

## ULOGA VODIKOVIH GORIVNIH ČLANAKA U PROCJENI RAZVOJA PROMETNOG SEKTORA U REPUBLICI HRVATSKOJ<sup>1</sup>

*Obzirom na svijest o globalnom zatopljenju i važnosti zaštite okoliša, trendovi na tržištu danas su takvi da je vodik sastavni dio gotovo svih energetske strategije, te europskih i svjetskih direktiva. Tako je EU izdala direktivu po kojoj je potrebno osigurati protočnost vozila na vodik na način da se osigura punjenje vodika, odnosno instalacija punionica vodika na svakih 300 km do 2025. godine. Velike svjetske naftne kompanije i automobilska industrija podupiru takav razvoj događaja jer se već prilično jasno razabire kraj naftne ere i to ne toliko zbog nedostatka rezervi koliko zbog ugrožavanja okoliša.*

### MOTIVACIJA

Glavna motivacija za ovaj rad su klimatske promjene i to u najvećoj mjeri današnja trenutna koncentracija ugljikovog dioksida (CO<sub>2</sub>). Koncentracija CO<sub>2</sub> danas iznosi oko 400 ppm i nikada u povijesti čovječanstva nije bila viša, a što je zorno prikazano na slici 1 gdje je 1950. godina postavljena kao početna nulta godina.

<sup>1</sup> Budući je usvajanje ispravne terminologije od gotovo jednake važnosti kao i razvoj same tehnologije, ovdje se želi istaknuti pravilno korištenje prijevoda termina s engleskoga na hrvatski jezik:

