

dr. Dragica Marinič, dipl. inž. kem. tehn.
dragica.marinic@zag.si
Zavod za gradbeništvo Slovenije
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana



Znanstveni članek
UDK 520.131.1:620.92(4-6EU)

POTENCIAL ZELENEGA VODIKA V STAVBNEM SEKTORJU

THE POTENTIAL OF GREEN HYDROGEN IN THE BUILDING SECTOR

Povzetek

Številne države se zavezujejo k trajnostnemu razvoju in podnebni nevtralnosti, pri čemer so rešitve za energetske in okoljske izzive ključne za prehod v brezogljeno gospodarstvo ter družbo. Energetska kriza in visoke cene energije so vplivale na pospešitev prehoda na čisto in trajnostno energijo. Izziv energetske odvisne Evrope je v iskanju novih načinov pridobivanja energije iz obnovljivih virov energije in ob zavedanju, da obstoječa proizvodnja in poraba energije povzročata več kot 75 % emisij toplogrednih plinov v Evropski uniji. Med večje porabnike energije spada tudi gradbeništvo s stavbnim sektorjem, ki prispeva velik ogljični odtis. Pri uvajanju tehnologij obnovljivih virov energije nam je lahko v pomoč obnovljivi, zeleni nizkoogljivi vodik zaradi svoje prilagodljivosti kot nosilec energije in medij za shranjevanje. Z njegovo uporabo lahko prispevamo k stroškovno učinkovitemu razogljičenju Evropske unije in zmanjšanju njene odvisnosti od uvoza fosilnih goriv. Raba zelenega vodika pri ogrevanju stavb je v začetni fazi testiranja. S podporo zakonodaje in strategij na evropski in nacionalnih ravneh, tehnološkimi raziskavami in inovacijami, pametnim upravljanjem virov in pametno potrošnjo bomo lahko izboljšali industrijske ekosisteme, zmanjšali tveganja in prispevali k neto ničelnim emisijam. Namen prispevka je prikazati posamezne praktične primere uporabe zelenega vodika v stavbnem sektorju, pri čemer imajo pomembno vlogo zakonodaja, naložbe v infrastrukturo in proizvodnjo, varnost ter potrebe na trgu.

Ključne besede: energija, obnovljivi viri energije, vodikove tehnologije, zeleni vodik, stavbe, razogljičenje

Summary

Many countries are committed to sustainable development and climate neutrality, whereby solutions to energy and environmental challenges are key components for the transition to carbon-free economy and society. The energy crisis and the resulting high energy prices have had an impact on the acceleration of the transition to clean and sustainable energy. The challenge of Europe's energy-dependence lies within the search for new ways of obtaining energy from renewable energy sources and the awareness that the existing energy production and consumption cause more than 75% of greenhouse gas emissions in the European Union. Major energy consumers, such as the construction sector with buildings, contribute to a large part of the carbon footprint. Renewable, green, low-carbon hydrogen can help us in the deployment of renewable energy technologies due to its flexibility as an energy carrier and storage medium. By making use of it, we can contribute to the cost-effective decarbonisation of the European Union and reduce its dependence on fossil fuel imports. Green hydrogen as a source of building heating is in the initial phase of testing. By supporting legislation and strategies at the European and national levels, technological research and innovation, smart resource management and smart resource consumption, we will be able to improve industrial ecosystems, reduce risks, and contribute to net zero emissions. The purpose of this article is to show individual practical cases of using green hydrogen in the building sector, where legislation, investments in infrastructure and production, safety and market need to play an important role.

Key words: energy, renewable energy, hydrogen technologies, green hydrogen, buildings, decarbonization

1 UVOD

Razprave o energetske politiki zadnjih let se pogosto osredotočajo na izziv, kako energetski sistem narediti trajnostnega, hkrati pa se dolgoročno zanašati na sonce in veter, dva ključna vira obnovljive energije. Energetski prehod, ki temelji na obnovljivih virih in tehnologijah [Gerhardt, 2020] ter omogoča učinkovitost in varčevanje z energijo, je edini način za omejitve globalnega segrevanja na 1,5 °C do leta 2050 glede na Pariški sporazum. Na tak način je možno zagotoviti nizkoogljični in podnebno varni svet. Z energetske učinkovitostjo, elektrifikacijo in obnovljivimi viri energije je mogoče doseči do 70 % zmanjšanja emisij, pri čemer se lahko vodik uporabi za razogljčenje končne rabe v primerih, kjer so druge možnosti manj zrele ali dražje, kot so težka industrija (na primer proizvodnja jekla in cementa), promet na dolge razdalje, elektroenergetski in gradbeni sektor ter sezonsko shranjevanje energije ([IRENA, 2022], [IRENA, 2023]). Evropska unija (EU) izkazuje velik interes za rabo vodika kot neprecenljivo surovino ter sredstvo za skladiščenje in transport energije, ki lahko znatno prispeva k zmanjšanju emisij CO₂. Evropska komisija ocenjuje, da se bo delež vodika v mešanici energijskih virov EU povečal s sedanje ravni, ki znaša manj kot 2 %, na 13-14 % do leta 2050 [EC EU, 2020]. V primeru uvajanja tehnologij obnovljivih virov energije ([Gielen, 2019], [Maestre, 2021]) lahko vodik zaradi svoje prilagodljivosti kot energent in medij za shranjevanje energije predstavlja dopolnilno rešitev. Ob upoštevanju teh aplikacij bi lahko vodik kot vektor energije [Abdin, 2020] prispeval 10 % potrebne zmanjšanja emisij za doseganje 12 % povpraševanja po končni energiji [IRENA, 2022]. EU je s sprejetjem Evropskega zelenega dogovora in Načrta REPowerEU definirala cilj, da bo Evropa do leta 2050 postala prva podnebno nevtralna celina ([EC EU, 2019], [EC EU, 2022]). V tem okviru so predvideni številni ukrepi za podporo novim industrijskim ekosistemom z vključevanjem vseh akterjev in zaveznikov, ki delujejo v vrednostni verigi in so usmerjeni k ciljem trajnostnega delovanja ter zmanjšanja emisij toplogrednih plinov [EC EU, 2021]. V letu 2020 je Evropska komisija predstavila »Strategijo za vodik za podnebno nevtrarno Evropo«, kjer je zeleni vodik bistven element prednostne naloge zaveze Evropske unije za doseganje ogljične nevtralnosti do leta 2050. Večplastnost potenciala vodika se zrcali v različnih rabah, in sicer kot surovina, gorivo ali nosilec energije pri prenosu in shranjevanju, hkrati pa ponuja veliko možnosti za uporabo v industrijskem, prometnem, elektroenergetskem in gradbenem sektorju. V številnih novejših študijah so strokovnjaki raziskali področja uporabe vodika in predstavili različne načrte za široko uvajanje vodikovih tehnologij. Razprava o energetske politiki zadnjih let se pogosto osredotoča na izziv, kako je mogoče energetski sistem vzpostaviti trajnostno, hkrati pa se nujno dolgoročno zanašati na sonce in veter, dva ključna vira obnovljive energije [Guilbert, 2021]. Pri tem je najpomembnejše, da vodik pri uporabi ne povzroča emisij CO₂ in skoraj ne onesnažuje zraka. Vodik ponuja rešitev za razogljčenje industrijskih postopkov in gospodarskih sektorjev, v katerih je zmanjšanje emisij CO₂ nujno in težko dosegljivo [EC EU, 2020]. Ne glede na njegove prednosti, je njegov delež svetovne in evropske energijske mešanice še vedno na minimalni ravni. Proizvodnja vodika še vedno poteka pretežno iz fosilnih goriv, zlasti iz zemeljskega plina in premoga. V letu 2019 je v EU delovalo 300 elektrolizerjev, ki so skupaj proizvedli manj kot 4 % celotne proizvodnje vodika. Hkrati pa EU letno izpusti v atmosfero od 70-100 milijonov ton CO₂. Iz tega sledi, da

bi lahko prispevali k podnebni nevtralnosti z večjim obsegom uporabe obnovljivega, zelenega vodika, ki ne povzroča emisij CO₂ [EC EU, 2020]. V ta namen je načrt Evropske unije namestitev vsaj 6 GW elektrolizerjev vodika iz obnovljivih virov v EU. Proizvodnja do 1 milijona ton obnovljivega vodika je namenjena uporabi v rafinerijah, jeklarski in kemični industriji v obdobju 2020-2024. V končni fazi bi vodikove tehnologije dosegle zrelost in se uporabljale v velikem obsegu v vseh sektorjih, ki jih je težko razogljčiti, v obdobju 2030-2050 [EC EU, 2020].

