



Studija plana razvoja i primjene Hrvatske strategije za vodik do 2050. godine

Lipanj 2024.

EKONERG – institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o.
Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Hinicio S.A.
Odvjetničko društvo Tilošanec & partneri j.t.d.
Prof. emeritus dr.sc. Frano Barbir

Naslov: Studija plana razvoja i primjene Hrvatske strategije za vodik do 2050. godine

Naručitelj: Agencija za ugljikovodike

Verzija: Završna

Datum: Lipanj 2024.

Autori:

- Matthias Altmann (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik)
- Manuel Bax (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik)
- Hubert Landinger (Ludwig-Bölkow-Systemtechnik)
- dr. sc. Vladimir Jelavić (Ekonerg)
- Goran Vuleta (Ekonerg)
- Darko Hecer (Ekonerg)
- Ksenija Polančec (Ekonerg)
- dr. sc. Tihomir Tomić (Ekonerg)
- dr. sc. Vedrana Markučić (Ekonerg)
- Jelena Brlić (Ekonerg)
- Valentina Delija Ružić (Ekonerg)
- Ivan Tilošanec (Odvjetničko društvo Tilošanec & partneri)
- Prof. emeritus dr.sc. Frano Barbir
- Thomas Winkel (Hinicio)

Odricanje od odgovornosti

Konzorcij koji čine EKONERG – institut za energetiku i zaštitu okoliša d.o.o., Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Hinicio SA, Odvjetničko društvo Tilošanec & partneri j.t.d. te prof. emeritus dr.sc. Frano Barbir izradili su ovaj izvještaj.

Stavovi i zaključci izraženi u ovom dokumentu su stavovi osoblja članova konzorcija. Niti članovi konzorcija, niti bilo koji od njihovih zaposlenika, izvođača ili podizvođača ne daju nikakva jamstva, izričita ili prešutna, niti preuzimaju bilo kakvu pravnu odgovornost ili odgovornost za točnost, potpunost ili korisnost bilo koje informacije, proizvoda ili procesa u prilogu.

Sadržaj

Popis kratica	6
1. UVOD.....	7
1.1. Podloga: Hrvatska strategija za vodik.....	7
1.2. Strateški položaj i ciljevi Studije.....	8
2. ULOGA VODIKA U POSTIZANJU KLIMATSKIH CILJEVA.....	10
2.1. Zakonodavni okvir Europske unije	10
2.2. Vrijednosni lanac vodika i njegova uloga u postizanju klimatskih ciljeva	12
3. PERSPEKTIVE ZA VODIK U REPUBLICI HRVATSKOJ.....	15
3.1. Regionalna podjela Republike Hrvatske.....	15
3.2. Proizvodnja i korištenje vodika u Republici Hrvatskoj danas	17
3.3. Ciljevi za Republiku Hrvatsku	17
3.4. Potencijal proizvodnje vodika u Republici Hrvatskoj.....	21
3.5. Potencijal korištenja vodika u Republici Hrvatskoj.....	29
3.6. Mogućnost korištenja postojećom infrastrukturom i potreba za proširenjem.....	47
3.7. Plan razvoja budućih punionica vodika	49
3.8. Vodikova čvorista	50
3.9. Infrastruktura za uvoz vodika.....	52
4. STANJE VODIKOVIH PROJEKATA U HRVATSKOJ.....	54
4.1. Trenutno stanje vodikovih projekata u Republici Hrvatskoj.....	54
4.2. Pilot projekti od nacionalne važnosti za Republiku Hrvatsku	55
4.3. Mehanizmi finansijske pomoći.....	60
5. INSTITUCIONALNI I REGULATORNI OKVIR REPUBLIKE HRVATSKE	62
5.1. Smjernice za regulatorni okvir.....	62
5.2. Identifikacija područja za projekte OIE.....	65
5.3. Uloga istraživačkih centara i oblici suradnje sa znanstvenom zajednicom	65
5.4. Definiranje uloge Agencije za ugljikovodike.....	66
6. PRIORITETNE AKTIVNOSTI DO 2030. GODINE.....	69
7. ZAKLJUČAK.....	70
8. POPIS LITERATURE.....	73

Popis tablica

Tab. 1: Zakonodavni okvir EU-a vezan za vodik.....	11
Tab. 2: Odabir instrumenata EU financiranja vezano za vodik.....	11
Tab. 3: Razina tehnološke spremnosti različitih primjena vodika.....	14
Tab. 4: Stvarna proizvodnja i potrošnja vodika u Republici Hrvatskoj u 2021. godini (na temelju komunikacije s proizvođačima).....	17
Tab. 5: Europski propisi koji utječu na korištenje RFNBO-a u različitim sektorima	18
Tab. 6: Regionalni ciljevi i strategije za uspostavu vodikove ekonomije u Hrvatskoj.....	20
Tab. 7: Tehnički potencijal obnovljivih izvora energije Republike Hrvatske	23
Tab. 8: Potrebni kapacitet OIE, elektrolizatora i vode	23
Tab. 9: Potencijal proizvodnje obnovljivog vodika iz otpadnog mulja.....	26
Tab. 10: OIE u prometu – današnji udio i ciljevi za 2030. godinu	32
Tab. 11: Struktura prometnog sektora u Republici Hrvatskoj (2016.-2022.)	35
Tab. 12: Udio i potrošnja obnovljivog vodika u cestovnom prometu – Osnovni scenarij Studije.....	35
Tab. 13: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u željezničkom prometu prema Osnovnom scenariju Studije	37
Tab. 14: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u pomorskom prometu prema Osnovnom scenariju Studije i ciljanom udjelu u 2030. godini	37
Tab. 15: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u zrakoplovstvu prema Osnovnom scenariju Studije.....	38
Tab. 16: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u prometu prema Osnovnom scenariju Studije.....	38
Tab. 17: Usporedba Osnovnog scenarija i Scenarija visoke potrošnje uporabe vodika u prometu.....	39
Tab. 18: Izračun cilja (indikativan) za obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla u industriji do 2030. i 2035. godine	41
Tab. 19: Projekcija uporabe obnovljivog vodika u industriji.....	42
Tab. 20: Smanjivanje CO ₂ emisija u industriji uporabom vodika	42
Tab. 21: Očekivana godišnja potrošnja vodika po regiji i sektoru	45
Tab. 22: Ukupno očekivana godišnja potrošnja vodika po regijama.....	46
Tab. 23: Ukupno očekivana godišnja potrošnja vodika po sektoru	46
Tab. 24: Različiti scenariji za miješanje plinova i opskrbu dekarboniziranim plinom	48
Tab. 25: Karakteristike izazova uporabe vodika u različitim sektorima krajnjih korisnika	55
Tab. 26: Hrvatski regulatorni okvir vezan za vodik	62

Popis slika

Sl. 1: Prikaz vrijednosnog lanca vodika	13
Sl. 2: Hrvatske NUTS-2 regije	16
Sl. 3: Očekivana proizvodnja vodika u Republici Hrvatskoj 2030. i 2050. godine	21
Sl. 4: Očekivani proizvodni kapacitet električne energije iz obnovljivih izvora u Republici Hrvatskoj 2030., 2040. i 2050. (NECP i rezultati Studije dodani za potrebe prikaza omjera).....	24
Sl. 5: Tehnologije dekarbonizacije za sektor prometa (plavom bojom su označene tehnologije temeljene na vodiku).31	
Sl. 6: Trend emisija stakleničkih plinova od 1990. do 2021. godine.....	33
Sl. 7: Udio pojedinih vrsta prometa u emisijama stakleničkih plinova Republike Hrvatske u 2021. godini izražen u %..33	
Sl. 8: Očekivan broj vozila s gorivnim člancima prema Osnovnom scenaruju Studije	35
Sl. 9: Dionice željezničke mreže pogodne za vlakove na vodik, označeno plavom bojom.....	36
Sl. 10: Očekivana potrošnja vodika u industriji po sektorima	43
Sl. 11: Očekivana potrošnja vodika za 2030., 2040., i 2050. godinu za hrvatske regije u različitim sektorima.....	45
Sl. 12: Očekivan regionalan rast uporabe vodika u Republici Hrvatskoj.....	46
Sl. 13: Očekivana potrošnja vodika u 2030., 2040., i 2050. godini.....	47
Sl. 14: Potencijalne lokacije punionica vodika u Republici Hrvatskoj	49
Sl. 15: Potencijalna energetska čvorišta vodika u Republici Hrvatskoj	51
Sl. 16: Geostrateška pozicija Riječkog zaljeva (© OpenStreetMap).....	52
Sl. 17: Zrelost vodikovih projekata u Republici Hrvatskoj.....	54
Sl. 18: Prosječni trošak vodika po elementima njegova vrijednosnog lanca	57
Sl. 19: Potencijalan vremenski plan za pilot projekt vodika u sektoru prometa	58
Sl. 20: Primjer samoodrživog lanca opskrbe vodikom za pilot projekte u prometnom sektoru.....	59
Sl. 21: Nove uloge AZU i neke specifične zadaće unutar postojećih nadležnosti za doprinos provedbi energetske i klimatske politike	67

POPIS KRATICA

KRATICA	OPIS
AEL	Alkalni elektrolizator
AFIR	Uredba o infrastrukturi za alternativna goriva
BEV	Vozilo s električnim baterijama
CCU / CCS	Hvatanje i korištenje/sklađenje ugljika
CEF	Instrument za povezivanje Europe
AZU	Agencija za ugljikovodike
EHB	Europska vodikova okosnica
ETS	Sustav trgovanja emisijama
FCEV	Vozila na vodik s gorivnim ćelijama
GHG	Staklenički plin
HRS	Punionica vodika
ICE	Motor s unutarnjim izgaranjem
IPCEI	Važni projekti od zajedničkog europskog interesa
LNG	Ukapljeni prirodni plin
NECP	Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan
MG	Ministarstvo gospodarstva
NPCC	Operativni program konkurentnosti i kohezije
NPOO (NRRP)	Nacionalni plan oporavka i otpornosti
NUTS	Nomenklatura teritorijalnih jedinica za statistiku
NN	Narodne novine
PEM	Membrana za izmjenu protona (elektrolizator)
RED	Direktiva o obnovljivoj energiji
RFNBO	Obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla
SMR	Parno reformiranje metana
SOE	Visokotemperaturni elektrolizator s krutim oksidom
TEN-T	Transeuropska prometna mreža
TRL	Razina tehnološke spremnosti

1. UVOD

1.1. Podloga: Hrvatska strategija za vodik

Europska "Strategija za vodik za klimatski neutralnu Europu", usvojena u srpnju 2020., naglašava važnost povećanja primjene obnovljivog vodika kao ključnog za sveobuhvatnu dekarbonizaciju gospodarstva, posebno unutar energetskog sektora, kako bi se ispunili **ciljevi klimatske neutralnosti** do 2050. godine. Iako korištenje obnovljivog vodika još nije široko rasprostranjeno u Europskoj uniji i vodik se uglavnom proizvodi iz prirodnog plina (što rezultira emisijom CO₂), niži troškovi obnovljive električne energije, tehnološki napredak i hitna potreba za značajnim smanjenjem emisija stakleničkih plinova (GHG) nove su mogućnosti za povećano korištenje vodika.

Usklađujući se s vodikovom politikom EU-a, Republika Hrvatska je 2022. godine usvojila **Hrvatsku strategiju za vodik do 2050. godine**¹, u kojoj je definiran **nacionalni okvir za proizvodnju i korištenje vodika**, s fokusom na obnovljivi i niskougljični vodik kao alternativu fosilnim gorivima. Ova Strategija naglašava ulogu vodika i gospodarstva temeljenog na vodiku kao ključnih za **prijelaz na zelenu energiju i** ispunjavanje ciljeva čiste energije i smanjenja emisija stakleničkih plinova. Vodik se smatra ključnim za dekarbonizaciju nacionalnog gospodarstva, posebice u sektorima gdje elektrifikacija nije ekonomski isplativa ili je ograničena primjena alternativnih tehnologija.

Direktiva o obnovljivoj energiji (RED)², uključujući nedavne izmjene i dopune, postavlja ambiciozne ciljeve za sektor prometa i industrijski sektor u vezi s korištenjem obnovljivog vodika, uvodeći kategoriju 'obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla' (RFNBO). RFNBO obuhvaća tekuća (plinovita i kapljevita) goriva dobivena iz obnovljivih izvora osim biomase, posebno ističući vodik proizведен elektrolizom vode korištenjem obnovljivom električnom energijom i sintetička tekuća goriva proizvedena iz takvog vodika.

