



Komparativna analiza uticaja BEV i ICMV na životnu sredinu u fazi “WELL-TO-TANK”

Draženko Glavić^a, Valentina Kunarac^{a*}

^a Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

PODACI O RADU

DOI: 10.31075/PIS71.04.04
Stručni rad
Primljen: 30/09/2025
Prihvaćen: 08/12/2025
Korespondent autor: e-mail:
valentinakunarac@yahoo.com

ORCID ID

Draženko Glavić: 0000-0002-0069-2153
Valentina Kunarac: N.A.

Ključne reči:

Proizvodnja goriva
Litijum jonske baterije
Zagađenje
Staklenički gasovi

REZIME

Rad se bavi uporednom analizom emisija zagađujućih materija koje nastaju tokom proizvodnje goriva za vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem (ICMV) i tokom proizvodnje litijum-jonskih baterija za električna vozila (ICMV). Cilj rada je da se, na osnovu relevantne naučne literature i rezultata prethodnih istraživanja, identifikuju faktori koji utiču na ukupni ekološki bilans oba sistema pogona i da se proceni njihov uticaj na životnu sredinu. Analizirana je emisija ugljen-dioksida (CO₂), koja ima značajan uticaj na zdravlje ljudi i degradaciju ekosistema. Rezultati prikazuju da proizvodnja goriva za SUS motore generiše značajne emisije tokom procesa rafinacije i transporta, dok proizvodnja litijum-jonskih baterija ima uticaj u fazi ekstrakcije i obrade metala kao što su litijum, kobalt i nikal. Rezultati takođe pokazuju sa ukupna emisija tokom životnog ciklusa vozila nije u funkciji samo eksploatacije vozila već i u funkciji proizvodnje goriva/baterija, što je posebno izraženo u slučaju ICMV.

1. Uvod

Tokom poslednjih nekoliko decenija, sektor drumskog saobraćaja suočava se sa izrazitim izazovima u oblasti zaštite životne sredine i održivosti energetske resursa. Tradicionalna vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem predstavljaju jedan od najvećih izvora emisije štetnih gasova, poput ugljen-dioksida (CO₂), azotnih oksida (NO_x), ugljen-monoksida (CO) i čestica prašine (PM) (Glavić et al., 2017, 2018; Milenković et al., 2020; Tadić & Glavić, 2019). Ove emisije doprinose globalnom zagrijavanju, pogoršanju kvaliteta vazduha u urbanim sredinama i narušavanju zdravlja stanovništva (Glavić & Milenković, 2021; Pantelić et al., 2024). Kao odgovor na ove probleme, poslednjih godina sve više raste interesovanje za električna vozila kao alternativu koja bi mogla doprineti smanjenju ukupnog zagađenja i potrošnje fosilnih goriva.

Povećanje učešća električnih vozila u drumskom saobraćaju je ključna mera za smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva, ali njena efikasnost zavisi od šireg energetskog konteksta. U zemljama sa visokim udelom obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije, kao što su Norveška ili Švedska, prelazak na električna vozila već sada dovodi do značajnog smanjenja emisija CO₂.

Međutim, u državama koje i dalje oslanjaju energetske sisteme na ugalj, ukupan ugljeni bilans električnih vozila i dalje može biti nepovoljan u odnosu na efikasna vozila sa SUS motorima (Pantelić et al., 2024).

Iako električna vozila tokom eksploatacije nemaju direktne emisije izduvnih gasova, njihova ukupna ekološka korist zavisi od više faktora, uključujući način proizvodnje električne energije, životni vek baterija, kao i procese povezane sa njihovom proizvodnjom i reciklažom. Ključni element svakog električnog vozila jeste litijum-jonska baterija, čija proizvodnja zahteva značajne količine energije i upotrebu retkih metala kao što su litijum, kobalt, nikl i mangan. Ekstrakcija i prerada ovih sirovina često su povezane sa visokim emisijama gasova staklene bašte, velikom potrošnjom vode i degradacijom zemljišta, naročito u zemljama gde se ovi resursi eksploatišu bez adekvatnih ekoloških standarda.

