

Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki električnih i hibridnih autobusa

Božinski, Kiara

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:099773>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-28**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA TEHNIČKO-EKSPLOATACIJSKIH ZNAČAJKI
ELEKTRIČNIH I HIBRIDNIH AUTOBUSA

ANALYSIS OF TECHNICAL AND OPERATIONAL
CHARACTERISTICS OF ELETRIC AND HYBRID BUSES

Mentor: Tomislav Kučinić, mag. ing. traff.

Student: Kiara Božinski

JMBAG:0135259563

Zagreb, rujan 2024.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 24. svibnja 2024.

Zavod: **Zavod za gradski promet**
Predmet: **Vozila za javni gradski prijevoz**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7456

Pristupnik: **Klara Božinski (0135259563)**

Studij: Promet

Smjer: Gradski promet

Zadatak: **Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki električnih i hibridnih autobusa**

Opis zadatka:

U radu će se prikazati tehničke značajke autobusa bez obzira na izvedbu pogona. Opisat će se tehnologija električnog i hibridnog pogona. Provest će se analiza primjenjivosti pojedinog pogona kod autobusa.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Tomislav Kučinić, mag. ing. traff.

SAŽETAK

S obzirom na sve veću potrebu za održivim prijevozom i smanjenjem emisija štetnih plinova, hibridni i električni autobusi postaju ključni elementi urbanog prijevoza. Analiza njihovih tehničko-eksploatacijskih karakteristika neophodna je za razumijevanje njihovih performansi, autonomije i utjecaja na okoliš. Hibridni autobusi koriste kombinaciju motora s unutarnjim izgaranjem i električnog motora, dok su električni autobusi u potpunosti pokretani baterijama ili gorivim ćelijama. Rad obuhvaća analizu performansi, infrastrukture punjenja, ekonomskih aspekata i ekoloških utjecaja ovih vozila, te nudi uvid u njihove prednosti, nedostatke i buduće perspektive. Strukturiran je u šest glavnih poglavlja koja pokrivaju povijesni razvoj, tehničke značajke, specifične tehnologije hibridnih i električnih autobusa, te komparativnu analizu rezultata.

Ključne riječi: održivi prijevoz, emisije štetnih plinova, hibridni autobusi, električni autobusi, tehničko-eksploatacijske značajke, performanse, autonomija, infrastruktura punjenja, ekonomski aspekti, ekološki utjecaj

SUMMARY

Given the increasing need for sustainable transportation and the reduction of harmful gas emissions, hybrid and electric buses are becoming key elements of urban transport. Analyzing their technical-operational characteristics is essential for understanding their performance, range, and environmental impact. Hybrid buses use a combination of an internal combustion engine and an electric motor, while electric buses are entirely powered by batteries or fuel cells. The study encompasses the analysis of performance, charging infrastructure, economic aspects, and environmental impacts of these vehicles, providing insights into their advantages, disadvantages, and future prospects. It is structured into six main chapters covering the historical development, technical features, specific technologies of hybrid and electric buses, and a comparative analysis of the results.

Key words: sustainable transportation, harmful gas emissions, hybrid buses, electric buses, technical-operational characteristics, performance, range, charging infrastructure, economic aspects, environmental impact

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. TEHNIČKE ZNAČAJKE AUTOBUSA	2
2.1. Povijesni razvoj autobusa	2
2.1.1. Povijesni razvoj autobusa na hibridni pogon	2
2.1.2. Povijesni razvoj autobusa na električni pogon.....	3
2.2. Podjela autobusa i tehničko eksploatacijske značajke.....	4
3. TEHNOLOGIJA HIBRIDNIH AUTOBUSA.....	7
3.1. Princip rada hibridnog autobusa	7
3.1.1. Mehaničko - električna veza hibridnog pogona	7
3.1.2. Vrste goriva kod hibridnih autobusa	11
3.2. Prednosti i nedostaci hibridnih autobusa	12
3.3. Modeli hibridnih autobusa	14
3.3.1. Volvo	14
3.3.2. Iveco Iris bus	16
3.3.3. MAN	18
4. TEHNOLOGIJA ELEKTRIČNIH AUTOBUSA	20
4.1. Tehnologija baterije i punjenje autobusa	20
4.1.1. Vrste punjenja baterija.....	21
4.1.2. Modeli načina punjenja električnih baterija.....	23
4.2. Prednosti i nedostaci električnih autobusa.....	24
4.3. Modeli električnih autobusa	24
4.3.1. Volvo 7900 Electric.....	25
4.3.2. BYD K9	25
4.3.3. MAN Lion's City.....	26
4.3.4. Solaris Urbino 18,75 electric	27
5. ANALIZA REZULTATA.....	29
6. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA	34
Popis slika	37
Popis tablica	37
Popis grafikona	38

1. UVOD

U svjetlu sve veće potrebe za održivim prijevozom i smanjenjem emisija štetnih plinova, hibridni i električni autobusi postaju sve značajniji čimbenici u urbanom prijevozu putnika. Analiza njihovih tehničko-eksploatacijskih značajki postaje ključna kako bi se razumjelo njihovo ponašanje, performanse i utjecaj na okoliš. Hibridni autobusi kombiniraju konvencionalni motor s unutarnjim izgaranjem i električni motor, dok su električni autobusi u potpunosti električni, pokretani baterijama ili gorivim ćelijama. Ovaj rad će analizirati ključne tehničke aspekte ovih vozila, uključujući performanse, autonomiju, infrastrukturu punjenja, ekonomske aspekte te njihovu interakciju s okolišem. Kroz detaljnu analizu, cilj je dobiti dublji uvid u prednosti, nedostatke i perspektive ovih inovativnih oblika javnog prijevoza.

Rad je podijeljen u šest glavnih poglavlja sa pridruženim pod cjelinama, a u glavna poglavlja spadaju:

1. UVOD
2. TEHNIČKE ZNAČAJKE AUTOBUSA
3. TEHNOLOGIJA HIBRIDNIH AUTOBUSA
4. TEHNOLOGIJA ELEKTRIČNIH AUTOBUSA
5. ANALIZA REZULTATA
6. ZAKLJUČAK

Drugo poglavlje istražuje povijesni razvoj autobusa općenito, s posebnim naglaskom na razvoj autobusa s hibridnim i električnim pogonom, te opću podjelu autobusa. U trećem poglavlju istražuje princip rada hibridnih autobusa, uključujući mehaničko-električnu vezu i vrste goriva koje se koriste u ovim vozilima. Također, razmatraju se prednosti, nedostaci i najznačajniji modeli hibridnih autobusa. Četvrtim poglavljem se analizira tehnologija baterija i punjenje električnih autobusa, uključujući različite vrste punjenja i modele baterija, te se uz to istražuju prednosti, nedostaci i najvažniji modeli električnih autobusa, dok je u petom poglavlju opisana analiza rezultata između hibridnih i električnih autobusa marke Volvo, uz evoluciju autobusnog prometa u Europi, s posebnim naglaskom na hibridne, električne i klasične CNG autobuse.

2. TEHNIČKE ZNAČAJKE AUTOBUSA

Javni prijevoz je vitalan za održivu mobilnost u Europi. Iako pruža efikasnu upotrebu prostora i smanjuje zagušenja prometa, većina autobusa služi se dizelskim gorivom, tražeći prihvatljiva ekološka rješenja. Povijesni razvoj električnih i hibridnih autobusa pokazuje kontinuiranu potragu za održivijim rješenjima. Od raznih eksperimenata u prošlosti do današnjih naprednih tehnologija, unaprjeđenje javnog prijevoza postala je ključna strategija. Hibridna vozila u javnom prijevozu reduciraju emisije CO₂ i poboljšavaju održivost, predstavljajući korak naprijed u napretku transporta. Njihova kombinacija tradicionalnog i električnog pogona omogućava prilagodljivost i učinkovitost. Primjeri primjene hibridnih vozila u Europi pokazuju povoljne rezultate, ali postoje prepreke i mogućnosti za daljnji napredak.

2.1. Povijesni razvoj autobusa

Povijest razvoja autobusa je usko povezana s evolucijom motornih vozila. „Omnibus“ (Slika 1.) je prvi izvedeni oblik javnog autobusnog sustava, koji je izvedenica od latinske riječi "omnis" što znači "sav" ili "svaki", iz čega slijedi „omnibus“ – svima. U promet je pušten 1862. godine u francuskom gradu Nantesu, koristeći omnibus koji su zapravo bile kočije koje su vukli konji.



Slika 1. Prvi javni autobus - Omnibus (1862.)

Izvor: [1]

Poslije Omnibusa, nastavio se daljnji napredak autobusnih sustava zahvaljujući njemačkom izumitelju Nikolausu Augustu Otto-u koji je osmislio izum parnog stroja i kasniji razvoj četverotaktnog motora s unutarnjim izgaranjem, 1876. godine [1].

2.1.1. Povijesni razvoj autobusa na hibridni pogon

Švicarska je 1940. godine predstavila prvi autobus na hibridni pogon pod nazivom „Gyrobus“ (slika 2.), izvedenica riječi podrijetlom je iz grčkog izraza "gyros", što predstavlja kotač zamašnjak. Zamašnjak, po kojem je vozilo dobilo ime, služio je za pohranu energije. Duž njegove rute nalazile su se stanice za punjenje koje su pokretale kotač, omogućujući tako skladištenje energije. Iako je bio inovativan u korištenju alternativnih goriva, struktura je bila iznimno kompleksna i nepouzdana, a troškovi održavanja veoma visoki. Međutim, taj se smatra početnim korakom ka

modernim hibridnim autobusima. Prvo stvarno korištenje hibridnog autobusa započelo je 2007. u Buenos Airesu, glavnom gradu Argentine, gdje su se kombinirali dizelski i električni motori radi smanjenja potrošnje goriva i emisija stakleničkih plinova. Švedski proizvođač Volvo vodeći je u proizvodnji hibridnih autobusa diljem svijeta [2].

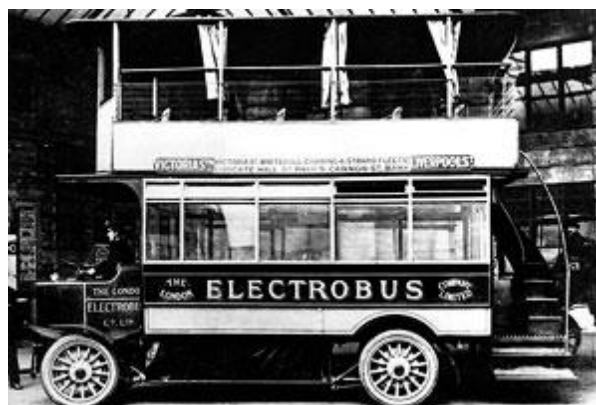


Slika 2. Prvi autobus na hibridni pogon pod nazivom "Gyrobus"

Izvor: [3]

2.1.2. Povijesni razvoj autobusa na električni pogon

Prvi električni autobus proizveden je 1897. godine od strane Lohner-Porsche. Desetak godina kasnije, London Electrobus Company imao je velike nade da će ova tiha i bezdimna vrsta prijevoza zamijeniti konjske kočije, poznatu kao Electrobus koji je prikazan *slikom 3*. Prva ruta koju je prešao Electrobus protezala se od londonske stanice Victora do Liverpool Street-a, obuhvaćajući udaljenost od 6,5 km. Kapacitet baterija omogućavao je putovanje do 65 km, što je bilo dovoljno za četiri vožnje. U garaži bi autobus zamijenio ispražnjene baterije, a proces zamjene trajao bi tri minute. Iako je tvrtka imala flotu od 20 autobusa u svojoj najvećoj ekspanziji, financijski problemi prisilili su je na bankrotiranje 1910. godine, što je dovelo do prestanka usluge Electrobusa. Šira upotreba električnih vozila tek je započela u 21. stoljeću. [4].



