

VODIK - ČISTA ENERGIJA

in del poti do podnebne nevtralnosti

Zbrane informacije





Kazalo vsebine

1.	UVOD	2
2.	VODIK IN NJEGOVE PREDNOSTI	2
2.1	PRIDOBIVANJA VODIKA	4
2.2	VRSTE VODIKA DEFINIRANE PO BARVI	8
2.3	VODIK KOT GORIVO	9
2.4	VODIK KOT POGONSKO GORIVO V PROMETU	13
2.5	INFRASTRUKTURA ZA PRENOS VODIKA.....	14
3.	ZAKONODAJA NA PODROČJU VODIKA IN ZMANJŠEVANJE EMISIJ	16
3.1	DIREKTIVE, STRATEGIJE, NAČRTI IN DOGOVORI NA RAVNI EU IN SLO.....	16
3.2	MISIJE IN INCIATIVE	22
4.	PRIMERI DOBRIH PRAKS V SLOVENIJI IN TUJINI NA PODROČJU UPORABE VODIKA	27
4.1	PRIMERI DOBRIH PRAKS NA OBMOČJU SLOVENIJE.....	27
4.2	PRIMERI DOBRIH PRAKS V TUJINI.....	30
5.	LITERATURA.....	34

1. UVOD

Na poti do ogljične nevtralnosti in čistejšega planeta, ki jo je začrtal evropski zeleni dogovor, je nujno premisliti oskrbo z energijo in ustvariti povezan energetske sistem. Zeleni prehod evropskega gospodarstva bi moral biti združen z dostopom do čiste, dostopne in varne energije za podjetja in potrošnike. EU se sooča z izzivom, saj je bila njena proizvodnja in poraba energije odgovorna za 75 odstotkov toplogrednih plinov v EU v letu 2018, hkrati pa je za 58 odstotkov energije še vedno odvisna od uvoza, predvsem nafte in plina [1].

Podnebne spremembe so dejstvo in občutimo jih tudi v Sloveniji. Regionalni klimatski modeli napovedujejo, da se bo na območju Evrope v prihodnjih letih povprečna letna temperatura povišala za 2 °C. Hkrati pa je pričakovati nekoliko zmanjšanje količin padavin in njihovo prerazporeditev na druge letne čase, ko bodo močni nalivi v kratkih časovnih obdobjih. Cilj je tudi zagotoviti trajnostno, okolju prijaznejšo mobilnost v Evropi. Eno najčistejših prihodnosti nam omogoča zeleni vodik. V vodikovih ekosistemih se energija shranjuje, prenaša in uporablja v obliki vodika. Glavna prednost njegove uporabe v primerjavi s fosilnimi gorivi je v tem, da ne povzroča izpustov toplogrednih plinov. V prihodnosti pa bi lahko bil zeleni vodik v kombinaciji z drugimi obnovljivimi viri del zelene prihodnosti brez fosilnih goriv [2].

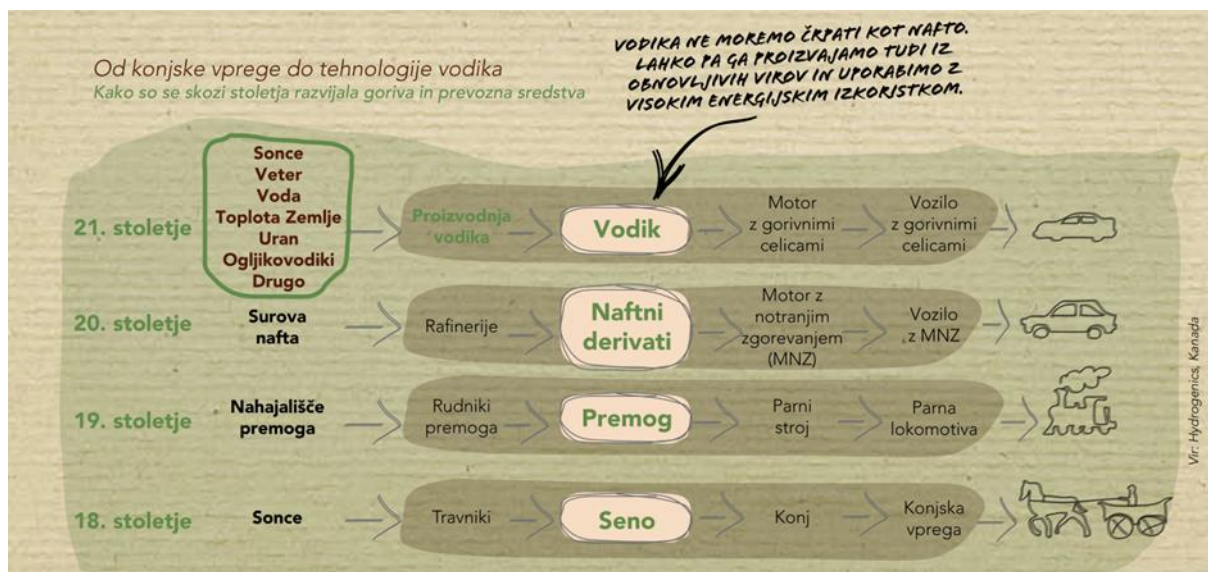
Vodik bi lahko prevzel okoli 10 % v rabi energije v industriji, kjer so potrebne visoke temperature in jih ne moremo zagotoviti z elektriko, in del v mobilnosti, kjer e-mobilnost ne bo mogoča.

2. VODIK IN NJEGOVE PREDNOSTI

V Sloveniji in Evropi potrebujemo čiste, konkurenčne in dolgoročne energetske vire, ki nam bodo zagotovili večjo energetske neodvisnost od naftnih rezerv v tujini, a tudi zmanjšale fosilno onesnaženost in izpuste toplogrednih plinov. Eden izmed možnosti je zelen vodik.

Vodik je prvi in edinstven med kemijskimi elementi. Najbolj pogost v vesolju, nastopa v bogastvu najrazličnejših kombinacij z drugimi elementi. Kot nosilec energije nam ponuja skoraj neomejene priložnosti. Omogoča dostopno in čisto energijo, ki jo bomo lahko proizvajali lokalno – povsem brez izpustov, ki nam zdaj zastrupljajo in segrevajo ozračje zaradi zgorevanja fosilnih goriv [2].

Vodik (H_2) je najlažji plin in je v naravi običajno v spojinah z drugimi elementi. Vodik je komponenta vode, mineralov in kislin ter bistveni del ogljikovodikov in vseh drugih organskih snovi. Kar 98 odstotkov znanega vesolja (predvsem sonca in zvezd) sestavlja vodik. Vodik je zelo vnetljiv plin in lahko v velikih koncentracijah povzroči zadušitev. Pri delu z vodikom je potrebno strogo upoštevanje varnostnih smernic za skladiščenje in transport vodika [3].



Slika 1: Kako so se skozi stoletja razvijala goriva in prevozna sredstva [2]

Vodik predstavlja okoli dva odstotka mešanice energijskih virov v EU, od katere je trenutno kar 95 odstotkov proizvedenih s fosilnimi gorivi, ki povzročijo 70-100 milijonov ton izpustov CO₂ letno. Raziskave kažejo, da bi do leta 2050 v EU imeli samo obnovljive vire energije. Vodik bi lahko zadovoljeval 20-50 odstotkov potreb po energiji v prometu in 5-20 odstotkov v industriji. Trenutno je v uporabi predvsem v industrijskih procesih, pa tudi kot gorivo v vesoljskih raketah. Gospodarstvo na osnovi zelenega vodika bi bistveno zmanjšalo vpliv globalnega segrevanja [1].

Pozitivne lastnosti vodika kot goriva vključujejo [1] in [4]:

- Ničelni ogljični odtis: Vodik, proizveden z elektrolizo ob uporabi obnovljivih virov energije, lahko doseže ničelni ogljični odtis, saj je edini stranski produkt pri uporabi vodika voda.
- Transport na velike razdalje: Vodik je mogoče učinkovito transportirati na velike razdalje, kar omogoča distribucijo energije med državami.
- Shranjevanje energije: Omogoča učinkovito shranjevanje energije za daljša obdobja, kar povečuje zanesljivost energetskih sistemov.
- Razogljičenje: Pomaga pri razogljičenju različnih sektorjev rabe energije, saj zagotavlja čisto električno energijo in toploto za promet in stacionarne sisteme.
- Nizki izpusti toplogrednih plinov: Uporaba vodika ne povzroča izpustov toplogrednih plinov; edini stranski produkt je voda.
- Prilagodljivost infrastrukture: Infrastrukturo za prevoz in skladiščenje plinov je mogoče prilagoditi za uporabo vodika.
- Energetska gostota: Ima visoko energetska gostoto, kar omogoča uporabo za prevoz na dolge razdalje.

Nekatere ključne slabosti vodikovega goriva vključujejo:

- Reaktivnost in vnetljivost: Vodik je zelo reaktiven in vnetljiv.
- Transportni izzivi: Transport vodika je zahteven in drag zaradi reaktivnosti.
- Pomanjkanje infrastrukture: Manjka infrastruktura za vodik, kar omejuje razvoj.
- Visoki proizvodni stroški: Proizvodnja vodika in gorivnih celic je draga zaradi majhnega obsega.

- Veliki rezervoarji: Rezervoarji za vodik so veliki in zasedejo veliko prostora.
- Visoka cena goriva: Trenutna cena vodikovega goriva je višja od dizelskega goriva.

2.1 PRIDOBIVANJA VODIKA

Večje kot so zmogljivosti naprav, ceneje lahko pridobivamo vodik. Načini proizvodnje vodika se med seboj zelo razlikujejo glede na potrebne zmogljivosti in čistost vodika. V Tabeli 1 so navedene različne tehnologije pridobivanja vodika [2].

Tabela 1: Različne tehnologije pridobivanja vodika [2]

Metoda	Proces	Vir iz katerega pridobimo vodik	Vrsta potrebne energije	Emisije
Termična	SMR	Metan	Toplota, para	CO ₂
	Termokemična ločitev vode	Voda	Toplota	ni emisij
	Uplinjanje	Premog, biomasa	Para in kisik pri vis. temp. in tlaku	CO ₂
	Piroliza	Biomasa	Toplota, para	CO ₂
Elektrokemična	Elektroliza	Voda	Električna energija	odvisno od načina pridobivanja električne energije
	Fotoelektroliza	Voda	Sončna energija	ni emisij
Biološka	Fotobiološki proces	Voda	Sončna energija	ni emisij

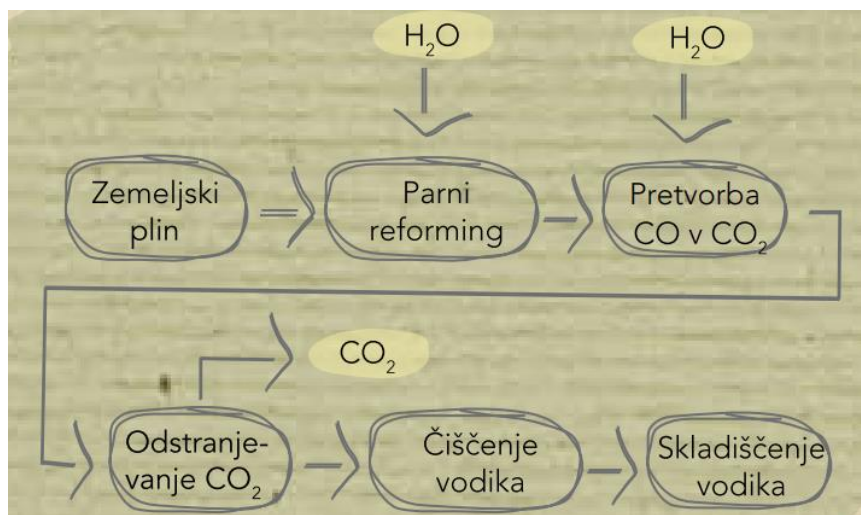
V nadaljevanju je opisanih nekaj načinov pridobivanja vodika [5]:

1. Uplinjanje premoga

Uplinjanje premoga kot najstarejši način proizvodnje vodika, je reakcija premoga (koks) z vodno paro, pri kateri dobimo tako imenovani vodni plin. $\text{Koks} + \text{zrak} \rightarrow \text{ogljikov dioksid} + \text{toplota}$, ki segreje koks na 900 °C; na tako segret koks nato vpihavamo vodno paro, ki z njim reagira in da zmes vodika in ogljikovega monoksida: $\text{koks} + \text{vodna para} \rightarrow \text{vodik} + \text{ogljikov monoksid}$ ali $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}$.

2. Reformiranje metana s paro (SMR)

To je najbolj razširjen proces za industrijsko pridobivanje vodika. SMR je termična razgradnja metana s paro, tako da nastane vodik (H₂). Stranski produkt tega je ogljikov monoksid (CO) in/ali ogljikov dioksid (CO₂). Reformiranje metana s paro je glavni način za obsežno proizvodnjo H₂. V tem postopku metan (CH₄) in para reagirata s katalizatorjem in tako tvorita sintetični plin, bogat s H₂. Gre za močno endotermičen postopek, kjer so potrebne visoke temperature za doseg ustrezne stopnje preobrazbe. Pri preobrazbi brez pare se namesto pare CO₂ uporablja kot oksidant. Ta tehnika je zanimiva zaradi možnosti zajema in ponovne uporabe CO₂ iz izpušnih dimnih plinov v elektrarnah in industrijskih obratih.

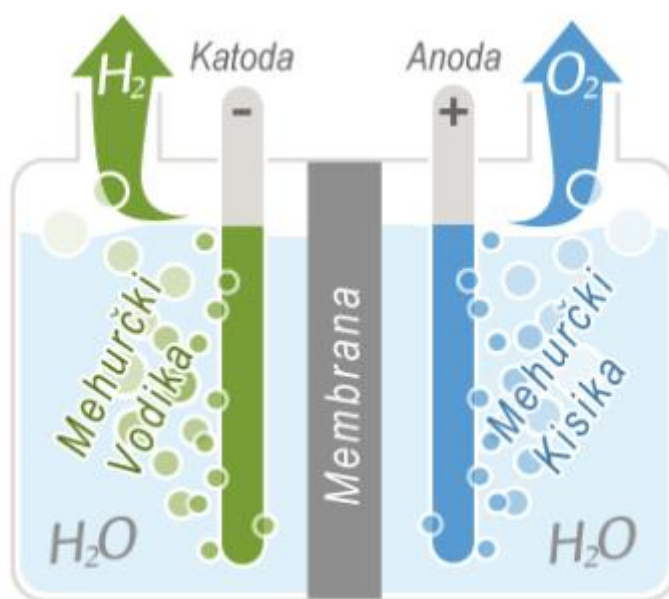


Slika 2: Postopek pridobivanja vodika s parnim reformingom (SMR) [2]

3. Elektroliza vode

Pri tem postopku z uporabo električnega toka vodo (H_2O) razcepimo na vodik (H_2) in kisik (O_2). Elektroliza vode je ena izmed najbolj učinkovitih metod pridobivanja vodika, ker se uporablja vodo, ki je obnovljivi vir. Elektroliza vode je v primerjavi z drugimi postopki po zmogljivostih še obrobna, a okoljsko izjemno čista oblika pridobivanja vodika, če uporabljamo elektriko, proizvedeno iz obnovljivih virov. V tem primeru je voda reaktant, ki pod vplivom električne energije (enosmernega toka) razpade na vodik in kisik. Prednost elektrolize je tudi to, da z njo proizvajamo precej čist vodik. Za ta namen so bili razviti različni sistemi elektrolize vode, in sicer alkalna vodna elektroliza (Alkaline Water Electrolysis – AWE), izmenjava protonov skozi membrano (Proton Exchange Membrane – PEM), alkalna anionska izmenjevalna membrana (Alkaline Anion Exchange Membrane – AEM), mikrocelice za elektrolizo (Micro Electrolysis Cells – MEC) in elektroliza vode v trdnem oksidu (Solid Oxide Electrolysis – SOE). Vsem naštetim sistemom je skupen princip delovanja, razlikujejo se po različnih uporabljenih materialih in pogojih obratovanja [6].