S druge strane, proizvodnja goriva za vozila sa SUS motorima obuhvata čitav niz procesa:

- eksploatacije nafte,
- transport
- rafinacija
- distribucije krajnjem korisniku

Svaka od ovih faza generiše emisije štetnih materija i ima negativan uticaj na životnu sredinu.

Cilj ovog rada je da se, na osnovu dostupne naučne i stručne literature, pruži sveobuhvatan pregled i uporedna analiza uticaja proizvodnje litijum-jonskih baterija za električna vozila i proizvodnje goriva za vozila sa SUS motorima na životnu sredinu. Sekundarni cilj je da se analizira i emisija CO₂ tokom životnog ciklusa BEV i ICMV.

2. Emisije tokom proizvodnje goriva za ICMV vozila

Proces proizvodnje goriva za vozila sa SUS motorima, praćen je emisijama različitih štetnih materija koje imaju negativne efekte na ljude i ekosisteme. Emisije CO₂ iz ovih procesa u najvećoj meri doprinose globalnom zagrijavanju, dok azotni i sumporni oksidi, čestice i organska jedinjenja izazivaju lokalno zagađenje vazduha i vode.

Proizvodnja goriva za vozila sa SUS motorima obuhvata čitav niz procesa: eksploatacija nafte, transport, rafinacija, distribucija krajnjem korisniku. Rafinacija doprinosi 20–30% ukupnih emisija stakleničkih gasova u petrolejskom ciklusu, sa fokusom na procese poput destilacije i krekinga koji oslobađaju VOC (Volatile Organic Compounds) i SO₂.

U pregledu uticaja rafinacija na kvalitet vazduha, emisije se mogu klasifikovati u: procesne emisije, emisije od sagorevanja, fugalne emisije, emisije iz skladištenja i manipulacije.

U SAD 2006. godine, emisije stakleničkih gasova (GHG) iz naftne industrije iznosile su 317 miliona metričkih tona CO₂ ekvivalenta (MMTCo₂e), od čega 261 MMTCo₂e CH₄ i 28,50 MMTCo₂e CO₂ iz prirodnog gasa, te 27,74 MMTCo₂e CH₄ i 0,29 MMTCo₂e CO₂ iz naftne industrije (Ragotaman & Anderson, 2017).

Tabela 1. Emisije stakleničkih gasova u SAD

	MMTCo ₂ e CO ₂	MMTCo ₂ e CH ₄
Prirodni gas	9,0%	82,3%
Naftna industrija	0,1%	8,7%

U Indiji, emisija stakleničkih gasova za benzin, dizel, kerozin i tečni naftni gas pokazuje da su emisije veće za 4–12% od direktne potrošnje, sa doprinosom faza: ekstrakcija i prerada 72–77% energije i 60–66% stakleničkih gasova, rafinacija 11–15% energije i 23–27% GHG, transport 6–8% energije i 5–8% GHG (Garg et al., 2013). Prema rezultatima najveći broj emisija i potrošnje energije se upravo javlja u fazi ekstrakcije i prerade.

Tabela 2. Emisija stakleničkih gasova u odnosu na potrošnju energije

	ENERGIJA (%)	STAKLENIČKI GAS (%)
Ekstrakcija i prerada	72-77	60-66
Rafinerija	11-15	23-27
Transport	6-8	5-8

