

ZELENA ENERGIJA KAO POKRETAČ RAZVOJA NAUČNIH ISTRAŽIVANJA, NOVIH TEHNOLOŠKIH REŠENJA I INOVATIVNIH NAČINA FINANSIRANJA

Dušan Vještica¹, Nikola Gradojević², Ilija Ćosić³, Vladimir Đaković⁴

¹Kosmos a.d. Banja Luka, Bosna i Hercegovina

^{2,3,4}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹dušan.vjestica@kosmos.ba, ²ngradoje@uns.ac.rs, ³ilijac@uns.ac.rs, ⁴v_djakovic@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: Ovaj rad istražuje ulogu zelene energije kao ključnog faktora u podsticanju naučnih istraživanja, tehnoloških inovacija, novih i inovativnih finansijskih modela u globalnom kontekstu energetske tranzicije. Fokusira se na razvoj održivih tehnologija za „zeleni vodonik“ koje omogućavaju smanjenje ekološkog otiska, povećanje energetske efikasnosti i diverzifikaciju izvora energije. Analizira se kako ovaj vid zelene energije doprinosi ubrzanju istraživanja u oblasti obnovljivih izvora, poput solarne i vetroturbinske energije, kao i inovacijama u skladištenju, smart grid tehnologijama, procesima elektrolize i modernizaciji infrastrukture. Izvori finansiranja, koji su primarno banke, projekte iz ove oblasti prepoznaju kao perspektivne i poželjne za finansiranje, ali zbog tehnološki zahtevnog procesa proizvodnje, visokog nivoa kapitalnih investicija (CAPEX) i operativnih troškova (OPEX) oni i dalje ostaju izazov za investitore. Stoga ovaj rad daje svoj skroman doprinos ističući potrebu za naučnim istraživanjima, razvoju novih tehnoloških rešenja i uspostavljanju specijalizovanih i inovativnih mehanizama finansiranja. Tu se pre svega misli na zelene obveznice i zelene fondove, ali i na modele finansiranja kao sto su privatno javno partnerstvo i strategije ublažavanja rizika kroz različite mehanizme zaštite. Cilj rada je da identifikuje ključne izazove i rizike, sagleda mogućnosti za njihovo prevazilaženje kroz razvoj sopstvenih politika finansiranja u okviru razvoja vodonične strategije Republike Srbije.

Ključne reči: zelena energija, energetska efikasnost, „zeleni vodonik“, mehanizmi finansiranja, vodonična strategija

GREEN ENERGY AS A DRIVER OF SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT, NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS, AND INNOVATIVE FINANCING METHODS

Abstract: This paper explores the role of green energy as a key factor in fostering scientific research, technological innovations, and new and innovative financial models within the global context of the energy transition. It focuses on the development of sustainable technologies for "green hydrogen" that enable the reduction of environmental impact, increased energy efficiency, and diversification of energy sources. The analysis examines how this type of green energy contributes to accelerating research in renewable energy fields, such as solar and wind turbine energy, as well as innovations in energy storage, smart grid technologies, electrolysis processes, and infrastructure modernization. Funding sources such as banks and project financiers recognize projects in this field as promising and desirable for investment. However, due to the technologically demanding production process, high levels of capital investments (CAPEX), and operational costs (OPEX), these factors still pose obstacles for investors. Therefore, this paper makes a modest contribution by emphasizing the need for scientific research, the development of new technological solutions, and the establishment of specialized and innovative financing mechanisms. This primarily refers to green bonds and green funds, as well as financing models such as public-private partnerships and risk mitigation strategies through various protection mechanisms. The aim of this paper is to identify key challenges and risks, explore opportunities to overcome them through the development of dedicated financing policies within the framework of the hydrogen strategy development of the Republic of Serbia.