Za elektrolizni proces potrebujemo električno energijo (okoli 50 kWh za kilogram vodika): Visokotemperaturna elektroliza je posebna oblika elektrolize vode, ki se izvaja pri povišanih temperaturah, zato se lahko izkoristek električne energije podvoji na okoli 50 odstotkov. Del električne energije, potrebne za cepitev vode na vodik in kisik, v tem primeru nadomestimo s toplotno energijo, dobljeno v solarnih sistemih ali jedrskih reaktorjih. Jedrski reaktorji bi lahko delovali v dnevnem ciklu s pretežno proizvodnjo električne energije, v nočnem pa bi se pretežno proizvajal vodik, ki ga je mogoče skladiščiti in zatem porabiti v konicah porabe energije [2].



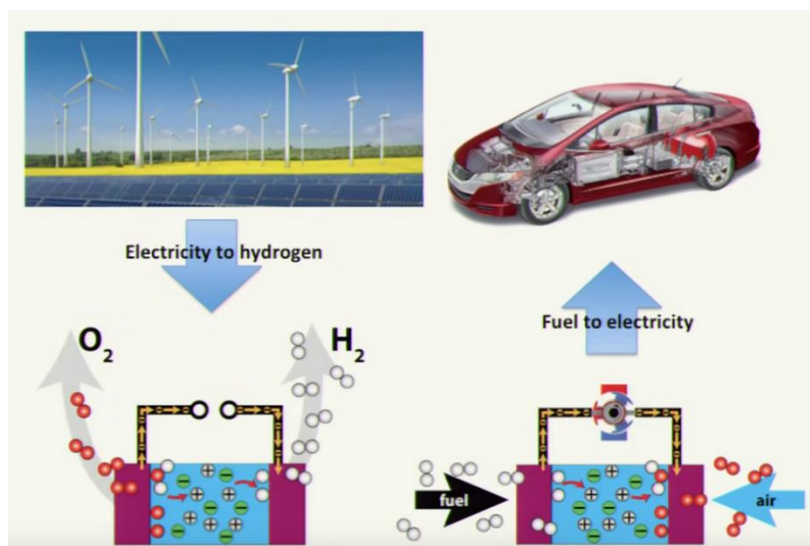
Slika 3: Shema pridobivanja vodika z elektrolizo [9]

4. Proizvodnja vodika s sončno energijo

Pretvorba sončne energije v električno energijo s pomočjo fotovoltaike je pokazala velik potencial za zagotavljanje trajnostne energije. S katalitskimi reakcijami lahko sončno energijo uporabimo za pretvorbo v vodik. Tako lahko razcepimo halogensko kislino (HX), kar je podobno delitvi molekule vode pri elektrolizi. Bromovodikova kislina (HBr) ima pomemben potencial kot poceni surovina za proizvodnjo plinastega vodika [6].

5. Proizvodnja vodika s pomočjo vetrne energije

Tehnologija pridobivanja vodika z vetrno energijo velja za "čist in učinkovit način rabe energije". Ta način se uporablja za pridobivanje vodika z elektrolizo v obdobjih presežkov električne energije, ki jih elektroenergetsko omrežje ne more absorbirati ali pa za neposredno pridobivanje vodika z uporabo električne energije, pridobljene s pomočjo vetra, ki pa ni povezana z omrežjem. Tehnologija pridobivanja vodika v vetrnih elektrarnah je v glavnem sestavljena iz vetrne turbine, naprave za elektrolizo vode, naprave za shranjevanje vodika, gorivne celice in električnega omrežja. Kapaciteta shranjevanja vodika se poveča s tehnologijo shranjevanja vodika pod tlakom, s polprevodniško tehnologijo shranjevanja vodika itd. Razvoj proizvodnje vodika se še vedno sooča s številnimi težavami, kot so struktura vetrnih turbin, optimizacija elektrolizatorja za nihanje moči vetra, gorivne celice z dolgo življenjsko dobo in velika zmogljivost opreme za shranjevanje vodika [6].



Slika 4: Proizvodnja vodika s pomočjo vetrne energije [10]

6. Foto-biološka proizvodnja vodika

Foto-biološka proizvodnja vodika vključuje proizvodnjo vodika iz bioloških sistemov z uporabo sončne svetlobe. Bio-vodik lahko fermentira iz odpadkov, kar zagotavlja novo metodo ravnanja z organskimi odpadki. Bio-vodik zajema vse proizvodnje H_2 , ki vključujejo biološki material. Kot vir energije lahko uporabljamo sončno energijo ali pa jo dobimo iz pretvorbe fiksnih ogljikovih substratov (ali obojega v različnih kombinacijah). Nekatere alge in bakterije lahko proizvajajo vodik v primernih pogojih. Pigmenti v algah absorbirajo sončno energijo, encimi v celici pa delujejo kot katalizator za razdelitev vode v njene sestavine vodika in kisika [6].

7. Bakterijska fotofermentacija

Vijolične fotosintetske bakterije, ki niso žveplave, proizvajajo vodik iz različnih organskih substratov, vključno z organskimi kislinami, sladkorji ter industrijskimi in kmetijskimi odpadki. Visoke količine vodika se pridobivajo iz očetne, butanojske in mlečne kisline. Vse bakterije sledijo podobni splošni shemi, pri kateri presnavljajo organske kisline, da reducirajo NAD^+ v celični reduktor $NADH$ [6].

8. LTC tehnologija (ang. Low Temperature Conversion)

Ta tehnologija omogoča energetske obdelave različnih organskih odpadkov kot so: plastika, guma, komunalni odpadki, kostna moka, odpadki živilske industrije, elektronska oprema in drugo [8]. Tehnološke rešitve, kot je pretvorba pri nizkih temperaturah (LTC), omogočajo pridobivanje energije iz odpadnih materialov in njeno pretvarjanje v beli vodik in elektriko s kar 70 odstotno učinkovitostjo glede na kalorično vrednost vhodnega materiala. Postopek pretvorbe pri nizkih temperaturah (LTC) je patentirana metoda za uporabo odpadnih materialov, kot so vse vrste plastike, rabljene pnevmatike, blato iz čistilnih naprav, gospodinjstvi odpadki, biomasa in podobni organski odpadki, za proizvodnjo sintetičnih plinov za ustvarjanje električne energije, toplote, sintetičnih goriv in kemičnih izdelkov [8].

2.2 VRSTE VODIKA DEFINIRANE PO BARVI

Ob omembi vodika pogosto naletimo na različne barve (čeprav je vodik brezbarvni plin): rjavi, sivi, modri in zeleni vodik... Vodik je sicer brezbarven plin in barve, dodeljene vodik, so povezane z načinom proizvodnje, ki se uporablja za njegovo razvrstitev glede na izvor in količino ogljikovega dioksida oz. velikost ogljičnega odtisa [11].

Barve vodika po načinu proizvodnje [11 in 12]:

- Zeleni vodik: Dobi se z elektrolizo vode z uporabo električne energije iz obnovljivih virov energije. Je najdražji, a ko se stroški obnovljive energije in elektrolizatorjev znižujejo, naj bi se njegova cena postopoma zniževala. Druga vrsta zelenega vodika se pridobiva iz bioplina z uporabo kmetijskih in / ali komunalnih odpadkov.
- Beli vodik: Proizveden kot stranski produkt pretvorbe plastike in odpadkov s pomočjo LTC tehnologije (postopka pretvorbe pri nizkih temperaturah).
- Rjavi vodik: Pridobi se s uplinjanjem premoga, med proizvodnim procesom pa se sprošča ogljikov dioksid. Včasih se imenuje tudi črni vodik.
- Sivi vodik: pridobljeni iz zemeljskega plina. Trenutno gre za najbogatejšo in najcenejšo proizvodnjo, čeprav naj bi se stroški povečali zaradi cene ogljikovega dioksida. Pri proizvodnji 1 tone H_2 je izpuščenih 9 do 12 ton CO_2 .
- Modri vodik: Proizvaja se tudi iz zemeljskega plina, kjer pase del ali vse emisije CO_2 zajemajo. Kasneje se lahko iz tega ogljikovega dioksida izdelujejo sintetična goriva.
- Turkizni vodik: Imenuje se tudi vodik z nizko vsebnostjo ogljika, a se za zdaj proizvaja v zelo majhnem obsegu. Gre za vodik, pridobljen iz zemeljskega plina, vendar z uporabo pirolize - plin gre skozi staljeno kovino, pri čemer kot stranski produkt nastane trdni ogljik (premog).
- Rožnati vodik: Proizveden z elektrolizo, ki jo poganja jedrska energija.

OBNOVLJIVI ALI ZELENI VODIK

Vodik je na voljo v izobilju in povsod, vendar večinoma v vezani obliki. Zato je njegova proizvodnja draga in izredno energetska intenzivna. Zelo pogost postopek za njegovo proizvodnjo je elektroliza. S pomočjo električnega toka se voda razdeli na vodik in kisik. Če ta električna energija prihaja izključno iz obnovljivih virov, kot sta vetrna ali sončna energija, jo imenujemo zeleni vodik [13].

Obnovljivi „zeleni“ vodik se lahko proizvede v elektrolizatorjih na način, da se voda s pomočjo obnovljive električne energije razdeli na kisik in vodik. Danes sta poznani predvsem dve tehnologiji za pridobivanje zelenega vodika iz vode: alkalna elektroliza in PEM elektroliza. Prva je stara in znana tehnologija, je cenejša in deluje z izkoristkom pretvarjanja vode v vodik in kisik z elektriko okoli 0,75-0,80 % (npr. NEL 49 kWh/kg) [14].

Za 1 kg vodika, ki ga pridobimo z elektrolizo, potrebujemo 8 kg vode in 162 MJ električne energije, sama proizvodnja pa poteka iz obnovljivih virov energije. Pri izogrevanju in rabi tega energenta kot izpust nastaja vodna para [15].

Obnovljivi vodik se lahko nato uporablja za proizvodnjo industrijskih izdelkov, kot so zelena gnojila in zelena jeklo. Uporablja se lahko tudi v sektorju mobilnosti, zlasti pri težkih prevozi in prevozi na dolge razdalje. Združljiv je tudi z elektroenergetskim sektorjem, v katerem vedno bolj prevladuje

produkcija energije iz obnovljivih virov, ki zagotavlja dolgoročno in obsežno shranjevanje ter prožnost energetskega sistema. Obnovljivi vodik lahko torej pomaga uravnotežiti ponudbo in povpraševanje po električni energiji v izoliranih ali samostojnih regijah EU ali za posebne in lokalne namene, osredotočene v mestu ali na območju z omejenim dostopom. V načrtu za oživitev gospodarstva Evropske komisije „EU naslednje generacije“ je vodik naveden kot naložbena prednostna naloga za spodbujanje gospodarske rasti in odpornosti, ustvarjanje lokalnih delovnih mest in utrditev vodilnega položaja EU v svetu [15].

2.3 VODIK KOT GORIVO

Vodik pri zgorevanju nima izpušnih plinov. Zato je vodik idealen nadomestek za premog, nafto in zemeljski plin v prometu in industriji. V stisnjeni obliki ima visoko energijsko gostoto, zato je primeren za pogon prevoza na dolge razdalje po kopnem, vodi in morda celo v zraku. V ta namen ga je mogoče sežgati ali pretvoriti v električno energijo v gorivni celici. Baterije, ki se uporabljajo v električnih avtomobilih, so za dolge razdalje precej neprimerne. So pretežke in zavzamejo preveč prostora [13].

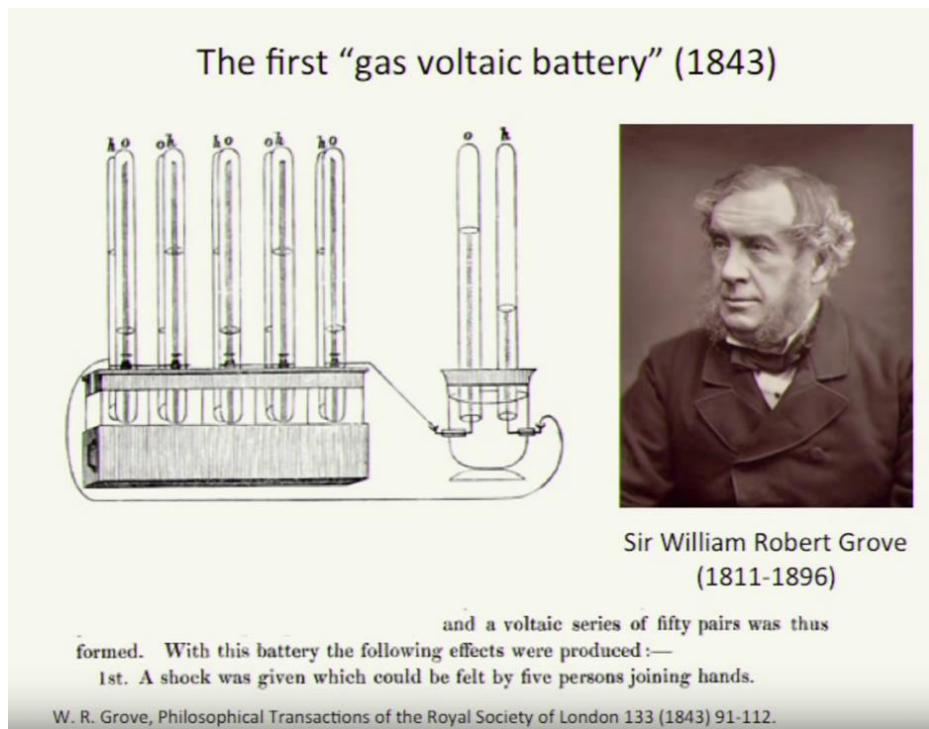
Shranjevanje vodika

Čim več energije iz obnovljivih virov uporabljamo, tem pomembnejše je obvladovanje nihanj v njeni razpoložljivosti. Vodik je molekula, ki jo je mogoče prevažati in skladiščiti neodvisno od tega, kdaj in kje je obnovljivi vir energije na voljo [13].

Na voljo imamo več načinov shranjevanja vodika. Razlikujejo se po uporabnosti za velike ali male sisteme ter po svojih prednostih in slabostih. Splošna merila za izbor načina shranjevanja vodika so varnost, enostavna uporaba in cena. Shranjevanje vodika je ena glavnih težav vodikove tehnologije. Vprašanje shranjevanja vodika na industrijski ravni je rešeno, zato je večina raziskav usmerjena v njegovo shranjevanje v manjših sistemih za mobilne aplikacije, kot so za pogon osebnih vozil [2].

Gorivne celice

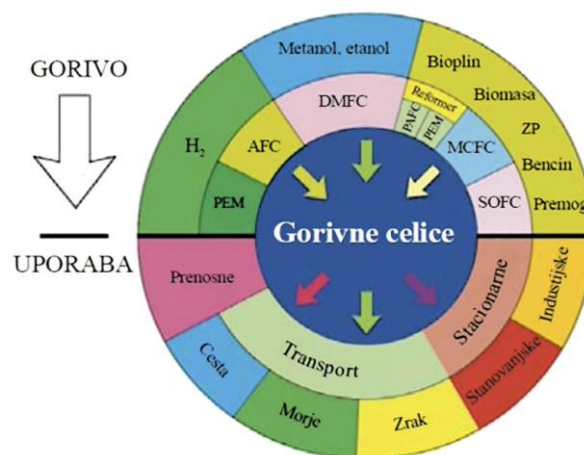
Prvo gorivno celico je izumil Sir William Grove leta 1839. Grove je ugotovil, da se voda lahko razdeli na vodik in kisik, če skozi njo teče električni tok (proces, imenovan elektroliza). Ustvaril je primitivno gorivno celico in jo poimenoval plinska galvanska baterija. Petdeset let pozneje sta znanstvenika Ludwig Mond in Charles Langer podala izraz gorivne celice.



