaciji autobusa te se ukazuje na ulogu elektrifikacije i automatizacije autobusa u razvoju javnog gradskog prijevoza. Automatizirani i elektrificirani autobusi nisu u potpunosti istraženi, no iz godine u godinu privlače sve veću pozornost gospodarstvenika i šire javnosti, što ukazuje na potrebu njihovog analiziranja i praćenja. Cilj rada je istaknuti tehnički napredak u smislu tehnologije vezane uz automatizaciju i elektrifikaciju autobusa te njihovu upotrebu u prvo i posljednjoj etapi javnog prijevoza.

**Ključne riječi:** elektrifikacija; automatizacija; autobusi; povezani autobusi; javni gradski prijevoz

## **SUMMARY**

Road traffic is burdened by a high level of congestion in cities, noise and environmental pollution. Problems are tried to be eliminated by introduction of a new technological solutions that would increase energy efficiency, reduced transportation costs, reduced negative effects on the environment and increased passenger safety. In this direction, automation and electrification of buses are seen as the next stage in the development of road transport, especially public city transport. This study compiles theoretical and practical knowledge about electrification and automation of buses and points out the role of electrification and automation of buses in the development of public urban transport. Automated and electrified buses have not been fully developed, but year after year they attract more and more attention from businessmen and the general public, which indicates the need to analyze and monitor them. The aim of this paper is to highlight technical progress in terms of technology related to the automation and electrification of buses and their use in the first and last stages of public transport.

**Key words:** electrification; automation; buses; connected buses; public city transport

# SADRŽAJ

SAŽETAK .....	I
SADRŽAJ .....	III
<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEMELJNE ZNAČAJKE ELEKTRIFICIRANIH I AUTOMATIZIRANIH AUTOBUSA.....</b>	<b>2</b>
2.1. PODJELA MOTORNIH VOZILA .....	2
2.2. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA MOTORNIH VOZILA S OSVRTOM NA AUTOBUSE .....	3
2.3. ELEKTRIČNI AUTOBUSI .....	5
2.4. AUTOMATIZIRANI AUTOBUSI.....	10
<b>3. TRENDOVI AUTOMATIZACIJE I ELEKTRIFIKACIJE AUTOBUSA .....</b>	<b>16</b>
3.1. TRENDOVI ELEKTRIFIKACIJE AUTOBUSA .....	16
3.1.1. Trendovi elektrifikacije javnog prijevoza .....	17
3.1.2. Primjeri elektrifikacije javnog prijevoza u gradovima.....	23
3.2. AUTOMATIZIRANI JAVNI PRIJEVOZ .....	29
3.2.1. Primjena automatiziranih autobusa – pilot projekti .....	29
3.2.2. Prednosti i nedostaci upotrebe automatiziranih autobusa u javnom prijevozu.....	33
<b>4. RAZVOJNE TENDENCIJE AUTOMATIZIRANIH I ELEKTRIFICIRANIH AUTOBUSA – BUDUĆNOST JAVNOG PRIJEVOZA .....</b>	<b>35</b>
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>37</b>
POPIS LITERATURE .....	39
POPIS TABLICA .....	43
POPIS SLIKA.....	44
POPIS SHEMA.....	45
POPIS GRAFIKONA .....	46



# 1. UVOD

Cestovni promet opterećen je visokom razinom zagušenosti u gradovima, bukom i zagađenjem okoliša. Problemi se nastoje otkloniti uvođenjem novih tehnoloških rješenja kojima bi se povećala energetska učinkovitost, smanjili troškovi prijevoza, smanjili negativni učinci na okoliš te povećala sigurnost putnika. U tom smjeru, automatizacija i elektrifikacija autobusa vide se kao sljedeća faza u razvoju cestovnog prijevoza, posebice javnog gradskog prijevoza. Cilj rada je istaknuti tehnički napredak u smislu tehnologije vezane uz automatizaciju i elektrifikaciju autobusa te njihovu upotrebu u prvo i posljednjoj etapi javnog prijevoza.

Automatizirani i elektrificirani autobusi nisu u potpunosti istraženi, no iz godine u godinu privlače sve veću pozornost gospodarstvenika i šire javnosti, što ukazuje na potrebu njihovog analiziranja i praćenja. Prisutan dinamičan gospodarski rast, tehnološki razvoj i primjena elektrifikacije mobilnosti potiče inovacije u javnom cestovnom prijevozu. Komercijalna vozila uključuju sve veću razinu naprednih sustava koji pomažu vozačima, ali ujedno i povećavaju autonomiju vozila. Istraživanja pokazuju da vozila bez vozača mogu zadovoljiti sigurnu vožnju u većini uobičajene potražnje za cestovnim prijevozom. Implementacija pametnih vozila u javnom cestovnom prijevozu vidi se kao jedan od načina poboljšanja sigurnosti u urbanim područjima, smanjenje troškova prijevoza “*first/last-mile*”, smanjenje gužve i poboljšanje globalnih usluga za korisnike [1]. U ovom radu nastoji se ukazati na značajke zamjene dizelskih autobusa koje pokreće čovjek elektrificiranim i automatiziranim autobusima s primjenom u praksi.

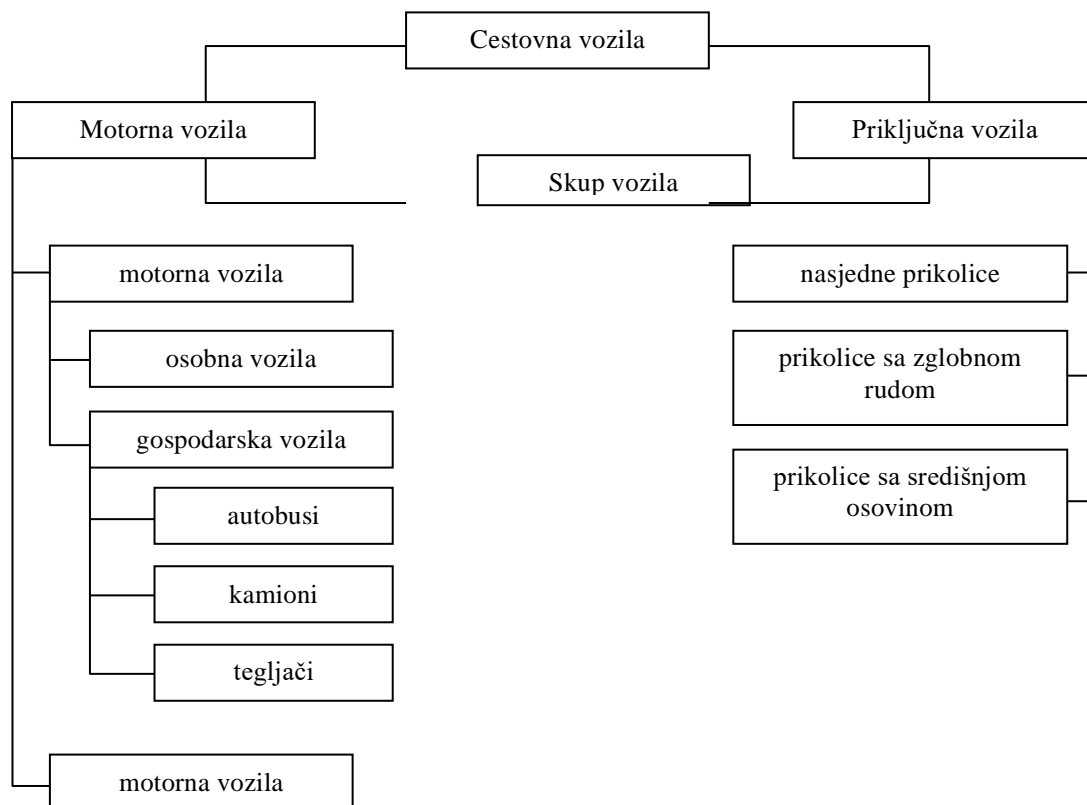
Završni rad je podijeljen u pet poglavlja. Nakon uvodu, u kojem je dan kratak pregled tematike rada, cilj i struktura rada, u drugom poglavlju su, uz kratak uvid u povijesni pregled razvoja motornih vozila te klasifikaciju motornih vozila, istaknute temeljne značajke elektrificiranih i automatiziranih autobusa. Trećim poglavljem obuhvaćeni su trendovi automatizacije i elektrifikacije autobusa. Pri tome su istaknuti čimbenici koji dovode do elektrifikacije javnog prijevoza te su predstavljeni primjeri elektrifikacije javnog prijevoza u gradovima. Posebno je ukazano na automatizaciju javnog prijevoza kroz pilot projekte primjene automatiziranih autobusa te su istaknuti prednosti i nedostaci upotrebe automatiziranih autobusa u javnom prijevozu. U četvrtom poglavlju se iznose razvojne tendencije automatiziranih i elektrificiranih autobusa. Zaključak donosi kratak pregled završnog rada po pojedinim poglavljima.

## 2. TEMELJNE ZNAČAJKE ELEKTRIFICIRANIH I AUTOMATIZIRANIH AUTOBUSA

Prisutne klimatske promjene nametnule su tehnološke transformacije u prijevozu posljednjih godina. Cestovni prijevoz je zaslužan za značajan udio emisije stakleničkih plinova u atmosferu te su sve veći naponi usmjereni ka dekarbonizaciji kroz elektrifikaciju individualnog i javnog prijevoza [2]. Tehnološki razvoj posebice digitalna tehnologija otvaraju nove mogućnosti u području mobilnosti, kroz elektrifikaciju i automatizaciju vozila.

### 2.1. PODJELA MOTORNIH VOZILA

Cestovna vozila su ona vozila koja se koriste u cestovnom prometu [3]. Općenito se dijele u dvije skupine: motorna i priključna cestovna vozila. Motorna vozila obavezno imaju motor. Na Shemi 1 prikazana je podjela cestovnih vozila.



## Shema 1. Pregled cestovnih vozila [3]

Kako je vidljivo iz Sheme 1 autobusI se ubrajaju u gospodarska, motorna vozila. Osim ove podjele u literaturi je prisutna i klasifikacija motornih vozila s dva ili više i s jednim tragom. U motorna vozila s dva ili više tragova ubrajaju se [3]:

- osobna vozila namijenjena prijevozu osoba i njihove prtljage te različitih roba. Mogu vući i prikolice. Broj sjedećih mjesta je ograničen na devet, uključujući i vozačevom sjedeće mjesto,
- gospodarska vozila namijenjena prijevozu putnika, robe i vući priključnih vozila (prikolica). Osobna vozila se ne ubrajaju u gospodarska vozila.

Motorna vozila s jednim tragom su motorkotači s dva kotača. Oni mogu imati prikolicu s bočne strane, pri čemu zadržavaju značajke motorkotača, ako težina praznog vozila nije veća od 400 kg. Motorkotači mogu imati priključenu prikolicu. Razlikuju se [3]: motorkotači, skuteri i bicikli s pomoćnim motorom.

Vidljivo je dakle, da autobusi, o kojima je riječ u ovom završnom radu spadaju u motorna gospodarska vozila te da su to vozila s dva traga, a namijenjena su prijevozu putnika i njihove prtljage.

## **2.2. POVIJESNI PREGLED RAZVOJA MOTORNIH VOZILA S OSVRTOM NA AUTOBUSE**

Povijest razvoja autobusa vezuje se uz povijesni razvoj motornih vozila, općenito. No, potrebno je istaknuti kako je potreba za javnim autobusnim sustavom postojala znatno prije prve izvedbe motora s unutarnjim sagorijevanjem kojeg je osmislio Jean Joseph Étienne Lenoir, belgijsko-francuski inženjer 1860. godine. Prvi je javni autobusni sustav

uvedo gotovo četrdeset godina ranije (1826. godine) u Nantesu u Francuskoj, Stanislas Baudry. Tadašnji omnibusi (od lat. riječi omnis u značenju sav, svaki; omnibus svima) [4] bili su kočije koje su vukli konji i mogle su prevesti do 16 putnika [5]. Ideja je vrlo brzo bila prihvaćena te je proširena i na druge zemlje.

U Londonu je 1829. godine omnibus uveo George Shillibeer, a bio je izravno inspiriran tipom vozila koji je prometovao u Parizu. Nudio je rastućoj srednjoj klasi jednostavan i ekonomičan način putovanja gradom. Pedeset godina kasnije, autobusom na konjski pogon upravljala je tvrtka London General Omnibus Company, od 1880. do 1911. na ruti između Waterlooa i Baker Streeta, s kapacitetom od 28 osoba i brzinom od 8 milja na sat. Do kasnog 19. stoljeća doba konja je prošlo, a zamjenjuju ih motorni autobusi.

Jean Joseph Étienne Lenoirov motor s unutrašnjim sagorijevanjem iz 1860. godine imao je vrlo mali stupanj korisnosti, oko 3 %, no u to vrijeme su i parni strojevi imali mali stupanj korisnosti [3]. Godine 1867. N. A. Otto i Langen izlažu na velesajmu u Parizu poboljšanu verziju Lenoirovog motora s povećanim stupnjem korisnosti na 9 %. Gotovo deset godina kasnije, 1876. godine N. A. Otto konstruirao je prvi motor s kompresijom smjese goriva. Motor je bio četverotaktni i pogonjen plinom. Godine 1883. Daimler i Maybach razvijaju prvi brzohodni četverotaktni benzinski motor s paljenjem pomoću užarene svjećice, a 1884. godine Benz konstruira dvotaktni plinski motor.

