Perspektive razvoja električnih vozila

Olajoš, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:231:537751

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka University Studies, Centers and Services - RICENT Repository

zir.nsk.hr

UNIRI DIGITALNA KNJIŽNICA

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
Sveučilišni diplomski studij politehnike i informatike

Diplomski rad

PERSPEKTIVE RAZVOJA ELEKTRIČNIH VOZILA

Rijeka, 2020. godina.

Antonio Olajoš
9998000107

SVEUČILIŠTE U RIJECI
Sveučilišni diplomski studij politehnike i informatike

Diplomski rad

PERSPEKTIVE RAZVOJA ELEKTRIČNIH VOZILA

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

Rijeka, 2020. godina.

Antonio Olajoš
9998000107

SVEUČILIŠTE U RIJECI
STUDIJ POLITEHNIKE
Rijeka, Sveučilišna avenija 4
Povjerenstvo za završne i diplomske radove

U Rijeci, 30. travnja 2020.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

Pristupnik: Antonio Olajoš

Zadatak/tema: **Perspektive razvoja električnih vozila**

Rješenjem zadatka potrebno je obuhvatiti analizu električnih vozila i njihovu namjenu, usporedbu njihove potrebe za energijom u odnosu na pogon na fosilna goriva, utjecaj na okoliš, te utjecaj punjenja električnih vozila na električnu mrežu. Istraživanje treba analizirati perspektive daljnjeg razvoja i korištenja električnih vozila, poglavito u odnosu na postizanje rezilijentnosti na stanja poput trenutne pandemije.

U diplomskom se radu obavezno treba pridržavati **Uputa za izradu diplomskog rada.**

Zadatak uručen pristupniku: 30.4.2020.

Rok predaje diplomskog rada: 30.6.2020.

Datum predaje diplomskog rada: _____

Predsjednik povjerenstva za završne i diplomske radove:

Doc. dr. sc. Damir Purković

Zadatak zadao:

Izv. prof. dr. sc. Lidija Runko Luttenberger

IZJAVA

S punom odgovornošću izjavljujem da sam diplomski rad pod nazivom „Perspektive razvoja električnih vozila“ izradio samostalno, služeći se navedenim izvorima i uz stručno vodstvo mentorice izv. prof. dr. sc. Lidije Runko Luttenberger.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici izv. prof. dr. sc. Lidije Runko Luttenberger na korisnim savjetima, podršci i uloženom trudu tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Zahvaljujem svojim roditeljima, bratu i svojoj curi na pruženoj potpori, podršci i razumijevanju tijekom čitavog mog školovanja.

SADRŽAJ

SADRŽAJ 1
POPIS SLIKA 3
POPIS TABLICA 4
SAŽETAK 5
1. UVOD 7
2. Povijest električnih vozila 8
2.1. Početak razvoja 8
2.2. Pad popularnosti 9
2.3. Novi početak 10
2.4. Električna vozila unutar granica Hrvatske 11
3. Vrste električnih vozila 12
3.1. Baterijska električna vozila (BEV) 12
3.2. Hibridna električna vozila (HEV) 13
3.2.1. Paralelno hibridna vozila 13
3.2.2. Serijsko hibridna vozila 13
3.2.3. Vozilo s dvostrukim pogonom 14
3.3. Plug-in hibridna električna vozila (PHEV) 14
3.4. Vozila s gorivnim člancima (FCEV) 14
3.5. Usporedba vrsta električnih vozila 15
3.6. Usporedba električnih i konvencionalnih vozila 16
4. Vrste baterija u električnim vozilima 18
4.1. Olovna baterija 19
4.2. Nikal-metalhidrid baterija 19
4.3. Litij-ion baterije 20
4.3.1. Litij-Mangan-Oksid (LMO) 21
4.3.2. Litij-Nikal-Mangan-Kobalt-Oksid (NMC) 22
4.3.3. Litij-Željezo-Fosfat (LFP) 23
4.3.4. Litij-Nikal-Kobalt-Aluminij-Oksid (NCA) 25
4.3.5. Litij Titanat (LTO) 25
4.4. Usporedba baterija 27

4.5. Eksperimentalne baterije ... 28
4.5.1. Litij-zračne (Li-air) baterije ... 28
4.5.2. Litij-metal (Li-metal) baterije ... 29
4.5.3. Čvrsti litij (Solid-state Lithium) baterije ... 29
5. Punjenje električnih vozila ... 30
5.1. Infrastrukturni zahtjevi za punjenje električnih vozila ... 30
5.2. Vrste punjača za električna vozila ... 31
5.3. Karakteristike punjenja električnog vozila Honda E ... 33
6. Utjecaj punjenja električnih vozila na opterećenje elektroenergetskog sustava ... 34
6.1. Opterećenje EES bez punjenja električnih vozila ... 34
6.2. Opterećenje EES RH s utjecajem nekontroliranog punjenja električnih vozila ... 36
6.3. Kontrolirano punjenje električnih vozila ... 38
6.3.1. Punjenje orijentirano na distribucijsku mrežu ... 39
6.3.2. Punjenje orijentirano na obnovljive izvore energije ... 40
6.3.3. Punjenje orijentirano na troškove ... 41
6.3.4. EV kao skladišta električne energije (V2G) ... 42
7. Utjecaj pandemije Covid-19 na industriju električnih vozila i njihovo korištenje ... 44
8. Metodički dio ... 46
8.1. Analiza nastavnog programa srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada ... 46
8.2. Nastavna priprema ... 48
9. ZAKLJUČAK ... 55
LITERATURA ... 56

POPIS SLIKA

Slika 1. Električni automobila Thomasa Parkera [1]. 9
Slika 2. Električno vozilo BMW i3 [2]. 11
Slika 3. Usporedba specifične energije olovne, litij ionskih i nikal baterija 27
Slika 4. Grafička usporedba životnog vijeka litij-ionskih baterija 28
Slika 5. Grafički prikaz ukupnog broja stanica za punjenje električnih vozila u RH kroz godine [10] 31
Slika 6. Električno vozilo Honda E [16]. 33
Slika 7. Grafički prikaz opterećenja EES RH u razdoblju 11.8.-18.8.2020. [17] 35
Slika 8. Grafički prikaz opterećenja EES RH na dan 17.8.2020. [17] 35
Slika 9. Usporedba opterećenja EES RH bez utjecaja i s utjecajem nekontroliranog punjenja EV 37
Slika 10. Usporedba karakteristika generiranja el. energije FN panelima i opterećenja punjenjem EV [25] 41
Slika 11. Razlika cijena električne energije za kućanstva, ovisno o tarifi, po državama članicama EU 42
Slika 12. Grafički prikaz promjene potražnje električne energije u odabranim državama u odnosu na 2019. godinu [28] 44

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba vrsta električnih vozila 15
Tablica 2. Usporedba potrošnje energije BEV i konvencionalnog vozila [26]. 17
Tablica 3. Karakteristike pojedinih vrsta baterija za općenitu upotrebu 18
Tablica 4. Karakteristike baterija na bazi nikla [9] 20
Tablica 5. Karakterstike LMO baterije [9] 22
Tablica 6. Karakteristike NMC baterije [9] 23
Tablica 7. Karakteristike LFP baterije [9] 24
Tablica 8. Karakteristike NCA baterije [9] 25
Tablica 9. Karakteristike LTO baterije [9] 26
Tablica 10. Karakteristike punjača električnih vozila [13] 31
Tablica 11. Načini punjenja električnih vozila 32
Tablica 12. Tablični prikaz vrijednosti opterećenja EES RH na dan 17.8.2020. po satu [17]. 36
Tablica 13. Tablični prikaz rezultata simulacije 38
Tablica 14. Nastavni sadržaj predmeta Obnovljivi izvori energije za treći razred [30] 46

SAŽETAK

Električna vozila su u povijesti vrlo brzo nakon svoje komercijalizacije pala u zaborav jer su ih s tržišta potisnula konvencionalna vozila, a razlog tome je ponajviše bio vrlo mali kapacitet baterija. Upravo razvoj baterija je uz ekološku svijest ponovno potaknuo razvoj tehnologije električnih vozila koja bi s vremenom u potpunosti zamijenila konvencionalna vozila. Danas na tržištu postoje 3 osnovne vrste električnih vozila, a razlikuju se po udjelu korištenja električne energije za pogon vozila. Baterije većeg kapaciteta omogućuju veći doseg vozila, ali i poskupljuju cijenu vozila te također zahtijevaju dulje vrijeme punjenja što s rastom broja električnih vozila može uzrokovati probleme u elektroenergetskim sustavima. Kako bi se izbjegla veća vršna opterećenja elektroenergetskih sustava osmišljaju se različite strategije kontroliranog punjenja. Tijekom pandemije Covid-19 automobilska industrija je pogođena kao i tržište automobila pa je tako ukupna prodaja automobila pala u odnosu na isto vrijeme prošle godine no kod električnih vozila je primjetno povećanje prodaje.

Ključne riječi: električno vozilo, baterija, elektroenergetski sustav, kontrolirano punjenje, pandemija

Perspectives of electric vehicles development

Summary

Electric vehicles have throughout their history fell into oblivion very soon after their commercialization because conventional vehicles pushed them out of the market and the reason for this was mostly a very small battery capacity. It is precisely the development of batteries that, along with environmental awareness, has once again encouraged the development of electric vehicle technology that would eventually completely replace conventional vehicles. Today, there are 3 basic types of electric vehicles on the market, and they differ in the share of electricity used to drive vehicles. Higher capacity batteries enable greater vehicle range, but also increase the price of the vehicle and, of course, require a longer charging time, which with the increase in the number of electric vehicles can cause problems in power systems. In order to avoid higher peak loads of power systems, various controlled charging strategies are devised. During the Covid-19 pandemic, the automotive industry was affected as well as the car market, so that total car sales fell compared to the same last year period, but for electric vehicles there is a noticeable increase in sales.

Keywords: electric vehicle, battery, power system, controlled charging, pandemic

1. UVOD

Svakim danom sve je veći interes za električnim vozilima iako su u većini država električni automobili skuplji od konvencionalnih, a sve češće na ulicama možemo, uz električne automobile, sresti i ostala prijevozna sredstva poput električnih romobila ili bicikala koji ljudima olakšavaju kretanje gradom. Sve veći rast broja električnih vozila sa sobom nosi i negativne posljedice u vidu opterećenja na elektroenergetske sustave.

Cilj rada je analizirati električna vozila te ih usporediti s konvencionalnim vozilima po potrošnji energije te samim time i po pitanju utjecaja na okoliš kako bi se istaknuli problemi i prepoznale perspektive daljnjeg razvoja električnih vozila.

Ovaj diplomski rad podijeljen je u 7 poglavlja kojima se obrađuje tema perspektive razvoja električnih vozila. U drugom poglavlju ukratko je opisan razvoj električnih vozila i njihov utjecaj na tržište kroz povijest. U trećem poglavlju nalazi se podjela električnih vozila te je opisana razlika među njima kao i usporedba električnih vozila s konvencionalnima po pitanju potrošnje energije. Četvrto poglavlje obuhvaća različite vrste baterija koja se danas koriste i koje mogu svoju primjenu naći i u električnim vozilima. Detaljno su prezentirane specifikacije svake vrste baterije te je prikazana i usporedba tih baterija, a ukratko su opisane i neke vrste eksperimentalnih baterija koje će u budućnosti eventualno naći svoju primjenu u električnim vozilima. Infrastrukturni zahtjevi punjenja električnih vozila i vrste punjača koji se koriste opisani su u petom poglavlju. Šesto poglavlje bavi se načinima punjenja električnih vozila te je prikazana simulacija opterećenja elektroenergetskog sustava RH u slučaju zamjene 20% registriranih automobila električnim. Sedmo poglavlje posvećeno je utjecaju pandemije Covid-19 virusa na automobilsku industriju i korištenje električnih vozila.

2. Povijest električnih vozila

2.1. Početak razvoja

Izum prvog električnog vozila ne može se pripisati samo jednom čovjeku niti samo jednoj državi jer je za takav sustav bilo potrebno nekoliko važnih otkrića od baterija do električnog motora. Godine 1828. je mađarski izumitelj, inženjer, fizičar Ányos Jedlik izumio jedan do ranih tipova električnog motora te ga koristio u svom malom modelu električnog automobila. U razdoblju od 1832. do 1839. godine škotski izumitelj Robert Anderson izradio je kočiju s električnim pogonom koja je primarno bila napajana ćelijama koje se ne mogu puniti. Godine 1834. je kovač Thomas Davenport iz Vermonta napravio sličnu konstrukciju koja je radila na kratkim, kružnim, električnim stazama. Još jedan model električnog automobila, malih dimenzija i bez mogućnosti punjena, napravili su 1835. nizozemski profesor Sibrandus Stratingh te njegov asistent iz Njemačke, Christopher Becker.

Druge izvedbe električnih automobila rađene su u narednim godinama, ali električni automobila su doživjeli uspon tek kada su francuski izumitelji Gaston Planté (1865.) i Camille Faure (1881.) značajno unaprijedili baterije. Thomas Parker je 1884. u Wolverhamptonu napravio prvi električni automobil za praktičnu primjenu (Slika 1. Električni automobila Thomasa Parkera . Njegov automobil bio je napajan punjivim baterijama visokog kapaciteta koje je sam dizajnirao. Prvim pravim električnim automobilom smatra se dizajn njemačkog izumitelja Andreasa Flockena koji je 1888. godine napravio *The Flocken elektrowagen.*

S obzirom na to da su navedeni modeli nastali skoro 20 godina prije Fordovog Modela T, električni automobili bili su iznimno popularni i među preferiranim metodama prijevoza. Razlog zašto su bili prihvaćeni bez obzira na kratak domet je što tada veća putovanja cestovnim putem nisu bila razvijena, a također su pružala udobnost i jednostavno upravljanje koje vozila na fosilna goriva nisu pružala u to vrijeme. Za razliku od benzinskih vozila, električna vozila su bila tiša i nisu zahtjevala promjenu brzina.



Slika 1. Električni automobila Thomasa Parkera [1].

Prva komercijalna primjena električnih automobila započela je 1897. godine kada su korišteni za usluge taksi prijevoza u Velikoj Britaniji i Sjedinjenim Američkim Državama te su to ujedno bila i prva taksi vozila nakon što su se godinama koristili konji za vuču.

Vrhunac korištenja električnih automobila je bio oko 1910. godine. U Sjedinjenim Američkim Državama gdje su imali najveći udio, čak 38% automobila bilo je pokretano električnim motorom, 40% na paru te samo 22% motorom s unutarnjim izgaranjem.

2.2. Pad popularnosti

Iako su električni automobili vrhunac doživjeli oko 1910. godine, već 1920.-ih u potpunosti je stala njihova komercijalna proizvodnja. Tri su glavna razloga za to:

1. Zbog naglog otkrića naftinih polja, gorivo za automobile postalo je pristupačnije.
2. Henry Ford je masovnom proizvodnjom automobila uvelike snizio cijenu automobila s motorom s unutarnjim izgaranjem
3. 1912. Američki inovator Charles F. Kettering izumio je električni pokretač automobila pa je time nestalo ručno pokretanje motora što je bio veliki nedostatak

2.3. Novi početak

Tijekom druge polovice 20. stoljeća mnogi izumi pokazali su mogućnosti unaprjeđenja električnih vozila, ali pravi skok dogodio se tek početkom 21. stoljeća. Ono što je poticalo razvijanje ove tehnologije bila je ekološka svijest jer vozila koja koriste motor s unutarnjim izgaranjem ispuštaju veliki broj štetnih plinova.