Slika 5: Izumitelj Sir William Grove in prva gorivna celica leta 1839 [10]

Gorivna celica proizvaja električno energijo s pomočjo kemične reakcije med vodikom in kisikom. Je neke vrste miniaturna elektrarna. Odlikujejo se po dobrem izkoristku, majhni masi in volumnu ter tihemu in okolju prijaznemu delovanju. Najbolj enostavne nizkotemperaturne gorivne celice lahko kot gorivo uporabljajo le čisti vodik, bolj zapletene ali pa visokotemperaturne pa tudi metanol in ostale tekoče ogljikovodike [17].

Obstaja več tipov gorivnih celic (Tabela 2 in Slika 6), ki imajo sicer vse negativno anodo in pozitivno katodo, vendar je glavna razlika med njimi tip elektrolita. Najpogostejši tip gorivnih celic je alkalna gorivna celica oz. AFC (alkaline fuel cell), pri kateri elektrolit predstavlja kalijev hidroksid. Naslednja je gorivna celica s protonsko prevodno membrano oz. PEMFC (proton exchange membrane fuel cell), pri kateri namesto tekočega elektrolita uporabljamo polimerno elektrolitsko membrano. Poznamo še gorivno celico s fosforno kislino oz. PAFC (phosphoric acid fuel cell), gorivno celico s staljenimi karbonati oz. MCFC (molten carbonate fuel cell) in oksidno gorivno celico oz. SOFC (solid oxide fuel cell), pri kateri se kot elektrolit uporablja posebna keramika. Razlika med gorivnimi celicami je tudi temperatura obratovanja; za primer lahko vzamemo MCFC (gorivna celica s staljenimi karbonati), ki je znana kot visokotemperaturna celica, ker obratuje v temperaturah preko 600 °C. Zelo dober primer nizkotemperaturne gorivne celice je PEMFC, ki obratuje v temperaturah do 100 °C. V splošnem se izkoristek zaradi diverzitete gorivnih celic giblje na širšem intervalu, in sicer nekje med 40 in 60 odstotki. Če pa upoštevamo še proizvedeno toploto, pa je lahko izkoristek celice okoli 85 odstotkov [16].



Slika 6: Shema tipi in uporaba gorivnih celic [18]

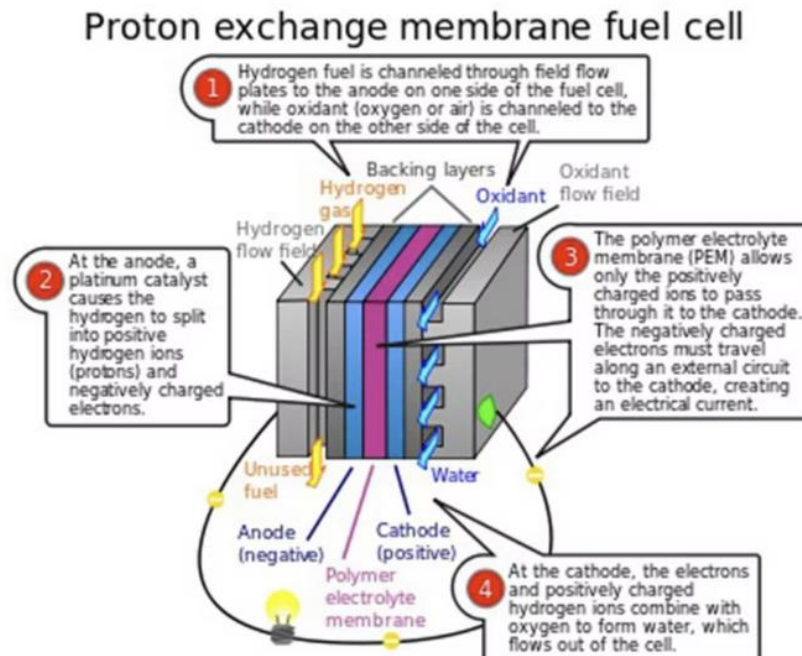
Tabela 2: Nekatere vrste gorivnih celic in njihove lastnosti [17]

Ime	s polimerno membrano	alkalijske	s fosforno kislino	z raztopljenim karbonatom	s trdnim oksidom
kratica in angleški naziv	PEMFC, Polymer Exchange Membrane Fuel cells	AFC, Alkaline Fuel Cells	PAFC, Phosphoric Acid Fuel Cells	MCFC, Molten Carbonate Fuel Cells	SOFC, Solid Oxide Fuel Cells
delovna temperatura, °C	80–90	100	200–250	650	800–1000
električna stopnja delovanja	50–60	70	40	50–60	50–60
gorivo	vodik (reformirani)	vodik	vodik (reformirani)	vodik (reformirani)	vodik (reformirani) in CO
pretvorba goriva	zunanja	-	zunanja	zunanja in notranja	zunanja in notranja
oksidant	kisik ali zrak	kisik	kisik ali zrak	kisik ali zrak in CO ₂	kisik ali zrak
področje uporabe	vozila in kogeneracija (manjših moči)	vesoljska tehnika	kogeneracija (manjših moči)	kogeneracija (večjih moči)	kogeneracija (večjih moči)

Opis različnih tipov gorivnih celic:

1. **PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel cells)** gorivne celice so znane tudi kot celice s polimerno membrano za izmenjavo protonov. Gorivne celice PEM (Proton Exchange Membrane) delujejo pri zmernih temperaturah, približno 80 °C. Nizkotemperaturno delovanje jim omogoča hiter zagon (potrebujejo malo časa, da se segrejejo), kar zmanjšuje obrabo in podaljšuje življenjsko dobo sestavnih delov sistema. Vendar pa je treba ločiti elektrone in protone vodika z uporabo katalizatorja iz žlahtnih kovin (običajno platine), kar poveča stroške sistema [19].

Vozilo na gorivne celice deluje podobno kot motor z notranjim zgorevanjem, le da vodik, ki se črpa iz rezervoarja pod tlakom, ne zgoreva, temveč se spoji s kisikom, pri čemer nastaja električna energija za pogon elektromotorja. Ta proces poteka v gorivni celici z membrano za izmenjavo protonov (PEM), ki je sestavljena iz nizov tankih plošč, ločenih z membranami (Slika 7) [20].



Slika 7: Gorivna celica z membrano za izmenjavo protonov (PEM)

- 2. AFC (Alkaline Fuel cells)** delujejo s čistim vodikom in kisikom in dosežejo električni izkoristek do 60 odstotkov. Elektrolit je v večini primerov KOH (kalijev hidroksid). Razvite so bile v petdesetih in šestdesetih letih prejšnjega stoletja za vesoljska plovila. Te gorivne celice so močno povezane s standardnimi gorivnimi celicami PEM, vendar niso kisle. Uporabljajo alkalno plast [21].
- 3. Gorivna celica s fosforno kislino (PAFC)** predstavlja prvo tehnologijo gorivnih celic, ki se uporablja za ogrevanje in se od sedemdesetih let uporablja v komercialnih sistemih SPTE (100-400 kW elektrike). PAFC ima potencial za uporabo v majhnih stacionarnih elektroenergetskih sistemih. Deluje pri višji temperaturi kot gorivne celice z membrano za izmenjavo polimerov, zato traja dlje, da se segreje, zaradi česar ni primeren za uporabo v avtomobilih. Gorivne celice z metanolom (DMFC) so po delovni temperaturi primerljive s PEMFC, vendar niso tako učinkovite. Poleg tega DMFC zahtevajo precej platine kot katalizatorja, zaradi česar so te gorivne celice drage [22].
- 4. Gorivna celica s raztopljenim karbonatom (MCFC)** je še ena visokotemperaturna gorivna celica, ki se uporablja v velikih industrijskih sistemih SPTE in proizvodnji električne energije v omrežju (3-60 MW). Te celice so postale vodilne na trgu za velike stacionarne aplikacije. MCFC

imajo prednost zaradi relativno nizkih kapitalnih stroškov (vsebujejo neplatinaste katalizatorje) in enostavnejših pomožnih sistemov, vendar je njihova pomanjkljivost kratka življenjska doba in nizka koncentracija moči [6].

5. **Trdna oksidna gorivna celica (SOFC)** je visokotemperaturna gorivna celica in se uporablja tako v velikih industrijskih sistemih SPTE (soproizvodnja toplote in energije) od 100 do 1000 kW, kot v sistemih ogrevanja stanovanj (1-3 kW). SOFC izkorišča najvišjo električno učinkovitost in večjo prilagodljivost v povezavi z gorivom, vendar zaradi svojih temperaturnih zahtev deluje manj dinamično kot PEMFC [6].

2.4 VODIK KOT POGONSKO GORIVO V PROMETU

Raba vodika za shranjevanje električne energije iz obnovljivih virov ni le najboljša rešitev za dolgoročno shranjevanje, temveč je tudi potencialen način razogljčenja prometa in ogrevanja, saj omogoča prenos čiste energije od kraja proizvodnje do kraja končne rabe [23].

Vozila na gorivne celice izkoriščajo vodik, ki poganja električni motor vozila. Nasprotno od klasičnih bencinskih ali dizelskih vozil, vozila na gorivne celice s pomočjo kemijske reakcije med vodikom in kisikom proizvajajo elektriko, ki poganja elektromotor. Ker tovrstna vozila poganja izključno električna energija, spadajo v kategorijo električnih vozil, ampak imajo za razliko od električnih vozil na baterijo večji doseg in se polnijo na podoben način kot klasična vozila na fosilna goriva [24].

Prednosti vodikovega goriva

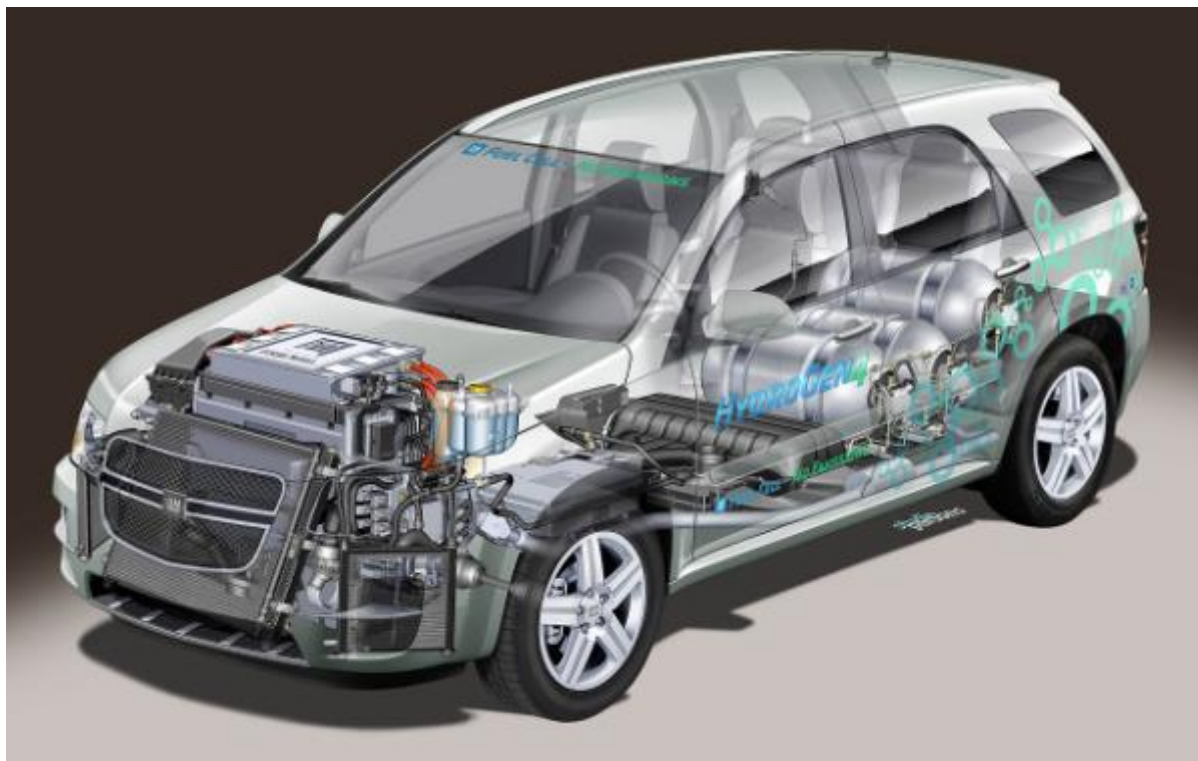
Prednost vodikovega goriva iz gorivnih celic je, da sta edina stranska produkta voda in toplota – brez onesnaževal ali toplogrednih plinov. Vodik je lahko izjemno čista alternativa dizelskemu gorivu, kar je odvisno od načina njegove proizvodnje. Vodik tudi vsebuje veliko energije: 80 kg vodika lahko zagotovi dovolj energije, da tovorno vozilo prevozi 800 km. Poleg tega je postopek polnjenja pri vozilih na vodik hiter in enostaven. Vozila z vodikovimi gorivnimi celicami delujejo na električni pogon. To pomeni, da je izkušnja vožnje podobna vožnji električnega tovornega vozila; tiho delovanje motorja, hiter zagon in možnost pridobivanja zavorne energije [20].

Vozila na vodikove celice omogočajo enak način uporabe vozila kot pri vozilih na fosilna goriva, le da so ekološko bolj čista in ne onesnažujejo okolja. Vodik pod tlakom se napolni v rezervoar teh vozil na črpalkah v manj kot 10 minutah, kar je v primerjavi s polnjenjem baterije električnih vozil izjemno hitro. Kot ostala električna vozila, vozila na vodikove celice lahko izkoristijo izgubljeno energijo tako, da z regenerativnim zaviranjem polnijo baterijo vozila [24].

Vozilo na gorivne celice na zunaj zgleda povsem enako kot klasična vozila. Osnova tovrstnega vozila so gorivne celice, ki omogočajo, da se vodik iz rezervoarja spaja s kisikom iz zraka in pri tem elektrokemijskem procesu nastaja elektrika, ki poganja motor vozila. Gorivne celice v nasprotju z baterijo se nikoli ne morejo sprazniti, saj jih ves čas oskrbuje svež dotok kisika in vodika [24].

Vodik, ki je shranjen v avtomobilu, ima veliko večjo energetska gostoto na maso (okrog 2,3 MJ na kg) kot baterije, zato lahko avtomobili s pogonom na gorivne celice prevozijo daljše razdalje. Bolje se obnesejo predvsem težji avtomobili, za katere so baterije preveč neuporabne in neučinkovite. Vendar

pa je energetska učinkovitost avtomobilov na vodikove celice manjša od baterijskih (ca. 30 odstotkov 'od vira do porabnika', če se vodik proizvede s pomočjo elektrike [25].



Slika 8: Vozilo na gorivne celice, ki jih poganja vodik [24]

Gorivne celice kemično energijo vodika pretvorijo v električno energijo, kar zagotavlja visok izkoristek moči. Gorivne celice trenutno dosegajo učinkovitost med 65 in 70 odstotki, kar je skoraj dvakrat več kot pri klasičnih motorjih z notranjim izgorevanjem. Boljši kot pri klasičnih vozilih so tudi dometi vozil.

Raba vodikovih tehnologij je izjemnega pomena tudi za večja mesta. Ker za oskrbo mestnega transporta zadostuje že manjše število polnilnih mest, se zmanjšanje emisij toplogrednih plinov in prašnih delcev tako lahko zagotovi tudi v območjih z visoko gostoto prebivalstva. Tako so v okviru EU projektov HyFLEET: CUTE, ECTOS in CHIC v številnih evropskih mestih že potekale demonstracije uporabe avtobusov na vodik [15].