Sve je to dovelo do konstrukcije prvog motorkotača (Daimler 1884. godine), motornog vozila s tri kotača i jednocilindarskim motorom (Benz 1886. godine) te vozila s četiri kotača pogonjenog jednocilindarskim benzinskim motorom (Daimler 1886. godine), a u slijedilo je i prvo električno vozilo (Lohner-Porsche 1897. godine) [3]. Razvoj motornih vozila utjecao je i na promjene u sustavu javnih autobusa.

Motorni autobusi postojali su od 1890-ih godina, no autobus tipa B iz 1910. godine bio je prvi model masovne proizvodnje na svijetu. Do 1919. godine u Londonu više nije bilo autobusa na konjsku vuču.

U godinama koje slijede autobusi velikom brzinom postaju onakvi kakvi su danas poznati te zauzimaju važno mjesto u javnom prijevozu, ne samo u gradskom prometu, već i u međugradskom i međunarodnom prometu. Autobusi u suvremenom poimanju te riječi, kao oblik prijevoza se najviše koriste u gradskom prijevozu. U odnosu na automobile znatno su sigurniji, a ujedno su i troškovno povoljniji način prijevoza, s obzirom na

ponudu vrlo povoljnih opcija i do vrlo udaljenih destinacija.

No, zasigurno jedna od najvažnijih prednosti je opuštenost putovanja, bez prethodnog planiranja puta i sigurnost koju pružaju prijevoznici [6]. Autobusi, međutim, imaju i nedostatke, a oni se u prvom redu očituju u njihovom doprinosu u zagađenju okoliša. Kako bi se smanjili negativni utjecaji na okoliš u autobusni javni prijevoz uvode se promjene, kao što je održivi oblik pogona, bilo da koriste električni pogon ili neki drugi, ekološki prihvatljiv pogon.



Slika 1. Autobus tipa B iz 1910. godine [5]

### 2.3. ELEKTRIČNI AUTOBUSI

Kako je prethodno istaknuto prvi električni autobus izradio je Lohner-Porsche već 1897. godine [3], a prvu uslugu električnih autobusa na baterije tzv. elektrobus (Slika 2) pokrenula je London Electrobus Company 1907. godine na relaciji londonske stanice Victora i Liverpool Street s udaljenošću od 6,5 km [7].



Slika 2. Prototip elektrobusa iz 1906. godine [7]

Baterije elektrobusa davale su ograničeni domet do 65 km, dovoljno za četiri povratna putovanja. Elektrobuses bi po potrošenu bateriju zamijenio u garaži i dalje nastavio prometovati. Zamjena baterije trajala je tri minute. Elektrobuses je prateća današnjih električnih autobusa. No, tvrtka je zbog financijskih problema otišla u likvidaciju i usluga elektrobusesa je 1910. godine prestala. Tek u 21. stoljeću počinje značajnija upotreba električnih vozila.

Električni autobus je svaki autobus čiji se pogonski i pomoćni sustavi napajaju isključivo iz izvora električne energije bez emisija [8]. Izvor električne energije mogu biti ugrađene baterije, vodikovi gorivni članci (engl. *fuel cell*)<sup>1</sup>, nadzemne žice kao u trolejbusu, ili zemaljski beskontaktni vodiči. Bilo koja od ovih opcija može se proširiti mogućnošću ponovnog punjenja (Slika 3), putem ugrađenih mehanizama kao što su solarni paneli ili vanjski punjači i baterije za pohranu. Autobusi se mogu puniti na priključnim stanicama ili posebnim bežičnim punjačima.

---

<sup>1</sup> Gorivni članak (engl. *Fuel Cell*) je elektrokemijski uređaj koji elektrokemijskim procesom proizvodi električnu struju iz goriva – vodika [9].



Slika 3. Električni autobus sa stanicom za punjenje [10]

Većina električnih autobusa su električni autobusi na baterije, u kojima motor dobiva energiju iz ugrađenih baterija. Prvi autobusi na baterije bili su mali, mini ili midibusovi. Nedostatak električnih baterija u odnosu na dizel motore je što imaju kratak domet jednog punjenja. Tehnologija baterija je, međutim, od 2010. godine znatno poboljšana upotrebom litij-titanat baterija, što je dovelo do pojave autobusa na baterije, uključujući i teže jedinice kao što su standardni autobusi dužine od 12 metara i zglobni autobusi.

Od 2018. godine električni autobusi na baterije dosežu domet od preko 280 km sa samo jednim punjenjem, iako se taj domet može smanjiti u uvjetima ekstremnih temperatura i brdovitog terena. Zbog ograničenog dometa, njihovo korištenje je uglavnom vezano za urbana područja. Punjači su, također, s vremenom znatno poboljšani, te je u 2017. godini u Mancehsteru pokrenut pilot projekt upotrebe električnih autobusa koji se tijekom rute pune, a punjenje baterije traje tri do šest minuta na terminalu.

Time je ujedno omogućen 24-satni promet električnim autobusima, te je prvi takav sustav autobusa u Velikoj Britaniji [10]. Osim punjenja baterije na terminalu, autobusi se pune na određenim autobusnim stanicama (svaka 3. ili 4. stanica), dok se ljudi iskrcavaju ili ukrcavaju u autobus, što znači da punjenje energijom nema utjecaj na vozni red

autobusa. Automatsko električno spajanje omogućeno je s gornje strane autobusa unutar jedne sekunde, dok je autobus zaustavljen na autobusnoj stanici, a potom se puni velikom snagom, od 400 kW tijekom 15 sekundi dok vrata ostaju otvorena.

Primjena električnih autobusa zahtijeva i infrastrukturu potrebnu za nesmetan rad takvih autobusa. Glavne komponente javnog prijevoza električnim autobusima su: autobusi, stanice za punjenje i podrška. Studije pokazuju da je potrošnja električne energije autobusa od 12 metara u najboljim uvjetima oko 0,8 kWh po km [11]. Normalni uvjeti podrazumijevaju operacije u normalnom danu s temperaturom od 20 °C, bez puno prometa i s vještim vozačem.

Potrošnja ovisi o vremenskim prilikama, što znači da će autobus imati veću potrošnju u vremenskim uvjetima s nižim temperaturama zbog uključenog grijanja. U tom slučaju imati će potrošnju od 2,3 do 2,5 kWh po km. S grijanjem na dizel, potrošnja bi bila oko 1,5 kWh po km. Električni autobus s baterijom od 300 kWh može prijeći i do 375 km u normalnim uvjetima, no u zimskim uvjetima, kilometraža mu se smanjuje na oko 120 do 130 km, uz električno grijanje. Uz upotrebu dizelskog grijanja može prijeći do 200 km.

Niske temperature, dakle, utječu na domet električnih autobusa. Studija provedena u SAD-u u okviru Nacionalnog programa električnih autobusa na gorivne članke pokazala je da niske temperature (između -5 i 0°C) utječu na smanjenje dometa električnih autobusa na baterije do 38 % i to 23 % za autobuse na gorivne članke [11]. Prema toj studiji autobusi na gorivne članke nude veći domet u zimskim uvjetima.

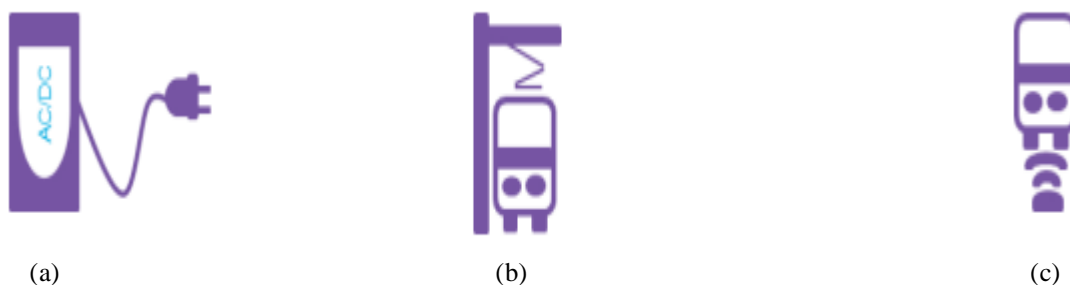
Domet električnih autobusa s jednim punjenjem nastoji se povećati kako bi se postigla veća učinkovitost u prometu. No, daljnji razvoj električnih autobusa ide u smjeru produženja dometa, te je krajem 2019. godini Iveco Bus predstavio 12-metarski autobus GX 337 Elec, koji je tijekom testiranja dosegno 527 km s jednim punjenjem, te s brzinom od 46 km/h bio u prometu 12 sati s isključenim grijanjem i hlađenjem. Pri tome je potrebno istaknuti da autobusi u gradu srednje veličine putuju prosječno 170 km/dan.

Istraživanje Bloomberg-a pokazuje da u usporedbi s dizelskim autobusima, električni autobus s baterijom od 110 kWh u kombinaciji s najskupljim bežičnim punjenjem doseže paritet ukupnih troškova s dizelskim autobusima na oko 60.000 km prijeđenih godišnje, te postiže niže troškove pri vožnji u gradu srednje veličine [12]. U velikim gradovima i megagrafovima s velikom godišnjom kilometražom autobusa istraživanja su, također,



pokazala niže troškove upotrebe električnih autobusa u odnosu na autobuse s dizel motorima i autobuse na plin. Prema procjenama na svakih 1.000 električnih autobusa na cesti smanji se potrošnja dizel goriva za 500 barela [12].

Operativni zahtjevi električnih autobusa, zahtijevaju ugradnju većih baterija od baterija drugih vrsta električnih vozila, pa je i za korištenje brzog punjenja potrebno desetak minuta do nekoliko sati. U primjeni su tri glavne vrste infrastrukture punjenja električnih autobusa [13]: *plug-in* sustavi, induktivno punjenje i punjenje pomoću provodnog pantografa (nadzemno) (Slika 4).



Slika 4. Glavne vrste punjenja baterija električnog autobusa: a) tradicionalno *plug-in* punjenje, b) pantografsko punjenje, c) induktivno punjenje [13]

Tradicionalno *plug-in* punjenje je najčešći i najjeftiniji sustav punjenja kod električnih autobusa. Nudi različite vrste punjenja, od sporih do brzih. Pantografsko (nadzemno) punjenje je sve popularnije kod novih voznih parkova električnih autobusa u Europi i SAD-u. Pantografsko kao i *plug-in* punjenje nudi različite vrste punjenja, a kod ove tehnologije najučinkovitije je brzo punjenje.

Najčešće se koristi za punjenje manjih baterija. Studije pokazuju da pantografski punjači i bežično punjenje ima niske zahtjeve kapaciteta ugrađenih baterija za električne autobusi, ali su manje fleksibilni, ograničeni dostupnim prostorom i politikom lokalnih vlasti [12].

Bežično punjenje je najskuplja opcija i koristi se samo u pilot projektima električnih autobusa. Dostupno je stacionarno bežično punjenje, dok je dinamičko bežično punjenje

još uvijek samo u fazi demonstracije. Slično punjenju pantografom, bežično punjenje može ponuditi različite brzina punjenja, ali je za baterije najoptimalnije brzo punjenje.

Osim potpuno električnih autobusa, u primjeni su serijski ili paralelni hibridni električni i pomoćni sustavi smanjenja opterećenja koji se koriste kao alternativa tradicionalnim autobusima na dizelski pogon.

## 2.4. AUTOMATIZIRANI AUTOBUSI

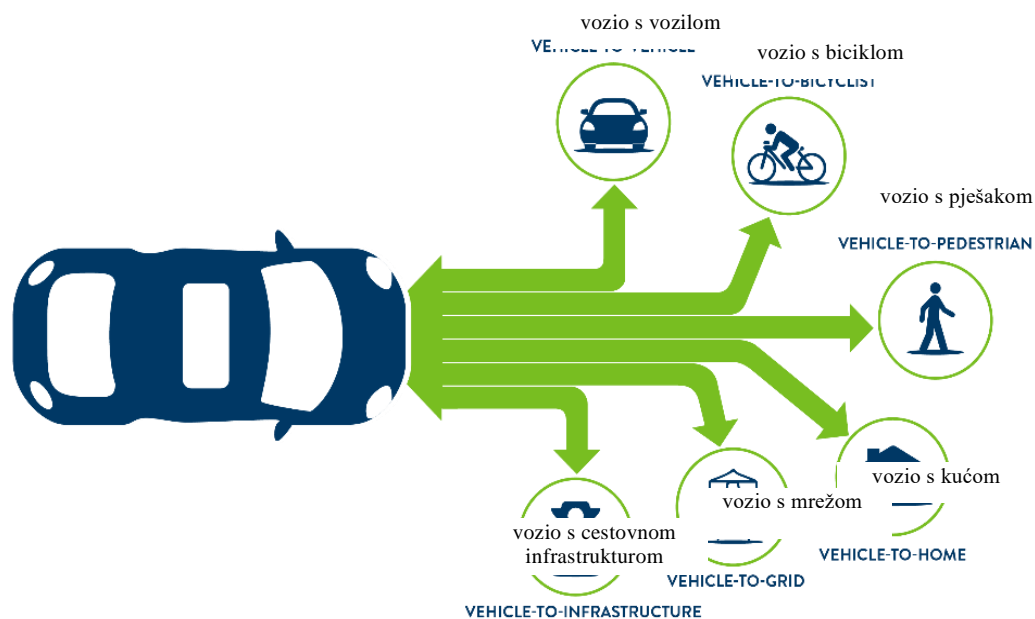
Mnogi autobusi u prometu imaju tehnologiju koja pomaže vozačima, i koja povećava sigurnost putnika. No, dok su neke tehnologije za pomoć u vožnju dizajnirane kako bi upozorile vozača, druge su dizajnirane kako bi se izbjegli sudari. Stalna evolucija tehnologije cestovnih vozila dovela je do potpuno automatiziranih sustava vožnje.