Jedan od prvih bitnih događaja bilo je predstavljanje Toyote Prius 1997. godine. Navedeni model postao je prvo u svijetu masovno proizvedeno hibridno električno vozilo. Proizvodnja ovog modela pokazala je veliki uspjeh u cijelome svijetu.

Sljedeći važan događaj u povećanju popularnosti električnih vozila dogodio se 2006. kada je startup tvrtka Tesla Motors najavila proizvodnju luksuznih električnih automobila koja mogu prijeći preko 300 kilometara s jednim punjenjem. Godine 2010. tvrtka Tesla je počela izgradnju tvornice automobila te je doživjela veliku prodaju svojih automobila diljem svijeta.

Ti događaji potaknuli su ostale proizvođače u auto industriji na ubrzano razvijanje električnih vozila pa se tako na tržištu pojavio i Chevy Volt kao prvi plug-in hibrid automobil. Plug-in hibrid Volt imao je električni motor, ali i motor s unutarnjim izgaranjem koji bi se koristio kada bi baterija bila prazna. Tako su korisnici mogli koristiti električni motor za veći dio svog puta, a motor s unutarnjim izgaranjem omogućavao bi dulji domet vozila. Uz Volt, i Nissan je predstavio svoj LEAF model koji je pak bio „čisto“ električno vozilo pokretano samo električnim motorom.

Korisnici danas imaju više izbora no ikad pri kupnji električnog vozila jer postoji 23 plug-in električnih vozila te 36 hibridnih modela u raznim veličinama od malog dvosjeda poput Smart ED, klasičnih veličina kao Ford C-Max Energi pa do luksuznih SUV modela kao što je BMW i3 (Slika 2. Električno vozilo BMW i3 . Kako cijena nafte raste tako električna vozila sve više dobivaju na popularnosti, a pojedine zemlje kao što je Norveška imaju za cilj u narednim godinama u potpunosti zaustaviti prodaju vozila koja koriste motor s unutarnjim izgaranjem.



Slika 2. Električno vozilo BMW i3 [2].

2.4. Električna vozila unutar granica Hrvatske

Kao i u drugim dijelovima svijeta tako i u Hrvatskoj električna vozila koriste se u javnom gradskom i željezničkom prijevozu. Električni tramvaji napona 660 V su od 1899. godine prometovali u Rijeci, u Zagrebu od 1910. te u Osijeku od 1926. godine dok se željeznica postupno elektrificirala počevši od pruge Rijeka-Šapjane. U granicama Hrvatske nalazi se 2617 kilometara pruga od čega je elektrificirano samo 980 kilometara [3].

Nekoliko tvrtki u Hrvatskoj poput „Končar“ i „TTV Gredelj“ iz Zagreba te „Đuro Đaković“ iz Slavonskoga Broda imaju dugu tradiciju proizvodnje električnih vozila. Godine 2009. je hrvatski inovator i poduzetnik započeo razvoj električnih vozila te je kroz godine predstavio električne automobile pod nazivom „Concept_One“ i „C_Two“ i njima postavio mnoge svjetske rekorde. Također osim električnih automobila koji su konceptualni modeli razvijen je električni bicikl „Greyp“ koji je komercijaliziran.

3. Vrste električnih vozila

Električna vozila mogu se podijeliti na ona koja su potpuno električna što znači da kao jedini izvor energije koriste električnu energiju iz baterija (engl. Battery Electric Vehicle, BEV) te hibridna električna vozila koja uz motor s unutarnjim izgaranjem koriste i manji električni motor radi optimiziranja potrošnje goriva. Takva hibridna vozila se još mogu podijeliti na serijska i paralelna ovisno o kombinaciji pogona. Jedna vrsta još uvijek nije značajnije prisutna u komercijalnoj upotrebi, a to su vozila s gorivnim člancima koja koriste vodik kao pogonsko gorivo te su jednako kao i električna vozila bez emisija pri korištenju.

3.1. Baterijska električna vozila (BEV)

Baterijska električna vozila za pogon koriste isključivo električnu energiju pohranjenu u baterijama te ona služi za pokretanje jednog ili više električnih motora, kao i za napajanje ostalih električnih uređaja u vozilu. U ovu kategoriju spadaju i vozila koja nemaju bateriju već svu energiju dobivaju direktno preko fotonaponskih panela, ali takva vozila su rijetka jer se takve izvedbe koriste uglavnom samo u hobi projektima. S obzirom na to da ova vrsta vozila nema ispušnih plinova svrstava se u kategoriju vozila koja nemaju emisije plinova pri korištenju i samim time su takva vozila „zelena“ i „čista“ pri vožnji. Električni pogon omogućuje trenutni i veliki moment čak i pri malim brzinama. Jedini izvor energije su baterije pa je time i jedini značajni način punjenja moguć spajanjem na gradsku mrežu dok se manjim dijelom baterije mogu puniti i regenerativnim kočenjem.

Domet vozila najviše ovisi i o kapacitetu baterija, ali unatoč stalnom napretku i razvoju tehnologije, još uvijek glavna mana ovih vozila ostaje kraći domet u odnosu na vozila s motorom s unutarnjim izgaranjem, ali i u odnosu na hibridna električna vozila, a zbog većeg kapaciteta baterija početna cijena vozila je nešto veća.

Mana kratkog dometa, u kombinaciji s prednostima bezemisijskog i tihog rada, čini ova vozila idealna za urbane sredine.

3.2. Hibridna električna vozila (HEV)

Hibridna električna vozila (engl. hybrid electric vehicle, HEV) pogonjena su i električnim motorom i motorom s unutarnjim izgaranjem (benzinski ili dizel motor). U ovom slučaju motor s unutarnjim izgaranjem je dominantan dok električni motor služi samo kao neka vrsta dopune. Vozilo je stoga opremljeno manjom baterijom koju motor s unutarnjim izgaranjem puni energijom koja proizlazi iz regenerativnog kočenja. Za razliku od BEV, baterija se ne može puniti spajanjem na gradsku mrežu.

Svrha ove vrste električnih vozila je postići bolju ekonomičnost goriva i efikasnost vozila. Električni motor smanjuje vrijeme rada u praznom hodu i poboljšava sposobnost zaustavljanja i kretanja, što je posebno korisno u gradskom prometu. Osim toga, električni motor pomaže pri ubrzanju i vožnji pri malim brzinama. Velika prednost naspram BEV je značajno veći domet zbog korištenja motora s unutarnjim izgaranjem kada se baterije isprazne. HEV se mogu podijeliti u 3 glavne kategorije.

3.2.1. Paralelno hibridna vozila

Prva kategorija su paralelno hibridna vozila koja za pogon koriste motor s unutarnjim izgaranjem i električni motor istovremeno. Primjeri takvih vozila su Toyota Prius te svi hibridni modeli Lexus-a. Baterije mogu biti punjene regenerativnim kočenjem ili od strane motora s unutarnjim izgaranjem proizvodi više snage nego je potrebno za pogon.

3.2.2. Serijsko hibridna vozila

Serijsko hibridna vozila su također opremljena i električnim motorom i motorom s unutarnjim izgaranjem, ali u ovom slučaju je električni motor ključan pri vožnji. Naime, kod serijsko hibridnih vozila motor s unutarnjim izgaranjem ne služi za pogon već samo za pretvaranje mehaničke energije u električnu kako bi se, ako postoji potreba, punile baterije. Motor s unutarnjim izgaranjem pri tome ima samo funkciju povećanja dosega. Primjeri vozila koja spadaju u ovu kategoriju su Opel/Vauxhall Ampera i BMW i3.

3.2.3. Vozilo s dvostrukim pogonom

Princip rada ovakvih vozila je da se jedna pogonska osovina pogoni motorom s unutarnjim izgaranjem, a druga električnim motorom. Pri tome ona koja je pogonjena motorom s unutarnjim izgaranjem ima i mehanički spojen mjenjač dok ona koja je pogonjena električnim motorom nema mjenjač [4].
Električni i konvencionalni pogon potpuno su odvojeni međusobno i moguće je među njima birati način vožnje ili koristiti oba istovremeno. Primjeri takvih vozila su Volvo V60 hybrid ili XC90 hybrid, kao i svi hibrid modeli koje nude tvrtke Peugeot i Citroen.

3.3. Plug-in hibridna električna vozila (PHEV)

Plug-in hibridna električna vozila (engl. Plug-in hybrid electrical vehicle, PHEV) su kao i HEV opremljena električnim i motorom s unutarnjim izgaranjem. Glavna razlika je način punjenja ovih vozila kod kojih, osim od regenerativnog kočenja i energije koja dolazi od motora s unutarnjim izgaranjem, baterije mogu biti punjene putem gradske mreže. Iz tog razloga baterije su značajno veće i mogu omogućiti čisti električni pogon veći broj kilometara, a nakon pražnjenja baterija u rad se uključuje motor s unutarnjim izgaranjem te upravo to PHEV čini korisnima za duža putovanja bez potrebe ponovnog punjenja baterija.

S druge strane, PHEV u gradskoj vožnji mogu koristiti samo električni pogon i time ne proizvoditi nikakve emisije štetnih plinova prilikom korištenja. Takva kombinacija je popularna na tržištu automobila jer nudi prednosti i električnog pogona i pogona s motorom s unutarnjim izgaranjem [4].

Jedna od većih mana ovih vozila je veća kompleksnost zbog potrebe za smještajem dvaju pogonskih sustava što povećava troškove održavanja.

3.4. Vozila s gorivnim člancima (FCEV)

Vozila s gorivnim člancima (engl. Fuel cell vehicle, FCV) dobila su naziv po središnjoj komponenti sustava – gorivnom članku. Gorivni članak pomoću kemijske reakcije proizvodi električnu struju koristeći vodik koji se nalazi u spremniku pod visokim tlakom. Osim vodika, za kemijsku reakciju potreban je i kisik koji se usisava iz okoline. Tako dobivena električna energija koristi se za pogon električnog motora, a eventualni višak energije pohranjuje se u

baterije. Jedini nusprodukt ove kemijske reakcije je čista voda pa stoga ovakva vozila omogućuju vožnju s manje emisija od bilo kojeg drugog tipa električnih vozila.

Jedna od najbitnijih prednosti ove vrste vozila je vrlo brzo punjenje koje je usporedivo s punjenjem konvencionalnih vozila koja koriste fosilna goriva. Razlog zašto ova vozila nemaju široku primjenu je nedostatak stanica za punjenje te manjak sigurnosti jer se vodik sprema pod vrlo visokim tlakom te se stoga gorivni članci koriste najviše u izradi koncepata vozila te u svemirskim misijama gdje astronauti dobivenu vodu koriste i za piće, a samo manji dio vozila s gorivnim člancima su u komercijalnoj upotrebi i to uglavnom u javnom prijevozu.

3.5. Usporedba vrsta električnih vozila

HEV za pogon koriste motor s unutarnjim izgaranjem, a električna energija pokreće vozilo samo pri nižim brzinama i kretanju. Baterije se pune samo regenerativnim kočenjem, a ne i spajanjem na mrežu kao što je slučaj kod PHEV i BEV. BEV se od prethodne dvije vrste EV razlikuje u pogonu jer su takva vozila potpuno električna. Svaka vrsta električnih vozila ima svoje prednosti i nedostatke te su ovisno o njima pogodni za različite potrebe. Tablica 1 prikazuje različite vrste električnih vozila po pitanju njihovog pogona, izvora energije te prednosti i nedostataka.

Tablica 1. Usporedba vrsta električnih vozila

Vrsta EV	Tip pogona	Izvor energije	Prednosti	Nedostaci
BEV	• Električni motor	• Baterija	• Bez emisija • Bez ulja • Doseg najviše ovisi o tipu baterije • Komercijalno dostupno	• Kapacitet i cijena baterije • Doseg • Vrijeme punjenja • Visoka cijena
HEV	• Električni motor • Motor s unutarnjim izgaranjem	• Baterija • Fosilno gorivo	• Vrlo malo emisija • Veliki doseg • Dvije mogućnosti pogona • Komercijalno dostupno	• Upravljanje s više izvora energije • Optimizacija dimenzija baterija i motora

PHEV	• Električni motor • Motor s unutarnjim izgaranjem	• Baterija • Fosilno gorivo	• Vrlo malo emisija • Veliki doseg • Dvije mogućnosti pogona • Komercijalno dostupno • Veće mogućnosti punjenja	• Upravljanje s više izvora energije • Optimizacija dimenzija baterija i motora
FCEV	• Električni motor	• Gorivni članak	• Bez emisija • Visoka efikasnost • Neovisno o dostupnosti električne energije • Visoka cijena	• Cijena gorivnih članaka • Dostupnost stanica za punjenje • Pitanje sigurnosti

3.6. Usporedba električnih i konvencionalnih vozila

U ovom poglavlju uspoređena je razlika korištene energije BEV i konvencionalnog vozila. BEV je Renault Kangoo Z.E. sa sinkronim motorom i 44 kW nominalne snage te maksimalnog momenta 226 Nm. Baterija u vozilu je kapaciteta 22 kWh, mase 260kg te se nalazi na podu vozila. Konvencionalno vozilo u testiranju je Renault Kangoo dCi 90 s 4-cilindarskim dizel motorom. Maksimalna snaga vozila je 66 kW pri 4000okr/min, a maksimalni moment je 220 Nm pri 1750 okr/min [26].

U tablici 2. su prikazani rezultati ovog testa iz kojeg je vidljivo da BEV koristi samo oko 30% energije potrebne konvencionalnom vozilu za vožnju istom brzinom te da upravo zbog tako visoke efikasnosti iskorištenja energije mogu značajno utjecati na smanjenje emisija stakleničkih plinova.

Tablica 2. Usporedba potrošnje energije BEV i konvencionalnog vozila [26].

	BEV		KONVENCIONALNO		
	Potrošnja kWh/100km	Brzina km/h	Potrošnja kWh/100km	Brzina km/h	Srednja vrijednost BEV/KONV.
Gradska vožnja	15.8	28	67.8	28.7	0.23
Autocesta	27.5	103	77.8	107.6	0.36
Agresivna vožnja	24.1	51.3	74	52.5	0.33
Mirna vožnja	18.3	48.2	58.4	49.5	0.32

4. Vrste baterija u električnim vozilima

Baterije su glavni izvor energije električnih vozila od samih početaka, ali s vremenom su razvijane nove tehnologije baterija te se taj proces razvoja još uvijek odvija kako bi se dostigli određeni željeni ciljevi po pitanju karakteristika.

Standardna baterija sastoji se od dvije ili više međusobno spojenih elektro-kemijskih ćelija te kemijska reakcija između elektroda i elektrolita pretvara pohranjenu kemijsku energiju u električnu.

