

IZVJEŠĆE I ZAKLJUČCI

10. sjednice Gospodarskog vijeća HATZ-a

10. sjednica Gospodarskog vijeća HATZ-a održana je 20. ožujka 2025. godine s trajanjem 13:00 – 16:00, novi pogon poduzeća Altpro, Nova Gorica (Vukomerička ulica 1c). Tema za raspravu na ovoj sjednici bila je **Primjena vodikove tehnologije u tračničkim vozilima.**

Prisutni članovi Gospodarskog vijeća: Zvonimir Viduka - vlasnik Altproa, Darinko Bago, prof. dr. sc. Slavko Vidović, mr. sc. Željko Goja, Alojzije Jukić i prof. emer. dr. sc. Nedjeljko Perić – predsjedatelj Gospodarskog vijeća HATZ-a.

Prisutni po funkciji: prof. dr. sc. Bruno Zelić - potpredsjednik HATZ-a

Gosti na sjednici: prof. dr. sc. Stjepan Lakušić - rektor Sveučilišta u Zagrebu, Ivica Jakić, prof. dr. sc. Ivan Juraga, dr. Vladimir Jelavić, dr. sc. Darko Hecer, dr. sc. Mario Perić, izv. prof. dr. sc. Ankica Kovač, prof. dr. sc. Nenad Bolf, dr. sc. Srećko Herceg, prof. dr. sc. Mario Vašak, prof. dr. sc. Maleden Nikšić, Petar Milas.

Dnevni red bio je kako slijedi:

1. Otvaranje sjednice i uvod u tematiku sjednice (Nedjeljko Perić, 10 min)
2. Program razvoja i primjene vodikove tehnologije u poduzeću Altpro – željeznički program (Zvonimir Viduka, 20 min)
3. Odrednice studije plana razvoja i primjene hrvatske strategije za vodik do 2050. godine s osvrtom na željeznički prijevoz (Vladimir Jelavić, Darko Hecer, Ekonerg, 15 min)
4. Akademska istraživanja povezana s vodikovom tehnologijom
 - 4.1. Istraživanja i primjene vodikove tehnologije na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu (Ankica Kovač, 10 min)
 - 4.2. Pilot postrojenje za proizvodnju i pohranu vodika na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu (Nenad Bolf, Srećko Herceg, 10 min)
 - 4.3. Laboratorij za sustave obnovljivih izvora energije (LARES): Projektiranje temeljeno na optimizaciji, planiranje i upravljanje zgradama i infrastrukturnim sustavima (Mario Vašak, 10 min)
5. Rasprava (25 min)
6. Razgledavanje pogona Altpro u Velikoj Gorici (20 min)
7. Rasprava uz ručak (60 min)

U svome je uvodnom obraćanju na početku sjednice predsjedatelj Gospodarskog vijeća obrazložio dugoročni značaj i izazove povezane s vodikovom tehnologijom, s posebnim osvrtom na primjenu vodikove tehnologije u tračničkim vozilima. Kako bi se iniciralo povezivanje istraživača iz akademske zajednice i zainteresiranih poduzeća za primjenu vodikove tehnologije

u tračničkim vozilima, na sjednici su svoje istraživačke rezultate iz ovoga područja prezentirala tri fakulteta Sveučilišta u Zagrebu (FSB, FKIT i FER) te Altpro, koji je prikazao nacrt budućeg razvoja i primjene vodika u svojim proizvodima (lokomotive).

Predsjedatelj Gospodarskog vijeća je također istaknuo mogućnost izgradnje ekosustava na nacionalnoj razini koji bi se fokusirao na razvoj i primjene vodikove tehnologije. U tome kontekstu HATZ može imati važnu ulogu kao katalizator želja i interesa od strane poduzeća i relevantnih sveučilišnih sastavnica. Isto tako, naglasio je, HATZ je u dosadašnjem radu već sudjelovao u provedbi nekih projekata, objedinjujući više tehničkih/tehnoloških fakulteta pa bi se taj uspješni model mogao primijeniti i na buduće projekte razvoja i primjene vodikove tehnologije.