Automatizirana vozila koriste tehnologiju za upravljanje, ubrzavanje i kočenje s malo ili nimalo ljudskog utjecaja [13]. Neka od tih vozila i dalje trebaju intervenciju čovjeka zbog nadzora kolnika, dok druga vozila ne zahtijevaju ljudsku intervenciju (Slika 5).



Slika 5. Automatizirano vozilo [13]

Za razliku od automatiziranih vozila, povezana vozila (Slika 6) koriste tehnologiju za međusobnu komunikaciju i povezivanje s prometnim signalima, znakovima ili drugim cestovnim elementima ili za dobivanje podataka iz oblaka (eng. *cloud*). Ta razmjena informacija pomaže sigurnosti na cesti te poboljšava protok vozila.



Slika 6. Povezano vozilo [13]

Automatizirana vozila imaju senzore i sustave percepcije za otkrivanje objekata i događaja u svojoj blizini. Kontroliraju upravljanje vozilom ili brzinu ili oboje, kako bi se vozilo kretalo duž odabrane putanje. Sposobnost sustava za percepciju ili kontrolu funkcioniranja može biti umanjena utjecajima atmosferskih uvjeta i uvjeta na cesti. Svoj položaj unutar vozne trake vozila kontroliraju uz pomoć videokamere.

Neka vozila stvaraju trodimenzionalni model svog okruženja uz pomoć druge videokamere ili uz pomoć LIDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) sustava. Lidar

sustav ima mogućnost detektirati objekte pomoću lasera, koji emitiraju svjetlosne zrake i izračunavaju vrijeme dok se ne vrati refleksija od objekata u okolini [14]. Radar (engl. *Radio Detecting and Ranging*) koristi radio valove. Primjenjuje se za detektiranje udaljenosti od drugih vozila.

Nedostatak mu je što može detektirati metalne, ali ne i plastične objekte. Ultrazvučni senzori omogućuju dobivanje preciznih podataka kratkog dometa, dok su ultracrveni sustavi usmjereni ka otkrivanju oznake traka bez osvjetljenja i pješake tijekom noći. Senzori se koriste kako bi omogućili prikupljanje što više različitih podataka, ali imaju i vlastita ograničenja, kao što su vidno polje, radni uvjeti okoline i elementi u okruženju koje mogu osjetiti [14].

Sustavi senzora koriste se za lokalizaciju vozila, odnosno za određenje njegovog položaja. Pri tome se koriste globalni navigacijski sustavi pozicioniranja, primjerice, GPS (engl. *Global Positioning System*). Osim GPS-a u upotrebi je i inercijski navigacijski sustav (INC), elektronički navigacijski uređaj koji koristi računalo. Osnova sustava su akcelerometri odnosno senzori koji mjere promjene brzine (akceleracije) [15]. Ovim je uređajem omogućena potpuna autonomna navigacija, bez potrebe kontakta s okolinom.

Automatizirana vozila se mogu strogo oslanjati na ugrađenu tehnologiju ili mogu biti povezana, koristeći namjensku komunikaciju kratkog dometa ili Wi-Fi za komunikaciju s drugim vozilima, pješacima i infrastrukturom. Povezana automatizirana vozila imaju sposobnost optimiziranja kapaciteta mreže, smanjenje zagušenosti i povećanja sigurnosti.

Nacionalna uprava za sigurnost u cestovnom prometu (engl. *National Highway Traffic Safety Administration*, skr. NHTSA) Sjedinjenih Američkih Država objavila je klasifikaciju sustava automatizirane vožnje kojima sažima razine automatizacije Udruge automobilskih inženjera (engl. *Society of Automotive Engineers*, skr. SAE International) u Tablici 1.

Razine označavaju opće smjernice zahtjeva tehničkog napretka vozila. Primjerice, automatizacija razine 5 zahtijeva tehnološki naprednije vozilo jer ne treba nikakvu intervenciju vozača, u usporedbi s automatizacijom razine 2, koja zahtijeva da vozač preuzme primarnu kontrolu nad vožnjom iako vozilo ima kombinirane automatizirane funkcije [16].

Tablica 1. Razine automatizacije sažete u NHTSA-ovom sustavu automatizirane vožnje 2.0

Razina	Naziv	Opis
0	Bez automatizacije	Vozač obavlja sve zadatke vožnje
1	Pomoć vozaču	Voziom upravlja vozač, ali neke značajke pomoći u vožnji mogu biti uključene u dizajn vozila
2	Djelomična automatizacija	Vozilo ima kombinirane automatizirane funkcije, poput ubrzanja i upravljanja, ali vozač mora ostati uključen u zadatak vožnje i cijelo vrijeme nadzirati okolinu.
3	Uvjetna automatizacija	Vozač je neophodan, ali nije potreban nadzor okoline.
4	Visoka automatizacija	Vozilo je sposobno obavljati sve funkcije vožnje pod određenim uvjetima. Vozač može imati opciju upravljanja vozilom.
5	Potpuna automatizacija	Vozilo je sposobno obavljati sve funkcije vožnje u svim uvjetima. Vozač može imati opciju kontroliranja vozila.

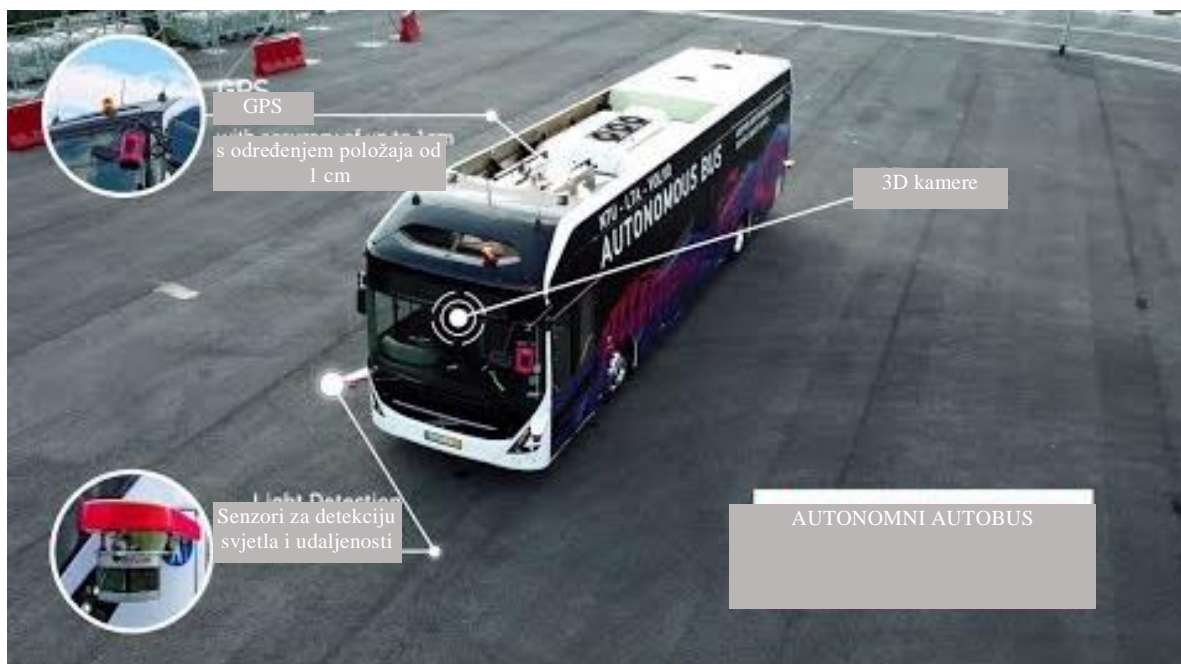
Izvor: U.S. Department of Transportation 2019, *Automated Vehicles and Adverse Wearher*, Final Report, U.S. Department of Transportation, Washington, p. 7., <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/43772> (8.07.2022.)

Kada kontinuirano rade, značajke naprednih sustava pomoći vozaču (engl. *Advanced Driver Assistance System*, skr. ADAS), kao što su prilagodljivi tempomat (engl. *Adaptive Cruise Control*, skr. ACC), ili pomoć pri održavanju pravca unutar trake (eng. *Lane Keeping Assistance*, skr. LKA) smatraju se automatizacijom razine 1, ako su pojedinačno u upotrebi. Standardne značajke automatiziranih modela vozila su upozorenje na sudar

sprijeda, upozorenje na mrtvi kut, upozorenje na napuštanje trake, pomoć pri održavanju pravca unutar trake i kamere za pogled unatrag. S obzirom da ne djeluju kontinuirano, ovi modeli vozila su prema SAE klasifikacijskoj ljestvici na razini 0.

Rastući interes gospodarstvenika za automatizirana vozila potiče automobilsku industriju na implementaciju sve veće automatizacije u komercijalna vozila. Volvo Buses je demonstrirao nekoliko uspješnih demonstracija autonomnih autobusa u 2018. i 2019. godini. U studenom 2019. godine Volvo Buses je demonstrirao električni gradski autobus 7900 opremljen za autonomnu vožnju na kolodvoru. Demonstracija je održana u suradnji s tvrtkom Keolis u autobusnom depou u blizini Göteborga u Švedskoj u stvarnim uvjetima [17]. Vozilo se uspješno kretalo između parkirališta i nekoliko radnih stanica, uključujući pranje, održavanje i električno punjenje, prije parkiranja na ispravnoj lokaciji, s putnicima u vozilu.

Konceptni autonomni autobus opremljen je sensorima i navigacijskim kontrolama kojima upravlja sveobuhvatni sustav umjetne inteligencije. Prototip je zasnovan na Volvovom električnom gradskom autobusu modificiranom za autonomni rad [18]. Dužina autonomnog autobusa je 12 metara, a dizajniran je kako bi putnicima pružio što sigurniju i udobniju vožnju. Programiran je tako da se ubrzanje i kočenje odvija lagano i glatko u pokretu i zaustavljanju. Autobus je na autobusnim stajalištima uvijek u istoj poziciji, s istim razmakom između autobusa i platforme za ulaz i izlaz, a ugrađeni senzori omogućuju konstantan nadzor nad okolinom vozila [18]. Volvov autonomni autobus (Slika 6) testiran je i na Tehnološkom sveučilištu Nanyang u Singapuru.



Slika 7. Autonomni autobus Volvo 7900 [19]

Poligon za testiranje sastoji se od označenih cestovnih znakova, pokretnih modela pješaka i stanice za brzo punjenje baterije. Volvo 7900 testni autobus ih prepoznaje uz pomoć senzora, kamera i satelitskog sustava te određuje njihovo položaj do najbližeg centimetra. Autobus, također, posjeduje jedinicu koja prati kut nagiba.

Prikupljene podatke koristi umjetna inteligencija za izgradnju ruta, zaustavljanje kod pojave pješaka te usklađivanje prometa na neravnim cestama. Autobus je kapaciteta 80 putnika, a zanimljivo je da s dizelskim motorom troši 80 % manje energije u odnosu na isti prijevoz. Za punjenje baterije koristi se postaja kapaciteta 300 kW koja podsjeća na svjetiljke. Ugrađuje se na cestama poligona za testiranje te osigurava brzo punjenje uz minimalno vrijeme zastoja [19].

Zasigurno će trebati još dosta godina dok autonomni autobusi zažive na javnim prometnicima, no činjenica je da su oni stvarnost koja će u budućnosti sigurno imati važnu ulogu unutar prometnog sustava, ali i općenito u životu ljudi.

### **3. TRENDOVI AUTOMATIZACIJE I ELEKTRIFIKACIJE AUTOBUSA**

Posljednje desetljeće obilježavaju inovacije u području tehnologije prometa i prijevoza, kako u segmentu razvoja novih koncepata prometne infrastrukture, tako i prijevoznih sredstava. Javni cestovni prijevoz usmjerava se ka elektrifikaciji i automatizaciji s konačnim ciljem povećanja energetske učinkovitosti i povećanja sigurnosti putnika. U ovom dijelu završnog rada daje se uvid u trendove elektrifikacije i automatizacije autobusa uz primjere njihove primjene.

#### **3.1. TRENDOVI ELEKTRIFIKACIJE AUTOBUSA**

Prema podacima Ujedinjenih naroda, svjetsko stanovništvo je posljednjih trideset godina poraslo za 2,5 milijardi, a većina tog rasta odnosi se na zemlje u razvoju, uglavnom u Aziji i Oceaniji. Predviđanja ukazuju da bi do 2050. godine svjetsko stanovništvo trebalo porasti za 1,9 milijardi [20]. Istovremeno je prisutan trend rasta broja stanovnika u gradovima. U 2010. godini 51,6 % svjetskog stanovništva živjelo je u urbanim područjima, a procjenjuje se da bi se do 2030. godine njihov udio povećao na 56,2 %.

Takav stupanj rasta stanovništva u gradovima utječe i na povećanje problema vezanih uz funkcioniranje gradova. To implicira i potrebu za učinkovitim načinima gradskog prijevoza u smislu potrošnje energije i troškova. Dostupnost prostorno učinkovitih i pristupačnih načina prijevoza za stanovnike ključna je kako bi se osigurala potpuna dostupnost urbanim područjima.