2 VODIKOVE TEHNOLOGIJE IN VPLIV BARVNEGA PROCESA

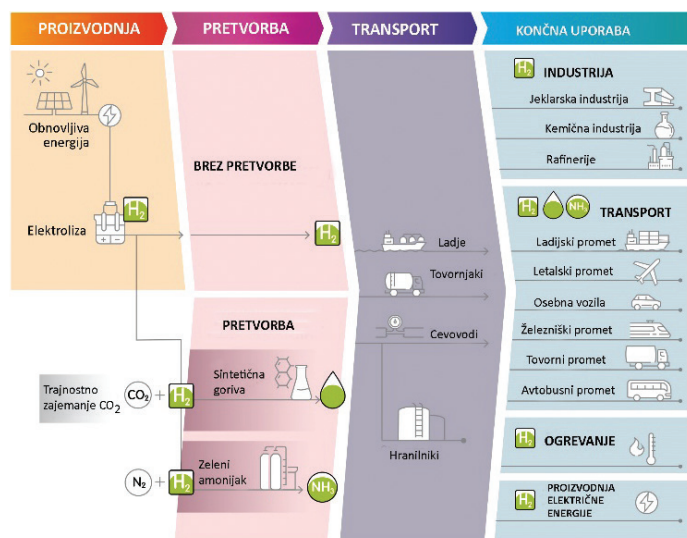
V letu 2022 je večina držav v svetu, ki pokrivajo 88 % svetovnih emisij toplogrednih plinov, napovedala uresničevanje ciljev neto ničelne vrednosti. V ta namen je Evropska komisija podala predlog akta o neto ničelni industriji za krepitveko sistema proizvodnje proizvodov neto ničelnih tehnologij, ki temelji na štirih pomembnih stebrih: (i) predvidljivo in poenostavljeno regulativno okolje; (ii) hitrejši dostop do financiranja, ki vključuje izboljšanje naložbenega okolja proizvodne zmogljivosti za tehnologije, ključne za doseganje ciljev podnebne nevtralnosti in zagotavljanja odpornosti razogljčenega energetskega sistema, ki bo hkrati prispeval k zmanjšanju onesnaževanja okolja in bo v korist javnega zdravja in okoljski blaginji planeta; (iii) izboljšanje spretnosti in (iv) odprta trgovina za odporne dobavne verige. Odpornost prihodnjih energetskih sistemov se bo merila predvsem z zagotovljenim dostopom do tehnologij, ki bodo poganjale različne sisteme, kot so vetrne turbine, elektrolizatorji, baterije, sončna fotovoltaika, toplotne črpalke in druge tehnologije [EC EU, 2023].

Antropogene emisije so namreč že povzročile dvig globalne temperature za 1,1 °C v primerjavi s letom 1990. To zahteva popolno preoblikovanje energetskih sistemov, ki podpirajo naša gospodarstva. Zato preobrazba evropskega energetskega sistema temelji na iskanju novih načinov pridobivanja energije v smeri obnovljivih virov energije in vključuje prehod iz linearne v krožni, integriran energetski sistem.

Pojem vodikove tehnologije označuje raznolike tehnologije na področjih pridobivanja in čiščenja vodika iz razpoložljivih naravnih virov energije (elektroliza, reforming zemeljskega plina), logistike vodika (shranjevanje in transport), uporabe vodika kot energijskega vektorja (elektrokemični pretvorniki energije – gorivne celice; toplotni stroji – motorji z notranjim zgorevanjem) in spremljajočih tehnologij (varnost, zanesljivost, periferni sistemi in komponente v prenosnih, mobilnih in stacionarnih aplikacijah) [SPEV, 2008]. Vodik se lahko proizvaja iz različnih primarnih virov energije. Glede na proizvodni postopek in vrsto uporabljene energije so lahko stroški vodika in z njim povezane emisije zelo različni. To je razlog, da so tehnologije za proizvodnjo vodika pogosto razvrščene na podlagi različnih barv, na primer zelene, rumene, rjave, sive, modre in turkizne [Ajanovic, 2022]. Zeleni vodik, proizveden z elektrolizo ob uporabi električne energije iz obnovljivih virov (veter, sonce, itd.) ne povzroča emisij ogljika in daje možnost shranjevanja presežne električne energije iz obnovljivih virov ter uporabe v času pomanjkanja energije. Rumeni vodik se prav tako proizvede z elektrolizo pri uporabi jedrske energije namesto obnovljive energije. Pri tem nastanejo nizke emisije ogljika, obstaja možnost »shranjevanja« presežne električne energije. V letošnjem letu so Francija in še

osem drugih držav EU, med njimi tudi Slovenija, ki pridobiva elektriko iz jedrske energije, dale pobudo Evropski komisiji, da se naj rumeni vodik opredeli kot zeleni vodik. Rjavi oziroma črni vodik se pridobiva iz premoga s tehnologijo uplinjanja, pri čemer nastajajo emisije CO₂. Sivi vodik se pridobiva s parnim reformingom metana oziroma zemeljskega plina, pri čemer se ta v postopku uporablja kot surovina in kot energent, ogljik pa se iz procesa izloča v obliki CO₂. Modri vodik se proizvaja na enak način kot sivi vodik, vendar emisije ogljika ne uhajajo v ozračje, ker se CO₂ zajema in shranjuje v podzemna ali izčrpana podvodna skladišča. Ta način pridobivanja vodika lahko z bilančnega vidika štejemo za CO₂-nevtralen način. Turkizni vodik se pridobiva iz metana s postopkom pirolize, pri tem namesto CO₂ nastaja trdni ogljik, ki se lahko uporablja v industriji. Zeleni vodik je edina vrsta vodika, ki se proizvaja na podnebno nevtralen način, kar pomeni, da bi lahko imel pomembno vlogo pri svetovnih prizadevanjih za zmanjšanje emisij na neto nič emisij do leta 2050 [IRENA, 2022].

Procesi zelenega vodika od proizvodnje, pretvorbe, transporta in končne uporabe v celotnem energetske so prikazani na sliki 1.



Slika 1. Procesi zelenega vodika v celotnem energetske sistemu [IRENA, 2022].

Za nadaljnji razvoj vodikovih tehnologij bodo potrebne obsežne naložbe, prav tako v povečanje zmogljivosti proizvodnje sončne in vetrne energije ter povečanje in pocenitev izdelave elektrolizerjev, ki so potrebni za pretvorbo električne energije v vodik. Globalno povpraševanje po vodiku je v letu 2021 doseglo 94 milijonov ton, kar je 5 % več kot leta 2020, predvsem zaradi oživitve dejavnosti v kemičnem sektorju in rafinerijah. Vendar je bila večina tega povpraševanja zadovoljena z vodikom, proizvedenim iz fosilnih goriv, kar je imelo škodljive učinke na podnebje ([Gilles, 2022], [IEA, 2022]).

2.1 Nove aplikacije vodika

Vodik predstavlja možnost shranjevanja občasnih presežkov proizvodnje energije iz obnovljivih električnih virov, ki se lahko

uporablja kot nadomestek za fosilna goriva v nekaterih aplikacijah ali pa se po potrebi ponovno pretvori v električno energijo. Povpraševanje po vodiku je osredotočeno na tradicionalne uporabe, pri čemer je prodor novih aplikacij zelo omejen. Pomembno povpraševanje po novih aplikacijah vodika je bilo zaznati v jeklarski industriji (neposredna redukcija železa na osnovi vodika) z najbolj znanimi pilotnimi projekti, kot so: i) Hybrit, gradnja kamnitega skladišča za vodik brez fosilov v Luleåju na Švedskem, ki bo pomemben del vrednostne verige brezfosilne proizvodnje železa in jekla. Dvoletno testno delovanje se bo izvajalo do leta 2024 [HYBRIT, 2022]; ii) GravitHy predstavlja revolucionarno postavitve prve zelene in najsodobnejše tovarne za pridobivanje zelenega železa in zelenega jekla v Fos-sur-Meru v Franciji. Je pomemben mejnik, ki bo prispeval k evropskemu cilju proizvodnje 10 milijonov ton čistega vodika do leta 2030 [Green Steel World, 2022]; iii) H2FUTURE, največja pilotna naprava za zeleni vodik na svetu v podjetju Voestalpine iz Linza v Avstriji, ki uspešno deluje od novembra 2019. Trenutno je to največja pilotna tovarna na svetu za CO₂ nevtralno proizvodnjo vodika, ki je hkrati postavila mednarodni mejnik pri napredku novih možnosti oskrbe z energijo. V okviru projekta, sofinanciranega s strani EU, partnerji projekta raziskujejo industrijsko proizvodnjo zelenega vodika kot sredstvo za dolgoročno zamenjavo fosilnih goriv v proizvodnji jekla [H2Future, 2019]. Pomemben prispevek je tudi Puertollano, ki je demonstracijski projekt zelene vodikarne Iberdrola v Španiji, ki je največja tovarna zelenega vodika za industrijsko uporabo v Evropi. Sestavljena je iz 100 MW fotonapetostne sončne elektrarne, litij-ionskega baterijskega sistema s kapaciteto shranjevanja 20 MWh in enega največjih elektrolitskih sistemov za proizvodnjo vodika na svetu (20 MW). Pridobivanje vodika je 100 % iz obnovljivih virov energije [Iberdrola, 2023].