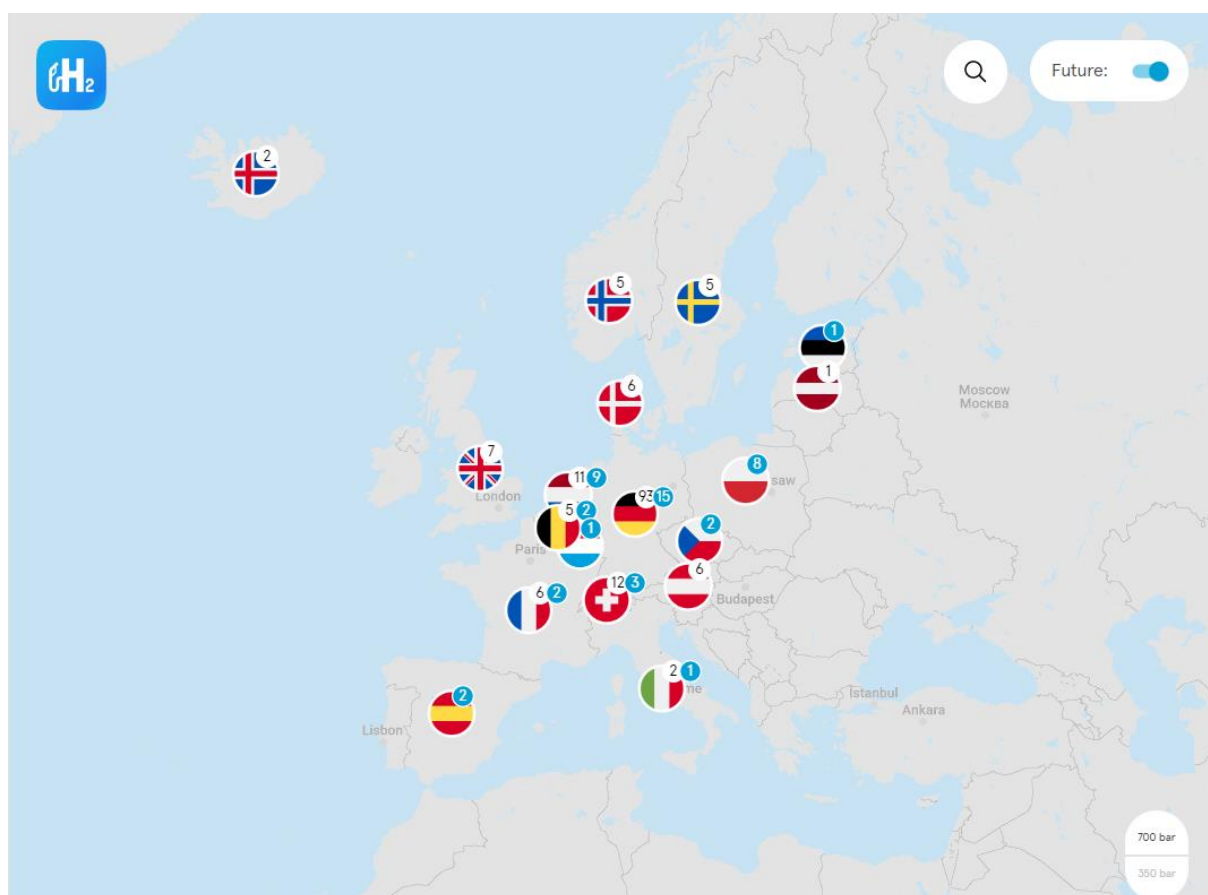
2.5 INFRASTRUKTURA ZA PRENOS VODIKA

Povečano uvajanje in uporaba obnovljivih in nizkoogljicnih goriv morata biti tesno povezana z vzpostavitvijo celovitega omrežja infrastrukture za polnjenje in oskrbo z gorivom, da bi se v celoti omogočila obsežna uporaba nizkoemisijskih in brezemisijskih vozil pri vseh načinih prevoza. „Napolniti“ je vodilni evropski projekt v okviru mehanizma za okrevanje in odpornost: cilj je, da se do leta 2025 zgradi polovica od 1 000 vodikovih postaj in prvi od treh milijonov javnih polnilnih postaj, potrebnih do leta 2030. Končni cilj je zagotoviti gosto, razširjeno omrežje za omogočanje enostavnega dostopa za vse stranke, vključno z upravljavci težkih vozil [26].

Trenutno predstavlja največjo oviro hitrejša širitev polnilne infrastrukture vodikovih polnilnic, skromna ponudba vozil na vodik na trgu ter njihova visoka cena v primerjavi z ostalimi vozili.

Po podatkih Toyote imajo v Nemčiji 95 vodikovih polnilnic za osebne avtomobile, v Franciji 6, v Švici in na Nizozemskem 11, 7 jih imajo v Veliki Britaniji in na Danskem in v Avstriji 6. Prav tako prvo načrtujejo v Estoniji, v Španiji in na Poljskem jih nameravajo postaviti osem. Sloveniji najbližje so v Gradcu, Benetkah, Bolzanu, in Innsbrucku. V Sloveniji trenutno stalne vodikove polnilnice, na katerih bi lahko polnili serijske avtomobile, še ni. V Ljubljani je leta 2022 podjetje Messer postavilo mobilno vodikovo polnilnico, s pomočjo katere so med pilotnim projektom preizkušali mestni avtobus s pogonom na vodik [27].

Leta 2013 se je Slovenija vpisala na evropski zemljevid polnilnic vodika za pogon vozil, saj sta Petrol in Center odličnosti nizkoogljične tehnologije (CO NOT) skupaj s partnerji v Lescah odprla prvo polnilno postajo pri nas in takrat šele 53. v Evropi. Polnilnica je bila sprva mišljena kot testna postaja za nadaljnji razvoj vodikovega pogona, saj so bila pred desetletjem v evropskem okviru vozila na gorivne celice ali pa zgolj predelana na uporabo vodika še velika redkost. Postaja ni primerna za polnjene osebnih avtomobilov [28].



Slika 9: Zemljevid polnilnih postaj na vodik, 2023 [29]

3. ZAKONODAJA NA PODROČJU VODIKA IN ZMANJŠEVANJE EMISIJ

Vodik v Evropi in po svetu ponovno pridobiva vse več pozornosti. Lahko se uporablja kot surovina, gorivo ali nosilec energije pri prenosu in shranjevanju ter ponuja veliko možnosti za uporabo v industrijskem, prometnem, elektroenergetskem in gradbenem sektorju. Najpomembnejše pa je, da pri uporabi ne povzroča emisij CO₂ in skoraj ne onesnažuje zraka. Ponuja rešitev za razogljčenje industrijskih postopkov in gospodarskih sektorjev, v katerih je zmanjšanje emisij CO₂ nujno in težko dosegljivo. Zaradi tega je vodik bistven element zaveze EU za doseganje ogljične nevtralnosti do leta 2050 in prizadevanj na svetovni ravni za izvajanje [Pariškega sporazuma](#) ob sočasnem prizadevanju za nično onesnaževanje [30].

3.1 DIREKTIVE, STRATEGIJE, NAČRTI IN DOGOVORI NA RAVNI EU IN SLO

EROPSKI ZELENİ DOGOVOR

[Z evropskim zelenim dogovorom je EU](#) na dobri poti, da do leta 2050 doseže podnebno nevtralnost, in sicer s temeljitim razogljčenjem vseh gospodarskih sektorjev in večjim zmanjšanjem emisij toplogrednih plinov do leta 2030. Povezovanje energetskega sistema – usklajeno načrtovanje in delovanje energetskega sistema „kot celote“, ki zajema več nosilcev energije, infrastruktur in sektorjev porabe energije – je pot do učinkovitega, cenovno dostopnega in temeljitega razogljčenja evropskega gospodarstva v skladu s Pariškim sporazumom in agendo OZN za trajnostni razvoj do leta 2030 [31].

STRATEGIJA EU ZA INTEGRACIJO ENERGETSKEGA SISTEMA

[Strategija EU za integracijo energetskega sistema](#) je načrtala vizijo za oblikovanje pametnejšega, bolj integriranega in optimiziranega energetskega sistema, kjer bodo lahko vsi sektorji v celoti prispevali k razogljčenju. Glavni stebri strategije EU za integracijo energetskega sistema so [32]:

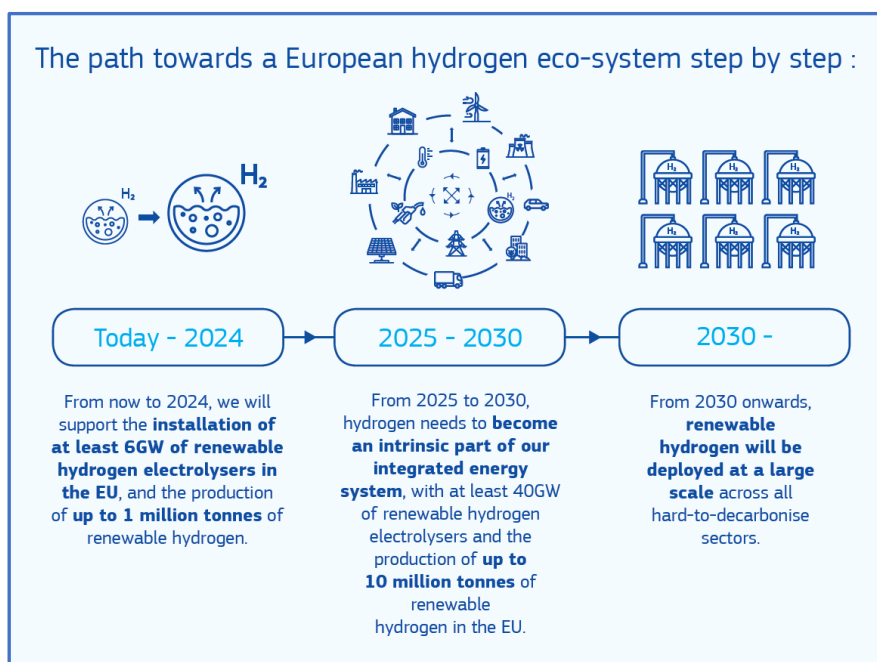
1. „Krožni“ energetski sistem, katerega jedro je energetska učinkovitost. Strategija bo opredelila konkretne ukrepe za uporabo načela „energetska učinkovitost na prvem mestu“ in za učinkovitejšo uporabo lokalnih virov energije v stavbah in skupnostih.
2. Večja neposredna elektrifikacija končnih sektorjev. Energetski sektor ima največji delež obnovljivih virov, zato lahko EU elektriko uporablja povsod, kjer je to mogoče; na primer za toplotne črpalke v stavbah, električna vozila v prometu ali električne peči v nekaterih panogah.
3. Čista goriva, kjer je elektrifikacija težavna. Sem spadajo obnovljivi vodik, trajnostna biogoriva in bioplín. Evropska komisija bo predlagala tudi nov sistem razvrščanja in certificiranja za obnovljiva in nizkoogljíčna goriva.

Sodeč po tem bo vodik pomemben del te strategije, vendar njegova ključna vloga in širši obseg zahtevata poseben pristop. Ta pristop opredeljuje strategija EU za vodik.

STRATEGIJA ZA VODIK ZA PODNEBNO NEVTRALNO EVROPO

Evropska komisija je 8. julija 2020 vzporedno s strategijo za integracijo energetskega sistema sprejela [strategijo za vodik za podnebno nevtralno Evropo](#). Nova vodikova strategija bo proučila potencial čistega vodika za stroškovno učinkovit postopek razogljčenja gospodarstva EU v skladu s ciljem podnebne nevtralnosti do leta 2050, določenim v evropskem zelenem dogovoru. Strategija bo proučila

ukrepe za podporo proizvodnji in uporabi čistega vodika, s posebnim poudarkom na vključevanju obnovljivega vodika. Za postopen prehod bo potreben postopni pristop, ki je razviden na Sliki 10 [28].



Slika 10: Evropska pot do vodika [32]

Vodik predstavlja manj kot 2 odstotka sedanje porabe energije v Evropi in se v glavnem uporablja za proizvodnjo kemičnih izdelkov, kot so plastika in gnojila (96 odstotkov te proizvodnje vodika se proizvede z zemeljskim plinom in v tem procesu se oddajajo znatne količine emisij CO₂). Vodik pa se lahko proizvaja tudi iz obnovljivih virov energije (tako imenovan obnovljivi ali zeleni vodik) [32].

CELOVITI NACIONALNI ENERGETSKI IN PODNEBNI NAČRT REPUBLIKE SLOVENIJE (NEPN)

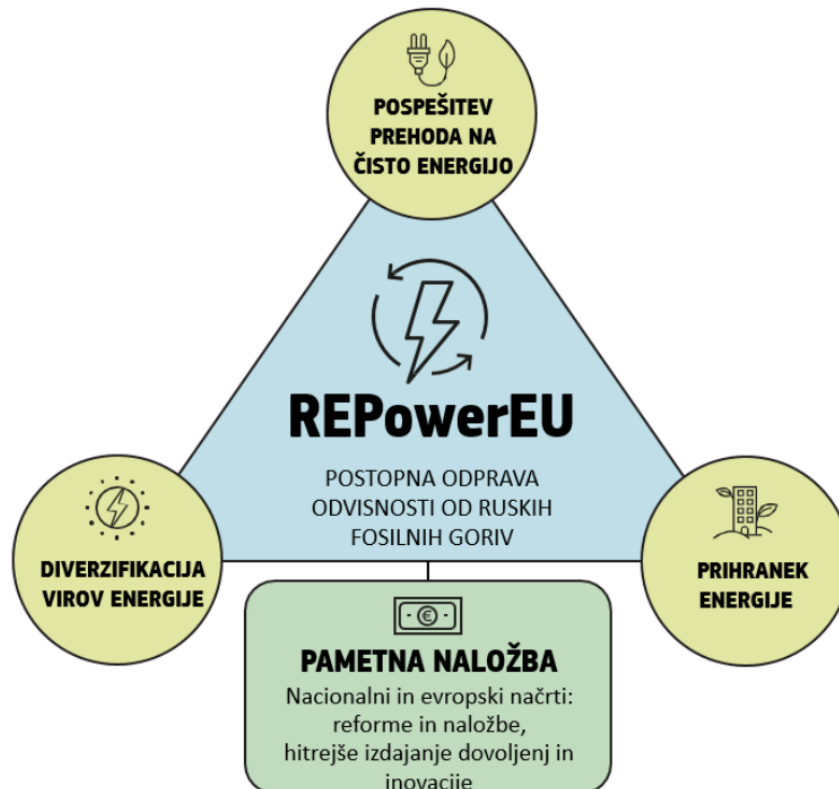
V skladu z [NEPN Slovenije](#) (Celoviti nacionalni energetski in podnebni načrt republike Slovenije) lahko vodik igra določeno vlogo pri vključevanju proizvodnje električne energije iz obnovljivih virov, krepitvi zanesljivosti oskrbe s plinom in pomaga pri doseganju ciljev razogljičenja. Obnovljivi vodik se lahko uporablja tudi za shranjevanje velikih količin električne energije, proizvedene v obdobjih nizke porabe. Slovenija pričakuje, da bo do leta 2030 v sektorju transporta končna poraba vodika znašala 10 ktoe (116 GWh), do leta 2040 pa 63 ktoe (732 GWh), predvsem v transportu, postopoma pa tudi v gradbeništvu in industriji [33].

NAČRT REPowerEU

[Načrt REPowerEU](#) je namenjen hitremu zmanjšanju naše odvisnosti od ruskih fosilnih goriv s pospešenim preходом na čisto energijo ter združitvijo moči za doseganje odpornejšega energetskega sistema in resnične energetske unije. V tem načrtu REPowerEU, ki temelji na svežnju predlogov „Pripravljeni na 55“ ter dopolnjuje ukrepe za zanesljivo oskrbo z energijo in njeno skladiščenje, je predlagan dodaten sklop ukrepov za [34]:

- varčevanje z energijo;

- diverzifikacijo oskrbe;
- hitro nadomeščanje fosilnih goriv s pospešitvijo evropskega prehoda na čisto energijo ter
- pametno združevanje naložb in reform.