Key words: green energy, energy efficiency, "green hydrogen", financing mechanisms, hydrogen strategy

1. UVOD

Zelena energija predstavlja ključni faktor u globalnoj tranziciji ka održivom razvoju, smanjenju emisije gasova sa efektom staklene bašte i očuvanju životne sredine [1]. U savremenom društvu, suočenom sa klimatskim promenama, rastućom potrošnjom fosilnih goriva i ograničenim prirodnim resursima, prelazak na obnovljive izvore energije postaje neophodan. Korišćenje zelene energije, poput solarne, vetroenergije, hidroenergije i proizvodnje vodonika sa niskim emisijama „zeleni vodonik“, omogućava smanjenje zavisnosti od fosilnih goriva i doprinosi globalnim naporima u borbi

protiv klimatskih promena. Pored ekoloških prednosti, zelena energija igra značajnu ulogu u podsticanju naučnih istraživanja i razvoja novih tehnoloških rešenja. Inovacije u oblasti proizvodnje, skladištenja i distribucije energije otvaraju nova polja istraživanja i stvaraju prilike za razvoj naprednih tehnologija koje omogućavaju efikasniju proizvodnju i korišćenje energije. Poseban značaj i ulogu zauzimaju tehnologije za proizvodnju "zelenog vodonika" koje predstavljaju perspektivno rešenje za dekarbonizaciju industrije i transporta kao grana koje najviše emituju ugljenik [2]. Istovremeno, razvoj zelene energije zahteva i inovativne pristupe u finansiranju, budući da su početne investicije u infrastrukturu često visoke. Uvođenje specijalizovanih finansijskih instrumenata, kao što su zelene obveznice i fondovi, kao i modeli javno-privatnog partnerstva, ključno je za ubrzanje energetske tranzicije. Ovi modeli omogućavaju privlačenje investicija i smanjenje rizika povezanih sa realizacijom projekata u oblasti zelene energije. Ovaj rad ima za cilj da ukaže kako zelena energija podstiče naučna istraživanja, razvoj novih tehnologija sa fokusom na inovativne načine finansiranja, sa posebnim osvrtom na proizvodnju „zelenog vodonika“ i njegove potencijale za energetska budućnost. Prema podacima International Renewable Energy Agency (IRENA), kapacitet obnovljivih izvora energije u svetu značajno je povećan u poslednjoj deceniji, pri čemu prednjače solarna i vetrogenerisana energija [3]. EU, kao lider u energetske tranziciji, postavila je ambiciozne ciljeve za smanjenje emisija ugljen-dioksida i povećanje udela obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije. Jedan od najperspektivnijih pravaca razvoja u oblasti zelene energije jeste proizvodnja "zelenog vodonika" putem elektrolize vode korišćenjem energije iz obnovljivih izvora. Uprkos velikom potencijalu, proizvodnja „zelenog vodonika“ suočava se sa izazovima visokih kapitalnih investicija (CAPEX) i operativnih troškova (OPEX), što zahteva razvoj novih tehnologija i inovativnih finansijskih mehanizama. U kontekstu Republike Srbije i regiona Zapadnog Balkana, razvoj zelene energije dobija na značaju kroz usvajanje nacionalnih strategija i politika koje podržavaju energetska tranziciju.