Slika 3. Prvi električni autobus - Electrobus

Izvor: [5]

2.2. Podjela autobusa i tehničko eksploatacijske značajke

Autobus je putničko vozilo s više tragova namijenjeno prijevozu većeg broja putnika, a dijele se ovisno o cilju kretanja [6]:

- a) Gradski autobus (*slika 4.*) – prijevoz na kratkim relacijama
- veliki broj sjedećih i stajaćih mjesta
 - široka dvokrilna vrata
 - niska izvedba poda



Slika 4. Prikaz gradskog autobusa Citaro – Mercedes Benz

Izvor: [7]

- b) Prigradski autobus (*slika 5.*) – prijevoz na malo dulje relacije
- većinom su sva mjesta sjedeća
 - dovoljno široka vrata



Slika 5. Prikaz prigradskog autobusa IVECO

Izvor: [8]

- c) Međugradski autobus (*slika 6.*) – dulje relacije putovanja
- sva su mjesta sjedeća
 - manja vrata
 - veliki prostor za smještaj prtljage



Slika 6. Prikaz međugradskog autobusa SETRA

Izvor: [9]

- d) Minibus (*slika 7.*) – manjeg kapaciteta
- koristi se na područjima s manjim kapacitetom putnika
 - 17 sjedećih mjesta, 40 stajaćih



Slika 7. Prikazan je minibus, ZET, IVECO

Izvor: [10]

- e) Kombibus (*slika 8.*) – prijevoz manjih grupa ljudi
 – do 10 sjedećih mjesta
 – prostor za prtljagu



Slika 8. Prikaz minibusa, ZET, Citroen

Izvor: [10]

Tehničko-eksploatacijske značajke mogu biti podijeljene prema broju osovin, izvedbi karoserije, dužini i broju putničkih mjesta gradski autobusi najčešće mogu biti izvedeni prema *tablici 1.*

Tablica 1. Prikaz tehničko-eksploatacijskih značajki gradskih autobusa

	Dužina (m)	Putnička mjesta	Neto masa (t)	Broj vrata
Dvoosovinski ili troosovinski s jednodijelnom karoserijom	11 - 15	75 – 110	9,5 - 11	2 - 3
Zglobni troosovinski s dvodijelnom karoserijom	15 - 18	140 - 170	15 – 17,50	3 - 4
dvoosovinski s jednodijelnom karoserijom manjih dimenzija	7,50 - 10	40 - 70	7 – 8,50	2
zglobni četveroosovinski s trodijelnom karoserijom	22 - 25	230 – 250	30 - 40	4 (dvokrilna)
dvoosovinski i troosovinski autobusi na kat s jednodijelnom karoserijom	10 - 15	60 - 100	10 - 20	2 - 4

Izvor: [6]

3. TEHNOLOGIJA HIBRIDNIH AUTOBUSA

Istraživanje američkog laboratorija NREL na gradskom prijevozu u New Yorku otkriva izvanrednu učinkovitost hibridnog dizelsko-električnog pogona. Analizirajući dizelske i plinske motore utvrđeno je da hibridni sustav može primjetno smanjiti iskorištenje goriva, do 45% manje u odnosu na dizel i potpuno eliminirati potrošnju u odnosu na plin s obzirom na energetske ekvivalentnost.

Naglašavajući prednosti hibridnih tehnologija u javnom transportu, ovi rezultati potiču daljnji napredak i implementaciju ovih tehnologija kako bi se smanjio trošak goriva i proizvodnja štetnih emisija. Tvrtka BAE Systems svojim HibriDrive pogonskim sustavom ističe se kao predvodnik u ovoj oblasti, pružajući točne rezultate koji bi mogli imati značajan utjecaj na budućnost gradskog transportu. [2].

3.1. Princip rada hibridnog autobusa

Hibridna vozila koriste energiju iz dva izvora: elektromotora i dizelskog ili benzinskog motora. Također, imaju dodatne izvore snage koji mogu djelovati kao primarni pogon ili vrsta potisne sile. Električni motor sadrži bolje performanse čime se smanjuje i emisija štetnih emisija, dok motor s unutarnjim izgaranjem stupa na snagu tek pri visokim brzinama.

Komponente od kojih se hibridi sastoje su: hibridni prijenosni mehanizam, generator, baterija, elektromotor, reduktor, uređaj za podjelu snage i motor s unutarnjim izgaranjem [11].

3.1.1. Mehaničko - električna veza hibridnog pogona

Pogon vozila mora biti snažan, imati kapacitet za pohranu energije i smanjiti emisije štetnih plinova, prilagođavajući se promjenjivom opterećenju tijekom vožnje. Tradicionalni pogon koristi samo motor s unutarnjim izgaranjem, što je snažno, ali ne uvijek optimalno. Hibridni pogon kombinira motor s unutarnjim izgaranjem za prosječno opterećenje s dodatnim izvorom energije za vršna opterećenja. Hibridno vozilo koristi se s dva izvora energije, primarni i sekundarni, uz pretvornik energije i "djelitelj" snage, omogućujući punjenje sekundarnog izvora iz primarnog tijekom vožnje ili parkiranja te tijekom regenerativnog kočenja [11].

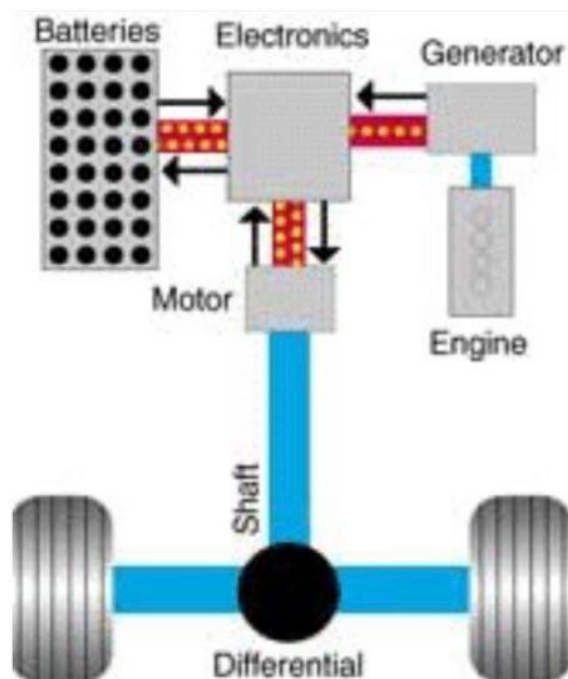
Takvim načinom rada se omogućuju različite izvedbe hibridnog pogona kao što su:

a) Serijski (serial)

U serijskoj konfiguraciji hibridnog pogona (*slika 4.*), jednoj od najstarijih i najjednostavnijih, motor s unutarnjim izgaranjem je potpuno odvojen od pogonskih kotača. Ovim pristupom kotači se pokreću isključivo električnim motorom, dok se toplinski motor koristi samo kako bi se proizvela električna energija. Takav način aranžmana omogućuje toplinskom motoru da uvijek radi u optimalnom području, pružajući najveću snagu uz čim manju potrošnju goriva. Regulacija brzine vozila bazira se na upravljanju elektromotorom [12].

Toplinski motor pokreće poseban generator kojim se električni motor napaja električnom energijom i puni akumulator. Ovim načinom konfiguracija osigurava reverzibilno kočenje kojim se povećava efikasnost vozila.

Hibridni pogon ovog vozila integrira niz inovativnih karakteristika radi poboljšanja performansi i efikasnosti. Koristi veće baterije kako bi produžio domet vozila, a istovremeno koristi on-board punjenje tijekom vožnje. Osim toga, vozilo može koristiti i neka off-board punjenja kada je parkirano, što dodatno doprinosi očuvanju energije. Kako bi se postigla optimalna efikasnost, hibridni pogon optimizira rad motora prema brzini vozila, odvajajući rad oba motora. Električni motor, koji nema prazan hod, dodatno smanjuje emisiju štetnih plinova. Osim toga, ovaj hibridni pogon ne zahtijeva transmisiju za prijenos snage, što pojednostavljuje konstrukciju i smanjuje gubitke energije. Konačno, upotreba heavy-Duty motora omogućava vozilu da se nosi s težim opterećenjem ili zahtjevnim terenom, čime se osigurava pouzdanost i izdržljivost [13].



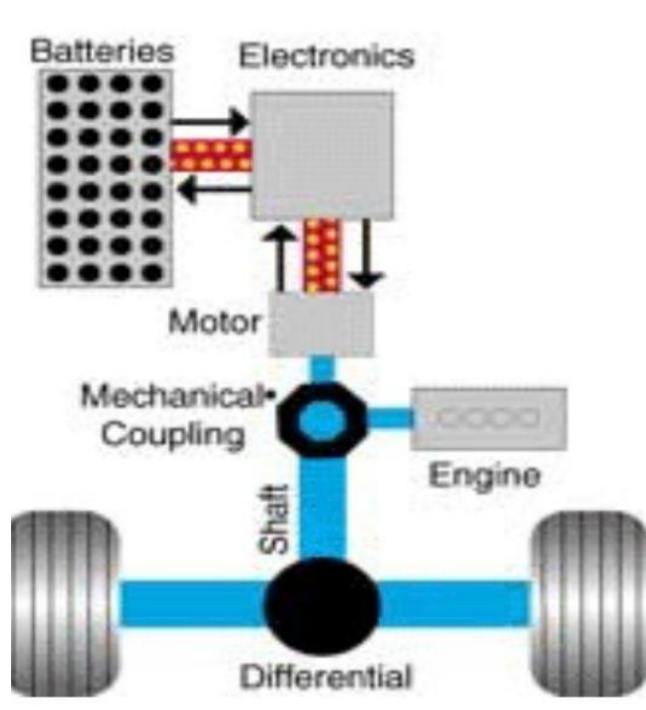
Slika 9. Prikaz serijske izvedbe hibridnog pogona

Izvor: [13]

b) Paralelni (parallel)

Elektromotor i motor s unutarnjim izgaranjem mogu zajedno pogoniti kotače, što omogućuje kombinaciju motora ili električnog pogona i smanjenje potrošnje goriva. Kada se koristi samo električni pogon, troši se manje goriva, a manji motor s unutarnjim izgaranjem može dopuniti tu uštedu. Isključivanjem motora s unutarnjim izgaranjem u situacijama kao što su zaustavljanje i kretanje u prometu, potrošnja goriva može dodatno pasti. Međutim, ograničenja kapaciteta baterije ograničavaju domet u električnom pogonu [12].

