

Usporedba utjecaja na okoliš električnih vozila i vozila na hibridni pogon

Tomičić, Samanta

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:089229>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Samanta Tomičić

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, rujan 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE
SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Samanta Tomičić

Usporedba utjecaja na okoliš električnih vozila i vozila na hibridni pogon

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada: izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Članovi ispitnog povjerenstva:

Izv. prof. dr. sc. Vladimir Dananić

Prof. dr. sc. Igor Sutlović

Prof. dr. sc. Zoran Mandić

Prof. dr. sc. Veljko Filipan, zamjena

Zagreb, rujan 2021.

Zahvaljujem se mentoru, izv. prof. dr. sc. Vladimiru Dananiću na pomoći, vodstvu, uloženom trudu te prihvaćanju predložene tematike završnog rada.

Hvala mojoj obitelji na ljubavi, prijateljima na podršci, Hakerkama na suradnji i Ferovkama na uspomenama!

SAŽETAK

Sve industrijske grane teže svoju proizvodnju i poslovanje učiniti održivijim i prilagoditi se ekološkim zahtjevima. Među njima je i promet. Zadnje desetljeće industrija prometa posvetila se traženju pogodnih rješenja za okolišne probleme i dizajniranju vozila sa što manjim negativnim utjecajem na okoliš. Električna i hibridna vozila jedno su od ponuđenih rješenja.

U radu je predstavljen sažeti povijesni razvoj električnih i hibridnih vozila. Opisan je princip rada električnog pogona, pogona s motorom s unutarnjim izgaranjem i hibridnog pogona.

Cilj rada bio je usporediti utjecaj na okoliš električnih i hibridnih vozila, a promatrani i uspoređivani su parametri: emisija CO₂, emisija lebdećih čestica, toksični potencijal i acidifikacija zraka. Usporedba se vršila s rezultatima i podacima dobivenih metodom procjene utjecaja cjeloživotnog ciklusa proizvoda.

Ključne riječi: električna vozila, hibridna vozila, okoliš, utjecaj, emisija

ABSTRACT

All industries are striving to make their production and business more sustainable and to adapt to environmental requirements. Among them is traffic. For the past decade, the transport industry has dedicated to find suitable solutions to environmental problems and designing vehicles with as little negative impact on the environment as possible. Electric and hybrid vehicles are one of the solutions offered.

This paper contains a summary of the historical development of electric and hybrid vehicles. The principle of electric drive, hybrid drive and drive with internal combustion engine is described.

The aim of the paper was to compare the environmental impact of electric and hybrid vehicles, and parameters that were observed and compared are: CO₂ emission, particulate matter emission, human toxic potential and air acidification. The comparison was made with the results and data obtained by Life Cycle Assessment method.

Keywords: electric vehicles, hybrid vehicles, environment, impact, emission

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	OPĆI DIO	2
2.1.	Osnovne značajke pogona s unutarnjim izgaranjem.....	2
2.1.1.	Četverotaktni proces	4
2.1.2.	Dvotaktni proces	5
2.1.3.	Otto ciklus.....	7
2.1.4.	Diesel ciklus	8
2.2.	Električna i hibridna vozila.....	9
2.2.1.	Povijest električnih i hibridnih vozila.....	9
2.2.2.	Osnovni dijelovi električnih vozila	12
2.2.2.1.	Elektromotor	14
2.2.2.2.	Baterije	14
2.2.2.2.1.	Litij-ionske baterije.....	14
2.2.3.	Hibridna vozila	17
2.2.3.1.	Punjiva hibridna električna vozila.....	19
2.3.	Utjecaj električnih i hibridnih vozila na okoliš.....	20
2.3.1.	Onečišćenje zraka	20
2.3.1.1.	Ugljikov dioksid - CO ₂	20
2.3.1.2.	Dušikovi oksidi - NO _x	21
2.3.1.3.	Sumporovi oksidi - SO _x	21
2.3.1.4.	Lebdeće čestice – PM	21
2.3.2.	Usporedba utjecaja na okoliš električnih i hibridnih vozila	22
2.3.2.1.	Klimatske promjene.....	24
2.3.2.2.	Lebdeće čestice	25
2.3.2.3.	Toksični potencijal	26
2.3.2.4.	Acidifikacija zraka	27
2.3.2.5.	Budućnost litija i utjecaj izvora struje.....	28
3.	ZAKLJUČAK.....	29
4.	LITERATURA.....	30
5.	POPIS SIMBOLA	32

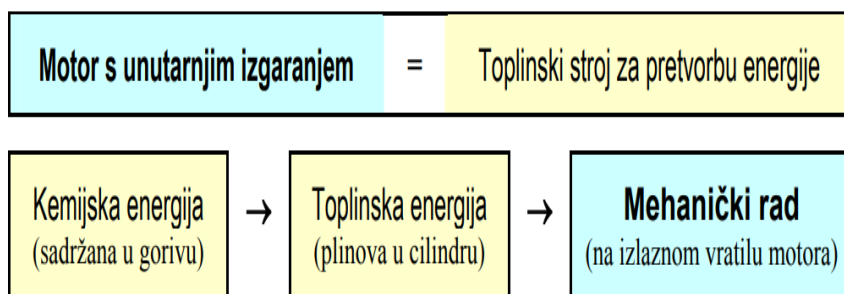
1. UVOD

Život je trenutno nemoguće zamisliti bez prijevoza. Svakodnevno se prevoze stvari koje su nam od velike važnosti za normalno, moderno funkcioniranje. Mnogi su načini prijevoza dobara, a cestovni promet najzastupljeniji je oblik prijevoza. Na cestovni promet otpada jedna trećina ukupne potrošnje energije te je zaslužan za jednu četvrtinu ispuštene količine ugljikovog dioksida (CO₂) [1]. Osim ugljikovog dioksida, ispuštaju se i ostali staklenički plinovi te lebdeće čestice. Porastom svijesti o štetnosti spomenutih čimbenika na zdravlje ljudi i stanje u okolišu, počele su se tražiti alternative u prometu.

2. OPĆI DIO

2.1. Osnovne značajke pogona s unutarnjim izgaranjem

Kada se razmišlja o vozilima, jedan od osnovnih dijelova prvi padne na pamet jest motor vozila. Snaga motora glavni je parametar kada procjenjujemo snagu, brzinu i cijenu vozila. Motori s unutarnjim izgaranjem (MSUI) primjenjuju se u raznim prijevoznim sredstvima; od osobnih automobila, u vozilima gradskog prijevoza pa sve do konstrukcijski zahtjevnijih vozila, zrakoplova i brodova. U širokoj primjeni motora vidi se njihova raznolikost i varijacije u veličini i izvedbi.



Slika 1. Definicija MSUI – ja [2]

Termički motori su pogonski strojevi koji pomoću izgaranja goriva stvaraju energiju. Kemijska energija goriva pretvara se u komori izgaranja u toplinu. Gorivo sagorijeva u prisustvu zraka, odnosno kisika, dovedenog iz okoline. Nastali plinovi izgaranja potiskuju klip pri čemu se toplinska energija pretvara u mehanički rad. Motori s unutarnjim izgaranjem dobili su naziv po tome što se smjesa zraka i goriva dovode u radni prostor motora gdje izgaraju u zatvorenim cilindrima u unutrašnjosti motora. Za MSUI koriste se samo tekuća i/ili plinovita goriva jer ona u potpunosti izgaraju te ne nastaje pepeo kao kruti nusprodukt. Gorivo može biti benzin, diesel, alkohol, plin... [2,3].

Dva najčešća goriva su benzin i diesel pa je to postala glavna podjela MSUI - ja. Oba motora dobila su nazive prema izumiteljima: N. A. Ottu i R. C. K. Dieselu. Ovisno o tome je li motor Diesel ili Otto pali se smjesa zraka i goriva. Kod Otto motora smjesu pali električna iskra (svjećica) dok kod Diesela paljenje uzrokuje kompresija zraka odnosno njegova visoka temperatura (samozapaljenje) [2].

Iako se princip rada MSUI ne razlikuje uvelike od prototipa, tijekom vremena su se pojavile razne varijacije tako da trenutno ima više podjela MSUI - ja. [2]

Neke od podjela su:

1. prema načinu zapaljenja gorive smjese:
 - startno paljenje - paljenje smjese električnom iskrom
 - kompresijsko paljenje (samozapaljenje)

2. prema mjestu pripreme gorive smjese:
 - motor usisava gorivu smjesu (Otto)
 - motor usisava zrak (Diesel)

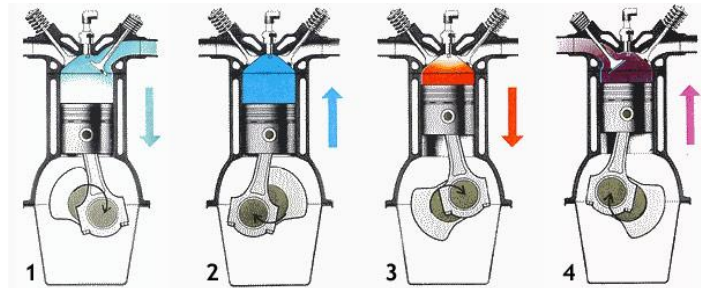
3. prema procesu u cilindru:
 - Otto motor
 - Diesel motor

4. prema broju taktova – broj taktova govori u koliko se faza odvija proces paljenja goriva i ispuštanja plinova kroz ispušni sustav:
 - dvotaktni (2T)
 - četverotaktni (4T)

Klip služi za komprimiranje smjese i giba se između gornje i donje mrtve točke, a put koji pri tome prođe naziva se hod klipa.