Uvod u temu – općeniti aspekti

U kontekstu moguće energetske tranzicije, vodik se najavljuje kao vrlo važna komponenta koja bi značajno doprinijela dekarbonizaciji u dugoročnom pa i srednjoročnom razdoblju. Karakteristično je za vodik da on nije izvor, on je nositelj energije. Vodik je gorivo čijim izgaranjem ne nastaje CO₂. Velika su očekivanja da se vodik može koristiti kao rješenje za skladištenje obnovljive energije. Vodik (H₂) najrašireniji je element u svemiru, ali ga na Zemlji ne nalazimo u čistom molekularnom obliku; za ekstrakciju vodika iz tvari u kojima se nalazi (prvenstveno voda, nafta, plin) potrebna je energija koju treba osigurati iz nekog drugog izvora. Radi smanjivanja emisije štetnih stakleničkih plinova, taj izvor energije ne bi se trebao bazirati na fosilnim gorivima. Drugi izvori energije za proizvodnju vodika (bez proizvodnje CO₂), primjerice iz obnovljivih izvora (dominantno vjetar i sunce) vrlo su obećavajući, kao što su obećavajući i tehnološki napretci u razvoju i proizvodnji elektrolizatora. Stoga su velika očekivanja od uloge vodika kao sastavnice moguće energetske tranzicije. Ali i potreba za velikim investicijama u tehnologije koje su povezane za proizvodnju, distribuciju i upotrebu vodika. Problemi s kojima je današnja civilizacija suočena - karbonizacija počeli su nastajati prije 200-injak godina, pojavom prve industrijske revolucije, koja je predstavljala civilizacijski napredak te demografski rast, i koja je zahtijevala rast potrošnje energije s posljedicom rasta emisije stakleničkih plinova. Daljnji tehnološki napretci i industrijske revolucije, sve do današnje četvrte industrijske revolucije, zahtijevali su sve više i više energije za standard življenja rastuće ljudske populacije i rast proizvodnje dobara. A sve to stvaralo je sve veću i veću emisiju stakleničkih plinova i porast temperature na Zemlji i Zemljinoj atmosferi s posljedicama otapanja ledenjaka na Zemljinim polovima, porast razine mora, smanjenje saliniteta i povećanog isparavanja mora (posljedično povećanje uragana i tajfuna), ugrožavanje morske flore i faune... Nastaje, dakle, fenomen pozitivne povratne veze koja destabilizira Zemljin ekosustav. Suočeni smo s okolnostima da se mora platiti visoka cijena nekontroliranom tehnološkom napretku koji je prouzročio mnoštvo razornih posljedica s mogućom antropološkom kataklizmom, ako se ne poduzmu odgovarajuće, dobro osmišljene, ambiciozne i vremenski dimenzionirane intervencije u smjeru ekološke tranzicije, uzimajući u obzir različitosti u razvijenosti geografskih područja Zemlje (razvijena, u razvoju i nerazvijena). Kao što autor knjige u pripremi *Net Zero* (A. Višković) ističe „Tempo ekološke (okolišne) tranzicije može se sažeto prikazati na sljedeći način: dovoljno brzo da smanjimo globalno zatopljenje do polovice 21. stoljeća i dovoljno sporo da uspijemo prilagoditi infrastrukturu i modele, a pritom izbjeći društveni prevrat“. Ključno je za ekološku

tranziciju da se globalni sociološki i antropološki aspekti povežu s energetske, tehnološkim i ekonomskim aspektima. Pitanje je je li to moguće postići u današnjem, na razne načine diversificiranom, svijetu. Odgovor na ovo pitanje prije svih trebaju dati Kina i Indija. Unatoč progresivnim odlukama vezanim uz ekološku tranziciju, koje se donose na globalnoj razini (Konferencije o klimatskim promjenama – COP, G20), rezultati vezani uz provedbu tih odluka su skromni, ali globalno jača svijest da sprječavanje/ublažavanje klimatskih promjena nije ideologija nego imperativna potreba.