Paralelni hibridni električni pogon, prikazan *slikom 5.*, kombinira toplinski motor i električni motor/generator. Toplinski motor radi u optimalnom režimu, dok električni motor puni baterije pri nižim brzinama. Kad je potrebna veća snaga, električni motor koristi energiju iz akumulatora. Ova konfiguracija smanjuje težinu vozila i instaliranu snagu električnih motora. Električni motor i SUS su direktno spojeni na kotače, što omogućuje brže ubrzanje. Vozilo koristi manje baterije i može se puniti i izvan vozila. Električni motor nema prazan hod, a pakiranje komponenti u vozilu je manje fleksibilno. Ne zahtijeva transmisiju i koristi medium - Duty motor [13].



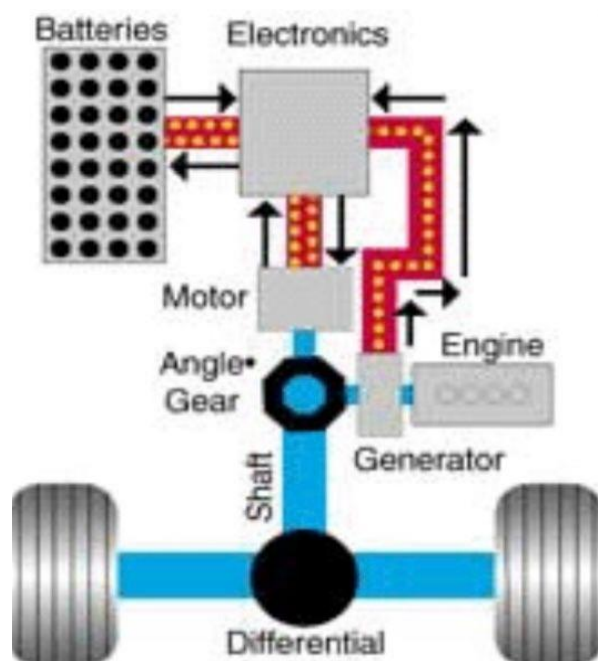
Slika 10. Prikaz paralelne izvedbe hibridnog pogona

Izvor: [13]

c) Serijsko – paralelni (dual mode)

Ovaj hibridni pogon je poput spoja najboljih osobina dvije popularne tehnologije - serijskog i paralelnog. To znači da se motori mogu koristiti na različite načine, ovisno o tome što je potrebno. Na primjer, kad se vozimo po autocesti, glavni igrač je motor s unutarnjim izgaranjem, ali električni motor skače u akciju kad god treba brže ubrzanje. U nekim slučajevima, motor s unutarnjim izgaranjem može raditi samo za punjenje baterija, dok u drugima radi zajedno s električnim motorom za pokretanje kotača. Ukratko, ovaj hibridni pogon kombinira najbolje od obje konfiguracije kako bi pružio učinkovit i snažan način vožnje [12].

Pri serijsko – paralelnoj (*slika 6.*) izvedbi postoje motor i generator s znatno manje snage u usporedbi s čisto serijskom izvedbom. Ovisno o potrebama vožnje, motor s unutarnjim izgaranjem može pokretati samo generator ili zajedno s motorom pokretati kotače, dok generator može biti neaktivan. Ova konfiguracija koristi srednje veličine baterije i omogućuje punjenje baterija kako unutar, tako i izvan vozila. Također, brže ubrzava, a električni motor nema prazan hod. Pakiranje komponenata u vozilu je manje fleksibilno, a ne zahtijeva transmisiju. Koristi se heavy-Duty motor za postizanje optimalnih performansi [13].



Slika 11. Prikaz serijsko - paralelnog načina izvedbe hibridnog pogona

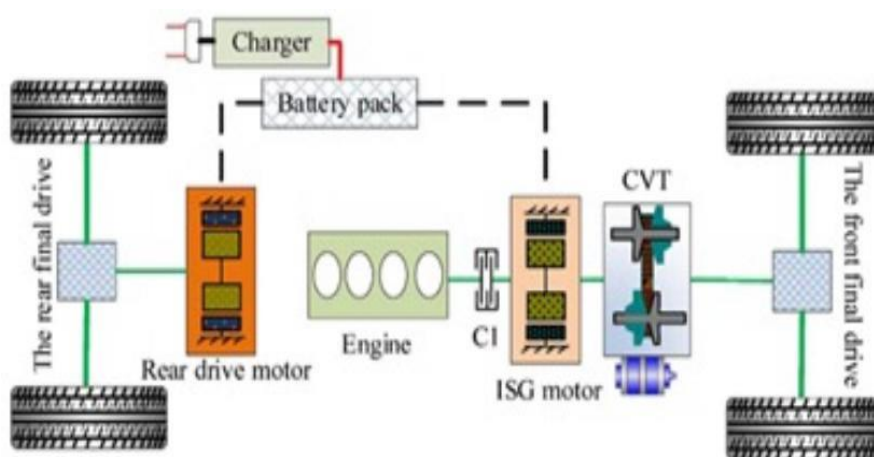
Izvor: [13]

Isto tako uz autonomnost se dijele na:

a) djelomične hibride – koriste mali elektromotor i bateriju koji pomažu glavnom motoru s unutarnjim izgaranjem, ali nisu sposobni samostalno pokretati vozilo.

b) potpune hibride – koriste snažniji elektromotor i bateriju koji mogu pokretati samostalno vozilo, omogućujući vožnju samo na električnu energiju ili samo na motor s unutarnjim izgaranjem ili u kombinaciji.

c) plug In hibride (*slika 12.*)- vozila koja se mogu puniti iz gradske mreže su odlična za kratka putovanja jer smanjuju potrebu za korištenjem motora s unutarnjim izgaranjem, što rezultira smanjenjem emisija štetnih plinova. Ovi hibridi mogu imati serijski ili paralelni pogonski sustav. Kada se baterije isprazne, vozilo se automatski prebacuje na motor s unutarnjim izgaranjem kako bi osiguralo kontinuiranu vožnju sve dok ne dođe do mjesta gdje će se ponovno moći napuniti [12].



Slika 12. Prikaz plug In principa rada

Izvor: [14]

3.1.2. Vrste goriva kod hibridnih autobusa

Hibridna vozila koriste kombinaciju elektromotora s benzinskim ili dizelskim motorom koja služe za pokretanje. Elektromotor se napaja energijom iz baterija, dok se benzinski ili dizelski motor opskrbljuje gorivom [12].

Benzinska hibridna vozila obično sadrže benzinski motor, elektromotor, generator, spremnik goriva, baterije i prijenos. Takva vrsta motora je manja i koristi naprednije inovacije radi veće učinkovitosti. Elektromotor ima dvostruku funkciju, kao motor i generator, primači i otpuštajući energiju iz baterija. Generatorom se proizvodi električna energija, dok spremnik goriva služi za benzinski motor. Baterijom se pohranjuje energije za elektromotor, dok prijenos obavlja osnovnu funkciju kao u standardnim automobilima.

Dizelska hibridna vozila su manje uobičajena od benzinskih, a često se koriste u teretnim i gospodarskim vozilima, kao i autobusima. To je zbog njihove sposobnosti smanjenja potrošnje goriva i negativnog utjecaja na okoliš.

3.2. Prednosti i nedostaci hibridnih autobusa

Prednosti hibridnih vozila [12]:

Ekološke prednosti

Smanjenje emisije štetnih plinova: hibridni autobusi smanjuju emisiju ugljičnog dioksida (CO₂), dušikovih oksida (NO_x) i čestica (PM) u usporedbi s konvencionalnim dizelskim autobusima. Koristeći električni motor u urbanim područjima, hibridni autobusi smanjuju lokalno zagađenje zraka, što je posebno važno za poboljšanje kvalitete zraka u gradovima.

Manja potrošnja goriva: Kombinacija električnog i dizelskog motora omogućuje bolju učinkovitost u potrošnji goriva, što smanjuje ukupnu količinu potrošenog fosilnog goriva.

Ekonomске prednosti

Smanjeni operativni troškovi: manja potrošnja goriva dovodi do smanjenja troškova za gorivo. Niži troškovi održavanja zbog manje trošenja dizelskog motora i kočionog sustava (zahvaljujući regenerativnom kočenju).

Potencijalne subvencije i poticaji: Mnoge vlade nude subvencije i poticaje za korištenje ekološki prihvatljivijih vozila, što može smanjiti početne troškove nabave hibridnih autobusa.

Prednosti u performansama

Poboljšano ubrzanje i vožnja: električni motor omogućuje bolje ubrzanje i glatkiji prijenos snage, što rezultira ugodnijom vožnjom. Manje buke i vibracija zahvaljujući radu električnog motora, posebno pri nižim brzinama i zaustavljanjima.

Regenerativno kočenje: ovaj sustav omogućava povrat energije tijekom kočenja, koja se pohranjuje u bateriju i koristi kasnije, što dodatno poboljšava učinkovitost goriva.

Korisničke prednosti

Povećana udobnost putnika: smanjena buka i vibracije čine vožnju ugodnijom za putnike. Bolje ubrzanje i kočenje rezultiraju glatkijom vožnjom.

Povećana pouzdanost: korištenje dvaju izvora energije (električnog i dizelskog) može povećati ukupnu pouzdanost sustava, jer se vozilo može prebaciti na drugi izvor energije u slučaju problema s jednim od motora.

Nedostaci hibridnih vozila [12]:

Ekonomičnost i financije

Visoki početni troškovi: nabavna cijena hibridnih autobusa je znatno viša u usporedbi s konvencionalnim dizelskim autobusima. To može predstavljati značajnu prepreku za javne prijevozne sustave s ograničenim proračunima.

Troškovi održavanja i popravaka: iako su operativni troškovi niži, troškovi održavanja hibridnih sustava mogu biti viši zbog složenije tehnologije. Specijalizirani dijelovi i stručnjaci za popravke mogu biti skuplji.

Zamjena baterija: baterije hibridnih sustava imaju ograničen vijek trajanja i njihov trošak zamjene može biti značajan. Iako se troškovi baterija smanjuju s napretkom tehnologije, još uvijek predstavljaju bitan financijski čimbenik.

Tehnički izazovi

Težina vozila: hibridni autobusi su obično teži zbog dodatnih komponenti poput baterija i dvostrukih pogonskih sustava. Ta dodatna težina može negativno utjecati na performanse vozila i potrošnju goriva u određenim uvjetima.

Kompleksnost sustava: kombinacija dva pogonska sustava povećava složenost vozila, što može dovesti do više potencijalnih točaka kvara. Potrebna je veća stručnost za održavanje i popravke.

Operativni izazovi

1.Ograničeni kapacitet baterija: kapacitet baterija u hibridnim autobusima može biti ograničen, što znači da se električni pogon koristi samo za kraće udaljenosti ili niže brzine. To ograničava prednosti hibridnog sustava u dužim vožnjama.

2.Potreba za specijaliziranom infrastrukturom: održavanje i punjenje hibridnih autobusa zahtijeva specijaliziranu infrastrukturu, što može biti dodatni trošak za prijevozne operatere.