Nove aplikacije vodika so aktualne tudi v prometu, energetske sektorju in pri stavbah. Povpraševanje po tovrstnih aplikacijah se je v letu 2021 povečalo za 60 % in doseglo približno 40 kt vodika, kar predstavlja le 0,04 % svetovnega povpraševanja po vodiku [IEA, 2022]. Večina tega povpraševanja je osredotočena na cestni promet, pri katerem je bilo opaziti znatno povečanje zaradi pospešenega uvajanja električnih vozil na gorivne celice, predvsem težkih tovornjakov na Kitajskem. Za uresničitev scenarija neto ničelne vrednosti emisij ogljika je potrebna korenita sprememba pri ustvarjanju povpraševanja, zlasti po novih aplikacijah in njihovi komercializaciji. Predvideva se, da bo do leta 2030 povpraševanje po vodiku doseglo približno 180 milijonov ton, skoraj polovica tega povpraševanja pa bo izhajala iz novih aplikacij, zlasti v težki industriji, proizvodnji električne energije in proizvodnji goriv na osnovi vodika [IEA, 2022]. Eden izmed pomembnih dejavnikov uvajanja novih vodikovih tehnologij so ob tehnoloških izzivih in zagotavljanju varnosti tudi stroški proizvodnje vodika. Stroški zelenega vodika so trenutno zelo visoki [Mneimneh, 2023]. Za vzpostavitev evropskega raziskovalnega in inovacijskega območja za vodik so ključne vodikove doline - regionalni ekosistemi, povezani s proizvodnjo vodika, transportom in njegovimi različnimi aplikacijami, v skladu s Partnerstvom za čisti vodik [Weichenhain, 2022].

Evropska komisija je do sedaj finančno podprla delovanje 37 vodikovih dolin, v katerih sodeluje 20 držav in za katere celotne investicije znašajo 33.495,00 milijon EUR [Weichenhain, 2022]. V začetku leta 2023 je partnerstvo za čisti vodik v okviru

Evropske komisije potrdilo še dodatnih 9 vodikovih dolin, med katerimi je tudi Severno-jadranska čezmejna vodikova dolina Slovenije, Hrvaške in Italije - Furlanije in Julijske krajine [HSE, 2023]. Njihovo delovanje je dokaz, da lahko evropsko sodelovanje spodbudi inovacije in se hkrati spopade z velikimi energetskimi izzivi energetskega prehoda. Z zagotavljanjem sredstev za shranjevanje vodika v povezavi z drugimi tehnologijami, kot so na primer baterije, se lahko rešuje neravnovesje med ponudbo in povpraševanjem po energiji. Ta način preprečuje izgubo energije in olajša vključevanje obnovljivih virov energije v energetska omrežja.

3 METODOLOGIJA

V prvi fazi smo pregledali strateške dokumente o vodiku in evropskih ter mednarodnih partnerstvih vodikovih dolin v državah EU in širše, ki vključujejo prikaz napredka v razvoju vodikovih tehnologij, naložb v infrastrukturo in varnostnih pogojih. Glede na sprejete nacionalne strategije za vodik v državah članicah Evropske unije (in tudi v drugih državah) lahko sklepamo, da obstaja velik interes držav za področje proizvodnje, uporabe in prodaje zelenega vodika. V nadaljevanju sledi pregled in analiza posameznih pilotnih projektov uporabe vodika v stavbah v različnih testnih okoljih.

3.1 Značilnost članic Evropske unije na področju vodikovih tehnologij

Evropska unija je s sprejetjem Evropskega zelenega dogovora in Načrta REPowerEU definirala cilj, da bo Evropa do leta 2050 postala prva podnebno nevtralna celina ([EC EU, 2019], [EC EU, 2022]). V letu 2020 sprejeta Strategija za vodik za podnebno nevtravno Evropo [EC EU, 2020], v kateri je nevtralni vodik bistven element prednostne naloge zaveze EU za doseganje ogljične nevtralnosti. Do leta 2020 so nacionalne strategije za vodik sprejele Francija, Nizozemska, Nemčija, Portugalska, Španija in Norveška. V letu 2021 pa Avstrija, Belgija, Češka Republika, Danska, Italija, Luksemburg, Madžarska, Poljska, Slovaška in Švedska, [FleishmanHillard, 2022] ter Hrvaška v letu 2022 [Mingor, 2022]. Slovenija strategije za vodik še nima, vendar ima vlogo vodika opredeljeno v Celovitem nacionalnem načrtu za energijo in podnebne spremembe za obdobje do leta 2030 (s pogledom do leta 2040), v katerem so opredeljeni cilji, politike in ukrepi ([Energetika, 2020], [SIHFC, 2008]). Pospešen razvoj vodikovih tehnologij je posledica energetske krize in visokih stroškov energije v EU ter v širšem svetovnem merilu. V ospredju je izziv, kako zmanjšati negativne vplive na podnebje z zmanjšanjem emisij CO₂ in porabo energije fosilnega izvora.

Vodikove tehnologije se lahko uporabljajo za shranjevanje, pretvorbo in prenos energije [Jovan, 2022]. Osnovne komponente vodikovih tehnologij so elektrolizerji, rezervoarji za shranjevanje vodika (ali sorodni elementi za shranjevanje), vodikovi kompresorji in gorivne celice. Elektrolizerji se uporabljajo za pretvorbo električne energije v vodik z elektrolizo vode. Proizvedeni vodik se lahko nato shrani, najpogosteje s stiskanjem vodika in shranjevanjem pod pritiskom v rezervoarjih. Gorivne celice se uporabljajo za pretvorbo vodika nazaj v električno energijo.

Iz kratke analize energetskega vidika vodikovih tehnologij je razvidno, da vodik vsebuje 39,39 kWh energije na kilogram (vi-

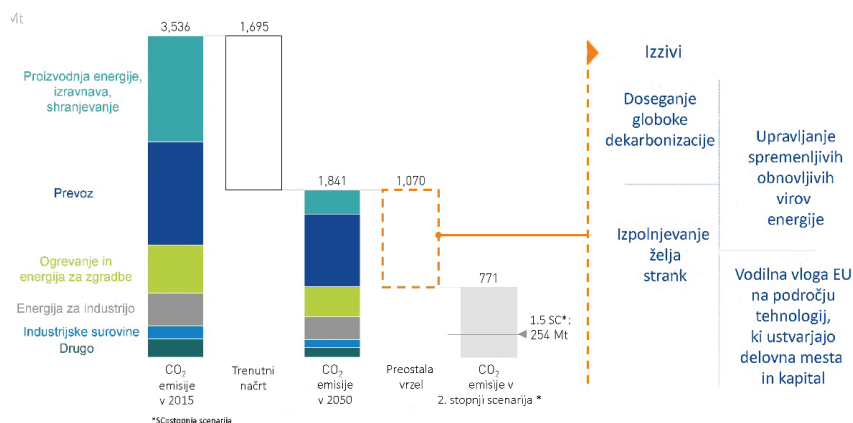
soka kurilna vrednost), ki se sprosti, če vodik reagira s kisikom in nastane voda. Za proizvodnjo vodika z elektrolizo vode je potrebnih približno 55 kWh električne energije na kilogram vodika, kar pomeni, da je učinkovitost elektrolize okoli 70 %. Pri pretvorbi vodika nazaj v električno energijo s pomočjo gorivnih celic se približno 60 % energije vodika pretvori v električno energijo, 40 % pa v toploto. To pomeni, da se iz 1 kg vodika lahko proizvede približno 24 kWh električne energije. Energija se porabi tudi pri shranjevanju vodika. Zaradi nizke gostote je treba vodik stisniti, da se zmanjša prostornina shranjevanja. Običajni tlak shranjevanja je lahko 50-100 barov v industrijskih rezervoarjih in 300-700 barov v avtomobilskih rezervoarjih, npr. za avtomobile s pogonom na gorivne celice. Za stiskanje vodika na npr. 100 bar, 300 bar in 700 bar se porabi približno 3 kW, 5 kW in 6,5 kW električne energije na kg vodika. To so le grobe ocene, dejanske številke so odvisne od vrste uporabljene kompresorja. Vodik se lahko shranjuje pod tlakom ali v tekoči obliki v rezervoarjih, vendar se razvijajo in preizkušajo tudi naprednejši shranjevalni sistemi. Če se osredotočimo na rezervoarje pod pritiskom, potem 1 kg vodika zavzema prostornino 11,13 m³ pri tlaku okolice (1 bar). Pri stisnjenem vodiku se gostota shranjevanja poveča približno sorazmerno s tlakom shranjevanja. Pri tlaku 100 barov je prostornina 1 kg vodika 0,11 m³ ali 111 litrov.