2. IZAZOVI I MOGUĆNOSTI, PROIZVODNJA VODONIKA SA NISKIM EMISIJAMA

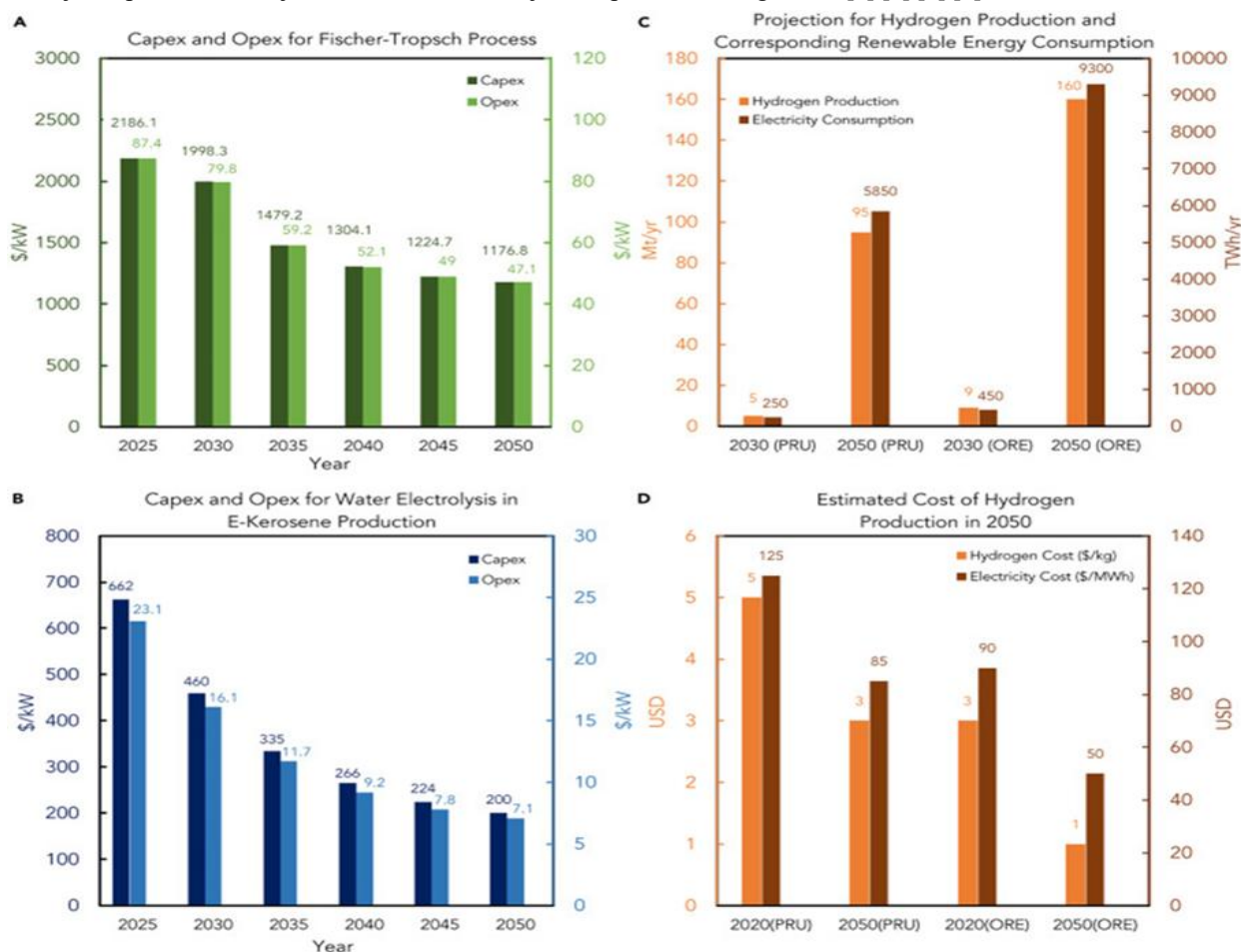
Vodonik sa niskim emisijama nema trenutno veliki uticaj na globalno tržište. Međutim, snabdevanje tržišta mora da se poveća za oko 6 puta da bi se postigle neto nulta emisija u energetske sektoru do 2050. godine, navodi se u izveštaju International Energy Agency (IEA) [4]. Očekuje se da će se trend opadajućih troškovi solarnog PV (photovoltaic system) i elektrolizera vode nastaviti i intenzivirati do 2050. godine [5], [6]. Podaci predstavljaju prosečne rezultate iz niza globalnih cena. U prvom scenariju, trenutni troškovi vodonika kreću se između 3,5 i 6,5 USD/kg koristeći cene struje od 50 do 200 USD/MWh. Do 2050. godine, od 50 do 120 USD/MWh za cenu električne energije, cena vodonika može da se smanji na 2,25 do 3,75 USD/kg, što će rezultirati prosečnim smanjenjem od preko 30%. U scenariju ORE (Optimistic Renewable Energy) scenario E, trenutni troškovi vodonika kreću se između 2 i 4 USD/kg koristeći cene struje od 30 do 150 USD/MWh. Do 2050. godine, cena vodonika može da opadne na 0,7–1,3 USD/kg sa 20–80 USD/MWh za cenu električne energije, što je još značajnije smanjenje (oko 66% u vodoniku i skoro 45% za cenu električne energije) od PRU (Prudent scenario) scenarija. Ova značajna smanjenja troškova vodonika mogu dovesti do drugih jeftinijih proizvoda na bazi vodonika, kao što je zelena obnovljiva amonijak, čija se cena očekuje da će pasti sa sadašnjih 720 do 1400 USD/tona na 310 do 610 USD/toni do 2050. godine [7], [8]. Slika br. 1.(C) prikazuje procenjenju proizvodnju zelenog vodonika sa obnovljivom potrošnjom električne energije za 2030. i 2050. godinu na osnovu dva scenarija (PRU i ORE), isto kao definicije na slici br. 1.(D). Količina potrošene električne energije predstavljena je množenjem 0,01 radi boljeg oblikovanja. Prema scenariju PRU (niži format), očekuje se da će se proizvodnja zelenog vodonika povećati sa 5 mt na 95 mt godišnje do 2050. godine. U međuvremenu, predviđeno je da čista električna energija koja se koristi za proizvodnju ove količine vodonika poraste sa 250 TWh na 5850 TWh godišnje. Ovi podaci pokazuju da će se od 2030. do 2050. godine kapacitet za proizvodnju vodonika verovatno povećati za više od 18 puta, dok će doći do povećanja potrošnje električne energije za više od 220% [9]. To podrazumeva da je proizvodnja vodonika elektrolizom nešto manje efikasna u 2050. nego 2030. godine. Međutim, prema scenariju ORE, očekuje se da će proizvodnja vodonika porasti sa 9 na 160 mt godišnje do 2050. godine. Značajno je i to što se očekuje da će proizvodnja vodonika u scenariju ORE do sredine ovog veka biti preko 68% veća od PRU-ove. Vodonik sa niskim emisijama je nosač energije koji može da napaja razne aplikacije, uključujući transport, industriju i proizvodnju električne energije [10],[11],[12]. Trenutni troškovi proizvodnje „zelenog vodonika“ su previsoki da bi on bio komercijalno održiva opcija.