Hrvatska Strategija za vodik za 2050. godinu posebno se koncentrira na proizvodnju vodika i srodnih sintetičkih goriva kako je definirano RED-om. Cilj Razvojnog plana Strategije osmišljen u ovoj Studiji je strateško pozicioniranje Republike Hrvatske iskorištavanjem njezinih prednosti u primjeni vrijednosnog lanca vodika, koji obuhvaća proizvodnju, skladištenje, transport, distribuciju i korištenje vodika, kao i povezanih tehnologija. Studija također definira ulogu i modele suradnje ključnih dionika, državnih tijela, institucija, istraživačkih subjekata, strukovnih udruga, nevladinih organizacija, finansijskih institucija, javnih gospodarskih subjekata i promotora vodikovih projekata, uspostavljajući jasne smjernice i vremenski okvir za provedbu. Na temelju trenutnog statusa vodikovih projekata u Republici Hrvatskoj te **institucionalnog i regulatornog okvira**, predlažu se prioritetne aktivnosti do 2030. godine u obliku pilot projekata.

¹ (Hrvatska strategija za vodik do 2050. godine, 2022)

² (Direktiva (EU) 2023/2413 Europskog parlamenta i Vijeća, 2023)

1.2. Strateški položaj i ciljevi Studije

U ovoj „**Studiji plana razvoja i primjene Hrvatske strategije za vodik do 2050. godine**“, u dalnjem tekstu Studija, prikazan je plan integracije vodika u energetski sustav Republike Hrvatske. Hrvatska strategija za vodik, u dalnjem tekstu Strategija, u skladu s ciljevima klimatske neutralnosti Europske unije, već ističe ključnu ulogu **obnovljivog vodika u tranziciji zelene energije**. Iskorištavanjem svog jedinstvenog zemljopisnog položaja i postojeće infrastrukture, Republika Hrvatska ima za cilj uspostaviti snažnu **vodikovu ekonomiju** koja će značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova (GHG), poboljšati energetsku sigurnost i potaknuti gospodarski rast. Što se tiče razvoja scenarija, glavni popratni dokumenti su:

- Strategija za vodik za klimatski neutralnu Europu (Komunikacija Komisije: Strategija za vodik za klimatski neutralnu Europu, 2020)
- Hrvatska strategija za vodik do 2050. godine
- Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan Republike Hrvatske za razdoblje od 2021. – 2030. godine (uključujući reviziju od lipnja, 2023. godine)
- Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu
- Scenarij za postizanje klimatske neutralnosti u Republici Hrvatskoj do 2050. godine
- Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu
- Strategija prometnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje od 2017. do 2030. godine
- Nacionalni plan oporavka i otpornosti 2021. – 2026.
- Direktiva o obnovljivoj energiji i vezana regulativa (Direktiva (EU) 2023/2413 Europskog parlamenta i Vijeća, 2023)
- Glavni strateški dokumenti u ostalim relevantnim sektorima

Strategija utvrđuje nekoliko ključnih aktivnosti i projekata koji su bitni za postizanje ovih ciljeva. Fokus je na **povećanju proizvodnje obnovljivog vodika** korištenjem izvorima solarne energije, vjetra i hidroelektrana. Strateške lokacije, posebice u sjevernoj Hrvatskoj i duž jadranske obale, razvijat će se kako bi se iskoristili postojeći industrijski kapaciteti i bogati obnovljivi izvori energije.

Razvoj infrastrukture još je jedan izazovan cilj, koji uključuje prilagodbu i proširenje postojeće infrastrukture prirodnog plina za **skladištenje i distribuciju vodika** kako bi se osigurao nesmetan prijelaz na vodik. Osim toga, razvit će se sveobuhvatna **mreža punionica vodika** (HRS) na glavnim prometnim koridorima i urbanim područjima, kao što su Zagreb, Rijeka i Split. Ova će infrastruktura podržati razvoj **javnog prijevoza na vodikov pogon (autobusi i vlakovi) i privatnih vozila**, posebice vozila srednje i velike nosivosti. Potencijal za korištenje vodika u hrvatskom pomorskom sektoru, uključujući trajekte, male brodove i čamce, jedinstvena je prilika za dekarbonizaciju sektora komercijalnog brodarstva i unapređenje zelenog turizma. Vodik u zrakoplovstvu ima dugoročniju perspektivu.

Pilot projekti igraju značajnu ulogu u demonstriranju izvedivosti i prednosti vodika. Važne su inicijative **primjene autobusa na vodikove gorivne ćelije u hrvatskim gradovima**, upotpunjene potrebnom infrastrukturom za punjenje vodikom kao samoodrživi (pilot) projekti.

Uspostava **odgovarajućeg regulatornog okvira** ključna je za uspješno prihvaćanje vodika. To uključuje **usklađivanje nacionalnih politika s propisima i direktivama EU te pružanje financijskih poticaja za**

ulaganje u vodikove projekte. Usporedno s tim, **promicanje istraživanja i razvoja** (R&D) u vodikovih tehnologija bit će ključno. Napori će se usredotočiti na poboljšanje učinkovitosti, smanjenje troškova i razvoj novih aplikacija kroz suradnju s akademskim institucijama i dionicima u industriji.

Javna svijest i obrazovanje također su ključne komponente Strategije. Provest će se obrazovne kampanje za podizanje svijesti o prednostima i sigurnosti vodikovog goriva, usmjerene kako na opću javnost tako i na specifične industrijske sektore. Gradeći sveobuhvatno razumijevanje i prihvaćanje vodikovih tehnologija, Republika Hrvatska ima cilj stvoriti poticajnu okolinu za razvoj vodikove ekonomije.

2. ULOGA VODIKA U POSTIZANJU KLIMATSKIH CILJEVA

Poglavlje prikazuje kako zakonodavni okvir Europske unije potiče održivu energiju, s fokusom na vodik. Inicijative kao što su "Europski zeleni plan" i "Europska strategija za vodik" oblikuju politike za promicanje usvajanja obnovljivog vodika i razvoja infrastrukture. Nadalje, poglavlje istražuje vrijednosni lanac vodika, od proizvodnje do primjene, s fokusom na njegovu ulogu u dekarbonizaciji. Naglašava načine proizvodnje obnovljivog vodika, poput elektrolize, i bavi se ključnom infrastrukturom potrebnom za transport i skladištenje vodika.

2.1. Zakonodavni okvir Europske unije

Europska komisija predstavila je 2019. godine „Europski zeleni plan“ (EU Komisija, 2024.) – plan za održivost gospodarstva EU-a pretvaranjem klimatskih i ekoloških izazova u prilike u svim područjima politike i osiguravanjem pravedne i uključive tranzicije za sve.

Europska strategija za vodik je 2020. godine definirala ulogu vodika u postizanju klimatske neutralnosti do 2050. godine. Plan REPowerEU za 2022. godinu ubrzao je primjenu vodika postavljanjem cilja domaće proizvodnje od 10 milijuna tona vodika godišnje do 2030. godine, uvozom dodatnih 10 milijuna tona godišnje, te distribuciju navedenih količina diljem Europe.

Vodik je prepoznat kao važan čimbenik u postizanju ambicioznih europskih ciljeva vezano za smanjenje emisija CO₂ i postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine sukladno Pariškom sporazumu. Vodik se može koristiti kao sirovina, gorivo, nositelj energije i medij za skladištenje energije. Nadalje, vodik ima široke mogućnosti primjene u sektorima industrije, transporta, energetike i građevinarstva. Također, upotreba vodika ne uzrokuje emisije CO₂ i doprinosi njihovom smanjenju. Stoga nudi rješenje za dekarbonizaciju industrijskih procesa i drugih sektora u kojima je teško postići ubrzano smanjenje emisija stakleničkih plinova.

Paket „Spremni za 55“, predstavljen u srpnju 2021. godine i potom usvojen, donosi nekoliko zakonskih prijedloga koji, među ostalim, prevode Europsku strategiju za vodik u konkretan okvir europske politike vodika. To uključuje postavljanje obvezujućih ciljeva za obnovljivi vodik u industriji i prometu do 2030. godine. Nadalje, paket mjera za tržište plina i vodika sadrži prijedloge za podršku stvaranju optimalne i namjenske infrastrukture za vodik i učinkovito tržište vodika. Također, zakonodavstvo EU-a definira dodatne zahtjeve, koji se odnose na čista vozila, npr. poticanje tržišnog pozicioniranja vozila na vodik (Direktiva o čistim vozilima), implementaciju infrastrukture za alternativna goriva, kao što je postavljanje punionica vodika (AFIR), itd.

Zakonodavni okvir EU-a stoga pokriva glavne elemente vrijednosnog lanca vodika. Direktiva o obnovljivoj energiji (RED) kao središnji dio definira obnovljiva goriva nebiološkog podrijetla (RFNBO), tj. vodik proizveden iz obnovljive električne energije nebiološkog podrijetla i derivate sintetizirane iz takvog vodika te postavlja ciljeve za njegovu upotrebu u prometu i industriji. Ovo je dopunjeno ovim zakonodavnim okvirom:

Tab. 1: Zakonodavni okvir EU-a vezan za vodik

Element vrijednosnog lanca	Sektori	Zakonodavstvo
Proizvodnja vodika	Svi sektori	Direktiva o obnovljivoj energiji (RED) i povezani delegirani zakoni
Upotreba vodika	Kao gorivo u prometu, industriji i drugim sektorima	Direktiva o obnovljivoj energiji (RED), ReFuelEU zrakoplovstvo, FuelEU pomorski promet, sustav trgovanja emisijama (ETS)
Infrastruktura za punjenje vodikom	Promet	Uredba o infrastrukturi za alternativna goriva (AFIR)
Vozila na vodik	Promet	Direktiva o čistim vozilima, standardi emisije CO ₂ za automobile, kombije i teška vozila
Infrastruktura za transport i distribuciju vodika	Svi sektori	Direktiva i Uredba o zajedničkim pravilima za tržiste plina iz OIE, prirodnog plina i vodika

Mogućnosti i mehanizmi financiranja na razini EU, uključuju ove odabране instrumente:

Tab. 2: Odabir instrumenata EU financiranja vezano za vodik

Instrument	Sektori	Financiranje
Instrument za povezivanje Europe (CEF)	Promet	Infrastruktura za punjenje vodikom
Instrument za povezivanje Europe (CEF)	Energetika: Projekti od zajedničkog interesa, Projekti od obostranog interesa	Proizvodnja vodika elektrolizom, cjevovodi za transport vodika
Instrument za oporavak i otpornost*	Promet	Infrastruktura za punjenje vodikom
Europska banka vodika	Svi sektori	Proizvodnja vodika u EU
Važni projekti od zajedničkog europskog interesa (IPCEI)	Industrija, promet	Fokus na krajnjim korisnicima