Prema studiji (Zhao et al., 2021), koja koristi integrisani model procene MESSAGEix-petrolejsko rafiniranje, ukupna potrošnja energije u rafinerijama može se smanjiti za 12% do 2050. godine. Potencijali smanjenja su najveći u rafinaciji, gde se energetska efikasnost može poboljšati za 10–15% kroz modernizaciju opreme, što smanjuje emisije CO₂ za 18%, SO₂ za 15%, NO_x za 15% i VOC za 30% (Zhao et al., 2021). Studija projektuje emisije za 2050. godinu u dva scenarija: statični (bez promena u efikasnosti brodova) i scenario održivog razvoja, baziran na projekcijama Međunarodne energetske agencije (IEA). U statičnom scenariju, emisije "Well-To-Tank" (WTT) dostižu 82 miliona metričkih tona, dok u scenariju održivog razvoja padaju na 59 miliona metričkih tona, što predstavlja smanjenje od 28%. Ovo smanjenje potiče od poboljšane efikasnosti (do 30% manja potrošnja goriva) i prelaza na alternativna goriva poput prirodnog naftnog gasa, biogoriva i amonijaka. Za vozila sa SUS motorima, ovo podrazumeva smanjenje emisija u lancu snabdevanja, posebno za distribuciju goriva, gde transport sirove nafte čini 5–8% ukupnih emisija koje nastaju od bušotine do rezervoara. Globalni transport sirove nafte doprinosi 20% ukupnih morskih emisija, sa potencijalom smanjenja za 28% u scenariju održivog transporta do 2050. godine.

Modernizacijom opreme može smanjiti ukupna potrošnja energije za 10–15%, što bi dovelo i do proporcionalnog smanjenja emisija CO₂ (Zhao et al., 2021). U saobraćajnom kontekstu, ova neujednačenost utiče na efikasnost distribucije goriva, zahtevajući bolje planiranje saobraćaja za minimizaciju emisija iz transporta rafiniranih proizvoda.

U narednoj tabeli prikazane su uporedne emisije gasova sa efektom staklene bašte koje nastaju tokom proizvodnje različitih vrsta goriva za vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem.

Tabela 3. Emisije tokom proizvodnje različitih vrsta goriva za vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem

Vrsta goriva	Emisija (kg CO ₂ -eq/kg goriva)	Izvor
Benzin	3,4	Vineyard & Ingwersen (2017)
Dizel	3,6	Garg et al. (2013)
Tečni naftni gas	2,8	USEPA (2013)
Biodizel	1,5	Ellingsen et al. (2013)

Kao što tabela pokazuje, dizel gorivo ima najveće emisije – oko 3,6 kilograma CO₂ ekvivalenta po kilogramu goriva, dok je benzin malo ispod, sa 3,4 kilograma. Tečni naftni gas, odnosno LPG, pokazuje nešto niže vrednosti, a biodizel ima ubedljivo najmanje emisije – svega 1,5 kilograma CO₂ ekvivalenta, što ga čini najpovoljnijom opcijom sa aspekta zaštite životne sredine.

3. Emisije tokom proizvodnje litijum – jonskih baterija za električna vozila

Litijum-jonske baterije predstavljaju ključnu komponentu električnih vozila i osnovni element koji omogućava skladištenje i isporuku električne energije. Osnovne komponente litijum-jonskih baterija su katoda, anoda, elektrolit i separator.

Istraživanje sprovedeno u Kini ukazuje na to da se emisija gasova sa efektom staklene bašte tokom proizvodnje litijum-jonskih baterija značajno razlikuje u zavisnosti od tipa baterije, ali i od energetskog miksa zemlje u kojoj se proizvodnja odvija. U studiji Hao i saradnika analizirana je proizvodnja tri najčešće korišćene vrste baterija – litijum-gvožđe-fosfat (LFP), litijum-nikl-mangan-kobalt (NMC) i litijum-mangan-oksidi (LMO). Za bateriju kapaciteta 28 kWh izračunato je da emisije iz procesa proizvodnje iznose 3061 kgCO₂-eq za LFP, 2912 kgCO₂-eq za NMC i 2705 kgCO₂-eq za LMO bateriju (Hao et al., 2017). Ovi rezultati pokazuju da proizvodnja baterija u Kini povećava ukupnu emisiju tokom proizvodnje vozila za oko 30% u odnosu na konvencionalna vozila. Procentualni udeo emisija za proizvodnju baterije kapaciteta 28 kWh prikazano je u tabeli 4.