3.2 Delež primarne proizvodnje po virih energije

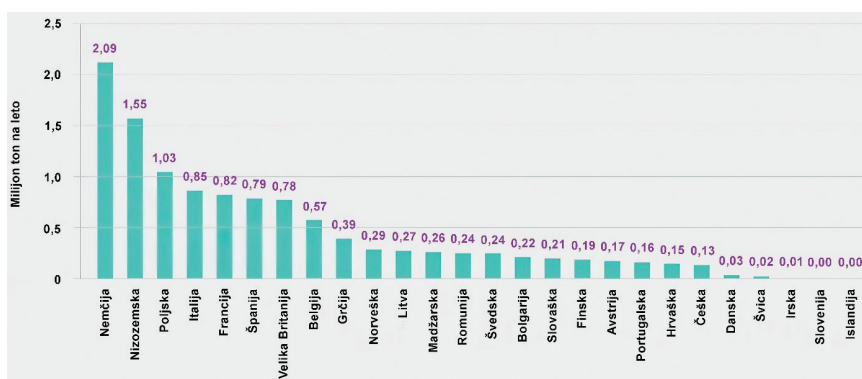
Proizvodnja energije v EU poteka iz različnih virov energije, kot so trda goriva, zemeljski plin, surova nafta, jedrska energija in obnovljivi viri energije (vodna, vetrna in sončna). Največji delež v proizvodnji energije predstavljajo obnovljivi viri energije, in sicer 41 % celotne proizvodnje primarne energije v EU v letu 2021. Drugi največji vir je jedrska energija (31 %), sledijo trdna goriva (18 %), zemeljski plin (6 %) in surova nafta (3 %). Proizvodnja energije med državami članicami se zelo razlikuje. Leta 2021 je bila energija iz obnovljivih virov izključni vir primarne proizvodnje na Malti, v Latviji je bil ta delež 99 %, na Portugalskem 98 % in Cipru 96 %, na Hrvaškem 67 %, v Nemčiji 46 %, v Sloveniji pa nekaj več kot 35 %. Jedrska energija je bila še posebej pomembna v Franciji, in sicer je njen delež 76 % celotne nacionalne proizvodnje energije, v Belgiji 70 %, na Slovaškem 58 %, v Sloveniji 41 % in Nemčiji zgolj 18 %. Delež trdih goriv pri proizvodnji energije znaša 72 % na Poljskem, 56 % v Estoniji, na Češkem 45 %, v Nemčiji 31 % in v Sloveniji 24 %. Največji delež zemeljskega plina je bil na Nizozemskem (58 %) in Irskem (42 %) ter 35 % delež surove nafte na Danskem [Eurostat, 2023]. V letu 2020 je poraba energije v stanovanjskem sektorju predstavljala 27,4 % končne porabe energije oziroma 18,7 % bruto domače porabe energije v EU [Eurostat, 2022].

3.3 Zakaj zeleni vodik v stavbah?

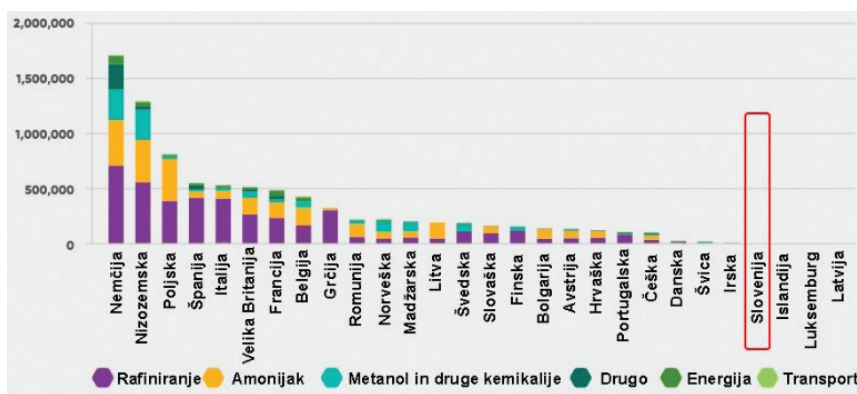
Evropska komisija je v okviru sprejetih strateških dokumentov, predvsem v načrtu za vodik opredelila [FCH JU, 2019a], da je vodik najboljša (ali edina) izbira za obsežno razogljčenje izbranih segmentov v prometu, industriji in stavbah, še posebej starejših stavb, ki povzročajo 90 % emisij CO₂ iz stavb. Proizvodnja energije in izzivi razogljčenja ter upravljanja spremenljivih obnovljivih virov energije so prikazani na sliki 2.



Slika 2. Proizvodnja energije in izzivi razogljičenja ter upravljanja spremenljivih obnovljivih virov energije [FCH JU, 2019a].



Slika 3. Skupna zmogljivost proizvodnje vodik po državah EU [Allsop, 2022].



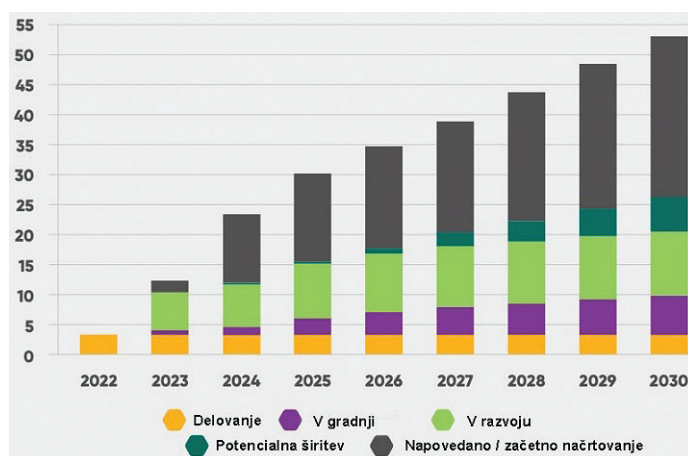
Slika 4. Skupno povpraševanje po vodik po državah v letu 2020 [Allsop, 2022].

Pri stavbah bi lahko vodik nadomestil približno 7 % zemeljskega plina do leta 2030 in 32 % do leta 2040, kar ustreza približno 30 TWh leta 2030 in 120 TWh leta 2040. Največje zmogljivosti proizvodnje vodik so v Nemčiji, Nizozemski, Poljski in Italiji (slika 3), kjer se proizvaja pretežno s tehnologijo parnega reforminga iz zemeljskega plina ([Allsop, 2022], [FCH JU, 2019b]).

Največje povpraševanje po vodik je v rafinerijah in v industriji amonijaka. Več kot polovica vsega se ga porabi v Nemčiji (20 %), na Nizozemskem (15 %), na Poljskem (9 %) in v Španiji (7 %), kot je prikazano na sliki 4 [Allsop, 2022].

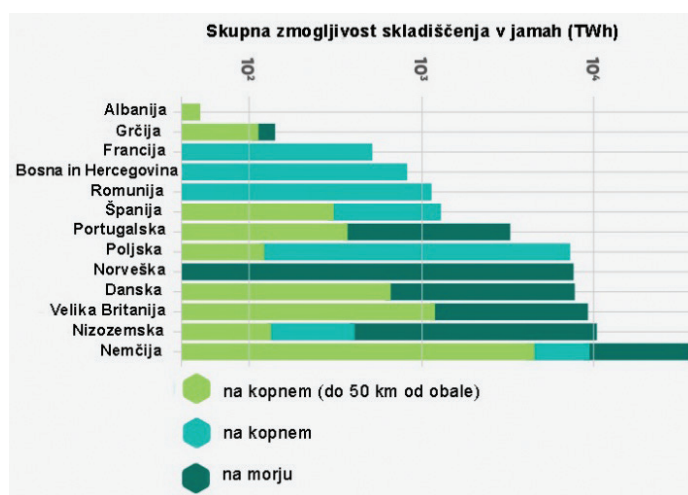
Večina načrtovanih zmogljivosti elektrolizerjev (79 %) med leti 2023-2030 je še vedno v začetnih fazah razvoja in še niso v fazi gradnje. Do leta 2030 se predvideva le 12 % načrtovanih aktivnosti v fazi gradnje (slika 5), s čemer bodo težko uresničeni načrti za širitev in doseganje ciljev projekta REPowerEU [Allsop, 2022].