Slika 11: Postopna odprava odvisnosti od fosilnih goriv [34]

V načrtu REPowerEU je določen cilj 10 milijonov ton domače proizvodnje obnovljivega vodika in 10 milijonov ton uvoženega obnovljivega vodika do leta 2030. Komisija [34]:

- poziva Evropski parlament in Svet, naj uskladiata podcilje za obnovljiva goriva nebiološkega izvora v skladu z direktivo o energiji iz obnovljivih virov za sektorja industrije in prometa z ambicijami iz načrta REPowerEU (75 odstotkov za sektor industrije ter 5 odstotkov za sektor prometa) ter hitro zaključita z revizijo svežnja o trgu vodika in plina;
- bo dopolnila naložbe v okviru programa Obzorje Evropa za Skupno podjetje za vodik (200 milijonov EUR) za podvojitev števila vodikovih dolin;
- objavi dva delegirana akta o opredelitvi in proizvodnji obnovljivega vodika za povratne informacije javnosti;
- namerava do poletja dokončati oceno prvih pomembnih projektov skupnega evropskega interesa o vodiku;
- poziva industrijo, naj pospeši delo v zvezi z manjkajočimi standardi glede vodika, zlasti v zvezi s proizvodnjo vodika, infrastrukturo za vodik in napravami za končno uporabo vodika;
- bo od leta 2025 v tesnem sodelovanju z državami članicami redno poročala o uvajanju vodika in uporabi obnovljivega vodika v napravah v industriji in prometu, v katerih je težko zmanjšati emisije.

„PRIPRAVLJENI NA 55“

Sveženj „Pripravljeni na 55“ je sklop predlogov za revizijo in posodobitev zakonodaje EU ter za uvedbo novih pobud, da bi zagotovili skladnost politik EU s podnebnimi cilji, o katerih sta se dogovorila Svet in Evropski parlament. „Pripravljeni na 55“ se nanaša na cilj EU, da do leta 2030 zmanjša neto emisije toplogrednih plinov za vsaj 55 odstotkov. Cilj predlaganega svežnja je uskladiti zakonodajo EU s ciljem za leto 2030.

Cilj svežnja predlogov je zagotoviti skladen in uravnotežen okvir za doseganje podnebnih ciljev EU, ki [35]:

- zagotavlja pravičen in socialno pošten prehod;
- ohranja in krepi inovativnost in konkurenčnost industrije EU, hkrati pa zagotavlja enake konkurenčne pogoje za gospodarske subjekte iz tretjih držav;
- podpira vodilni položaj EU v svetovnem boju proti podnebnim spremembam.



Slika 12: Pripravljeni na 55: kako EU podnebne cilje prenaša v zakonodajo? [35]

PREDLOG DIREKTIVE O SKUPNIH PRAVILIH NOTRANJEGA TRGA OBNOVLJIVIH PLINOV, ZEMELJSKEGA PLINA IN VODIKA

V okviru [predloga Direktive Evropskega parlamenta in Sveta o skupnih pravilih notranjega trga obnovljivih plinov, zemeljskega plina in vodika Republika Slovenija](#) podpira prenovu plinske direktive in vključitev obnovljivih plinov, nizkoogljičnih plinov in vodika v sistem regulacije plinskega trga. Na ta način se določa potrebna pravna osnova za prehod na uporabo obnovljivih in nizkoogljičnih plinov, tudi preko danes dobro delujočega plinskega sistema. Možnost skladiščenja plina in prenos velikih količin energije po plinskih sistemih je eden izmed ključnih doprinosov plinskih sistemov k izpolnjevanju zastavljenih ciljev EU pri prehodu k nizkoogljični družbi. Predlog direktive tako prilagaja in posodablja določbe prenosu novim plinom v mešanici z metanom (zemeljskim plinom) in na novo uvaja določbe za ločen prenos vodika preko novih vodikovih omrežij [36].

STRATEGIJA ZA TRAJNOSTNO IN PAMETNO MOBILNOST – USMERJANJE EVROPSKEGA PROMETA NA PRAVO POT ZA PRIHODNOST

Komisija je decembra 2020 sprejela sporočilo z naslovom [Strategija za trajnostno in pametno mobilnost](#). Strategija postavlja temelje za način, na katerega bo lahko prometni sistem EU dosegel to preobrazbo, in določa konkretne mejnike za ohranitev usmeritve prometnega sistema v pametno in trajnostno prihodnost. Prometni sektor je še vedno močno odvisen od fosilnih goriv. Spodbujanje uporabe brezemisijских in nizkoemisijских vozil, plovil in letal ter obnovljivih in nizkoogljičnih goriv v vseh načinih prometa je prednostni cilj v prizadevanjih za večjo trajnostnost vseh načinov prometa [37].

ZAKON O INFRASTRUKTURI ZA ALTERNATIVNA GORIVA IN SPODBUJANJU PREHODA NA ALTERNATIVNA GORIVA V PROMETU (ZIAG)

Državni zbor je potrdil [zakon](#), ki določa pravni okvir za vzpostavljanje, razvoj, širitev in varno uporabo infrastrukture za alternativna goriva v prometu. Ta med drugim predvideva vzpostavitev goste javno dostopne mreže polnilne in oskrbovalne infrastrukture za alternativna goriva v prometu ter povečanje deleža vozil na alternativna goriva [38].

Z zakonom se:

- določa pravila za načrtovanje nacionalnega okvira politike za razvoj infrastrukture za alternativna goriva v prometu,
- določa cilje za vzpostavitev zadostne infrastrukture za alternativna goriva v prometu za cestna vozila, mirujoče zrakoplove in plovila,
- ureja vzpostavitev in delovanje gospodarske javne službe zagotavljanja in upravljanja podporne infrastrukture ter priključnih zmogljivosti na polnilnih parkih visokih moči za hitro polnjenje skupne izhodne moči vsaj 3 MW,
- ureja obveznosti upravljavcev polnilnih in oskrbovalnih mest, tehnične zahteve v zvezi z vzpostavljanjem, delovanjem in vzdrževanjem infrastrukture za alternativna goriva v prometu in zahteve v zvezi z informacijami za uporabnike,
- ureja način in postopke za registracijo infrastrukture za alternativna goriva v prometu in vodenje evidenc,

- določa vire in načine financiranja ukrepov za spodbujanje prehoda na alternativna goriva
- ureja vzpostavitev in delovanje centra za spodbujanje prehoda na alternativna goriva v prometu.

Z uveljavitvijo zakona se preneha uporabljati Uredba o vzpostavitvi infrastrukture za alternativna goriva v prometu (Ur. l. RS, št. 41/17, 121/21 – ZSROVE in 172/21 – ZOEE).

AKCIJSKI PROGRAM ZA ALTERNATIVNA GORIVA V PROMETU

Z "[Akcijskim programom za alternativna goriva v prometu](#)" so določeni cilji in ukrepi za uresničitev ciljev, ki jih je nakazala oktobra 2017 sprejeta Strategija o alternativnih gorivih. Akcijski program je zaradi izredno intenzivnih razvojnih sprememb na področju vozil in samih tehnologij na alternativna goriva pripravljen za tri leta in se bo dopolnjeval vsaki dve leti [39].

Direktiva 2014/94/EU državam članicam omogoča samostojno odločitev o tem, ali bodo v svoje nacionalne politike vključile oskrbovalna mesta za vodik. Slovenija se je odločila za vodikove tehnologije in 12 partnerjev na tem področju v državi so ustanovili Razvojni center za vodikove tehnologije. V prihodnje bo treba spodbujati predvsem uporabo vodika iz obnovljivih virov energije, tako imenovani »zeleni« vodik [39].

Vozila na vodikove gorivne celice so upravičena do spodbud v okviru ukrepov U1, U2, U3, U5 in U6. V okviru ukrepa U6 je del sredstev namenjen tudi za sofinanciranje izvedbe projekta RES HUB – gradnja in nakup javne vodikove polnilnice na območju Vojašnice Petra Petriča v Kranju, ki omogoča uresničevanje zaveze Slovenije do zveze Nato in nudi Slovenski vojski neodvisen vir zelene energije [39].

AKCIJSKI NAČRT ZA SPODBUJANJE VODIKOVIH TEHNOLOGIJ V SLOVENIJI IN AVSTRIJI

[Akcijski načrt za spodbujanje vodikovih tehnologij v Sloveniji in Avstriji](#) (»Akcijski načrt«) je bil pripravljen kot del projekta Interreg SI-AT H2GreenTECH. Akcijski načrt je skupni čezmejni strateški dokument, ki se nanaša na pričakovani razvoj vodikove tehnologije do leta 2025 skozi smernice in prioritete v obeh državah. V vsaki državi so bili za pripravo tega dokumenta uporabljeni nacionalni NEPN1, 2. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport v Sloveniji se je pri vodenju razvoja akcijskega načrta obširno posvetovalo s partnerji konzorcija H2GreenTECH, predvsem s slovenskim Kemijskim inštitutom in Štajersko gospodarsko zbornico [33].

V sklopu [Hydrogen centra](#) je tako digitalna platforma za srečanja B2B kot tudi center, ki podjetjem na enem mestu omogoča dostop do storitev ter vrhunskega znanja in raziskovalne infrastrukture. Njegov cilj je združevanje različnih zainteresiranih strani na področju vodikovih tehnologij v Sloveniji in Avstriji v dolgoročno čezmejno raziskovalno in panožno mrežo v regiji Interreg SI-AT za spodbujanje razvoja inovacij z uporabo vodikovih tehnologij in izvajanje Akcijskega načrta za spodbujanje vodikovih tehnologij v Sloveniji in Avstriji, strategije razvoja mreže Hydrogen Center in strategije trženja mreže Hydrogen Center [33].

3.2 MISIJE IN INCIATIVE

SKUPNO PODJETJE ZA ČISTI VODIK ALI PARTNERSTVO ZA ČISTI VODIK (The Clean Hydrogen Joint Undertaking)

[Skupno podjetje za čisti vodik ali partnerstvo za čisti vodik](#) je edinstveno javno-zasebno partnerstvo, ki podpira dejavnosti raziskav in inovacij na področju vodikovih tehnologij v Evropi. Temelji na uspehu svojega predhodnika, Skupnega podjetja za gorivne celice in vodik. Glavni cilj partnerstva za čisti vodik je prispevati k zelenemu dogovoru EU in strategiji za vodik s financiranjem dejavnosti na področju raziskav in inovacij [40].

Cilj partnerstva za čisti vodik je pospešiti razvoj in uporabo evropske vrednostne verige za varne in trajnostne tehnologije čistega vodika ter okrepiti njeno konkurenčnost v podporo podjetjem, zlasti MSP. To omogoča hitro dajanje inovativnih konkurenčnih in čistih rešitev na trg [40].

Končni cilj je prispevati k [40]:

- trajnostnemu, razogljičenemu in popolnoma integriranemu energetskega sistema EU,
- strategiji EU za vodik, ki ima pomembno vlogo pri uresničevanju načrta za doseganje podnebne nevtralnosti.

Kdo ima koristi [40]?

- Javnost: partnerstvo bo prispevalo k doseganju energetskih in podnebnih ciljev za leto 2030 in, kar je najpomembneje, omogočilo podnebno nevtralnost do leta 2050.
- Gospodarstvo: partnerstvo bo ljudem pomagalo pridobiti panožna znanja in spretnosti ter s pomočjo te delovne sile omogočilo razvoj najsodobnejše tehnologije, ki jo Evropa potrebuje za ohranitev svojega vodilnega položaja na trgu.
- Mala in srednja podjetja: z večanjem obsega tehnologij čistega vodika in širitvijo njihove uporabe bo partnerstvo okrepilo konkurenčnost EU in podprlo MSP, tako da bo omogočilo hitro dajanje inovativnih konkurenčnih in čistih rešitev na trg.
- Znanstvena skupnost in visoko šolstvo: partnerstvo bo okrepilo in med seboj povežalo znanstvene in tehnološke zmogljivosti EU, da bi pripomoglo k ustvarjanju in razširjanju novega visokokakovostnega znanja.

Evropsko zavezništvo za čisti vodik (The European Clean Hydrogen Alliance)

Evropsko zavezništvo za čisti vodik ([ECH2A - European Clean Hydrogen Alliance](#)) združuje deležnike iz industrije, nacionalnih in lokalnih javnih organov, civilne družbe in drugih zainteresiranih strani. Je glavni posvetovalni organ EU za izvedbo vodikove strategije za podnebno nevtralno Evropo, za oblikovanje naložbenega načrta za spodbujanje uvajanja proizvodnje in uporabe obnovljivega in nizkoogljivega vodika ter posledično za pripravo konkretnih projektnih predlogov [41].

Evropsko zavezništvo za čisti vodik je sicer Komisija ustanovila leta 2020, združuje pa več kot 1600 organizacij, ki se ukvarjajo z uvajanjem čistega vodika v Evropi. Njegovo poslanstvo je nuditi podporo razvoju in uporabi čistih vodikovih tehnologij do leta 2030, in sicer tako na področju združevanja

proizvodnje iz obnovljivih virov in nizkoogljične proizvodnje vodika kot na področju pokrivanja potreb industrije, prometa in drugih panog ter pri razvoju potrebne vodikove infrastrukture [42].

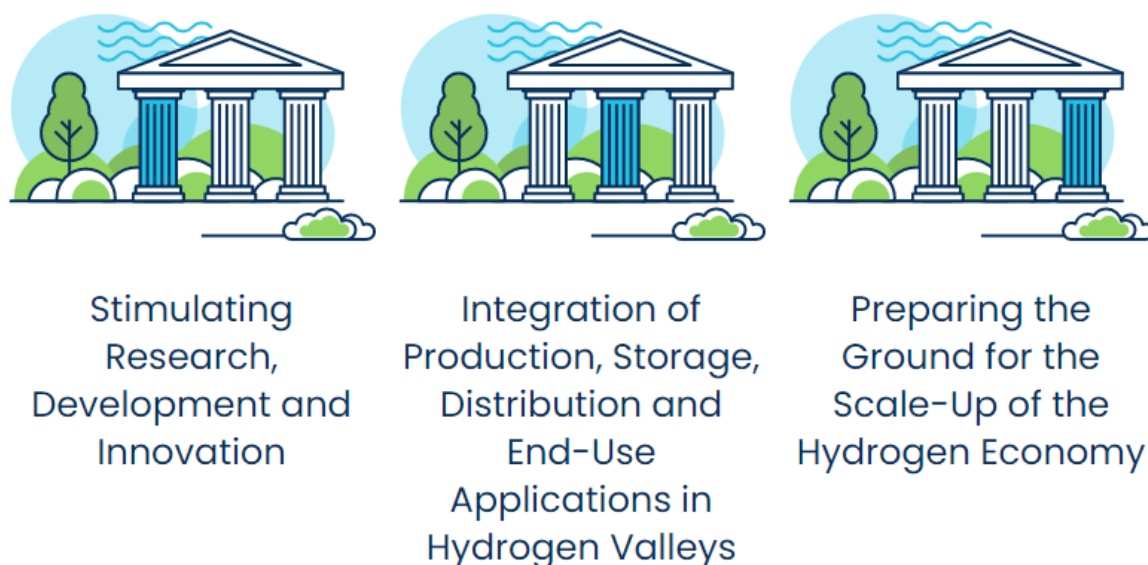
MISIJA ČIST VODIK (CLEAN HYDROGEN MISSION)

[Mission Innovation \(MI\)](#) je globalna pobuda, ki spodbuja desetletje ukrepov in naložb v raziskave, razvoj in predstavitve, da bi čista energija postala cenovno ugodna, privlačna in dostopna za vse. To bo pospešilo napredek pri doseganju ciljev Pariškega sporazuma in poti do neto ničelne vrednosti [43].

MI deluje na več področjih, med drugim tudi na [CLEAN HYDROGEN MISSION](#), katere cilj je povečati stroškovno konkurenčnost čistega vodika z zmanjšanjem končnih stroškov na kritično točko 2 USD/kg do leta 2030. S pomočjo te misije bi želeli dokazati, da je čisti vodik primeren za različne končne uporabe, vključno s težko industrijo in prevozom tovora na dolge razdalje. Naložbe v raziskave, razvoj, predstavitve in povečanje obsega bodo ključnega pomena za znižanje stroškov in hiter tehnološki preboj [43].

Misiya se bo za dosego cilja osredotočila na naslednja tri področja (slika 12) [43]:

- Spodbujanje raziskav, razvoja in inovacij;
- Vključevanje proizvodnje, skladiščenja, distribucije in končne uporabe v vodikovih dolinah (Do leta 2030 bo potrebno zagotoviti 100 dolin čistega vodika po vsem svetu.);
- Priprava podlage za razširitev vodikovega gospodarstva.