Kretanje klipa između dva krajnja položaja, od gornje mrtve točke (GMT) do donje mrtve točke (DMT), naziva se jedan takt.

2.1.1. Četverotaktni proces

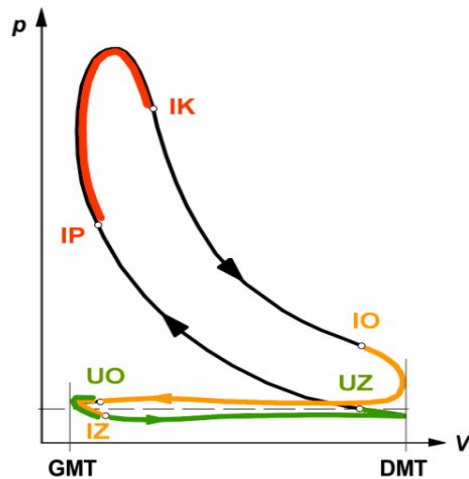


Slika 2. Prikaz 4T ciklusa: usis, kompresija, ekspanzija, ispuh [3]

Na **Slici 2.** prikazane su četiri faze unutarnjeg izgaranja koje se uvijek odvijaju istim redoslijedom:

- 1. usis - klip u cilindru se kreće od GMT do DMT u cilindar ulazi zrak (Diesel), odnosno smjesa zraka i goriva (Otto) - cilindar se puni.
- 2. kompresija - klip se kreće prema GMT, zatvara se usisni ventil, klip komprimira usisanu smjesu, rastu tlak i temperatura.
- 3. ekspanzija - zbog izgaranja goriva (Otto) ili uštrcavanje goriva i izgaranje (Diesel) - kemijska se energija goriva pretvara u mehanički rad.
- 4. ispuh – klip se kreće od DMT do GMT, otvara se ispušni ventil i klip istiskuje plinove van cilindra [4].

U jednom ciklusu četiri su hoda klipa, dakle dva okretaja koljenastog vratila.



Slika 3. Indikatorski dijagram 4T ciklusa [2]

Oznake: UO, UZ – usisni ventil otvara / zatvara; IO, IZ – ispušni ventil otvara / zatvara; IP, IK – izgaranje početak / kraj.

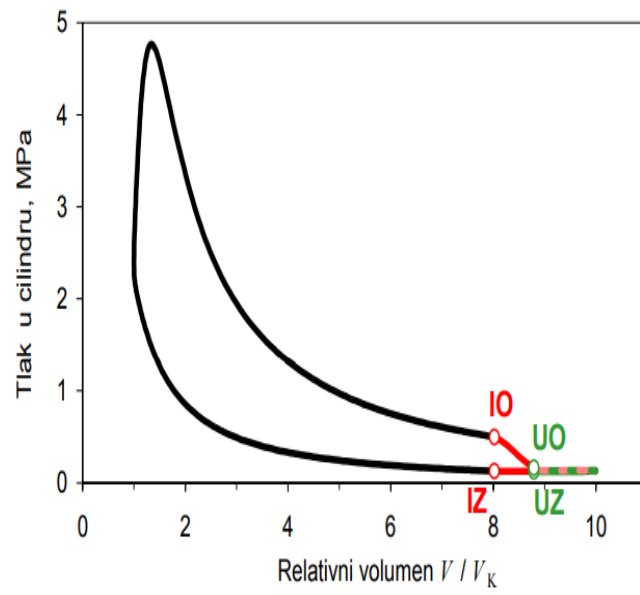
2.1.2. Dvotaktni proces

Dvotaktni motor odlikuju visoke brzine vrtnje, manji broj pokretnih dijelova i manjom masom. Za razliku od četverotaktnih motora, dvotaktni proces unutarnjeg izgaranja obavljaju u dvije faze.

Kod 2T motora ispuh i usis su istovremeni i samo je jedan okretaj koljenastog vratila:

- 1. usisavanje svježe smjese ili zraka uz istovremeno istiskivanje plinova izgaranja kroz ispušni kanal te kompresija
- 2. izgaranje ili uštrcavanje i izgaranje te ekspanzija plinova izgaranja

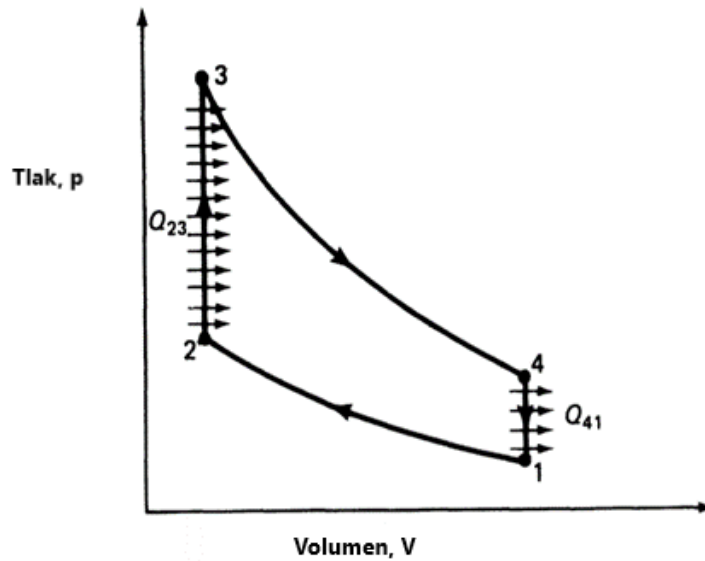
U jednom ciklusu dva su hoda klipa to jest jedan okretaj koljenastog vratila [4].



Slika 4. Indikatorski dijagram 2T ciklusa [2]

Oznake: IO, IZ – usisni kanal otvara / zatvara; UO, UZ – usisni kanal na cilindru otvara / zatvara

2.1.3. Otto ciklus



Slika 5. Otto ciklus u p/V dijagramu [5]

Otto ciklus karakteriziraju dvije izentropne i dvije izohore (*Slika 5.*).

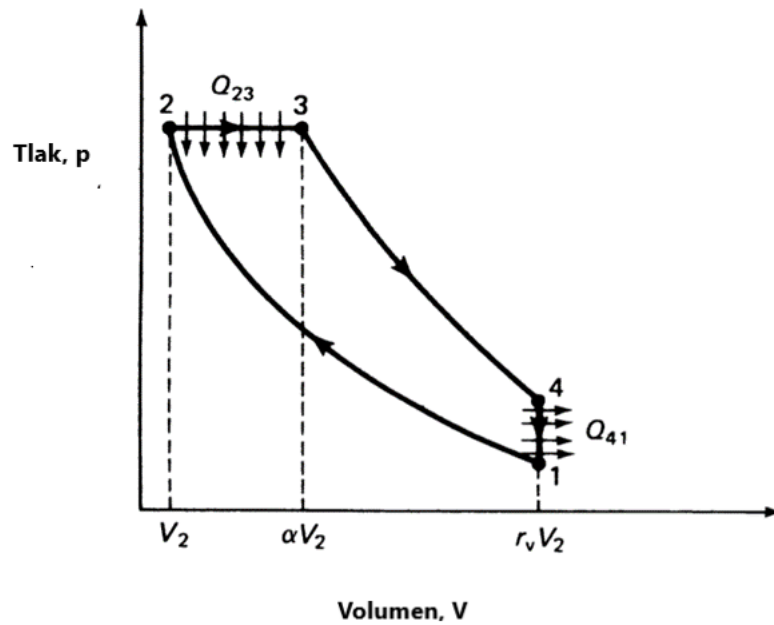
Prva izentropa (1-2) prikazuje kompresiju odnosno trošenje rada, a klip se pomiče od GMT do GMT. U točki 2. pali se smjesa goriva i zraka pomoću iskre svjećice.

Slijedi izohora (2-3) gdje dolazi do naglog povećanja tlaka i temperature, ali rad je jednak nuli, klip se ne pomiče.

Kod druge izentropne (3-4) klip se iz GMT vraća u DMT, dobiva se rad zbog ekspanzije plinova uslijed izgaranja.

Zadnji proces se odvija prema izohori (4-1), nema rada, a klip ostaje u DMT [2,4].