*Engleski*            *Hrvatski*

FUEL CELL = Gorivi članak

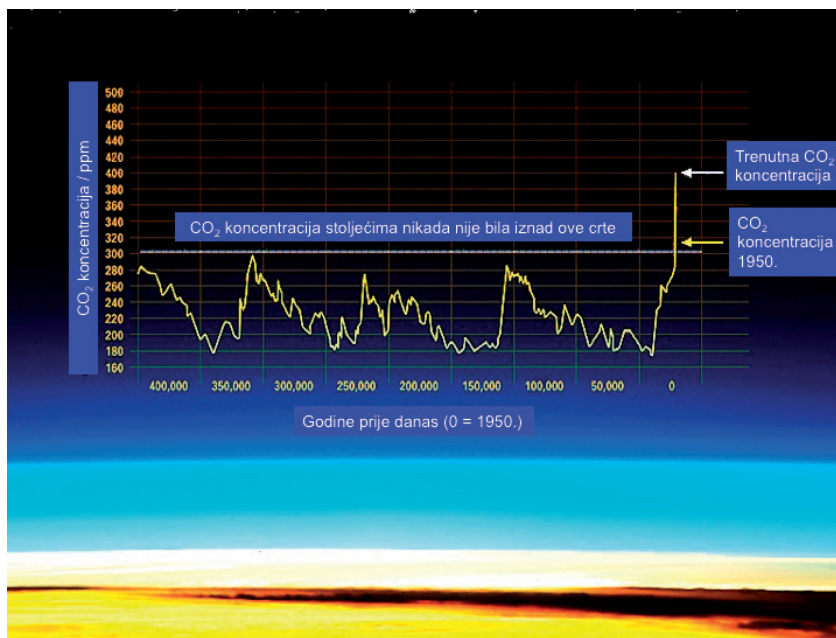
= Gorivna ćelija

= Goriva ćelija

= Ćelija goriva

= GORIVNI ČLANAK ✓

FUEL CELL STACK = SVEŽANJ GORIVNIH ČLANAKA ✓



**Slika 1.** Promjena koncentracije CO<sub>2</sub> kroz godine (0 = 1950. godina) [1]

Na temelju kompleksnog matematičkog modela, ovakav scenarij grupa znanstvenika pod okriljem think-tank organizacije Rimski klub predvidjela je prije 40 - ak godina. Prema njihovim rezultatima, granice rasta bile bi dosegnute 2030. godine. I zato, u vidu današnjih energetske, klimatskih i ekoloških promjena, jasno je da je postojeća energetska situacija, koja je temeljena na fosilnim gorivima, neodrživa. S tim u vezi, znanstvenici diljem svijeta u suradnji s industrijom danas istražuju potencijalne zamjenske tehnologije te se nude različita rješenja. U moru predloženih čistih rješenja i tehnologija koje obećavaju, posebno se istaknuo vodik kao spremnik energije, odnosno energetske vektor, odnosno alternativno gorivo. Obzirom na svijest o globalnom zatopljenju i važnosti zaštite okoliša, trendovi na tržištu danas su takvi da je vodik sastavni dio gotovo svih energetske strategija i europskih direktiva [2]. Također, ovdje je vrlo važno naglasiti da vodik nije izvor energije, nego je vodik, kako je prethodno navedeno, spremnik energije. I upravo zbog svoje značajke učinkovite pohrane energije, vodik je izvrsna poveznica (link) prema obnovljivim izvorima energije (OIE) kao intermitentnim (promjenljivim) izvorima energije. Vodik se može koristiti u kemijskoj industriji i kućanstvima, zatim u motorima s unutarnjim izgaranjem, u plinskim turbinama, a može ga se i

spaljivati na gorionicima generatora pare, no njegova najatraktivnija primjena je u vodikovim gorivnim člancima. Vodikovi gorivni članci su elektrokemijski uređaji u kojima se elektrokemijskim izgaranjem vodika s kisikom kao glavni produkt dobiva električna energija, a jedini nus produkti su čista voda i toplina.

Milijarde dolara već su potrošene na znanstvena istraživanja i razvoj vodikovih gorivnih članaka koja su uz privatni sektor financirale vlade EU (Njemačka, Francuska, Velika Britanija, Italija), SAD-a, Kanade i Japana. U velikom broju zemalja već je izgrađena i djelimična infrastruktura potrebna za vodik.

Danas su trendovi razvoja vodikovih tehnologija u razvijenom dijelu svijeta vrlo visoki, a očekuje se da će se i dalje povećavati. Obzirom da transport ima najviše udjela u zagađivanju okoliša, osnovne potrebe koje je potrebno promovirati i zagovarati su prijelaz na čistiji transport, ali i čistiju energiju uopće, uključujući i visoku integriranost i međupovezanost sustava. Danas se kao alternativa nude električna vozila. No, njihovi glavni nedostaci su dugo vrijeme punjenja i ograničeni broj ciklusa punjenja, masa baterije i drugo. Rješenje koje se ovdje promovira je kvalitetnije i bolje u toj mjeri što je vodik moguće pohraniti u spremnicima s većom energetsom gustoćom i većom pouzdanošću, a vrijeme punjenja vodikovih vozila je tek 3-4 minute.

Odabrane tehnologije proizvodnje i korištenja vodika predstavljaju zatvoreni kružni ciklus vodika u prirodi bez popratnih štetnih emisija na okoliš. To se osigurava na način da se vodik proizvodi procesom elektrolize vode u elektrolizatoru korištenjem OIE, pohranjuje i koristi u vodikovim gorivnim člancima.

Procjena automobilske kompanije je da sada treba ići i s električnim vozilima na baterije i s električnim vozilima na vodik. Male kompanije poput Tesla Motors razvijaju samo električna vozila na baterije, a velike kao što su Toyota, Honda i druge razvijaju električna vozila i na baterije i na vodikove gorivne članke. Problem je za vodikova električna vozila nedostatak vodika na svakom koraku, odnosno nedostatak izgrađene infrastrukture (punionice vodika) na cestama kako bi se vodik osigurao na svakom koraku. Zato se sada stvaraju konzorciji svjetskih proizvođača automobila, proizvođača vodika (npr. Linde u Njemačkoj) i državnih službi s ciljem zajedničkog ulaganja u vodikovu infrastrukturu.