Slika 13: Tri glavna področja oz. stebri misije [43]

Misija čisti vodik je pripravila tudi svoj [Akcijski načrt 2022-2024 \(Clean Hydrogen Mission Action Plan 2022-2024\)](#), kjer so si zastavili cilje, ki morajo zadostiti v naslednjih 2-3 letih. Leta 2024 bodo pripravili novi akcijski načrt za naslednje obdobje.

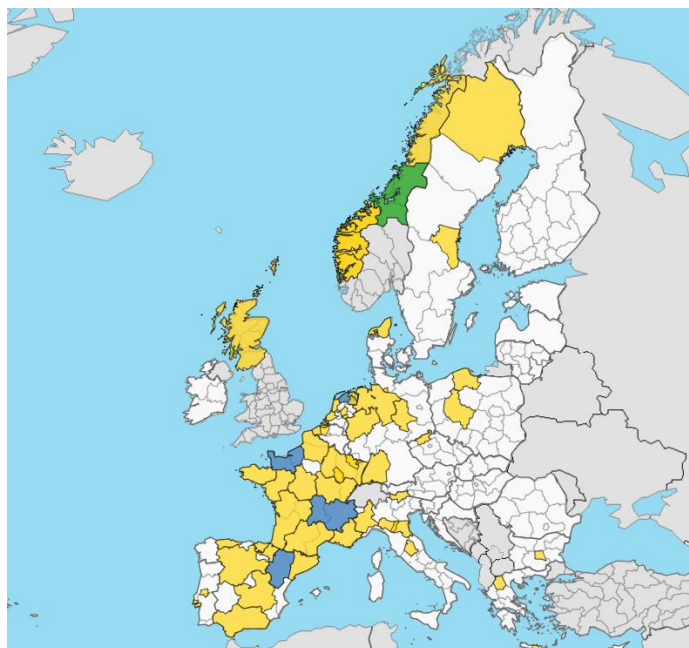
VODIKOVE DOLINE (Hydrogen Valleys) ALI EVROPSKE VODIKOVE DOLINE (The European Hydrogen Valleys Partnership)

Kot jasen znak rastočega in zrelega vodikovega trga so se po vsem svetu začele pojavljati "vodikove doline".

Vodikove doline so regionalni ekosistemi, ki povezujejo proizvodnjo vodika, prevoz in različne končne uporabe, kot sta mobilnost ali industrijska surovina, in so pomemben korak k napredku vodikovih tehnologij in omogočanju razvoja trajnostnega vodikovega gospodarstva. Ideja je prikazati, kako se vsi različni deli uporabe vodika kot nosilca energije povezujejo v celovit sistemski pristop [44].

Koncept vodikovih dolin je zdaj ena od glavnih prednostnih nalog industrije in Evropske komisije za razširitev uporabe vodika in vzpostavitev medsebojno povezanih vodikovih ekosistemov po vsej Evropi. Vodikove doline v Evropi zagotavljajo povpraševanje po vodiku in ga povezujejo s porabo. Tako oblikujejo priložnosti za več poslov z vodikom in omogočajo ustanavljanje javno-zasebnih partnerstev po celotni vodikovi verigi vrednosti: proizvodnji, distribuciji, hrambi in končni porabi. V evropski vodikovi strategiji so vodikove doline ključni pospeševalnik vodikove ekonomije. Z njimi pomagajo pri doseganju ciljev REPower EU in krepitvi energetske varnosti [44].

V Sloveniji, kot je vidno na Sliki 14, še ni vodikove doline, vendar je že pripravljen načrt Slovenije, Hrvaške in Furlanije – Julijske krajine, ki se združujejo v Vodikovi dolini severnega Jadrana (NAHV – North Adriatic Hydrogen Valley). Poleg severnojadranskega projekta je 25 milijonov evrov iz razpisa prejel tudi projekt vodikove doline v regijah okoli Baltskega morja. Pri Clean Hydrogen Partnership so obenem podprli sedem manjših projektov vodikovih dolin, in sicer v Bolgariji (Stara Zagora), Grčiji (Kreta in Korinta), na Irskem (Galway), v Italiji (Lombardija), Turčiji (Južna Marmara) in Luksemburgu. Vsakemu od teh projektov so dodelili osem milijonov evrov [44].



Slika 14: Zemljevid vodikovih dolin leta 2023 [45]

[Platforma vodikovih dolin](#) predstavlja celovit vpogled v najbolj napredne in ambiciozne vodikove doline po vsem svetu. Na podlagi obsežnega zbiranja primarnih podatkov iz projektov bo platforma zagotovila informacije o uporabljenih tehnologijah, podrobnostih o financiranju, upravljanju deležnikov, ovirah in dejavnikih uspeha projekta [46].

Iniciativa vzpostavitve Evropske vodikovodne hrbtenice (The European Hydrogen Backbone (EHB) initiative)

Evropska iniciativa [European Hydrogen Backbone \(EHB\)](#), ki združuje 23 operaterjev plinske infrastrukture, je objavila posodobljeno različico vizije razvoja omrežja za transport vodika. Iniciativa, katere del je tudi družba Plinovodi d.o.o., do leta 2040 predlaga razvoj vodikovodnega omrežja v skupni dolžini 39.700 km, z možnostjo nadaljnjega razvoja po letu 2040. Vodikovodna hrbtenica bi povezovala 21 evropskih držav. Prva različica poročila, ki je bila objavljena julija 2020 je obsegala 23.000 km in 10 evropskih držav [47].

Evropska vodikova banka (European Hydrogen Bank)

Evropska komisija je v letu 2022 pokazala veliko zanimanje za razvoj evropske zelene vodikove industrije (European Green hydrogen industry). Prenovljene ambicije za oskrbo s čistim vodikom v okviru načrta REPowerEU so le eden od primerov kampanj za pospešitev te vodikove reforme. Pomen zelenega vodika za trajnostni prehod je bil ponovno poudarjen v delovnem programu za leto 2023, v katerem je Komisija napovedala ustanovitev vodikove banke, v katero bo vložila 3 milijarde EUR za zagon evropskega trga H₂ in uresničitev ambicij zelenega dogovora [48].

Koalicija za Beli Vodik (White Hydrogen Coalition ali WHC)

Koalicija za Beli Vodik (White Hydrogen Coalition ali WHC) je mednarodna decentralizirana skupnost deležnikov in podpornikov čistih energetske tehnologije, namenjenih čiščenju planeta in dekarbonizaciji proizvodnje ter energije. Njeno ime izvira iz vrste vodikovega plina, proizvedenega s pretvorbo plastike in odpadkov pri nizkih temperaturah v jedrne kemijske komponente in električno energijo. Poslanstvo Koalicije za Beli Vodik je pospešiti in olajšati splošno sprejemanje čistih tehnoloških rešitev, kot je postopek pretvorbe pri nizkih temperaturah (LTC), ki zmanjšuje ogljični odtis in onesnaževanje Zemlje z odpadki ter zagotavlja vir čiste energije, katere glavni simbol je beli vodik [8].

Svetovno združenje proizvajalcev baterij (Global Battery Alliance and Europeans Batteries Alliance)

[Svetovno združenje proizvajalcev baterij](#) je globalna platforma, ki je leta 2017 nastala na pobudo Svetovnega gospodarskega foruma. Zanj velja, da združuje javne in zasebne deležnike ter si v vrednostni verigi v okviru proizvodnje baterij prizadeva zagotoviti trajnostno delovanje tako v socialnem kot tudi v okoljskem in gospodarskem pogledu [49].

Najpomembnejši cilji Svetovnega združenja proizvajalcev baterij [49]:

- Okolju prijazno pridobivanje surovin in zagotavljanje ustreznih socialnih razmer;
- Prehod na krožno gospodarstvo s ponovno uporabo in recikliranjem;
- Spodbujanje inovacij vzdolž vrednostne verige.

Evropsko zavezništvo za baterije (Europeans Batteries Alliance)

Evropsko zavezništvo za baterije ([European Battery Alliance, EBA](#)) je bilo ustanovljeno oktobra 2017 na pobudo podpredsednika evropske komisije Maroša Šefčoviča. Namen je prebivalcem Evrope zagotoviti večje koristi varnejšega prometa, trajnostne tehnološke rešitve, varnejši promet in čistejša vozila. Industrijski razvojni program Evropskega zavezništva za baterije vodi [EIT InnoEnergy](#). Od začetka delovanja do danes se je prvotna mreža 120 deležnikov, vključenih v verigo vrednosti na področju baterij, povečala na več kot 800 članov ekosistema deležnikov, ki skupaj sodelujejo pri razvoju močne in konkurenčne evropske industrije baterij [50].

V okviru zavezništva se razvija tudi poseben pristop k verigam vrednosti, ki izhaja iz potreb po razvoju novih industrij. Temelji na šestih stebrih, ki so surovine, aktivni materiali, proizvodnja celic, baterijski paketi in sistemi, aplikacija in integracija, recikliranje in nov življenjski cikel [50].

Mreža za energijo vodika (The Hydrogen Energy Network)

[Mreža za energijo vodika \(The Hydrogen Energy Network - HyENet\)](#) je neformalna platforma, ki jo je DG ENER (Generalni direktorat za energijo - The Directorate-General for Energy) vzpostavil za podporo nacionalnim organom pri vprašanih vodika [51].

4. PRIMERI DOBRIH PRAKS V SLOVENIJI IN TUJINI NA PODROČJU UPORABE VODIKA

Skozi primere dobrih praks se učimo in so nam v pomoč pri implementiranju novih stvari oz. tehnologij. V naslednjih dveh poglavjih je predstavljenih nekaj primerov dobrih praks v Sloveniji in tujini na področju rabe vodika in novih vodikovih tehnologij.

4.1 PRIMERI DOBRIH PRAKS NA OBMOČJU SLOVENIJE

SISTEM GORIVNIH CELIC KOT POMOŽNI VIR ENERGIJE ZA ZAGOTAVLJANJE AVTONOMNOSTI VOJAŠKIH VOZIL

Slovensko Ministrstvo za obrambo (MORS) je eno izmed prvih obrambnih ministrstev v Evropi, ki je začelo že zelo zgodaj opozarjati na uvajanje trajnostnih tehnologij ter prehod na nove in obnovljive vire energije, kot je vodik. Slovenska vojska je med leti 2006 in 2008 s sodelavci projekta HyMIV (projekt ARRS – Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije) v eni od vojašnic postavila pomožni 30 kW agregat s PEM gorivnimi celicami ter v vozilo integrirala 7 kW PEM gorivno celico. Agregat je prevzela enota SV iz Grosuplja, pripadniki te enote pa so začeli preizkušanje delovanja agregata v različnih razmerah. Nizke januarske temperature so bile zelo primerne za preizkus delovanja v hudem mrazu. Vozilo z vgrajenim agregatom na vodik pomeni za uporabnika veliko prednosti, kot so malo vidna infrardeča slika, večja avtonomnost, malo hrupa in večja hitrost vzpostavitve delovanja. Oba sistema sta v operativni uporabi še danes. Vojaki poznajo tehnologijo in so z njo zadovoljni, sprejeli so vodik kot gorivo in ugotovili njegove prednosti in slabosti [52].

PROJEKT VODIKOVA DOLINA SEVERNEGA JADRANA (NAHV – NORTH ADRIATIC HYDROGEN VALLEY)

Na konferenci Vodikov sistem severnega Jadrana 2022, ki je potekala v Novi Gorici, so predstavili načrte Slovenije, Hrvaške in Furlanije – Julijske krajine, ki se združujejo v Vodikovi dolini severnega Jadrana (NAHV – North Adriatic Hydrogen Valley) [53].

V pripravi so številni projekti, s pomočjo katerih se bo proizvajalo in uporabljalo zeleni vodik in na ta način proaktivno podprlo evropski energetske prehod. Partnerji projekta nameravajo prikazati, kako vodik omogoča spajanje različnih gospodarskih in energetskih sektorjev ter obsežnejšo integracijo obnovljivih virov energije na območju vključenih držav. Mednarodno partnersko sodelovanje bo prisotno pri celotni vodikovi verigi vrednosti, proizvodnji, distribuciji, hrambi in končni porabi [54].

Cilj projekta vodikove doline severnega Jadrana je zmanjšanje ogljičnega odtisa v regiji z izkoriščanjem obnovljivih virov. Predlagane vodikove rešitve bodo zagotavljale energetske prožnost v regiji in izboljšale energetske odpornost regije. S projektom Vodikova dolina severnega Jadrana nameravajo na leto proizvesti vsaj 5000 ton vodika. Večino ga bodo namenili industriji, približno 20 odstotkov pa za druge namene. Pri oblikovanju tega ekosistema bo ključno sodelovanje. Severna Italija, Slovenija in Hrvaška nudijo veliko priložnosti, da skupaj ustvarijo celoten ekosistem. V Sloveniji je vodilni partner projekta delovna skupina Holding slovenske elektrarne. Septembra 2022 se je v okviru sredstev

Horizon-JETI-CLEAN H2-2022 odprl javni poziv za evropska sredstva, na katerega so tudi vložili vlogo za pridobitev evropskih sredstev [53].

STEKLARNA HRASTNIK

Eno izmed podjetij, ki v Sloveniji izstopa na področju dobrih praks pri uporabi vodika, je Steklarna Hrastnik, ki sodeluje v projektu [H2GLASS](#), v okviru katerega želijo ustvariti tehnologijo, ki jo v steklarstvu potrebujejo za doseg stoddotnega izgorevanja vodika v proizvodnih obratih [23].

Gre za največji evropski projekt na področju vodika v steklarski industriji in je subvencioniran s pomočjo evropskih sredstev preko projekta International Horizon. Po uspešni pilotni uporabi vodika v Steklarni Hrastnik v okviru mednarodnega projekta H2GLASS že preizkušajo nadaljnje možnosti uporabe vodika na industrijskih pečeh za taljenje stekla. Do leta 2024 želijo demonstrirati uporabo 100 odstotkov vodika v dveh poslovnih enotah Steklarne Hrastnik. Tako bodo uporabo vodika združili tudi z uporabo električno podprtega taljenja stekla in popolnoma znižali emisije toplogrednih plinov iz zgorevanja goriva brez bistvenih vplivov na fleksibilnost proizvodnje ter življenjsko dobo steklarske peči. V kolikor bo industrijska demonstracija uspešna, bo kombinacija teh tehnologij ključna za razogljčenje proizvodnje stekla [23].

TRANSPORT VODIKA MED HRVAŠKO, AVSTRIJO IN SLOVENIJO

Sistemi operaterji plinskih prenosnih omrežij Slovenije, Avstrije in Hrvaške Plinovodi, Gas Connect Austria in Plinacro so sredi decembra leta 2022 podpisali memorandum o sodelovanju, v katerem so se med drugim dogovorili o sodelovanju pri razvoju infrastrukture za prenos vodika [54].

Operaterji bodo razvijali energetske infrastrukturo skladno z evropskimi smernicami, ki predvidevajo opuščanje projektov, povezanih s fosilnimi gorivi, in spodbujanje projektov za zmanjšanje izpustov toplogrednih plinov. Operaterji so uskladili osnovne smernice za projekte oskrbe z vodikom na območju Hrvaška-Slovenija-Avstrija. Povečanje zmogljivosti in razvoj infrastrukture za prenos vodika je v skupnem interesu, so sporočili operaterji treh držav [54].

PRVA POLNILNICA NA ČIST VODIK V SLOVENIJI

Leta 2021 je potekalo odprtje prve polnilnice za oskrbo s čistim vodikom v Salonitu Anhovo, ki predstavlja temeljni kamen mednarodnega vodikovega ekosistema v regiji Severnega Jadrana in podpira prizadevanja Salonita Anhovo za prehod na čisto, obnovljivo energijo [55].

Edina cementarna v Sloveniji se na ta način aktivno pridružuje pobudnikom za vzpostavitev vodikove infrastrukture, gospodarskim partnerjem in vladam Republike Slovenije, Republike Hrvaške ter italijanske regije Furlanije – Julijske krajine [55].