Tabela 4. Emisije iz procesa proizvodnje različitih baterija

Vrsta baterije	Emisija kgCO ₂ -eq
NMC	2912
LFP	3061
LMO	2705

Kada se emisije koje nastaju kao rezultat potrošnje električne energije izoluju, pokazuje se da one čine između 35 i 46% ukupne emisije, u zavisnosti od tipa baterije. Ovo potvrđuje da energetski izvor ima veliki potencijal za smanjenje emisija tokom proizvodnje. Prelaskom na obnovljive izvore ili hibridne sisteme, koji uključuju hidroenergiju ili gasne elektrane, moguće je drastično smanjiti emisije bez značajne promene proizvodnih tehnologija. Priprema materijala se pokazala kao najkritičnija faza, jer obuhvata energetski zahtevnu sintezu katodnih jedinjenja i obradu metala. Elektroliti, iako čine samo 18,5% mase baterije, odgovorni su za preko 70% ukupnog eutrofikacionog potencijala zbog emisija koje nastaju tokom proizvodnje dimetil-karbonata (Sun et al., 2020). Ovo naglašava potrebu za razvojem čistijih procesa u hemijskoj industriji koja snabdeva proizvođače baterija.

Pored tehnoloških inovacija, značajan uticaj ima i promena u energetskom miksu. Ukoliko se do 2030. u EU ostvari projektovano povećanje učešća obnovljivih izvora u proizvodnji električne energije sa 52% na preko 60%, moguće je smanjenje emisije CO₂ za dodatnih 17,5%. (Degen, 2023) Međutim, rezultati pokazuju da je sam energetski miks manje dominantan faktor u odnosu na efikasnost proizvodne tehnologije. Drugim rečima, iako je dekarbonizacija energetskog sistema neophodna, najveći potencijal smanjenja emisija leži u modernizaciji proizvodnje baterija.

Životni vek baterije je takođe faktor koji utiče na ukupnu emisiju po kilometru vožnje. Ako se pretpostavi životni vek baterije od 150.000 km, ukupni uticaj proizvodnje baterije od 40 kWh na emisiju CO₂ iznosi između 30 i 80 g CO₂-eq/km, u zavisnosti od uslova proizvodnje i energetskog miksa (Peters et al., 2017). Upoređujući ove rezultate sa tipičnim emisijama vozila sa motorom na unutrašnje sagorevanje, uočava se da električna vozila mogu imati značajnu prednost čak i u scenarijima sa manje efikasnom proizvodnjom baterija, ali samo ako se koriste tokom dovoljno dugog vremenskog perioda.

Uključivanjem reciklaže u LCA model moguće je smanjiti ukupne emisije iz proizvodnje baterija za 10–20%, naročito u slučajevima kada se nikl i kobalt uspešno vraćaju u proizvodni lanac. Još jedan značajan nalaz odnosi se na uticaj veličine i tipa baterije na emisiju. Baterije veće energetske gustine (npr. NMC i NCA) imaju nešto veći ugljenični intenzitet po kWh u poređenju sa LFP baterijama, ali u praksi omogućavaju vozilima veću autonomiju i energetsku efikasnost, što može smanjiti emisije po kilometru tokom životnog ciklusa (Vineyard & Ingwersen, 2016). Odnosno, veća baterija ne mora nužno značiti veće ekološko opterećenje ako omogućava efikasnije korišćenje energije i duži radni vek.

Naredna tabela prikazuje poređenje emisija ugljen-dioksida tokom proizvodnje litijum-jonskih baterija prema različitim studijama.