Je li na vidiku renesansa vodika i doba *Vodikove ekonomije* (kako je najavio Jeremy Rifkin, 2002.)? To bi se moglo ostvariti jer se vodik daje ključna uloga u dekarbonizaciji (Europska komisija je 2020. objavila *Strategiju za vodik za klimatski neutralnu Europu*) za razdoblje do 2050. Ta je strategija zacrtala jedinstveni smjer za poticanje korištenja vodika radi ostvarivanja ciljeva *Europskog zelenog plana* (2020.) i dugoročnog cilja dekarbonizacije. Europski planovi (kao što je i *Net Zero by 2050*) predviđaju da će važnost uloge vodika kontinuirano rasti, posebno kad je riječ o industrijskim sektorima u kojima se elektrifikacija teško ostvaruje. Također, prijevoz teških tereta i na veće udaljenosti nije uglavnom prikladan za elektrifikaciju; rješenje se vidi u primjeni vodika. Nadalje, vodik može ponuditi elektroenergetskom sektoru veću fleksibilnost i kapacitete za dugoročno skladištenje te povećati sigurnost opskrbe energijama u Europi, smanjujući tako ovisnost o tradicionalnim izvoznim fosilnih goriva. Pri svemu tome treba biti realan u planiranju proizvodnje i primjene vodika; intenzivna i konkurentna primjena zelenog vodika očekuje se iza 2040. godine, do kada bi primat imao sivi i plavi vodik. Pretpostavka je da će se efikasnost rada elektrolizatora (i gorivnih članaka te skladištenja) u vremenu do 2040. povećavati zahvaljujući tehnološkim unaprjeđenjima i novim materijalima te se može očekivati da će cijena zelenog vodika do 2050. pasti na 1 USD/kg.

Unatoč obećavajućim procjenama u pogledu proizvodnje i primjene vodika, ostaje neuspostavljen odnos potražnje i ponude vodika. Tržište vodika je još uvijek u embrionalnoj fazi. Najveći rizik za potencijalne ulagače u vodik je rizik kretanja potražnje, tj. strah da se potražnja vodika neće povećavati sukladno njihovim očekivanjima. U takvim okolnostima procjena potražnje za vodikom u budućnost je dosta problematična, posebno gledajući dugoročno (do 2050.). Te procjene treba promatrati u kontekstu smanjenja troškova proizvodnje vodika. Zbog velikog povećanja kapaciteta elektrolize i povezanog lanca vrijednosti, troškovi proizvodnje zelenog vodika trebali bi se vremenom smanjivati. Također, snižavat će se vremenom i troškovi električne energije (iz obnovljivih izvora). Naime, proces elektrolize je energetske vrlo intenzivan; troškovi električne energije predstavljaju 60% do 80% ukupnih troškova proizvodnje vodika.

Scenariji proizvodnje električne energije izravno iz vodika mogu se tretirati kao ambiciozni futuristički scenarij, koji zahtijeva instaliranje velikih kapaciteta obnovljive energije te izgradnju učinkovitog i pouzdanog vodikova proizvodnog i opskrbnog lanca: elektroliza, kompresija, skladištenje i distribucija. Sve to treba promatrati u okviru oportunitetnog troška zasnovanog na niveliranom trošku električne energije (LCOE – *Levelized Cost of Electricity*). Za ostvarenje tog scenarija potrebna su prethodna unaprjeđenja i sazrijevanje tehnologija u vodikovu opskrbnom

lancu što zahtijeva goleme infrastrukturne investicije. Potrošnja vodika, uz pretpostavku njegove raspoložive proizvodnje, posebno je atraktivna u sektorima prijevoza, kao „konkurencija“ elektrifikaciji prijevoznih sredstava. Uz cestovna vozila (osobni automobili, autobusi, teški kamioni), u fokusu proizvođača i korisnika su vlakovi na vodik, pogonjeni gorivnim člancima, kao i sektor pomorskog prijevoza (kratkoročno za manja plovila i trajekte, dugoročno i za velike brodove). Elektrifikacija zračnog prijevoza na vremenskoj agendi nije od prioritetnog značaja; za sada se preferiraju postojeća pogonska rješenja s biogorivima i sinteznim kerozinom. Zagovornici razvoja opskrbnog lanca vodika naglašavaju tri koristi: (i) korist za okoliš, u smislu smanjenja emisija; (ii) korist za energetske sustav, u smislu sinergije, operativnosti i sigurnosti; (iii) korist za potrošače, u smislu pristupa novim uslugama.