Vloga vodik v prihodnjem energetskem sistemu z visokim deležem spremenljivih obnovljivih virov energije je ključna pri uravnavanju nihanj pri proizvodnji električne energije. Ta nihanja se lahko izravnavajo z ukrepi prenosa, prilagodljive proiz-



Slika 5. Skupni možni ekvivalentni faktor zmogljivosti elektrifikacije po stopnjah v Evropi do leta 2030 (v GW/leto) [Allsop, 2022].

vodnje in zmogljivosti ter skladiščenja. Skladiščenje kemičnih nosilcev energije, kot je vodik, v solnih jamah, je zaradi velike zmogljivosti skladiščenja najbolj obetavna, stroškovno nezahtevna ter varna tehnologija. Na sliki 6 je prikaz zmogljivosti solnih jam za skladiščenje vodika v posameznih evropskih državah. V vseh primerih skladiščenja ima Nemčija največ zmogljivosti, sledita ji Nizozemska in Velika Britanija, nato Danska, Norveška in Poljska [Caglayan, 2020].



Slika 6. Skupna zmogljivost skladiščenja vodika v solnih jamah [Caglayan, 2020].

3.4 Praktični primeri uporabe zelenega vodika v stavbah v različnih testnih okoljih

Gradbeni sektor pomembno vpliva na številne gospodarske sektorje, lokalna delovna mesta in kakovost življenja. Zahteva velike količine virov in porablja približno 50 % vseh pridobljenih materialov. Gradbeni sektor je odgovoren za okoli 40 % porabe energije in za 36 % emisij toplogrednih plinov ([Hydrogen Europe, 2022a], [Hydrogen Europe, 2022b]). Emisije za-

radi pridobivanja materialov, proizvodnje gradbenih proizvodov ter gradnje in obnove stavb so ocenjene na 5-12 % vseh nacionalnih emisij toplogrednih plinov. Z večjo učinkovitostjo materialov bi lahko prihranili 80 % teh emisij [EC EU, 2023]. Danes je približno 75 % stavb v EU energetske neučinkovitih zaradi porabe energije in emisij CO₂ v fazi gradnje stavb in tudi v fazi obratovanja, predvsem zaradi ogrevanja in klimatizacije. To pomeni, da se velik del porabljene energije izgubi. Takšno izgubo energije je mogoče zmanjšati z izboljšanjem obstoječih stavb ter s prizadevanjem za pametne rešitve in energetske učinkovite materiale pri gradnji novih stavb. S prenovo obstoječih stavb bi lahko zmanjšali skupno porabo energije v EU za 5-6 % in hkrati zmanjšali emisije CO₂ za približno 5 %. Vendar se v povprečju vsako leto prenovi manj kot 1 % nacionalnega stavbnega fonda (v državah članicah je ta delež od 0,4 % do 1,2 %). Da bi dosegli naše podnebne in energetske cilje, bi se morala sedanja stopnja prenove vsaj podvojiti ([EC EU, 2023], [Hydrogen Europe, 2022a]). Ogrevanje stavb zahteva pomembno količino energije, ki jo mora podpirati močno omrežje. Naprave za napajanje z vodikom, kot so gorivne celice, kotli in integrirane hibridne toplotne črpalke, bi pomagale ublažiti širitev omrežja in omejitve, znižati stroške in pospešiti razogljčenje sektorja.

Stavbe v bližini vodikovih dolin bodo lahko imele koristi od naložb v infrastrukturo, ki bodo namenjene industrijski in prometni uporabi. Zato lahko na območjih brez infrastrukture za zemeljski plin vodik kratkoročno enostavno uvedemo v stavbe. Vodik omogoča uvoz cenejše obnovljive energije iz držav z veliko obnovljivih virov, zniževanje stroškov ter povečanje učinkovitosti sistema.

Pri stavbah bi lahko vodik nadomestil približno 7 % zemeljskega plina (po količini) do leta 2030 in 32 % do leta 2040, kar ustreza približno 30 TWh leta 2030 in 120 TWh leta 2040.

Hkrati pa vodik omogoča shranjevanje obnovljive energije na sezonskem nivoju (shranjevanje viškov energije iz poletnega obdobja za uporabo v zimskem obdobju) in s tem omogoča celoletno energetske oskrbo sektorja stavb ([Hydrogen Europe, 2022a], [Hydrogen Europe, 2022b]). Prihodnost ogrevanja stavb bo nedvomno povezana z zelenim vodikom, saj je že danes mogoče dodajati zemeljskemu plinu do 20 % vodika in s tem prispevati k občutnemu zmanjšanju emisij CO₂.

Uporaba vodika v stavbnem sektorju za ogrevanje (in hlajenje) je v začetni fazi. Po dosedanjih analizah obstoječih stavb predstavlja ogrevanje na vodik učinkovito možnost, ki pa je stroškovno neugodna. Glede na svetovne in evropske trende od leta 2030 dalje bodo lahko rešitve ogrevanja na vodik postale konkurenčne. Pri tem sta pomembna zakonodaja in zagotavljanje varnosti (npr. uhajanje vodika v okolico). Čisti vodik za stanovanjske namene zajema daljinsko ogrevanje, kogeneracijo (soproizvodnjo) toplote in električne energije ter trdo-oksidsne gorivne celice - SOFC (angl. Solid oxide fuel cell).

Obstajajo različne študije in pilotni projekti, katerih glavni namen je predstaviti vodikove tehnologije in možnosti uporabe v zgradbah, spoznati optimalen in stroškovno ugoden način uporabe, tudi v kombinaciji z drugimi tehnologijami, kot so toplotne črpalke ali ogrevalna omrežja, in razviti regulativni okvir (zakonodaja, varnost, finančni vidik). Pri tem se obravnava dve možnosti: (i) centralna proizvodnja vodika in distribu-

cija prek distribucijskega omrežja za plin (mešanje vodika v zemeljski plin ter uporaba plinovodnega omrežja za transport in shranjevanje vodika [Topolski, 2022]) in (ii) lokalno skladiščenje vodika za lokalno proizvodnjo električne energije iz foto-voltaike [Knosala, 2021].

3.4.1 Študija primera: Enodružinska stanovanjska hiša v srednji Evropi - hibridno shranjevanje vodika

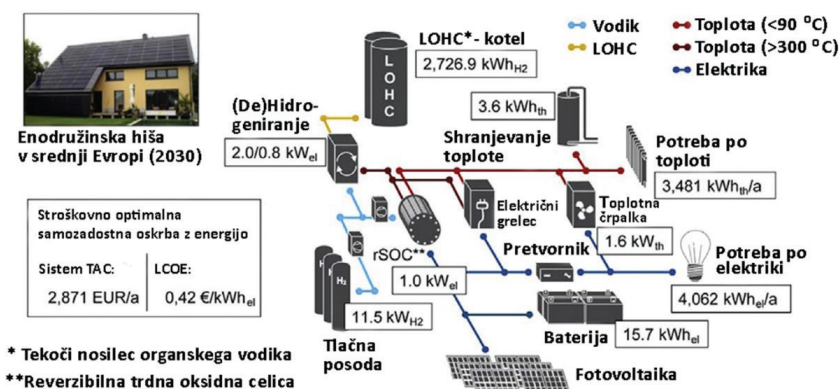
V študiji primera je bilo izvedeno testiranje tehnologije hibridnega shranjevanja vodika z napajalnim sistemom fotovoltaike (slika 7), ki omogoča energetsko samozadostnost enostanovanjske stavbe s predpostavko lokacije v srednji Evropi, upoštevajoč podnebne pogoje. Iz primerjalne ocene različnih konfiguracij tehnologije, skladiščenja in integracijo toplote med sistemoma tekočih organskih nosilcev vodika - LOHC (angl. Liquid organic hydrogen carriers) in reverzibilnih trdno oksidnih gorivnih celic - rSOC (angl. reversible solid oxide cells) [Corigliano, 2022], ki zmanjšujeta potrebe po shranjevanju vodika, obstaja velik potencial v energetsko samozadostnih stavbnih sistemih. Uporaba vodikove pretvorbe in sistema za shranjevanje vodika prinaša skupna letna znižanja stroškov v višini 72-80 % za samooskrbo z električno in toplotno energijo skozi vse leto v primerjavi s sistemi litij-ionskih baterij [Knosala, 2021]. Iz študije je razvidno, da velike skladiščne zmogljivosti na osnovi tlačnih posod vodijo v visoke stroške.

Tudi domače hibridno shranjevanje vodika v kombinaciji z visoko energetsko učinkovitimi zgradbami lahko omogoči popolnoma energetsko samozadostne stanovanjske zgradbe.

da so izpolnjeni vsi pogoji, kot so ustrezna oprema, varnostni sistem, zakonodaja (dovoljenja za obratovanje), je zelo upravičena uporaba vodika v stavbah, v nasprotnem primeru je prihodnost uporabe negotova in so potrebne nadaljnje raziskave o koristi vodika pri ogrevalnih rešitvah v časovnem horizontu 2025/2030/2050. Študija prikaže številne koristi vodikovih tehnologij za posameznike, operaterje omrežij in energetski sistem ter izpostavlja pomen stroškovnih rešitev za uporabnika vodika v stavbah. Trenutno so druge tehnologije, kot so toplotne črpalke ali toplota iz omrežja daljinskega ogrevanja, učinkovitejša in cenejša rešitev. Prav tako je ena od ugotovitev BatHyBuild, da je razlika med ogrevanjem na vodik in popolnoma električnim ogrevanjem zelo majhna, še posebej v primeru zagotavljanja nizkotemperaturnega ogrevalnega sistema.