Primjeri dobre prakse su, npr. Slovenija gdje je blizu Bohinja instalirana jedna eksperimentalna punionica za automobile na vodik, a u Njemačkoj, Francuskoj, Velikoj Britaniji, Italiji, u skandinavskim i brojnim drugim zemljama diljem svijeta instaliran je cijeli niz vodikovih punionica što kao testna postrojenja što za komercijalnu primjenu. Dakle, tehnologije vodika, koje podrazumijevaju tehnologije proizvodnje, distribucije, pohrane i korištenja vodika, u tom kontekstu imaju vrlo važnu ulogu.

## PREPORUKE ZA REPUBLIKU HRVATSKU

Znanstvena istraživanja vodikovih gorivnih članaka u sprezi s OIE, demonstracijski projekti i njihova primjena prisutni su u gotovo svim okvirnim programima EU kao jedna od sedam ključnih tehnologija 21. stoljeća. Zbog toga je važno da se ta new age tehnologija na vrijeme prihvati i uvrsti u energetska strategija Republike Hrvatske (RH) te da se osigura potpora razvoju vodikovih tehnologija kako bi se proširila svijest o važnosti prihvatanja i uvođenja istih.

Primjena vodika kao energetskog nositelja nezaobilazna je u elektroenergetici za stacionarna postrojenja, a uz kogeneraciju najučinkovitiji je i najčišći način pretvorbe drugih energenata u električnu energiju. Aktiviranje akademske zajednice, razvojno istraživačkih instituta i poduzetnika, uz sufinanciranje iz javnih, državnih i europskih fondova, nužni su za popularizaciju i prihvaćanje novih tehnologija. No, nužno je i uključivanje industrije u proizvodnju komponenti i opreme s visokim udjelom znanja, a sve radi osiguranja radnih mjesta i gospodarskog razvoja RH.

Kada se govori o čistijem transportu, trenutno se na tržištu RH polagano pozicioniraju električna vozila. No, uz spomenuti glavni nedostatak višesatnog punjenja pojavljuje se i problem predimenzioniranosti baterija i problema njihove pohrane kao otpada. Električna energija koju baterije koriste dolazi izvorno najvećim dijelom iz termoelektrana na fosilna goriva, dakle uz popratnu emisiju CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>-a. Zato se u dogledno vrijeme očekuje zamjena vozila s baterijskim električnim pogonom vozilima s vodikovim gorivnim člancima, odnosno električnim vodikovim vozilima. Zamjena je diljem svijeta već polagano i započela, bilo u transportu bilo u općoj energetici. Vrlo uskoro će se dogoditi zapravo domino efekt prijelaza na čistiji transport gdje će vodik igrati značajnu ulogu.

Ukoliko se ova tehnologija prihvati na vrijeme, RH može razviti vlastitu strategiju implementacije vodikovih tehnologija te se na taj način promovirati kao zemlja svjesna važnosti održivoga razvoja i zaštite okoliša. Time se širom otvaraju vrata za ulazak na konkurentno tržište znanja unutar europskog, ali i svjetskog prostora. S druge strane, u svijetu su vodikove tehnologije u usponu, pa tako vodik kao gorivo igra vrlo važnu ulogu u svim velikim automobilskim industrijama koje su već proizvele automobile koji koriste vodik kao gorivo, bilo u maloserijskoj bilo u višeserijskoj proizvodnji.

RH se pomalo već okreće zelenim tehnologijama te je interes hrvatskog gospodarstva za tim tehnologijama velik, ali klimu za razvoj i primjenu stvara državna vlast kroz razvojnu, zakonodavnu i poreznu politiku. Na slici 2 prikazan je scenarij rasporeda vodikovih punionica diljem RH čiji je broj dobiven na temelju

predviđenih 12 milijuna uglavnom motoriziranih turista. Na temelju toga proračunata je potreba za 19 fotonaponskih (FN) polja iz kojih bi se dobivala električna energija direktnom pretvorbom sunčeve u električnu energiju, te 43 elektrolizatora za proizvodnju vodika procesom elektrolize vode [3]. Na taj način osigurava se proizvodnja vodika bez popratnih štetnih emisija.