Ekološki i društveni izazovi

1.Ekološki otisak proizvodnje: proizvodnja baterija i složenih električnih komponenti može imati značajan ekološki otisak, uključujući rudarenje rijetkih metala i korištenje energije u proizvodnom procesu.

2.Zbrinjavanje baterija: nakon što baterije dosegnu kraj svog životnog vijeka, njihovo zbrinjavanje i recikliranje predstavljaju ekološki izazov. Nepravilno zbrinjavanje može rezultirati onečišćenjem okoliša.

3.3. Modeli hibridnih autobusa

Hibridni autobusi dolaze u različite varijante: klasični hibridni autobusi kombiniraju dizelski i električni motor, plug-In hibridni autobusi imaju veći doseg samo na električni pogon uz punjenje na stanici, dok se drugi autobusi oslanjaju na dizelski motor s CNG-om ili vodikom kao gorivom [2].

Ključni europski proizvođači autobusa igraju važnu ulogu u razvoju ovih vozila, pružajući visoku razinu tehnološke stručnosti i inovacija u području javnog prijevoza. Njihovi raznoliki modeli nude širok spektar opcija za gradove i operatere javnog prijevoza, neprestano se poboljšavajući kako bi odgovorili na potrebe tržišta i osigurali održiva, učinkovita i pouzdana rješenja za budućnost javnog prijevoza.

Tri vodeća europska proizvođača hibridnih autobusa, Volvo, Iveco Iris bus i MAN, ističu se kao ključni igrači u javnom prijevozu, nudeći raznovrsne modele i inovativna rješenja koja odgovaraju potrebama održive mobilnosti i zahtjevima tržišta.

3.3.1. Volvo

Tijekom sedamdesetih godina, u periodu prve energetske krize, Volvo je zamijetio promjene u potrošnji goriva i počeo istraživati o alternativnim rješenjima. Godinama kasnije, počeli su istraživati s hibridnim tehnologijama, te se nakon toga u Geteborgu 1995. godine se pojavljuju prvi tipovi autobusi s hibridnim pogonom u kombinaciji struje i dizel-a. Godinama je sustav hibridnog pogona usavršavao, te je 2007. došlo do puštanja autobusa na hibridni pogon u promet. Svojom vodećom pozicijom u izumima, Volvo je vodeći na tržištu hibridnih autobusa u Europi, ako ne i širom svijeta [2].

Tablica 2. Tehnička specifikacija Volvo 7900 hibrid autobusa

Bruto težina [kg]	19,000
Duljina [mm]	12,000
Širina [mm]	2,550
Visina [mm]	3,285
Broj osovina	2
Broj vrata	2 – 3
Broj sjedećih mjesta	33
Maksimalni kapacitet	154

Izvor: [15]

a) Volvo 7900 hibrid

Pod nazivom Volvo 7900 krije se predvodnik hibridnog autobusa, koji dostiže kapacitet od 154 putnika. Usporedivši ga s drugim hibridnim modelima, doseže značajno manje potrošnje goriva, čak do 30%. Način rada mu je tih, te ekonomičan osobito na stajalištima. Svoju ekološku prihvatljivost ostvaruje energetskim pohranama do kojim dođe uz pomoć kočnja.



Slika 13. Prikaz modela Volvo 7900 hibrid

Izvor: [16]

b) Volvo 7900 plug-In hibrid

Prva njihova proizvodnja počela je 2015. godine, no Volvo i dalje radi na razvoju plug-In hibridnih autobusa, temeljenih na tehnologiji sustava serije 7900. Sadrže dodatak za pantograf radi brzog punjenja baterija na stajalištima. Električnim režimom mogu prevaliti oko sedam kilometara čime se smanjuje potrošnja goriva čak do 75% u odnosu na dizelski motor [2].



Slika 14. Prikaz modela Volvo7900 plug-in hibrid

Izvor: [17]

3.3.2. Iveco Iris bus

Iris bus, u suradnji s Fiat Industrialom, zauzima visoko treće mjesto na svjetskom tržištu autobusa i komercijalnih vozila. Nakon ostvarenog uspjeha, postali su vodeći u prodaji autobusa na tržištu istočne Europe. Tvrtka posjeduje tri tvornice, dvije u Češkoj i jednu u Francuskoj, koje se isključivo bave proizvodnjom hibridnih autobusa modela:

Tablica 3. Tehničke specifikacije Iveco Iris bus Citelis autobusa

Bruto težina [kg]	19,000 – 28,000
Duljina [mm]	10,500 – 18,000
Širina [mm]	2,550
Visina [mm]	3,100
Broj osovina	2 – 3
Broj vrata	2 – 4
Broj sjedećih mjesta	38 – 50
Maksimalni kapacitet	90 – 150

Izvor: [18]

a) Iveco Iris bus Citelis CNG

Iveco Iris bus nudi gradski autobus Citelis (*slika 8.*) u tri različite duljine: 10,5 m, 12 m i zglobno vozilo od 18 m, s dizelskim ili CNG pogonom. Svi motori zadovoljavaju EEV standarde od 2006. godine. Citelis modeli su opskrbljeni motorom Cursor 8 u varijantama s dizelskim pogonom od 245 KS, 290 KS i 380 KS, te s CNG pogonom od 245 KS, 290 KS i 330 KS. Hibridna verzija ima motor snage 300 KS. Autobusi Citelis imaju potpuno niski pod duž cijele duljine, s prostranim platformama za lakši ulazak putnika. Široki hodnici koriste slobodnom kretanju unutar autobusa, posebno prilagođeno putnicima smanjene pokretljivosti. Naglasak je na udobnosti putnika s učinkovitim klima uređajem i izolacijom od buke, također dizajn samog autobusa olakšava pristup različitim mjestima u konstrukciji za održavanje, dok su odvojivi bočni paneli zamišljeni sa svrhom brzih popravaka nakon nekih manjih nezgoda na cesti [18].



Slika10. Iveco Iris bus Citelic 18 CNG, zglobni, "ZET" - Zagreb, 2017.

Izvor: [19]

b) Iveco Iris bus Citelis hibrid

Visokoučinkovita i pouzdana struktura autobusa Citelis, prikazan *slikom 9.*, razvijena uz više od 15 godina iskustva u hibridnim tehnologijama, zadovoljava rastuću potražnju za ekološki prihvatljivim vozilima. Ovaj autobus, dostupan u modelima od 12 i 18 metara, koristi futurističku dizel-električnu hibridnu tehnologiju, koju je razvila u suradnji s tvrtkom BAE Systems. Ova tehnologija kombinira šesto litreni dizelski motor Tector od FPT Industrial s električnim motor-generatorom koji prikuplja energiju tijekom usporavanja [20].



Slika 11. Iveco Iris bus Citelis hibrid autobus

Izvor: [21]

3.3.3. MAN

Isto tako, pored Volva i Iveca, važno je spomenuti i njemačku tvrtku MAN radi obilne proizvodnje autobusa različitih kategorija, kao i znatnog broja kamiona koji zadovoljavaju različite potrebe, te njihovu prisutnost u javnom teretnom transportu. Klasični autobusi kombiniraju dizelski motor i jedan ili dva sinkrona generatora kako bi zadovoljili Euro IV normu. [2].

Tablica 4. Tehničke specifikacije MAN Lyon's City autobusa

Bruto težina [kg]	12,000 – 13,500
Duljina [mm]	12,000 – 18,000
Širina [mm]	2,550
Visina [mm]	3,300
Broj osovina	2 – 3
Broj vrata	2 – 4
Broj sjedećih mjesta	30 – 45
Maksimalni kapacitet	100

Izvor:[22]

a) **Man Lyon's City hibrid**

Opremljen automatskim sustavom za automatsko zaustavljanje i pokretanje gotovo bez trošenja, ovaj autobus je prikazan *slikom 10.*, te donosi brojne ekonomske prednosti. Pametno upravljanje energijom omogućuje dizelskom motoru da se isključi kada vozilo stane, dok se energija koja se generira tijekom kočenja pretvara u električnu energiju. To rezultira smanjenjem emisija, trošenja i potrošnje goriva. Integracija čvrstog električnog motora, Ultra Cap sustava koji zapravo predstavlja ultrakapacitore koji su električni uređaji za skladištenje energije i skuže za brzo punjenje i pražnjenje električne energije akumulatora energije i inteligentnih kontrolnih sustava dodatno unapređuje energetske učinkovitost. Službeno registrirani kao hibridni autobusi, gradski autobusi MAN EfficientHybrid nude brojne prednosti za gradsko okruženje, poboljšavajući njegovu održivost i vizualni dojam [22].



Slika 15. Prikaz autobusa marke MAN Lyon's hibrid-a

Izvor: [23]

b) Man Lyon's City CNG

Autobusi tvrtke MAN pogonjeni su prirodnim stlačenim plinom, poznatim kao CNG koji se nalazi pod slikom 11., uključuje različite verzije autobusa od solo pa do zglobnih. S obzirom na svoju visinu koja iznosi 3.300mm spadaju u najniže autobuse na tržištu. Njihova opremljenost se zasniva na horizontalnom motoru na prirodni plin, koji mogu biti dostupni u dvije snage i imaju spremnike goriva na krovu ispod aerodinamičkog poklopca u kojima se skladišti prirodni plin pod visokim tlakom. Modularnim sustavom se opskrbljuje čak do 10 plinskih boca. Spremnici je raspon dosega 500 km, uključujući i zglobnu vrstu autobusa. Unatoč tome što su inicijalni troškovi veći, troškovi goriva su manji [22].



Slika 16. Prikazan autobus prigradskog tipa marke MAN Lion's City CNG, dobitnik nagrade "Autobus godine 2015."

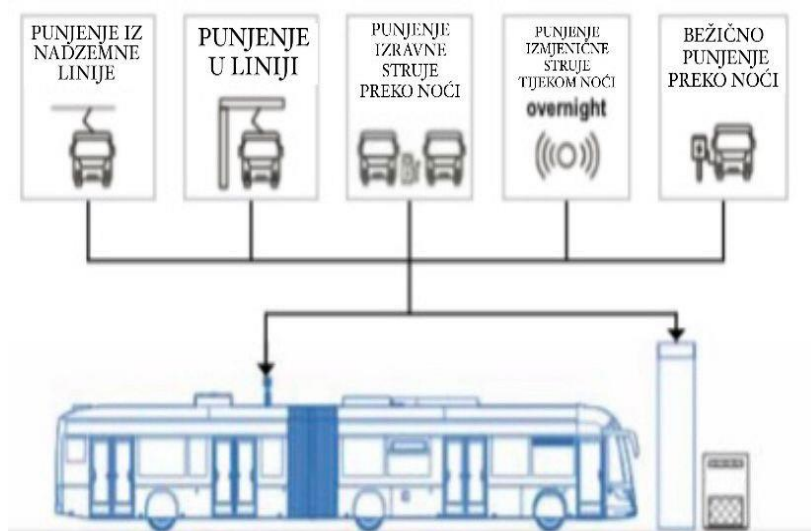
Izvor: [24]

4. TEHNOLOGIJA ELEKTRIČNIH AUTOBUSA

Električni autobusi su vozila koja koriste isključivo električnu energiju za pogon i pomoćne sustave, bez štetnih ispušnih plinova. Električna energija dolazi iz baterija, vodikovih gorivih članaka, nadzemnih žica (kao kod trolejbusa) ili zemaljskih beskontaktnih vodiča. Ove opcije mogu uključivati mogućnost ponovnog punjenja pomoću ugrađenih mehanizama poput vanjskih punjača, solarnih panela ili skladišnih baterija. Punjenje kod autobusa se može ostvariti na priključnim stanicama ili putem posebnih bežičnih punjača [25].