3.4.3 Pilotni projekt Waterstofwijk Hoogeveen, Nizozemska

Projekt se izvaja na degradiranem območju, s ciljem spremembe območja v 'greenfield', zeleno in trajnostno krajinsko sosesko z ogrevanjem na vodik ob uporabi obstoječega plinskega omrežja. Razvoj novogradnje stanovanjskega naselja Nijstad-Oost obsega 80-100 novih stanovanjskih hiš (slika 8) v mestu Hoogeveen-u. Pri tem je pomembna osredotočenost na upoštevanje razvoja mesta in aktiviranje trajnostne proizvodnje energije z vodikom v bližini novogradnje z zagotavljanjem nadzora in varnosti. Dodatna rešitev je tudi v nadaljnji pretvorbi posameznih obstoječih stanovanjskih območij v soseske brez zemeljskega plina z možnostjo uporabe vodika, ki je lahko del energetske mešanice v grajenem okolju. Izvajanje projekta poteka fazno in vključuje testiranje posamezne opre-



Slika 7. Samooskrbna enodružinska stanovanjska hiša v srednji Evropi z uporabo zelenega vodika [Knosala, 2021].

3.4.2 BatHyBuild, Nizozemska

V študiji je bila izvedena raziskava in demonstriranje potencialne uporabe vodikovih tehnologij v stanovanjskih aplikacijah kot zgradbah prihodnosti. Demonstracijske aktivnosti so obsegale kolektivno ogrevanje s kombiniranimi toplotnimi črpalkami ob uporabi solarnih panelov in vodikovih panelov ter vodikovih kotlov za skupinsko uporabo. Model BatHyBuild [Rongé, 2021] upošteva lokalni kontekst hiše oz. soseske upravljanja s 100 % zeleno energijo, ob uporabi cenovno dostopnega vodika iz uvoza ter vodika iz distribucijskega omrežja. S predpostavko,

me za ogrevanje z vodikom: i) zunanja oskrba z vodikom in skladiščenje v letu 2021, ii) lokalna proizvodnja vodika v letu 2023, iii) dobava vodika preko vodikove hrbtenice v letu 2027 [Rossum, 2022], ki se vzpostavlja na ravni držav EU. Prednost prebivalcev v teh soseskah bo svobodna izbira načina ogrevanja (zemeljski plin ali vodik). Projekt je del ciljnih aktivnosti Nizozemske, da morajo stavbe prenehati z ogrevanjem s pomočjo zemeljskega plina iz fosilnih goriv in postati ogljično nevtralne do leta 2050 z uporabo zelenega vodika, ki je kot nosilec energije obetavna trajnostna alternativa ([Hazenber, 2020a], [Hazenber, 2020b]).



Slika 8. Predvideno vodikovo okrožje nove stanovanjske soseske v Hoozevee [Hazenberga, 2020a].

3.4.4 Projekt: Inspiration House, First home in Stad Aan 'T Haringvliet, Nizozemska

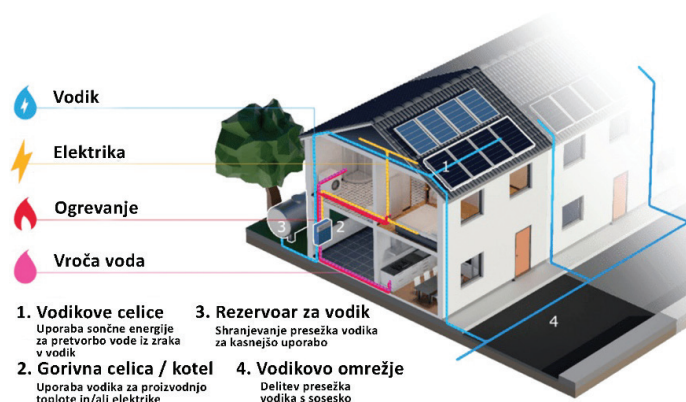
Prva pilotna vrstna hiša, imenovana Inspiration House (hiša navdih), ogrevana z zelenim vodikom, v bližini katere so tudi druge stanovanjske stavbe. Projekt je v fazi testiranja vodikove tehnologije in poteka v sodelovanju s prebivalci - opazovalci v naselju, s ciljem postati trajnostni brez uporabe zemeljskega plina. V primeru dovolj široke podpore (70 % soglasje) prebivalcev za spremembo ogrevanja z vodikom se bo projekt nadaljeval v smeri testiranja - ogrevanja z vodikom z uporabo plinovodnega omrežja. Podjetje Stedin, ki izvaja projekt, je predhodno že uspešno izvedlo ogrevanje 14 stavb z vodikom in 'dokazalo', da je mogoče obstoječe omrežje zemeljskega plina pretvoriti v vodik. Dokončni cilj je ogrevanje z vodikom vseh stavb v kraju do leta 2025 ([Hydrogen-Central, 2022], [Özdemir, 2022]).

3.4.5 Projekt ROLECS Leuven, Belgija

Raziskava ROLECS je kratica za Roll-Out of Local Energy Communities (vzpostavitev lokalnih energetskih skupnosti) in raziskuje načine delitve energije znotraj energetskih skupnosti. Cilj je bil raziskati, kako lahko vodik proizvodimo in uporabljamo v stanovanjski zgradbi z uporabo vodikovih celic, iz katerih so moduli sestavljeni in uporabljajo sončno energijo za proizvodnjo plinastega vodika. Moduli so zelo podobni klasičnim sončnim fotovoltaičnim sistemom, vendar so namesto z električnim kablom povezani s plinskimi cevmi. Vodikova celica lahko z uporabo inovativnih materialov zajame vodo iz zraka in uporabi sončno energijo za cepitev molekul vode v vodik in kisik [Solhyd, 2023].

Tovrstna inovativna tehnologija je v začetni fazi uporabe povezana z višjimi stroški, ki pa se bodo z večjo stopnjo uporabe

znižali, kot je primer fotovoltaike, kjer smo pričali drastičnemu znižanju stroškov. Sčasoma bi morala biti cena vodikovega panela blizu ceni današnjega fotovoltaičnega panela [Solhyd, 2023]. Projekt, izvajan na različnih pilotnih lokacijah, izpostavlja izzive, kako pridobiti globlje razumevanje in motivacijo končnih uporabnikov do lokalnih energetskih skupnosti, ki sledijo politiki EU na področju energije ter ustvarjajo krajino, ki je bolj trajnostna, z dejavno udeležbo končnega potrošnika/proizvajalca, t.i. prosumerja (angl. prosumer). Po-udarek je na optimizaciji proizvodnje, shranjevanju in skupni rabi električne energije. Ena izmed projektnih aktivnosti se nanaša na testiranje vodikovih plošč, modulov, ki uporabljajo sončno energijo za proizvodnjo plinastega vodika (slika 9) [Solhyd, 2023]. Vodikove panele je mogoče namestiti na streho stavbe, vendar potekajo raziskave o možnih drugih aplikacijah.



Slika 9. Shematski prikaz aplikacije vodika z vodikovimi celicami [Solhyd, 2023].

3.4.6 Demo Site / R&D Living-lab, Göteborg, Švedska

Projekt sodobne samooskrbne hiše, ki deluje kot demonstracijsko mesto za delo brez omrežja in živi laboratorij za potrebe raziskav in razvoja, se je pričel v letih 2014/2015.

V demo hiši se zbirajo in analizirajo podatki, spremlja se mikroomrežje z vidika potreb po zagotovitvi bolj prožnega sistema proizvodnje in rabe električne energije, razvijajo in spreminjajo se številne strojne komponente (elektrolizerji, gorivne celice, kompresorji itd.), zaradi česar je hiša pomemben del raziskovalne in razvojne dejavnosti podjetja Nilsson Energy [Nilsson Energy, 2017]. Do danes je hiša (slika 10), izobraževalno demonstracijski pilot za učenje, kako živeti v hiši z vodikom v neodvisnosti od električnega omrežja, običajno več kot 6500 strokovnjakov, znanstvenikov, študentov in članov širše javnosti, ki so se seznanili z življenjem v sodobni hiši, ki se napaja iz sončne energije in je enostavna za upravljanje. Hiša je popolnoma samozadostna, saj s pomočjo solarnih panelov proizvede dovolj vodika za ogrevanje in potrebe po električni energiji ter zadošča še za polnjenje dveh električnih avtomobilov v sodobni garaži ob bivalnem delu hiše.



Slika 10. Demo Site / R&D Living-lab, Göteborg [Nilsson Energy, 2017].