2.1.4. Diesel ciklus



Slika 6. Diesel proces u p/V dijagramu [5]

Diesel ciklus sadrži dvije izentropie, izobaru i izohoru (**Slika 6.**).

Pri izentropi (1-2), klip se pomiče od DMT do GMT, dolazi do kompresije pri čemu se rad troši.

Kod izobare (2-3) klip se kreće od GMT prema DMT.

Slijedi izentropa (3-4), klip dolazi do DMT, ekspandiraju plinovi izgaranja i dobiva se rad.

Posljednja promjena je izohorna (4-1), klip se nalazi u DMT [2,4].

2.2. Električna i hibridna vozila

Kako bi se poboljšala kvaliteta zraka i smanjila emisija stakleničkih plinova brojne su strategije, mjere i poticaji za energetska učinkovitost u prometu. Očekuje se da će vozila s unutarnjim izgaranjem (u nastavku: „klasična vozila“) biti zamijenjena električnim i hibridnim da bi se doprinijelo dekarbonizaciji. Tako se u brojnim državama vozačima EV - a smanjuju porezi i sufinancira kupnja automobila. Neke su države, kao Njemačka, zabranile diesel vozila u centrima velikih gradova [6].

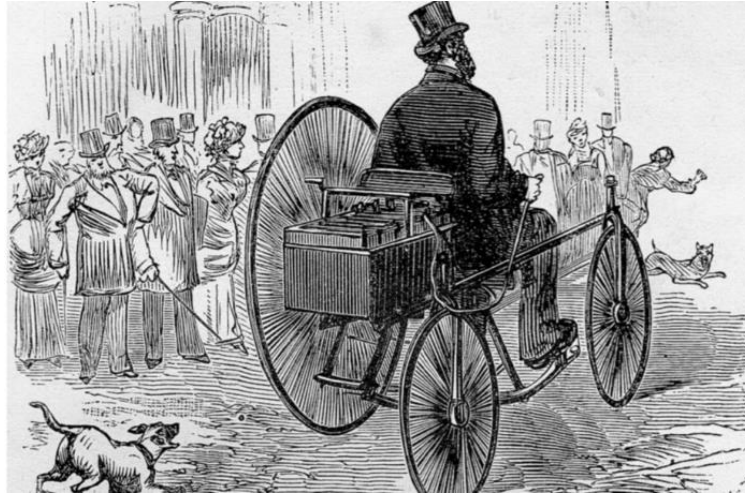
U Hrvatskoj je 2014. pokrenut projekt „Vozimo ekonomično“. Građanima, ali i tvrtkama, se kroz projekt dodjeljuju bespovratna sredstva za kupnju električnih i hibridnih vozila. Sredstva je osigurao Fond za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost te je u periodu 2014. – 2020. kupljeno više od 4 500 vozila [7].

2.2.1. Povijest električnih i hibridnih vozila

Električna vozila imaju bujnu i zanimljivu prošlost. Brojni su izumitelji naporno radili da bi realizirali svoje ideje i optimizirali i olakšali prijevoz ljudima. Pojam „električna vozila“ asocira na nešto suvremeno i novo, međutim prvo električno vozilo izumljeno je prije prvog vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem.

Između 1832. i 1839. škotski izumitelj Robert Anderson predstavio je svoju električnu kočiju. Vozilo je bilo glomazno, tiho, koristila se baterija za jednokratnu upotrebu. Postizalo je brzinu od 12 km/h, a doseg mu je bio 16 km [8]. Kočija nije stekla popularnost zbog baterije koja se nije mogla puniti [9].

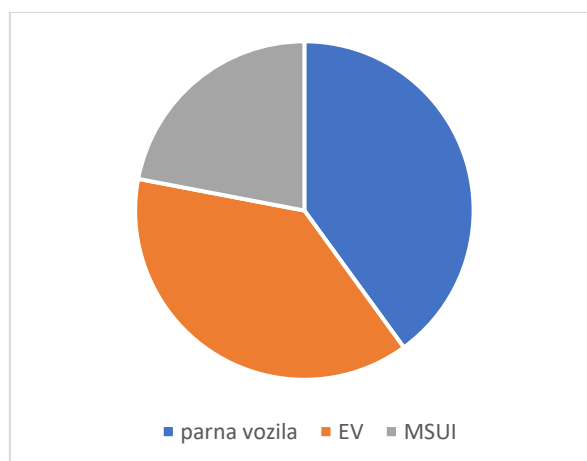
Gustave Trouve konstruirao je električno vozilo 1881. Bio je to tricikl težak oko 160 kg, s motorom i olovnim akumulatorom. Posebnost ovog izuma je što je korišten akumulator s mogućnošću punjenja [1]. Postizalo je brzinu od 18 km/h, a doseg mu je bio između 14 i 26 km [8].



Slika 7. Električni tricikl francuskog izumitelja Gustavea Trouvea [9]

Prvi izumi nisu dobili previše pažnje među potencijalnim korisnicima. Brzina i doseg tih vozila i dalje nisu mogli parirati konjskim kočijama. Zainteresiranost raste nakon 1864. kada je postignuta brzina vozila 23,3 km/h što je bilo brže od konjske kočije. U narednom periodu došlo je do razvoja električnih vozila te je rasla komercijalna primjena, pogotovo u Americi. U Europi su klasična vozila bila popularnija. Naime, veći broj asfaltiranih puteva zahtijevao je i veći doseg bez potrebe za čestim stajanjem zbog punjenja [1].

Godine 1900. u Americi, čak 38 % vozila koristilo je električni pogon, a 22 % su bila klasična vozila. Ostatak, najveći udio od 40 %, činila su parna vozila [8].



Slika 8. Udio vrsta pogona u Americi 1900.

Značajan izum onog vremena bilo je regenerativno kočenje. Omogućavalo je ponovno iskorištavanje kinetičke energije čime se povećao doseg EV – a [1]. Regenerativno kočenje objasniti će se detaljnije u poglavlju 2.2.2. Osnovni dijelovi električnog vozila.

Uz namjeru da se poboljšaju performanse vozila s MSUI, razvijaju se hibridna vozila. Na izložbi u Parizu 1899. braća Pieper predstavljaju prvo hibridno vozilo. Time je postavljen temelji za razvoj hibridnog pogona. Ferdinand Porsche je samo godinu dana nakon, 1900., predstavio i svoje vozilo u Parizu. Zanimljivo je da je na Porscheovom vozilu elektromotor bio direktno povezan na kotače čime se zaobišao prijenos između motora i kotača [10].



Slika 9. Porsche hibridno vozilo – g. 1900. [11]

Do zastoja u razvoju električnih vozila dolazi 1935. i traje sve do 1960. Razlog stagnacije bilo je otkriće nafte u Teksasu što je učinilo korištenje vozila pogonjenim fosilnim gorivom daleko isplativije. Ubrzo su pronađena nalazišta i na drugim lokacijama. Osim cijene, eklektična vozila nisu se pokazala kao pouzdana zbog ograničenog dosega puta odnosno male autonomije. Tu nastupa pojačani razvoj klasičnih vozila koja su u to vrijeme bila brža, jača, fleksibilnija i jeftinija.

Može se reći da postoje 4 glavna velika razloga za prednost MSUI naspram EV – a početkom 20. stoljeća:

- urbanizacija i poboljšana infrastruktura, asfaltirane ceste omogućile su put na veće udaljenosti pa se javila potreba za vozilima s većim dosegom.
- otkriće nafte u Teksasu 1900-ih rezultiralo je jeftinom i lako dostupnom naftom i punionicama.
- 1912. pojavio se jednostavan, električni pokretač za MSUI. Rukovanje automobilom bilo je zahtjevno, ali nakon 1912. više nije bila potrebna fizička snaga za pokretanje automobila.
- Henry Ford započeo je s masovnom proizvodnjom automobila s unutarnjim izgaranjem po pristupačnim cijenama. Prosječna cijena njegovih automobila bila je oko dva do četiri puta manja od cijene EV – a [11].

Ponovnom naftnom krizom 1990-ih te Kyoto protokolom, električna vozila ponovno postaju zanimljiva.

2.2.2. Osnovni dijelovi električnih vozila

Električna vozila za pogon koriste električni motor i baterije. Brojne su prednosti električnih vozila naspram klasičnih vozila; nema emisije štetnih plinova, veća efikasnost, neovisnost o fosilnim gorivima te odsustvo buke prilikom rada.

Ukratko, komora izgaranja i spremnik goriva kod klasičnog vozila zamijenjeni su za električni motor i baterije.

Moderno električno vozilo sastoji se od tri glavna sistema: **električnog pogona, izvora energije i pomoćnih dijelova** [1].