Baterije za električna vozila zahtijevaju nešto drugačije karakteristike nego baterije koje se koriste u uređajima poput prijenosnog računala ili mobitela. Baterija koja se koristi u električnom vozilu treba imati veliku gustoću energije kako bi se omogućio veliki doseg vozila te uz to treba imati stabilan izlaz bez obzira na ubrzanje vozila. Osim tehničkih karakteristika za bateriju je bitno da ima dug životni vijek te da je ekološki prihvatljiva što svakako uključuje obaveznu mogućnost recikliranja [6].

U tablici 3. su prikazane karakteristike nekih vrsta baterija koje se koriste u svakodnevnom životu kao izvor energije. Vidljivo je da Li-po baterije imaju najveću gustoću energije, ali se ne koriste u vozilima zbog manjka sigurnosti pri sudaru kada bi vrlo lako mogle eksplodirati.

Tablica 3. Karakteristike pojedinih vrsta baterija za općenitu upotrebu

Vrsta baterije	Efikasnost (%)	Gustoća energije (Wh/kg)	Gustoća snage (W/kg)	Samopražnjenje
Olovna baterija(Pb)	70-80	30-50	70	Nisko
Nikal-kadmij (NiCd)	60-90	40-60	140-180	Nisko
Nikal-metalhidrid baterija (NiMH)	50-80	60-80	220	Visoko
Litij-ion	70-85	100-200	360	Srednje
Litij-polimer	70	200	250-1000	Srednje

4.1. Olovna baterija

Olovne baterije su najstarija vrsta baterija korištena u vozilima. Negativna elektroda sadrži olovo (Pb), a pozitivna olovni dioksid (PbO2) kao aktivni materijal u nabijenom stanju. Elektrode se nalaze u elektrolitu od sumporne kiseline (H2SO4) te kada se baterija prazni olovo i olovni dioksid reagiraju sa sumpornom kiselinom. Olovni sulfat se formira na elektrodama dok elektrolit gubi otopljenu sumpornu kiselinu i postaje voda.

Većina motora s unutarnjim izgaranjem koristi olovnu bateriju sa SLI (start,lighting, ignition) tehnologijom te s obzirom na to da su ovakve baterije najstarije također je i cijena najniža. Međutim, njihova specifična energija je također vrlo mala u usporedbi s drugim baterijama,a zbog korozije na pozitivnoj elektrodi broj ciklusa punjenja je oko 100 što je vrlo malo. Punjenje i pražnjenje SLI baterija je vrlo sporo i stoga nisu prikladne za BEV [7].

Značajan napredak u tehnologiji olovnih baterija predstavljaju VRLA (Valve-Regulated Lead-Acid) baterije koje mogu doseći i 800 ciklusa punjenja dok s kompresijom unutar tubularne ploče pozitivne elektrode broj ciklusa raste i do 1500. VRLA su stoga pogodnije za brže punjenje jer ih je moguće napuniti u samo nekoliko minuta [8].

4.2. Nikal-metalhidrid baterija

Postoji četiri vrste baterija koje koriste nikal na pozitivnoj elektrodi: nikal-željezo (Ni-Fe), nikal-cink (Ni-Zn), nikal-kadmij (Ni-Cd) te nikal-metalhidrid (Ni-MH). Prikaz karakteristika navedenih baterija vidljiv je u tablici 4. Baterije s kombinacijom nikla sa željezom i cinkom nemaju mogućnost korištenja u električnim vozilima jer je njihov broj ciklusa punjenja i specifična snaga nedostatna za takvu upotrebu. Kombinacija nikla i kadmija je najstarija tehnologija baterija koje koriste kadmij i ima slična karakteristike kao nikal metalhidrid baterije no prednost Ni-MH baterije je što ne sadrže kadmij pa su stoga ekološki prihvatljivije, a i broj ciklusa punjenja je puno veći, oko 3000.

Ipak, nakon više godina dominacije kao najbolji izbor baterija za električna vozila, zadnjih nekoliko godina njihovo korištenje opada jer se litij-ion baterije sve više razvijaju, a Ni-MH su dosegle svoj vrhunac i ne očekuje se daljnji razvoj.

Tablica 4. Karakteristike baterija na bazi nikla [9]

	NiMH	NiFe	NiZn	NiCd
Specifična energija (Wh/kg)	60-120	50	100	45-80
Punjenje (C)	0.5-1C	Nije definirano	1C	>1C
Pražnjenje (C)	1C	1C	Visoko	>1C
Životni vijek (broj ciklusa)	300-500	20 godina (UPS primjena)	200-300	1000
Značajke	Nije toksično	Vrlo slabe performanse u hladnim uvjetima	Široko temperaturno područje	Široko temperaturno područje; toksično
*C označava vrijednost koja se množi s kapacitetom baterije				

4.3. Litij-ion baterije

Litij-ion baterije su, zbog svoj naglog razvoja u malim elektroničkim uređajima, postale dominantan izbor pri odabiru baterija za BEV i HEV vozila. Ove baterije su vrlo prikladne za korištenje u električnim vozilima zbog svojih performansi koje posjeduju zbog karakteristika litija. Od svih metala litij ima najveći potencijal i elektrokemijski ekvivalent što znači da ima najvišu potencijalnu specifičnu energiju od svih metala, a na bazi energije po volumenu inferioran je jedino aluminiju i magneziju. Litij je također i najlakši među metalima.

Litij-ion baterije postoje u raznim izvedbama, a specifikacije variraju u ovisnosti o materijalu koji se koristi na anodi i katodi. Komercijalno dostupne baterije najčešće koriste litijev karbonat na anodi. Kombinacija litija i ugljika je do sada zastarjela izvedba i, barem što se tiče korištenja u električnim vozilima, nije relevantna no eksperimentira se i s drugim materijalima. Primjerice, Altarinano tvrtka je razvila bateriju s nano-strukturom litij titanat anode (LiTiO) umjesto litijskog ugljika. Takva baterija omogućava veću brzinu kojom elektroni napuštaju ili popunjavaju nano-strukturiranu rešetku te zbog toga takva baterija može biti napunjena u kraćem vremenu i uz to imati dulji životni vijek od ostalih litij-ionskih baterija.

4.3.1. Litij-Mangan-Oksid (LMO)

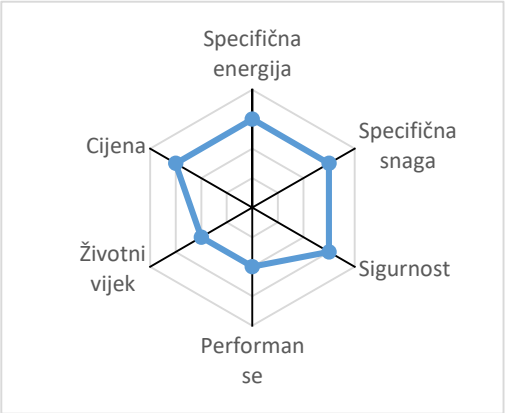
Li-ion s manganovom spinelom je prvi put prezentiran 1983. godine, a 1996. započinje i komercijalizirana upotreba baterija s ovim spojem na katodi. Arhitektura formira trodimenzijsku spinel strukturu koja poboljšava protok iona na elektrodu što rezultira nižim unutarnjim otporom i poboljšanom kontrolom struje. Daljnje prednosti spinela su visoka toplinska stabilnost i veća sigurnost, ali životni vijek je ograničen. Nizak unutarnji otpor baterije omogućuje brzo punjenje te pražnjenje visokom strujom. Primjerice, u 18650 izvedbi baterije, Li-mangan može biti pražnjen pri strujama od 20-30 A s osrednjim povećanjem temperature, a također je moguće primijeniti jednokratne impulse do čak 50 A. Kontinuirano visoko opterećenje takvih vrijednosti uzrokovalo bi povišenje temperature, a temperatura baterijske ćelije ne smije prijeći 80°C [9].

Osim kod električnih i hibridnih vozila, ova vrsta baterije se koristi i u električnim strojevima te medicinskim instrumentima. Li-mangan ima trećinu manji kapacitet nego Li-kobalt baterija pa se stoga većina Li-mangan baterija kombinira s litij-nikal-mangan-kobalt oksidom (NMC) kako bi se povećala specifična energija i produljio životni vijek baterije. Ta kombinacija nudi najbolje od svake baterije pa kod električnih vozila LMO dio baterije (većinom oko 30%) omogućuje visoku struju pri ubrzanju dok NMC dio povećava domet vožnje [9].

Fleksibilnost u dizajnu omogućava izvedbe kojima se može povećati životni vijek, maksimalna struja ili kapacitet. Primjerice, 18650 verzija s duljim životnim vijekom ima kapacitet od oko 1100mAh, dok verzija s višim kapacitetom 1500 mAh
Li-ion razvoj ponajviše je usmjeren kombiniranju Li-mangana s kobaltom, niklom i/ili aluminijem na katodi. U nekim izvedbama koriste se i vrlo male količine silicija na anodi što povećava kapacitet za 25%, ali također i smanjuje životni vijek baterije jer se silicij širi i smanjuje svakim punjenjem i pražnjenjem što uzrokuje mehaničko opterećenje. Osim u električnim vozilima, LMO baterije se još koriste i za napajanje električnih alata i medicinskih uređaja [9].

Karakteristike baterije s litij-mangan oksidom prikazane su u tablici 5.

Tablica 5. Karakterstike LMO baterije [9]

$LiMn_2O_4$ (katoda) – grafit (anoda)	U upotrebi od: 1996. godine	
Specifična energija	100-150 Wh/kg	
Punjenje	0.7-1C (3C maksimalno)	
Pražnjenje	1C, do 30C puls (5s)	
Životni vijek (broj ciklusa)	300-700 (ovisno o temperaturi)	
Maksimalna temperatura	250°C	
Primjena	Električni uređaji, medicinska oprema, pogonski sklopovi vozila	
Visoka snaga, ali mali kapacitet. Često u kombinaciji sa NMC radi boljih performansi		*C označava vrijednost koja se množi s kapacitetom baterije

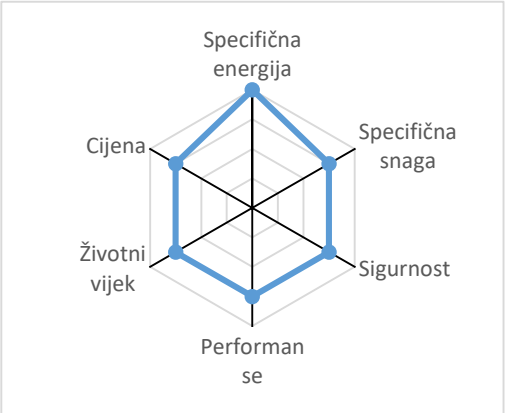
4.3.2. Litij-Nikal-Mangan-Kobalt-Oksid (NMC)

Jedna od najuspješnijih Li-ion izvedbi je kombinacija nikla, mangana i kobalta na katodi (NMC). Slično kao i kod Li-mangana, ovakve baterije se mogu prilagođavati da nude veći kapacitet ili snagu. Primjerice, NMC u 18650 izvedbi ima kapacitet od oko 2800 mAh i omogućuje 4-5A; NMC u jednakoj ćeliji, ali prilagođeno većoj snazi, ima kapacitet 2000 mAh i omogućuje pražnjenje strujama do 20A. Kada bi anoda sadržavala silicij kapacitet bi mogao biti i 4000 mAh, ali bi se značajno smanjio životni vijek baterije [9].

Kombinacija nikla i mangana u ovim baterijama se može analogno usporediti s kuhinjskom soli u kojoj su glavni sastojci, natrij i klor otrovni, no kada se pomiješaju služe kao začinska sol. Nikal je poznat po velikoj specifičnoj energiji, ali kao nestabilan; mangan ima prednost formiranja spinalne strukture kako bi se ostvario nizak unutarnji otpor, ali nudi malu specifičnu energiju. Kombiniranjem tih metala ističu se njihove prednosti [9].

U tablici 6. prikazane su karakteristike baterije s litij-nikal-mangan-kobalt oksidom na katodi.

Tablica 6. Karakteristike NMC baterije [9]

LiNiMnCoO2 (katoda) – grafit (anoda)	U upotrebi od: 2008. godine	
Specifična energija	150-220 Wh/kg	
Punjenje	0.7-1C	
Pražnjenje	1C	
Životni vijek (broj ciklusa)	1000-2000 (ovisno o temperaturi)	
Maksimalna temperatura	210°C	
Cijena	~ 420 USD/kWh	
Primjena	Električni bicikli i automobili, medicinski uređaji, industrija	
Veliki kapacitet i snaga, trenutno najčešće korišteni tip baterije		*C označava vrijednost koja se množi s kapacitetom baterije

NMC se koristi u električnim strojevima, e-biciklima i ostalim električnim pogonima. Kombinacija na katodi, poznata kao 1-1-1, se većinom sastoji od jedne trećine nikla, jedne trećine mangana i jedne trećina kobalta. To omogućuje jedinstvenu mješavinu koja također smanjuje cijenu koštanja zbog smanjenog udjela kobalta. Još jedna uspješna kombinacija je NCM omjera nikal:kobalt:mangan 5:3:2, a moguće su i druge kombinacije koristeći različite količine materijala na katodi. Zbog cijene koštanja kobalta proizvođači ipak naginju manjim udjelima kobalta te većim nikla. Baterije na bazi nikla imaju veću gustoću energiju, nižu cijenu i dulji životni vijek od onih baziranih na kobaltu no i nešto niži napon.

NMC baterije koriste se za napajanje električnih bicikala i automobila te u medicinske svrhe [9].

4.3.3. Litij-Željezo-Fosfat (LFP)

Godine 1996. otkrivena je mogućnost korištenja fosfata kao materijala na katodi punjivih baterija. Li-fosfat kombinacija nudi dobra elektrokemijska svojstva uz mali otpor, a to je

moguće zbog dvije fosfatne katode nano veličine. Ključne prednosti su, uz dobru termalnu stabilnost i sigurnost, visoka struja i dug životni vijek. Najbitnije karakteristike ove bateriej prikazane su u tablici 7.

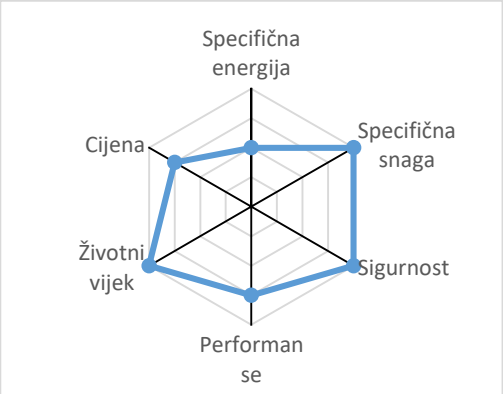
Li-fosfat baterija bolje podnosi stanje potpune napunjenosti nego druge Li-ion baterije te je izdržljivija pri visokim naponima kroz dulje vrijeme no niži nominalni napon smanjuje specifičnu energiju ispod vrijednost koju ima Li-ion baterija s kobaltom. Također, samopražnjenje kod Li-fosfat baterije je veće što uzrokuje probleme s vremenom. Proizvodnja ovih baterija je nešto skuplja i zahtjeva potpunu čistoću i kontrolu vlage jer u suprotnom baterija omogućuje samo vrlo mali broj ciklusa punjenja.