Slika 2. Raspored FN polja i vodikovih punionica u RH [3]

Uzmemo li u obzir milijunske brojeve motoriziranih, pretežno europskih, turista koji će u RH dolaziti sve više koristeći nova vozila, potpuno je jasno da treba ubrzati postavljanje punionica za vodikove automobile. To će nesumnjivo doprinijeti i povećanju broja domaćih vodikovih automobila. Kao veliki poticaj, u prilog

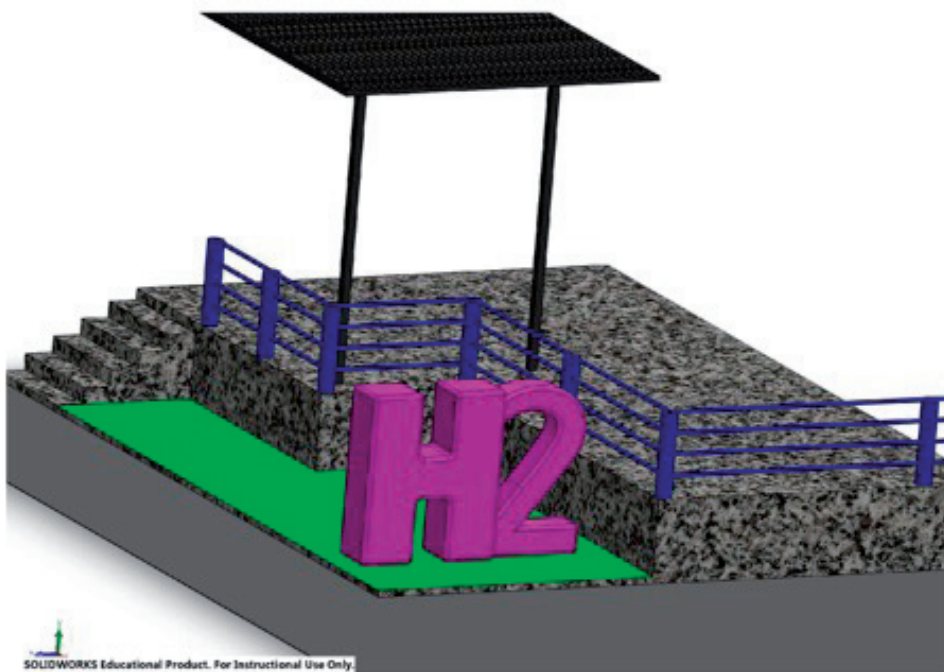
tome govori i činjenica da je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu razvijen prvi hrvatski bicikl na vodik koji je prikazan na slici 3, a u tijeku je i projekt izrade i instalacije prve hrvatske punionice vodika.



**Slika 3.** Prvi hrvatski bicikl na vodik

Bicikl na vodik je električni bicikl koji električnu energiju potrebnu za pogon elektromotora dobiva iz svežnja gorivnih članaka. Na prvom hrvatskom biciklu na vodik instaliran je svežanj gorivnih članaka s protonski izmjenjivom membranom (PEM) ukupne snage 300 W, te metalni hidrid kao spremnik vodika.

Nadalje, kako je prethodno navedeno, u tijeku je projekt izrade i prve hrvatske punionice vodika čiji je izgled prikazan na slici 4. Radi se o projektu koji je proglašen najboljim projektom u kategoriji Inovacije na natječaju Hrvatskog Telekomu. Punionica je projektirana kao jedan potpuno autonomni sustav unutar kojega će se električna energija potrebna za proizvodnju vodika dobivati direktnom pretvorbom sunčeve u električnu energiju preko FN modula. Odabrani proces proizvodnje vodika je elektroliza vode u elektrolizatoru kao jedini komercijalni proces proizvodnje vodika bez popratnih štetnih emisija [2, 4]. Originalni i inovativni izgled prve hrvatske punionice vodika zaštićen je kao intelektualno vlasništvo na nacionalnoj (žig) i međunarodnoj razini (dizajn) [5].