Tabela 5. Poređenje emisija tokom proizvodnje litijum-jonskih baterija prema različitim studijama

Studija	Tehnologija	Emisija (kg CO ₂ -eq/kWh)
Hao et al. (2021)	LFP / NMC / LMO	96-109
Peters et al. (2017)	Različite	40-200(prosjek 110)
Sun et al. (2020)	NCM622	124,5
Degen (2023)	EU model 2030	60-90
USEPA (2013)	Različite	≈125

Vrednosti emisija značajno variraju – od oko 40 do čak 200 kilograma CO₂ ekvivalenta po kilovat-satu, u zavisnosti od korišćene tehnologije i metodologije. Na primer, studija Hao i saradnika iz 2021. godine pokazuje nešto niže vrednosti (96–109 kgCO₂eq/kWh), dok starije studije, poput USEPA iz 2013. godine, beleže više emisije od oko 125 kgCO₂eq/kWh (USEPA, 2013). Ove razlike ukazuju na to da napredak u tehnologiji, energetskoj efikasnosti i izvorima energije u proizvodnji značajno utiče na smanjenje ukupnog ugljeničnog otiska baterija.

4. Proračun i uporedni pregled emisija

Ukupna emisija tokom životnog ciklusa vozila (E_{tot}) može se izraziti kao zbir emisija tokom proizvodnje vozila i baterije, emisija nastalih tokom eksploatacije, i emisija tokom reciklaže:

$$E_{tot} = E_{prod} + E_{use} + E_{end} \quad (1)$$

gde je:

E_{prod} – emisija tokom proizvodnje (kgCO₂-eq),

E_{use} – emisija tokom upotrebe (kgCO₂-eq),

E_{end} – emisija tokom kraja životnog ciklusa (reciklaža, odlaganje)

Kako je udeo emisije u fazi reciklaže relativno mali (do 3% ukupnog opterećenja), u ovom proračunu se može zanemariti, pa se koristi približna formula:

$$E_{tot} \approx E_{prod} + E_{use} \quad (2)$$

Za proračun emisije električnog vozila biće korišćen sledeći izraz:

$$E_{ev,tot} = E_{veh} + E_{bat} + (e_{ev,use} \times L) \quad (3)$$

a za vozilo sa SUS motorom:

$$E_{ICMV,tot} = E_{veh} + E_{fuel} + (e_{ICMV,use} \times L) \quad (4)$$

gde su:

E_{veh} – emisije iz proizvodnje vozila,

E_{bat} – emisije iz proizvodnje baterije,

E_{fuel} – emisije iz proizvodnje goriva,

$e_{ev,use}$ i $e_{ICMV,use}$ – emisije tokom upotrebe (g/km),

L – ukupna kilometraža (100 000 km).

U analizi je razmatran optimistički uslov, u kojem je proizvodnja baterija energetski efikasna i zasnovana na obnovljivim izvorima, dok električna energija za punjenje vozila potiče iz sistema sa niskim emisijama CO₂ (npr. hidroenergija ili nuklearna energija).

Ulazni podaci za proračun su:

$$E_{veh} = 9\,000 \text{ kg CO}_2$$

$$E_{bat} = 2\,500 \text{ kg CO}_2$$

$$e_{ev,use} = 40 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

$$E_{fuel} = 125 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

$$e_{ICMV,use} = 150 \text{ g CO}_2/\text{km}$$

$$L = 100\,000 \text{ km}$$

Proračun za BEV:

$$E_{ev,tot} = 9\,000 + 2\,500 + (0.04 \times 100\,000) = 15\,500 \text{ kg CO}_2$$

Proračun za ICMV:

$$E_{ICMV,tot} = 9\,000 + 12\,500 + (0.15 \times 100\,000) = 36\,500 \text{ kg CO}_2$$

- Ukupna emisije električnog vozila tokom životnog ciklusa vozila iznosi 15,5 t CO₂, od čega u fazi "WELL-TO-TANK" 2,5 t CO₂,
- Ukupna emisije vozilo sa SUS motorom tokom životnog ciklusa vozila iznosi 36,5 t CO₂ od čega u fazi "WELL-TO-TANK" 12,5 t CO₂.

Električno vozila-BEV ako posmatramo ukupan životni ciklus vozila emituje 57,5% manje CO₂, što potvrđuje značajno manji ukupni uticaj BEV kada je energetski miks čist i kada je proizvodnja baterija efikasna. S druge strane ako posmatramo samo fazu "WELL-TO-TANK" razlika u korist BEV je znatno veća i iznosi 80% manje CO₂ od ICMV.