4.1. Tehnologija baterije i punjenje autobusa

Tehnologija baterija i infrastruktura punjenja električnih autobusa predstavljaju temeljne stupove razvoja ovog održivog oblika prijevoza. Kroz kontinuirani napredak u tehnološkim inovacijama, baterijske tehnologije postaju sve učinkovitije, pružajući veći domet i pouzdanost vozilima. Istovremeno, izgradnja infrastrukture za punjenje, koja uključuje postavljanje punionica duž ruta, u autobusnim dvorištima i na javnim lokacijama, ključna je za podršku kontinuiranom radu električnih autobusa. Održivo upravljanje baterijama također igra važnu ulogu u produženju njihovog životnog vijeka i očuvanju performansi vozila, čineći električne autobuse sve konkurentnijim alternativama u urbanom prijevozu. Strategije punjenja za upravljanje flotama električnih autobusa, prikazana *slikom 12*, označava različite metode i planove za efikasno punjenje baterija električnih autobusa u floti. Ovo uključuje planiranje vremena punjenja, izbor lokacija punjenja, upravljanje kapacitetom baterija, kao i implementaciju tehnologija poput pametnih punionica ili sustava dinamičkog upravljanja punjenjem radi maksimiziranja učinkovitosti i minimiziranja troškova [26].



Slika 17. Prikazuje "Strategije punjenja za upravljanje flotama električnih autobusa"

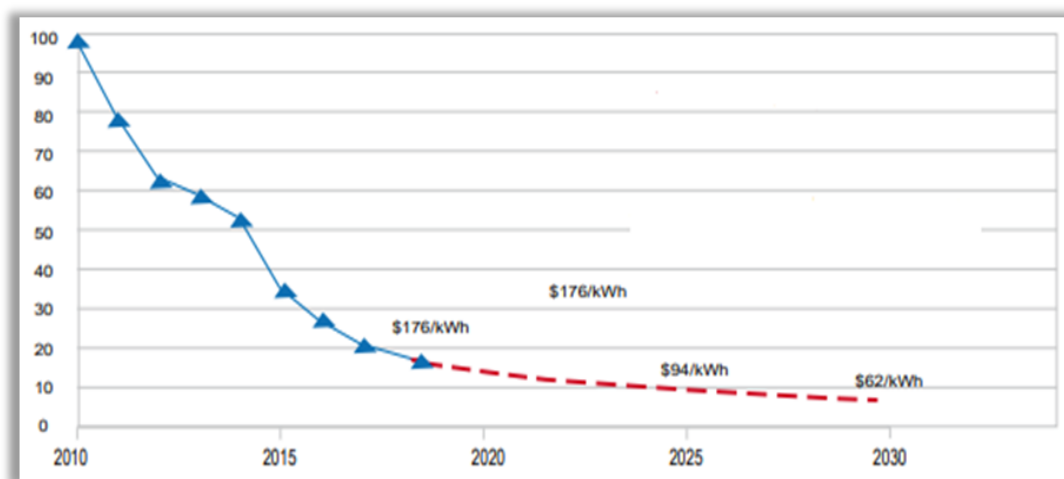
Izvor: [26]

4.1.1. Vrste punjenja baterija

Baterija je ključni dio električnih autobusa, pružajući energiju motoru ugrađenom unutar vozila. Iako su dizelski motori imali prednost u pogledu dometa, tehnologija baterija značajno je napredovala u posljednjem desetljeću. Od 2018. godine, električni autobusi mogu postići domet od preko 280 km s jednim punjenjem. Domet varira ovisno o terenu i temperaturi tijekom vožnje.

Jedan od glavnih razloga za porast popularnosti električnih autobusa je pad cijena baterija što je uočljivo *grafikonom 1.*, čime su financijski privlačnija opcija za zamjenu dizelskih autobusa. Prosječna cijena baterija u svijetu iznosi oko 329 \$/kWh. Smanjenje cijena i poboljšanje performansi baterija smanjuju ukupne troškove električnih autobusa. Tehnička poboljšanja također utječu na životni vijek baterija.

Grafikon 1. Projekcija pada cijena litijevih baterija u razdoblju od 2010. do 2030. godine



Izvor: [26]

Različite vrste baterija imaju svoje prednosti i nedostatke. Litij-željezo-fosfatne baterije imaju dug vijek trajanja, ali manju energetske gustoće, dok litij-nikal-kobalt baterije nude veću energetske gustoću, ali kraći vijek trajanja. Nikal-mangan-kobalt baterije su najčešće korištene u europskim električnim autobusima.

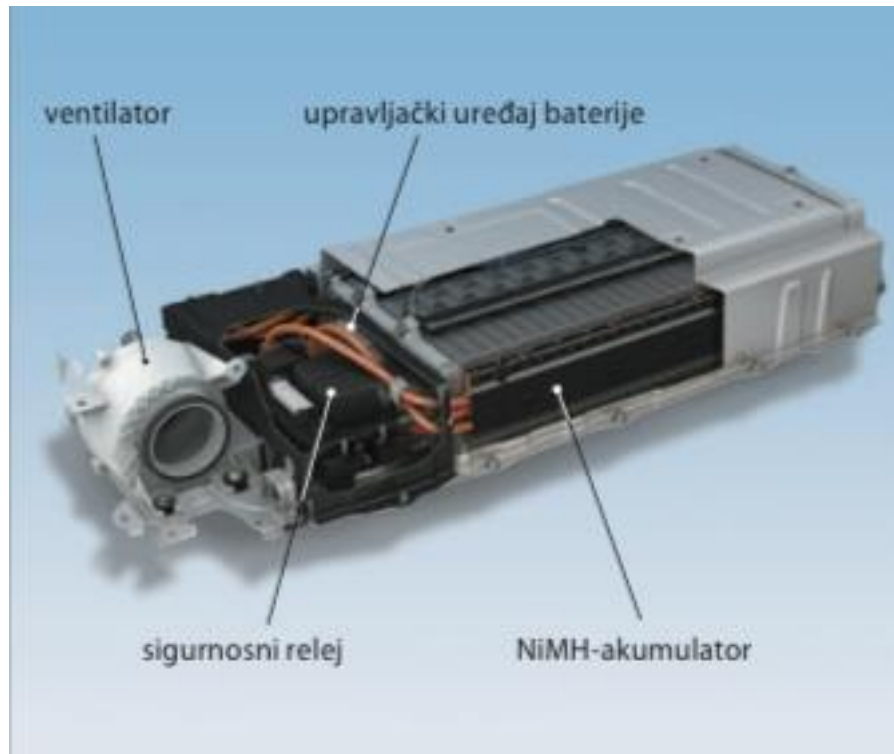
Prosječni vijek trajanja baterija u električnim autobusima je oko sedam godina. Jedno od glavnih pitanja u ovoj industriji je skladištenje istrošenih baterija, što je važno za okoliš i ugled tvrtki. Stoga se s baterijama postupa ozbiljno, s naglaskom na recikliranje [26].

Značajke baterijskih sustava (akumulatori):

a) Nikal-metal hibridni akumulator

Akumulatorski sustav temeljen na NiMH tehnologiji ima nekoliko ključnih karakteristika i prednosti. Zbog veće težine, relativno su niži troškovi proizvodnje, a elektronički upravljački uređaj je manje zahtjevan. Sustav je opremljen hlađenjem i zaštitnim pokrovom, a moguće je zamijeniti pojedinačne neispravne članke [27].

Tipični NiMH akumulatorski sustav sastoji se od 28 modula, pri čemu svaki modul sadrži 6 članaka, što ukupno daje električnu snagu sustava od 27 kW. Osnovni dijelovi sustava (*slika 18.*) uključuju upravljački uređaj, hladnjak s ventilatorom i sigurnosni sustav s relejima, koji zajedno osiguravaju efikasan i siguran rad akumulatora.



Slika 18. Prikaz konstrukcije nikal-metal hibridnog akumulatora (NiMH)

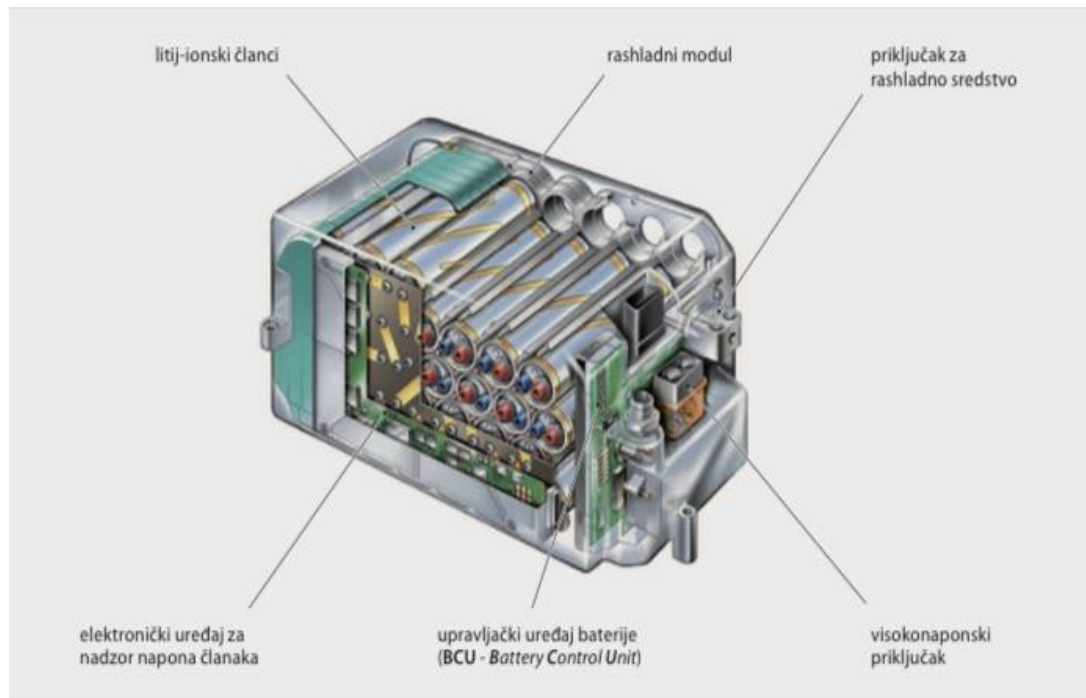
Izvor: [27]

b) Litij-ionski akumulatori

U usporedbi s NiMH akumulatorima, litij-ionski akumulatori imaju veću gustoću energije i snage zahvaljujući višem naponu članaka. Ovi akumulatori također nude veću učinkovitost i manje samo pražnjenje. Međutim, osjetljivi su na niske temperature, prepunjivanje, duboko pražnjenje te mehanička oštećenja.