Li-fosfat baterije često zamjenjuju olovne baterije u automobilima. Napon četiri ćelije u seriji je 12.80V što je slično naponu šest 2V olovnih ćelija u seriji. Alternator u automobilu puni bateriju do 14.40V i zadržava taj napon kako bi se spriječila sulfacija no kod Li-fosfat baterija takvo održavanje napona na vrijednosti 14.40V tijekom duljeg vremena, kao što su duža putovanja, može oštetiti bateriju jer podnosi prenapunjenost samo kraće vrijeme.

LFP primjenu nalaze u mobilnim i stacionarnim uređajima kada je potrebna velika struja i izdržljivost.

Tablica 7. Karakteristike LFP baterije [9]

$LiFePO_4$ (katoda) – grafit (anoda)	U upotrebi od: 1996. godine
Specifična energija	90-120 Wh/kg
Punjenje	1C
Pražnjenje	1C, 25C puls (2s)
Životni vijek (broj ciklusa)	>2000 (ovisno o temperaturi)
Maksimalna temperatura	270°C
Cijena	~ 580 USD/kWh
Primjena	Prijenosni i stacionarni uređaji, kada je potrebna velika struja i izdržljivost
Mali kapacitet, ali jedna od najsigurnijih baterija. Povećano samopražnjenje	



*C označava vrijednost koja se množi s kapacitetom baterije

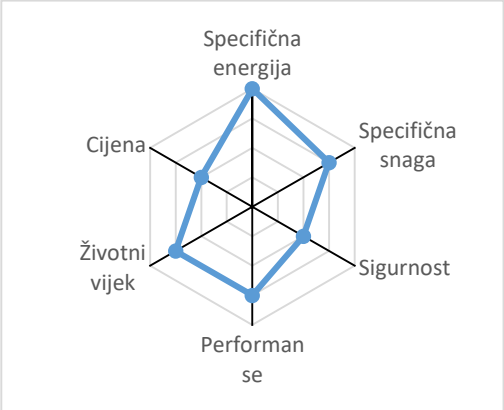
4.3.4. Litij-Nikal-Kobalt-Aluminij-Oksid (NCA)

Litij Nikal Kobalt Aluminij Oksid (LiNiCoAlO2) ili kraće samo NCA baterija razvijena je 1999. godine za korištenje u posebne svrhe što se ponajviše odnosilo na medicinsku opremu, a danas je komercijalno široko korištena, primjerice, u Panasonic baterijama za električna vozila marke Tesla. Dijeli sličnosti sa NMC zbog visoke specifične energije i dugog životnog vijeka no sigurnost i cijena su nešto lošiji.

U tablici 8. prikazane su karakteristike litij-nikal-kobalt-aluminij oksid baterija

Tablica 8. Karakteristike NCA baterije [9]

LiNiCoAlO2 (katoda) grafit (anoda)	U upotrebi od: 1999. godine
Specifična energija	200-260 Wh/kg
Punjenje*	0.7C
Pražnjenje*	1C
Životni vijek (broj ciklusa)	~500 (ovisno o temperaturi)
Maksimalna temperatura	150°C
Cijena	~ 350 USD/kWh
Primjena	Medicinski uređaji, industrija, pogonski sustav električnih vozila
Sličnosti sa Li-kobalt, koristi se u Tesla električnim vozilima	



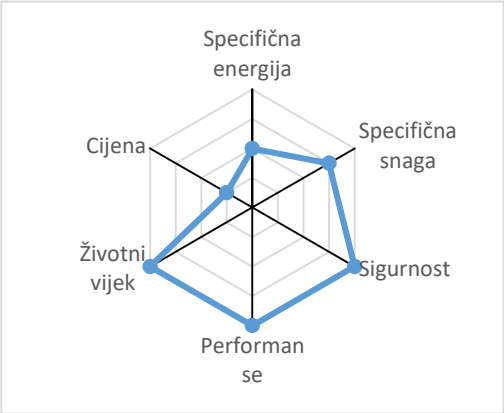
*C označava vrijednost koja se množi s kapacitetom baterije

4.3.5. Litij Titanat (LTO)

Baterije s litij titanatom na anodi koriste se od 1980-ih. Litij titanat zamjenjuje grafit na anodi standardne litij-ion baterije te se formira spinelna struktura, a katoda u ovakvim baterijama može biti litij-magnezij-oksid ili NMC. Ove baterije mogu biti brzo punjene te omogućuju visoke struje pri pražnjenju (čak 10 puta više od kapaciteta), a životni vijek je nešto duži nego kod standardnih Li-ion baterija. Litij titanat je siguran, posjeduje izvrsne karakteristike

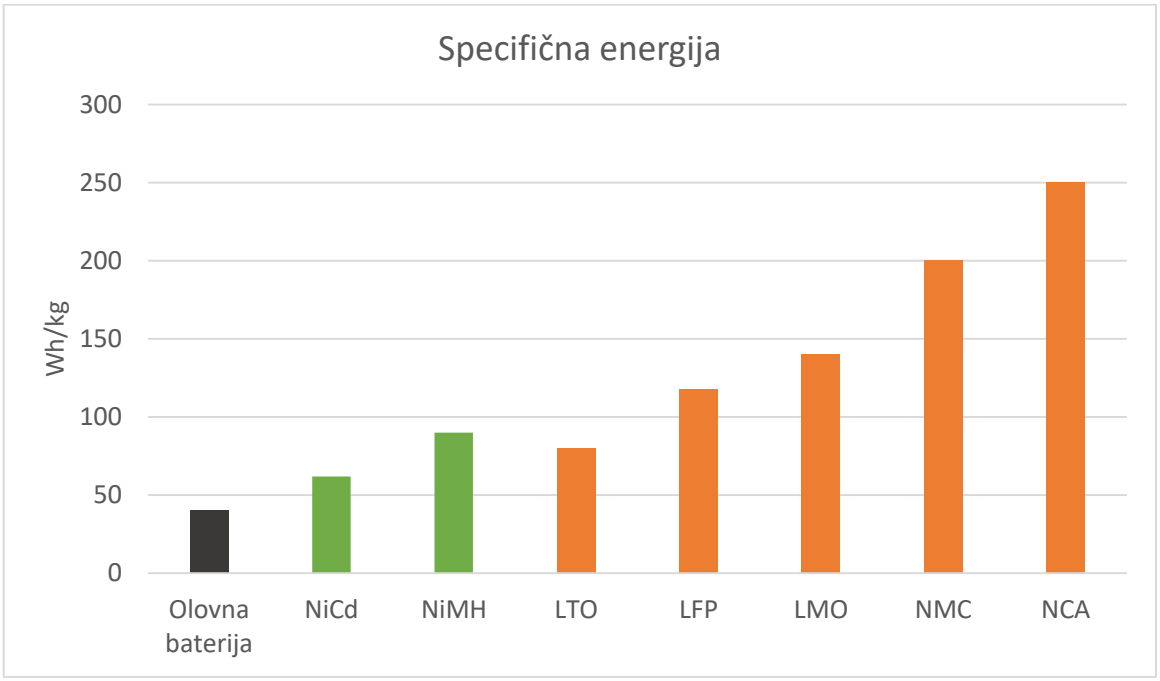
pražnjenja na niskim temperaturama te zadržava 80% kapaciteta pri -30°C. Uz vrlo visoku cijenu, negativna strana LTO baterija je i prilično mala specifična energija (65Wh/kg). U tablici 9. prikazane su karakteristike LTO baterija. LTO baterije koriste se u UPS uređajima i javnoj rasvjeti, a Mitsubishi i Honda ugrađuju ih u svoje modele i-MiEV te Fit EV.

Tablica 9. Karakteristike LTO baterije [9]

<table>
<tr><td>LMO ili NMC (katoda)
Li2TiO3 (anoda)</td><td>U upotrebi od: 2008. godine</td><td rowspan="9">

*C označava vrijednost koja se množi s kapacitetom baterije</td></tr>
<tr><td>Specifična energija</td><td>50-80 Wh/kg</td></tr>
<tr><td>Punjenje*</td><td>1C (maksimalno 5C)</td></tr>
<tr><td>Pražnjenje*</td><td>10C, 30C puls (5s)</td></tr>
<tr><td>Životni vijek (broj ciklusa)</td><td>~3000-7000 (ovisno o temperaturi)</td></tr>
<tr><td>Maksimalna temperatura</td><td>200°C</td></tr>
<tr><td>Cijena</td><td>~ 1005 USD/kWh</td></tr>
<tr><td>Primjena</td><td>UPS, pogonski sustavi el. vozila, solarna javna rasvjeta</td></tr>
<tr><td colspan="2">Mogućnost vrlo brzog punjenja, visoka cijena ih ograničava na specijalnu upotrebu</td></tr>
</table>

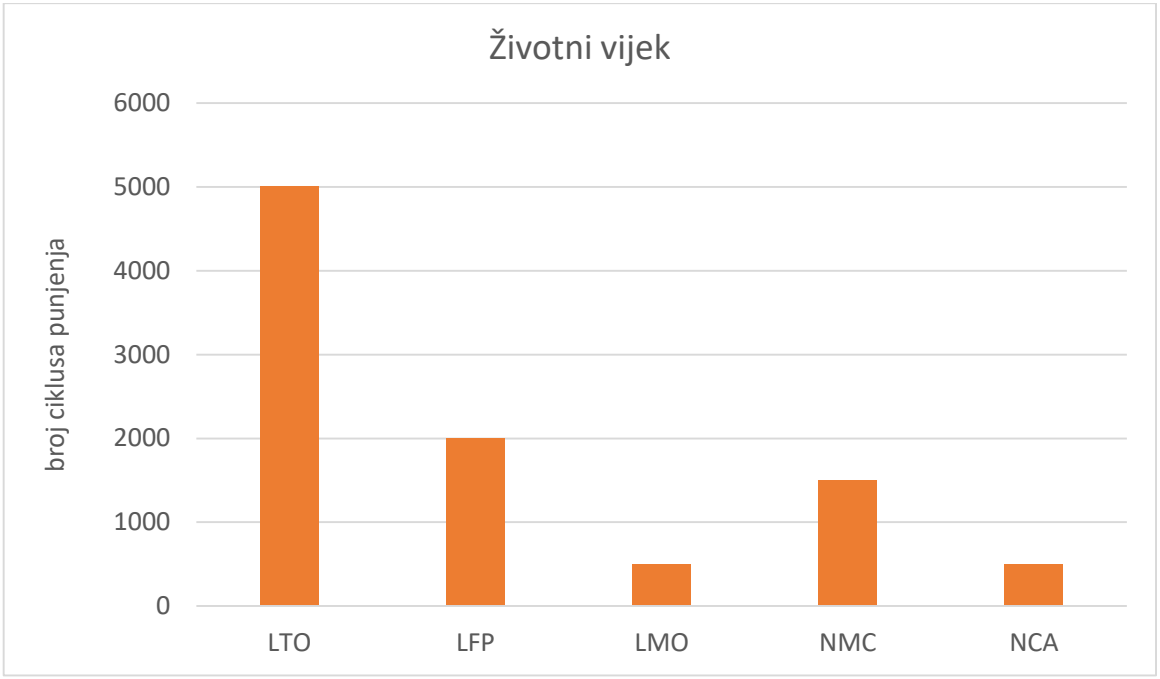
4.4. Usporedba baterija



Slika 3. Usporedba specifične energije olovne, litij ionskih i nikal baterija

U dijagramu na slici 3 je prikazana usporedba specifične energije litij ionskih baterija s olovnom i nikal baterijama pri čemu je vidljivo da baterije bazirane na litiju imaju izrazito veću specifičnu energiju u odnosu na olovnu bateriju ili pak baterije bazirane na niklu.

Od baterija baziranih na litiju NCA ima najvišu specifičnu energiju no, međutim, LMO i LFP su superiorne u pogledu specifične snage i toplinske stabilnosti dok litiji titanat makar s najmanjim kapacitetom ima uvjerljivo najdulji životni vijek (slika 4) i najbolje performanse pri niskim temperaturama.



Slika 4. Grafička usporedba životnog vijeka litij-ionskih baterija

4.5. Eksperimentalne baterije

Eksperimentalne baterije nalaze se samo u laboratorijima i zbog svojih nedostataka nije ih moguće komercijalizirati. Neke vrste baterija zadive svojim pozitivnim mogućnostima no zbog nedostataka istraživanja vrlo brzo budu prekinuta. Neke pak vrste imaju nedostatke koje je moguće savladati i na njima se vrše brojna testiranja i istraživanja napreduju kako bi jednoga dana neke od tih baterija zamijenile sadašnje i time poboljšala tržište baterija u vidu cijene, kapaciteta, sigurnosti ili utjecaja na okoliš.

4.5.1. Litij-zračne (Li-air) baterije

Litij-zračne baterije imaju potencijal za pohranjivanje i do deset puta više energije nego što je moguće s trenutnim Li-ion tehnologijama. Znanstvenici su razvili ovu bateriju koja ne sadrži sve potrebne komponente u svom kućištu već koristi kisik iz atmosfere kako bi dobavila elektrone kojom napaja spojene uređaje. Teoretska specifična energija je oko 13 kWh/kg što je blizu specifičnoj energiji benzina no ove baterije i uz samo četvrtinu te vrijednosti, u kombinaciji s elektromotorom, imale bi bolje performanse nego li motor s unutarnjim izgaranjem. Problemi kod litij-zračnih baterija nastaju pri niskim temperaturama kada specifična snaga značajno opada, a veliki problem je i potreba za pročišćavanjem zraka koja

zahtjeva dodatne elemente. Raznim testiranjima u laboratorijskim uvjetima ustanovilo se da ove baterije nakon 50-ak ciklusa postaju skoro neupotrebljive za daljnje korištenje.

4.5.2. Litij-metal (Li-metal) baterije

Litij-metal se dugo već smatra kao budućnost punjivih baterija zbog svoje visoke specifične energije (300 Wh/kg) no pitanje je sigurnosti ovih baterija. Nekontrolirano taloženje litija uzrokuje rast dendrita koji uzrokuje sigurnosne opasnosti prodiranjem u separator i stvaranjem kratkog spoja. Kako bi se ova vrsta baterija mogla komercijalizirati potrebno je savladati prepreke u vidu sigurnosti kroz korištenje nezapaljivih elektrolita, sigurnijih elektroda i jačih separatora.