* Privremeni instrument temeljen na Nacionalnim planovima oporavka i otpornosti

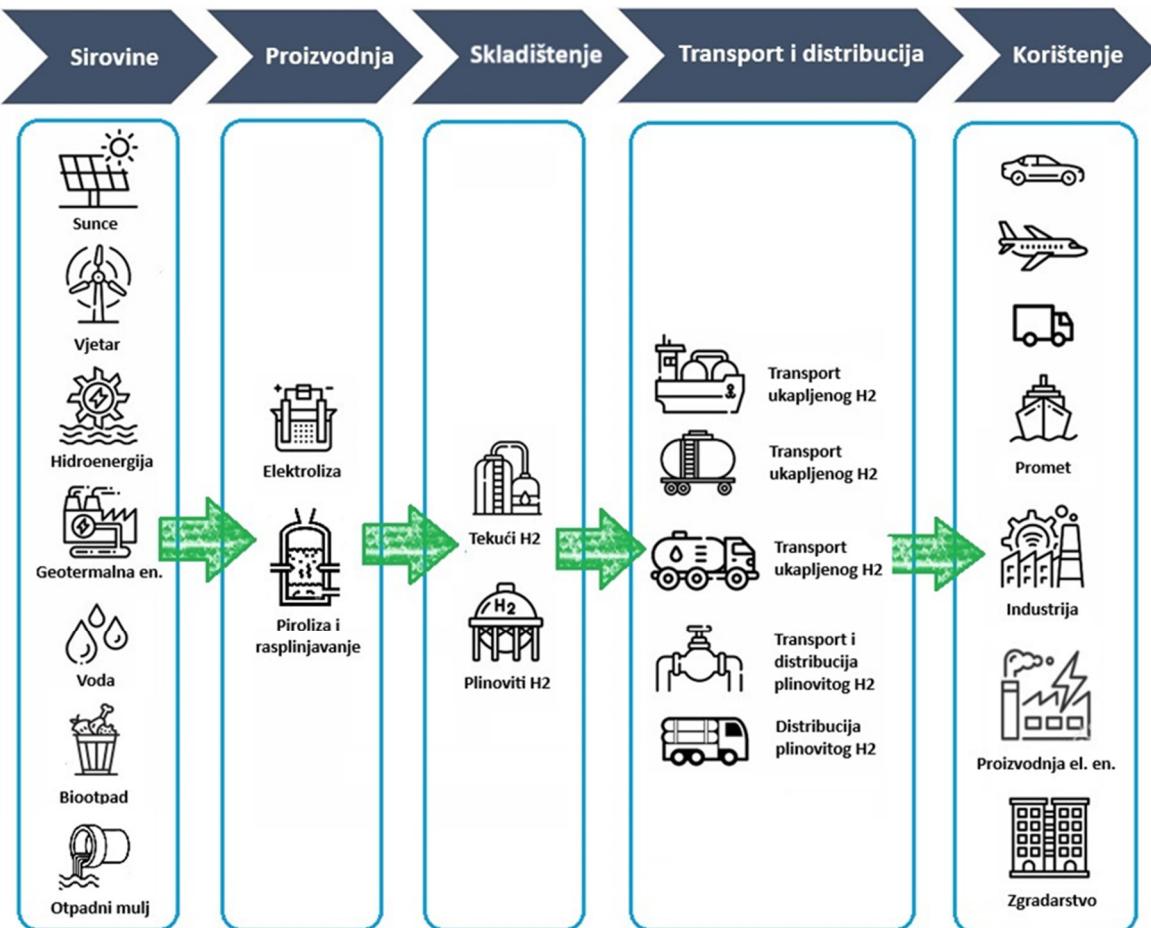
2.2. Vrijednosni lanac vodika i njegova uloga u postizanju klimatskih ciljeva

Vrijednosni lanac vodika obuhvaća proizvodnju, distribuciju, skladištenje i primjenu (vidi Sl. 1). I na europskoj i na nacionalnoj razini raspravlja se o konkretnoj strukturi vrijednosnog lanca s obzirom na regionalne karakteristike kako bi se razvila snažna vodikova ekonomija. Procjena prikladnih proizvodnih mjeseta i optimalnih distribucijskih strategija ključna je iz ekonomske, ekološke i političke perspektive.

Proizvodnja vodika iz obnovljivih izvora ključna je za smanjenje emisija CO₂ i provođenje strategija obnovljive energije. Elektroliza, koja se koristi električnom energijom iz obnovljivih izvora, primarni je proces proizvodnje vodika, koji se klasificira kao obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla (RFNBO). Također se istražuju i druge metode, poput pirolize i rasplinjavanja biomase. Trenutno se vodik najviše proizvodi iz prirodnog plina putem parnog reformiranja metana (SMR), poznatog kao sivi vodik. Prijelaz na niskougljični vodik uključuje tehnologije za hvatanje i skladištenje CO₂ (CCS; plavi vodik) dok prijelaz na obnovljivi vodik uključuje povećanje kapaciteta elektrolize korištenjem električne energije iz obnovljivih izvora energije (zeleni vodik).

Infrastruktura za transport i skladištenje vodika ključna je za povezivanje područja proizvodnje i potrošnje. Zemlje poput Hrvatske, zbog povoljnog zemljopisnog položaja, mogu poslužiti kao čvorista za izvoz, uvoz i (regionalnu) distribuciju vodika. Stoga su prenamjena cjevovoda za transport prirodnog plina u cjevovod za transport vodika, izgradnja novih cjevovoda i razvoj pomorskih transportnih terminala ključni koraci. Skladištenje vodika, obično u plinovitom ili kapljevitom stanju, ključno je za upravljanje fluktuacijama u potražnji i ponudi. Inovacije poput skladištenja vodika u metalnom hidridu i rješenja za skladištenje velikih razmjera u iscrpljenim naftnim i plinskim ležištima, solnim kavernama ili akviferima se još istražuju.

Primjene vodika su raznolike i obuhvaćaju više sektora. U **prometnom sektoru** vodik je ključan za dekarbonizaciju, osobito tamo gdje je elektrifikacija tehnički zahtjevna i finansijski izazovna. Vodik u gorivnoj ćeliji kemijskom reakcijom proizvodi električnu energiju, koja pokreće automobile, autobuse, kamione, vlakove itd. Vodik se nadalje može koristiti u motorima s unutarnjim izgaranjem, plinskim turbinama, koji su također u razvoju, što predstavlja alternativne izvore pogona za teška vozila, zrakoplovni i pomorski promet.



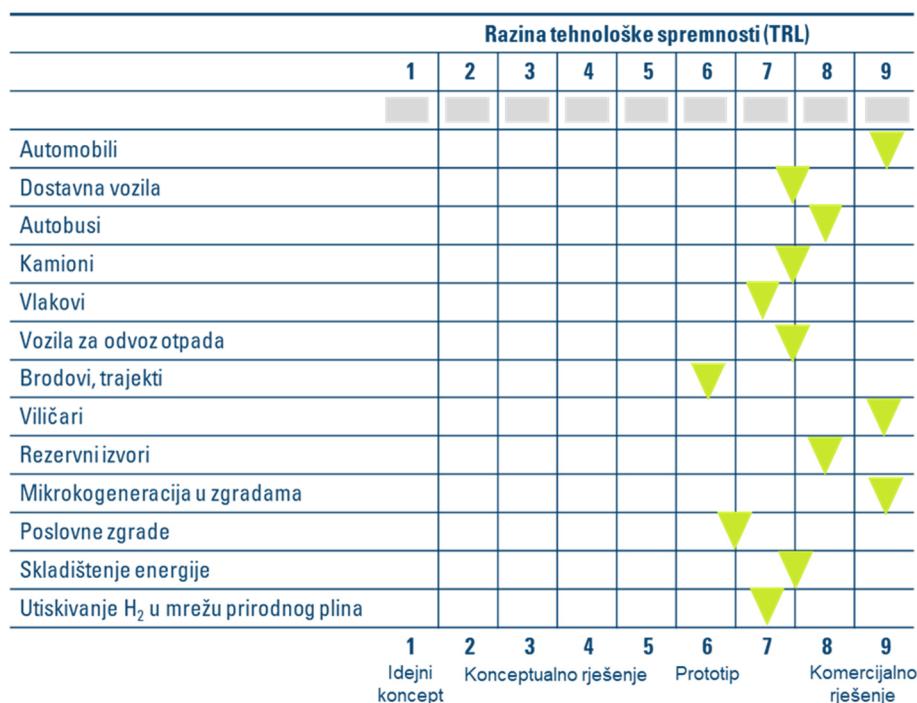
Sl. 1: Prikaz vrijednosnog lanca vodika

Industrijska primjena vodika uključuje kemijsku proizvodnju i procese obrade pri preradi nafte, pri čemu obnovljivi vodik smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima i emisije CO₂. U proizvodnji cementa, obnovljivi vodik služi u ložištu kao alternativa gorivu koje sadrži ugljik, smanjujući emisije CO₂ i osiguravajući potrebne visoke temperature. U industriji stakla, vodik doprinosi čistom izgaranju, što poboljšava kvalitetu stakla i smanjuje emisije CO₂. U proizvodnji amonijaka, nužnoj fazi za proizvodnju mineralnog gnojiva, korištenjem obnovljivog vodika, eliminiraju se emisije CO₂ iz konvencionalnih procesa proizvodnje i promiče održiva poljoprivreda.

U energetskom sektoru višak obnovljive energije se može skladištiti kao vodik i povratno koristiti za proizvodnju električne energije tijekom razdoblja velike potražnje ili niske proizvodnje obnovljive energije. Ova karakteristika vodika je ključna prednost za održavanje stabilnosti mreže i osiguranje pouzdane opskrbe energijom. Vodik se može koristiti u plinskim turbinama i kombi kogeneracijskim elektranama za proizvodnju električne i toplinske energije, nudeći čistu alternativu fosilnim gorivima. Za grijanje, vodik se može miješati s prirodnim plinom ili koristiti u kotlovima, čime se podupire dekarbonizacija energetskog sektora.

Tehnologije primjene vodika su na različitim razinama tehnološke spremnosti. Vozila s pogonom na vodik i tehnologije za proizvodnju električne energije su u primjeni, ali je potreban daljnji razvoj za postizanje učinkovitosti i smanjenje troškova (vidi Tab. 3). Tehnologije gorivnih ćelija za vozila dosegnule su komercijalnu upotrebu, pretvarajući vodik izravno u električnu energiju. U razvoju su vodikovi motori s unutarnjim izgaranjem, koji koriste vodik za proizvodnju mehaničke energije. Budući potencijal vodikovih tehnologija u integraciji mreže, industriji i prometu je obećavajući, podržan stalnim napretkom i razvojem infrastrukture. Međutim, metode poput pirolize biomase i rasplinjavanja otpada za proizvodnju vodika u ranoj fazi te još nisu komercijalno održive.

Tab. 3: Razina tehnološke spremnosti različitih primjena vodika



3. PERSPEKTIVE ZA VODIK U REPUBLICI HRVATSKOJ

Poglavlje analizira mogućnosti i okvirne uvjete za uspostavu vodikove ekonomije u Hrvatskoj.

Uvodno se daje kratak pregled regija Panonske Hrvatske, Jadranske Hrvatske, Grada Zagreba i Sjeverne Hrvatske. Svaka regija ima jedinstvene karakteristike i ekonomske uvjete, koji će se uzeti u obzir pri razvoju vodikove ekonomije.

Potom se ispitati trenutni status proizvodnje i primjene vodika u Hrvatskoj te daje pregled postojećih postrojenja i tehnologija za proizvodnju vodika. Nadalje, definiraju se ciljevi za razvoj vodikove ekonomije, identificiraju nacionalni i regionalni ciljevi za proizvodnju i korištenje vodika te strateške ciljeve za integraciju vodika u različite sektore.

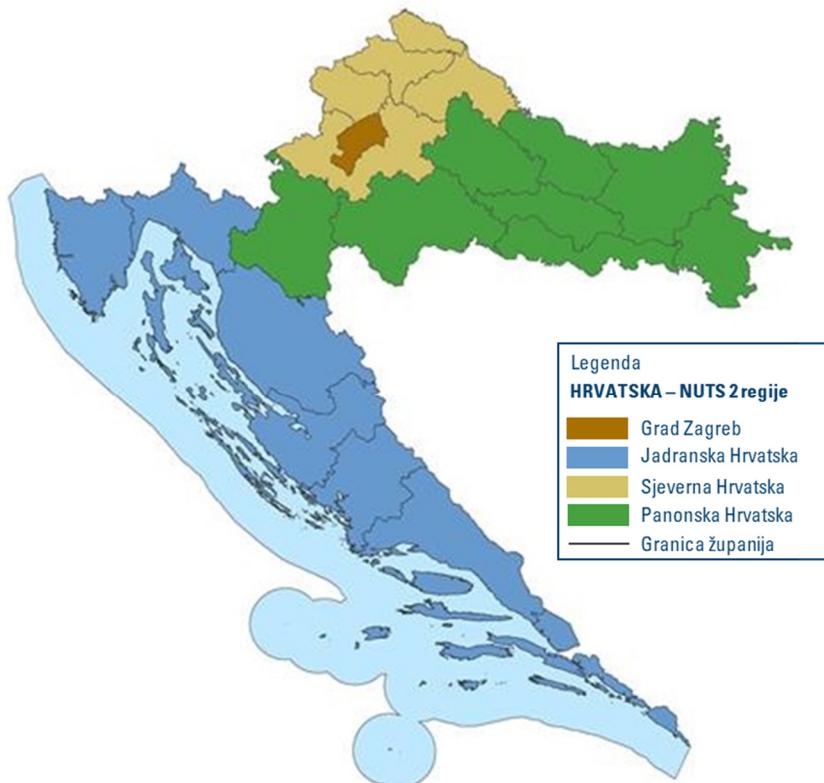
Procjenjuje se i potencijal za proizvodnju obnovljivog vodika, kapaciteti obnovljive energije u različitim regijama te njihov potencijal za proizvodnju obnovljivog vodika. Ovo poglavlje uključuje detaljnu procjenu izvora energije iz sunca, vjetra i drugih obnovljivih izvora energije diljem Hrvatske. Također, usredotočuje će se na različite potencijalne primjene vodika u različitim regijama Hrvatske, uključujući promet, industriju, energetiku i sektor zgradarstva.