Električni autobusi su identificirani kao ključna rješenja javnog prijevoza bez fosilnih goriva i značajan doprinos ka potpunoj održivosti. Studije o procjeni životnog ciklusa također pokazuju da su utjecaji na okoliš električni autobusa manji u odnosu na autobuse s motorima s unutarnjim izgaranjem, ako ih pokreće obnovljiva električna energija [21]. Sve veća buka i zagađenje okoliša u gradovima povećava zabrinutost za



zdravlje ljudi i kvalitetu života, posebice duž autobusnih linija, pa se upotreba električnih autobusa vidi kao jedno od mogućih rješenja smanjenja negativnih učinaka na okoliš.

### **3.1.1. Trendovi elektrifikacije javnog prijevoza**

Električna mobilnost, osim individualnih vozila, sve više uključuje električne autobuse koji postaju sastavni dio javnog prijevoza u gradovima. Srednjoročno gledano, električni autobusi će u javnom gradskom prijevozu putnika zamijeniti tradicionalne modele autobusa s motorima s unutarnjim izgaranjem.

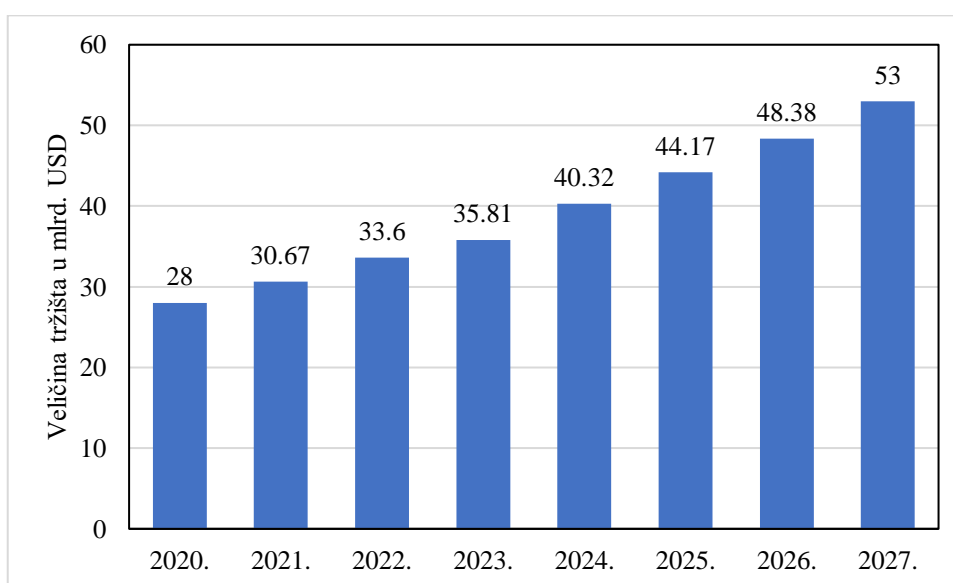
Europska unija je postavila cilj da do 2025. godine najmanje 45 % novoregistriranih gradskih autobusa bude opremljeno alternativnim pogonskim sklopovima, a do 2030. godine najmanje 65 % [22]. To se, međutim, ne odnosi samo na autobuse s električnim pogonom na baterije ili gorivne članke već i na autobuse pogonjene biogorivom ili ukapljenim plinom.

Globalno tržište električnih autobusa u 2021. godini doseglo je razinu od 670 tisuća električnih autobusa [22]. Međutim, globalni utjecaj pandemije Covid-19 imao je negativne učinke i na potražnju za električnim autobusima na globalnoj razini. Procjene ukazuju na pad rasta globalnog tržišta električnih autobusa od 14,1 % u 2020. godini u odnosu na međugodišnji rast u razdoblju od 2017. do 2019. godine [24].

Prema predviđanjima vrijednost tržišta električnih autobusa iznosila je u 2020. godini 28 mlrd. USD, a do 2027. godine trebala bi iznositi 53 mlrd. USD (Grafikon 1). To predstavlja ukupnu godišnju stopu rasta od oko 9,5 % tijekom razdoblja od 2020. do 2027. godine.

Tržište električnih autobusa je segmentirano na: električne autobuse na baterije, koji čine više od četiri petine globalnog tržišta električnih autobusa, električne autobuse na vodikove gorivne članke i hibridne autobuse [22]. U 2019. godini, 99 % svih električnih autobusa na baterije bilo je raspoređeno u Kini, s više od 421.000 autobusa na cestama, što je 17 % ukupnog broja autobusa Kine [25].

U Europi je u 2020. godini tržište električnih autobusa na baterije poraslo za 22 % u odnosu na 2019. godinu te je registrirano 2.062 električna autobusa. U 2021. godini nastavljen je rast broja prodanih električnih autobusa u Europi te je isporučeno 3.282 električna autobusa. Potrebno je, također istaknuti da je u tri europske zemlje registrirano više od 500 električnih autobusa, pri čemu Njemačka vodi s 555 jedinica, slijedi Velika Britanija s 540 i Francuska s 512 [26]. Na Grafikonu 2 može se vidjeti dinamika rasta broje električnih autobusa u Europi u razdoblju od 2012. do 2020. godine po segmentima tržišta električnih autobusa.



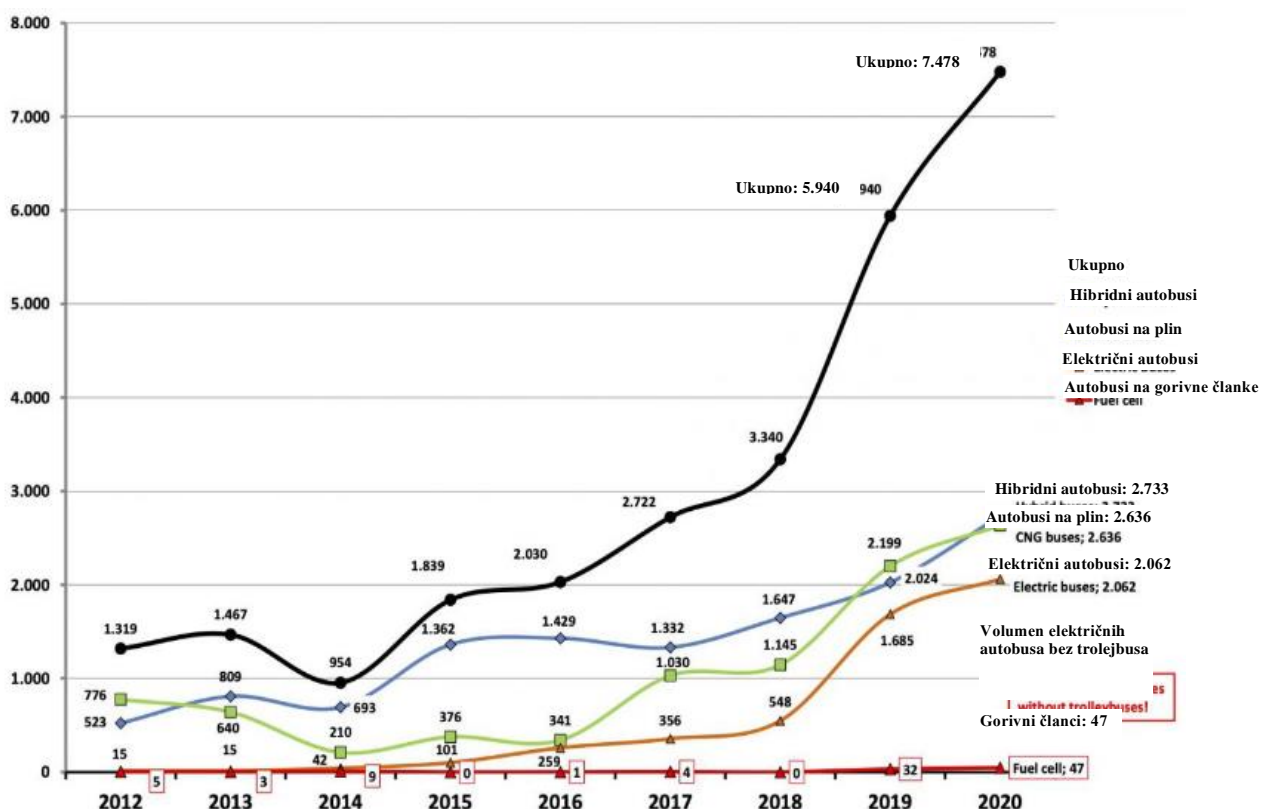
Grafikon 1. Vrijednost globalnog tržišta električnih autobusa, 2020.-2027. godine [23]

U 2020. godini 53 % registriranih gradskih autobusa u Europi imalo je alternativni pogon. Podaci na Grafikonu 2 pokazuju da je ukupan broj autobusa s alternativnim gorivom registriranih u zapadnoj Europi (uključujući Poljsku) u 2020. godini iznosio je 7.478, što je u odnosu na 2019. godinu povećanje za 25,9 %. Od toga je registriranih električnih autobusa (hibridni, autobusi na baterije i gorivne članke) bilo 5.513 ili 73,7 %.

Prisutan je, dakle, godišnji rast broja registriranih električnih autobusa. U usporedbi s 2012. godinom vidljivo je značajno povećanje električnih autobusa, 543 u 2012. godini u usporedbi s 5.513 u 2020. godini. Hibridni autobusi su povećani s 523 u 2012. godini na 2.733, što je povećanje za 422,5 %. U 2020. godini zabilježen zanimljiv rast autobusa na

hibridni pogon kao posljedica trenda njihove primjene u gradskom javnom prijevozu zastupljenog na nekoliko europskih tržišta.

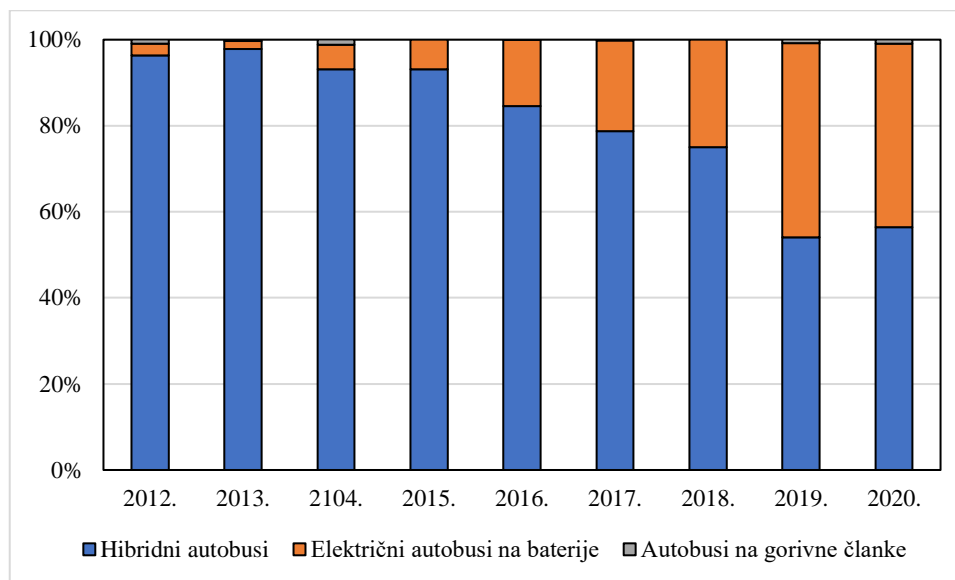
Povećanje broja autobusa na hibridni pogon u 2020. godini u odnosu na 2019. godinu iznosio je 35,0 %, a u 2019. godini iznosilo je 39,6 % u odnosu na 2018. godinu. Posebno je vidljiv dinamičan rast kod električnih autobusa s baterijama kojih je u 2012. godini registrirano tek 15, a u 2020. godini ih je registrirano 2.062.



Grafikon 2. Broj autobusa s alternativnim pogonom (bez trolejbusa) u zapadnoj Europi uključujući Poljsku, 2012.-2020. [27]

U odnosu na 2019. godinu, u 2020. godini je broj električnih autobusa na baterije povećan za 22,3 %, dok je u 2019. godini u odnosu na 2018. godinu iznosilo 207,5 %. Znatno manje povećanje vidljivo je u segmentu električnih autobusa s vodikovim gorivim člancima, koji su povećani s 15 u 2012. godini na 47 u 2020. godini, odnosno za 213,3 %. Može se, međutim, vidjeti da je zabilježen njihov rast u 2020. godini u odnosu na 2019.