3. VODONIK SA NISKIM EMISIJAMA, PRILIKE I RAZVOJNE ŠANSE

Da bi se to postiglo potrebna je uvođenje inovativnih rešenja u tehnologije proizvodnje i finansiranja. Smanjenje troškova proizvodnje vodonika i inovativni modeli finansiranja mogu značajno doprineti razvoju ekonomije čiste energije, ali i značajno uticati na ukupan privredni i ekonomski ambijent [11].

3.1 Inovacije u tehnologije

Inovacije u ovom segmentu se fokusirane na tehnologije proizvodnje, alkalni i PEM (proton exchange membrane) elektrolizatori. Istraživanje o PEM elektrolizatorima fokusira se na minimiziranje upotrebe skupih metalnih komponenti platina grupe kako bi se smanjili troškovi proizvodnje. U septembru 2023. godine, H2U Technologies je postigao test izdržljivosti od 25.000 sati sa katalizatorom bez iridijuma, nadmašivši druge katalizatore koji traju do 1.400 sati. U februaru 2024. godine, Toshiba se udružila sa Bekaertom kako bi komercijalizovala Toshiba tehnologiju koja smanjuje upotrebu iridijuma za 90%. Elektrolizatori čvrstog oksida SOEC (solid oxide electrolyser) postižu najveću efikasnost među dizajnom elektrolizatora, koji koriste spoljni izvor toplote za proizvodnju pare, a takođe se suočavaju sa izazovima trajnosti. Kako su neke tehnologije za proizvodnju vodonika sa niskim emisijama već komercijalno dostupne, inovacije su od ključnog značaja za smanjenje troškova proizvodnje i obezbeđivanje uvođenja na tržište, kao i za demonstraciju tehnologija proizvodnje sintetičkih ugljovodonika. Pored inovacija u proizvodnji naučna i istraživačka zajednica ulaže značajne napore na inovacijama u oblasti skladištenja, transporta i mera sigurnosti [4],[5],[6],[7].



Slika 1. Predviđeni troškovi za FT proces i proizvodnju vodonika[12]

3.2 Ulaganja na globalnom nivou

Svetska banka je 2024. godine odobrila zajam Indiji u iznosu od 1,5 milijardi USD za promovisanje vodonika iz obnovljivih izvora energije, povećanje obnovljive električne energije i finansiranja investicija u energiju sa niskim udelom ugljenika. Kredit od 100 miliona USD je izdvojen za Mauritaniju za izgradnju institucionalnih kapaciteta za projekte vodonika sa niskim emisijama u rudarstvu minerala, nadovezujući se na prethodne manje grantove za studije u toj zemlji. U junu 2024. godine EBRD (European Bank for Reconstruction and Development) odobrila je zajam od 55 miliona USD Uzbekistanu za svoj prvi projekat proizvodnje obnovljivog vodonika, za koji se očekuje da će stvoriti primer za slične projekte u Centralnoj Aziji. IDB (Inter-American Development Bank) je najavila 2 miliona USD za uspostavljanje tehničke saradnje sa Kolumbijom za razvoj obnovljivog vodonika. Ovo su samo neki od primera ulaganja na globalnom nivou [7],[8].