Provodi se analiza postojeće infrastrukture koja omogućava proizvodnju, skladištenje i distribuciju vodika kako bi se identificirali nedostaci po regijama te zahtjevi za njenim proširenjem. Nakon toga se definira plan razvoja mreže za punjenje vodika, koji opisaje uspostavu punionica vodika duž ključnih prometnih koridora te uzima u obzir logističke i regulatorne izazove.

Na kraju, razmatra se uspostava lokalnih vodikovih čvorista, koji obuhvaćaju proizvodnju, skladištenje, distribuciju i primjenu vodika. Potencijalne lokacije za vodikova čvorista identificiraju će se na temelju regionalnih obrazaca potrošnje i industrijskih aktivnosti. Cilj tako strukturiranog pristupa je pružiti temeljitog razumijevanja regionalnih mogućnosti Republike Hrvatske i strateških koraka potrebnih za poticanje vodikove ekonomije, pri čemu svako podpoglavlje zadire u specifičnosti regionalnih potencijala i strateških mjera potrebnih za njihovo učinkovito iskorištanje.

3.1. Regionalna podjela Republike Hrvatske

Regionalna podjela Republike Hrvatske slijedi klasifikaciju nomenklature teritorijalnih jedinica za statistiku (NUTS) koju koristi Europska unija. Ovaj sustav klasifikacije olakšava prikupljanje, usporedbu i analizu regionalnih statističkih podataka, što je, primjerice, ključno za određivanje maksimalnog iznosa europske finansijske potpore za određene projekte. Republika Hrvatska je podijeljena na četiri NUTS-2 regije: Panonska Hrvatska, Jadranska Hrvatska, Grad Zagreb i Sjeverna Hrvatska (vidi Sl. 2).



Sl. 2: Hrvatske NUTS-2 regije

Panonska Hrvatska obuhvaća kontinentalni dio zemlje. Ova pretežno ravna regija bogata poljoprivredom ima značajnu industriju, koju čine petrokemija, proizvodnja cementa i prerada hrane, a tu su i termoelektrane i plinska infrastruktura. Potencijal vodika ovdje je usmjeren na industrijsku upotrebu, javni prijevoz i skladištenje u geološkim formacijama.

Jadranska Hrvatska obuhvaća obalna područja, otoke i regije poput Istre i Dalmacije. Poznata po svojoj razvedenoj obali i turizmu, ova regija također ima industriju poput rafinerije i tvornica cementa te ima veliki potencijal za proizvodnju solarne energije i energije vjetra. Primjena vodika uključuje pomorski i javni prijevoz, kao i industrijsku primjenu.

Grad Zagreb, posebna regija zbog svoje gustoće naseljenosti i gospodarskog značaja, ima razvijen javni gradski i prigradski prijevoz, veliku mrežu distribucije plina i znatnu proizvodnju otpada. Potencijalna primjena vodika uključuje javni prijevoz, umješavanje vodika u plinsku distribucijsku mrežu i proizvodnju električne energije.

Sjevernu Hrvatsku karakteriziraju brdoviti tereni te prehrambena i tekstilna industrija. Postoji potencijal za primjenu vodika u javnom prijevozu i umješavanje vodika u plinsku distribucijsku mrežu. Regija je pogodna i za izgradnju solarnih elektrana i malih hidroelektrana.

3.2. Proizvodnja i korištenje vodika u Republici Hrvatskoj danas

U Republici Hrvatskoj se vodik trenutno proizvodi i koristi pretežno u Rafineriji nafte Rijeka te za proizvodnju amonijaka u Petrokemiji Kutina. U Rafineriji nafte Rijeka, vodik se proizvodi parnim reformiranjem prirodnog plina (SMR) s godišnjim kapacitetom od 61.200 tona. Vodik se koristi u postupcima hidro obrade kao što su hidrodesulfurizacija i hidrokrekiranje, koji su potrebni za ispunjavanje propisa o kvaliteti tekućih naftnih goriva. Modernizacijom rafinerije povećat će se kapacitet prerade sirove nafte do 4,3 milijuna tona sirove nafte godišnje što značajno povećava potražnju za vodikom.

Petrokemija Kutina, jedini je proizvođač mineralnih gnojiva u Republici Hrvatskoj, i također se koristi SMR postupkom u proizvodnji vodika. Vodik je nužan u sintezi amonijaka, koji se koristi za proizvodnju mineralnih gnojiva. Godišnji kapacitet proizvodnje vodika u Petrokemiji Kutina iznosi 80.000 tona, dok je godišnja proizvodnja amonijaka u postrojenju u 2021. godini iznosila 450.000 tona za što je bilo potrebno oko 51.000 tona vodika.

Potrošnja vodika u drugim industrijama kao što su metalna industrija, prerada hrane i građevinarstvo je mala i iznosi tek oko 0,02 kt_{H2}/god. i primarno je ograničena na specifične procese kao što su toplinska obrada u metalurgiji i hidrogenacija u preradi hrane.

Ukupna je potrošnja vodika u Republici Hrvatskoj u 2021. godini iznosila približno 71 kt_{H2}/god., a proizvodni kapacitet 141 kt_{H2}/god. (vidi Tab. 4).

Tab. 4: Stvarna proizvodnja i potrošnja vodika u Republici Hrvatskoj u 2021. godini (na temelju komunikacije s proizvođačima)

Industrija	Maksimalni proizvodni kapacitet [kt/godina]	Potrošnja u 2021. [kt/godina]	Tehnologija
Rafinerija nafte Rijeka	61,2	20	SMR
Petrokemija Kutina	80	51	SMR
Ostale industrije	-	0,02	N/P
Ukupno	141,2	71,02	

3.3. Ciljevi za Republiku Hrvatsku

3.3.1. Ciljevi za Republiku Hrvatsku

Na ciljeve Republike Hrvatske vezane za vodik izravno utječu EU Strategija za vodik i Europski zeleni plan, koji ističu važnost smanjenja emisija stakleničkih plinova i prelazak na obnovljive izvore energije. Usklađenost s ovim EU dokumentima, kao što je prikazano u Tab. 5, osigurava da inicijative za vodik u Hrvatskoj budu podržane politikama EU-a i potencijalno financirane instrumentima EU. Nadalje, ovi ciljevi podupiru širi zakonodavni okvir EU za dekarbonizaciju energetskog sektora do 2050. godine, povećanje udjela obnovljive energije u ukupnom energetskom miksu i smanjenje ovisnosti o uvozu fosilnih goriva. U razvoju vodikove infrastrukture, Republika Hrvatska slijedi i primjenjuje tehničke i sigurnosne standarde EU, osiguravajući pritom održiv, siguran i učinkovit razvoj.

Ciljevi za Republiku Hrvatsku uključuju širenje proizvodnje obnovljivog vodika iz solarne energije, energije vjetra te iz komunalnog otpada. Ciljevi scenarija Studije uključuju značajne proizvodne kapacitete vodika s predviđenim kapacitetom elektrolizatora od 510 MW u 2030. godini do 4.693 MW u 2050. godini (vidi Tab. 8 u poglavlju 3.4.1). Poboljšanje postojeće infrastrukture prirodnog plina omogućit će transport i distribuciju vodika, dok će se korištenje vodika promicati u raznim sektorima, uključujući industriju, transport, energetiku i grijanje.

Tab. 5: Europski propisi koji utječu na korištenje RFNBO-a u različitim sektorima

Sektor	Industrija	Promet	Pomorski promet	Pomorski promet	Zrakoplovni promet
Regulacija	RED III	RED III	RED III	FuelEU Maritime	ReFuelEU Aviation
Ciljevi RFNBO	2030.: 42% RFNBO 2035.: 60% RFNBO od energije H ₂ i neenergetske potrošnje	2030.: 5,5% goriva moraju biti napredna biogoriva ili RFNBO Minimalni udio od 1% RFNBO	2030.: RFNBO: 1,2% od ukupne količine energije isporučene sektoru pomorskog prometa	Poticaji za korištenje RFNBO do 2031. Obvezni udio od 2% od 2034. ako RFNBO < 1% u 2031.	Udio sintetičkih goriva: 2030.: > 0,7% 2040.: > 8% 2050.: > 28%
Minimalna potražnja za vodikom kako bi RH ispunila ciljeve za RFNBO do 2030.	21,5 kt	3,81 kt	0,13 kt	-	0,017 kt
UKUPNA minimalna potražnja 2030.: ~ 25,5 kt					

Cilj Republike Hrvatske je strateški razvoj vodikove infrastrukture, što uključuje uspostavu pogona za proizvodnju vodika, sustava za skladištenje i punjenje, posebice duž Transeuropske prometne mreže (TEN-T). Ovaj razvoj infrastrukture osmišljen je kako bi podržao domaće potrebe i potencijal za izvoz vodika. Osim toga, Hrvatska je usmjerena na poticanje inovacija kroz istraživanje i razvoj vodikovih tehnologija. To uključuje suradnju između akademске zajednice, istraživačko-razvojnih instituta, industrije i nadležnih tijela kako bi se unaprijedilo znanje i praktična primjena vodika.

3.3.2. Ciljevi za pojedine regije

Panonska Hrvatska ima znatan potencijal za primjenu vodika u industriji, posebice u proizvodnji amonijaka i u visokotemperurnim procesima, uz ograničenu primjenu u prometu i građevinarstvu. Naglasak će biti na solarnim elektranama namijenjenim proizvodnji obnovljivog vodika te na istraživanju mogućnosti skladištenja vodika u akviferima i iscrpljenim plinskim ležištima. Postojeći cjevovodi za prirodni plin prilagodit će se za transport vodika, a lokalni distribucijski sustavi unaprijedit će se za umješavanje vodika. Promicat će se primjena vodika u industriji, kogeneracijskim postrojenjima i javnom prijevozu.

Jadranska Hrvatska ima znatan potencijal za proizvodnju i primjenu vodika u javnom prijevozu, industrijskim postrojenjima i pomorskom prometu. U proizvodnji obnovljivog vodika, velika su pogodnost solarne elektrane i vjetroelektrane za proizvodnju obnovljivog vodika, uz razmatranje korištenja morskom vodom za elektrolizu. Provest će se istraživanja mogućnosti korištenja akvifera i izgradnje skladišta vodika u lukama. Sustav plinovoda prilagodit će se za transport vodika, a uz autoceste i u lukama izgradit će se punionice vodika. Vodik će se koristiti u termoelektranama, industriji cementa te u javnom prijevozu u urbanim sredinama.

Grad Zagreb ima najveći potencijal za korištenje vodika u javnom prijevozu, grijanju kućanstava i visokotemperurnim procesima u industriji. Fokus će biti na proizvodnji vodika iz otpadnog mulja zbog ograničenog potencijala za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Razvijena mreža plinovoda koristit će se za umješavanje i distribuciju vodika. U javnom prijevozu poticat će se primjena autobusa na vodik, a sustavi centralnog grijanja prilagodit će se korištenju vodika.

Doprinos **Sjeverne Hrvatske** bit će najmanji od svih regija, s korištenjem vodika prvenstveno u prometu i grijanju. Postoji potencijal za male hidroelektrane, solarne elektrane i geotermalne elektrane kao izvora OIE za proizvodnju obnovljivog vodika. Potrebno je istražiti mogućnost skladištenja vodika u akviferima i iscrpljenim plinskim ležištima te prilagoditi cjevovode i poticati izgradnju punionica vodika duž glavnih prometnih ruta. Poticat će se korištenje vodika u autobusima i kamionima te prilagoditi plinski sustavi za korištenje vodika u zgradama za kogeneraciju i grijanje.

Navedeni aspekti su sažeti u Tab. 6.