U narednoj tabeli 6 prikazani su dobijeni rezultati.

Tabela 6. Ukupna emisija tokom životnog ciklusa vozila (gCO₂/km)

Vrsta vozila	Emisija WTT gCO ₂ /km	Ukupna Emisija gCO ₂ /km
Električno vozilo	25	155
ICMV vozilo	125	365

4. Zaključak

Istraživanje predstavljeno u ovom radu analizira ekološke aspekte eksploatacije vozila, sa naglaskom na emisije koje nastaju tokom proizvodnje goriva za vozila sa motorima sa unutrašnjim sagorevanjem i litijum-jonskih baterija za električna vozila. Cilj analize bio je da se kvantifikuje emisija CO₂ u fazi WTT i ukupno za životni ciklus. Rezultati pokazuju da proizvodni procesi, koji obuhvataju ekstrakciju sirovina, rafinaciju, industrijsku preradu i distribuciju, predstavljaju značajne izvore zagađenja.

Ekstrakcija i rafinacija nafte su najveći izvori emisija u sistemu fosilnih goriva. Proizvodnja jedne tone benzina generiše 330–380 kg CO₂-eq, a dizela 290–340 kg CO₂-eq. Pored CO₂, nastaju i NO_x, SO₂, PM₁₀ i VOC jedinjenja, uz prekoračenja graničnih vrednosti u blizini rafinerija. Dodatno zagađenje javlja se tokom transporta nafte i isparavanja goriva.

Proizvodnja litijum-jonskih baterija je energetski intenzivan proces sa emisijama od 110–150 kg CO₂-eq/kWh. Tako baterija od 60 kWh generiše 6,6–9 tona CO₂-eq. Najveći udeo emisija potiče od pripreme materijala, posebno katodnih materijala, kao i proizvodnje aluminijuma i elektrolita. Energetski najzahtevniji procesi su sušenje, premazivanje elektroda i formiranje ćelija. Reciklaža može smanjiti ukupni GWP za 31 kg CO₂-eq/kWh, a hidrometalurgija omogućava visok stepen povrata materijala.

Energetski miks je jedan od najvažnijih faktora ukupnog ekološkog bilansa baterija, pa su emisije veće u zemljama koje koriste uglj. Unapređenje tehnologija može značajno smanjiti potrošnju energije i emisije u fabrikama baterija. Proizvodnja baterija doprinosi i acidifikacionom, fotohemijskom i humanom toksičnom potencijalu.

Električno vozila-BEV ako posmatramo ukupan životni ciklus vozila emituje 57,5% manje CO₂. Ako posmatramo samo fazu "WELL-TO-TANK" razlika u korist BEV je znatno veća, odnosno BEV emituje 80% manje CO₂ od ICMV u fazi WTT. Proizvodnja goriva za vozila sa SUS motorima ostaje zavisna od fosilnih resursa, dok proizvodnja baterija ima značajan, ali smanjiv ekološki uticaj.