4.5.3. Čvrsti litij (Solid-state Lithium) baterije

Trenutne Li-ion tehnologije koriste grafit na anodi što smanjuje specifičnu energiju. Čvrsti litij umjesto grafita koristi čisti litij i zamjenjuje tekući elektrolit s poroznim separatorom za čvrsti polimer ili keramički separator. Kao i litij-metal problem je stvaranje dendrita, a problemi su i loša vodljivost pri nižim temperaturama i mali broj ciklusa. Omogućuju pohranjivanje dvostruko više energije nego Li-ion baterije

5. Punjenje električnih vozila

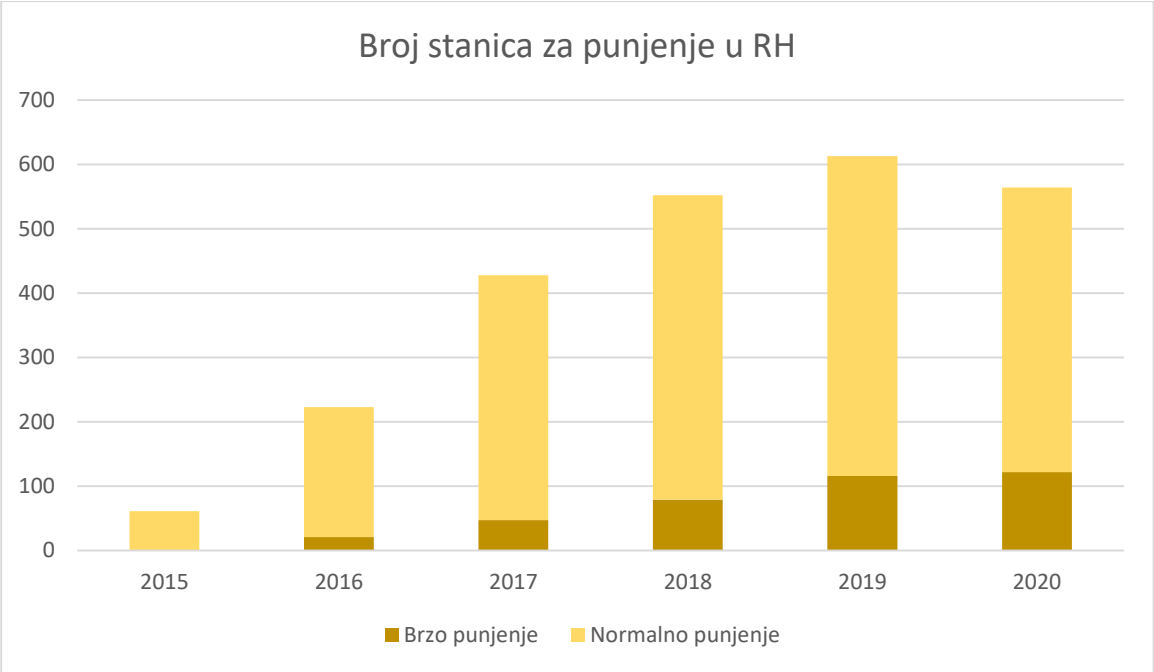
Električna vozila mogu se puniti spajanjem na vanjski izvor napajanja ili regenerativnim kočenjem tijekom vožnje kada elektromotor, kada ne služi pogonu vozila, prelazi u način rada generatora i tako puni baterije unutar vozila.

5.1. Infrastrukturni zahtjevi za punjenje električnih vozila

Veći dio elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj (kr. RH) nema kapacitet za naglo veće korištenje, odnosno punjenje, električnih vozila jer za to nije projektiran. Prije masovnog korištenja vozila koja zahtijevaju punjenje električnom mrežom potrebno je unaprijediti infrastrukturu sustava opskrbe električnom energijom.
Ključni problemi elektroenergetskog sustava ponajviše se odnose na nedostatan prihvat dodatnog opterećenja, a to su:

- Presjek vodova nije dovoljan za prihvaćanje dodatnog opterećenja kakvo bi nastalo prilikom punjenja većeg broja električnih vozila
- Transformatori napona srednje naponske razine na niskonaponsku razinu napona ne posjeduju dovoljnu rezervu snage jer nisu nije bilo planirano punjenje električnih vozila
- Kako bi se smanjilo opterećenje na električnu mrežu trebalo bi, ako je u datom trenutku to moguće zbog vremenskih uvjeta, za izvor električne energije u punionicama električnih vozila koristiti obnovljive izvore energije pa bi se time ostvarila tzv. proizvodnja na mjestu potrošnje
- Iako se u zadnje vrijeme postavlja sve više javnih punionica za električna vozila njih još uvijek manjka (slika 5)

Trenutno u RH punjenje električnih vozila nema značajnog utjecaja na električnu mrežu, ali pretpostavlja se da će uskoro to postati problem. Za očekivati je da će se veći broj električnih vozila početi pojavljivati geografski koncentrirano u dijelovima gradova u kojima prevladava imućniji sloj društva pa će time lokalne distribucijske mreže biti pod većim opterećenjem [11]. Dakle, punjenje električnih vozila će vrlo vjerojatno biti koncentrirano i odvijati se u popodnevnim satima nakon posla istodobno kada se i inače, u odnosu na ostatka dana, povećava korištenje električne energije u kućanstvima [12].
S obzirom na to da lokalne distribucijske mreže nisu dizajnirane za toliko opterećenje, punjenje električnih vozila može ih vrlo brzo dovesti do tehničkih limita.



Slika 5. Grafički prikaz ukupnog broja stanica za punjenje električnih vozila u RH kroz godine [10]

5.2. Vrste punjača za električna vozila

Kako bi utjecaj punjenja električnih vozila bio jasniji potrebno je također razlikovati načine punjenja električnih vozila. U osnovi, što je snaga punjača manja to je punjenje sporije i obrnuto. Promjenom snage punjenja moguće je utjecati s manjim ili većim opterećenjem na lokalne distribucijske mreže. Vrste punjača i njihove karakteristike prikazane su u tablici 10.

Tablica 10. Karakteristike punjača električnih vozila [13]

	Priključak	Snaga [kW].	Jakost struje [A].	Domet/sat punjenja [km].
Normalna snaga	Jednofazni izmjenični	<3.7	10-16	<20
Srednja snaga	Jednofazni ili trofazni izmjenični	3.7 - 22	16-32	20-110
Velika snaga	Trofazni	>22	>32	>110
Velika snaga	istosmjerni	>22	>32	>110

U tablici 11 domet vozila po svakom satu punjenja utvrđen je po prosječnoj potrošnji električnog vozila (20kWh/100km), ali, kao i vrijeme punjenja, ovisi o efikasnosti baterije u vozilu.

Punjači normalne snage su najćešće korišteni jer je pomoću njih moguće puniti električno vozilo kod kuće ili na poslu kada je moguće vozilo parkirati na dulje vrijeme. Trenutno se njima odvija 60 do 80% punjenja vozila i očekuje se da se dominacija ovog tipa punjača zadrži do 2030. godine [14].

Punjači velike snage omogućuju vrlo brzo punjenje baterije u vozilu, ali osim što negativno utječu na lokalnu distribucijsku mrežu zbog velikog opterećenja, također, čestim korištenjem, degradiraju karakteristike baterija te im time smanjuje životni vijek pa bi njihovo korištenje trebalo biti svedeno samo na situacije u nuždi.

Osim vrsta punjača, načini punjenja se također mogu podijeliti s obzirom na vrijeme punjenja i lokacije punjača. Takva podjela prikazana je u tablici 11.

Tablica 11. Načini punjenja električnih vozila

	Standardno punjenje	Brzo punjenje	Vrlo brzo punjenje
Snaga punjača [kW].	3	7 - 40	50 – 250
Vrijeme punjenja praznog vozila [h].	6 - 9	0.5 - 3	0.08 – 0.35
Mjesto punjenja	Kućanstva, poslovne zgrade, javne garaže i otvoreni parkinzi	Trgovački centri, namjenske punionice	Postaje uz autoceste, namjenske punionice
Prisutnost korisnika	Parkiranje vozila na duže vrijeme	Parkiranje vozila na kraće vrijeme	Prisutnost za vrijeme punjenja

Punionice koje nude mogućnost vrlo brzog punjenja ne mogu biti postavljene bilo gdje jer zahtijevaju unaprijeđenu infrastrukturu zbog većeg opterećenja na distribucijsku mrežu.

5.3. Karakteristike punjenja električnog vozila Honda E

Za ovaj primjer simulacije uzet je Honda model E (slika 6), BEV vrsta vozila s baterijom kapaciteta 35,5 kWh. Punjač za standardno punjenje dolazi u paketu s vozilom te omogućuje punjenje snagom do 6,6 kW i naponom od 230V. Uzimajući u obzir ove informacije možemo izračunati da bi vrijeme punjenje ovog vozila od 0 do 100% trajalo oko 5,5 sati [15].



Slika 6. Električno vozilo Honda E [16].

6. Utjecaj punjenja električnih vozila na opterećenje elektroenergetskog sustava

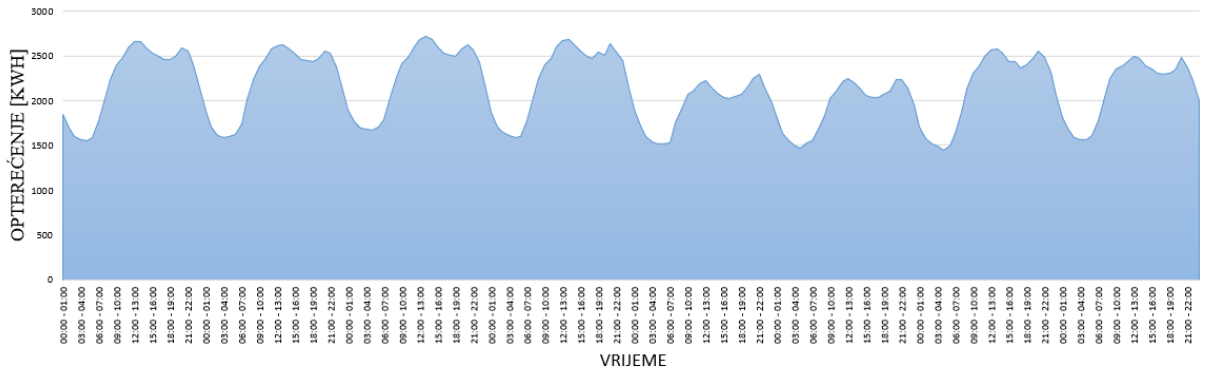
Utjecaj punjenja može se gledati kroz razinu snage kojom se punjenje odvija. Punjenje kućnim punjačem je sporije jer je snaga oko 2.3 kW i stoga je vrijeme punjenja nešto duže, oko 8-9 sati, pa je ravnomjernije raspoređeno tijekom duljeg perioda vremena. Povećanjem snage na 22kW ili više, kojom pune brzi punjači, smanjuje vrijeme punjenja čak i na 30 minuta, ali značajno povećava opterećenje distribucijske mreže što može uzrokovati negativne posljedice na infrastrukturu.

Jasno je da se distribucijske mreže razlikuju unutar Europe te da će države koje imaju visoko razvijene mreže (npr. Nizozemska, Njemačka, Danska) lakše podnijeti dodatno opterećenje uzrokovano punjenjem električnih vozila, a da će države čije su mreže slabije razvijene osjetiti negativne posljedice poput tehničkih kvarova [11]. Međutim, uzimajući u obzir trenutne trendove u svijetu električnih vozila može se zaključiti da države sa slabije razvijenim mrežama (npr. Poljska, Mađarska, Estonija, Litva) također zaostaju i u korištenju električnih vozila pa stoga ne nastaju problemi u elektroenergetskom sustavu. Time preostaje pitanje kakva će situacija biti u srednje razvijenim državama po pitanju distribucijskih mreža električne energije (npr. UK, Španjolska, Italija) [12].

U nastavku rada bit će uspoređeno opterećenje elektroenergetskog sustava RH bez punjenja vozila te uz simulirano opterećenje punjenja električnih vozila.

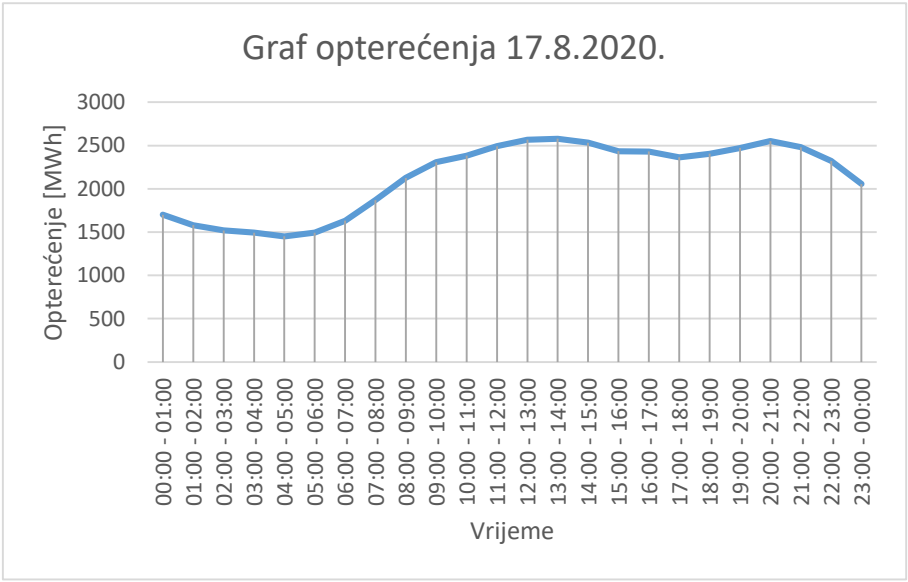
6.1. Opterećenje EES bez punjenja električnih vozila

Za potrebe simulacije i usporedbe podaci o opterećenju elektroenergetskog sustava (kr. EES) RH u razdoblju 11.8.2020. do 18.8.2020. preuzeti su od Europske mreže operatera prijenosnih sustava [17]. Na slici 7 grafički je prikazano opterećenje elektroenergetskog sustava RH. Prosječno opterećenje po satu iznosi 2137 MWh, najmanja vrijednost opterećenja iznosi 1451 MWh dok je najveća vrijednost 2716 MWh. Iz dijagrama moguće je primijetiti i da je radnim danom opterećenje nešto veće, a to je ponajviše zbog rada industrijskih postrojenja. Kada bi gledali opterećenje lokalne distribucijske mreže koja obuhvaća samo kućanstva ne bi se primijetila značajnija razlika u opterećenjima vikendom i radnim dana. Radi preciznijeg pregleda usporedbe, za primjer simulacije uzet je samo jedan radni dan, ponedjeljak 17.8.2020.



Slika 7. Grafički prikaz opterećenja EES RH u razdoblju 11.8.-18.8.2020. [17]

Na slici 8 grafički je prikazano opterećenje EES RH za navedeni dan iz koje se uz podatke iz tablice 12. može primijetiti da je vrijednost opterećenja najviša u dvije točke tijekom dana. Nakon noćnog razdoblja kada opterećenje ima najniže vrijednosti, jer glavnina stanovništva spava te se najveći udio u potrošnji odnosi na industriju i javnu rasvjetu, slijedi period povećanja opterećenja koji između 12:00 i 14:00 sati doseže svoj vrhunac i počinje opadati. Još jedno povećanje opterećenja primjećuje se između 20:00 i 21:00 kada se zbog zalaska sunca uključuje javna rasvjeta kao i rasvjeta u kućanstvima.