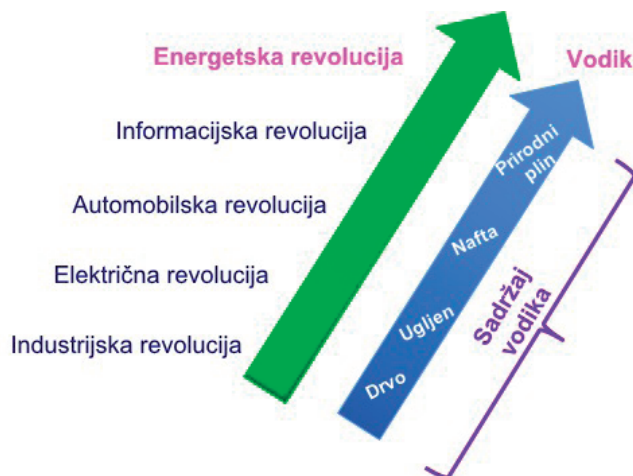
**Slika 4.** Izgled prve hrvatske punionice vodika; zaštićeno intelektualno vlasništvo: *Original Registration 1999 Act, Bulletin No. 33/2018, International Registration Number DM/102 305* [5]

Projekt prve hrvatske punionice vodika zasniva se na ekološkom rješenju korištenja sunčeve energije za proizvodnju alternativnog goriva, odnosno vodika za čistiji transport čime će se smanjiti zagađenje zraka i unaprijediti kvaliteta života u gradovima. Glavni motivacijski faktor je Pariški sporazum o klimatskim promjenama kojim se porast temperature želi ograničiti na 1,5 °C. Instalacijom vodikove punionice na pogon sunčevom energijom, kao glavnom tehnološkom okosnicom projekta, želi se osigurati autonomija prvog hrvatskog bicikla na vodik, te potaknuti uvođenje automobila na vodik na hrvatske ceste [6].

## ZAKLJUČAK

Čini se da ćemo u bližoj budućnosti imati na cestama istovremeno sve generacije vozila, ali ipak već nakon 2025. godine za očekivati je drastičan pad broja vozila na pogon klasičnim gorivima i veliki porast električnih vozila diljem svijeta, bilo na vodik bilo na baterije. Vozila s vodikom prevladavat će onog trenutka kada se riješi pitanje infrastrukture (punionice), odnosno masovna proizvodnja i distribucija vodika. Dakle, RH bi trebala pratiti svjetske trendove u ovom području i biti spremna na to.

Istovremeno, opravdano je očekivati da će RH kao turistička destinacija s ogromnim potencijalom morati omogućiti prihvat vodikovih vozila i na kopnu i na moru. Tehnologija se u razvijenom svijetu razvija eksponencijalno i ona je u političkom fokusu jer je uvjet opstanka i zadržavanja postojećih globalnih pozicija gospodarstva (ekonomije) jedne države. Uvođenjem vodika kao jednog od rješenja za smanjenje štetnih utjecaja na okoliš, nalazimo se na pragu evolucije moderne civilizacije (slika 5) u kojoj dominira energetska revolucija temeljena upravo na vodiku.



Slika 5. Evolucija moderne civilizacije

Najave vodećih proizvođača automobila na vodik kao i tehnološka spremnost tih vozila za širu komercijalizaciju uz ogroman globalni pritisak za sprječavanje katastrofalnih klimatskih promjena su dovoljni razlozi da se u pogledu nastupanja ere vodika uistinu bude optimist. Vozač koji razumije kako radi motor s unutarnjim izgaranjem i što znači globalno zagrijavanje već će, vozeći klasični automobil, proizvesti manje CO<sub>2</sub>, nego onaj koji to ne zna. Takav će i prije prijeći na nova vozila s manjim emisijama. Napokon, široko obrazovani čovjek sam po sebi teže postaje društveni i politički negativac.