Električni pogon se sastoji od:

- upravljača vozila
- pretvarača snage
- elektromotora
- mehaničkog mjenjača
- kotača

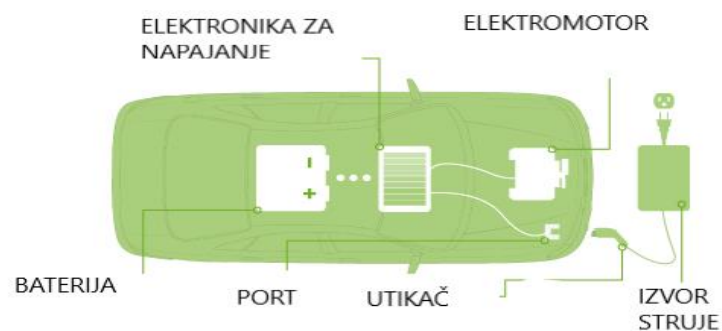
Upravljač vozila je elektronička oprema koja djeluje između motora i baterije, regulira količinu snage kojom baterija opskrbljuje motor. Zadatak mu je regulacija brzine i ubrzanja. Upravljač pretvara istosmjernu struju baterije u izmjeničnu čime se napaja motor te regulira protok energije iz baterija prema ostalim dijelovima vozila [1].

Drugi sistem je **izvor energije** a čine ga:

- izvor energije (baterija)
- jedinica za upravljanje energijom
- jedinica za opskrbu energijom

U **pomoćni sistem** spadaju:

- elektroenergetske jedinice
- jedinice za kontrolu klime
- jedinice za kontrolu opskrbljenosti



Slika 10. Osnovni dijelovi električnog vozila [12]

Signale papučice gasa ili kočnice, upravljač vozila šalje pretvaraču snage koji regulira protok snage između električnog motora i izvora energije. Regenerativnim kočenjem, protok snage se vraća unatrag, u izvor energije. Dakle, regenerativnim kočenjem dio kinetičke energije se

pohranjuje - baterija se puni, a ne rasipa u okolinu. Pohranjena se energija koristi kao dodatna snaga vozila.

Regenerativnim kočenjem povećava se učinkovitost vozila i smanjuje trošenje kočnica. Jedinica za upravljanje energijom surađuje s kontrolorom vozila u kontroli regenerativnog kočenja i uporabe energije. U proces su uključene i jedinice za kontrolu punjenja i praćenje upotrebljivosti izvora energije [13].

2.2.2.1. Elektromotor

Elektromotor glavni je dio vozila. Zadaća elektromotora je pretvaranje električne energije iz baterije u mehaničku. Radi na temelju elektromagnetske indukcije. Snagu prenosi na kotače koji pokreću vozilo [14].

Elektromotor je zatvoreni krug sa samostalnim izvorom napajanja – baterijom. Električno vozilo ima veće iskorištenje energije naspram MSUI - ja. Elektromotor iskoristi čak 80 % energije dok je ova brojka za MSUI znatno manja i iznosi 20 %. Duže trajanje, manji troškovi održavanja i manja buka pri radu još su neke prednosti elektromotora [15].

2.2.2.2. Baterije

Prva baterija pojavila se prije više od 200 godina, a njezin razvoj bio je isprekidan [16]. Iako je napredak baterije tekao sporo, stvari se mijenjaju. Ulaskom u digitalno doba, bez elektronike nije moguće zamisliti dan, a električni uređaji potrebni su nam neprestano. U zadnjih nekoliko desetljeća, prepoznat je potencijal ovog načina skladištenja energije te se rodilo mnogo inovacija i ideja.

Baterije su izvor energije u EV dakle dio zaslužan za nultu stopu emisije CO₂ tijekom vožnje. Međutim, da bismo se mogli potpuno osloniti na njih, moraju zadovoljiti kriterije koji se tiču cijene, izdržljivosti i snage. Ne spadaju ni u obnovljive niti u obnovljive izvore energije. Njihova je zadaća skladištenje energije koja je proizvedena nekim vanjskim procesom [16].

Skladištenje energije je sigurno i efikasno u odnosu na nepredvidljive obnovljive izvore energije. Njihova cijena i izdržljivost usporile su razvoj EV. Baterije potrebne za EV trebaju imati mogućnost ponovnog punjenja. Takve baterije nazivaju se sekundarne baterije [13].

2.2.2.2.1. Litij-ionske baterije

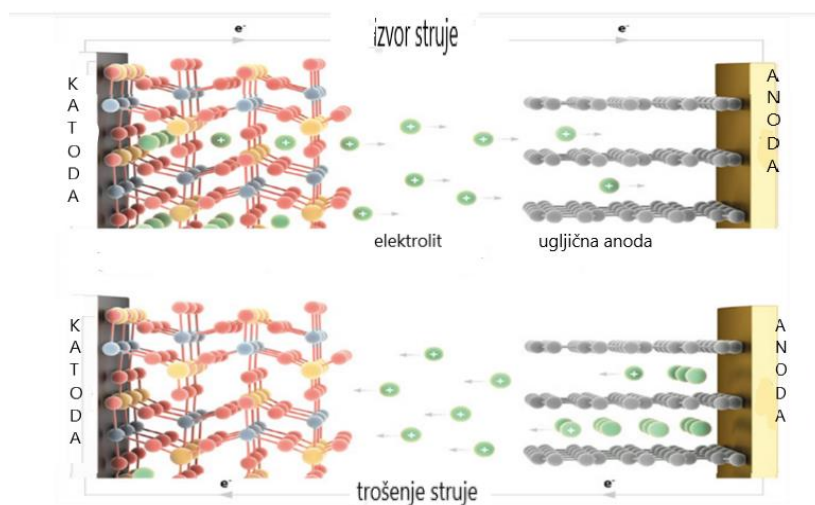
Najčešće i najpoznatije sekundarne baterije su litij - ionske baterije (LIB). Osnovna jedinica baterije je elektrokemijska ćelija koja kemijsku energiju pretvara u električnu. Za

vrijeme pražnjena baterije, litijevi ioni putuju s negativne elektrode (anode) na pozitivnu elektrodu (katodu), i obrnuto za vrijeme punjenja. Litijevi kationi putuju s katode na anodu kroz separator. Separator je membrana koja dijeli anodu od katode i sprječava kratki spoj [17].

Litij je na anodi u ioniziranom stanju i putuje u elektrolit. Istovremeno, elektroni se otpuštaju s anode. Dakle, gibanje kationa litija između anode i katode stvara struju [18]. Razlika potencijala, odnosno napon, uzrokovana je stalnim putovanjem elektrona u jednom smjeru dok istovremeno ioni litija putuju u suprotnom [19].

Tri su osnovna dijela baterije:

- anoda, najčešće ugljikova
- katoda od metalnog oksida
- elektrolit, sol litija u organskom otapalu



Slika 11. Princip rada litij - ionske baterije - punjenje i pražnjenje

Litij ionske baterije revolucija su na tehnološkom polju baterija. Ne čudi da se u bateriji nalazi baš litij, razlog je njegova mala gustoća i težina. Litijevi lagani i mali atomi bez problema integriraju se u druge materijale procesom interkalacije [16].

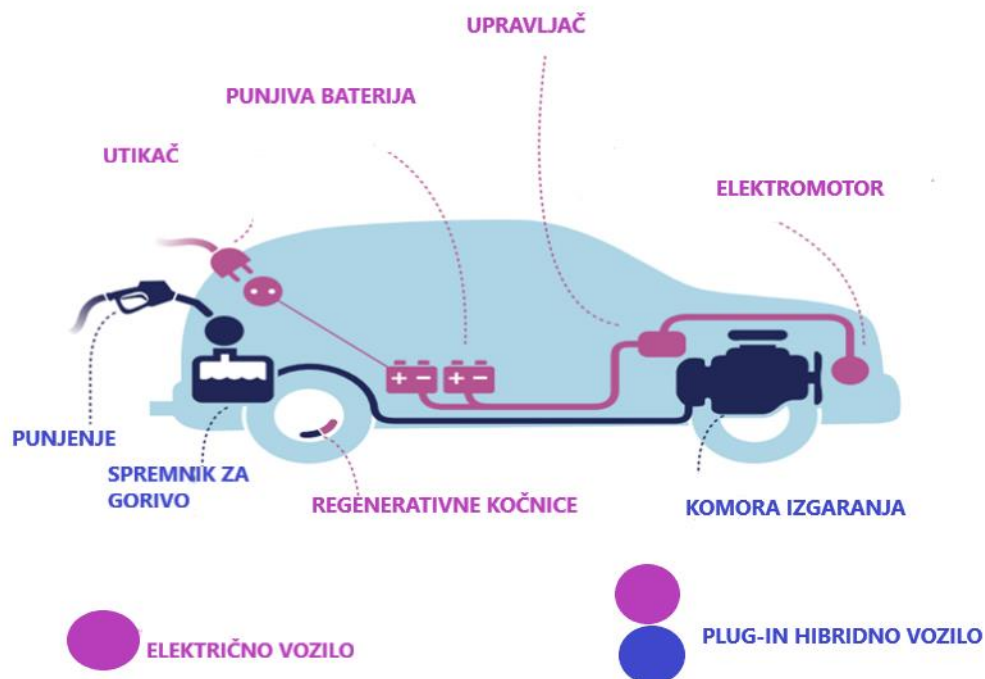
LIB temperaturno su osjetljive, a puniti se mogu između 0 °C i 45 °C. Pri jakim vrućinama i hladnoći, učinkovitost im je manja [15].