Slika 8. Grafički prikaz opterećenja EES RH na dan 17.8.2020. [17]

Tablica 12. Tablični prikaz vrijednosti opterećenja EES RH na dan 17.8.2020. po satu [17]

00:00 - 01:00	1701 MWh
01:00 - 02:00	1580 MWh
02:00 - 03:00	1519 MWh
03:00 - 04:00	1494 MWh
04:00 - 05:00	1451 MWh
05:00 - 06:00	1494 MWh
06:00 - 07:00	1633 MWh
07:00 - 08:00	1870 MWh
08:00 - 09:00	2126 MWh
09:00 - 10:00	2306 MWh
10:00 - 11:00	2383 MWh
11:00 - 12:00	2492 MWh
12:00 - 13:00	2568 MWh
13:00 - 14:00	2579 MWh
14:00 - 15:00	2532 MWh
15:00 - 16:00	2435 MWh
16:00 - 17:00	2430 MWh
17:00 - 18:00	2364 MWh
18:00 - 19:00	2405 MWh
19:00 - 20:00	2471 MWh
20:00 - 21:00	2551 MWh
21:00 - 22:00	2481 MWh
22:00 - 23:00	2321 MWh
23:00 - 00:00	2055 MWh

Problem kod punjenja električnih vozila je što se punjenje najčešće odvija baš u navedenim periodima, jer korisnici vozila mogu puniti za vrijeme radnog vremena te po dolasku kući, pa time dodatno opterećuju EES.

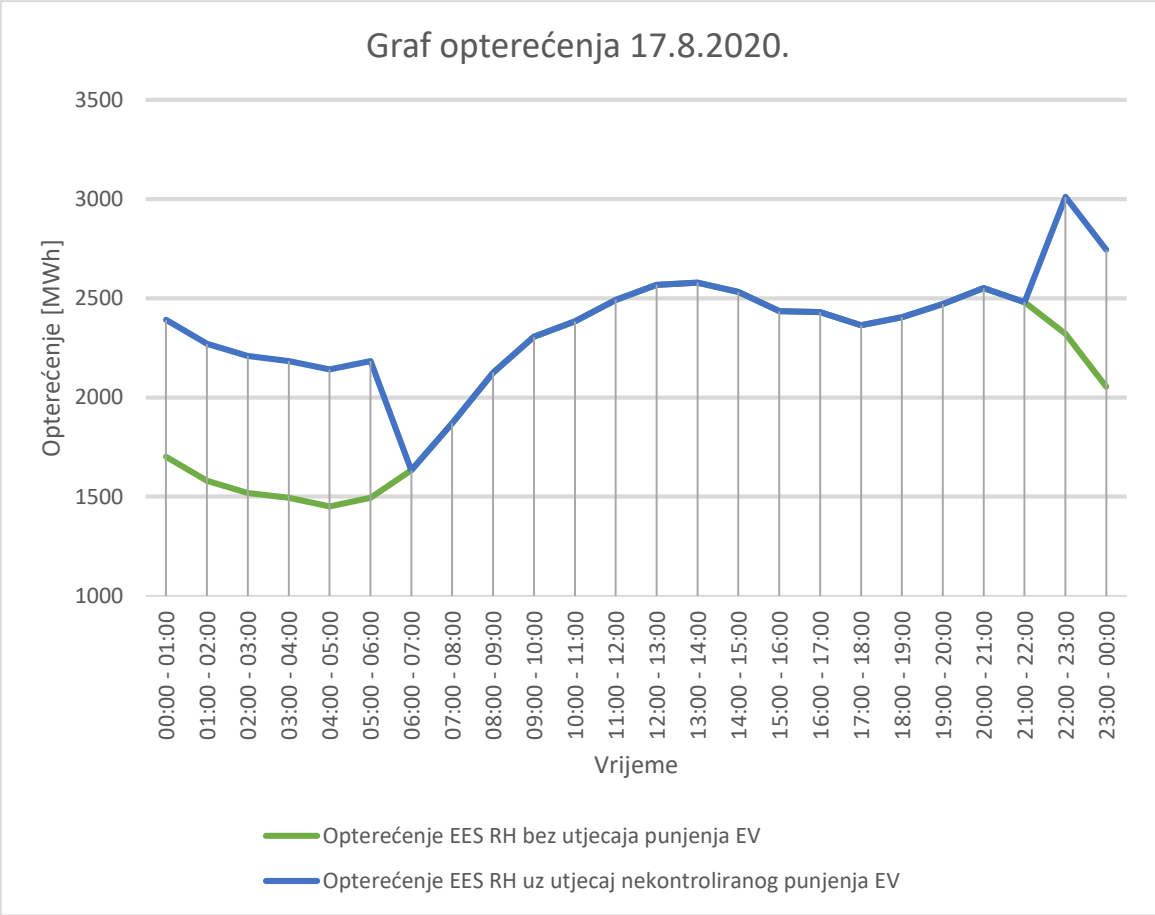
6.2. Opterećenje EES RH s utjecajem nekontroliranog punjenja električnih vozila

U ovom poglavlju simuliran će biti utjecaj nekontroliranog punjenja električnih vozila na opterećenje EES RH na dan 17.8.2020. godine tako da će podatke o opterećenju EES za taj dan biti nadodane vrijednosti opterećenja istovremenog punjenja 20% vozila u RH pri čemu se 20% od registriranog broja osobnih vozila zamjenjuje električnim. Prema podacima državnog zavoda za statistiku u RH je na dan 31.12.2019. godine bilo registrirano 1 724 900 osobnih vozila [18].

U simulaciji se zamjenjuje petina registriranih osobnih vozila u RH električnim i simulira punjenja 344 980 električnih vozila s početkom punjenja u 22:00 (vrijeme početka obračuna električne energije po nižoj tarifi s pretpostavkom da svaki korisnik ima dvotarifni obračun

električne energije). Kao karakteristike punjenja baterija električnih vozila korišten je primjer vozila Honda E (poglavlje 5.3.) i pretpostavka da se sva vozila pune kod kuće snagom 2 kWh.

Kada bi se svih 344 980 električnih vozila punilo u istom trenutku opterećenje samo punjenja EV iznosilo bi 690 MWh. Povećanje opterećenja grafički je prikazano na slici 9.



Slika 9. Usporedba opterećenja EES RH bez utjecaja i s utjecajem nekontroliranog punjenja EV

Rezultat prikazane simulacije je porast prosječnog opterećenja s 2135 MWh na 2365 MWh (povećanje 10%), najmanje opterećenje povećano je s 1494 MWh na 1633 MWh (povećanje 9%) dok je maksimalno satno opterećenje povećano s 2579 MWh na 3011 MWh (povećanje 16%). Navedeni rezultati prikazani su u tablici 13. Važno je napomenuti da se prikazana simulacija temelji na pretpostavkama pa stoga ne prikazuje realnu sliku. Uspoređujući rezultate simulacije najmanje bitna stavka je promjena minimalnog opterećenja jer ne uzrokuje tehničke probleme niti zahtjeva unaprjeđenje infrastrukture. S druge strane porast maksimalnog opterećenja za čak 16% na razini čitave države ne može biti zanemariv jer može uzrokovati velike tehničke probleme pa shodno s time je potrebno unaprijediti infrastrukturu EES kako bi

odgovarala potrebama. Treba u obzir uzeti i to da u stvarnosti ove promjene ne bi bile jednake kod svakoj transformatorske stanice jer bi opterećenje kod nekih poraslo manje nego što je prikazano ovom simulacijom, ali bi također kod pojedinih postotna promjena opterećenja bila i mnogo veća.

Tablica 13. Tablični prikaz rezultata simulacije

	Opterećenje bez utjecaja punjenja EV [MWh].	Opterećenje uz utjecaja nekontroliranog punjenja EV [MWh].	Promjena [%].
Maksimalno opterećenje	2579	3011	16
Minimalno opterećenje	1494	1633	9
Prosječno opterećenje	2135	2365	10

Kako bi se spriječilo dodatno povećanje opterećenja u periodima vršnog opterećenja odnosno kako bi se spriječilo povećanje maksimalnog opterećenja i postigla što ravnija krivulja potrebno je kontrolirano puniti električna vozila.

6.3. Kontrolirano punjenje električnih vozila

Kontrolirano opterećenje (engl. Smart Charging) može se provesti na više načina, ali u osnovi se od nekontroliranog punjenja razlikuje po smanjenom udjelu kontrole punjenja od strane korisnika pa stoga zahtjeva korisnikovo prihvaćanje takvog načina punjenja. Kako bi ovakav način punjenja mogao funkcionirati potrebna je komunikacijska infrastruktura između korisnika i distributera električne energije. Potencijalna fleksibilnost u načinima punjenja EV ponajviše ovisi o broju vozila priključenih na distribucijsku mrežu pa primjerice ako su vozila priključena ne samo kod kuće već i tijekom dana na poslu tada je potencijal višestruko veći pa je moguće i značajnije utjecati na opterećenje EES [18]. Kao što je već navedeno, kontrolirani način punjenja zahtjeva prihvaćanje od strane korisnika i to je glavni uvjet za korištenje

ovakvog načina punjenja. Prema postojećim zakonima EU, korisnici imaju pravu u bilo kojem trenutku puniti svoje vozilo što znači da za omogućavanje kontroliranog punjenja se korisnici moraju odreći određenog stupnja slobode odabira vremena punjenja svojeg vozila te da time baterija u vozilu neće biti u potpunosti napunjena u određenim trenutcima [19]. U slučaju da se EV koriste i za vraćanje električne energije u distribucijsku mrežu (više o tome u poglavlju 6.3.4.) tada korisnici moraju biti kompenzirani na temelju trošenja i degradacije baterije. Stoga, kako bi imali korisnici financijsku korist kontroliranog punjenja potrebno je uvesti i posebnu tarifu po kojoj će se obračunavati cijena električne energije (npr. vremenski zavisna fleksibilna tarifa) [20].

Strategije kontroliranog punjenja se trenutno ne koriste jer ne postoji komunikacijska infrastruktura te električna vozila još uvijek nemaju značajan udio kojim bi stvarala tehničke probleme u EES. Korisnici električnih vozila spajaju na punjenje kada god to žele i punjenje započinje istog trenutka. Iako se strategije kontroliranog punjenja još uvijek ne primjenjuju, među najistaknutijima u istraživanju i pilot projektima su sljedeće 3 strategije:

- Punjenje orijentirano na distributivnu mrežu
- Punjenje orijentirano na obnovljive izvore energije
- Punjenje orijentirano na troškove.

6.3.1. Punjenje orijentirano na distribucijsku mrežu

Kako bi se smanjilo opterećenje na lokalne distribucijske mreže uzrokovano punjenjem električnih vozila potrebno je istodobnost razdoblja punjenja smanjiti pomicanjem vremena punjenja. Strategije kontroliranog punjenja stoga često za cilj imaju smanjiti intenzitet punjenja električnih vozila izglađivanjem krivulje opterećenja i promjenom vremena punjenja u razdoblja nižeg opterećenja.

Istraživanje iz Velike Britanije pokazuje da odgađanje punjenja električnih vozila sve dok traje visoko opterećenje rezultira značajnom stabilnošću distribucijske mreže [21]. Projekcije za 2030. godinu prikazuju da povećana potražnja električne energije zbog punjenja električnih vozila neće stvarati probleme primjerice u Njemačkoj, ako se punjenje strateški planira [22].

Treba napomenuti da ovakav način punjenja može imati i negativne efekte na okoliš jer u većini EES Europe, u doba manjeg opterećenja, dominira konvencionalna proizvodnja električne

energije što uključuje visoke emisije stakleničkih plinova (npr. termoelektrane na ugljen). Pomicanjem vremena punjenja električnih vozila upravo u ta razdoblja povećava se i ispuštanje negativnih emisija plinova [18].

Negativni utjecaj punjenja električnih vozila na lokalne distribucijske mreže postat će ozbiljan problem kada električna vozila preuzmu veći tržišni udio. Nadalje, povećano korištenje nestalnih obnovljivih izvora energije (npr. solarne i vjetroelektrane) u mnogim europskim zemljama dovesti će do brzih promjena u proizvodnji električne energije te će iz tog razloga distribucijske mreže biti po opterećenjem čak i bez punjenja električnih vozila. Kontrolirano punjenje električnih vozila može pridonijeti usklađivanju nestalnih obnovljivih izvora energije i potražnjom od strane korisnika. Punjenje orijentirano na distribucijsku mrežu također može umanjiti očekivanu visoku istodobnost punjenja električnih vozila što, zbog velikog vršnog opterećenja, može postati presudno za mrežnu infrastrukturu.

Kontrolirano punjenje orijentirano na distribucijsku mrežu s ciljem smanjenja opterećenja na lokalnim distribucijskim mrežama stoga može postati vrlo bitna strategija za izbjegavanje dodatnih infrastrukturnih ulaganja, a također može pomoći i u izbjegavanju nestanka struje zbog nestabilnosti mreže i tako pridonijeti pouzdanom radu elektroenergetskog sustava.

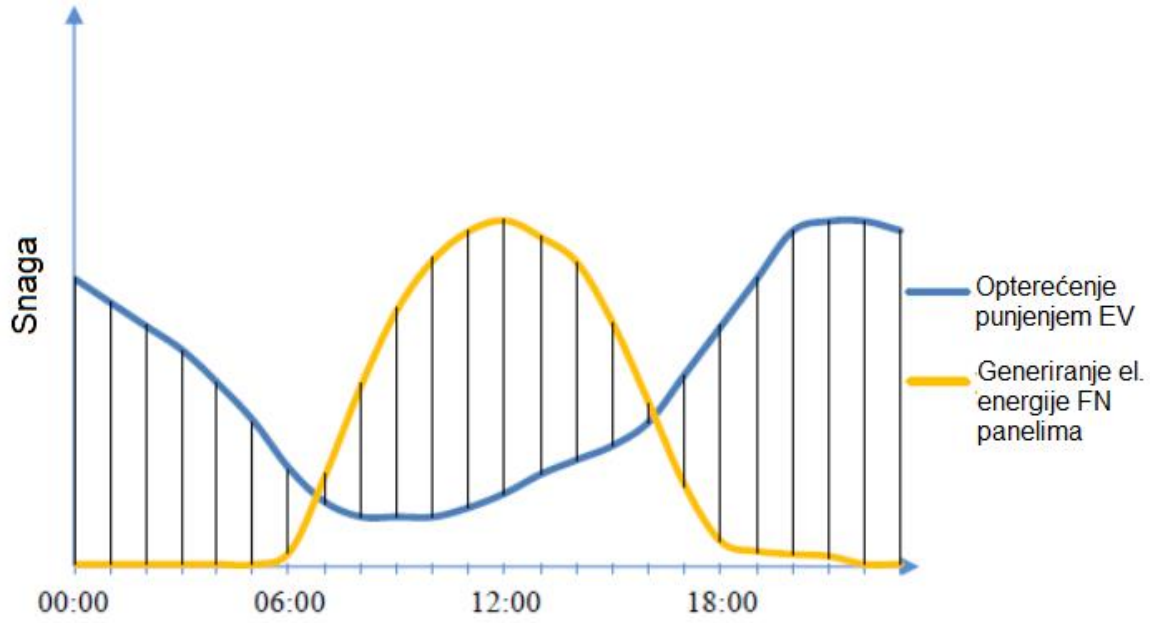
6.3.2. Punjenje orijentirano na obnovljive izvore energije

Kao što je gore opisano, ekološka učinkovitost električnih vozila ovisi o tome kako se generira električna energija kojom se ta vozila pune. U većini elektroenergetskih sustava, vrsta elektrana koje generiraju električnu energiju razlikuju se tijekom dana i noći (npr. veći udio energije dobiven putem solarnih panela tijekom dana i veći udio korištenja fosilnih goriva tijekom noći). Iz ekološke perspektive električna vozila bi trebala biti punjena u razdobljima kada obnovljivi izvori energije generiraju najviše električne energije, te bi se punjenje trebalo izbjeći kada se električna energija generira korištenjem fosilnih goriva (tijekom noći).