3.4.7 Climate Neutral City Quarter - New West City of Esslingen, Nemčija

V projektu »Podnebno nevtralna mestna četrt – novo zahodno mesto Esslingen«, ki je 'svetilnik' Nemčije, se na ravni nove četrti izvaja v prihodnost usmerjen celovit energetski koncept uporabe zelenega vodika za urbani energetski prehod. Kompleksni del projekta je integracija vodikove tehnologije in fotovoltaike ter ustvarjanje energetskega središča, ki v celoti povezuje vse vidike infrastrukture z vsakdanjim mestnim življenjem (slika 11). Gradnja soseske poteka na lokaciji nekdanje tovarne postaje v Esslingenu, s ciljem vzpostaviti skoraj podnebno nevtralno mestno četrt. V obdobju med 2018-2023 znanstveniki preizkušajo inovativen koncept oskrbe z energijo v načrtovani četrti "Neue Weststadt", v kateri se vsa presežna električna energija iz nihanja obnovljivih virov energije pretvori in hrani v obliki vodika, ki ga je mogoče shraniti in pozneje uporabiti pri proizvodnji energije. Soseska služi kot laboratorij za sistemsko povezovanje sektorjev ogrevanja, hlajenja, električne energije in mobilnosti. Razprostira se na 12 hektarjih z več kot 450 stanovanji, pisarniškimi stavbami in poslovnimi prostori ter z novo stavbo Univerze uporabnih znanosti Esslingen ([GIZ, 2020], [Neue-Weststadt, 2023]).



Slika 11. Podnebno nevtralna mestna četrt – Esslingen [Neue-Weststadt, 2023].

Iz navedenih raziskav je razvidno, da obstajajo potenciali uporabe zelenega vodika za energetsko preskrbo stavb, kjer so ključnega pomena vodikove tehnologije, varna in pametna infrastruktura ter oprema s primerno stroškovno komponento, ki se kaže za najbolj kritično oviro za ogrevanje stavb. Prav tako je opazno, da vodik še ni prodrl v zavest javnosti zaradi pomanjkanja znanja in ozaveščenosti, kar je posledica pomanjkljivega razširjanja informacij o prehodu na zeleno energijo in nujnosti zmanjšanja emisij CO₂. Odgovor na to je nujno (obvezno) sodelovanje po načelih četverne vijačnice, politike, gospodarstva, znanstvenikov in uporabnikov / potrošnikov za vzpostavitev

večjega zaupanja v nove, zelene, vodikove tehnologije v stavbnem sektorju, ki so družbeno, okoljsko in ekonomsko sprejemljive ter koristne ter varne za življenje.

4 SKLEP

Evropa prispeva zgolj 8 % svetovnih emisij CO₂, vendar se zaveda svoje odgovornosti za zmanjšanje deleža kumulativnih emisij. S sprejetimi strategijami na evropski in nacionalnih ravneh se je zavezala, da bo odločno utirala pot v zeleno, trajnostno, konkurenčno, vključujoče in krožno gospodarstvo. Zato postajajo trajnostne energetske rešitve vse bolj pomembne v boju proti podnebnim spremembam, pri čemer je ključnega pomena zmanjšanje porabe energije fosilnega izvora. V Evropski uniji je bilo v zadnjih letih opravljenih veliko raziskav in študij na področju vodika, ki kažejo, da je vodik ključni element pri doseganju ciljev EU glede razogljičenja, zlasti v sektorjih, ki jih je težko razogljičiti, kot so težka industrija, promet in ogrevanje. EU si prizadeva postati vodilna v svetu na področju vodikovih tehnologij in si je zastavila ambiciozne cilje glede proizvodnje in uporabe zelenega vodika (tj. proizvedenega iz obnovljivih virov energije, najpogosteje sončne in vetrne energije). Za podporo pri uvajanju vodikovih tehnologij so potrebna inovativna znanja ter znatne naložbe v vodikovo infrastrukturo, vključno s proizvodnimi zmogljivostmi, infrastrukturo za prevoz in skladiščenje ter polnilnimi postajami. Stroški proizvodnje zelenega vodika so trenutno visoki v primerjavi z drugimi gorivi, vendar se pričakuje, da se bodo z večanjem obsega proizvodnje in tehnološkimi izboljšavami znižali. Vzpostavljene vodikove doline s širokimi partnerstvi omogočajo možnosti za mednarodno sodelovanje pri razvoju in uvajanju vodikovih tehnologij, vključno s partnerstvi z državami, ki imajo veliko obnovljivih virov energije in/ali obstoječo vodikovo infrastrukturo. Pri prehodu na gospodarstvo, ki temelji na vodiku, je treba obravnavati več izzivov, vključno z regulativnimi okviri, zagotavljanjem varnosti, zasnovano trga in javnim sprejemanjem. Zeleni vodik lahko pomaga doseči ničelne emisije in podpira prehod na trajnostno energijo in trajnostno gospodarstvo. Prav tako je lahko uporaben za ogrevanje zgradb, saj zagotavlja čisto in učinkovito alternativo fosilnim gorivom. Na splošno so naložbe v energetsko učinkovitost in zeleni vodik nujno potrebne za trajnostno prihodnost Evrope in zunaj nje. Če damo prednost tem rešitvam, lahko zmanjšamo svoj ogljični odtis, ustvarimo delovna mesta in zgradimo bolj odporen in trajnosten energetski sistem. Na osnovi analize praktičnih primerov uporabe vodika za ogrevanje stavb je razvidno, da je prisotno nepoznavanje vodika in bojazen pred njegovo nevarnostjo. Da bi čim bolj izkoristili potencial vodika, je nujno povečati naložbe v raziskave in razvoj tehnologij za proizvodnjo in distribucijo vodika, kot so elektrolizerji in omrežje vodikove hrbtnice, ki se izgrajuje na ravni EU.

Ukrepi, ki jih je mogoče sprejeti za podporo uporabi vodika za ogrevanje stavb, vključujejo spodbujanje naknadnega opremljanja obstoječih stavb za uporabo vodika za ogrevanje, spodbujanje gradnje novih stavb, ki so zasnovane za uporabo vodika kot primarnega vira energije, in zagotavljanje finančne podpore za razvoj vodikove infrastrukture. Poleg tega je bistveno zagotoviti, da sta proizvodnja in uporaba vodika za ogrevanje zgradb trajnostni in da imata čim manjši vpliv na okolje.

To vključuje uporabo obnovljivih virov energije za proizvodnjo vodika, zmanjšanje porabe vode in zagotavljanje, da proizvodni proces ne škoduje biotski raznovrstnosti. Možnost uporabe vodika v stavbah je močno odvisna od specifičnih okoliščin v državi, kot sta na primer podnebje in možnosti pridobivanja energije iz obnovljivih virov energije ter nenazadnje družbene klime v lokalnih okoljih ter do raziskovalno razvojnega potenciala in finančnih zmožnosti. Za uresničitev scenarija neto ničelne vrednosti emisij CO₂ je potrebna korenita sprememba pri ustvarjanju povpraševanja, zlasti za nove aplikacije vodikovih tehnologij.

5 LITERATURA

Abdin, Z., Zafaranloo, A., Rafiee, A., Mérida, V., Lipiński, W., Khalilpour, K. R., Hydrogen as an energy vector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 120, 109620, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109620>, 2020.

Ajanovic, A., Sayer, M., Haas, S., The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen, International Journal of Hydrogen Energy, 47(57), 24136-24154, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.02.094>, 2022.

Allsop, A., Bortolotti, M. (ur.), Clean Hydrogen Monitor 2022, Hydrogen Europe, <https://hydrogeneurope.eu/clean-hydrogen-monitor-2022/>, datum vpogleda 2. 3. 2023, 2022.

Caglayan, D. G., Weber, N., Heinrichs, H. U., Linssen, J., Robinus, M., Kukla, P., Stolten, D., Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe, International Journal of Hydrogen Energy, 45(11), 6793-6805, DOI:10.1016/j.ijhydene.2019.12.161, 2020.

Corigliano, O., Pagnotta, L., Fragiaco, P., On the Technology of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) Energy Systems for Stationary Power Generation: A Review, Sustainability 14(22), 15276, 1-73, <https://doi.org/10.3390/su142215276>, 2022.

Energetika, Celoviti nacionalni energetska in podnebni načrt Republike Slovenije, https://www.energetika-portal.si/file-admin/dokumenti/publikacije/nepn/dokumenti/nepn_5.0_final_feb-2020.pdf, datum vpogleda 1. 3. 2023, 2020.

EC EU, Evropska komisija, The European Green Deal, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions, COM 640 final, 2019.

EC EU, Evropska komisija, A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions, COM 301 final, 2020.

EC EU, Evropska komisija, Updating the 2020 New Industrial Strategy: Building a stronger Single market for Europe's recovery, Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions, COM 350 final, 2021.

