

OTPADNE BATERIJE IZ ELEKTRIČNIH VOZILA – ODGOĐENO RJEŠAVANJE BUDUĆEG PROBLEMA

UVOD

Uvođenje i korištenje ekološki prihvatljivijih rješenja u kontekstu smanjenja emisija ugljičnog dioksida (CO₂) oslobođenog u atmosferu u najvećoj mjeri usmjeren je na sektor energetike i sektor transporta, jer su u ta dva sektora globalne emisije CO₂ najveće. To je rezultiralo i politikama koje od proizvođača motornih vozila u narednim godinama zahtijevaju povećanje udjela električnih vozila (EV) uz smanjenje udjela vozila s motorima na unutarnje izgaranje. Matematički bi to trebalo rezultirati smanjenjem emisija CO₂.

Iako se trenutno na prometnicama nalazi relativno mali broj EV, koji se pune u kućanstvima ili na dostupnim punionicama, njihov broj će s vremenom rasti, a samim time i potrošnja električne energije. Vlasnici novih EV trenutno su zadovoljni svojim doprinosom u smanjenju emisija CO₂, no što će biti za 5 do 10 godina kada se baterije na EV istroše do te mjere kada više neće biti dovoljno učinkovite? Opcija je zamijeniti bateriju ili kupiti novo EV. Recikliranje olovnih baterija je relativno jednostavno za razliku od litij-ionskih baterija koje se uglavnom koriste kod EV. Stoga će zbog kompleksnosti recikliranja ovakve vrste baterija, ali i zbog utjecaja na okoliš, biti potrebno razvijati nove tehnologije u pogonima za recikliranje.

VOZNI PARK BUDUĆNOSTI

Međunarodna izložba automobila IAA Mobility 2021. (Internationale Automobil-Ausstellung

– IAA) koja se održala od 7. do 12. rujna 2021. u Münchenu, Njemačka, ponudila je viziju proizvođača vozila u narednih pet do deset godina. Predstavljena su vozila, ali i koncepti koji su još u razvojnoj fazi svih važnijih europskih proizvođača koji žele biti prisutni na rastućem globalnom tržištu EV. Na tržištu su već prisutni manje ili više poznati proizvođači EV iz cijelog svijeta.

Uz postojeće hibride koji kombiniraju motore s unutarnjim izgaranjem; generator i električni motor, sve više je vozila koja koriste samo električne baterije za svoj pogon. Pogon na energiju iz vodikovih ćelija isto će biti zastupljeniji kada se riješe sigurnosni problemi, dok EV pokretana energijom iz solarnih ćelija još moraju povećati učinkovitost solarnih panela prije početka komercijalne proizvodnje. Kada se dovoljno razviju koncepti koji su još u testnim fazama, možemo očekivati proširenje električnog pogona s osobnih vozila na javni prijevoz, ali i na autonomna vozila bez vozača kojima upravljaju računala i sateliti, dok se trenutno u manjoj mjeri govori i o širenju na plovila te avione kako bi se i na tim područjima transporta dodatno smanjile emisije CO₂.

Dakle, za očekivati je da će se u narednim godinama smanjivati broj vozila koja koriste fosilna goriva, a povećavat će se udio EV odnosno vozila bez dodatnih emisija CO₂. Već sada se u razvijenim zemljama, koje su odlučile mijenjati svoju politiku prema fosilnim gorivima, može vidjeti porast u prodaji EV. Na globalnom tržištu najveću zastupljenost u prodanim EV imaju Europa i Azija

odnosno Kina koja je najveći proizvođač EV, ali i električnih baterija za EV.

Osim futurističkog dizajna, EV donose i nove tehnologije, a u njih su ugrađeni i razni metali odnosno rijetki minerali kako bi se kompenzirala težina cijelog vozila, jer najveći udio u težini EV imaju baterije pa karoserija, dok ostala oprema mora biti laganija kako bi se povećao domet vozila.