Osim u vozilima, LIB koriste se u brojnim električnim uređajima kao što su mobiteli i prijenosna računala. Može se zaključiti da su široko obuhvaćene i rasprostranjene. Kako su EV sve popularnija, nakon kraja njihovog životnog ciklusa, najveći problem upravo predstavljaju baterije. Većinski dio baterije ipak se može reciklirati ako se baterija pravilno zbrine. Sastav baterija je problematičan. Neki od elemenata u bateriji su: litij, nikal, kobalt. Nabrojani elementi nalaze se na svijetu u ograničenim količinama pa se uglavnom dobivaju industrijskim putem. Međutim, dio proizvoda dobiva se rudarenjem, a područja bogata rudama neka su od najsiromašnijih dijelova svijeta. Litij većinom dolazi iz država Južne Amerike: Argentine, Čilea i Bolivije [16]. Najsiromašnija država, Demokratska Republika Kongo, ima najveća nalazišta kobalta. Radnici u rudnicima, nerijetko djeca, posao obavljaju u neadekvatnim uvjetima. Neprestana izloženost lebdećim česticama uzrokuju bolesti pluća. Do lebdećih čestica dolazi uslijed manipulacije rudama: rezanjem, drobljenjem, brušenjem...

Osim na ljude, rudarstvo ima negativne posljedice i na okoliš. Neizbježno je promijenjena estetika okoliša na kojem se rudarstvo obavlja. Prije početka rudarenja potrebno je ukloniti biljni pokrov što narušava prirodnu ravnotežu i mijenja sastav tla. Kopanjem, preradom i prijevozom ruda zrak se onečišćuje plinovima, uglavnom sumporovim (IV) oksidom. Spomenutim aktivnostima, onečišćuje se površinska i podzemna voda prašinom [20].

2.2.3. Hibridna vozila

Hibridna vozila (HV) za svoj rad kombiniraju motor s unutarnjim izgaranjem i elektromotor, a na tržištu su dostupni 20 - ak godina. HV ne mogu se puniti priključenjem na električnu mrežu već se baterija puni regenerativnim kočenjem. Prednosti hibridnog sustava u odnosu na MSUI je manja potrošnja goriva i manja emisija štetnih plinova [15].

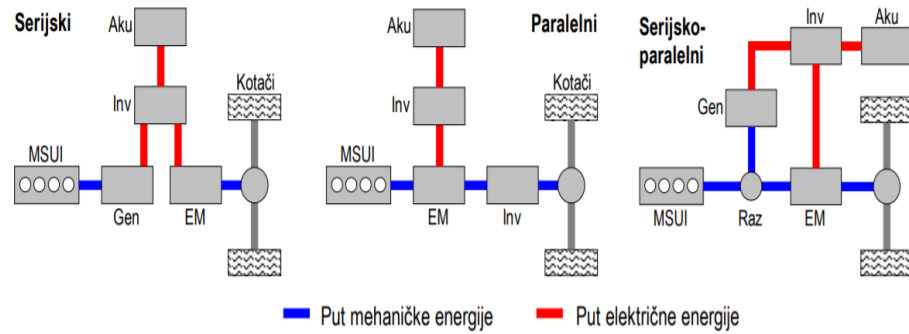


Slika 12. Razlika električnih i hibridnih vozila [15]

Hibridni se pogonski sustavi mogu podijeliti obzirom na vezu mehaničkog i električnog dijela na:

- Serijske hibride: kotače pokreće elektromotor, a MSUI je generator električne energije. Električna energija može puniti bateriju ili, u slučaju da je baterija prazna, pokreće elektromotor. Dakle, elektromotor pokreće vozilo, a MSUI produžuje trajanje baterije i samim time, domet vozila.
- Paralelne hibride: kotače mogu istovremeno pokretati MSUI i elektromotor, ali postoji i mogućnost zasebnog električnog ili zasebnog mehaničkog pokretanja. Prednost ovakvog sustava je smanjena potrošnja goriva i smanjena emisija ispušnih plinova.

- Serijsko - paralelne hibride: najsloženiji hibridni pogonski sustav. Sustav sadrži dodatnu vezu između MSUI i dodatni generator [21]

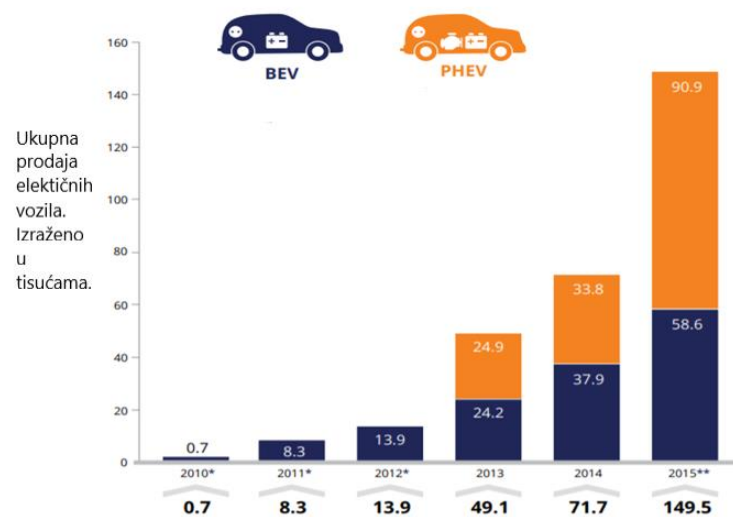


Slika 13. Sheme tri vrste hibridnih pogona obzirom na vezu između mehaničkog i električnog dijela vozila [21]

Oznake: Aku – električna baterija; EM - elektromotor; Gen – električni generator; Inv – električni pretvarač; MSUI - motor s unutarnjim izgaranjem.; Raz - razdjelnik snage

2.2.3.1. Punjiva hibridna električna vozila

Punjiva hibridna električna vozila (engl. Plug – in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) imaju sličan princip rada kao i hibridna električna vozila, a razlika je što im se baterije mogu puniti, ne samo regenerativnim kočenjem, nego i na punionicama tj. priključenjem na električnu mrežu. Time je domet PHEV – a veći od dometa HEV – a. Vozilo počne pogoniti MSUI tek nakon što se baterija isprazni. Baterije su mu većeg kapaciteta, time i skuplje. Ova vrsta prepoznata je i na tržištu (*Slika 14.*), a glavna mu je prednost veći domet. Korištenje PHEV - a na manjim relacijama potpuno ili djelomično se izbjegava korištenje MSUI – a [15].



Slika 14. Odnos prodanih električnih i hibridnih vozila u periodu 2013. -2015. u Europi, podaci o hibridnim vozilima za 2010. - 2012. nisu dostupni[15].

2.3. Utjecaj električnih i hibridnih vozila na okoliš

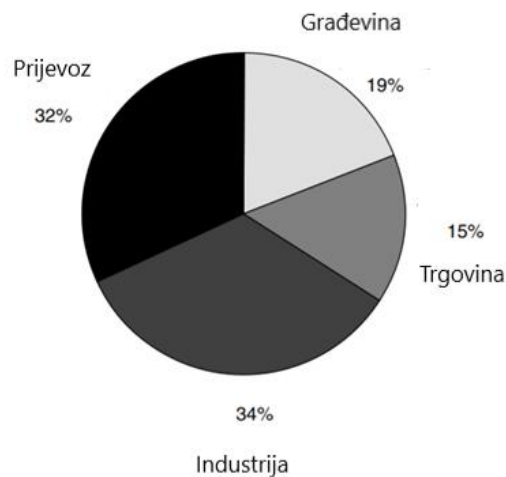
2.3.1. Onečišćenje zraka

Zrak je bitna sastavnica okoliša, a njegova kvaliteta uvelike utječe na ljudsko zdravlje. Prema istraživanjima, zbog nečistog zraka, životni vijek čovjeka u prosjeku je smanjen za 2,9 godina. Svjetska zdravstvena organizacija procjenjuje da je zbog lebdećih čestica, u Europi, godišnje 60 000 prijevremenih smrti [22].

2.3.1.1. Ugljikov dioksid - CO₂

Međunarodna zajednica došla je do zaključka da je ugljikov dioksid glavna i najutjecajnija onečišćujuća tvar te se potrudila naći rješenje za problem onečišćenja zraka spomenutim plinom. Rezultat je potpisan Kyoto protokol 1997. Države koje su potpisale protokol, obvezale su se da će smanjiti količinu ispuštenog CO₂ na razinu koje su ispuštale 1990. Države su donijele brojne odredbe, zabrane i mjere kojima se pokušava doći do cilja.