EC EU, Evropska komisija, REPowerEU Plan, Communication from the Commission to the European Parliament, the Euro-

pean Council, the Council, the European Economic and social Committee and the Committee of the Regions, COM 230 final, 2022.

EC EU, Evropska komisija, Buildings and Construction, https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2023.

Eurostat, Energy consumption in households, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households, datum vpogleda 4. 3. 2023, 2022.

Eurostat, Shedding light on energy in the EU, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy>, datum vpogleda 3. 3. 2023, 2023.

FCH JU, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen Road Map Europe, A sustainable pathway for the European energy transition, https://uploads-ssl.webflow.com/62ed42f4bdcfca24e2bd5f61/633a9522debcdf3aac52a8_Hydrogen%20Roadmap%20Europe.pdf, datum vpogleda 2. 3. 2023, 2019a.

FCH JU, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, Hydrogen roadmap Europe: a sustainable pathway for the European energy transition, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2843/341510>, datum vpogleda 2. 3. 2023, 2019b.

FleishmanHillard, National Hydrogen Strategies in the EU Member States, <https://fleishmanhillard.eu/wp-content/uploads/sites/7/2022/02/FH-National-Hydrogen-Strategies-Report-2022.pdf>, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2022.

Gerhardt, J., Schmitz, R., Beil, M., Pfennig, M., Kneiske, T., Hydrogen in the energy system of the future: focus on heat in buildings, Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IEE), Hannover, 2020, https://www.iee.fraunhofer.de/content/dam/iee/energiesystemtechnik/en/documents/Studies-Reports/FraunhoferIEE_Study_H2_Heat_in_Buildings_final_EN_20200619.pdf, datum vpogleda 10. 3. 2023, 2020.

Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., Gorini, R., The role of renewable energy in the global energy transformation, Energy Strategy Reviews 24, 38-50, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.01.006>, 2019.

Gilles, F., Brzezicka, P., Unlocking the hydrogen economy—stimulating investment across the hydrogen value chain, European Investment Bank, Luxembourg, https://www.eib.org/attachments/publications/unlocking_the_hydrogen_economy_en.pdf, datum vpogleda 4. 3. 2023, 2022.

GIZ, Nature and Nuclear Safety, Energy-plus Building and Energy-plus Community Research on Definition, Technical Indicators and Industrial Development, <https://climatecooperation.cn/wp-content/uploads/2021/02/Energy-plus-Building-and-Energy-plus-Community.pdf>, datum vpogleda 10. 3. 2023, 2020.

Green Steel World, Green iron and steel company GravitHy launched by industrial consortium, <https://greensteelworld.com/green-iron-and-steel-company-gravity-launched-by-industrial-consortium>, datum vpogleda 2. 3. 2023, 2022.

Guilbert, D., Vitale G., Hydrogen as a Clean and Sustainable Energy Vector for Global Transition from Fossil-Based to Zero-

Carbon. Clean Technol., 3(4), 881-909, <https://doi.org/10.3390/cleantechnol3040051>, 2021.

Hazenbergh, W., Meijjer, B., Aue, J., Teerling, O. J., Pereboom, J., Waterstofwijk Plan voor Waterstof in Hoogeveen - Hydrogen plan in the Dutch town of Hoogeveen, Project consortium Waterstofwijk Hoogeveen, 2020a.

Hazenbergh, W., E-world Essen 2020, The engine for future-proof living Stork - Hydrogreen Hydrogen city Hoogeveen, DOI:10.13140/RC.2.2.14226.38082, 2020b.

H2Future, Green Hydrogen, Production of Green Hydrogen, <https://www.h2future-project.eu/technology>, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2019.

HSE, North Adriatic Hydrogen Valley project, <https://www.hse.si/en/north-adriatic-hydrogen-valley-project-with-hse-as-leading-partner-receives-25-million-in-grants/>, datum vpogleda 7. 3. 2023, 2023.

HYBRIT, Milestone reached - pilot facility for hydrogen storage up and running, <https://www.hybritdevelopment.se/en/hybrit-milestone-reached-pilot-facility-for-hydrogen-storage-up-and-running/> (pridobljeno 4. 3. 2023), 2022.

Hydrogen Europe, Use of Hydrogen in Buildings, https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2022/12/Buildings-and-H2_Brochure_FINAL.pdf, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2022a.

Hydrogen Europe, Hydrogen technologies can boost the energy performance of buildings, https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2022/05/220516-EPBD_hydrogen-Europe-Position-paper-1.pdf, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2022b.

Hydrogen-central, First Home in Stad Aan 't Haringvliet Heated with Hydrogen, The Netherlands, <https://hydrogen-central.com/home-stad-aan-t-haringvliet-heated-hydrogen-netherlands/>, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2022.

Iberdrola, Puertollano green hydrogen plant for industrial use in Europe, <https://www.iberdrola.com/about-us/what-we-do/greenhydrogen/puertollano-green-hydrogen-plant>, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2023.

IEA, Global Hydrogen Review 2022, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>, License: CC BY 4.0, datum vpogleda 12. 3. 2023, 2022.

IRENA, Energy Transition - Tehnology Hydrogen, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>, datum vpogleda 5. 3. 2023, 2022.

IRENA, The changing role of hydropower: Challenges and opportunities, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2023.

Jovan, D. J., Dolanc, G., Pregelj, B., Utilization of excess water accumulation for green hydrogen production in a run-of-river hydropower plant, Renewable Energy, 195, 780-794, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.079>, 2022.

Knosala, K., Kotzur, L., Fritz T. C., Röben, F. T. C., Stenzel, P., Blum, L., Robinius, M., Stolten, D., Hybrid Hydrogen Home Storage

for Decentralized Energy Autonomy, International Journal of Hydrogen Energy, 46(42), 21748-21763; <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.04.036>, 2021.

Maestre, V. M., Ortiz, A., Ortiz, I., Challenges and prospects of renewable hydrogen-based strategies for full decarbonization of stationary power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 152 (2021) 111628, 1-24, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111628>, 2021.

Mingor, Hrvatska strategija za vodik do 2050. Codine, <https://mingor.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Strategije.%20Planovi%20i%20programi/Novi%20direktorij/ZA%20WEB%20Hrvatska%20startegija%20za%20vodik%20do%202050.%20godine.pdf>, datum vpogleda 3. 3. 2023, 2022.

Mneimneh, F., Ghazzawi, H., Hejjeh, M. A., Manganelli, M., Ramakrishna, S., Roadmap to Achieving Sustainable Development via Green Hydrogen, Energies 16(3), 1368, 1-25, <https://doi.org/10.3390/en16031368>, 2023.

Neue-Weststadt, Energy Supply in the Neighborhood, <https://neue-weststadt.de/en/energiekonzept/>, datum vpogleda 4. 3. 2023, 2023.

Nilsson Energy, Demo Site / R&D Living-lab, Göteborg, <https://nilssonenergy.com/portfolio-item/demo-site/>, datum vpogleda 6. 3. 2023, 2017.

Özdemir, E., Quantifying risks to security of supply for 100% hydrogen in built environment using Structured Expert Judgement, TU Delft, magistrsko delo, 2022.

Rongé, J., François, I., Use of hydrogen in buildings, BatHyBuild study, https://www.waterstofnet.eu/_asset/_public/BatHyBuild/Hydrogen-use-in-buildings-BatHyBuild-29042021.pdf, datum vpogleda 7. 3. 2023, 2021.

Rossum, R., Jens, J., Guardia, G., Wang, A., Kühnen L., Overgaag, M., European Hydrogen Backbone, <https://ehb.eu/files/downloads/ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf>, datum vpogleda 7. 3. 2023, 2022.

SIHFC, Slovenian Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform, SPEV - Slovenija in prehod na ekonomijo vodika, https://lte.fs.uni-lj.si/f/docs/Vodikove-tehnologije/SPEV_zakljucno-porocilo29.10.08.pdf, datum vpogleda 8. 3. 2023, 2008.

Solhyd, ROLECS, Roll-Out of Local Energy Communities, <https://solhyd.org/en/projects-overview/rolecs-en/>, datum vpogleda 15. 3. 2023, 2023.

Topolski, K., Reznicek, E. P., Erdener, B. C., San Marchi, C. W., Ronevich, J. A., Fring, L., Simmons, K., Fernandez, O. J. G., Hodge, Bri-M., Chung, M., Hydrogen Blending into Natural Gas Pipeline Infrastructure: Review of the State of Technology, Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-5400-81704, <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/81704.pdf>, datum vpogleda 8. 3. 2023, 2022.

Weichenhain, U., Kaufmann, M., Hölscher, M., Scheiner, M., Going global. An update on Hydrogen Valleys and their role in the new hydrogen economy, https://www.clean-hydrogen.europa.eu/system/files/2022-09/Hydrogen_Valleys_online_2022.pdf, datum vpogleda 3. 3. 2023, 2022.