Bez obzira na stalni rast cijene fosilnih goriva, za trenutnu dominaciju vozila na fosilna goriva još uvijek je najzaslužnija visoka cijena EV, ograničenja u dometu, ali i postojeća infrastruktura za punjenje EV. Naime, domet od nekoliko stotina kilometara diktira kapacitet odnosno snaga baterije. Stoga je potrebno dodatno punjenje na posebnim punionicama ako se žele prevaliti veće udaljenosti, za razliku od vozila koja sa samo jednim spremnikom dizela ili benzina mogu prijeći i do tisuću kilometara. Postojeća mreža benzinskih postaja širila se desetljećima, stoga će i u ovom desetljeću s porastom EV na cestama morati rasti i broj posebnih punionica s težištem da će iste morati biti opskrbljene električnom energijom iz obnovljivih izvora. To će se sigurno promijeniti politikama koje će svaka zemlja morati donijeti, a i proizvođači baterija razvijaju sve bolje, ali i jeftinije baterije čime će dodatno padati cijena EV. U Republici Hrvatskoj (RH) na cestama je još mali broj EV, jer unatoč subvencioniranju, cijena je ta koja ograničava kupnju novih EV bez obzira na mogući interes.

Prema podacima sa službene stranice Fonda za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost (FZOEU) u RH je 2012. godine bilo svega 13 električnih automobila, dok ih je u 2020. godini registrirano preko 1.300. U 2021. godini FZOEU je osigurao 105 milijuna kuna za sufinanciranje kupnje energetska učinkovitih vozila, a nabava vozila se sufinancirala do 40 % po vozilu dok je maksimalni iznos poticaja ovisio o kategoriji. Za EV kategorije L1-L7 bilo je osigurano do 20.000,00 kuna, za plug-in hibride do 40.000,00 kuna, dok se za kupnju vozila s električnim pogonom ili na vodik moglo dobiti do 70.000,00 kuna. Ako je suditi po interesu, RH u je 2021. godini dobila 2.000 novih vlasnika EV u RH.

Kupnjom novih EV koji će potiskivati vozila na fosilna goriva doći će i do premještanja rabljenih

vozila na globalnoj karti pa je za očekivati da će sada nova vozila za pet godina i kasnije završavati u nerazvijenim zemljama, pod izlikom da su još dovoljno dobra za vožnju, čime će se emisije CO₂ i dalje nastaviti širiti globalno.

MATERIJALI KOJI SE KORISTE U IZRADI EV

Kao što je i prije napomenuto, veliki dio mase EV odnosi se na bateriju. Stoga je potrebno taj dio kompenzirati lakšim materijalima u vozilu, jer lakše vozilo znači i manju potrošnju energije odnosno veći domet. Klasične materijale poput čelika i drveta, koji su korišteni u prvim vozilima, zamijenili su aluminij i plastika, dok sadašnja vozila pa tako i EV sadrže materijale poput: grafita, kobalta, litija, magnezija i titanija, a neizostavna elektronika sadrži plemenite metale zlato, srebro, kositar i platinu. Osim navedenih, kroz razna unaprjeđenja tehnologije, u komponente se ugrađuju i materijali poput: europija (Eu), samarija (Sm), gadolinija (Gd), bizmuta (Bi), tantala (Ta), germanija (Ge), lantana (La), neodmija (Nd), volframa (W), itrija (Y), ksenona (Xe), cerija (Ce) i dr.

Radi se o metalima ili mineralima koji su rijetko zastupljeni i njihova nalazišta su samo u nekim dijelovima svijeta. Stoga se karta strateški interesantnih sirovina mijenja, a na globalnom tržištu Europa nema značajniju proizvodnju. U prvom su planu Južna Amerika, Australija, Afrika i Azija gdje Kina prednjači sa značajnim rezervama različitih rijetkih minerala i metala. Dakako da su i te rezerve ograničene, pa će u budućnosti jedini način osiguravanja dovoljnih količina sirovina biti recikliranje otpadnih EV i njihovih komponenti.