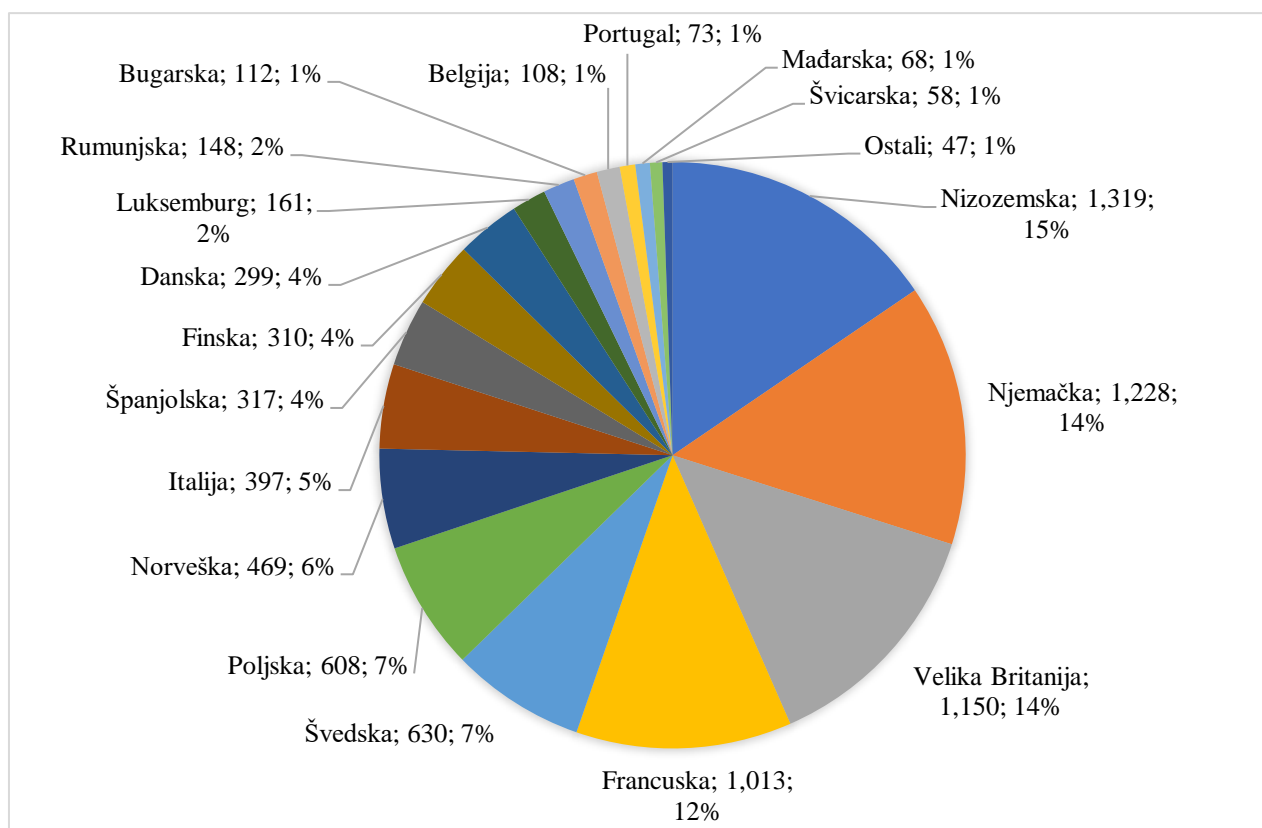
godinu za 46,9 %, a da u 2018. godini nije bilo niti jednog registriranog autobusa s vodikovim gorivim člancima. Ako se pogleda struktura električnih autobusa po segmentima mogu se uočiti promjene u razdoblju od 2012. do 2020. godine (Grafikon 3).



Grafikon 3. Struktura električnih autobusa u zapadnoj Europi (uključujući Poljsku), 2012.-2020. godine [27]

Podaci na Grafikonu 3 pokazuju smanjenje udjela hibridnih autobusa u ukupnom broju godišnje registriranih električnih autobusa na baterije u zapadnoj Europi (uključujući i Poljsku) u razdoblju od 2012. do 2020. godine, s 96,3 % na 56,4 %. U 2020. godini došlo je do manjeg smanjenja udjela električnih autobusa na baterije u odnosu na 2019. godinu u ukupnom broju registriranih električnih autobusa, s 45,9 % na 43,6 %.

Promatranjem raspodjele gradskih električnih autobusa bruto težine veće od osam tona po zemljama Europe u razdoblju od 2012. do 2021. godine može se uočiti najveća zastupljenost električnih gradskih autobusa u Nizozemskoj, 1.319 ili 15,5 %, slijedi Njemačka s 1.228 električnih gradskih autobusa ili 14,4 %, te Velika Britanija s 1.150 električna gradska autobusa ili 11,5 % (Grafikon 4).



Grafikon 4. Struktura registriranih električnih gradskih autobusa bruto tonaže veće od 8 tona u Europi – ukupan volumen 8.513 autobusa, 2012.-2021. godine [28]

Podaci na Grafikonu 4 pokazuju da u elektrifikaciji gradskog javnog prijevoza u zapadnoj Europi prednjači Nizozemska, no Njemačka je slijedi s tek nešto manjim udjelom. Najmanji udio u ukupnom broju električnih gradskih autobusa je u Švicarskoj (58 ili 0,7 %), a sljedeća zemlja po najmanjem broju električnih gradskih autobusa je Mađarska (68 ili 0,8 %).

Krajem 2021. godine, udio električnih autobusa u ukupnoj količini prodaje gradskih autobusa u Europi premašio je 20 %. Novoregistriranih električnih autobusa bilo je 3.282 [28]. Od ukupno 14.990 novih autobusa u javnom gradskom prijevozu registriranih na europskom tržištu u 2021. godini (EU-27 prošireno s Velikom Britanijom, Islandom, Norveškom i Švicarskom), 59,4 % je imalo alternativni pogon, što pokazuje njihov daljnji rast (53 % u 2020. godini).

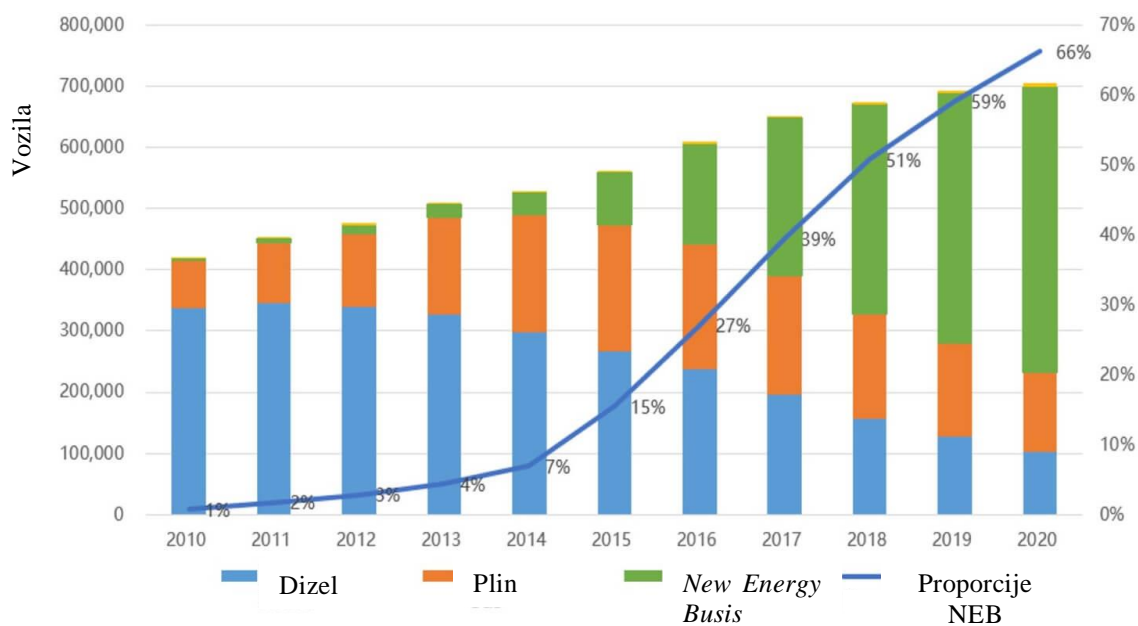
Kina, kao vodeća zemlja svijeta u uvođenju električnih autobusa u javni gradski prijevoz u proteklim je godinama zabilježila dinamičan rast broja električnih autobusa na cestama u skladu s postavljenim ciljevima smanjenja emisije ugljičnog dioksida do 2030. godine i ciljeva ugljične neutralnosti do 2060. godine.

Kina je vodeća zemlja po broju električnih autobusa na cestama. Od ukupno 598.000 električnih autobusa u svijetu, u Kini je krajem 2020. godine bilo 585.000 [12]. U 14. petogodišnjem planu za moderan i sveobuhvatan prometni sustav (2021.-2025.) objavljen u siječnju 2022. godine, ističe se načelo razvoja zelene tranzicije, usmjerenog na ljude i inovacije.

Pri tome se značajna uloga daje električnim autobusima kojima se smanjuje emisija ugljika u gradovima. Kao jedan od pokazatelja za “zelenu i inovativnu mobilnost” očekuje se da će 72 % kineskih gradskih javnih autobusa do 2025. godine biti električni. U proteklom razdoblju Kina je učinila značajan napredak u promicanju *New Energy Buses*. Sa 69 tisuća jedinica u 2015. godini ukupan broj električnih autobusa je u Kini porastao na 132.000 u 2016. godini, a smanjenje subvencija za električne autobuse u 2017. godini utjecalo je na smanjenje njihovog rasta, te je registrirano 90 tisuća potpuno električnih autobusa i 16 tisuća hibridnih *plug-in* autobusa.

Krajem 2020. godine u Kini je bilo oko 466.000 električnih autobusa, od kojih su 378.700 autobusa bili električni autobusi na baterije, što čini 66 % ukupnog broja autobusa (Grafikon 5). Gradovi, poput Shenzhen, Tianjin, Zhengzhou, postigli su 100 % elektrifikaciju autobusnog voznog parka. Tijekom razdoblja brze elektrifikacije vozila, mnogi gradovi se suočavaju s problemima kao što su nedostatak kapaciteta za učinkovitu integraciju električnih autobusa na baterije u sustav javnog prijevoza, niska operativna učinkovitost, neadekvatno planiranje rasporeda infrastrukturnih objekata za podršku i punjenje te loše održavanje i razina usluga [29].

Prisutna potražnja za autobusima s učinkovitom potrošnjom goriva, visokim performansama i niskom emisijom štetnih plinova, stroga pravila i propisi u većini zemalja svijeta u odnosu na emisiju štetnih plinova iz vozila i smanjenje cijene baterija pokreću rast električnih autobusa na globalnom tržištu. S druge strane, visoki troškovi proizvodnje donekle ograničavaju rast.



Grafikon 5. Struktura autobusa u javnom prevozu u Kini [29]

### 3.1.2. Primjeri elektrifikacije javnog prijevoza u gradovima

Gradovi diljem svijeta uvode električne autobuse, uz podršku nacionalne i lokalne politike, potencijalnih ušteda troškova i drugih gospodarskih i operativnih prednosti. Broj gradova koji provode ciljeve elektrifikacije javnog autobusnog prijevoza ili zone ultra niske emisije pokazuje rast.

Elektrifikacija gradova zahtijeva integrirani pristup, uključujući operatere, tijelo nadležno za promet i dobavljače energije. Mreža gradova C40 donijela je C40 Deklaraciju ulica bez fosilnih goriva (engl. *C40 Fuel Free Street Declaration*), deklaraciju kojom se gradovi obvezuju na bolje čuvanje okoliša i da će težiti “nultim emisijama” CO<sub>2</sub> do 2030. godine. Ovu je deklaraciju do 2021. godine potpisalo 35 gradova, uključujući Pariz, London, Los Angeles, Mexico City i dr.

Potpisnici Deklaracije su se obvezali da će od 2025. godine, zajedno s partnerima kupovati samo autobuse s nultim emisijama i da će se pobrinuti da velik dio njihovih gradova budu područja s nultim emisijama do 2030. godine [12]. Mnogi gradovi potpisnici

imaju ciljeve koji premašuju ambicije deklaracije. Pariz je za cilj postavio elektrifikaciju 4.500 autobusa do 2025. godine, Kopenhagen se obvezao nabaviti samo autobuse s nultom emisijom od 2019. godine, a Los Angeles ima isti cilj za svoju flotu od 2.200 autobusa do 2030. godine. No, nije dovoljno samo uspostavljanje lokalnih politika, već su potrebne politike na nacionalnoj razini kako bi se omogućio prijelaz na električni javni prijevoz u manjim gradovima.

Vlade su u pojedinim zemljama uspostavile posebne poticaje za električne autobuse kako bi pomogle tranziciji gradskog autobusnog javnog prijevoza. U Velikoj Britaniji, primjerice, osigurano ukupno 39,5 mil. USD za nabavu novih autobusa u razdoblju od travnja 2016. do ožujka 2019. godine u Sheme za autobuse s niskim emisijama (eng. *Low Emission Bus Scheme*).

U Kini je prijelaz na električni javni prijevoz u potpunosti podržala nacionalna vlada, koja ne samo subvencionira proizvodnju električnih autobusa sa 150.000 USD, što je otprilike 50 % cijene novog autobusa, već je električne autobuse uključila u svoj cilj proizvodnje dva milijuna vozila na alternativni pogon (engl. *New energy vehicles*) godišnje do 2020. godine.

U 2017. godini grad Shenzhen (Kina) s 12,5 mil. ljudi zamijenio je svih svojih 16.000 autobusa električnim autobusima na baterije te je postao prvi grad s potpuno električnim autobusima na svijetu [30]. Javni prijevoz ostvaruje 32 milijuna putovanja svaki mjesec, što ukazuje na visoku razinu korištenja javnog prijevoza u ovom gradu za svakodnevne potrebe njegovih stanovnika.