Tab. 6: Regionalni ciljevi i strategije za uspostavu vodikove ekonomije u Hrvatskoj

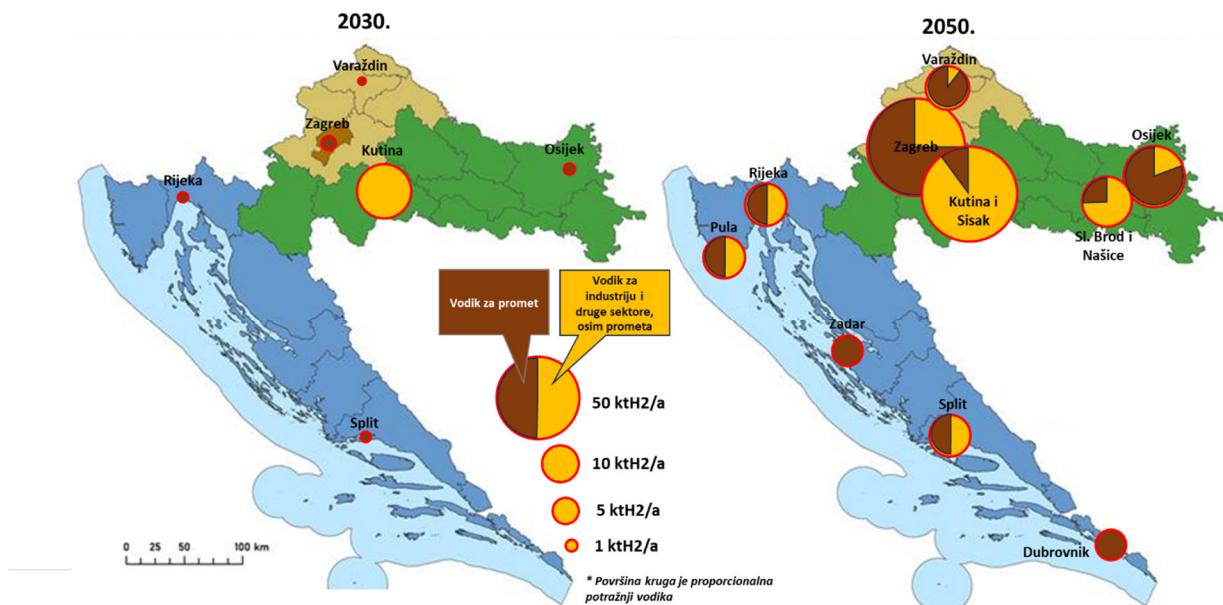
Grad Zagreb	Panonska Hrvatska	Sjeverna Hrvatska	Jadranska Hrvatska
Proizvodnja Uz elektrolizatore, usredotočiti se više na proizvodnju iz otpada, uključujući otpadni mulj.	Proizvodnja Povećati proizvodnje obnovljivog vodika pomoću sunčanih elektrana.	Proizvodnja Iskoristiti male hidroelektrane i sunčane elektrane za lokalnu proizvodnju vodika.	Proizvodnja Povećati proizvodnju obnovljivog vodika pomoću sunčane i energije vjetra, kako na kopnu tako i na moru.
Distribucija i skladištenje Prilagoditi postojeću plinsku distribucijsku mrežu ili njezine dijelove za vodik.	Distribucija i skladištenje Nadograditi postojeću plinsku infrastrukturu, sustav prijenosa, distribucije i skladištenja plina za vodik.	Distribucija i skladištenje Istražiti prenamjenu iscrpljenih naftnih i plinskih ležišta za skladištenje vodika.	Distribucija i skladištenje Razviti infrastrukturu za uvoz vodika putem pomorskih ruta. Fokusirati se više na proizvodnju vodika iz otpada.
Korištenje Promicati korištenje vodika u javnom prijevozu, sustavu distribucije toplinske energije i plinskim mrežama. Izgradnja punionica vodika.	Korištenje Istražiti mogućnost skladištenja vodika u slanim akviferima i iscrpljenim naftnim i plinskim ležištima. Korištenje Promicati korištenje vodika u javnom prijevozu, sustavu distribucije toplinske energije, plinskim mrežama i industriji. Izgradnja punionica vodika.	Korištenje Promicati korištenje vodika u javnom prijevozu, plinskim mrežama i industriji. Izgradnja punionica vodika.	Distribucija i skladištenje Istražiti mogućnost skladištenja vodika u slanom akviferu. Korištenje Promicati korištenje vodika u javnom prijevozu, i cestovnom i pomorskom. Izgradnja punionica vodika na cestama i u pomorskim lukama.

3.4. Potencijal proizvodnje vodika u Republici Hrvatskoj

Iskorištavanje potencijala za proizvodnju obnovljivog vodika u Republici Hrvatskoj podupire se nizom strateških inicijativa i planova čiji je cilj iskorištavanje njezinih geografskih prednosti, povećanje energetske sigurnosti i postizanje ciljeva održivosti. Središnje mjesto u tim nastojanjima je usklađivanje s europskim energetskim strategijama, posebice s inicijativom Europske vodikove okosnice, koja predviđa paneuropsku mrežu cjevovoda za transport vodika.

Zemljopisni položaj Republike Hrvatske na raskriju srednje, istočne i jugoistočne Europe pruža stratešku prednost za proizvodnju, transport i distribuciju vodika. Razvedena obala i pristup velikih brodova lukama, osobito u Riječkom zaljevu, čine je važnim čvorишtem za uvoz i izvoz vodika. Također, povezivanje Republike Hrvatske s europskom mrežom prirodnog plina olakšava integraciju vodikove infrastrukture, čime se povećava energetska sigurnost i pridonosi diverzifikaciji izvora energije.

Očekuje se da će proizvodnja obnovljivog vodika u Republici Hrvatskoj značajno porasti povećanjem kapaciteta elektrolizatora (vidi Sl. 3). Tehnologije koje se razmatraju uključuju alkalne elektrolizatore (AEL), elektrolizatore s protonskom izmjenjivačkom membranom (PEM) i visokotemperaturne elektrolizatore s krutim oksidom (SOE). Trenutno su najzastupljeniji alkalni elektrolizatori zbog nižih troškova, od 500 do 1500 €/kW. PEM elektrolizatori, iako su skuplji (1000 do 2000 €/kW), nude veću učinkovitost i fleksibilnost. SOE tehnologija je još uvijek u fazi razvoja i još nije komercijalno dostupna.



Sl. 3: Očekivana proizvodnja vodika u Republici Hrvatskoj 2030. i 2050. godine

Na Sl. 3. prikazane su lokacije očekivane proizvodnje vodika po regijama, a prema Osnovnom scenariju Studije. Pretpostavlja se da je proizvodnja u ravnoteži s potražnjom te ne postoji potreba za izvozom ili uvozom obnovljivog vodika. Očekivane lokacije raspoređene su prema zemljopisnom položaju postojećih industrijskih objekata, a za sektor prometa prema mjestu potrošnje (HRS). U 2030. godini dominira proizvodnja u Kutini gdje se nalazi pogon za proizvodnju amonijaka, u Zagrebu za potrebe javnog prijevoza i željeznice u blizini TEN-T koridora. U 2050. godini proizvodnja vodika vezana je za energetski intenzivne

industrije koje će djelomično koristiti obnovljivi vodik, uglavnom objekte obuhvaćene ETS sustavom (tvornice cementa, industrija mineralnih proizvoda, proizvodnja hrane, celuloze i papira). Regionalna proizvodnja rast će do 2050. godine zbog povećane upotrebe u sektoru prometa, uključujući i pomorski promet na Jadranu.

U Republici Hrvatskoj trenutno nema proizvodnje elektrolizatora. Glavni proizvođači su u Njemačkoj, Norveškoj, Francuskoj, Kini i Sjedinjenim Američkim Državama. Međutim, u Republici Hrvatskoj razvijaju se alternativne tehnologije proizvodnje vodika, poput pirolize i rasplinjavanja biomase, koje mogu proizvesti obnovljivi vodik. Ove tehnologije, iako su u fazi istraživanja i nisu komercijalno dostupne, mogu doprinijeti ostvarenju nacionalnih ciljeva korištenja obnovljivom energijom.

Odabir odgovarajućih tehnologija razlikuje se ovisno o regiji, pod utjecajem lokalnih obnovljivih izvora energije. Obalne regije imaju znatan potencijal energije vjetra te su pogodne za razvoj pučinskih vjetroelektrana integriranih s postrojenjima za proizvodnju obnovljivog vodika. Kopnena područja imaju potencijal korištenja sunčeve energije te su pogodna za primjenu fotonaponskih sustava integriranih s postrojenjima za proizvodnju obnovljivog vodika. Predloženi regionalni pristup potiče optimalno korištenje lokalnih resursa i doprinosi ukupnoj učinkovitosti i isplativosti proizvodnje obnovljivog vodika.

Postojeća infrastruktura prirodnog plina omogućava prijelaz na vodikovu ekonomiju. Namjenski planovi predviđaju prenamjenu dijelova mreže prirodnog plina za transport vodika, posebno sustava od 75 bara i 50 bara. Ključni projekti poput Sjevernog plinovoda i Južnog plinovoda omogućit će distribuciju vodika od obalnih proizvodnih mjesta do potrošačkih centara u sjevernoj Hrvatskoj i dalje do međunarodnog spoja sa Slovenijom i Mađarskom. Tako projekt Slovenske vodikove okosnice i njegove interkonekcije s Republikom Hrvatskom olakšava prekogranični transport vodika i integraciju u europsku vodikovu mrežu.

U tijeku su brojne istraživačke inicijative i pilot projekti kako bi se povećali izgledi primjene vodika u Republici Hrvatskoj. To uključuje studije o integraciji proizvodnje vodika s obnovljivim izvorima energije i razvoj rješenja za skladištenje vodika. Razvoj pametnih plinskih mreža s naprednim digitalnim sustavima unaprijedit će nadzor i upravljanje sustavima za vodik i druge niskougljične plinove, npr. umješavanjem vodika s prirodnim plinom u prijelaznoj fazi.

3.4.1. Potencijal proizvodnje vodika iz obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj

Republika Hrvatska jača kapacitete za proizvodnju obnovljive energije, ispunjavajući time energetske i klimatske ciljeve EU-a. Tehnički potencijal obnovljivih izvora energije Republike Hrvatske prikazan je u Tab. 7.

Iskorištavanje obnovljive energije u Republici Hrvatskoj je raznoliko, sa znatnim doprinosima hidroenergije, energije vjetra i solarne energije. Hidroenergija pokriva oko 44-57% ukupne proizvodnje električne energije (u godinama 2016. -2021.) s instaliranom snagom od približno 2200 MW (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2023a). Iskorištavanje energije vjetra je u porastu pa je oko 14% proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj iz tih izvora (instalirana snaga vjetroelektrana iznosi oko 1000 MW). Sunčeva energija s instaliranom snagom od oko 140 MW čini oko tek 1% ukupne proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj.

Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. godine s pogledom na 2050. godinu³ projicira potencijale OIE u Republici Hrvatskoj. Sunčeva energija, energija vjetra i vode identificirani su kao prioritetni obnovljivi izvori koji će se koristiti za proizvodnju obnovljivog vodika (RFNBO) i prikazani su u Tab. 7.

Tab. 7: Tehnički potencijal obnovljivih izvora energije Republike Hrvatske

Obnovljivi izvori	Tehnički potencijal [MW]
Solarna energija	8.000
Energija vjetra (kopno)	7.000 – 9.000
Energija vode	3.700 – 4.250
Ukupno	18.700 – 21.250

Kapaciteti obnovljivih izvora energije ubrzano se povećavaju, koristeći se geografskom raznolikošću Republike Hrvatske. Očekivani rast kapaciteta obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj prikazana je na Sl. 4. Planira se udvostručiti kapacitet energije vjetra i sunca s 1.125 MW u 2021. godini na oko 3.522 MW u 2030. godini (Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2023a). Nove vjetroelektrane razvijaju se u područjima s visokim potencijalom vjetra, osobito duž jadranske obale i zaoblja te na višim nadmorskim visinama, poznatim po stalnim i jakim udarima vjetra. U zamahu je i povećanje kapaciteta sunčevih elektrana na preko 500 MW do 2030. godine, što uključuje velike solarne parkove i krovne solarne panele na stambenim i poslovnim zgradama.

Stabilnost opskrbe električnom energijom u uvjetima njene stohastičke, neistodobne proizvodnje iz obnovljivih izvora, podržava proizvodnju vodika elektrolizom vode omogućavajući uravnotežavanje energetskog sustava.