BATERIJA KAO RJEŠENJE

Još od 19. stoljeća čovjek je razvijao tehnologiju kojom bi se kretao brže i dalje, pa je nakon parnog stroja razvijan i koncept koji je uključivao električne baterije, koje je kasnije istisnuo praktičniji motor s unutarnjim izgaranjem. Najveći problem električnih baterija bio je u njihovom kapacitetu koji je ograničavao domet takvog vozila, ali i veličini baterija koje se sastoje od određenog broja baterijskih sklopova odnosno velikog broja

baterijskih ćelija. Veliki problem predstavljalo je i punjenje takvih baterija jer za tu svrhu nije bilo ni infrastrukture na prometnicama.

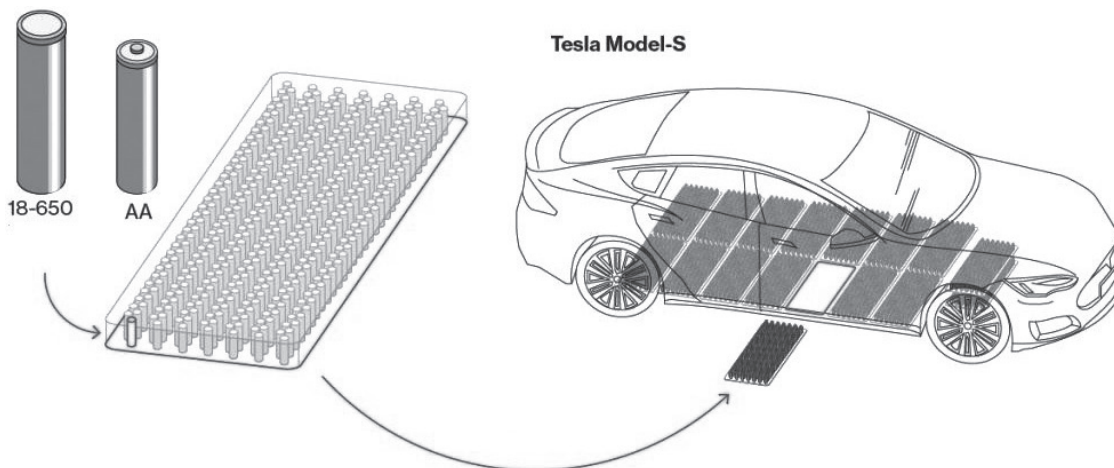
Vratimo li se na sam početak i promotrimo sastav galvanskog članka koji se sastoji od katode, anode i elektrolita, u kojem zbog mogućnosti primanja i otpuštanja elektrona između elektroda dolazi do stvaranja energije, moguće je zaključiti da sve ovisi o materijalima od kojih se izrađuju baterije. Pojavom olovno-kiselinskih baterija unaprijeđeni su današnji automobili, ali one nisu bile dovoljno dobro rješenje. Trenutno su kod EV najraširenije litij-ionske (Li-ion) baterije koje imaju veliku gustoću energije i snage, a zbog laganosti litija teže manje od ostalih baterija. Ova vrsta baterija ima i mogućnost punjenja kroz električnu mrežu bilo da se radi o priključku u kućanstvu ili na posebnim punionicama.

Najveći dio Li-ion baterije za EV, prema publikaciji *Recycling of Lithium-Ion batteries* (<https://www.researchgate.net/publication/354653006>), čine baterijski sklopovi koji su sastavljeni od većeg broja baterijskih ćelija uobičajenog napona od 1 do 4 vata (V), a svi dijelovi baterije su izmjenjivi, što omogućava popravak i ponovnu upotrebu. Kombinacijom većeg broja ćelija odnosno sklopova povećava se i napon odnosno snaga cijele baterije. Prema izvedbi, ovisno o proizvođaču, katoda Li-ion baterije može sadržavati: litij, mangan, nikal, kobalt i kisik, dok anoda može sadržavati: litij, silicij, grafit, ali i kombinaciju grafita i silicija.