Transformacija gradskih autobusa na dizel gorivo u električne autobuse s velikim baterijama započela je 2015. godine. Jedan od ključnih pokretača bio je temeljni financijski model autobusnih prijevoznika. Nacionalna vlada i lokalna vlada Shenzhena osigurale su subvencije za smanjenje nabavne cijene električnih autobusa prije početka procesa remonta. Autobusni prijevoznici odlučili su iznajmiti autobusnu flotu i osnovali tvrtku za leasing, uključujući glavne dionike u gradu.

Grad je uložio u sustav terminala za punjenje baterija autobusu, te proširenje infrastrukture u suradnji s proizvođačima autobusa i lokalnim komunalnim sustavom. Dodano je tisuću stanica za punjenje, koje mogu koristiti i privatni vozači, te je uz fokusiranje na autobuse s boljim trajanjem baterija, uspostavljen sustav za električna vozila



bez potrebe mijenja ruta autobusa.

Europski gradovi se sve više uključuju u elektrifikaciju svog voznog parka u skladu s postavljenim ciljevima “čistih” voznih parkova i uvođenja autobusa s nultom emisijom. Kopenhagen je postavio cilj potpune zamjene dizelskih autobusa autobusima s nultom emisijom do 2025. godine. Pri tome je postavljen zahtjev da svi novi autobusi od 2019. godine na dalje budu autobusi s nultom emisijom.

Proces zamjene autobusa započeo je u travnju 2019. godine, a uključivao je 20 električnih autobusa financiranih putem zajma Europske investicijske banke [31]. Na širem području Kopenhagena u 2021. godini električni autobusi su prometovali na 24 rute, a njihovom upotrebom očekuje se smanjenje emisije CO<sub>2</sub> za 4.500 tona godišnje. Električni autobusi opslužuju pet gradova s ukupno 2,5 mil. stanovnika i otok Falster.

Velika Britanija je u 2020./21. godini imala 37.800 autobusa koji se koriste u javnom prijevozu, od kojih 29 % u Londonu. U ožujku 2021. godine u Londonu je bilo 9.068 autobusa javnog prijevoza. U Tablici 2 prikazana je struktura autobusa s obzirom na pogon u Velikoj Britaniji.

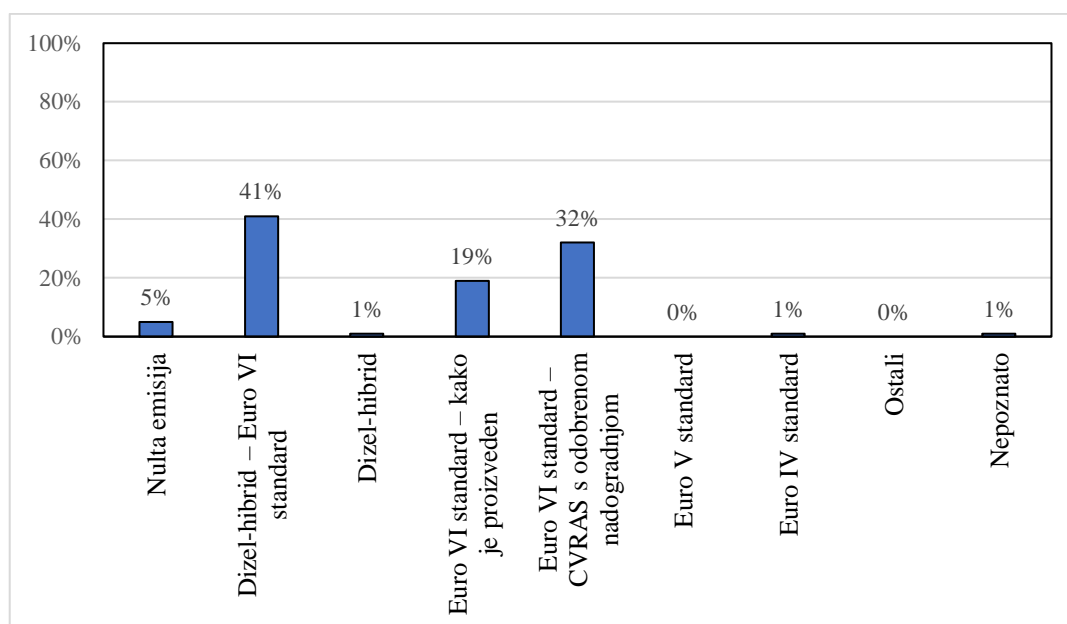
Tablica 2. Udio autobusa lokalnog javnog prijevoza prema standardima emisija, statusu gradskog područja i regiji u Velikoj Britaniji, 2020./21. godine, u %

financijska godina: 31. ožujka 2020. do 31. ožujka 2021. godine

Emisijski standardi	London	Engleska područja metropole	Engleska područja izvan metropole	Engleska	Škotska	Vels	Velika Britanija	Engleska izuzev Londona
Nulta emisija	5	1	1	2	1	0	2	1
Dizel-hibrid – Euro VI st.	41	3	1	13	4	0	12	2
Dizel-hibrid	1	2	1	1	3	0	2	1
Euro VI standard – proizv.	19	23	22	21	25	18	22	22
Euro VI standard – CVRAS	32	20	8	18	10	2	17	13
Euro V standard	0	25	31	20	25	41	21	28
Euro IV standard	1	9	14	9	11	13	9	12
Ostali	0	13	18	12	16	24	13	16
Nepoznato	1	2	5	3	6	2	3	4

Izvor: *Vehicles operated by local bus operators (BUSO6)*, <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/bus06-vehicle-stocks-technology-and-equipment> (11.07.2022.)

Podaci u Tablici 2 pokazuju da London u odnosu na nacionalnu razinu (Velika Britanija) ima veći postotak sudjelovanja autobusa nulte emisije u ukupnom broju autobusa koji čine gradski javni prijevoz (5 % u odnosu na 2 %). Također je vidljiva visoka zastupljenost hibridnih autobusa, s udjelom od 42 %, dok je na razini Velike Britanije njihov udio tek 14 % [32]. Struktura autobusnog voznog parka u Londonu s obzirom na standarde emisije prikazana je Grafikonom 6.



Grafikon 6. Struktura autobusnog voznog parka u Londonu s obzirom na standarde emisije, 2020./21. [32]

London bi do 2034. godine trebao imati autobusnu mrežu s potpunom nultom emisijom. U 2021. godini 950 autobusa s nultom emisijom vozilo je ili je bilo naručeno. Do kraja 2022. godine oko 10 % ukupnog autobusnog voznog parka trebalo bi biti bez emisije stakleničkih plinova. London sudjeluje s tri četvrtine svih narudžbi autobusa u Velikoj Britaniji, pa će zamjena autobusa u javnom prijevozu u Londonu značajno pridonijeti realizaciji nacionalnih ciljeva nulte emisije.

Pariz je postavio ambiciozni cilj 100% ekološki prihvatljivog autobusnog javnog prijevoza do 2025. godine, s autobusima na potpuno električni pogon i autobusima s

pogonom na obnovljivi plin i hibridne izvore energije u skladu s ciljevima smanjenja emisija stakleničkih plinova za 20 % definiranim u Planu gradskog prijevoza Île-de France. Time bi došlo do radikalne transformacije pretvaranjem dvije trećine autobusnog voznog parka u autobuse na električni pogon i jednu trećinu na bioplin.

U Parizu je ukupno 4.700 autobusa. Promjene su tijekom, a neke od gradskih linija već su potpuno opremljene električnim autobusima, a neke su djelomično opremljene kako bi se testirala nova tehnologija punjenja baterija. Energetska tranzicija odvija se u tri faze [33]:

- 1. faza: počevši od 2014. godine, sve nove ponude odnose se na čiste autobuse (hibridne, električne i plinske),
- 2. faza (2015.-2017.): dostupni su testovi i eksperimenti na svim električnim autobusima i sustavima za punjenje te se obavljaju pripreme za programa adaptacije autobusnih kolodvora,
- 3. faza (početak 2018. godine): nabava električnih i bioplinskih autobusa. Svi autobusni centri koji će se prebaciti na električnu energiju biti će prilagođeni korištenje tehnologije s nulta emisijom. Cilj je imati do 2025. godine 100 % ekološki autobusni vozni park.

Transformacija autobusnog voznog parka u 100 % ekološki prema procjenama bi smanjila ispuštanje ugljika u atmosferu za 50 %.

Barcelona je postavila Strateški plan TMB 2025, čiji je cilj da se do 2025. godine 65 % potreba za uslugama prijevoza obavlja javnim prijevozom. Sljedeći cilj je smanjenje emisije CO<sub>2</sub> postavljanjem 508 autobusa novih energija, od kojih bi 233 bila električna i 46 vodikova [34]. Procjenjuje se da bi realizacijom strateškog plana emisija CO<sub>2</sub> bila smanjena za 17.000 tona do 2025. godine. To bi se postiglo raznim mjerama, kao što je smanjenje potrošnje energije u metrou za 6 % primjenom tehnologija koje omogućuju povrat viška energije proizvedene u vlakovima te korištenjem električne energije iz metroa za pogon autobusa, čime bi se postigle uštede.

Zeleni javni prijevoz uključuje i pokretanje postrojenja za proizvodnju vodika

otvorenog za javnu upotrebu, te izgradnju zelene garaže u Zoni Franca za 550 autobusa. Postrojenje je dobilo subvenciju iz programa *Connecting Europe Facilities for Transport* od Europske izvršne agencije za klimu, infrastrukturu i okoliš (engl. *European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency*, skr. CINEA), te je u 2022. godini pušteno u promet. Prvi autobus na vodikove baterije uvršten je u travnju 2022. godine u redovnu autobusnu liniju. Autobus ispušta samo vodenu paru i napaja se s približno 20 kg zelenog vodika dnevno.

Los Angeles je postavio cilj do 2050. godine uspostaviti mrežu bez ugljika, prijevoz bez ugljika, zgrade s nula ugljika, nula otpada i nula izgubljene vode [35]. U okviru mobilnosti i javnog prijevoza cilj je povećati udio putovanja obavljenih pješaćenjem, vožnjom bicikla, mikromobilnošću ili podudarnom vožnjom ili prijevozom na najmanje 35 % do 2025. godine, 35 % do 2035. godine te 50 % do 2050. godine.

Cilj je, nadalje, povećati udio vozila s nultom emisijom u gradu na 25 % do 2025. godine, 80 % do 2035. godine i 100 % do 2050. S tim ciljem navodi se i 100 % elektrifikacija autobusa javnog gradskog prijevoza. Pretvaranje autobusnog voznog parka u električne autobuse započelo je u srpnju 2020. godine, a do listopada 2021. godine jedna gradska linija bile potpuno opremljene električnim autobusima. Šezdeset autobusa na stlačeni prirodni plin zamijenjeno je s 40 novih i 60 zglobnih autobusa s nultim emisijama.

Brzi punjači postavljeni su na tri stanice te daju autobusima cjelodnevni sposobnost rada duž rute od 29 kilometara. U 2022. godini savezna potpora iznosila je 104 mil. USD za kupnju i postavljanje 160 električnih autobusa na baterije, te za nabavu i ugradnju stanica za punjenje na ruti i depoa.

Električni autobusi nisu još našli svoju primjenu u Hrvatskoj. Samo je u Koprivnici u primjeni jedan električni minibus, nastao domaćom preradom [36]. U svrhu popularizacije upotrebe električnih autobusa u javnog gradskom prijevozu u 2022. godini je Auto Hrvatska zastupnik za MAN gospodarska vozila, na domaće tržište dovela električni gradski autobus Lion's City E.

Može se, međutim, vidjeti zainteresiranost nekih gradova za elektrifikacijom autobusnog voznog parka. Primjerice, početkom 2022. godine izrađena je Prometno-energetska analiza na podlogama KD Autotroleja, vezana uz planiranje elektrifikacije gradskog autobusnog prijevoza grada Rijeke, te je time stvorena podloga za energetska

tranziciju operatora javnog gradskog prijevoza te cjelovitog urbanog prometa grada Rijeke [37].

Iz navedenih primjera vidljivo je da elektrifikacija javnog autobusnog prijevoza u gradovima nije nešto što će se događati u budućnosti, već je ona prisutna. Elektrifikacija autobusnog javnog prijevoza u gradovima u značajnoj mjeri pridonosi smanjenju zagađenja i poboljšanju kvalitete života.

### **3.2. AUTOMATIZIRANI JAVNI PRIJEVOZ**

Tehnologija automatizacije javnog prijevoza razvija se velikom brzinom, što ističe potrebu istraživanja njenog značaja za budućnost javnog prijevoza. Javni prijevoz već koristi automatizirana vozila. Primjerice, linija Victoria londonske podzemne željeznice koristi automatski rad vlakova od 1967. godine. Sky Train u Vancouveru, najduža automatizirana tranzitna linija na svijetu, radi od 1980-ih godina. U Parizu postoje dvije automatizirane linije metroa. U svijetu je ukupno oko 90 potpuno automatiziranih metro linija koje se svakodnevno koriste [38].

Činjenica je, međutim da vođeni sustavi, poput metroa rade u kontroliranim uvjetima, pa je robot vozači moraju odraditi puno manje parametara nego što je to slučaj s kretanjem kroz gradske ulice s gustim mješovitim prometom. Stoga je veća vjerojatnost da će upravo autobusne linije koje rade na namjenskim rutama ili u područjima s ograničenim prometom, kao što su npr. sveučilišni kampusi, imati prednost u uspostavi automatiziranih sustava cestovnog prijevoza. Automatizacija cestovnog javnog prijevoza je tek u začetku, te su u primjeni tek pilot projekti, o kojima je riječ u ovom dijelu završnog rada.