Unatoč okolnostima koje idu u prilog strateškog značaja vodika, globalno još ne postoji cjelovita vizija budućeg energetskeg sustava, što ometa vodikovu tehnološku i ekonomsku implementaciju. Tomu doprinose i određeni geopolitički i geoekonomski interesi. Geopolitika „nema jednog smjera, ne izražava konačne, a još manje linearne istine“. Geopolitiku kao paradigmu nameću moćne skupine radi ostvarivanja svojih (geo)ekonomskih, često dugoročnih, interesa. Energija je pokretač gospodarskog razvoja i rasta i u fokusu je interesa geopolitike i geoekonomije; do sada je to bila energija zasnovana uglavnom na fosilnim gorivima – nafti i plinu. Ulazimo li, i na koji način, u eru gdje fosilna goriva postupno gube primat u korist vodika kao energetskeg vektora? To je ključno pitanje na globalnoj razini na koje se traži odgovor. Neupitno je da postoje na Zemlji ogromni resursi obnovljivih izvora – dominantno dozirane energije Sunca i vjetrove koje je moguće na tehnički i ekonomski prihvatljiv način pretvoriti u električnu energiju. Primjerice, pustinje svijeta u samo šest sati primaju više energije od Sunca nego što ljudi potroše u godini (njemački fizičar, Gerhard Knies). Sahara, koja zauzima veliki prostor Afrike, najsunčanije je područje u svijetu; njezinih 9,2 milijuna km² (više od dvostruko većeg područja EU) izloženo je sunčevu svjetlu preko 3.600 sati godišnje. Uz to, Sahara je jedno od najvjetrovitijih područja na planetu. To je izazov za Europu i njenu energetske budućnost.

Izlaganja i rasprava

Svoje je izlaganje **Zvonimir Viduka** - vlasnik poduzeća Alpro započeo s planom razvoja opreme za prihvatanje vodikove tehnologije u rekonstrukciji dizelskih lokomotiva, tj. zamjenom dizelagregata elektromotornim pogonom napajanim iz agregata s gorivnim člancima u kombinaciji s baterijskim sustavom. Radi se o razvoju preprototipnog rješenja u suradnji s renomiranim inozemnim istraživačkim institutom uobličenog u projekt HERMES. S obzirom da se radi o projektu koji ima poseban tretman u smislu zaštite podataka, projekt nije detaljno prezentiran. Međutim, dade se zaključiti da projekt može imati veliki tržišni potencijal, imajući u vidu veliki udio neelektrificirane željezničke mreže u Europi i izvan Europe. Naglašeno je da uprava HATZ-a u daljnjim razgovorima s Alproom pronađe modalitet međusobne suradnje, povezujući relevantne fakultete Sveučilišta u Zagrebu.

Temu **Odrednice studije plana razvoja i primjene hrvatske strategije za vodik do 2050. godine s osvrtom na željeznički prijevoz** izložili su **dr. sc. Vladimir Jelavić** i **dr. sc. Darko Hecer**, Ekolog. Osvrnuli su se na vrijednosni lanac vodika te su obrazložili pojedinačno komponente toga lanca.

Ulazni energenti lanca su (misli se na zeleni vodik): sunce, vjetar, geotermalna energija, biootpad i otpadni mulj. Za proizvodnju vodika koriste se: elektrolizator te piroliza i rasplinjavanje. Skladištenje vodika obavlja se u tekućem ili plinovitom stanju, a transportira se kao ukapljeni vodik, a distribucija kao plinoviti vodik. Srednjoročno vodik će imati značajnu primjenu u prometu (uključivo i željeznički), industriji, proizvodnji električne energije te u zgradarstvu za grijanje.

Potom su uslijedile tri prezentacije s triju fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. **Izv. prof. dr. sc. Ankica Kovač** prikazala je aktivnosti vezane uz istraživanje, razvoj i primjene vodikove tehnologije na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, odnosno Laboratorija za vodik i gorivne članke – H2LAB. To je ilustrirala slikovnim prikazom laboratorijskih postava i rješenja za vodik te prikazom projekata i seminara za zainteresirano gospodarstvo.