Proces punjenja litij-ionskog akumulatora uključuje odvajanje elektrona od prijelaznih metalnih iona, koji se zatim gibaju kroz elektrolit prema negativnoj elektrodi. Litijevi ioni i elektroni vežu se kako bi formirali litijeve atome.

Komponente sustava litij-ionskog akumulatora uključuju (*slika 19.*): litij-ionske članke, rashladni modul, priključak za rashladno sredstvo, visokonaponski priključak, upravljački uređaj baterije i elektronički uređaj za nadzor napona članka. Ovi dijelovi osiguravaju učinkovito i sigurno funkcioniranje akumulatora [27].





Slika 19. prikaz konstrukcije litij-ionskog akumulatora

Izvor: [27]

4.1.2. Modeli načina punjenja električnih baterija

Električni autobusi mogu se svrstati u tri kategorije prema načinu punjenja:

- a) **Plug-in punjenje** - najjeftinija i najjednostavnija metoda, jer se baterija autobusa puni pomoću električnog kabela i utičnice. Ipak, ovaj način punjenja je spor, što zahtijeva dodatne autobuse za zamjenu onih koji se trenutno pune.
- b) **Zamjena baterija** - omogućuju brzu zamjenu baterija, što smanjuje potrebu za dodatnim vozilima. No, troškovi izgradnje potrebne infrastrukture za ovu metodu su najviši u usporedbi s ostalim vrstama punjenja.
- c) **Bežično punjenje** - koristi elektromagnetsko polje koje stvaraju električni vodiči postavljeni ispod ceste, pretvarajući ga u električnu energiju pomoću kolektora struje smještenog u podvozju vozila. Ovaj način punjenja omogućuje električnim autobusima punjenje baterija tijekom vožnje. Iako još nije široko primijenjena, ova tehnologija pokazuje velik potencijal prema dosadašnjim istraživanjima. Planira se primjena u dinamičkom i statičkom načinu punjenja, što znači punjenje autobusa tijekom vožnje i punjenje dok su parkirani u garažama na kraju dnevnog rasporeda vožnje [28].

Karakteristike	Plug-in punjenje	Zamjena baterije	Bežično punjenje
Snaga punjenja	200 kW	200 kW	200 kW
Vrijeme punjenja	20-30 min	40 s (Zamjena baterije)	30-40 min
Učinkovitost punjenja	0.95	0.95	0.75
Lokacija instalacije	Krajnje točke rute	Raskrižja ruta	5-15% na operativnoj ruti
Ilustracija:			

Slika 20. Prikazani načini punjenja električnih autobusa prema karakteristikama

Izvor: [28]

4.2. Prednosti i nedostaci električnih autobusa

Prednosti električnih autobusa

- Ekološka prihvatljivost: Ne ispuštaju štetne emisije, smanjuju stakleničke plinove, zagađenje zraka i buku.
- Ekonomičnost: Troškovi električne energije su znatno niži od troškova goriva, s nižim troškovima održavanja zbog manje potrebe za servisom motora i ulja.
- Praktičnost: Jednostavno punjenje putem lokalne električne mreže, a tvrtke mogu koristiti solarne ploče za dodatne uštede.

Nedostaci električnih autobusa

- Visoki početni troškovi: Cijena električnih autobusa je dva do tri puta viša od benzinskih ili dizelskih vozila.
- Potrebna infrastruktura: Gradovi moraju izgraditi specijalizirane stanice za punjenje, što dodatno košta.
- Ograničen domet: Maksimalno oko 300 km po punjenju, što zahtijeva svakodnevno punjenje i nekoliko sati za potpuno punjenje [29].

4.3. Modeli električnih autobusa

Prihvatanje električnih modela autobusa se naglo krenulo širiti svijetom, sve počevši od Kine, a zatim postepeno i na ostale dijelove svijeta koji su uvidjeli prednosti takvog oblika javnog prijevoza. Posljednjih godina se bilježi značajni porast korištenja autobusa koji posjeduju nultu razinu zagađenja ispušnim plinovima. Takvim načinom se predviđa nastavak porasta konzumacije električnih autobusa koji prate trendove razvoja električnih automobila.

Ovim poglavljem obuhvaćeni su najznačajniji modeli električnih autobusa koji se koriste u Europi, s detaljnim informacijama o njihovim tehničkim specifikacijama i performansama. Poseban naglasak stavljen je na uspjehe i izazove s kojima se susreću europski gradovi prilikom implementacije ovih vozila u svoje javne prometne sustave. Poglavlje također istražuje različite pristupe i strategije koje europski gradovi koriste za integraciju električnih autobusa u svoje flote, kao i utjecaj ovih vozila na poboljšanje kvalitete zraka i smanjenje buke u urbanim sredinama.

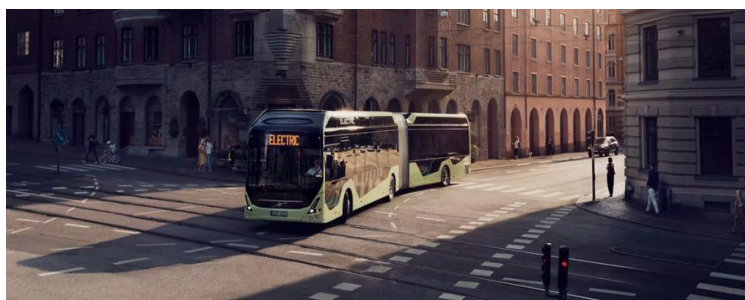
4.3.1. Volvo 7900 Electric

Proizveden je od strane švedske tvrtke Volvo Group, s namjernom za gradska područja radi smanjenje emisije ispušnih plinova kao i buke. Pokreće ga pogon motora od 470 kW, te s tim jednim punjenjem može prijeći oko 200 km. Radi mogućnosti regenerativnog načina kočenja postiže veću učinkovitost zbog koje se baterija sama puni tijekom vožnje. Uz električni pogon posjeduje i sustave kojima se smanjuje i mogućnost nesreća i povećanju udobnosti [30].

Tablica 5. Tehničke specifikacije Volvo 7900 Electric [30]

Bruto težina [kg]	19,500 – 30,000
Duljina [mm]	12,000 – 18,500
Širina [mm]	2,500
Visina [mm]	3,300
Broj osovina	2 – 3
Broj vrata	2 – 4
Broj sjedećih mjesta	95 – 145
Maksimalni kapacitet	150

Izvor: [30]



Slika 21. Prikazuje Volvo 7900 Electric

Izvor:[30]

4.3.2. BYD K9

Kineski proizvođač automobila BYD Auto proizvodi baterijski električni autobus poznat kao BYD K9. Ovaj autobus je opremljen baterijama kapaciteta 348 kWh te se može potpuno napuniti za pet sati, omogućujući mu autonomiju od oko 249 kilometara.

Osim što pruža ekološki prihvatljivu alternativu u gradskom prijevozu, BYD je proširio svoj utjecaj otvaranjem proizvodnih pogona diljem Europe. Godine 2017., otvorili su svoj prvi europski proizvodni pogon za autobuse u Komaromu, Mađarska, a nedugo nakon toga, proširili su svoje operacije otvaranjem još jednog proizvodnog pogona u Beauvaisu, Francuska. Ovi pogoni predstavljaju korak naprijed u regionalnoj proizvodnji električnih autobusa, pružajući podršku rastućem tržištu električnih vozila i promicanju održivog javnog prijevoza [31].

Tablica 6. Tehničke specifikacije za autobus BYD K9 [32]

Bruto težina [kg]	19,500
Duljina [mm]	12,200
Širina [mm]	2,500
Visina [mm]	3,300
Broj osovina	2
Broj vrata	2 - 3
Broj sjedećih mjesta	37 (+ 1)
Maksimalni kapacitet	39

Slikom 15. prikazan je BYD K9, nova generaciju 12-metarskih električnih autobusa nedavno nadograđenu s najnovijom tehnologijom tvrtke BYD za sigurnost i performanse, pružajući veći domet i vrhunsku udobnost putnika. S modernim dizajnom eksterijera i prozorima većim na stranama i stražnjem dijelu, vožnja je osvježena s boljom vidljivošću i osvjetljenjem. Ebus je također prošao različite testove koji ocjenjuju udobnost vozača.



Slika 22. Prikazuje BYD K9

Izvor:[32]

4.3.3. MAN Lion's City

U Hrvatskoj se sve više promovira korištenje električnih vozila, uključujući i autobuse. Počevši u 2022. godini, gradovi diljem Hrvatske su počeli uvođenje baterijsko-električnih gradskih autobusa MAN Lion's City. Ova njemačka tvrtka pokrenula je pilot projekt s ciljem elektrifikacije europskih prometnica, a demonstracijske vožnje pokazale su tišu vožnju i pouzdanost. Autobus ima električni motor snage 160 kW i kapacitet baterija od 480 kWh, što mu omogućuje domet do 350 kilometara. Punjenje se obavlja noću, a brzi punjač od 150 kW može napuniti bateriju za tri sata. Očekuje se da će EU sufinancirati veći dio troškova. Hrvatska planira nabaviti oko 70 takvih autobusa za gradove poput Zagreba i Rijeke. MAN Lion's City je već testiran u različitim europskim uvjetima, a naručeno je više od 700 autobusa za 17 europskih zemalja [33].

Tablica 7. Tehničke specifikacije za MAN Lion's City, Hrvatska

Bruto težina [kg]	12,000 – 13,500
Duljina [mm]	10,500 – 18,100
Širina [mm]	2,250
Visina [mm]	3,320
Broj osovina	2 - 3
Broj vrata	3 - 4
Broj sjedećih mjesta	33 - 60
Maksimalni kapacitet	100

Izvor: [34]



Slika 23. Prikaz MAN Lion's City 12E, Hrvatska

Izvor: [33]

4.3.4. Solaris Urbino 18,75 electric

Ovi električni autobusi koriste novu generaciju baterija i izlažu se na Transexpo izložbi javnog prijevoza u Kielce, Poljska. Urbino 12 Electric sada je opremljen novim paketom baterija kapaciteta preko 520 kWh, što omogućuje domet od oko 300 km u različitim uvjetima vožnje i vremenskim prilikama. Četvrta generacija zglobnog električnog autobusa produžena je na 18,75 metara radi povećanja kapaciteta putnika. Zbog toga sada nosi oznaku Urbino 18.75 Electric. Autobus je na ulicama Europe, gdje Solaris kaže da ih sada ima više od 800 vozila. Sada Solaris uvodi eSSyncroService, koristeći proširenu stvarnost za popravak autobusa. Također, predstavljaju Urbino 18 Hydrogen, drugi model na vodik [29].

Tablica 8. Tehničke specifikacije Solaris Urbino 18,75 electric [35]

Bruto težina [kg]	30,000
Duljina [mm]	18,750
Širina [mm]	2,550
Visina [mm]	3,300
Broj osovina	2 - 3
Broj vrata	3 - 4
Broj sjedećih mjesta	41
Maksimalni kapacitet	138



Slika 24. Prikaz Solaris Urbino 18,75 electric autobusa

Izvor: [35]

5. ANALIZA REZULTATA

Volvo, jedan od vodećih svjetskih proizvođača komercijalnih vozila, prepoznat je po svojoj posvećenosti inovacijama, sigurnosti i održivosti. U oblasti autobusne industrije, Volvo nudi širok spektar vozila koja odgovaraju različitim potrebama i zahtjevima tržišta. Ova analiza ima za cilj da pruži detaljan pregled i uspoređenje tri glavne kategorije autobusa koje Volvo nudi: one sa klasičnim motorima sa unutrašnjim izgaranjem, hibridnim pogonom i električnim motorima.