#### **3.2.1. Primjena automatiziranih autobusa – pilot projekti**

Autobusi su već u znatnom dijelu automatizirani, kako je već u radu istaknuto.

Automatizacijom se povećava sigurnost putnika i prometovanja na cesti. No, upotreba potpuno automatiziranih autobusa tek se istražuje. U ovom dijelu rada navode se primjeri pilot projekata autonomnih autobusa u gradskom javnom prijevozu.

Projekt H2020 AVENUE je financiran sredstvima Europske unije u okviru Obzora 2020, a započeo je 1. svibnja te će trajati četiri godine [39]. Cilj mu je provesti demonstracije automatizacije gradskog prijevoza postavljanjem autonomnih mini autobusa u područjima niskog do srednjeg intenziteta prometa u četiri europska grada: Kopenhagenu, Ženevi, Luksemburgu i Lyonu.

U viziji AVENUE o budućem prijevozu u gradskim i prigradskim sredinama, autonomna vozila bi korisnicima trebala ponuditi uslugu prijevoza na zahtjev. Cilj mu je potvrditi prednosti koje će autonomna vozila ponuditi javnom prijevozu, povezane s novom inovativnom uslugom za putnike i jamčeći sigurnošću u prometu. U Lyonu se već od 2016. godine isprobavaju usluge “first-last-mile” s dva autonomna autobusa povezana s tramvajskom stanicom u Charlemaqueu. Ti autobusi voze rutom dugom 1,35 km, te su jedini način prijevoza koji se u tom području može ponuditi. U sklopu novog projekta prometovala bi dva autonomna autobusa, a na postavljenoj ruti bi bila dva stajališta.

Pilot projekt u Luxemburgu započeo je 2018. godine, a projektom AVENUE se nastavlja. Projektom su obuhvaćena tri autonomna autobusa, a ruta ima dva stajališta i tri stanice te depo za autonomne autobuse. U Ženevi je cilj pilot projekta AVENUE izravna integracija autonomnog autobusnog prijevoza u postojeće usluge javnog autobusnog prijevoza. Pilot projekt obuhvaća dva do četiri autobusa na rutama na lokaciji Belle-Idée, na mreži ruta s oko 10 do 35 zaustavljanja. Pilot projekt AVENUE u Kopenhagenu odvijat će se u dijelu grada Nordhavn. U ponudi je autonomna mobilnost temeljena na oblaku koja je fleksibilnija i na zahtjev, pa je time i znatno drugačija usluga u odnosu na tradicionalnu uslugu javnog autobusnog prijevoza.

Barcelona (Španjolska) u sklopu Strateškog plana TMB 2025 planira implementirati pilot projekt za samovozeći “last-mile” autobus u industrijskoj zoni Zona Franca, a autobusna usluga na zahtjev planirana je za 20 lokalnih autobusnih linija koje opslužuju 50 četvrti [34]. U planu je i projekt mobilnosti posjetitelja na Sajmu u Barceloni (*Fira de Barcelona*). Projekt uključuje 5G uslugu autobusnog prijevoza koja radi automatski, bez vozača. Sajmovi su mjesta na kojima se rute mogu konfigurirati te su idealni za ispitivanje

mobilnosti posjetitelja autonomnim vozilima.

Beč je u 2019. godini proglašen najpovoljnijim gradom za život, te u skladu s tom titulom poduzima brojne napore kako bi pronašao rješenje za smanjenje zagađenja zraka i zagušenost prometa. Jedan od pokušaja je istraživački projekt “auto.Bus – Seestadt”, čiji je cilj povećati učinkovitost i operativnu sigurnost autonomnih vozila i testirati ih u svakodnevnom životu stanovnika Beča.

Od lipnja 2019. godine, prvi autonomni, električni autobusi zove u četvrti Seestadt Asperns, smještenoj u sjeveroistočnom dijelu Beča. Ta je četvrt identificirana kao “urbani laboratorij” te je dio bečke strategije “Pametnog grada”. U upotrebi su dva mini autobusa kapaciteta do 10 osoba koji kruže oko metro stanice U2 Seestadt maksimalne brzine od 12 km na sat. S obzirom da su u fazi testiranja, svaki je autobus opremljen vozačem koji po potrebi može ručno zaustaviti autobus.

Grad Aalborg (Danska) započeo je u četvrti Aalborg East 2018. godini pilot projekt upotrebe samovozećih mini-električnih autobusa s ciljem povećanja mobilnosti unutar i izvan stambenog područja u razdoblju od dvije godine. Aalborg East je jedno od najvećih i najdinamičnijih predgrađa Aalborga. Područje karakterizira visoka razina podijeljenosti infrastrukture i međusobna udaljenost različitih funkcija i aktivnosti. Projekt je bio djelomično usmjeren mobiliziranju određenog broja građana, te poboljšanju ekološke i društvene održivosti, te transformaciji u društveno i kohezivno predgrađe [40]. Projekt je u suradnji sa Sveučilište Aalborg realiziran u razdoblju od ožujka 2020. godine do studenog 2021. godine.

Autonomna vožnja je obuhvatila putovanje od 30.357 km. Dva električna autobusa (slika 8) vozila su 2,1 km dugu rutu u dijelu koji se zove Astrupstien, s 10 stajališta s pristupnim rampama kako bi autonomni autobusi bili lako dostupni za npr. dječja kolica ili korisnike invalidskih kolica. Tijekom projekta autonomne autobuse je 21.127 putnika [41]. U autobusima su bili operateri čiji je posao bio nadzor sigurnosti prometa, a bili su od pomoći korisnicima autobusa.



Slika 8. Smart autobus u Astrupstienu u gradu Aalborgu u Finskoj [41]

Sohjoa Baltic je pilot projekt koji istražuje, promovira i koristi automatizirane električne mini autobuse bez vozača kao dio lanca javnog prijevoza, za povezivanje “prve/posljednje milje”. Projekt je testiran u Helsinkiju, Tallinnu, Kongsbergu, Vejleu, Gdanjsku i Zemgaleu [42]. U Helsinkiju je projekt autonomne vožnje započeo u travnju 2020. godine, uz podršku mobilne aplikacije na zahtjev i Centra za daljinsko upravljanje za autonomna vozila. Vozila voze duž kružne rute u Istočnoj Pasili. U upotrebi su tri autonomna mini autobusa, a na ruti su tri autobusne stanice [43].

Kanada u velikom broju gradova provodi projekte za autonomne autobuse (Montreal, Ottawa, Waterloo i dr.). Cilj je nadopuniti postojeće usluge javnog gradskog prijevoza različitim vrstama prijevoza u jednom putovanju. Taj multimodalni pristup čini se ključnim za budućnost putovanja.

U 2018. godini predstavljen je prvi potpuno električni automatizirani autobus koji je vozio na cestama u Kanadi, a bio je kapaciteta do 15 putnika i dosegao je brzinu od 25 km [44]. Krajem 2021. godine u Montrealu je pokrenut pilot projekt električnog autonomnog



autobusa u području Plaza St-Humert na ruti koja traje 30 minuta. Prvi pilot projekt električnog autonomnog autobusa bio je u 2019. godini i vozio je putnike između Olimpijskog parka i Marché Maisonneuvea. Projekt je obustavljen 2020. godine zbog pandemije Covid-19.

U Tokiju su na Olimpijskim igrama 2021. godine samovozeći autobusi prevozili sportaše iz olimpijskog sela. Olimpijski forum je tako bio međunarodni izlog za tehnologije koje bi se mogle oblikovati u budućnost. Los Angeles planira uvođenje autonomnih vozila do Olimpijskih i Paraolimpijskih igara 2028. godine [35].

Iz ovog kratkog prikaza može se uočiti da je veliki broj gradova širom svijeta uključen u projekte uključivanja električnih autonomnih autobusa u javni gradski prijevoz. Ovi bi autobusi, u biti nadopunjavali postojeće usluge javnog gradskog prijevoza i povećali njegovu učinkovitost uz racionalizaciju troškova pružanja usluge.

### **3.2.2. Prednosti i nedostaci upotrebe automatiziranih autobusa u javnom prijevozu**

Iako tehnologija autonomnih vozila nije u potpunosti razvijena, već godinama privlači interes gospodarstvenika do te mjere da komercijalni automobili iz godine u godinu uključuju sve veću razinu naprednih sustava za pomoć vozaču. Procjenjuje se da bi revolucija automatiziranih vozila u javnom prijevozu mogla povećati kvalitetu života ljudi. Istovremeno opremljenost vozila velikim brojem senzora koji su još uvijek skupi, te ono što je najvažnije, sigurnost i pouzdanost takvih vozila još uvijek su otvoreni zahtjevi [1].

Utjecaj autonomnih vozila bez vozača u gradovima mogao bi imati pozitivne posljedice i negativne nuspojave [1]. Automatizirana mobilnost bit će sigurnija i pristupačnija onima koji ne mogu sami voziti ili nemaju automobil. Osim toga dobro uspostavljena mobilnost u gradovima ne bi iziskivala potrebu za vlastitim prijevoznim sredstvom.

Automatizacija vozila bi trebala podržati javni prijevoz, te smanjiti troškove

izgradnje stambenih objekata, posebice zbog smanjenja potrebe za podzemnim garažama i parkirališnim prostorima koji zauzimaju prostor. No, mogla bi izazvati i suprotne učinke i brojne nuspojave, kao što je rast prometne zagušenosti, pretilost stanovništva kao posljedica nekretanja, širenje gradova ili smanjenje upotrebe masovnog javnog prijevoza. Automobilska industrija sve više i više radi na poboljšanju performansi vozila, a potpuno autonomna vozila samo su jedan od koraka ka sljedećoj etapi razvoja i njihove rasprostranjenosti na globalnoj razini.

To zahtijeva i prilagodbu zakonodavstva novom načinu prijevoza i zajedničkoj mobilnosti, što podrazumijeva i zakonsku regulaciju izgradnje cesta, upravljanje cestovnim prometom i operacijama, ljudske čimbenike automatiziranih vozila, potrebe ulične infrastrukture za povezana automatizirana vozila. Niz je otvorenih problema koje je potrebno riješiti kako bi se uveli automatizirani autobusi u transportni sustav.

#### **4. RAZVOJNE TENDENCIJE AUTOMATIZIRANIH I ELEKTRIFICIRANIH AUTOBUSA – BUDUĆNOST JAVNOG PRIJEVOZA**

Budući razvoj automatizacije i elektrifikacije autobusa ovisiti će o razvoju tehnologije, posebice razvoju pogonskih elemenata vozila, sustava za punjenje, te smanjenju troškova kroz tehnološke inovacije.

Jedna od inovacija su povezani automatizirani autobusi koji imaju veliki potencijal za poboljšanje performansi električnih autobusa, kroz različite aspekte kao što su ušteda energije i smanjenje vremena putovanja. Istraživanja pokazuju da povezana vozila nude mogućnost za ekonomičniju vožnju, što dodatno poboljšava energetska učinkovitost i pridonosi uštedi energije za tri do 20 % [13]. Procjenjuje se da bi tehnološke inovacije u sljedećih 30 godina učinile putovanja autobusima praktičnijima. Automatizirana i povezana vozila obavljati će veći broj zadataka vožnje bez sudjelovanja ljudskog faktora te će korisnike usmjeriti od tradicionalnog javnog prijevoza.

Kako bi se poboljšalo upravljanje energijom istražuju se brojne nove tehnologije. Među njima su pametni sustavi punjenja pogona autobusa kojim se optimiziraju obrasci punjenja i minimiziraju troškovi energije, strategije vršnog opterećenja koje koriste skladištenje energije za smanjenje troškova potražnje, tehnologija mikro mreže koja omogućava upravljanje potrošnjom energije i dr.

Atraktivnost javnog gradskog prijevoza u budućnosti ovisiti će o učinkovitom iskorištavanju nove automatizirane i povezane tehnologije u javnom prijevozu, integraciji javnog prijevoza s drugim uslugama mobilnosti, koordinaciji i integraciji usluga javnog prijevoza na regionalnoj razini te koordiniranju planiranja javnog prijevoza i prostornog planiranja.

Autobusi opremljeni automatiziranom i povezanom tehnologijom može pomoći u povećanju atraktivnosti javnog prijevoza te povećanju potražnje za javnim prijevozom. Primjerice, u predgrađima automatizirani i povezani mini autobusi mogu prevoziti putnike od i do stanica javnog prijevoza za pristup brzom autobusnom prijevozu, lakoj željeznici, regionalnoj željeznici ili metrou. Rute tih vozila javnog prijevoza mogu biti fleksibilne te

se mogu koristiti posebne trake namijenjene isključivo korištenju automatiziranih i povezanih vozila u predgrađima ili u gradovima kako bi došlo do ubrzanja i povećanja pouzdanosti autobusa [46].

Za očekivati je da će konkurentske prednosti automatiziranih i povezanih autobusa i njihova društvena inkluzivnost, povećati potražnju za javnim prijevozom u gradovima u sljedećem razdoblju, što će donijeti drastične promjene u javnom gradskom prijevozu autobusima.