4. UBLAŽAVANJE INVESTICIONIH RIZIKA KROZ INOVATIVNE MODELE FINANSIRANJA

Visoki troškovi ulaganja, proizvodnje, jaz ponude i potražnje, povećani rizici finansiranja uticali su na razvoj strategije za stvaranje povoljnog investicionog okruženja putem inovativnih modela finansiranja.

Zeleni mehanizmi finansiranja; specijalizovanih mehanizama zelenog finansiranja, kao što su zelene obveznice, zeleni investicioni fondovi i ugljenik fondovi, mogu da obezbede namenske finansijske resurse za projekte „zelenog vodonika“. „Japan je usvojio Zakon o promociji vodoničkog društva, koji uključuje 15-godišnje CfD (contract for difference) subvencije za domaću i uvezenu proizvodnju vodonika odobrio 3 biliona JPI (19,7 milijardi USD), koja će doći iz obveznica za klimatsku tranziciju“ [4], [5].

Inovacije u modelima finansiranja; razvoj inovativnih modela finansiranja, kao što su javno-privatna partnerstva i mešovito finansiranje, može povećati atraktivnost projekata „zelenog vodonika“ za investitore. „Evropska unija je objavila pobjednike prve aukcije Vodoničke banke i odobrila treći krug IPCEI (Important Projects of Common European Interest), koji će podržati do 3,2 GV kapaciteta elektrolizatora i 2 700 km cevovoda, najmanje 370 GVh skladišnog kapaciteta“ [4], [5].

Međunarodna saradnja i finansiranje; međunarodne institucije i organizacije mogu pružiti finansijsku podršku i tehničku ekspertizu za projekte „zelenog vodonika“ kroz programe finansiranja, grantove i kredite. „Većina javnih sredstava za bespovratna sredstva najavljena u prošloj godini došla je iz Evropske unije kroz važne projekte od zajedničkog evropskog interesa (IPCEI) i nacionalne planove oporavka i otpornosti RRP (Recovery and Resilience Plans), koji su bili deo programa oporavka od COVID-19“. [4],[5],[6].

Strategije za ublažavanje rizika; implementacija strategija za ublažavanje rizika, kao što su garancije, osiguranje i mehanizmi zaštite, može pomoći u rešavanju uočenih rizika povezanih sa projektima „zelenog vodonika“, čineći ih privlačnijim za investitore.

Vladini podsticaji i podrška; Vlade mogu igrati ključnu ulogu u promovisanju projekata zelenog vodonika pružajući finansijske podsticaje, povoljne regulatorne okvire i promocije inovacije, razvoja i razmene znanja čineći ga privlačnijim za investitore. „Vlade takođe izdvajaju sredstva kako bi osigurale da komunikacija i razmena znanja iz projekata vodonika sa niskim emisijama bude efikasna i transparentna. Kao primer, Australijska vlada finansira i veb portal Komonvelta za naučna i industrijska istraživanja HiResearch, izveštavajući o 420 projekata vezanih za vodonik, i Australijska agencija za obnovljivu energiju RD&D (research, development and demonstration) projekata javne veb platforme za razmenu znanja, koja izveštava o rezultatima preko 660 projekata, od kojih je 10% vezano za vodonik“ [4],[5],[6].