### POPIS LITERATURE

1. [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/](https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/) (*Pristup: 19. studenoga 2018. godine*).
2. Ankica Đukić, Proizvodnja vodika elektrolizom vode pomoću sunčeve energije i fotonaponskoga modula, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2013.
3. Mihajlo Firak, Ankica Đukić, Hydrogen transportation fuel in Croatia: Road map strategy, *International Journal of Hydrogen Energy* 41 (2016) 13820-13830.
4. Ankica Đukić, Autonomous hydrogen production system, *International Journal of Hydrogen Energy* 40 (2015) 7465-7474.
5. <http://www.wipo.int/designdb/hague/en/showData.jsp?&SOURCE=HAGUE&KEY=D084591&LANG=en&NO=21&TOT=41> (*Pristup: 19. studenoga 2018. godine*).
6. <http://hydrogen.hr/en> (*Pristup: 19. studenoga 2018. godine*).
7. Frano Barbir, PEM Fuel Cells: Theory and Practice, Academic Press, 2005.

## SAŽETAK

### ULOGA VODIKOVNIH GORIVNIH ČLANAKA U PROCJENI RAZVOJA PROMETNOG SEKTORA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Gospodarstvo zasnovano na vodiku sinonim je za održivi energetska sustav u kojemu čisti vodik zamjenjuje fosilna goriva – ugljikovodike. Da bi tako zasnovano gospodarstvo bilo uspješno i održivo, vodik je potrebno proizvoditi korištenjem obnovljivih izvora energije. Jedan od načina koji se preporuča je proizvodnja vodika procesom elektrolizom vode korištenjem sunčeve energije. U zadnjih 10 – ak godina velika su ulaganja u razvoj tehnologija za dobivanje električne energije iz obnovljivih izvora energije što zahtijeva razumijevanje tih sustava. Sunčeva energija, odnosno tehnologija koja koristi sunčevu energiju, iako s relativno niskim stupnjem učinkovitosti, ima ogroman prostor za razvoj. Nadalje, implementacija sunčeve tehnologije (direktna pretvorba sunčeve u električnu energiju) obuhvaća tržište u vrlo širokim razmjerima. Budući fotonaponski članci mogu proizvoditi energiju samo danju kada ima sunčevog ozračenja, proizvedenu energiju potrebno je pohraniti i koristiti po noći. Postojeća tehnologija pohrane električne energije je nedovoljno razvijena i vrlo često skupa što predstavlja bitno ograničenje. U tom kontekstu, kao rješenje pohrane energije, razvija se tehnologija vodika s naglaskom na proizvodnji vodika korištenjem obnovljivih izvora energije s primjenom bilo u mobilnim (transport) bilo u stacionarnim (podrška) sustavima.

**Ključne riječi:** Vodik; Gorivni članci; Obnovljivi izvori energije; Sunčeva energija; Čisti transport.

## ABSTRACT

### ROLE OF HYDROGEN FUEL CELLS IN THE ASSESSMENT OF THE TRANSPORT SECTOR DEVELOPMENT IN THE REPUBLIC OF CROATIA

Hydrogen economy is the synonymous for sustainable energy system where pure hydrogen replaces fossil fuels – hydrocarbons. In order to be successful and sustainable hydrogen economy, hydrogen should be produced using clean processes coupled with renewable energy sources. One of the recommended technique is the hydrogen production via process of water electrolysis using solar energy. In the last 10 years, there are great investments in technology development to get electrical energy from renewable energy sources. Although with a relatively low efficiency, solar energy, i.e. technology that uses solar energy, has a huge room for development. Thus, the implementation of solar technology (direct conversion of solar into electrical energy) covers the market of wide scale. Since photovoltaic cells can only produce energy during the day, the generated energy needs to be stored and used at night. Existing storage technology is insufficiently developed and very often expensive. Due to this fundamental limitation of existing storage technology, hydrogen technology as one of the efficient energy storage solutions, has been developing with an emphasis on hydrogen production using renewable energy sources either in mobile (transport) or stationary (back-up) applications.

**Key Words:** Hydrogen; Fuel cells; Renewable energy sources; Solar energy; Clean transport.