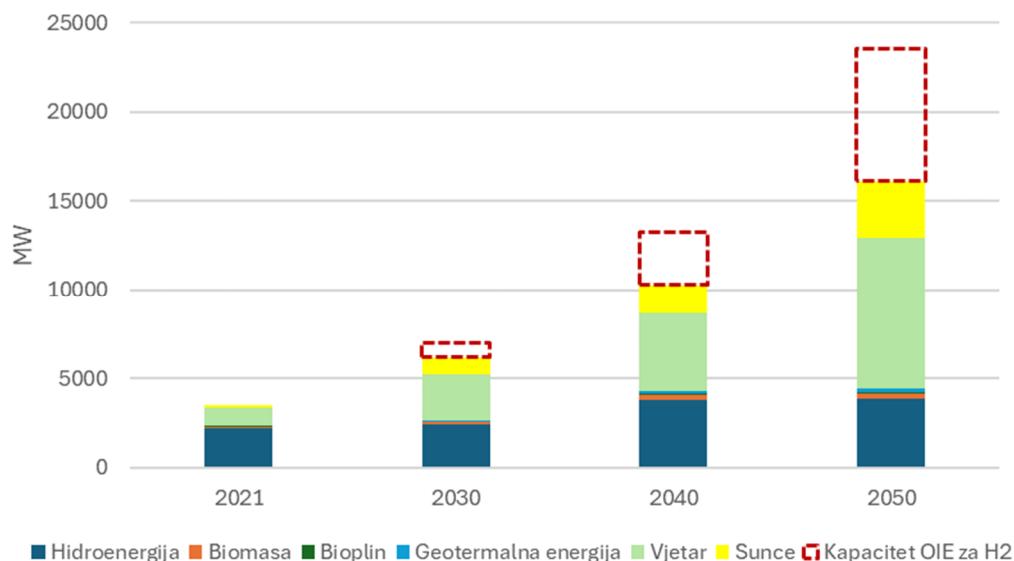
Prema Osnovnom scenariju Studije, za proizvodnju obnovljivog vodika bit će potrebno oko 808 MW dodatnog kapaciteta OIE (vjetar, sunce) 2030. godine, 2.966 MW 2040. godine te 7.430 MW 2050. godine (vidi Tab. 8).

Tab. 8: Potrebnii kapacitet OIE, elektrolizatora i vode

		2030.	2040.	2050.
Potreba za vodikom – Osnovni scenarij Studije	kt/god	26.4	97.1	243.2
Kapacitet elektrolizatora	MW	510	1.873	4.693
Potreban dotok vode	1,000 m³	528.9	1.941,6	4.863,3
Dodatni kapacitet OIE (vjetar/sunce)	MW	808	2.966	7.430
	GWh/god	1.454	5.339	13.374

³ (Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, 2020)

Na Sl. 4. prikazani su planirani i potrebni dodatni kapaciteti obnovljive električne energije pri čemu su oni samo indikacija mogućeg maksimuma. U 2050. godini potrebni kapaciteti OIE sunca i vjetra blizu su procijenjenog tehničkog potencijala (isključujući pučinski vjetar; vidi Tab. 8).



Sl. 4: Očekivani proizvodni kapacitet električne energije iz obnovljivih izvora u Republici Hrvatskoj 2030., 2040. i 2050. (NECP i rezultati Studije dodani za potrebe prikaza omjera)

Povećanje broja hidroelektrana ograničeno zbog okolišnih razloga i gotovo iskorištenog potencijala sadašnjih rječnih sustava pa je cilj nadograditi postojeće hidroelektrane kako bi se povećao njihov kapacitet i njihova učinkovitost. Osim toga, istražuju se novi projekti malih hidroelektrana u planinskim područjima kako bi se doprinijelo lokalnoj potražnji za energijom s ograničenim utjecajem na okoliš. Iskorištavanjem ostataka iz poljoprivrede i šumarstva, povećava se proizvodnja energije iz biomase u Republici Hrvatskoj. Time se podržava učinkovito gospodarenje otpadom i osigurava energija za proizvodnju vodika.

Proširenje kapaciteta obnovljivih izvora energije omogućava proizvodnju obnovljivog vodika. Povećani kapaciteti vjetra i sunca osiguravaju potrebnu obnovljivu električnu energiju, ključnu za ekonomičnu proizvodnju obnovljivog vodika. Blizina postrojenja za proizvodnju obnovljive energije i vodika može smanjiti troškove transporta energije i povećati ukupnu učinkovitost. Obalna područja s energijom vjetra i potencijalnom upotrebo vodika u pomorskom i cestovnom prometu, posebno su pogodna za takve integrirane sustave.

Za promicanje ulaganja u tehnologije obnovljive energije potrebna su bespovratna sredstva, programi potpore i subvencije za obnovljive izvore energije. Takve mjere imaju cilj ubrzati primjenu obnovljivih tehnologija i osigurati njihovu ekonomsku održivost. Osim toga, Republika Hrvatska se koristi sredstvima EU za tehničku pomoć i razvoj svojih projekata obnovljivih izvora energije. To uključuje pristup fondovima namijenjenim inicijativama za energiju i klimatske promjene, podržavanje razvoja infrastrukture potrebne za snažan sustav obnovljive energije i proizvodnju vodika.

Sirovina za proizvodnju vodika procesom elektrolize je voda. Voda se može koristiti iz vodovoda, crpiti iz podzemlja ili iz mora. Za učinkovit proces elektrolize, vodu je potrebno dodatno obraditi kako bi se uklonili

minerali i druge nečistoće. Ova obrada može uključivati filtraciju, demineralizaciju i deionizaciju. Kod korištenja morske vode, proces obrade je složeniji zbog potrebe uklanjanja soli i drugih iona koji nisu prisutni u slatkoj vodi.

Studija zaključuje da su potrebne količine vode za proizvodnju vodika u Republici Hrvatskoj male u odnosu na trenutnu potrošnju vode u javnom vodoopskrbnom sustavu. Usporedbe radi, gubici vode u sustavu javne vodoopskrbe u 2021. godini iznosili su 201,6 milijuna m³, dok se potreba za vodom za proizvodnju vodika u 2050. godini procjenjuje na oko 4,9 milijuna m³. Nadalje, morska voda je praktički neograničen izvor vode za proizvodnju vodika, ali je potrebno razmotriti troškove desalinizacije i utjecaja na okoliš, npr. odlaganje slane vode.

3.4.2. Obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla (RFNBO)

Delegirana uredba Komisije EU 2023/1184 definira metodologiju kojom se utvrđuju detaljna pravila za proizvodnju obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla, koja su objašnjena u nastavku:

Dodatnost

Proizvođači goriva moraju proizvesti ili nabaviti ekvivalentnu obnovljivu električnu energiju u odnosu na onu za koju tvrde da je potpuno obnovljiva. To može biti putem njihovih vlastitih postrojenja ili ugovora o kupnji energije iz obnovljivih izvora (PPA – *engl. power purchase agreement*, hrv. Ugovor o otkupu električne energije). Obnovljiva električna energija mora ispunjavati ove kriterije:

(a) Postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora mora započeti s radom najranije 36 mjeseci prije postrojenja za proizvodnju goriva. Ako je PPA istekao, smatra se da je postrojenje započelo s radom istodobno s novim postrojenjem za proizvodnju goriva na temelju novog PPA. Dodatni kapacitet na istoj lokaciji mora se dodati u roku od 36 mjeseci od rada početnog postrojenja.

(b) Postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora ne smije primiti potporu u obliku operativne potpore ili potpore za ulaganje, osim za određene izuzetke kao što su potpora za ponovno napajanje, zemljишte, mrežni priključci ili ne-mrežna potpora.

Vremenska korelacija

Do 31. prosinca 2029. godine, uvjet vremenske korelacije je ispunjen ako je obnovljivo gorivo proizvedeno u istom kalendarskom mjesecu kao i električna energija iz obnovljivih izvora proizvedena na temelju PPA ili iz novog postrojenja za skladištenje koje je napunjeno u istom kalendarskom mjesecu.

Od 1. siječnja 2030. godine, uvjet vremenske korelacije je ispunjen ako se proizvodnja dogodi u istom razdoblju od jednog sata. Države članice mogu primjenjivati ova pravila od 1. srpnja 2027. godine.

Uvjet vremenske korelacije je uvijek ispunjen ako se gorivo proizvodi kada je cijena električne energije ≤ 20 € po MWh ili najviše 0,36 puta cijene emisijske jedinice za emisiju jedne tone ekvivalenta ugljikova dioksida.

Zemljopisna korelacija

Uvjet zemljopisne korelacije je ispunjen ako se:

- (a) postrojenje koje proizvodi električnu energiju iz obnovljivih izvora nalazi u istoj zoni nadmetanja kao elektrolizator.
- (b) postrojenje koje proizvodi električnu energiju iz obnovljivih izvora nalazi u međusobno povezanoj zoni nadmetanja s jednakim ili višim cijenama električne energije tijekom relevantnog razdoblja.
- (c) postrojenje koje proizvodi električnu energiju iz obnovljivih izvora nalazi u odobalnoj zoni nadmetanja koja je međusobno povezana sa zonom nadmetanja u kojoj se nalazi elektrolizator.

Države članice mogu uvesti dodatne kriterije kako bi osigurale kompatibilnost s nacionalnim planiranjem vodikove i električne mreže, bez negativnog utjecaja na unutarnje tržište električne energije.

3.4.3. Obnovljiv vodik iz otpada

Prema Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje od 2023. - 2028. godine (Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. – 2028. godine, 2023), potrebno je uspostaviti sustav upravljanja otpadnim muljem koji bi uključivao i materijalnu i energetsку uporabu. Kako RED definira mulj iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda obnovljivim izvorom energije, implementacija novog sustava gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj je dodatni potencijal za proizvodnju obnovljivog vodika. Mulj se trenutno prvenstveno skladišti ili odlaže na odlagališta, a samo se manje količine koriste u poljoprivredne svrhe ili podvrgavaju kompostiranju.

U većim uređajima za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda uobičajeno je da mulj prvo prolazi proces anaerobne digestije. Ovim procesom smanjuje se broj patogenih mikroorganizama i proizvodi biopljin, koji se koristi za podmirenje energetskih potreba samog uređaja za pročišćavanje. Nakon anaerobne digestije, uz pretpostavku sazrijevanja naprednih tehnologija termokemijske konverzije, može se očekivati proizvodnja obnovljivog vodika u rasponu od 20 do 50 grama po kilogramu suhe tvari, ovisno o korištenom tehnološkom rješenju i radnim parametrima. Projekcija proizvodnje obnovljivog vodika za svaku regiju u Republici Hrvatskoj prikazana je u Tab. 9.

Tab. 9: Potencijal proizvodnje obnovljivog vodika iz otpadnog mulja

Panonska Hrvatska	Jadranska Hrvatska	Grad Zagreb	Sjeverna Hrvatska	Ukupno
Otpadni mulj [t/a]				
2021.	n.p.	15.797	n.p.	25.074
2030.	23.337	19.282	8.405	74.558
2035.	24.824	20.511	9.941	79.311
Potencijal obnovljivog vodika [t/a]				
2030.	467 – 1.167	470 – 1.177	386 - 964	1.491 – 3.728
2035.	496 – 1.241	501 – 1.252	410 – 1.026	1.586 – 3.966

Drugi tokovi otpada također bi mogli imati potencijal za proizvodnju obnovljivog vodika ako ispunjavaju kriterije održivosti i uštede emisija stakleničkih plinova. U slučaju proizvodnje vodika iz otpada i ostataka, osim ostataka iz poljoprivrede, akvakulture, ribarstva i šumarstva, potrebno je ispuniti samo kriterije za uštedu emisija stakleničkih plinova, kako slijedi:

- a) Najmanje 65% za biogoriva, biopljin potrošen u prometnom sektoru i bio tekućine proizvedene u postrojenjima koja su počela s radom od 1. siječnja 2021. godine
- b) Najmanje 80% za proizvodnju električne energije, grijanja i hlađenja iz biomase koja se koristi u postrojenjima koja su počela s radom nakon 20. studenog 2023. godine

Proizvedeni vodik iz otpada može se smatrati obnovljivim ako se odvoji fosilna komponenta otpada. Prema Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje od 2023. do 2028. godine (Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. – 2028. godine, 2023), Hrvatska planira implementirati sustav temeljen na regionalnim centrima za gospodarenje otpadom koji će prerađivati cca. 900.000 do 1.000.000 tona miješanog komunalnog otpada godišnje. Izlazni proizvodi prerađe otpada su izdvojeni reciklabilni materijali pogodni za upotrebu, kruto uporabljeni gorivo pogodno za daljnju energetsku preradu i preostali otpad spreman za zbrinjavanje, koji se sastoji od stabiliziranog biorazgradivog otpada i drugog otpada koji nije pogodan za bilo koju drugu obradu. Nijedan od izlaznih proizvoda nije prikladan za proizvodnju obnovljivog vodika. Potencijal proizvodnje niskougljičnog vodika iz uporabljenog krutog otpada iznosi od 29.700 do 38.200 tona.