## 5. ZAKLJUČAK

Javni prijevoz je neophodan za normalno funkcioniranje urbanog područja, a u odnosu na probleme zagađenja okoliša i potrošnje energije postaje sve značajniji. Promicanje učinkovitog sustava javnog prijevoza smatra se ključnim za smanjenje emisija i potrošnje energije iz cestovnog prijevoza. Pri tome, elektrifikacija autobusnog prijevoza, kako je već istaknuto, postaje sve popularnija, s obzirom da ne uključuje emisiju zagađujućih plinova u urbanom okruženju, visoko je energetske učinkovit i manje bučan od konvencionalnog autobusnog prijevoza. No, elektrifikaciju autobusa prate i određeni problemi.

U primjeni su različiti tipovi električnih autobusa. Najzastupljeniji su električni autobusi na baterije. No, autobusi na baterije imaju mali dolet, što iziskuje potrebnu infrastrukturu punjenja baterija. Osim toga, troškovi baterija čine značajan dio kapitalnih troškova električnog autobusa, a njihovo pretjerano korištenje povećava gubitak kapaciteta baterije i ubrzava njenu degradaciju. Istraživanja idu u smjeru smanjenja gubitka kapaciteta baterija i povećanja dometa kako bi se postigla veća učinkovitost električnih autobusa.

Razvojem tehnologije povezanih vozila nude se nova rješenja implementacije električnih autobusa. Povezani električni autobusi na baterije opremljeni komunikacijskim uređajima vozila i infrastrukture imaju značajan potencijal poboljšanja performansi električnih autobusa na baterije. Istraživanja ukazuju da povezana i automatizirana vozila nude mogućnost za ekonomičniju vožnju, što može dodatno poboljšati energetske učinkovitost i pridonijeti uštedi energije.

Automatizirani autobusi su sljedeća faza u razvoju autobusa i javnog prijevoza u gradovima. Pilot projekti uključivanja samovozećih autobusa sve su prisutniji u gradovima širom svijeta. Njihovo uključivanje u sustav javnog gradskog prijevoza zasigurno bi donijelo značajne prednosti, u prvom redu povećali bi učinkovitost javnog gradskog prijevoza. Prijevoz na zahtjev omogućio bi mobilnost i onoj skupini stanovništva koji imaju otežanu i ograničavajuću mobilnost. Inovacije u tehnologiji uz 5G mrežu dati će smjernice daljnjem razvoju autobusa.



## POPIS LITERATURE

- [1] Ainsalu, J. et al. 2018, 'State of the Art of Automatede Busis', *Sustainability*, no. 1, p. 1-34, online: doi:10.20944/preprints201807.0218.v2 (11.07.2022.)
- [2] Bartłomiejczyk, M. & Połom, M. 2021, 'Possibilities for Developing Electromobility by Using Autonomously Powered Trolleybuses Based on the Example of Gdynia', *Energies*, vo. 14, no. 10, p. 1-23.
- [3] Vadjon, V. (ur.) 2013, *Tehnika motornih vozila*, Pučko otvoreno učilište Zagreb, Centar za vozila Hrvatske, Hrvatska obrtnička komora, Zagreb.
- [4] Pojam **omnibus**, Rječnik stranih riječi, <http://onlinerjecnik.com> (2.07.2022.)
- [5] *A Brief History of Buses, Hop aboard every bus from Omnibus to Autobus*, <https://artsandculture.google.com/story/a-brief-history-of-buses/vQVBCgQMbTStvg?hl=en> (2.07.2022.)
- [6] *Autobusi – jučer, danas, sutra*, <https://getbybus.com/hr/blog/autobusi-jucer-danas-sutra/> (11.07.2022.)
- [7] Hamer, M. 2017, *The London Electrobus Company*, [https://www.gracesguide.co.uk/London\\_Electrobus\\_Co](https://www.gracesguide.co.uk/London_Electrobus_Co) (11.07.2022.)
- [8] What is electric bus?, <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-is-an-electric-bus> (11.07.2022.)
- [9] Kamber Grahoac, J. 2020, *Fuell cell (gorivni članak): elektrokemijski uređaj za izravnu pretvorbu kemijske energije u električnu, protočna baterija*, 15.01.2020., <https://autoportal.hr/aktualno/novosti/pogresni-izrazi-33-gorive-celije-celije-goriva/> (30.06.2022.)
- [10] *ABB powers Volvo's electric bus in UK demonstration tour*, 25.09.2017., <https://new.abb.com/news/detail/48446/abb-powers-volvos-electric-bus-in-uk-demonstration-tour> (2.07.2022.)
- [11] *The effect of cold weather on electric bus range, fuel cell wins. A study by CTE*, 19.12.2019., <https://www.sustainable-bus.com/news/the-effect-of-cold-weather-on-electric-bus-range-fuel-cell-wins-a-study-by-cte/> (10.07.2022.)
- [12] Bloomberg Finance 2018, *Electric Buses in Cities, Driving Towards Cleaner Air and Lower CO<sub>2</sub>*, Bloomberg New Energy Finance, <https://assets.bbhub.io/professional/sites/24/2018/05/Electric-Buses-in-Cities-Report-BNEF-C40-Citi.pdf> (16.07.2022.)

- [13] *Connected and Automated Vehicles*, Minnesota Department of Transport, <http://www.dot.state.mn.us/automated/index.html> (4.07.2022.)
- [14] Madžuka, S., Vučina, A. & Škorput, P. 2020, 'Primjena autonomnih vozila u kriznim situacijama', *Zbornik radova Dani kriznog upravljanja 2020*, Veleučilište Velika Gorica, Velika Gorica, p. 1-7, <https://www.bib.irb.hr/1080100> (9.07.2022.)
- [15] Pojam *Inercijski navigacijski sustav* (2021), Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=27371> (18.06.2022.)
- [16] *U.S. Department of Transportation 2019, Automated Vehicles and Adverse Wearher, Final Report*, U.S. Department of Transportation, Washington, p. 7., <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/43772> (8.07.2022.)
- [17] *Autonomous buse sin public transport, a driverless future ahead? Pilots are multiplying, Sustainable BUS*, 15.07.2022., <https://www.sustainable-bus.com/its/autonomous-bus-public-transport-driverless/> (29.07.2022.)
- [18] *Volvo Buses pokazuje autonomni autobus*, Kamioni.ba, 19.06.2018., <http://kamioni.ba/volvo-buses-pokazuje-autonomni-autobus/> (1.08.2022.)
- [19] *Volvo autonomous transport consumes 80 %, All about technology*, <https://vpchothuegoldenking.com/hr/volvo-autonomous-transport-consumes-80-less-energy-than-regular-buses/> (1.08.2022.)
- [20] UNCTAD 2021, *e-Handbook of Statistics 2021, Total and urban population*, <https://hbs.unctad.org/total-and-urban-population/> (1.08.2022.)
- [21] Borén, S. 2020. 'Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs', *International Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 14, No. 12, 956-971
- [22] *E-Bus Market is speeding up*, <https://www.iaa-transportation.com/en/visitors/trends-and-topics/E-Bus-Market-is-speeding-up> (1.08.2022.)
- [23] Carlier, M. 2022, *Global electric commerical vehicle stock by type 2021*, Statista.com, <https://www.statista.com/statistics/1312900/global-electric-commercial-vehicle-stock-by-type/> (3.08.2022.)
- [24] *Electric Vehicles, Fortune Business Insights*, <https://www.fortunebusinessinsights.com/electric-bus-market-102021> (1.08.2022.)
- [25] *The U.S. Has a Fleet of 300 Electric Buses, China has 421.000*, <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-05-15/in-shift-to-electric-bus-it-s-china-ahead-of-u-s-421-000-to-300#xj4y7vzkg> (2.08.2022.)



- [26] *Electric bus, main fleets and projects around the world*, 12.07.2022., <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/electric-bus-public-transport-main-fleets-projects-around-world/> (2.08.2022.)
- [27] *The pandemic doesn't stop the European e-bus market: +22 % in 2020.*, 19.02.2021., <https://www.sustainable-bus.com/news/europe-electric-bus-market-2020-covid/> (7.08.2022.)
- [28] *Market analysis: Electric buses keep booming in Europe*, 1.03.2022., <https://omnibus.news/alternative-antriebe-im-plus> (28.07.2022.)
- [29] Yiyang, C. & Fremery, V. 2022, *Mobility Transition in China*, 29.01.2022., <https://www.electrive.com/2022/03/01/market-analysis-electric-buses-keep-booming-in-europe/> (28.07.2022.)
- [30] Sisson, P. 2018, 'Howe a Chinese city turned all its 16,000 buses electric', 4.05.2018., <https://archive.curbed.com/2018/5/4/17320838/china-bus-shenzhen-electric-bus-transportation> (11.07.2022.)
- [31] Advancing Public Transport, 2021, *Large-scale bus electrification, The impact on business models*, <https://cms.uitp.org/wp/wp-content/uploads/2021/07/Large-scale-Bus-Electrification-KB-Final.pdf> (2.07.2022.)
- [32] *Vehicles operated by local bus operators (BUSO6)*, <https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/bus06-vehicle-stocks-technology-and-equipment> (11.07.2022.)
- [33] Ratp Group, 2014, *The ambitious RATP plan for a 100% ecologically-friendly fleet*, <https://www.ratp.fr/sites/default/files/inline-files/RATP%202025%20Bus%20Plan%20Press%20Kit.pdf> (11.07.2022.)
- [34] *TMB Barcelona approves 2025 Strategic Plan. The goal is 65% modal share for public transport*, <https://www.sustainable-bus.com/news/tmb-2025-strategic-plan/> (7.07.2022.)
- [36] *Modernizacija javnog gradskog prijevoza uz električne autobuse*, 24.05.2022., <https://www.autonet.hr/aktualno/modernizacija-javnog-gradskog-prijevoza-uz-elektricne-autobuse/> (11.07.2022.)
- [37] *Izrađena Prometno-energetska analiza na podlogama KD Autotrolej*, 1.02.2022., <https://smart-ri.hr/izradena-prometno-energetska-analiza-na-podlogama-kd-autotrolej/> (11.07.2022.)

- [38] *Automation and the future of public transport*, <https://www.intelligenttransport.com/transport-articles/72914/automation-future-public-transport/> (10.07.2022.)
- [39] AVENUE, *Autonomous vehicles*, <https://h2020-avenue.eu/> (9.07.2022.)
- [40] *Mobilising an urban district with self-driving busses*, 3.10.2018., <https://stateofgreen.com/en/solutions/mobilising-an-urban-district-with-self-driving-busses/> (11.07.2022.)
- [41] *Smartbus in Aalborg East*, 21.12.2021., <https://www.letsholo.com/aalborg-east> (8.07.2022.)
- [42] *Sohjoa Baltic Project*, <https://www.sohjoabaltic.eu/> (11.07.2022.)
- [43] *Helsinki pilot*, <https://fabulos.eu/helsinki-pilot/> (11.07.2022.)
- [44] *Meet the fleet of self-driving buses coming to a city near you*, 12.02.2021., <https://www.cpacanada.ca/en/news/pivot-magazine/2021-12-03-autonomous-buses> (11.07.2022.)
- [45] Tong, P. et al. 2021, 'Speed planning for connected electric buses based on battery capacity loss', *Journal of Cleaner Production*, Vol. 321, No. 25, p. 1-7., <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652621032212> (11.07.2022.)
- [46] Buehler, R. 2018, 'Can Public Transportation Compete with Automated and Connected Cars?', *Journal of Public Transportation*, Vol. 21, No. 1, pp. 7-18, <https://digitalcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1736&context=jpt> (11.07.2022.)

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Razine automatizacije sažete u NHTSA-ovom sustavu automatizirane vožnje 2.0 .....	13
Tablica 2. Udio autobusa lokalnog javnog prijevoza prema standardima emisija, statusu gradskog područja i regiji u Velikoj Britaniji, 2020./21. godine, u % .....	25

## POPIS SLIKA

Slika 1. Autobus tipa B iz 1910. godine [5] .....	5
Slika 2. Prototip elektrobusa iz 1906. godine [7] .....	6
Slika 3. Električni autobus sa stanicom za punjenje [10] .....	7
Slika 4. Glavne vrste punjenja baterija električnog autobusa: a) tradicionalno <i>plug-in</i> punjenje, b) pantografsko punjenje, c) induktivno punjenje [13] .....	9
Slika 5. Automatizirano vozilo [13] .....	10
Slika 6. Povezano vozilo [13].....	11
Slika 7. Autonomni autobus Volvo 7900 [19].....	15
Slika 8. Smart autobus u Astrupstienu u gradu Aalborgu u Finskoj [41] .....	32

## **POPIS SHEMA**

Shema 1. Pregled cestovnih vozila [3] .....	3
---	---

## POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1.	Vrijednost globalnog tržišta električnih autobusa, 2020.-2027. godine [23] .....	18
Grafikon 2.	Broj autobusa s alternativnim pogonom (bez trolejbusa) u zapadnoj Europi uključujući Poljsku, 2012.-2020. [27].....	19
Grafikon 3.	Struktura električnih autobusa u zapadnoj Europi (uključujući Poljsku), 2012.-2020. godine [27] .....	20
Grafikon 4.	Struktura registriranih električnih gradskih autobusa bruto tonaže veće od 8 tona u Europi – ukupan volumen 8.513 autobusa, 2012.-2021. godine [28] .....	21
Grafikon 5.	Struktura autobusa u javnom sustavu prijevoza u Kini [29].....	23
Grafikon 6.	Struktura autobusnog voznog parka u Londonu s obzirom na standarde emisije, 2020./21. [32].....	26