Prof. dr. sc. Nenad Bolf i dr. sc. Srećko Herceg prikazali su Pilot postrojenje za proizvodnju i pohranu vodika na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije koji se razvija kroz projekt Niskocjenovna proizvodnja zelenog vodika (PoC). Cilj je projekta razviti laboratorijski integrirani sustav za proizvodnju zelenog vodika AEM elektrolizom vode (elektroliza s anionsko propusnom membranom – AEM) te povećati efikasnost u usporedbi s konkurentskim rješenjima sa svrhom proizvodnje vodika u postrojenjima većih kapaciteta po nižim cijenama.

Prof. dr. sc. Mario Vašak prikazao je široki spektar aktivnosti Laboratorija za sustave obnovljivih izvora energije (LARES) na Fakultetu elektrotehnike i računarstva, naglasivši da se LARES razvija u smjeru energetskog haba koji razvija optimizacijske alate za usklađeni rad postrojenja za proizvodnju i potrošnju energije. Kroz pregled završenih i tekućih projekata osvrnuo se i na projekte koji su fokusirani na vodikovu tehnologiju. Također je ukratko prikazao jedno uspješno realizirano rješenje za industrijskog partnera – H₂ energetski blok snage 400 kW.

Rasprava koja je uslijedila nakon prezentacija nastavljena je tijekom razgledavanja proizvodnih procesa te radnog ručka. Specijalna rješenja sigurnosnih sustava za željeznice poduzeća Altpo prepoznata su na svjetskome tržištu jer su se naprosto nametnula svojom kvalitetom što im otvara put ulaska s vodikovom tehnologijom u pogonski dio željezničkog (tračničkog) prijevoza. U ovome vremenu u Hrvatskoj se mogu identificirati tri važna protagonista vodikove tehnologije: uz Altpo, tu su i KONČAR-KEV te Doking (proizvođač vodika iz otpada). Valja uložiti napore sa strane HATZ-a da se stvori sinergija među njima te da se stvori motivacija za njihovo povezivanje s relevantnim (za vodikovu tehnologiju) fakultetima/institutima (kao što su FKIT, FSB i FER).

Zaključna razmatranja

Vodik je zbog svojih značajki ključni čimbenik za dekarbonizaciju prijevoznih sektora, i dugoročno gledano, industrijskih sektora. Međutim, njegova primjena mora biti dobro planirana bez impulzivnih reakcija koje često prate rasprave o energiji te se mora voditi računa

o svim relevantnim aspektima, od aspekta proizvodnje vodika kao sirovine do aspekata povezanih s realizacijom tranzicije u praksi, koja ne može biti ni neprimjereno brza ni istovremena za sve sektore.

U prijevoznim sektorima potreban je vremenski plan koji će početi s dekarbonizacijom javnog prijevoza i koji će predvidjeti upotrebu privremenih rješenja modifikacije dizelskih motora kako bi se pokrenuo razvoj infrastrukture i potrebnih tehnologija za kasniji razvoj i primjene gorivnih članaka. Istovremeno treba raditi na razvoju tehnologija koje će pridonijeti smanjenju troškova proizvodnje vodika što sve ide u prilog budućih dekarbonizacija i u drugim sektorima (industrija čelika te kemijska i rafinerijska industrija u proizvodnji sintetičkih goriva).

Valja istaknuti da se Europska unija strateški fokusira na vodikove tehnologije kroz razne programe pa i kroz ustanovljenje „vodikovih dolina“ (Hydrogen Valley) u kojima bi se proizvodio i upotrebljavao vodik i u kojima bi se razvijale s njima povezane tehnologije.

I na kraju, i dalje ostaje pitanje, na koje se očekuje odgovor, hoće li vodik kao nositelj energije uistinu odigrati veliku ulogu u izgradnji budućeg integriranog energetske-transportnog sustava i dekarbonizaciji planeta Zemlje? Ili će vodik i dalje biti kontroverzna tema.

Predsjedatelj Gospodarskog vijeća HATZ-a



Prof. emer. dr. sc. Nedjeljko Perić