3.4.4. Kratak opis tehnologije, prikazan kumulativno i po regijama

Tehnologije proizvodnje vodika

Tehnologije proizvodnje vodika mogu se općenito klasificirati u različite kategorije na temelju izvora energije i načina proizvodnje. Danas je aktualno pet tehnologija za proizvodnju vodika s različitim značajem i različitim TRL: reformiranje metana, rasplinjavanje ugljena, elektroliza, pretvorba biomase i rasplinjavanje otpada. Elektroliza korištenjem obnovljive energije, pretvorba biomase i rasplinjavanje otpada omogućuju proizvodnju obnovljivog vodika. Nasuprot tome, vodik proizведен reformiranjem metana i rasplinjavanjem ugljena rezultira emisijama CO₂ i stoga je klasificiran kao sivi vodik.

1. Reformiranje metana

Proces reformiranja metana uključuje konverziju metana (CH₄, obično iz prirodnog plina) u vodik (H₂) i ugljikov dioksid (CO₂). Tim procesom danas se proizvodi oko 75% vodika u svijetu.

Glavne vrste reformiranja metana su:

Parno reformiranje metana (eng. Steam Methane Reforming (SMR)) je najčešća metoda za industrijsku proizvodnju vodika. Uključuje reakciju metana s parom na visokim temperaturama kako bi se proizveo vodik i ugljikov dioksid. Unatoč širokoj upotrebi, SMR proizvodi znatne emisije CO₂, oko 10 kg CO₂ po kg proizvedenog vodika. U 2021. godini, doprinos SMR je 2,2 % ukupnih emisija CO₂ u Republici Hrvatskoj.

Parcijalna oksidacija i autotermičko reformiranje su varijante reformiranja metana koje koriste kisik ili kombinaciju kisika i pare za pretvaranje metana u vodik i CO₂. Ovi procesi su također povezani s emisijama CO₂.

2. Rasplinjavanje ugljena

Postupak uključuje reakciju ugljena s kisikom i parom kako bi se proizveli H₂, CO i CO₂. Rasplinjavanje ugljena čini oko 23% globalne proizvodnje vodika, prvenstveno zbog njegove značajne upotrebe u Kini.

3. Elektroliza

Elektroliza je metoda razdvajanja vode na vodik i kisik pomoću električne energije, čime se proizvodi vodik klasificiran kao obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla (RFNBO), ako električna energija potječe iz obnovljivih izvora. Primarni tipovi elektrolizatora su alkalni (AEL), s protonski provodljivom membranom (PEM) i s krutim oksidom (SOE).

Alkalna elektroliza poznata je i provjerena tehnologija koja se kao elektrolitom koristi kalijevim hidroksidom (KOH) ili natrijevim hidroksidom (NaOH). Alkalni elektrolizatori se koriste više od jednog stoljeća i poznati su po svojoj izdržljivosti. Rade na relativno niskim temperaturama (60-90°C) i isplativi su, a očekuje se da će troškovi proizvodnje ostati stabilni.

PEM elektrolizatori su kompaktniji jer mogu raditi na većim gustoćama struje. Koriste se čvrstom polimernom membranom i sposobni su za brzo pokretanje i brze promjene opterećenja, što ih čini prikladnim za integraciju s fluktuirajućim obnovljivim izvorima energije. Trenutno su skuplji zbog upotrebe katalizatora od plemenitih metala poput platine i/ili iridija. Očekuje se da će se cijena PEM tehnologije smanjiti i potencijalno postati usporediva s alkalnim elektrolizatorima do 2030. godine.

SOE radi na visokim temperaturama (700 do 900°C), osiguravajući veću učinkovitost korištenjem električne i toplinske energije. Unatoč svom potencijalu, SOE je još uvijek u fazi razvoja i još nije komercijalno održiv. Nakon što se riješe tehnički i ekonomski izazovi, moguća je buduća primjena.

4. Pretvorba biomase

Vodik se može proizvesti i iz biomase termokemijskim procesima kao što su rasplinjavanje i piroliza.

U procesu rasplinjavanja čvrsta se biomasa pretvara u plinovitu smjesu (sintetski plin) koja sadrži vodik, ugljikov monoksid i druge plinove dobivene reakcijom biomase na visokim temperaturama s kontroliranim količinama kisika i/ili pare. Rasplinjavanje je relativno napredovalo i približava se komercijalizaciji.

Piroliza uključuje toplinsku razgradnju organskog materijala na povišenim temperaturama u odsutnosti kisika, proizvodeći bio ulje, sintetski plin i bio ugljen. Proizvedeni sintetski plin može se dalje obraditi za ekstrakciju vodika. Ova tehnologija također napreduje prema komercijalnoj održivosti.

5. Rasplinjavanje otpada

Tehnologija pretvaranja otpada u vodik uključuje pretvaranje otpadnih materijala u vodik kroz procese kao što je rasplinjavanje. Ova tehnologija ne samo da smanjuje otpad na odlagalištima i mulj od obrade otpadnih voda, već također proizvodi čista goriva.

Tehnološki gledano, pretvaranje otpada u vodik napreduje, ali je još uvijek u fazi razvoja, suočavajući se s izazovima poput visokih operativnih troškova i nužnog poboljšanja učinkovitosti.

Komercijalno gledano, u ranoj je fazi usvajanja, s nekoliko pilot projekata diljem svijeta. Prilagodljivost ove tehnologije ovisi o tehnološkim otkrićima i ekonomskoj održivosti. Stoga, iako obećava, pretvaranje otpada u vodik zahtijeva znatna istraživanja i ulaganja kako bi se postigla šira komercijalna primjena.

Regionalne specifičnosti u Republici Hrvatskoj

Strategija za vodik Republike Hrvatske naglašava raznoliku kombinaciju proizvodnih tehnologija prilagođenih regionalnim uvjetima i resursima. Električna energija iz solara i vjetra za elektrolizu nudi čisto i dostižno rješenje, posebno u obalnim regijama poput jadranske Hrvatske.

Pretvorba biomase iskorištava ostatke iz poljoprivrede i šumarstva, dok reformiranje metana uz hvatanje i skladištenje ugljika (CCS) služi kao prijelazno rješenje za djelomičnu dekarbonizaciju. Rasplinjavanje ugljena neće imati nikakvu ulogu u Republici Hrvatskoj.

Republika Hrvatska se suočava s velikim izazovima u gospodarenju otpadom zbog nedovoljne obrade otpada i otpora izgradnji postrojenja za spaljivanje goriva iz otpada, unatoč dugogodišnjim zahtjevima EU-a koji preferiraju takvu infrastrukturu. Tehnologije rasplinjavanja otpada i proizvodnje vodika nisu komercijalno dostupne, iako se najavljuju, nisu u dovoljnoj mjeri potkrepljene uvjerljivim, detaljnim podacima. Razina tehnološke spremnosti (TRL) tehnologije pretvaranja otpada u vodik procjenjuje se na 4 do 6, što ukazuje da su te tehnologije još uvijek u fazi razvoja i demonstracije.

Regionalne specifičnosti, uključujući potencijal obnovljive energije i industrijske sinergije, ključne su u određivanju najprikladnijih metoda proizvodnje vodika u cijeloj zemlji, povećavajući izvedivost, finansijsku održivost i održivost vodikovih projekata.

Regije s postojećom industrijskom infrastrukturom, kao što su petrokemijska postrojenja i postrojenja za proizvodnju amonijaka, mogu prilagoditi svoje procese za uključivanje vodika proizведенog iz obnovljivih izvora. To uključuje naknadno opremanje postojećih postrojenja za hvatanje emisija CO₂ i proizvodnju niskougljičnog vodika sve dok su lokacije za trajno zbrinjavanje CO₂ dostupne.

Urbana područja, poput Grada Zagreba, imaju znatne količine otpadnog mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda koji se potencijalno može iskoristiti za proizvodnju vodika. Ovaj pristup ne samo da bi osigurao obnovljivi izvor vodika i doprinosiso rješavanju problema gospodarenja otpadom.

Postojeća infrastruktura prirodnog plina u Republici Hrvatskoj može se iskoristiti za distribuciju vodika. Miješanje vodika s prirodnim plinom i njegovo korištenje u postojećoj plinskoj mreži može olakšati postupni prijelaz. Potrebno je pažljivo planirati umješavanje vodika u postojeću plinsku mrežu kako bi se osigurala kompatibilnost s postojećim uređajima i infrastrukturom.

3.5. Potencijal korištenja vodika u Republici Hrvatskoj

Vodik se može koristiti kao nositelj energije - gorivo u prometnom sektoru, kao medij za skladištenje u ekonomiji zelene energije ili kao gorivo u industrijskim visokotemperaturnim procesima. Također, vodik se koristi u kemijskoj industriji kao npr. u proizvodnji amonijaka (NH₃).

Širenje primjene vodika u Republici Hrvatskoj ima uporište u EU direktivama i propisima kao što je RED III i politikama hrvatske vlade, a cilj mu je smanjenje emisija stakleničkih plinova i promicanje tehnologija čiste energije. U sljedećim poglavljima bit će objašnjeno kako se primjena vodika, opisana u poglavlju 2.2, može implementirati u Republici Hrvatskoj s obzirom na njezine regionalne karakteristike. Naglasak će biti na strateškom pozicioniranju primjene vodika u prometnom sektoru, industriji te u sektoru proizvodnje električne i toplinske energije kako bi se osigurala održiva i otporna energetska budućnost.

3.5.1. Scenariji

Za analizu cestovnog prometa primijenjen je pojednostavljeni model strukture prometa s četiri glavne kategorije: osobna vozila (mala, srednja, velika), kamioni, tegljači i autobusi. Prepostavljeno je jednak povećanje broja vozila u svim kategorijama: 1,25% godišnje do 2030. godine, 0,75% godišnje za razdoblje 2031. - 2040. godine i 0,5% za razdoblje 2041. - 2050. godine. Zamjenom cestovnih ICE vozila FCEV vozilima smanjuje se potrošnja energije vozila jer FCEV vozila imaju veću učinkovitost pretvorbe goriva u mehaničku energiju. Prepostavlja se da će se do 2050. godine poboljšati učinkovitost FCEV vozila za 7,5%. Izračun se temeljio na pretpostavci da će se vodik koristiti u vozilima koja u prosjeku prelaze nešto veću kilometražu od današnje prosječne kilometraže za svaku kategoriju vozila. Uštede emisija CO₂ izračunate su metodološki prema RED III, upotrebom metode Procjene životnog ciklusa(LCA).

U cestovnom prometu do 2030. godine simulirana su dva scenarija: osnovni scenarij i scenarij visoke potrošnje. U **Osnovnom scenariju** pretpostavljena je nešto viša potrošnja RFNBO-a u odnosu na obvezujuće ciljeve RED III direktive. Primjena FCEV vozila je simulirana kroz sve kategorije cestovnih vozila, najviše kod teških vozila i autobusa. Potrošnja je usklađena s planiranim povećanjem broja punionica vodika i proizvodnjom domaćeg obnovljivog vodika.

Scenarij visoke potrošnje ima za cilj da obnovljivi vodik dosegne ukupno 7,4% potrošnje energije u prometu do 2030. godine. Time bi Republika Hrvatska uz primjenu ostalih obnovljivih goriva dostigla cilj OIE od 29% u prometu do 2030. godine. Također, provedena je analiza kako bi se utvrdilo koliko bi obnovljivog vodika bilo potrebno za postizanje cilja smanjenja emisija CO₂ u prometu za 14,5% do 2030. godine, prema metodologiji izračuna propisanoj RED III direktivom.

Jača primjena vodika u cestovnom prometu očekuje se u razdoblju između 2031. i 2040. godine. Prepostavlja se da će troškovi emisije CO₂ postati dio cijene goriva, što će započeti uvođenjem ETS II za promet i zgrade od 2027. godine. Usporedba troškova po kilometru putničkih vozila pokazala je da s padom cijene vodika ispod 7 €/kg i cijenom CO₂ od 100 €/t, vozila na vodik postaju potpuno konkurentna vozilima na ICE i vrlo blizu BEV vozilima, sa specifičnim troškom od cca. 0,25 €/km.

U razdoblju do 2050. godine, potrebno je postići ugljičnu neutralnost. Promet će se oslanjati na električnu energiju, biogoriva, obnovljivi vodik te sintetička i druga goriva s niskim udjelom ugljika. Prema ovoj Studiji, ukupna potražnja za obnovljivim izvorima energije u 2050. godini uz dodatne potrebe za proizvodnjom vodika za promet i industriju, dosegnut će maksimalne raspoložive prirodne kapacitete za sunčevu energiju i energiju vjetra kako je procijenjeno Strategijom energetskog razvoja (Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, 2020).