Za pojednostavljenu predodžbu konstrukcije Li-ion baterije uzet je primjer EV u Europi trenutno najpopularnijeg proizvođača Tesla, čiji je Model-S prikazan na slici 1. Baterija kod ovog EV nalazi se na dnu vozila, unutar pojačanog okvira podvozja, a dimenzije baterije kapaciteta 85 kWh (prema specifikacijama proizvođača) su: duljina 210 cm, širina 150 cm i debljina 15 cm. Sveukupno 7.104 baterijskih ćelija napona 3,6 V razmješteno je u 16 baterijskih sklopova i sve skupa teži oko 540 kilograma, a jednim punjenjem moguće je prevaliti oko 400 kilometara. Slika 1 također prikazuje usporedbu jedne zasebne Li-ion baterijske ćelije izvan baterijskog sklopa u odnosu na klasični alkalnu bateriju tipa AA, koju koristimo u raznim uređajima u kućanstvu.

Najveći problem kod Li-ion baterija predstavlja mogućnost samozapaljenja zbog kemijskih reakcija u samoj bateriji. Postoji opasnost i od vanjskog, ali i unutarnjeg kratkog spoja među ćelijama ili sklopovima, dok za okoliš u smislu onečišćenja opasnost predstavlja istjecanje elektrolita iz mehanički oštećene baterije npr. prilikom sudara.

Prilikom korištenja EV baterija se može puniti električnom energijom, a to punjenje će s vremenom biti sve češće zbog tzv. „Stanja zdravlja“ (engl. State of Health) baterije, jer se upotrebom tijekom godina smanjuje učinkovitost baterije. Kada učinkovitost baterije padne ispod 80 %, moguće je izvršiti zamjenu baterijskog sklopa odnosno ćelija, što je tehnički vrlo zahtjevno, ali može biti rješenje za ponovnu upotrebu odnosno produljenje trajanja same baterije.



Izvor: <https://nashipoezda.ru/hr/tractor/kakie-akkumulyatory-ispolzuyutsya-v-tesla-kak-ustroen-akkumulyator.html>

Slika 1. Baterija EV s prikazom sklopova i ćelija

PONOVNA UPOTREBA ILI RECIKLIRANJE BATERIJA IZ EV

Postavlja se logično pitanje što s Li-ion baterijama iz EV kada im kapacitet padne na 70 ili 60 %, jer će to zahtijevati češće punjenje, umanjuje praktičnost EV, a ujedno povećava potrebu za električnom energijom što rezultira povećanim troškovima za vlasnika EV. Proizvođači EV također svojom garancijom ograničavaju razdoblje za isplativo održavanje baterije, nakon čega vlastito održavanje rabljenog vozila postaje preskupo. Analitiku mogu obavljati uglavnom ovlašteni servisi, pomoću skupocjenog softvera, a i trenutna cijena nove baterije je još vrlo visoka.

Ako se baterija iz EV zamijeni novom, smjernice preporučuju opciju ponovne upotrebe. No, tu postoje ograničenja te su predloženi različiti koncepti korištenja otpadnih baterija iz EV. Tako već postoje opcije korištenja baterija smanjenog kapaciteta za potrebe ulične rasvjete ili u kućanstvu za vrijeme izvanrednih situacija, a mogu poslužiti i za pohranu električne energije kod sustava koji struju proizvode pomoću sunca i vjetra. Primjenu su našle i kao dodatni izvor napajanja za rashladne uređaje u kamionima-hladnjačama u vremenu kada kamion ne radi pa se isključuje i napajanje rashladnog uređaja za teretni prostor. Baterijski sklopovi manjeg kapaciteta mogu se također prilagoditi izvedbi manjih baterija za pogon skladišnih vozila koja prelaze uglavnom male udaljenosti, a imaju tu prednost da se mogu puniti dulje i češće strujom iz kućne utičnice.