Literatura

- [1] Degen, F. (2023). Lithium-ion battery cell production in Europe: Scenarios for reducing energy consumption and greenhouse gas emissions until 2030. *Journal of Industrial Ecology*, 27(3), 964–976. <https://doi.org/10.1111/JIEC.13386>;ISSUE:ISSUE:DOI
- [2] Garg, A., Vishwanathan, S., & Avashia, V. (2013). Life cycle greenhouse gas emission assessment of major petroleum oil products for transport and household sectors in India. *Energy Policy*, 58, 38–48. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2013.02.018>
- [3] Glavić, D., & Milenković, M. (2021). *Komercijalna Eksploatacija Saobraćajne Infrastrukture* (1st ed.). Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet.
- [4] Glavic, D., Milenković, M., & Petković, M. (2017). Analysis of the toll collection technologies impact on the air pollution. *Put i Saobraćaj*, 63(2), 5–11. <https://putisaobraćaj.rs/index.php/PiS/article/view/79>
- [5] Glavic, D., Tadic, K., & Damjanović, O. (2018). Uticaj stanja kolovoza na troškove eksploatacije i bezbednosti. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 64(1), 53–59. <https://doi.org/10.31075/PIS.64.01.07>
- [6] Hao, H., Mu, Z., Jiang, S., Liu, Z., & Zhao, F. (2017). GHG Emissions from the Production of Lithium-Ion Batteries for Electric Vehicles in China. *Sustainability* 2017, Vol. 9, Page 504, 9(4), 504. <https://doi.org/10.3390/SU9040504>
- [7] Milenković, M., Stepanović, N., Glavić, D., Tubić, V., Ivković, I., & Trifunović, A. (2020). Methodology for determining ecological benefits of advanced tolling systems. *Journal of Environmental Management*, 258, 110007. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110007>
- [8] Pantelić, D., Komarica, J., & Glavic, D. (2024). Analysis of the Influence of Electricity Generation Mix on CO₂ Emissions from Electric Vehicles in Europe. *Journal of Road and Traffic Engineering*, 70(3), 37–45. <https://doi.org/10.31075/PIS.70.03.05>
- [9] Peters, J. F., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., & Weil, M. (2017). The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 491–506. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2016.08.039>
- [10] Ragothaman, A., & Anderson, W. A. (2017). Air Quality Impacts of Petroleum Refining and Petrochemical Industries. *Environments* 2017, Vol. 4, Page 66, 4(3), 66. <https://doi.org/10.3390/ENVIRONMENTS4030066>
- [11] Sun, X., Luo, X., Zhang, Z., Meng, F., & Yang, J. (2020). Life cycle assessment of lithium nickel cobalt manganese oxide (NCM) batteries for electric passenger vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123006. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123006>
- [12] Tadic, K., & Glavic, D. (2019). The analysis of fuel consumption models: A review and assessment. *Put i Saobraćaj*, 65(1), 19–23. <https://doi.org/10.31075/PIS.65.01.03>
- [13] USEPA. (2013). *Application of Life-Cycle Assessment to Nanoscale Technology: Lithium-ion Batteries for Electric Vehicles* - April 24, 2013. www.epa.gov/dfe.
- [14] Vineyard, D. L., & Ingwersen, W. W. (2016). A comparison of major petroleum life cycle models. *Clean Technologies and Environmental Policy* 2016 19:3, 19(3), 735–747. <https://doi.org/10.1007/S10098-016-1260-6>
- [15] Zhao, F., Fan, Y., & Zhang, S. (2021). Assessment of efficiency improvement and emission mitigation potentials in China's petroleum refining industry. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124482. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124482>

Comparative analysis of the environmental impact of BEVs and ICMVs in the "well-to-tank" phase

Draženko Glavić

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia

Valentina Kunarac

University of Belgrade, Faculty of Transport and Traffic Engineering, Belgrade, Serbia

Abstract: This paper examines the analysis and comparative assessment of pollutant emissions generated during fuel production for vehicles with internal combustion engines (ICEVs) and during the production of lithium-ion batteries for electric vehicles. The aim of the study is, based on relevant scientific literature and the results of previous research, to identify the key factors influencing the overall environmental balance of both propulsion systems and to assess their impact on the environment. The analysis focuses on carbon dioxide (CO₂) emissions, which have a significant impact on human health and ecosystem degradation. The results show that fuel production for internal combustion engines generates substantial emissions during refining and transportation processes, while lithium-ion battery production has notable impacts in the extraction and processing stages of metals such as lithium, cobalt, and nickel. The findings also indicate that total life-cycle emissions of vehicles are not solely a function of vehicle operation, but are also strongly influenced by fuel or battery production, which is particularly pronounced in the case of ICE vehicles.

Keywords: Fuel production, Lithium-ion batteries, Pollution, Greenhouse gases