Vzpostavitev vodikovega ekosistema v regiji je pomembna za uresničitev strateških ciljev Salonita Anhovo, ki želi postati ena prvih ogljično nevtralnih cementarn z minimalnim vplivom na okolje do leta

2035. Čisti vodik – torej zeleni vodik, pridobljen iz obnovljivih virov – igra pomembno vlogo tako pri razogljičenju proizvodnega procesa kot tudi tovarnega prometa [55].



Slika 15: Odprtje prve polnilnice za oskrbo s čistim vodikom v družbi Salonit Anhova [55]

LETALO NA VODIK

Konec leta 2020 je z mariborskega letališča prvi polet uspešno prestalo prvo štirisedežno hibridno električno letalo s pogonom na vodik, so sporočili iz podjetja Pipistrel Vertical Solutions kot vodje konzorcija projekta [MAHEPA](#). S tem je postavilo mejnik tako za projekt MAHEPA kot za prihodnost brezogljivega letenja [56].

V LJUBLJANI JE TESTNO VOZIL AVTOBUS NA VODIK

V okviru Evropskega tedna mobilnosti je po Ljubljani s testno vožnjo pričel voziti avtobus na vodik. Na liniji 2 je vozil do 30. septembra leta 2022. S tem so v Ljubljani sledili načelom ničelnih izpustov ter ciljem Celostne prometne strategije Mestne občine Ljubljana in ambicioznim ciljem s področja trajnostne mobilnosti. Premično polnilnico za potrebe polnitve avtobusa so v sodelovanju s podjetjem Messer za testno obdobje namestili na sedežu Energetike Ljubljana. V času testiranja so spremljali različne tehnične parametre delovanja vozila in tudi kakšna je uporabniška izkušnja. Na podlagi ugotovitev testne uporabe avtobusa Caetano HV City Gold in zaključnih analiz ter izkušenj tujih prevoznikov, ki avtobuse na vodik že uporabljajo, bodo na občini nadaljevali z aktivnostmi, da bodo vodikovo tehnologijo v največji možni meri vpeljali v floto Ljubljanskega potniškega prometa [57].

ŠALEŠKE FOTOVOLTAIKE ZA PROIZVODNJO TRI TISOČ TON VODIKA

Za proizvodnjo zelenega vodika je potrebna električna energija iz obnovljivih virov. Za proizvodnjo tri tisoč ton vodika bo treba postaviti dodatne obnovljive vire električne energije, za začetek predvsem fotovoltaične panele na Šoštanjskem jezeru, manjši del, do 30 megavatov, pa tudi na Velenjskem jezeru. Panele predvidevajo tudi na obalnem delu jezer. Jezeri sta degradirani območji, nastali sta kot posledici rudarjenja. Načrti izhajajo iz prijave projekta Vodikova dolina severnega Jadrana na evropski razpis Obzorja. Na razpis se je konec leta 2022 prijavil Holding Slovenske elektrarne (HSE) skupaj z 32 partnerji iz treh držav. Slovenski partnerji so še Steklarna Hrastnik, Salonit Anhovo in Ecubes. Razpis je vreden 25 milijonov evrov, v prvi fazi naj bi ustvaril 230 milijonov evrov projektov. Skupaj bo v Sloveniji proizvedeno 3.400 ton vodika, od tega bo HSE prispeval tri tisoč ton, Salonit 50 ton, Ecubes pet ton, preostalo Steklarna Hrastnik. V Italiji bo proizvedenih 1.200 ton, podobna količina pa tudi na Hrvaškem. Za proizvodnjo kilograma vodika potrebujejo neto 58 kilovatnih ur električne energije, bruto 62 kilovatnih ur in 15,5 litra vode [58].

4.2 PRIMERI DOBRIH PRAKS V TUJINI

POSPEŠENA GRADNJA OMREŽJA ZA OSKRBO Z VODIKOM

Daimler Truck AG in Shell New Energies NL B.V. (»Shell«) sta leta 2021 podpisala sporazum o skupnem spodbujanju razvoja tovornjakov v Evropi, ki jih poganjajo vodikove gorivne celice. Podjetji nameravata podpreti razogljičenje cestnega tovornega prometa z izgradnjo infrastrukture za oskrbo z vodikom in proizvodnjo tovornjakov z gorivnimi celicami. Shell namerava najprej zgraditi omrežje za oskrbo z vodikom, ki se bo pridružilo trem vozliščem za zeleno proizvodnjo vodika, in sicer v pristanišču Rotterdam na Nizozemskem ter v Kölnu in Hamburgu v Nemčiji. Od leta 2024 naprej nameravajo v uporabo predati polnilne postaje z vodikom za težka gospodarska vozila med zgoraj navedenimi lokacijami, Daimler Truck pa naj bi nato do leta 2025 kupcem izročil prve težke tovornjake s pogonom na vodikove gorivne celice. Namen načrta je konstantno širiti koridor, po katerem bodo vozila tovorna vozila na vodikov pogon. Ta bo do leta 2025 dolg 1.200 kilometrov, medtem ko bo v uporabo do leta 2030 predanih približno 150 postaj za oskrbo z vodikom in približno 5.000 težkih Mercedes-Benz tovornjakov s pogonom na gorivne celice [59].



Slika 16: Shell polnilnice na vodik [59]

Tako Daimler Truck kot Shell sta ustanovna člana ustanovljenega konzorcija H2Accelerate. Po njunem mnenju ima skupina ključno vlogo pri uvajanju in pospeševanju prehoda na vodikov pogon v Evropi. Daimler Truck in Shell ostajata v celoti zavezana sodelovanju s konzorcijem in si prizadevata tudi nadalje sodelovati s H2Accelerate, s čimer bi omogočila izpeljati načrte, ki so si jih zastavili [59].

EVROPSKA TOYOTA BO S PARTNERJEMA RAZVIJALA VODIKOVO MOBILNOST

Toyota Motor Europe je s podjetjema Air Liquide in CaetanoBus podpisala memorandum o sodelovanju pri razvoju in širjenju rešitev vodikove mobilnosti. Cilj partnerjev je tesnejše sodelovanje pri razvoju številnih projektov vodikove mobilnosti v več evropskih državah in ustvarjanju integriranih ekosistemov, ki temeljijo na oskrbi z vodikom [60].

Podjetja bodo skupaj razvijala celostno verigo vodikove mobilnosti, ki sega od proizvodnje obnovljivih ali nizkoogljičnih vodikov, infrastrukture za distribucijo in oskrbo z vodikom do uvajanja vodika kot energenta v različne segmente vozil. Kot so zapisali v podjetjih, se bodo posvetili predvsem avtobusom, lahkim gospodarskim vozilom in avtomobilom, v nadaljevanju pa želijo pospešiti uporabo vodika tudi v segmentu težkih tovornih vozil [60].

Obenem bodo partnerji prispevali k nastanku novih vodikovih ekosistemov po vsej Evropi, kar je glavni korak za spodbujanje povpraševanja in olajšanje dostopa do vodika tudi za druge mobilnostne rešitve. To vključuje infrastrukturo polnilnih postaj in integrirano ponudbo vozil (lizing in storitve) za taksi podjetja, upravljavce voznih parkov, lokalne oblasti in druge [60].

ŠPANIJA GRADI VELIKO TOVARNO VODIKA

Španija, ki si prizadeva prevzeti eno izmed vodilnih vlog glede vodika, je nedavno razkrila načrte za gradnjo elektrolizerja v vrednosti 485 milijonov evrov. Objekt s proizvodno zmogljivostjo 280

megavatov bosta skupaj gradila energetska podjetja Naturgy in upravljavec plinovodov Enagas. Zgradili ga bodo v kraju La Robla, kjer je Naturgy imel termoelektrarno, delovati pa bo začel leta 2026. Energijo za elektrolizo naj bi pridobili pretežno s solarnimi paneli, ki jih bodo namestili v sosednjih krajih, je poročal Reuters [61].

VODIKOVOD NIZOZEMSKA-NEMČIJA

Energetska velikana nemški RWE in norveški Equinor sta se v začetku leta 2023 dogovorila o izgradnji vodikovoda, po katerem bodo transportirali vodik z Norveške v Nemčijo. Poleg tega bosta razvijala vrsto projektov, s katerimi bosta pospešila uporabo vodika v Nemčiji in EU. RWE in Equinor bosta med drugim razvijala vodikove projekte na morju in investirala v trigigavatno plinsko elektrarno kombiniranega cikla, pripravljeno na uporabo vodika. Elektrarna bo narejena do leta 2030. Sprva bo uporabljala zemeljski plin, ki ga bo dobavljal Equinor, sredi prihodnjega desetletja pa bo delala samo na zeleni vodik. Partnerja pripravljata tudi projekt AquaSector, v okviru katerega nameravajo postaviti 300 megavatov vetrnih elektrarn na Severnem morju, elektrarne pa bodo povezali z elektrolizerji in proizvajali zeleni vodik [54].

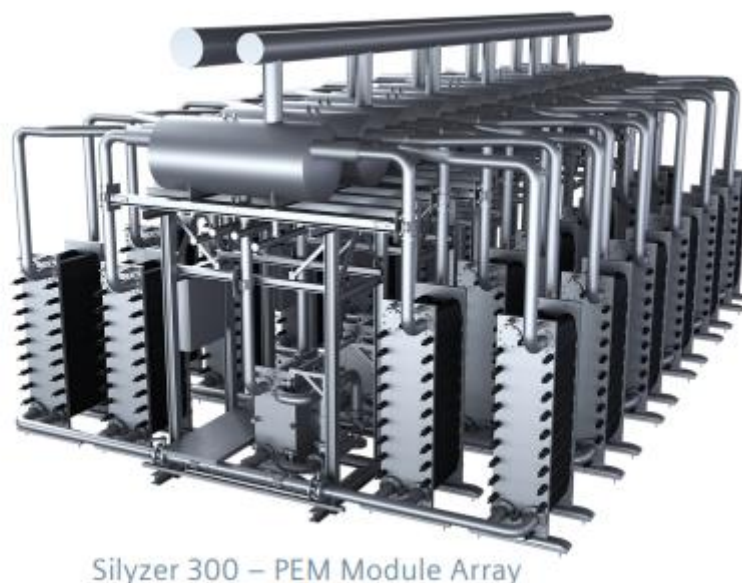
VODIKOVOD BARCELONA – MARSEILLE

Španci in Francozi tudi načrtujejo dolg vodikovod, pod morjem bodo povezali Barcelono in Marseille. Odločitev za projekt je pospešila energetska kriza, projekt pa bo omogočil Iberskemu polotoku, da postane glavno vodikovo vozlišče v Evropi. Polotok ima sonca in vetra v izobilju, uporabili pa ju bodo za proizvodnjo zelenega vodika po konkurenčnih cenah. Zmogljivost vodikovoda bo dva milijona ton na leto, dok[55].ončan bo do konec leta 2030. Projekt bo stal okoli 2,5 milijarde evrov [54].

SIEMENS IZPOLNjuje EVROPSKE SMERNICE ZA PROIZVODNJO ZELENEGA VODIKA

Največje inženirsko podjetje v Evropi [SIEMENS](#) je digitalno načrtovalo in zagnalo enega izmed največjih nemških obratov za proizvodnjo zelenega vodika. S tem so pokazali, da ima lahko vodik ključno vlogo v energetske prihodnosti Nemčije in Evropske unije. V energetske parku Wunsiedel je zdaj mogoče iz obnovljive sončne in vetrne energije letno proizvesti do 1.350 ton zelenega vodika. Vodik proizvaja elektrolizer s skupno zmogljivostjo 8,75 megavata iz najnovejše in najzmogljivejše linije izdelkov Siemens Energy. Zeleni vodik »Made in Bavaria« dokazuje domače tehnološko znanje in povečuje sprejemljivost z ustvarjanjem lokalne vrednosti. Vodik pa predstavlja energetske preobrat za celotno Evropo [62].

"[Silyzer 300](#)" temelji na tehnologiji membrane za izmenjavo protonov (PEM), ki je optimalna za delovanje z obnovljivimi viri energije. Vodik se bo uporabljal predvsem v industrijskih in trgovskih podjetjih v regiji, pa tudi v cestnem prometu. Količina vodika proizvedena v Wunsiedelu predstavlja dnevno porabo štiristotih 40-tonskih tovornjakov na vodikov pogon. Ob predpostavki, da vsak izmed njih opravi 150 kilometrov na dan razdalje vzdolž regionalnih cest. Ta tovorna vozila bi z zamenjavo fosilnih goriv z zelenim vodikom dosegla zmanjšanje izpustov ogljikovega dioksida za do 13.500 ton letno [62].



Slika 17: Vodikova tehnologija za pridobivanje vodika "Silyzer 300" podjetja Siemens Energy [63]

Severnoitalijansko mesto Bolzano ima 12 avtobusov na gorivne celice

Severnoitalijansko mesto Bolzano, ima največji vozni park avtobusov na gorivne celice v Italiji. Lokalno občinsko podjetje SASA ima v svojem voznom parku, ki obsega 400 večinoma dizelskih vozil, 12 avtobusov Solaris Urbino 12 na gorivne celice in 13 električnih avtobusov. Ti vozijo v Bolzanu in okolici ter v letoviškem mestu Merano v avtonomni regiji Južna Tirolska. Po raziskavi, ki jo je izvedla lokalna fundacija Bruno Kessler, je 60 % anketirancev izjavilo, da imajo raje avtobuse na vodikove gorivne celice in e-avtobuse kot dizelske avtobuse, predvsem zaradi tihega delovanja in gladke vožnje. Kar 65 % vprašanih je menilo, da se bo kakovost zraka v mestih zaradi vodikovih avtobusov izboljšala [64].

H2CARINTHIA - ZELENÍ VODIK SE UPORABI DVAKRAT!

Na avstrijskem Koroškem začne podjetje Infineon proizvajati zeleni vodik, ki se bo po uporabi v proizvodnji polprevodnikov uporabljal za pogon rednih javnih avtobusov. Najjužnejša avstrijska dežela ima tako v Evropi vodilno vlogo na področju pametnega krožnega gospodarstva.

Od decembra 2022 naj bi na avstrijskem Koroškem že začelo redno voziti prvih pet »zelenih« avtobusov na vodik. Namesto "sivega vodika" iz plina se avtobusi polnijo z regionalnim in trajnostno proizvedenim vodikom, ki je predhodno recikliran. Po industrijski uporabi v proizvodnji se vodik v popolnoma novem obratu očisti z inovativnim postopkom, predela in reciklira za pogon avtobusov. Projekt »H2Carinthia« prikazuje, kako nove tehnologije omogočajo trajnostno delovanje v industriji, prometu in energetiki ter skrbijo za zmanjševanje vpliva na podnebje. Avstrijska Koroška želi še okrepiti svoje dejavnosti na tem področju in postati vzorčna regija za vodik v industriji in mobilnosti [65].