Ugljični dioksid je ispušni plin, a nastaje nakon izgaranja goriva. Potreban je biljkama za rast i razvoj te ga one razgrađuju fotosintezom. Ljudima i životinjama također ne šteti sve dok mu koncentracija u zraku nije znatno povećana pa je manjka kisika [1].



Slika 15. Emisija ugljikovog dioksida u različitim granama gospodarstva od 1980. do 1999.

Vidljivo je da na promet otpada značajan udio (32 %) [1].

2.3.1.2. Dušikovi oksidi - NO_x

Dušikovi oksidi nastaju reakcijom dušika iz zraka s kisikom. Iako je dušik inertan plin, visoke temperature izgaranja pogoduju sintezi dušikovih oksida. Najčešće nastaje dušikov (II) oksid (NO) dok dušikov dioksid (NO_2) i dušikov oksid (N_2O) nastaju u tragovima. Nakon emisije plinova izgaranja iz vozila, NO reagira s kisikom iz zraka i nastaje dušikov dioksid koji utječe na stvaranje smoga. Reakcijom dioksida s vodom iz atmosfere, formira se dušična kiselina (HNO_3) odgovorna za kisele kiše [1].

2.3.1.3. Sumporovi oksidi - SO_x

Sumpor je nečistoća u gorivu i umanjuje mu vrijednost i kvalitetu. Kao i u slučaju s dušikovim oksidima, sumporni oksidi nastaju sintezom kisika i sumpora pri izgaranju goriva. Produkt sinteze je, u najvećoj mjeri, sumporov dioksid (SO_2). Produkt njegove reakcije sa zrakom, a zatim vodom, uzrok je kiselih kiša [1].

2.3.1.4. Lebdeće čestice – PM

Lebdeće čestice (engl. particulate matter – PM) mješavina su krutih i kapljevih čestica. Mogu biti primarne ili sekundarne i dolaziti iz prirodnih (erupcije vulkana, požari...) ili antropoloških izvora (industrija, kućanstvo...). Primarne lebdeće čestice emitirane su u atmosferu iz nekog izvora npr. iz auspuha automobila, dok sekundarne nastaju kao reakcija primarnih s tvarima iz atmosfere. Uglavnom se definiraju obzirom na svoju veličinu odnosno aerodinamički promjer [22].

PM smanjuju vidljivost i negativno utječu na ljudsko zdravlje i kvalitetu zraka. Lebdeće čestice su onečišćujuća tvar s najvećim negativnim utjecajem na ljudsko zdravlje. U prošlosti je glavni izvor PM sagorijevanje ugljena i manifestiralo se kao crni dim. Danas, većina PM dolazi iz prometa. Mogu biti u obliku pepela, dima, čađe.

Za vrijeme kočenja i vožnje troše se kočnice, gume, ali i asfalt čime se u okoliš ispuštaju lebdeće čestice koje spadaju u onečišćujuće tvari [23, 24].

PM_{10} čestice su aerodinamičkog promjera $10 \mu m$. i nazivaju se grubim česticama. Zbog svoje veličine, PM_{10} ne dolazi do donjih dišnih putova, alveola, već ih zaustavljaju dlačice u nosu ili sluznica [25].

2.3.2. Usporedba utjecaja na okoliš električnih i hibridnih vozila

Kao što je već navedeno, prijevoz je energetska zahtjevan sektor. Trećina ukupne energije troši se na prijevoz i izvor je četvrtini ukupnog ispuštenog ugljikovog dioksida. Najveći dio emitiranog ugljikovog dioksida (70 %) iz prometa dolazi iz cestovnog prometa [1].

Proizvođači električnih i hibridnih vozila hvale se kako su im vozila „čista“ i bolja za okoliš. Što uopće znači da je nešto „čisto“ i ekološki prihvatljivo i kako se utjecaj na okoliš računa, mjeri i uspoređuje?

Iako EV nemaju emisiju štetnih plinova za vrijeme trajanja vožnje, nezamisliva emisija događa se pri proizvodnom procesu vozila. Ako se želi ispitati utjecaj nečega na okoliš, u obzir se trebaju uzeti čimbenici prisutni cijelog vijeka trajanja proizvoda.

Takav način ispitivanja zove se **procjena utjecaja cjeloživotnog ciklusa proizvoda** (engl. Life Cycle Assessment - **LCA**). To je standardizirana metodologija za procjenu utjecaja na okoliš. Alat kojim se određuje ekološki utjecaj, a uključuje sve djelatnosti vezane za određeni proizvod [23]. Uspoređujući utjecaj na okoliš bez uzimanja u obzir onečišćenje za vrijeme trajanja proizvodnog procesa daje netočne rezultate koji nisu usporedivi jer se veliki dio LCA zanemaruje [26].

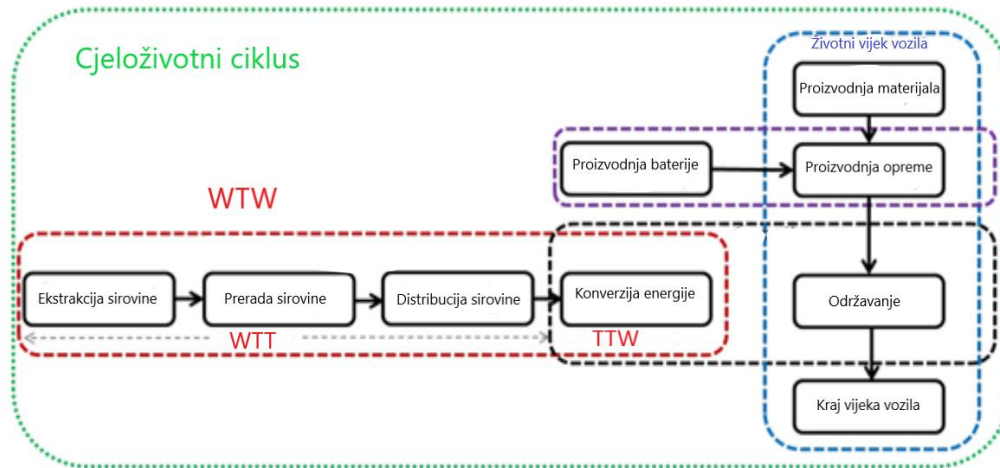
LCA može procijeniti zasebnu djelatnosti, ali i zbrojni utjecaj više djelatnosti. LCA ciklus započinje ekstrakcijom sirovina potrebnih za proizvodnju proizvoda, a kraj ciklusa predstavlja vraćanje sirovina u okoliš.

Procjena obuhvaća utjecaj:

- **od izvora do kotača** (engl. well – to – wheel - **WTW**); uključuje emisije od proizvodnje energenta do emisija nastalih zbog pogona vozila tim energentom.

WTW obuhvaća emisije **od izvora do spremnika** (engl. well - to - tank - **WTT**) koja se odnosi na lanac opskrbe energenta i emisije **od spremnika do kotača** (engl. tank – to - well - **TTW**) tj. emisije uslijed rada vozila.

Cjeloživotni ciklus, uz WTW sadrži i proizvodnju i recikliranje proizvoda (**Slika 16.**) [27].

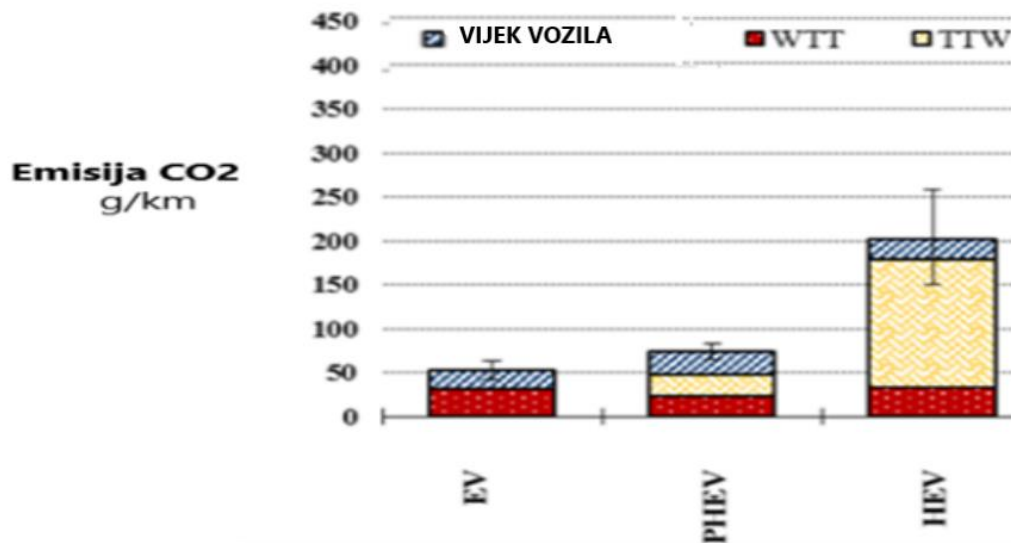


Slika 16. Cjeloživotni ciklus proizvoda i njegove faze [27]

U radu je uspoređivana vožnja duljine jednog kilometra te vozila sličnih karakteristika (potrošnja energenata, veličina, starost). Uspoređivani su parametri: emisija ugljikovog dioksida, lebdećih čestica, toksični potencijal i acidifikacija zraka.