Klasični motori sa unutrašnjim izgaranjem

Autobusi sa klasičnim motorima predstavljaju osnovnu i tradicionalnu opciju u Volvo ponudi. Ovi motori, najčešće dizelski, poznati su po svojoj pouzdanosti i dugotrajnosti. Volvo se trudi da u ovoj kategoriji postigne maksimalnu efikasnost goriva i smanjenje emisije štetnih gasova kroz napredne tehnologije kao što su optimizirani sistem za ubrizgavanje goriva i sofisticirani sistemi za kontrolu ispušnih plinova.

Uzet je za primjer Volvo 9900, 12.4. Autobus koji služi međugradskim putovanjima, na dalje udaljenosti koje su prikazane sljedećim specifikacijama, *tablicom 9.*:

Tablica 9. prikaz tehničkih specifikacija modela Volvo 9900 12.4

Bruto težina [kg]	19,500
Duljina [mm]	12,400
Širina [mm]	2,500
Visina [mm]	3,850
Broj osovina	2
Broj vrata	2
Broj sjedećih mjesta	49
Maksimalni kapacitet	49
Snaga motora [kW]	320
Kapacitet spremnika [l]	480

Izvor: [36]

Hibridni pogon

Hibridni autobusi kombiniraju motor sa unutrašnjim izgaranjem sa električnim motorom, pružajući balans između snage i ekološke održivosti. Volvo hibridni sistem omogućavaju smanjenje potrošnje goriva i emisije štetnih gasova, posebno u urbanim sredinama gdje su učestala zaustavljanja i kretanja. Ovi autobusi koriste regenerativno kočenje za punjenje baterija, što dodatno povećava efikasnost. Jedan od najpoznatijih i obrađenih modela Volva je Volvo 7900 Hibrid, čije su tehničke specifikacije prikazane putem *tablice 10*.

Tablica 10. Tehnička specifikacija Volvo 7900 hibrid autobusa

Bruto težina [kg]	19,000
Duljina [mm]	12,000
Širina [mm]	2,550
Visina [mm]	3,285
Broj osovina	2
Broj vrata	2 – 3
Broj sjedećih mjesta	33
Maksimalni kapacitet	154
Snaga motora [kW]	179
Kapacitet spremnika [l]	150
Kapacitet baterije [kWh]	19

Izvor: [15]

Električni pogon

Volvo električni autobusi predstavljaju vrhunac tehnologije održivog transporta. Bez emisije ispušnih plinova, ovi autobusi su idealni za gradsku vožnju, gdje zagađenje zraka i buka predstavljaju značajne izazove. Volvo električni motori nude tišinu u radu, niske operativne troškove i fleksibilnost u planiranju ruta zahvaljujući mogućnostima brzog punjenja baterija. Također su za njihovu usporedbu s ostale dvije vrste uzet već unaprijed spomenuti Volvo 7900 Electric i njegovi tehnički podaci (*tablica 11.*).

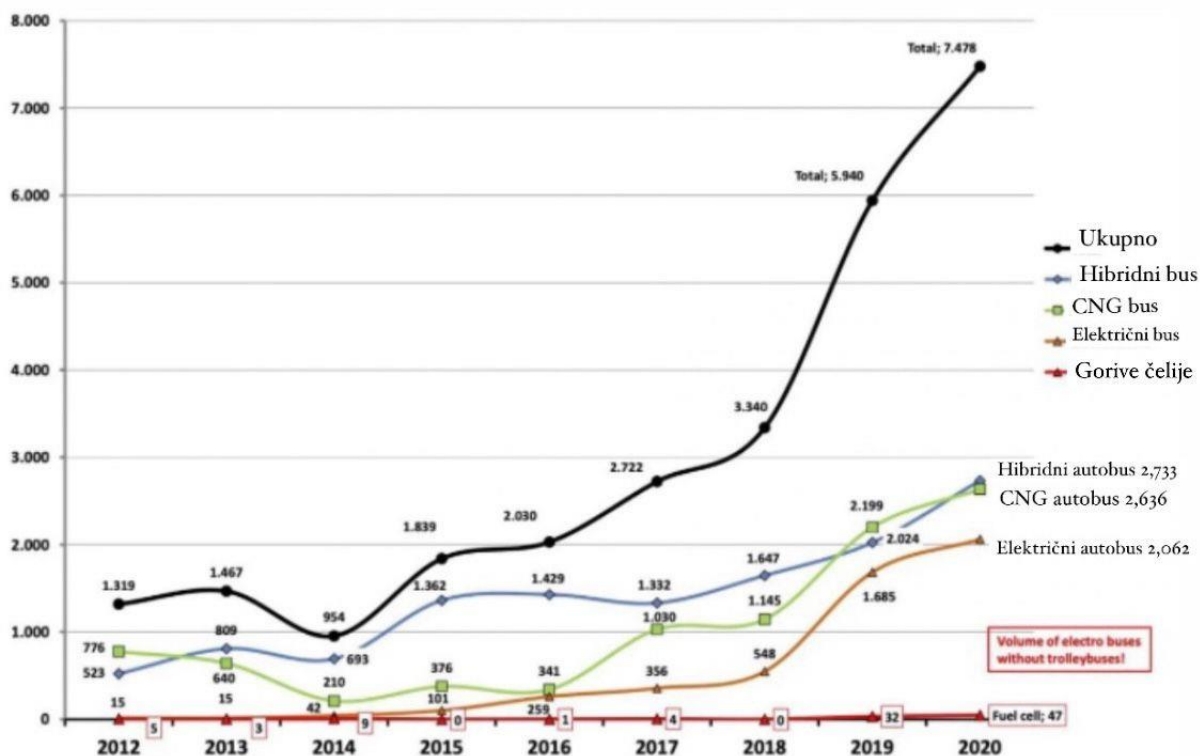
Tablica 11. Prikaz tehničke specifikacije Volvo 7900 Electric

Bruto težina [kg]	19,500 – 30,000
Duljina [mm]	12,000 – 18,500
Širina [mm]	2,500
Visina [mm]	3,300
Broj osovina	2 – 3
Broj vrata	2 – 4
Broj sjedećih mjesta	95 – 145
Maksimalni kapacitet	150
Snaga motora [kW]	200
Kapacitet baterije [kWh]	200 - 300

Izvor: [30]

Zaključno prema priloženim podacima, vidljive su manje razlike između priloženih tehničkih specifikacija izabranih autobusa. Električni autobusi predstavljaju najbolju opciju za gradove koji žele postići visoku razinu održivosti i smanjit emisije štetnih plinova. Hibridni autobusi su prikladni za gradove u tranziciji prema održivom prijevozu, dok klasičan autobus ostaje najprikladniji za područje gdje infrastruktura za električna vozila još nije razvijena.

Grafikon 2. Prikaz broja autobusa na različite vrste pogona u Europi u razdoblju od 2012. godine do 2020. godine



Izvor: [36]

Grafikon 2. prikazuje evoluciju autobusnog prometa u Europi, s posebnim naglaskom na hibridne, električne i klasične CNG autobuse. U 2020. godini, čak 53% svih registriranih autobusa u Europi koristilo je alternativne izvore energije, što je porast od 25,9% u odnosu na 2019. godinu.

Električni autobusi su posebno zabilježili značajan napredak od 2012. do 2020. godine, pokazujući kontinuirani godišnji rast. Dok je 2012. godine bilo registrirano samo 543 električna autobusa, taj broj je do 2020. porastao na 5.513, što predstavlja povećanje od približno 915%.

Hibridni autobusi također su doživjeli impresivan rast. Broj registracija hibridnih autobusa povećao se s 523 u 2012. na 2.733 u 2020., što je porast od 422%. U 2020. godini zabilježen je značajan porast autobusa s hibridnim pogonom, što je rezultat sve veće primjene tih vozila u javnom prijevozu na raznim europskim tržištima. Broj hibridnih autobusa povećao se za 35% u usporedbi s 2019. godinom, dok je u 2019. taj rast iznosio 40% u odnosu na 2018.

Posebno je zanimljiv rast registracija električnih autobusa s baterijama, kojih je 2012. bilo samo 15, dok je taj broj u 2020. narastao na 2.062. Ovi podaci jasno ukazuju na značajan pomak prema korištenju održivijih izvora energije u europskom autobusnom prometu, reflektirajući rastuću svijest i promjene u politici javnog prijevoza u korist ekološki prihvatljivijih opcija.

6.ZAKLJUČAK

Javni prijevoz igra ključnu ulogu u funkcioniranju urbanih sredina, a zbog rastućih problema sa zagađenjem i potrošnjom energije, njegova važnost neprestano raste. Efikasni sustavi javnog prijevoza ključni su za smanjenje emisija i energetske potrošnje iz cestovnog prometa. Elektrifikacija autobusa, koja ne proizvodi štetne emisije, energetski je učinkovitija i tiša u usporedbi s konvencionalnim vozilima, i stoga se sve više koristi.

S druge strane, hibridni autobusi također čine značajan doprinos u smanjenju emisija i poboljšanju energetske učinkovitosti. Oni kombiniraju konvencionalni motor s električnim pogonom, što im omogućava bolju prilagodbu različitim uvjetima vožnje i smanjenje potrošnje goriva.

Međutim, i električni i hibridni autobusi suočavaju se s izazovima. Električni autobusi, posebno oni na baterije, imaju ograničen domet i zahtijevaju infrastrukturne resurse za punjenje. Troškovi baterija su značajan dio ukupnih troškova, a njihovo česte korištenje može ubrzati degradaciju. Istraživanja se usmjeravaju na povećanje kapaciteta baterija i dometa kako bi se poboljšala učinkovitost.

Tehnologija povezanih vozila nudi nova rješenja za oba tipa autobusa. Povezani električni autobusi koriste komunikacijske uređaje za interakciju s infrastrukturom, što može poboljšati njihove performanse i energetske učinkovitost. Automatizirani autobusi predstavljaju sljedeći korak u razvoju javnog prijevoza, s pilot projektima samovozećih autobusa koji se pojavljuju diljem svijeta. Ovi autobusi mogli bi značajno unaprijediti učinkovitost javnog prijevoza i omogućiti mobilnost osobama s ograničenim mogućnostima kretanja. Inovacije u tehnologiji, uključujući 5G mreže, dodatno će usmjeriti budući razvoj autobusa, čime će se omogućiti daljnje poboljšanje u učinkovitosti i održivosti javnog prijevoza.