Već i sam sastav materijala ugrađenih u EV ukazuje na kompleksnost postupaka recikliranja, dok tehnologiju imaju tek rijetki, a ovisno o primijenjenim postupcima mogu biti ekološki vrlo zahtjevni. U publikaciji navedenoj u prethodnom dijelu teksta, navode se postupci recikliranja Li-ion baterija mehaničkim postupcima, pirolizom, pirometalurgijom i hidrometalurgijom. Čistim pirometalurškim postupcima moguće je reciklirati oko 30 % materijala, a s ostalim trenutno raspoloživim tehnologijama taj udio raste na 70 %. Samo rijetki obrađivači su iznad tih udjela i u tome prednjači njemački obrađivač koji kombinacijama navedenih postupaka uspijeva reciklirati > 90 % materijala iz Li-ion baterija.

To nas dovodi do zaključka da će Europa imati tehnologiju za recikliranje rijetkih metala i minerala,

a ujedno bi mogla osigurati i najveći izvor sekundarnih sirovina, s obzirom na visok udio prodanih EV koje će trebati reciklirati, nakon što završi njihov vijek trajanja.

POSTUPANJE S OTPADNIM BATERIJAMA I AKUMULATORIMA U RH

RH je donošenjem Pravilnika o baterijama i akumulatorima i otpadnim baterijama i akumulatorima (N.N., br. 11/2015.) u svoj pravni poredak prenijela Direktivu 2006/66/EZ, čime su naši propisi usklađeni s propisima u Europskoj uniji (EU). Ovim pravilnikom propisani su postupci i ciljevi gospodarenja s otpadnim baterijama i akumulatorima, s težištem na njihovo odvojeno skupljanje i obradu. Propisani su uvjeti kod stavljanja proizvoda na tržište kao i obveze njegovog označavanja što uključuje i označavanje ambalaže.

S obzirom na protek od 15 godina od donošenja Direktive 2006/66/EZ te značajnu promjenu u zastupljenosti EV na području EU-a, zbog specifičnosti baterija u EV propisi će morati biti izmijenjeni. Važeći pravilnici i Direktiva u obzir uzimaju uglavnom štetne tj. za okoliš opasne tvari poput žive, olova, nikla i kadmija. Radi praćenja ponovne upotrebe otpadnih baterija iz EV, EU predlaže uvođenje QR kodova i putovnica za baterije u EV, kao i njihovo praćenje putem električnog sustava za razmjenu informacija.

U RH postoji funkcionalan i učinkovit sustav gospodarenja otpadnim baterijama i akumulatorima, jer se prilikom stavljanja na tržište RH plaća naknada po kilogramu novog proizvoda. S obzirom na plaćene naknade krajnji korisnik odnosno posjednik baterije, može bez plaćanja naknade predati svoju otpadnu bateriju i akumulator ovlaštenom skupljaču. Otpadne baterije i akumulatore dužni su preuzeti i sami prodavatelji u prodajnom prostoru koji je označen propisanom oznakom „Preuzimamo otpadne baterije“.

Na području RH ugovore s FZOEU za skupljanje otpadnih baterija i akumulatora ima 7 koncesionara, dok dozvolu i koncesiju za obradu i recikliranje imaju samo 2 ovlaštenika. Za izvoz o vlastitom trošku ovlaštena osoba mora imati posebnu dozvolu koju izdaje Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. Uglavnom se postižu za-

crtani ciljevi u skupljanju i recikliranju, a FZOEU na temelju sklopljenih ugovora i ostvarenih ciljeva isplaćuje novčana sredstva koncesionarima u sustavu gospodarenja otpadnim baterijama i akumulatorima.

Oporabitelj ili reciklažer preuzima skupljene baterije i akumulatore od skupljača bez naknade i prilikom preuzimanja ovjerava prateći list. Obrada minimalno treba uključivati uklanjanje svih tekućina i kiselina. U skladu s propisima obrada i svako skladištenje, uključujući privremeno skladištenje, u objektima za obradu treba se obavljati na lokacijama s nepropusnim površinama i prikladnim vodonepropusnim pokrovom ili u prikladnim spremnicima. Svi sudionici u sustavu gospodarenja otpadnim baterijama i akumulatorima dužni su voditi Pravilnikom propisanu evidenciju te dostavljati obrasce i izvješća nadležnim tijelima.