2.3.2.1. Klimatske promjene

Prvi parametar za usporedbu su klimatske promjene odnosno potencijal globalnog zatopljenja. Izražen je kao količina ispuštenog CO₂ tijekom jednog kilometra vožnje.



Slika 17. Emisija CO₂ za tri vrste pogona [27]

Vidljivo je da EV ima najmanji potencijal globalnog zagrijavanja jer je rad vozila bezemisijski. Odnosno ne postoji učinak TTW - a nego samo WTT - a koji obuhvaća opskrbu električnom energijom za punjenje.

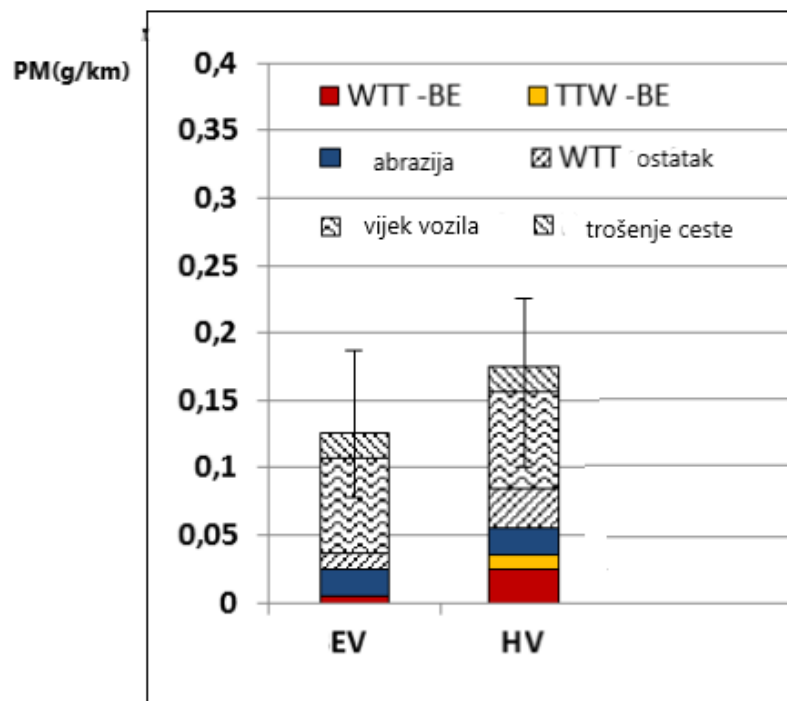
Kod HEV – a najveći udio doprinosi TTW zbog istovremenog rada MSUI – a i elektromotora. Kod PHEV – a se gorivo za pogon koristi tek nakon što se baterija isprazni pa je TTW manji u odnosu na HEV [28].

Obzirom na pretpostavku sličnih karakteristika vozila, sve tri vrste pogona imaju isti doprinos u životnom vijeku vozila.

2.3.2.2. Lebdeće čestice

Promatrane su i primarne i sekundarne PM₁₀. EV ima manju vrijednost u odnosu na HV obzirom na to da nema ispušnih plinova tijekom rada vozila pa je TTW nepostojeći.

Ono što također pridonosi većem rezultatu HV – a je veći WTT koji osim ekstrakcije sirovina za proizvodnju električne energije sadrži i vrijednosti ekstrakcije goriva.

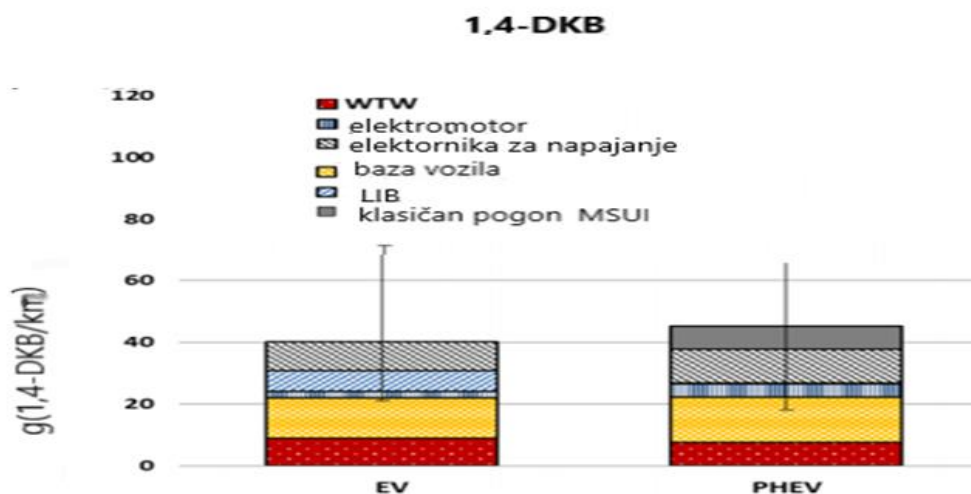


Slika 17. Količina emisije PM – a za EV i HV

2.3.2.3. Toksični potencijal

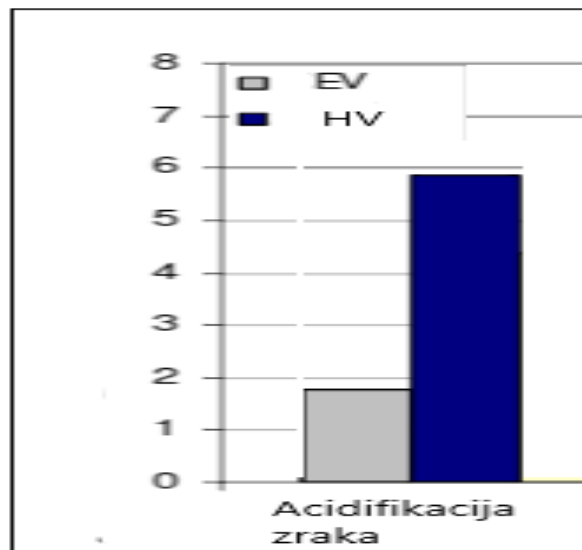
Toksični potencijal posebna je kategorija utjecaja na okoliš. To je svojstvo neke tvari da ima štetan utjecaj na ljude. Prikazana je u jedinicama ekvivalentnog 1,4 - diklorbenzena, poznatog pesticida. Za proizvodnju svih vozila, najveći dio štetnih emisija dolazi od rudarenja elemenata. Specifični materijali za izradu litij - ionske baterije, elektromotora i elektronike za električna vozila objašnjavaju zašto EV ima veliki toksični potencijal. Također, veliki je i utjecaj električne mreže. WTW za EV ima veliku vrijednost jer se struja dobiva iz elektrana za ugljen.

Ovaj se štetni utjecaj može mijenjati načinom rudarenja i korištenjem solarnih panela za električnu gradsku mrežu u punionicama.



Slika 18. Usporedba toksičnog potencijala za EV i PHEV [27]

2.3.2.4. Acidifikacija zraka



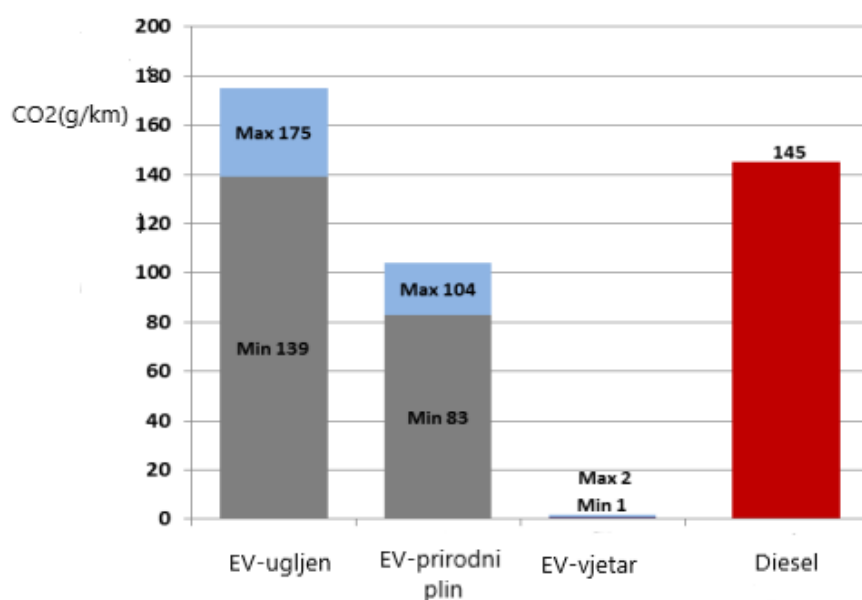
Slika 19. Usporedba stupnja acidifikacije zraka za EV i HV [29]

Zbog proizvodnje nikal - metal hidridne (NiMH) baterije, korištene u HV - u, emitiraju se dušikovi i sumporovi oksidi koji uzrokuju kiseljenje zraka, time i kisele kiše [29].