LITERATURA

- [1] A Brief History of Buses, Hop aboard every bus from Omnibus to Autobus. Preuzeto s: <https://artsandculture.google.com/story/a-brief-history-of-buses/vQVBCgQMbTStvg?hl=en/> [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [2] Šajnović M. „Cestovna teretna hibridna vozila u javnom prijevozu“, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2016., preuzeto: <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz:691/datastream/PDF/view> [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [3] Prometna zona. *Gyrob*us. Preuzeto: <https://www.prometna-zona.com/gyrob>/ [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [4] Hamer, M. 2017, *The London Electrob*us Company. Preuzeto s: [https://www.gracesguide.co.uk/London_Electrob Co](https://www.gracesguide.co.uk/London_Electrob%20Co) [pristupljeno: 16.svibanja 2024.]
- [5] The economist, *Technology Quarterly, What is this that roareth thus?*, 2007. Preuzeto: <https://www.economist.com/technology-quarterly/2007/07/10/what-is-this-that-roareth-thus> [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [6] *Podjela vozila za javni gradski prijevoz*. [Prezentacija] Vozila ja javni gradski prijevoz. Fakultet prometnih znanosti u Zagrebu. [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [7] Nacionalna klasa. *Mercedes gradski autobus Citaro – rekordna prodaja*, 28.svibnja 2007., Preuzeto: <https://www.nacionalnaklasa.com/3284/mercedes-gradski-autobus-citaro-rekordna-prodaja> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [8] Iveco bus. *Prigradski autobus*. Preuzeto: <http://autobus.hr/kategorije-autobusa/prigradski-autobus-4/> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [9] LECTURA. *Setra S 517 HD Specifikacije i tehnički podaci (2019-2024)*. Preuzeto: <https://www.lectura-specs.hr/hr/model/prijevozi/autobusi-i-kabine-servisna-vozila-setra/s-517-hd-11732866> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [10] Zagreb.info. *Zbog trajanja Adventa mijenja se trasa autobusne linije u središtu grada*, 2.prosinca 2019., Preuzeto: <https://www.zagreb.info/tag/bus-150/> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [11] Brnić D. „Primjena zamjenskih goriva i hibridnog pogona autobusa u gradsko-prigradskom transportu“, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti; 2015., Preuzeto: <https://repozitorij.fpz.unizg.hr/islandora/object/fpz%3A137/datastream/PDF/view> [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [12] Korak. *Hibridni pogonski sustav*, 28.srpnja, 2019., Preuzeto: <https://korak.com.hr/hibridni-pogonski-sustavi> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]

- [13] Motorna-vozila. *Hibridna-vozila*, Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu, 2007. Preuzeto: <https://www.motorna-vozila.com/wp-content/uploads/2011/01/Hibridna-vozila.pdf> [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [14] ZDWL. *Vrste električnih vozila*. Preuzeto: <https://zdwl-tec.com/bs/news/types-of-electric-vehicles/> [pristupljeno: 16.svibnja 2024.]
- [15] LECTURA. *Tehnički list za Volvo Buses 7900 Hybrid*. Preuzeto: <https://www.lectura-specs.hr/hr/medugradski-autobusi-7900-hybrid-volvo-buses/datasheet/86731/11720943> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [16] VOLVO. *Volvo 7900 Hybrid*, 2017. Preuzeto: <https://news.cision.com/volvo-buses/i/volvo-7900-hybrid,c2252416> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]
- [17] Electric Cars Report. *Volvo to Deliver Plug-In Hybrid Buses to Hamburger Hochbahn AG*, 2014. Preuzeto: <https://electriccarsreport.com/2014/05/volvo-deliver-plug-hybrid-buses-hamburger-hochbahn-ag/> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]
- [18] IVECO. *Iveco Irisbus, Citelis*. Preuzeto: <https://www.iveco.com/Documents/Irisbus/Irisbus-Citelis.html> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]
- [19] Flickr. *IVECO Irisbus Citelis 18 CNG, 'ZET' – Zagreb*, 2017. Preuzeto: <https://www.flickr.com/photos/131002753@N07/36897337721/in/photostream/> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]
- [20] IVECO. *Two hybrid buses in Annecy's Regional Bus fleet*. Preuzeto: <https://www.iveco.com/global/PressReleasePages/2012/Two-hybrid-buses-in-Annecys-Regional-Bus-fleet> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]
- [21] Autoline, *Irisbus Citelis Hybrid city bus*. Preuzeto: <https://autoline.info/-/sale/city-buses/Irisbus/Citelis-Hybrid--17060716205464904500> [pristupljeno: 16. svibnja 2024.]
- [22] MAN. *Man Lion's city: comfortable and economical on the road*. Preuzeto: <https://www.man.eu/de/en/bus/the-man-lion-s-city/diesel-drive/man-lion-s-city.html> [pristupljeno: 17. svibnja 2024.]
- [23] City News. *Alle Infos und Änderungen bei Bus und Bahn zum KVB-Fahrplanwechsel*, 2019. Preuzeto: <https://www.citynews-koeln.de/alle-infos-und-aenderungen-bei-bus-und-bahn-zum-kvb-fahrplanwechsel-id64699.html> [pristupljeno: 17. svibnja 2024.]
- [24] Automative World. *MAN Lion's City GL CNG announced 'Bus of the Year 2015'*, 2014. Preuzeto: <https://www.automotiveworld.com/news-releases/man-lions-city-gl-cng-announced-bus-year-2015/> [pristupljeno: 17. svibnja 2024.]

- [25] BAE SYSTEMS. *What is electric bus?* Preuzeto: <https://www.baesystems.com/en-us/definition/what-is-an-electric-bus> [pristupljeno: 21. svibnja 2024.]
- [26] Motus. *Autobus elettrici nel trasporto pubblico. Un vademecum.* Preuzeto: https://www.motus-e.org/wp-content/uploads/2022/10/20221006_Vademecum-TPL_sito_pagina-singola.pdf [pristupljeno: 21. svibnja 2024.]
- [27] Vladimir Vajdon (ur.). *Tehnika motornih vozila*, 30. prerađeno i nadopunjeno izdanje. Hrvatska: Pučko otvoreno Učilište Zagreb; 2021.
- [28] Bak, D-B., Bak J-S, Kim S-Y (2018): *Strategies for Implementing Public Service Electric.* Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/10/3386> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]
- [29] Las Vegas Bus sale. *The pros and cons of the electric bus.* Preuzeto: <https://www.lasvegasbussales.com/the-pros-and-cons-of-the-electric-bus/> [Pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [30] Volvo buses. *Volvo 7900 Electric.* Preuzeto: <https://www.volvobuses.com/en/city-and-intercity/buses/volvo-7900-electric.html> [pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [31] BYD Europe. *12m eBus.* Preuzeto: <https://www.aplustopper.com/advantages-and-disadvantages-of-electric-vehicles/> [pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [32] BYD. *12m ebus.* Preuzeto: <https://bydeurope.com/pdp-bus-model-12> [pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [33] Strujni krug. *U Hrvatskoj predstavljen e-bus MAN Lion's City.* Preuzeto s: <https://www.strujnikrug.hr/u-hrvatskoj-predstavljen-elektricni-bus-man-lions-city/> [pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [34] MAN Hrvatska. *Tehnički podaci za MAN Lion's City*, 2022. Preuzeto: https://www.man.eu/hr/hr/autobus/autobus-man-lion_s-city/tehnicki-podaci-i-specifikacija/svi-modeli-i-specifikacije.html [pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [35] Solaris. *Solaris predstavlja svoja najnovija baterijska rješenja na Transexpo 2022.* Preuzeto: <https://www.solarisbus.com/en/press/solaris-presents-its-latest-battery-solutions-at-transexpo-2022-1847> [pristupljeno: 24. svibnja 2024.]
- [36] Kostelac M. „Automatizacija i elektrifikacija autobusa“, Završni rad, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet; 2022., Preuzeto: <https://repository.pfri.uniri.hr/islandora/object/pfri%3A3059/datastream/PDF/view> [pristupljeno: 16.srpnja 2024.]

Popis slika

Slika 1. Prvi javni autobus - Omnibus (1862.)	2
Slika 2. Prvi autobus na hibridni pogon pod nazivom "Gyrobust"	3
Slika 3. Prvi električni autobus - Electrobus	3
Slika 4. Prikaz gradskog autobusa Citaro – Mercedes Benz	4
Slika 5. Prikaz prigradskog autobusa IVECO	4
Slika 6. Prikaz međugradskog autobusa SETRA	5
Slika 7. Prikazan je minibus, ZET, IVECO	5
Slika 8. Prikaz minibusa, ZET, Citroen	6
Slika 9. Prikaz serijske izvedbe hibridnog pogona	8
Slika 10. Prikaz paralelne izvedbe hibridnog pogona	9
Slika 11. Prikaz serijsko - paralelnog načina izvedbe hibridnog pogona	10
Slika 12. Prikaz plug In principa rada	11
Slika 13. Prikaz modela Volvo 7900 hibrid	15
Slika 14. Prikaz modela Volvo7900 plug-in hibrid	15
Slika 15. Prikaz autobusa marke MAN Lyon's hibrid-a	19
Slika 16. Prikazan autobus prigradskog tipa marke MAN Lion's City CNG, dobitnik nagrade "Autobus godine 2015."	19
Slika 17. Prikazuje "Strategije punjenja za upravljanje flotama električnih autobusa"	20
Slika 18. Prikaz konstrukcije nikal-metal hibridnog akumulatora (NiMH)	22
Slika 19. prikaz konstrukcije litij-ionskog akumulatora	23
Slika 20. Prikazani načini punjenja električnih autobusa prema karakteristikama	24
Slika 21. Prikazuje Volvo 7900 Electric	25
Slika 22. Prikazuje BYD K9	26
Slika 23. Prikaz MAN Lion's City 12E, Hrvatska	27
Slika 24. Prikaz Solaris Urbino 18,75 electric autobusa	28

Popis tablica

Tablica 1. Prikaz tehničko-eksploatacijskih značajki gradskih autobusa	6
Tablica 2. Tehnička specifikacija Volvo 7900 hibrid autobusa	14
Tablica 3. Tehničke specifikacije Iveco Iris bus Citelis autobusa	16
Tablica 4. Tehničke specifikacije MAN Lyon's City autobusa	18
Tablica 5. Tehničke specifikacije Volvo 7900 Electric [30]	25
Tablica 6. Tehničke specifikacije za autobus BYD K9 [32]	26
Tablica 7. Tehničke specifikacije za MAN Lion's City, Hrvatska	27
Tablica 8. Tehničke specifikacije Solaris Urbino 18,75 electric [35]	28
Tablica 9. prikaz tehničkih specifikacija modela Volvo 9900 12.4	29
Tablica 10. Tehnička specifikacija Volvo 7900 hibrid autobusa	30

Tablica 11. Prikaz tehničke specifikacije Volvo 7900 Electric.....	31
---	-----------

Popis grafikona

Grafikon 1. Projekcija pada cijena litijskih baterija u razdoblju od 2010. do 2030. godine	21
Grafikon 2. Prikaz broja autobusa na različite vrste pogona u Europi u razdoblju od 2012. godine do 2020. godine	32

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je _____ završni rad _____
(vrsta rada)

isključivo rezultat mogega 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 rada 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 Analiza tehničko-eksploatacijskih značajki električnih i hibridnih autobusa, u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

Student/ica:

(ime i prezime, potpis)

U Zagrebu, _____