Potencijal za povećanje potrošnje iz obnovljivih izvora energije je relativno visok, ali ovisi o dostupnoj tehnologiji i političkim odlukama. Istraživanje nad njemačkim elektroenergetskim sustavom pokazuje da uvođenjem punjenja orijentiranog na korištenje vjetra i solarne energije kao izvora može i više nego udvostručiti korištenje obnovljivih izvora energije [23].

Kako bi se povećalo korištenje fotonaponskih panela za generiranje električne energije kojom bi se punila električna vozila potrebno je puniti vozila tijekom dana, a ne tijekom noći [24].

Slika 10 prikazuje kako su tipični obrasci opterećenja punjenjem električnih vozila i generiranje električne energije putem fotonaponski ćelija dijametralno suprotni.



Slika 10. Usporedba karakteristika generiranja el. energije FN panelima i opterećenja punjenjem EV [25]

Povezivanje punjenja EV i električne energije generirane energijom vjetra je kompleksnije zbog nepredvidljivije prirode vjetra.

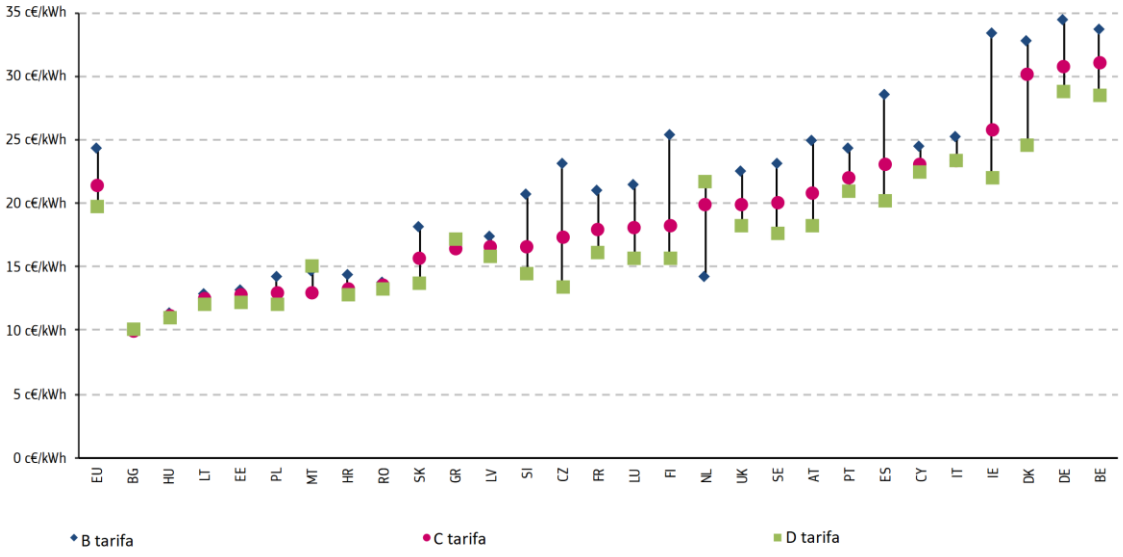
Općenito, povezivanje punjenja EV na samo jedan specifičan obnovljivi izvor energije je teško ostvariti jer će se opterećenje punjenjem mijenjati, čak i korištenjem visoke razine kontroliranog punjenja. Analize različitih obnovljivih izvora energije pokazuju da se najveća iskoristivost obnovljivih izvora energije može postići korištenjem i solarne energije i energije vjetra za generiranje električne energije jer tako vrijeme punjenja EV može biti moguće mijenjati tijekom cijelog dana generirajući vrlo malo emisija stakleničkih plinova [23].

Ukupno gledajući, korištenje obnovljivih izvora energije za punjenje EV može biti važna strategija za smanjenje emisija stakleničkih plinova no utjecaj se uvelike razlikuje od jednog elektroenergetskog sustava do drugog i povezan je sa specifičnostima određene regije.

6.3.3. Punjenje orijentirano na troškove

Kada gledamo iz ekonomske perspektive pojedinog vlasnika električnog vozila i elektroenergetskih tvrtki, kontrolirano punjenje može umanjiti troškove punjenja promjenom vremena punjenja u razdoblja nižih cijena električne energije. Stoga je punjenje orijentirano na troškove još jedna strategija kontroliranog punjenja o kojoj se često raspravlja.

Veleprodajne ili tzv. industrijske cijene električne energije određene su graničnim troškovima proizvodnje i razinom potražnje električne energije. Ekonomske koristi ostvarene punjenjem orijentiranom na troškove ovise o razlici između cijena niske i visoke tarife električne energije. Cijene električne energije za kućanstva uvelike ovise o porezima i drugim davanjima državi. Razlika cijena među tarifama je za kućanstva manja pa je i krajnji potencijal za uštedom manji no s povećanjem korištenja obnovljivih izvora energije za očekivati je da se te razlike povećaju. Slika 11 prikazuje razlike cijene električne energije za kućanstva u razdoblju niske i visoke tarife za države Europe.



Slika 11. Razlika cijena električne energije za kućanstva, ovisno o tarifi, po državama članicama EU

6.3.4. EV kao skladišta električne energije (V2G)

Kako bi se električna vozila uspješno integrirala u Europske energetske sustave, osim što je važno upravljati vremenom punjenja, baterije električnih vozila također mogu biti korištene kao skladišta električne energije iz kojih bi se po potrebi električna energija davala u distribucijsku mrežu.

Jedan od ciljeva vehicle to grid (kr.V2G) strategije je korištenje obnovljivih izvora energije, kada je moguće, za punjenje električnih vozila te korištenje te energije u distribucijskoj mreži kada obnovljivi izvori energije nisu dostupni. Do sada ova strategije je korištena samo kao koncept za istraživanja i nije implementirana u većoj mjeri.

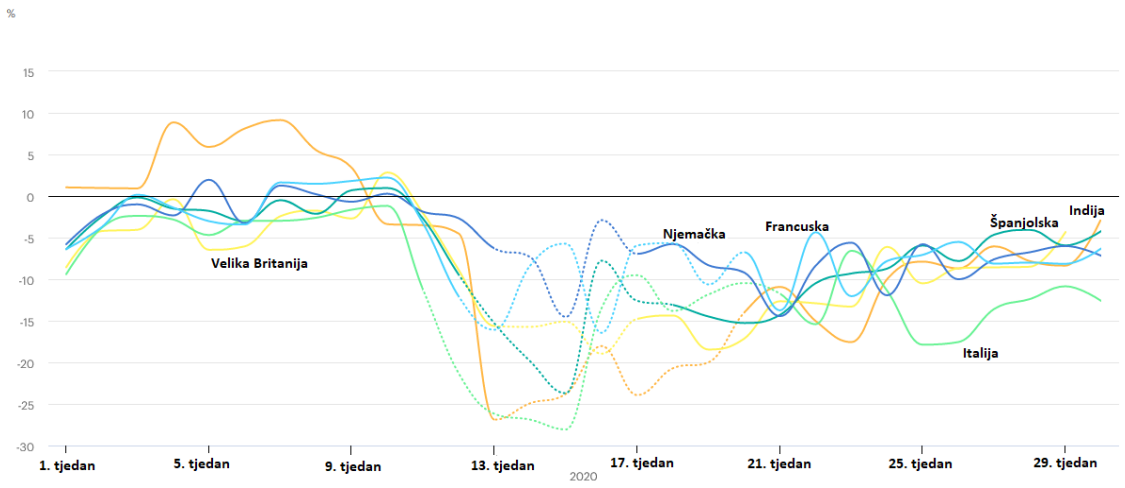
Iako bi električna vozila strategijom V2G teoretski mogla pružiti vrijedne usluge, različita istraživanja temeljena na pilot projektima i simulacijama tržišta iskazuju da su potencijalne

koristi koncepta V2G prilično ograničene [22, 27]. Jedno od glavnih ograničenja je povećanje broja ciklusa punjenja čime dolazi do veće degradacije baterije. Budući da su baterije jedan od najskupljih dijelova električnog vozila ova strategije vrlo vjerojatno neće bit isplativa osim ako se daljnjim istraživanjem cijena baterija značajno smanji [22].

Zaključno, električna vozila najvjerojatnije neće postati održiva mogućnost za skladištenje električne energije zbog visokih cijena baterija i ograničenog kapaciteta.

7. Utjecaj pandemije Covid-19 na industriju električnih vozila i njihovo korištenje

Zbog zatvaranja brojnih industrijskih postrojenja i drugih usluga tijekom karantene uzrokovane Covid-19 pandemijiom potrošnja električne energije je u nekim državama pala i za preko 25%. Popuštanjem mjera u Italiji i Njemačkoj tijekom travnja 2020. godine potražnja za električnom energijom se počela polako vraćati na staro stanje te je takav trend potvrđen i u svibnju 2020. godine kada su i države poput Velike Britanije, Francuske i Španjolske započele sa popuštanjem mjera. Do lipnja 2020. godine razlika potražnje za električnom energijom bila je manje od 10% u odnosu na isti mjesec 2019. godine. Slika 12 prikazuje promjenu u potražnji električne energije od početka pandemije. Isprekidane linije označavaju razdoblje karantene kada je ujedno potražnja za električnom energijom bila na najnižoj razini.



Slika 12. Grafički prikaz promjene potražnje električne energije u odabranim državama u odnosu na 2019. godinu [28]

Zbog povoljnih vremenskih prilika unutar Europske Unije kroz prvih 6 mjeseci 2020. godine značajno je povećana proizvodnja električne energije putem obnovljivih izvora energije u odnosu na prethodnu godinu. Utjecaj mjera povodom pandemije i veće proizvodnje električne energije putem obnovljivih izvora energije smanjile su korištenje ne obnovljivih izvora energije.

Kako su gradovi s vremenom izlazi iz karantene popuštanjem mjera, neki su postavili privremena ograničenja u javnom prijevozu i time povećali korištenje osobnih vozila i

nastajanje gužvi u prometu pa su stoga mnogi gradovi u Europi osmislili akcije promoviranja hodanja i korištenja bicikla za prijevoz te se time postavio fokus na promicanje čistog prometa.

Automobilska industrija kao ključni sektor gospodarske aktivnosti u mnogim najvećim gospodarstvima i koja zapošljava milijune ljudi kroz cijeli lanac opskrbe jako je pogođena pandemijom Covid-19 te su svi veći proizvođači automobila na neko vrijeme morali zaustaviti proizvodne linije. Za očekivati je da će se državnim poticajima nastojati ojačati gospodarstvo u državama s važnim proizvodnim kapacitetima vozila s obzirom na njihovu važnost za tržište rada. Takve mjere će neizbježno pomoći i povećanju prodaje električnih vozila, ali biti će potrebne i ciljane mjere za poticanje prodaje električnih vozila kako bi se osigurala elektrifikacija prometa u skladu s postavljenim ciljevima za budućnost.

Njemačka je u veljači 2020. godine povećala subvencije za kupnju električnih vozila te je u najvećim Europskim tržištima automobila (Francuska, Njemačka, Italija i Velika Britanija) prodaja električnih vozila u prva četiri mjeseca 2020. godine dosegla više od 145 000 prodanih vozila što je oko 90% više nego u istom razdoblju prethodne godine [29]. U Norveškoj, državi s najvećim ukupnim brojem prodanih električnih vozila, broj prodanih električnih vozila u prva četiri mjeseca 2020. godine ostao je isti kao i 2019. godine.

Početak Covid-19 pandemije je izazvao zabrinutost da bi ekonomska kriza mogla natjerati države na ublažavanje standarda za potrošnju goriva ili smanjiti mjere poticaja za električna kako bi oslobodila sredstva za druge namjene no takvo što se nije dogodilo već je primjerice Kina najavila produljenje subvencija koje je prvotno planirala ukinuti do 2022. godine. Obzirom na takav dosadašnji razvoj situacije moguće je da prodaja električnih automobila na svjetskoj razini nastavi trend rasta za razliku od ostatka cjelokupnog tržišta vozila. Prodaja električnih vozila je u prva 4 mjeseca 2020. godine već premašila prodaju električnih vozila u istom razdoblju 2019. godine te se procjenjuje da će do kraja godine dostići rekordan udio u ukupnom tržištu od preko 3% što dovodi do ukupno 10 milijuna novih električnih automobila na cestama [28].

Uzevši u obzir sve prethodno navedeno zaključuje se da je pandemija Covid-19 u konačnici pozitivno utjecala na tržište električnih vozila jer se postiže rekordna prodaja iako je ukupna prodaja vozila u padu. Smanjena potreba za električnom energijom također pozitivno utječe na električna vozila jer se elektroenergetski sustavi manje opterećuju punjenjem električnih vozila, a povećanjem proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora energije dodatno se pozitivno utječe na ekološku stranu električnih vozila.

8. Metodički dio

8.1. Analiza nastavnog programa srednje strukovne škole u sadržaju teme diplomskog rada

Tema diplomskog rada su perspektive razvoja električnih vozila. Sadržaji iz ove teme mogu se koristiti u nastavnom planu predmeta Obnovljivi izvori energije i Energetika. U sadržajnom planu nastavnog predmeta Obnovljivi izvori energije nalaze se cjeline koje se obrađuju tijekom školske godine te nastavni sadržaji koji se poučavaju. Nastavni predmet pojavljuje se u trećem i četvrtom razredu u nastavnim programima strojarski računalni tehničar, tehničar za mehatroniku i tehničar za energetiku. U nastavnom programu strojarski računalni tehničar nastavni predmet Obnovljivi izvori energije održava se dva sata tjedno odnosno 70 sati godišnje. Cilj predmeta je stjecanje znanja i vještina koje će učenicima omogućiti samostalno projektiranje, postavljanje i servisiranje uređaja koji proizvode energiju iz obnovljivih izvora te upoznati učenike s mogućnošću korištenja obnovljivih izvora energije s obzirom na energetske krize koje se periodično ponavljaju. Pozornost se pridaje i značaju te ulozi obnovljivih izvora energije u svakodnevnom životu.