2.3.2.5. *Budućnost litija i utjecaj izvora struje*

Električna vozila energetska su zahtjevnija u odnosu na klasična vozila u procesu proizvodnje. Razlog su baterije i elektronički dijelovi vozila. Najčešće se koriste litij - ionske baterije kojima je sastav problematičan. Potražnja za litijem u prometnoj industriji će nastaviti rasti pa se očekuje i povećanje cijene. Proizvodnja bi se prema analizi njemačkog instituta Helmholtz Institute Ulm mogla povećati preko deset puta do 2050. [30].

Poljska će prva u Europskoj uniji, i među prvima u svijetu, otvoriti tvornicu za recikliranje baterija iz EV – a. Projekt sufinancira Europska banka za obnovu i razvoj, a cilj je smanjenje stakleničkih plinova i poticanje kružnog gospodarstva [31].



Slika 20. WTW za različite izvore proizvodnje struje

Manji utjecaj na okoliš imale bi baterije punjene strujom dobivenom iz obnovljivih izvora (**Slika 20.**). Vidljivo je da EV punjeno strujom dobivenom iz elektrane na ugljen ima skoro istu vrijednost emitiranog CO₂ kao Diesel vozilo.

3. ZAKLJUČAK

Uspoređujući rezultate dobivene LCA metodom, EV ima najmanje vrijednosti za sva četiri ispitana parametra: potencijal globalnog zatopljenja, emisiju lebdećih čestica, toksičnog potencijala te acidifikacije zraka.

Visoki rezultati HV – a prepisuje se posjedovanju MSUI – ja, te korištenju nikal - metal hidridne (NiMH) baterije.

PHEV najveći rezultat ostvaruje pri ispitivanju toksičnog potencijala.

Iako EV daje najbolje rezultate i ima najmanji utjecaj na okoliš, jako je bitan izvor struje kojom se vozilo puni.

Najveći su problem baterije odnosno njihov sastav i način dobivanja potrebnih sirovina za njihovu proizvodnju.

Učinci na okoliš se mogu dodatno smanjiti razvojem novih tehnologija u rudarstvu, povećanjem stope recikliranja baterija te dobivanjem struje iz obnovljivih izvora.

4. LITERATURA

- [1] Mehrdad Ehsani, Yimin Gao, Sebastien E. Gay, Ali Emadi: Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles, Fundamentals, Theory, and Design, CRC Press LLC 2000 N.W. Corporate Blvd., Boca Raton, Florida 33431, 2005., str. 2.-13.
- [2] Mahalec, Lulić, Kozarac: Motori s unutarnjim izgaranjem, Fakultet strojarstva i brodogradnje
- [3] Autonet.hr: Kako radi motor s unutarnjim izgaranjem?, <https://www.autonet.hr/arhiva-clanaka/nacelo-rada-motora> (Pristupljeno: 1. kolovoza 2021.)
- [4] Veljko Filipan: Tehnička termodinamika, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije
- [5] Richard Stone: Introduction to Internal Combustion Engines 3th ed., MACMILLAN PRESS LTD Houndmills, Basingstoke, Hampshire 1999., str. 26.
- [6] Laura Tribioli, Gino Bella: Reduction of particulate emissions in diesel hybrid electric vehicles with a PMP-based control strategy, *Energy Procedia* **148** (2018), 994-1001.
- [7] Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost: Sufinanciranje nabave energetski učinkovitijih vozila <https://www.fzoeu.hr/hr/sufinanciranje-nabave-energetski-ucinkovitijih-vozila/7713> (Pristupljeno: 1. kolovoza 2021.)
- [8] Vattenfall, The history of the electric car: It all started in 1832, <https://incharge.vattenfall.de/en/knowledge-hub/articles/the-history-of-the-electric-car-it-all-started-in-1832> (Pristupljeno: 5. kolovoza 2021.)
- [9] Ups battery center: Robert Anderson (19th Century Scottish Inventor) <https://www.upsbatterycenter.com/blog/robert-anderson-19th-century-scottish-inventor> (Pristupljeno: 5. kolovoza 2021.)
- [10] Interestrip: Prvo plinsko/električno hibridno vozilo izumljeno je 1900. godine, <https://hr.interestrip.com/the-first-gaselectric-hybrid-vehicle-was-invented-in-1900> (Pristupljeno: 4. kolovoza 2021.)
- [11] Curtis D. Anderson, Judy Anderson: Electric and Hybrid Cars A History, 2nd ed., McFarland & Company y, Inc., Publishers Jefferson, North Carolina, 2010.
- [12] Drive Electric Vermont: About Charging (<https://www.driveelectricvt.com/about-evs/about-charging>), (Pristupljeno: 10. kolovoza 2021.)
- [13] Daniel Bevandić: Regenerativno kočenje, Akumuliranje energije, <https://www.vidiauto.com/Automobili/Predstavljamo/Regenerativno-kocenje>, (Pristupljeno: 10. kolovoza 2021.)
- [14] M. Stojkov, D. Gašparović, D. Pelin, H. Glavaš, K. Hornung, N. Mikulandra: Električni automobil - povijest razvoja i sastavni dijelovi, 2014.

- [15] European Environment Agency: Electric vehicles in Europe, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016., str. 16.
- [16] Kevin B. Jones, Benjamin B. Jervey, Matthew Roche, and Sara Barnowski: The Electric Battery Charging Forward to a Low-Carbon Future, ABC-CLIO, Santa Barbara, California, 2017., str. 20.-39.
- [17] BUG online, N.Raos: Nezapaljiva litij-ionska baterija, <https://www.bug.hr/znanost/nezapaljiva-litij-ionska-baterija-7602>, (Pristupljeno: 20. kolovoza 2021.)
- [18] James Larminie, John Lowry: ELECTRIC VEHICLE TECHNOLOGY PLAINED 2th ed., A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, 2012., str. 51.
- [19] Aleksandra Brenko: Pomalo o baterijama, *Reaktor ideja*, **8** (2019) 18-19.
- [20] Samanta Tomičić: Rudnici kobalta, *Reaktor ideja*, **4** (2019) 29-30.
- [21] Ljerka Božičević, Bojan Ded, Stanko Rasonja, Ivan Mahalec, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb: Potencijal hibridnih pogona u smanjenju potrošnje goriva i štetne emisije, 2006.
- [22] Friederike Fachinger, Frank Drewnick, Stephan Borrmann: How villages contribute to their local air quality – The influence of traffic- and biomass combustion-related emissions assessed by mobile mappings of PM and its components, *Atmospheric Environment* **263** (2021)
- [23] Renatureinc.com: Što je procjena životnog ciklusa proizvoda (LCA)?, (Pristupljeno: 20. kolovoza 2021.)
- [24] Roy M. Harrison: Airborne particulate matter, *The Royal Society*, **378** (2020)
- [25] Clare L. S. Wiseman, Fathi Zereini: Urban Airborne Particulate Matter Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts Airborne Particulate Matter: Sources, Composition and Concentration, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
- [26] Life Lock.hr : Izrada Procjene životnog ciklusa proizvoda, Life-cycle assessment, LCA
- [27] Joeri Van Mierlo, Maarten Messagie, Surendraprabu Ranguraju: Comparative environmental assessment of alternative fueled vehicles using a life cycle assessment, *Transportation Research Procedia* **25** (2017) 3435-3445.
- [28] Leon Raykin, Matthew J.Roorda, Heather L.MacLean: Impacts of driving patterns on tank-to-wheel energy use of plug-in hybrid electric vehicles, *Transportation Research Part D: Transport and Environment* **17** (2012) 243-250.
- [29] Faycal Boureima, Maarten Messagie, Joeri Van Mierlo: Comparative LCA of electric, hybrid, LPG and gasoline cars in Belgian context, 2009.
- [30] Energetika.net: Nestašica resursa će povećati cijene litij-ionskih baterija, (Pristupljeno: 29. kolovoza 2021.)
- [31] Energetika.net: EU: prva tvornica za recikliranje baterija iz električnih vozila, (Pristupljeno: 30. kolovoza 2021.)

5. POPIS SIMBOLA

2T – dvotaktni

4T – četverotaktni

DMT – donja mrtva točka

EV – električno vozilo

GMT – gornja mrtva točka

HV – hibridno vozilo

MSUI – motor s unutarnjim izgaranjem

LCA – engl. Life Cycle Assessment - procjena utjecaja cjeloživotnog ciklusa proizvoda

LIB – litij – ionska baterija

PHEV – engl. Plug - in Hybrid Vehicle – punjivo hibridno vozilo

PM – engl. particulate matter – lebdeće čestice

TTW – engl. tank to well – od spremnika do kotača

WTT – engl. well to tank – od izvora do spremnika

WTW – engl, well to wheel – od izvora do kotača