5. LITERATURA

- [1] Novice Evropski parlament, (2021). Energija vodika: kakšne koristi ima lahko EU? . [Splet] Dostopno na: <https://www.europarl.europa.eu/news/sl/headlines/society/20210512STO04004/energija-vodika-kaksne-koristi-ima-lahko-eu> [25.2.2023]
- [2] Brošura, Ministrstvo za okolje in prostor. Vodik vodi v čisto energetske prihodnosti. [Splet pdf.] Dostopno na: https://www.gov.si/assets/ministrstva/MOP/Publikacije/03e02fbf22/vodik_vodi.pdf [25.2.2023]
- [3] Spletna stran Istrabenz plini, (2013). [Splet] Dostopno na: <https://www.istrabenzplini.si/sl/products.cp2?cid=04E4A625-7C9C-E099-249E-5C06AF792954&linkid=progase> [25.2.2023]
- [4] Združenje za plin in plinske tehnologije pri ZSIS, (2020). Energetska tranzicija z uvajanjem zelenega vodika in plinov obnovljivega izvora študija priložnosti za Slovensko plinsko industrijo, končno poročilo, Ljubljana, februar 2020. [Splet pdf] Dostopno na: <https://www.siplin.si/wp-content/uploads/2020/02/Studija-energetska-tranzicija.pdf> [25.2.2023]
- [5] Katedra za mehatroniko Laboratorij za regulacijsko tehniko in močnostno elektroniko, (2013). Proizvodnja in shranjevanje vodika [Splet pdf.] Dostopno na: http://lrmte.fe.uni-lj.si/lrmte/slo/mate_tehn/Vodik_proizv_sklad.pdf [25.2.2023]
- [6] Črežnar M.,(2021). Raziskovalna naloga. Analiza tehnologij pridobivanja vodika in njegove hrambe v polnilnici. [Splet pdf.] Dostopno na: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4202105896.pdf> [25.2.2023]
- [7] Spletna stran, (2023). [Splet] Dostopno na: <https://www.recupera.si/> [12.12.2023]
- [8] White Hydrogen Coin, (2023). Koalicija beli vodik. [Splet pdf.] Dostopno na: https://files.whiteh2coin.com/WhiteH2Coin_Whitepaper_SI.pdf [12.12.2023]
- [9] Šorn E., (2014). Raziskovalna naloga. Pridobivanje električne energije z gorivno celico. [Splet pdf.] Dostopno na: <https://www.knjiznica-celje.si/raziskovalne/4201403073.pdf> [25.2.2023]
- [10] Predavanja na youtube, (2014). Public Lecture—A Blueprint for New Fuel Cell Catalysts. [Splet] Dostopno na: <https://www.youtube.com/watch?v=Qv7Ccve5GVA> [25.2.2023]
- [11] Spletna stran, (2021). Zeleni vodik. [Splet] Dostopno na: <https://www.renovablesverdes.com/sl/zeleni-vodik/> [25.2.2023]
- [12] Spletna stran, (2023). Močna molekula vodika omogoča dolgoročno shranjevanje in neposredno uporabo. [Splet] Dostopno na: <https://www.rtvsl.si/okolje/zeleni-petek/mocna-molekula-vodika-omogoca-dolgorocno-shranjevanje-in-neposredno-uporabo/657276> [25.2.2023]
- [13] Spletna stran, (2022). Zeleni vodik kot žarek upanja. [Splet] Dostopno na: <https://www.alfa-laval.si/media/primeri-iz-prakse/trajnostni-razvoj/zeleni-vodik-kot-zarek-upanja/> [25.2.2023]

- [14] Strokovna Revija za razvoj, varnost delovanja in preizkušene novosti plinske tehnike, Peto leto (2021). Slovenski zeleni vodik in trajnostne tehnologije, 1. številka.
- [Splet pdf.] Dostopno na: https://www.siplin.si/revija-plin/5-1_revija_plin.pdf [25.2.2023]
- [15] Spletna stran Petrol. [Splet] Dostopno na: <https://www.petrol.si/poslovne-resitve/resitve/vodik> [25.2.2023]
- [16] Spletna stran, (2013-2023). Gorivne celice. [Splet] Dostopno na: <https://strojnik.si/blog-clanki/gorivne-celice/> [25.2.2023]
- [17] GOLEA, (2017). Gorivne celice. [Splet pdf.] Dostopno na: https://www.golea.si/wp-content/uploads/2017/02/Gorivne_celice.pdf [25.2.2023]
- [18] Revija EOL, (2021). Slovenija še nima nacionalne organizacije za vodik in gorivne celice – EOL 157. [Splet] Dostopno na: <https://www.zelenaslovenija.si/esg/slovenija-se-nima-nacionalne-organizacije-za-vodik-in-gorivne-celice-eol-157/> [25.2.2023]
- [19] Spletna stran, (2022). The Different Types of Fuel Cells. [Splet] Dostopno na: <https://techetch.com/blog/the-different-types-of-fuel-cells/> [25.2.2023]
- [20] Spletna stran volvo, (2021). Vodikove gorivne celice: odgovori na vsa vaša vprašanja. [Splet] Dostopno na: <https://www.volvotrucks.si/sl-si/Novice/insights/articles/2020/jun/hydrogen-fuel-cells-all-your-questions-answered.html> [25.2.2023]
- [21] Diplomski naloga. Vrste gorivnih celic. [Splet] Dostopno na: http://www.ee.fs.uni-lj.si/diploma1/stran_44.htm [25.2.2023]
- [22] Spletna stran woodcar, (2023). Gorivni element. Kako delujejo gorivne celice. [Splet] Dostopno na: <https://woodcar.ru/sl/beremennost-i-rody/toplivnyi-element-kak-rabotayut-toplivnye-elementy/> [25.2.2023]
- [23] <https://www.siplin.si/wp-content/uploads/2020/02/Studija-energetska-tranzicija.pdf> [25.2.2023]
- [24] Spletna stran, (2016). Kako delujejo vozila na vodik? [Splet] Dostopno na: <https://www.silux.si/avto-moto-novice/359/kako-delujejo-vozila-na-vodik> [25.2.2023]
- [25] Joaquim O. & Janežič M. Članek na spletni strani Avto Magazin. [Splet] Dostopno na: <https://avto-magazin.metropolitan.si/aktualno/kam-nas-vodi-vodik-so-gorivne-celice-dolgorocna-resitev-za-cisto-mobilnost/> [25.2.2023]
- [26] Evropska komisija, (2020). Strategija za trajnostno in pametno mobilnost – usmerjanje evropskega prometa na pravo pot za prihodnost, Bruselj, 9.12.2020. [Splet pdf] Dostopno na: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5e601657-3b06-11eb-b27b-01aa75ed71a1.0020.02/DOC_1&format=PDF [25.2.2023]
- [27] Spletna stran Siol, (2022). [Splet] Dostopno na: <https://siol.net/avtomoto/novice/celo-hrvati-ima-jo-slovenija-se-brez-strategije-vodika-vse-nujnejša-595192> [25.2.2023]

- [28] Spletna stran, (2022). [Splet] Dostopno na: <https://www.zurnal24.si/avto/kombinirana/jankovic-ljubljana-z-vodikovimi-avtobusi-in-lastnim-vodikom-393644> [25.2.2023]
- [29] Spletna stran, (2023). [Splet] Dostopno na: <https://h2.live/> [25.2.2023]
- [30] Evropska komisija, (2020). Strategija za vodik za podnebno nevtrarno Evropo, Bruselj, 8.7.2020. [Splet] Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301> [25.2.2023]
- [31] Evropska komisija, (2020). Gonilo za podnebno nevtrarno gospodarstvo: strategija EU za povezovanje energetskega Sistema, Bruselj, 8.7.2020. [Splet] Dostopno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0299&from=EN> [25.2.2023]
- [32] Članek na spletni strani h2greentech, (2021). Strategija za vodik za podnebno nevtrarno Evropo. [Splet] Dostopno na: <https://www.h2greentech.eu/sl/strategija-za-vodik-za-podnebno-nevtrarno-evropo> [25.2.2023]
- [33] Kumer P., Likozar B., Marinič D., Props P., Šegedin U., Žunič V., Schönfeldinger M., Wolf S. (eds), (2022): Akcijski načrt za spodbujanje vodikovih tehnologij v Sloveniji in Avstriji. Ljubljana: Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport. [Splet pdf.] Dostopno na: <https://drive.google.com/file/d/1L3-l-AGISVpe3fjZPhwXlrnMsjVFs9ci/view> [25.2.2023]
- [34] Evropska komisija, (2022). Načrt REPowerEU, Bruselj, 18.5.2022. [Splet pdf.] Dostopno na: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:fc930f14-d7ae-11ec-a95f-01aa75ed71a1.0011.02/DOC_1&format=PDF [25.2.2023]
- [35] Spletna stran Svet Evropske unije, (2022). „Pripravljeni na 55“ . [Splet] Dostopno na: <https://www.consilium.europa.eu/sl/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/> [25.2.2023]
- [36] Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo, (2022). Novica. Stališče o evropski uredbi in direktivi glede notranjega trga obnovljivih virov, zemeljskega plina in vodika ter direktivi o energijski učinkovitosti stavb, 3.3.2022. [Splet] <https://www.energetika-portal.si/nc/novica/n/stalisce-o-evropski-uredbi-in-direktivi-glede-notranjega-trga-obnovljivih-virov-zemeljskega-plina-in-vodika-ter-direktivi-o-energijski-ucinkovitosti-stavb/> [27.2.2023]
- [37] Evropska komisija, (2021). Predlog UREDBA EVROPSKEGA PARLAMENTA IN SVETA o vzpostavitvi infrastrukture za alternativna goriva ter razveljavitvi Direktive 2014/94/EU Evropskega parlamenta in Sveta, Bruselj, 14.7.2021. [Splet] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52021PC0559> [27.2.2023]
- [38] Zakon o infrastrukturi za alternativna goriva in spodbujanju prehoda na alternativna goriva v prometu (Uradni list RS, št. 62/23). [Splet] <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=ZAKO8771> [12.12.2023]
- [39] Vlada Republike Slovenije, (2021). AKCIJSKI PROGRAM ZA ALTERNATIVNA GORIVA V PROMETU ZA LETI 2022 IN 2023, Ljubljana, 23. 12. 2021. [Splet pdf.] https://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/alternativna_goriva/an_alt_gor_2022-23.pdf [27.2.2023]

- [40] Evropska unija, (2021). Skupno podjetje za čisti vodik. [Splet] https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/institutions-and-bodies-profiles/clean-hydrogen-joint-undertaking_sl [27.2.2023]
- [41] Članek na spletni strani TECES, (2021). TECES postal član European Clean Hydrogen Alliance, 28.05.2021. [Splet] <https://www.teces.si/sl/objave/teces-postal-clan-european-clean-hydrogen-alliance.html> [27.2.2023]
- [42] Članek na spletni strani nas-stik.si, (2022). Zasedanje evropskega zavezništva za čisti vodik, 17. 6.2022. [Splet] <https://www.nas-stik.si/novice/podrobnosti-novice/zasedanje-evropskega-zaveznistva-za-cisti-vodik> [27.2.2023]
- [43] Spletna stran MI, (2015-2023). [Splet] <http://mission-innovation.net/> [27.2.2023]
- [44] Članek na spletni strani dnevnik, (2023). Za projekt Severnojadranske vodikove doline 25 milijonov evrov, 1. 2.2023. [Splet] <https://www.dnevnik.si/1043006133> [27.2.2023]
- [45] Evropska komisija, (2022). Platforma Hydrogen valleys. [Splet] <https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/hydrogen-valleys> [27.2.2023]
- [46] [Splet] <https://h2v.eu/> [27.2.2023]
- [47] Obvestilo na spletni strani Plinovodi, (2021). Iniciativa EHB objavila novo različico vizije razvoja evropske vodikovodne hrbtenice, 13.04.2021. [Splet] <https://www.plinovodi.si/sl/drugo/obvestila/iniciativa-ehb-objavila-novo-razli%C4%8Dico-vizije-razvoja-evropske-vodikovodne-hrbtenice/> [27.2.2023]
- [48] Evropski ekonomsko-socialni odbor, (2023). EU Hydrogen bank. [Splet] <https://www.eesc.europa.eu/sl/our-work/opinions-information-reports/opinions/eu-hydrogen-bank> [27.2.2023]
- [49] Objava na spletni strani volkswagen, (2022). Volkswagen podpira Svetovno združenje proizvajalcev baterij [Splet] <https://www.volkswagen.si/elektricna-mobilnost/trajnost/pridobivanje-virov-za-elektricno-mobilnost/battery-alliance/> [27.2.2023]
- [50] Članek na spletni strani delo, (2021). Podjetja lahko pristopijo k Evropskemu zavezništvu za baterije, 12.04.2021. [Splet] <https://www.delo.si/dpc-mobilnost/podjetja-lahko-pristopijo-k-evropskemu-zaveznistvu-za-baterije/> [27.2.2023]
- [51] Evropska komisija, 2020. Strategija za vodik za podnebno nevtralno Evropo, Bruselj, 8.7.2020. [Splet] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52020DC0301> [28.2.2023]
- [52] Sistem gorivnih celic kot pomožni vir energije za zagotavljanje avtonomnosti vojaških vozil, (2020). [Splet] <https://lte.fs.uni-lj.si/sl/Vodikove-tehnologije/sistem-gorivnih-celic-kot-pomozni-vir-energije-za-zagotavljanje-avtonomnosti-vojaskih-vozil/> [28.2.2023]
- [53] Zakaj v Evropi organizirajo vodikove doline in kako nastaja na severu Jadrana? [Splet] <https://trajnostno.si/zakaj-v-evropi-organizirajo-vodikove-doline-in-kako-nastaja-na-severu-jadrana/> [28.2.2023]

- [54] Članek na spletni strani finance, (2023). 2023, leto, ko se začne globalna vodikova tekma, 06.01.2023. [Splet] <https://oe.finance.si/9007480/2023-leto-ko-se-zacenja-globalna-vodikova-tekma> [28.2.2023]
- [55] Članek na spletni strani delo, (2021). Slovenija je dobila prvo polnilnico čistega vodika, 02.12.2021. [Splet] <https://www.delo.si/novice/okolje/slovenija-je-dobila-prvo-polnilnico-cistega-vodika/> [28.2.2023]
- [56] Članek na spletni strani siol.net, (2020). Novo Pipistrellovo letalo na vodik uspešno poletelo, 12. 12. 2020. [Splet] <https://siol.net/novice/slovenija/novo-pipistrellovo-letalo-na-vodik-uspesno-poletelo-541183> [28.2.2023]
- [57] Novice na spletni strani MOL, (2022). V Ljubljani testno vozi avtobus na vodik, 22. 9. 2022. [Splet] <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/promet-in-mobilnost/evropski-teden-mobilnosti/novice-etm-2022/v-ljubljani-testno-vozi-avtobus-na-vodik/> [28.2.2023]
- [58] Članek na spletni strani finace.si, (2022). Šaleške fotovoltaike za proizvodnjo tri tisoč ton vodika, 17.10.2022. [Splet] <https://oe.finance.si/9004986/Saleske-fotovoltaike-za-proizvodnjo-tri-tisoc-ton-vodika> [28.2.2023]
- [59] Novice na spletni strani Entransport.si, (2021). Pospešena gradnja omrežja za oskrbo z vodikom, 10.8.2021. [Splet] <https://www.etransport.si/novice/pospesena-gradnja-omrezja-za-oskrbo-z-vodikom> [28.2.2023]
- [60] Članek na spletni strani finance.si, (2022). Evropska Toyota bo s partnerjema razvijala vodikovo mobilnost, 17.5.2022. [Splet] <https://pmm.finance.si/9000085/Evropska-Toyota-bo-s-partnerjema-razvijala-vodikovo-mobilnost> [28.2.2023]
- [61] Članek na spletni strani RTVSLO.si, (2023). "Močna molekula vodika omogoča dolgoročno shranjevanje in neposredno uporabo.", 17.2.2023. [Splet] <https://www.rtvsl.si/okolje/zeleni-petek/mocna-molekula-vodika-omogoca-dolgorocno-shranjevanje-in-neposredno-uporabo/657276> [28.2.2023]
- [62] Novica na spletni strani, (2023). Siemens izpolnjuje evropske smernice za proizvodnjo zelenega vodika, 6.1.2023. [Splet] <https://www.irt3000.si/novice/2023010513550232/siemens-izpolnjuje-evropske-smernice-za-proizvodnjo-zelenega-vodika/> [28.2.2023]
- [63] Siemens Energy. Brošura, Silyzer 300. [Splet pdf.] <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:a193b68f-7ab4-4536-abe2-c23e01d0b526/datasheet-silyzer300.pdf> [28.2.2023]
- [64] Novica na spletni strani, (2023). Bolzano hails fuel-cell buses – Wiesbaden withdraws them , 18.1.2023. [Splet] <https://www.keybuses.com/article/bolzano-hails-fuel-cell-buses-wiesbaden-withdraws-them> [28.2.2023]
- [65] Novica na spletni strani, (2022). H2Carinthia - zeleni vodik se uporabi dvakrat!, 8.11.2022. [Splet] <https://www.irt3000.si/novice/2022110813052831/h2carinthia-zeleni-vodik-se-uporabi-dvakrat> [28.2.2023]