5. ZAKLJUČAK

Izazovi sa kojima se suočava zelena energija, a samim tim i sektor „zelenog vodonika“ su značajni, ali ne i nepremostivi. Oni podstiču naučno-tehnološka istraživanja, inovacije, inovativne modele finansiranja, a sve u cilju privlačenja investicija i posticanja rasta i razvoja. U kontekstu finansiranja najznačajniju ulogu ima saradnja sa finansijskim institucijama kako u smislu razmene znanja tako i razvoja prilagođenih finansijskih proizvoda. Saradnja koja uključuje investitore iz privatnog sektora, finansijske institucije i Vlade s ciljem uspostavljanja specijalizovanih mehanizama zelenog finansiranja kao što su zelene obveznice, zeleni investicioni fondovi i ugljenični fondovi. Inovacije u modelima finansiranja, kao što su finansiranje projekata, javno-privatna partnerstva i kombinovano finansiranje. Međunarodna saradnja i finansiranje mogu olakšati razmenu znanja, transfer tehnologije i finansijsku podršku za projekte. Primenom strategija za ublažavanje rizika, kao što su garancije, osiguranje i mehanizmi zaštite, mogu se rešiti uočeni rizici povezani sa projektima finansiranja. U Evropi i svetu trenutno ne može da se razvije nijedan projekt u oblasti „zelenog vodonika“ bez pomoći države, zato Vlade moraju igrati ključnu ulogu kroz regulativu, strategije i finansiranje. Republika Srbija ima potencijal za razvoj ove oblasti (dana 23. marta 2021. godine donet je Zakon o klimatskim promenama “Službeni glasnik RS” broj 26/2021) koji treba iskoristiti da se uhvati korak sa globalnim trendovima, a potom da koristi benefite zelene energije za ekonomski rast. Stoga smatramo da se u osnovi istraživanja nalazi potreba društva, naučne i stručne zajednice za jedinstvenim konceptom koji će omogućiti donošenje Nacionalne vodonične strategije Republike Srbije. Naučna istraživanja i relevantna literatura u ovoj oblasti pokazuje da izazovi u sektoru zelene energije i vodonika sa niskim emisijama postoje sa targetima do polovine veka. Dok izazovi u ovom sektoru postoje mogućnosti za razvoj su ogromne, izazove treba pretvoriti u prilike, a prilike u benefite.

ZAHVALNICA

Ovo istraživanje je podržano od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija (br. Ugovora: 451-03-65/2024-03/200156) i Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu kroz projekat „Naučnoistraživački i umetničkoistraživački rad istraživača u nastavnim i saradničkim zvanjima Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu“ (br: 01-3394/1).

6. LITERATURA

- [1] Liu, Z., Deng, Z., Davis, S., and Ciais, P.(2023). *Monitoring global carbon emissions in 2022*. Nat. Rev. Earth Environ. 4, 205–206. <https://doi.org/10.1038/s43017-023-00406-z>.
- [2] News, H.E. (2023). *H2 energy news*. <https://energynews.biz/>
- [3] International Renewable Energy Agency. *Global hydrogen trade to meet the 1.5 °C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward*, Global hydrogen trade part 1_2022_.pdf (2022).<https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA>
- [4] IEA. Global Hydrogen Review 2022. *Technical Report (IEA, 2022)*.
- [5] IEA. Global Hydrogen Review 2024. *Technical Report (IEA, 2024)*.
- [6] Agency, I.E. (2021). *Net Zero by 2050*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>.
- [7] Forum, I.T. (2023). *The Potent. of E-fuels to Decarbonise Ships and Aircraft*. <https://www.itfoecd.org/potential-e-fuels-decarbonise-ships-aircraft>.
- [8] Dhahi, A. (2020). *Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal*.https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020
- [9] Bogdanov, D., Ram, M., Aghahosseini, A., Gulagi, A., Oyewo, A.S., Child, M., Caldera, U., Sadovskaia, K., Farfan, J., De Souza Noel Simas Barbosa, L., et al. (2021). *Low-cost renewable electricity as the key driver of the global energy transition towards sustainability*. Energy 227, 120467. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120467>
- [10] I. Lee, S. Jang, Y. Chung, and H. Seo, *Economic spillover from renewable energy industries: an input-output analysis*, Interna Journal of Green Energy, vol. 19, no. 8, pp. 809–817, 2022, doi:10.1080/15435075.2021.1963258.
- [11] M. Wietschel and P. Seydel, *Economic impacts of hydrogen as an energy carrier in European countries*, International Journal of Hyd Energy, vol. 32, no. 15, pp. 3201–3211, 2007, doi: 10.1016/j.ijhydene.2007.02.041.
- [12] M. Ozkan, A. B. Narappa, T. Namboodiri, Y. Chai, M. Babu, J. S.E. Jennings, Y. Gao, S. Tasneem, J. Lam, K. R. Talluri, R. Shang, C. S. Ozkan, J. M. *Unveiling the pillars of aviation e-fuel production for carbon emission circularity* <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109154>