U RH recikliraju se olovno-kisele, nikal-kadmijske baterije i akumulatori te ostale baterije i akumulatori za koje postoje dostupne tehnologije, a što se ne oporabi u našim pogonima uglavnom odlazi na uporabu u Njemačku, Francusku, Austriju i Sloveniju. Za sada nisu dostupni podaci o skupljanju odnosno recikliranju Li-ionskih baterija iz EV. No, za pretpostaviti je da se radi o vrlo malom broju otpadnih baterija iz EV te zbog toga trenutno ne postoji znatniji interes za kupnju tehnologije i gradnju novih pogona za recikliranje.

ZAKLJUČAK

Vozni park u Europi će se u narednih 5 do 10 godina bitno izmijeniti, a na međusobni omjer EV i vozila pokretanih fosilnim gorivima uvelike će utjecati cijena novih EV, nove politike, ali i izgrađenost infrastrukture za punjenje EV izvan kućanstva. Veći broj EV trebao bi pozitivno utjecati na smanjenje emisija CO₂, ali pod uvjetom da električna energija za punjenje baterija EV dolazi iz obnovljivih izvora poput sunca, vjetra i vode.

Iako je trenutni udio EV na cestama Europe relativno nizak, neke zemlje prednjače u prodaji EV i tehnički gledano, takve zemlje će imati i veći broj

EV kod kojih će uskoro trebati mijenjati baterije. Primjenjujući koncept cirkularne ekonomije bit će neophodno odrediti daljnji tijek baterije odnosno hoće li se ista moći ponovno upotrijebiti u neke druge svrhe ili će se morati reciklirati, jer odlaganje nije dopuštena opcija.

Smanjena učinkovitost baterije EV može se povećati izmjenom sklopa i ćelija, a baterija odstranjena iz EV će u budućnosti, razvojem idejnih rješenja, naći svoje mjesto i svrhu izvan sektora prijevoza. Upotrebom u drugim sektorima znatno će produljiti svoj vijek trajanja do trenutka potpunog pražnjenja bez mogućnosti dopunjavanja, kada će morati ići na recikliranje.

Za sada se recikliraju manje količine uglavnom oštećenih ili istrošenih Li-ion baterija, a s vremenom će zbog sadašnje povećane prodaje EV rasti i broj otpadnih baterija. Veće količine baterija značit će i veći interes za recikliranjem, jer bi se u budućnosti najbolje raspoloživim tehnologijama mogle dobivati značajne količine sekundarnih sirovina koje uključuju rijetke metale i minerale kojih u Europi nema. Za sada samo rijetke tvrtke imaju znanje i tehnologiju za recikliranje Li-ion baterija i moći će u budućnosti unovčiti „know-how“, jer će i druge zemlje u okruženju htjeti koristiti učinkovitu tehnologiju u postupcima za recikliranje. Recikliranjem će se moći stvarati vlastite zalihe rijetkih metala i minerala za novu proizvodnju, jer će na globalnom tržištu sirovine postati sve skuplje, kako se prirodne rezerve budu smanjivale.

Dakle, trenutno se u EV koriste materijali koji na kraju vijeka trajanja daju dodanu vrijednost takvim otpadnim vozilima i baterijama, a trenutno nemamo dovoljno raširenu i učinkovitu tehnologiju za njihovo recikliranje. Upravo to upućuje na činjenicu da ćemo u RH taj problem morati rješavati u budućnosti ili će nam ga rješavati „drugi“. Nažalost, „drugi“ će nam to skupo naplaćivati, sve do trenutka dok sami ne stvorimo uvjete za učinkovito recikliranje. Tome u prilog govori trenutna praksa izvoza opasnog otpada radi spaljivanja, odnosno postupanje s ambalažnim otpadom, koji uredno skupljamo, a onda uglavnom izvezemo na recikliranje u druge zemlje.

dr. sc. Branimir Fuk, dipl. ing. rud.