Tablica 14. Nastavni sadržaj predmeta Obnovljivi izvori energije za treći razred [30]

Redni broj	Nastavna cjelina	Nastavni sadržaj
1.	Obnovljivi izvori energije u RH	-općenito o obnovljivim izvorima energije -potreba za obnovljivim izvorima energije -vrste obnovljivih izvora i princip rada -iskoristivost, prednosti i mane obnovljivih izvora -položaj Hrvatske i budućnost obnovljivih izvora energije
2.	Regulativa obnovljivih izvora energije	-Direktiva EU o obnovljivim izvorima -obnovljivi izvori energije u hrvatskim zakonima

3.	Energija biomase	-vrste i osnovne značajke biomase -tehnologija proizvodnje energije iz biomase -potencijal i proizvodnja biomase -termoelektrane na biomasu
4.	Energija Sunčeva zračenja	- potencijal Sunčeva zračenja -geometrija Sunčeva zračenja -proračun Sunčeva zračenja -proizvodnja toplinske energije -solarni toplinski sustavi -solarni kolektori -solarni spremnici -pasivni solarni sustavi -proizvodnja električne energije -solarni fotonaponski sustavi -fotonaponske ćelije -solarne elektrane -sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava -stanje i očekivani razvoj fotonaponske tehnologije
5.	Energija okoliša (geotermalna energija)	-porijeklo i priroda geotermalne energije -geotermalni resursi -korištenje geotermalne energije za grijanje -korištenje geotermalne energije za proizvodnju električne energije

8.2. Nastavna priprema

S V E U Č I L I Š T E U R I J E C I

ODSJEK ZA POLITEHNIKU

Ime i prezime: **Antonio Olajoš**

P R I P R E M A

Z A I Z V O Đ E NJ E N A S T A V E

Škola: **Tehnička škola Rijeka** Mjesto: **Rijeka**

Razred**: 4.A**

Nastavni predmet: **Obnovljivi izvori energije**

Kompleks: **Obnovljivi izvori energije u RH**

Metodička (nastavna) jedinica: **Iskoristivost, prednosti i mane obnovljivih izvora**

S A D R Ž A J N I P L A N

Podjela kompleksa na teme

Redni broj	Naziv tema u kompleksu	Broj sati	
		teorija	vježbe
1.	Općenito o obnovljivim izvorima energije	1	
2.	Potreba za obnovljivim izvorima energije	1	
3.	Vrste obnovljivih izvora i princip rada	1	
4.	Iskoristivost, prednosti i mane obnovljivih izvora	1	
5.	Položaj Hrvatske i budućnost obnovljivih izvora energije	1	

Karakter teme (vježbe, operacije) – metodičke jedinice

Informativni – usvajanje novog nastavnog sadržaja

PLAN VOĐENJA ORGANIZACIJE NASTAVNOG PROCESA

Cilj (svrha) obrade metodičke jedinice:

Upoznati učenike s mogućnostima korištenja obnovljivih izvora energije te kada i gdje je njihovo korištenje poželjno kako bi sami mogli otkriti druge mogućnosti za iskorištavanje obnovljivih izvora energije.

Ishodi učenja (postignuća koja učenik treba ostvariti za postizanje cilja):

ZNANJE I RAZUMIJEVANJE:

- Nabrojati obnovljive izvore energije
- Navesti načine iskorištavanja obnovljivih izvora energije
- Izdvojiti bitne karakteristike pojedinih obnovljivih izvora energije
- Objasniti kako koristiti obnovljive izvore energije kod punjenja električnih vozila
- Navesti prednosti i nedostatke obnovljivih izvora energije

VJEŠTINE I UMIJEĆA:

- Odabrati adekvatan obnovljivi izvor energije za danu situaciju
- Argumentirati važnost obnovljivih izvora energije

SAMOSTALNOST I ODGOVORNOST:

- Aktivno surađivati s nastavnikom pri radu

Organizacija nastavnog rada – artikulacija metodičke jedinice:

Dio sata	Faze rada i sadržaj	Metodičko oblikovanje	Vrijeme (min)
Uvodni dio	• Popularno predavanje – uvođenje u nastavno gradivo • Najava teme i uvod u novo gradivo	• Dijalog s učenicima o mogućnostima korištenja obnovljivih izvora energije • Usmeno izlaganje	10
Glavni dio	• Prikaz primjera korištenja obnovljivih izvora energije • Predstavljanje problema nekontroliranog punjenja električnih vozila i mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije kao rješenje problema	• Frontalni oblik rada; verbalna i dijaloška metoda izlaganja • Dokumentacijska metoda • Demonstracijska metoda	30
Završni dio	• Ponavljanje ključnih pojmova nastavne jedinice	• Dijalog s učenicima o ključnim pojmovima	5

Posebna nastavna sredstva, pomagala i ostali materijalni uvjeti rada:

Nastavna pomagala: računalo i projektor

Nastavna sredstva: PowerPoint prezentacija, školska ploča i kreda

Korelativne veze metodičke jedinice s ostalim predmetima i područjima:

- Energetika
- Mehanika fluida

Metodički oblici koji će se primjenjivati tijekom rada:

Uvodni dio:

- dijalog s učenicima kroz koji se ponavlja prethodno stečeno znanje o obnovljivim izvorima energije
- popularno predavanje kojime se zainteresira učenike za novu temu; usmeno izlaganje; najava teme

Glavni dio:

- metoda izlaganja i dijalog s učenicima o mogućnostima korištenja obnovljivih izvora energije
- demonstracija, prikaz slikovnih primjera primjene obnovljivih izvora energije
- dokumentacija metoda, zapisivanje pojmova s ploče u bilježnicu

Završni dio:

- metoda razgovora, dijalog s učenicima o temi i ponavljanje ključnih pojmova, letimično provjeravanje

Izvori za pripremanje nastavnika:

1. Dr. sc. Ljubomir Majdandžić, „Obnovljivi izvori energije“, Graphis d.o.o., Zagreb, 2008.
2. Dr. sc. Ljubomir Majdandžić, „Solarni sustavi“, Graphis d.o.o., Zagreb, 2010.
3. Doc. dr. sc. Damir Šljivac, doc. dr. sc Zdenko Šimić, Obnovljivi izvori energije, Publikacija u sklopu projekta AWERES

Izvori za pripremanje učenika:

1. Internet portal Obnovljivi.com
2. Bilješke s nastave

TIJEK IZVOĐENJA NASTAVE – NASTAVNI RAD

Uvodni dio sata

Na početku nastavnog sata pozdravljam učenike. Kako sam na prethodnom satu održao uvodno predavanje o vrstama obnovljivih izvora energije i principima rada, u dijalogu s učenicima ponavljamo gradivo.

Učenicima postavljam sljedeća pitanja:

- Koji su obnovljivi izvori energije?
- Kako sve možemo koristiti sunčevu energiju?

Nastojim učenike motivirati ističući važnost obnovljivih izvora energije kroz popularno predavanje.

Učenicima postavljam sljedeća pitanja:

- Zašto je važno koristiti obnovljive izvore energije?
- Možemo li iskoristiti svu energiju koja nam se nudi od Sunca?

Kroz dijalog zajednički zaključujemo da je energija kako Sunca tako i drugih obnovljivih izvora energije neograničena te u bilježnicu zapisuju naslov teme „Iskoristivost obnovljivih izvora energije“.

Glavni dio sata

Glavni dio sata započinjem prikazujući slikovne primjere korištenja obnovljivih izvora energije. Primjeri prikazuju korištenje hidroenergije u hidroelektranama, energije vjetra u vjetroelektranama, sunčeve energije u termoelektranama, fotonaponskim elektranama i toplovodnim sustavima te ih zapisujem na ploču, a učenici u svoje bilježnice. U dijalogu ih potičem na razmišljanje pitanjem da navedu primjere uređaja i strojeva kod kojih bi mogli postaviti fotonaponske ploče za napajanje kada nisu spojeni ni javnu električnu mrežu.
Među primjerima izdvajam punjenje električnih vozila i kratkim predavanjem opisujem problem nekontroliranog punjenja električnog vozila kod kojega dolazi do većeg vršnog opterećenja elektroenergetskog sustava. Od učenika tražim da probaju osmisliti način na koji

bi se taj problem riješio. Nakon 5 minuta saslušamo prijedloge i komentiramo ih, a zatim učenicima opisujem strategiju punjenja koje je usmjereno na obnovljive izvore energije.
Uz njihove primjere izdvajamo prednosti i nedostatke obnovljivih izvora energije te zajednički zaključujemo kada je određeni obnovljivi izvor energije prikladan za korištenje, a u kojim situacijama takvu energiju nije moguće iskoristiti.

Završni dio sata

U završnom dijelu sata, kroz letimično provjeravanje i dijalog s učenicima o današnjoj temi ponavljamo ključne pojmove današnjeg nastavnog sata. Kratkim dijalogom o tome gdje su u svojoj okolini vidjeli primjere korištenja obnovljivih izvora energije najavljujem temu sljedećeg sata.
Nakon ponavljanja, zahvaljujem se učenicima na suradnji i pozdravljam ih.

Izgled ploče

Iskoristivost obnovljivih izvora energije		
Energija vode	Energija vjetra	Energija sunca
• Hidroelektrane	• Vjetroelektrane	• Termoelektrane • Fotonaponske elektrane • Toplovodni sustavi

_____
(potpis studenta)

Pregledao:_____ Datum:_____

Osvrt na izvođenje:

Ocjena:_____ Potpis ocjenjivača:_____

Datum: _____

9. ZAKLJUČAK

Razvoj baterija omogućio je električnim vozilima da se po pitanju dosega mogu mjeriti s konvencionalnim vozilima, a istraživanja s novim materijalima u baterijama obećavaju još bolje performanse nakon što se savladaju prepreke za njihovo korištenje. Povećanjem udjela električnih vozila u prometu povećava se i potražnja za električnom energijom potrebnom za punjenje njihovih baterija. Kako bi se zbog povećanog opterećenja spriječili tehnički problemi unutar elektroenergetskih sustava razvijaju se strategije kontroliranog punjenja kojima bi se smanjilo vršno opterećenje, ali i djelomično umanjio utjecaj korisnika na odabir vremena punjenja električnog vozila. Strategije orijentirane na korištenje obnovljivih izvora energije za punjenje električnih vozila nude mogućnost smanjenja korištenja fosilnih goriva te samim time „čistu“ vožnju električnim vozilima. Trend rasta potražnje za električnim vozilima, čak i u doba pandemije kada ukupna prodaja automobila opada, ukazuje na svijetlu budućnost električnih vozila, a savladavanjem prepreka i nižim cijenama baterija električna vozila će biti još pristupačnija većem broju ljudi te, uzevši u obzir i ekološku stranu, mogu s vremenom u potpunosti zamijeniti konvencionalna vozila.

LITERATURA

[1] Thomas Parker's Electric Car, https://u3asites.org.uk/wolverhampton/home, 24.8.2020.

[2] BMW i3 Combines Electric Driving Pleasure with High Performance, https://www.raillynews.com/2020/06/bmw-i3-combines-the-pleasure-of-electric-drive-with-high-performance/, 24.8.2020.

[3] Hrvatska željeznička mreža, s Interneta, https://www.hzinfra.hr/naslovna/mreza-hrvatskih-pruga/, 17.srpnja 2020.

[4] Boxwell, M. The Electric Car Guide - 2015 Edition. Coventry, UK: Greenstream Publishing Limited.,2014

[5] Chan, C.C. The state of the art of electric and hybrid vehicles. 2020

[6] Palihawadana, Adeepa. (2016). Electric Vehicle Battery Management System

[7] Ruetschi, P. (2004). Aging mechanisms and service life of lead–acid batteries

[8] Fleming, F. A., Shumard, P. and Dickinson, B. (1999). Rapid recharge capability of valveregulated lead-acid batteries for electric vehicle and hybrid electric vehicle applications

[9] BU-205: Types of Lithium-ion, s Interneta, https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion, 30.7.2020.

[10] Normal and fast public charging points (2020), https://www.eafo.eu/countries/european-union/23640/infrastructure/electricity/compare, 15.8.2020.

[11] Hacker, F., Harthan, R., Matthes, F. and Zimmer, W., 2009, Environmental impacts and impact on the electricity market of a large sacle introduction of electric cars in Europe, Öko-Institut.

[12] Nobis, P., Pellinger, C. and Staudacher, T., 2011, eFlott.

[13] Falvo, Maria & Sbordone, Danilo & Bayram, I. Safak & Devetsikiotis, Michael. (2014). EV charging stations and modes: International standards. 2014 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2014.

[14] Hauke Engel, Russell Hensley, Stefan Knupfer, and Shivika Sahdev, Charging ahead: Electric-vehicle infrastructure demand (2018), https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/charging-ahead-electric-vehicle-infrastructure-demand# ,16.8.2020.

[15] http://www.honda.hr/automobili/cnd/9228/specifikacije-honda-e, 16.8.2020.

[16] First drive of the Honda E, https://www.theportugalnews.com/news/first-drive-of-the-honda-e/52966, 16.8.2020.

[17] Arhiva opterećenja EES RH, https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show, 19.8.2020.

[18] Babrowski, S., Heinrichs, H., Jochem, P. i Fichtner, W., 2014, 'Load shift potential of electric vehicles in Europe', Journal of Power Sources, 20.8.2020.

[19] Kampman, B., Braat, W., van Essen, H. i Gopalakrishnan, D., 2011, Impacts of Electric Vehicles , 20.8.2020.

[20] Schill, W.-P. i Gerbaulet, C., 2015, 'Power system impacts of electric vehicles in Germany: Charging with coal or renewables?', 20.8.2020.

[21] Lacey G., Putrus G., Bentley E., Johnston D., Walker S i Jiang T., 2013, A Modelling Tool to Investigate the Effect of Electric Vehicle Charging on Low Voltage Networks, 20.8.2020.

[22] Loisel, R., Pasaoglu, G. i Thiel, C., 2014, 'Large-scale deployment of electric vehicles in Germany by 2030: An analysis of grid-to-vehicle and vehicle-to-grid concepts', 20.8.2020.

[23] Schuller, A., Flath, C. M. i Gottwalt, S., 2015, 'Quantifying load flexibility of electric vehicles for renewable energy integration', 20.8.2020.

[24] Fattori, F., Anglani, N. and Muliere, G., 2014, 'Combining photovoltaic energy with electric vehicles, smart charging and vehicle-to-grid', 20.8.2020.

[25] Uhlig, R., Neusel-Lange, N., Zdrallek, M., Friedrich, W., Klöker, P. and Rzeznik, T., 2014, Integration of E-Mobility into Distribution Grids via Innovative Charging Strategies, 20.8.2020.

[26] Andreas Braun, Wolfgang Rid, Energy consumption of an electric and an internal combustion passenger car, 20.8.2020.

[27] Grünig, M., Witte, M., Boteler, B., Kantamaneni, R., Gabel, E., Bennink, D., van Essen, H. i Kampman, B., 2011, Impact of Electric Vehicles, 20.8.2020.

[28] Covid-19 impact on electricity, https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity, 25.8.2020.

[29] As the Covid-19 crisis hammers the auto industry, electric cars remain a bright spot, https://www.iea.org/commentaries/as-the-covid-19-crisis-hammers-the-auto-industry-electric-cars-remain-a-bright-spot, 25.8.2020.

[30] Republika HrvatskaMinistarstvo znanosti iobrazovanja, Nastavni program za 3. i 4. razred programa obrazovanja za zanimanje tehničar za energetiku - izborni predmet Obnovljivi izvori energije, 1.9. 2020.