Metodologija za druge oblike prijevoza i za industriju opisana je u nastavku.

3.5.2. Promet

Vodik ima prednosti u odnosu na baterije za primjenu u prijevozu na veće udaljenosti gdje su ključni visoka gustoća energije i brzo punjenje. Osobito je koristan za kamionski prijevoz na duge relacije, pomorski prijevoz, zrakoplovstvo i velika industrijska vozila, gdje bi težina i veličina baterija potrebnih za pružanje sličnih performansi bila nepraktična (vidi Sl. 5). Vodik se također razmatra za autobuse i vlakove javnog prijevoza u regijama kojima nedostaje opsežna elektrifikacijska infrastruktura, nudeći čišću alternativu dizelskom gorivu uz osiguranje operativne učinkovitosti i fleksibilnosti. Očekuje se da će do 2050. godine vozila s pogonom na vodik činiti značajan dio nacionalnog voznog parka u Republici Hrvatskoj, a projekcije pokazuju da će do 40% autobusa i 10% kamiona biti pogonjeno vodikom.

Promet		Tehnologije dekarbonizacije
	Cestovni	Automobili Dostavna vozila, kombiji Kamionske prikolice Gradski autobusi Građevinska vozila Specijalizirana vozila/Kamioni za odvoz smeća
	Željeznički	Putnički vlakovi Teretni vlakovi Manevarske lokomotive
	Pomorski/riječni	Trajekti Putnički brodovi/mali kruzeri Teretni brodovi Tegljači Rekreacijska plovila/jahte
	Zrachi	Zrakoplovi
		Električna vozilo na baterije (BEV)
		Električna vozila s višećim vodovima
		Motor s unutarnjim izgaranjem na biogoriva
		Motor s unutarnjim izgaranjem na vodik (ICEH2)
		Električno vozilo s vodikovim gorivnim člancima (FCEV)
		Mlazni motor (vodik)
		Električno vozilo s gorivnim člancima s metanolom
		Motor s unutarnjim izgaranjem (e-goriva)
		Motor s unutarnjim izgaranjem (amonijak)
		Gorivni članci s amonijakom
		Mlazni motor (e-goriva)

Sl. 5: Tehnologije dekarbonizacije za sektor prometa (plavom bojom su označene tehnologije temeljene na vodiku)

Regulatorni okvir

Odgovarajući regulatorni okvir ključan je za poticanje vodikove ekonomije u sektoru prometa. Propisi koji potiču korištenje obnovljivog vodika ključni su za osiguranje usklađivanja aktivnosti i odluka o ulaganjima u sektoru prometa sa širim ekološkim ciljevima. Ovaj regulatorni okvir uključuje posebne poticaje, standarde i namjenske ciljeve osmišljene za promicanje usvajanja vodikovih tehnologija u ovom sektoru.

Uloga obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla u sektoru prometa

Prema Direktivi o obnovljivoj energiji, RED III, do 2030. godine, najmanje 29% udjela obnovljive energije u neposrednoj potrošnji energije u sektoru prometa mora dolaziti iz obnovljivih izvora, uključujući obnovljiva goriva nebiološkog podrijetla (eng. Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBOs)). Direktiva nalaže da do 2030. godine minimalni kombinirani udio naprednih biogoriva, bioplina i RFNBO-a treba doseći 5,5%, s najmanje 1% obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla (vodika). Obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla je ključno za dekarbonizaciju segmenata sektora prometa koje je teško elektrificirati, kao što su kamionski prijevoz na duge relacije, zrakoplovni i pomorski promet. Kako bi se kvalificirao kao RFNBO prema propisima EU-a, vodik se mora proizvoditi elektrolizom koristeći električnu energiju iz obnovljivih izvora, osiguravajući gotovo nulte emisije stakleničkih plinova tijekom životnog ciklusa.

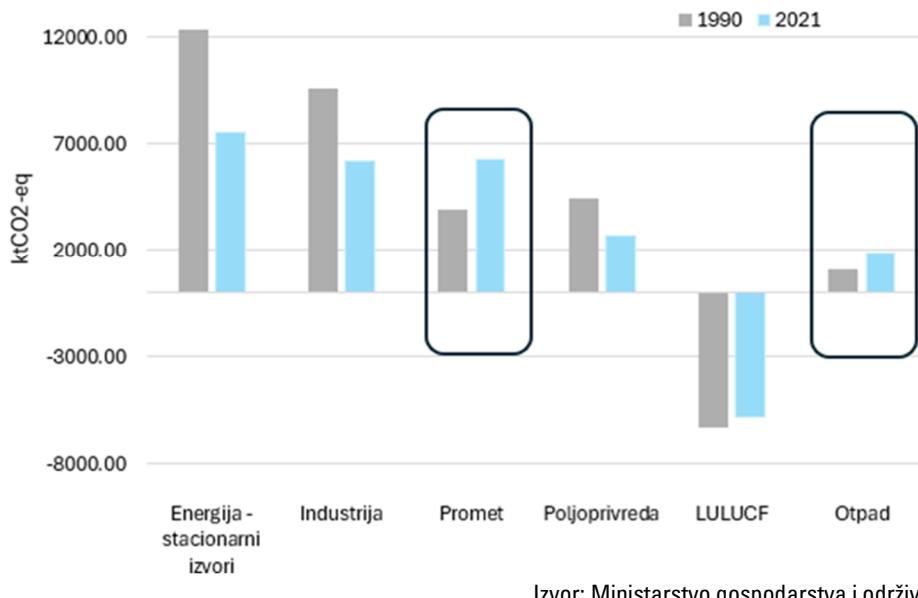
NECP2023 postavlja cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za -16,7% u usporedbi s emisijama iz 2005. godine u ne-ETS sektoru (mala industrija, transport, kućanstva i usluge, energetske emisije iz poljoprivrede i zgradarstva, poljoprivreda, gospodarenje otpadom). Ako sektor koji nije obuhvaćen Sustavom trgovanja emisijama ne ispuni cilj, postignuti krediti za smanjenje mogu se uzeti iz sektora LULUCF (Korištenje zemljišta, promjena korištenja zemljišta i šumarstvo), pod uvjetom da LULUCF ima ponor iznad cilja definiranog u Uredbi LULUCF 2023/ 839 EU. Moguće je i obrnuto, ako se smanjenje iznad cilja postigne u sektoru koji nije obuhvaćen ETS-om, ono se može prenijeti na LULUCF sektor. Sve jedinice smanjenja mogu biti podložne trgovini sa zemljama EU. Udio OIE u sektoru prometa je prikazan u Tab. 10.

Tab. 10: OIE u prometu – današnji udio i ciljevi za 2030. godinu

Stanje u 2021.	Ciljevi za 2030.		
	Cilj iz RED II	Hrvatska NECP 2023	Cilj iz RED III
Udio OIE u prometu	7,1%	14%	21,6%
			29%

Primjena vodika u različitim sektorima prometa

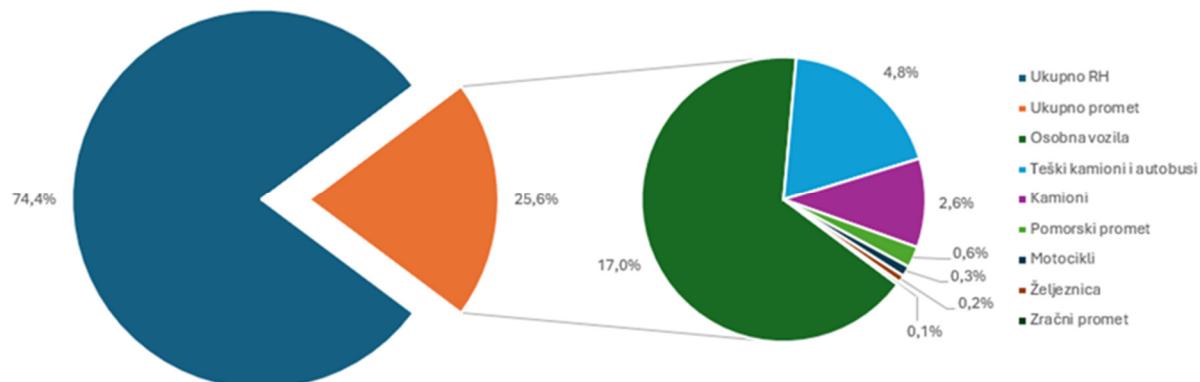
U smislu smanjenja emisija stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj, sektor prometa predstavlja najveći izazov. Osim sektora gospodarenja otpadom, sektor prometa jedini je u kojem su emisije kontinuirano rasle od 1990. do 2020. godine, u iznosu od 61 % (vidi Sl. 6).



Izvor: Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja, 2023b

Sl. 6: Trend emisija stakleničkih plinova od 1990. do 2021. godine

Cestovni promet emitira 25,6% stakleničkih plinova u Republici Hrvatskoj. Najveći udio u emisijama iz prometa čine osobna vozila s 17%, a teretna vozila i autobusi s 4,8%. Udio pojedinih vrsta prometa u emisiji stakleničkih plinova prikazan je na Sl. 7.



Izvor: Ekonerg, 2023.

Sl. 7: Udeo pojedinih vrsta prometa u emisijama stakleničkih plinova Republike Hrvatske u 2021. godini izražen u %

U Republici Hrvatskoj registrirano je oko 1,8 milijuna osobnih vozila. Od toga je oko 6 tisuća električnih vozila, a 3 tisuće plug-in hibrida. Kada se isključe vozila koja se koriste u demonstracijske svrhe, nema registriranih osobnih vozila na vodikov pogon.

U cestovnom prometu korištenje vodika treba usmjeriti prema prijevozu teških tereta, autobusnom prijevozu i putničkim vozilima s velikom godišnjom kilometražom (dostavna vozila, taksi vozila, ostale službe) te vozilima većeg opterećenja.

Autobusi

Vodikove gorivne ćelije identificirane su kao adekvatna opcija za javne autobuse, posebno u urbanim područjima gdje smanjenje lokalnih emisija može biti kritično. Postoje planovi za uvođenje autobusa na vodik u gradske autobusne flote i servisna vozila, s ciljem smanjenja gradskog onečišćenja zraka i smanjenja ovisnosti o fosilnim gorivima i time demonstriranja prednosti vodika u svakodnevnoj uporabi.

„Pravilnik o obvezi izvješćivanja Europske komisije i minimalnim ciljevima u postupcima javne nabave vozila za cestovni prijevoz“ (Narodne novine 86/2021) definira minimalne ciljeve javne nabave za udio čistih lakih i teških vozila, za javne ustanove i pružatelje javnih usluga u cestovnom prometu. Do 2025. godine, 27% novih autobusa trebala bi biti čista vozila. Od 1. siječnja 2026. do 2030. godine, 38% novih autobusa trebala bi biti čista vozila, od čega 50% vozila s nultom emisijom CO₂.

U gradskom prijevozu u Republici Hrvatskoj 2022. godine prometuje 1337 autobusa. U razdoblju 2026. - 2030. godine, nabavit će se oko 500 novih autobusa, od čega bi 190 vozila trebala biti 'čista vozila', a 95 vozila s nultom emisijom (Električno vozilo na baterije ili Električno vozilo s gorivnim člancima).

Usporedna analiza pokazuje da su životni troškovi rada javnih gradskih autobusa približno jednaki za sve tri vrste goriva (dizelsko gorivo, električna energija, vodik) oko 1,45 € po kilometru. Iako je utvrđeno da su električni autobusi na baterije nešto povoljniji, ova procjena nije uzela u obzir troškove izgradnje stanica za punjenje ili zastoje tijekom punjenja. Za razliku od punionica za vodik, izgradnja punionice za baterijske električne autobuse zahtijeva znatno više prostora i dodatne troškove za priključak na elektroenergetsku mrežu. Na primjer, istodobno punjenje približno deset električnih autobusa na baterije zahtijeva priključnu snagu od najmanje 1,5 MW.

Promet teških vozila i promet na većim udaljenostima

Vodik se posebno ističe zbog svoje prednosti brzog punjenja, manje težine i općenito veći domet za teška teretna vozila, a što su ograničenja trenutnih baterijskih električnih vozila. Očekuje se da će pilot projekti testirati i ispitati izvedivost i učinkovitost kamiona na vodik na glavnim prometnim rutama.

Osobni automobili

Razvoj sveobuhvatne mreže punionica na vodik ključan je za pozicioniranje vozila na vodik. Planovi uključuju postavljanje više punionica vodika na glavnim autocestama i u velikim gradovima kako bi se osigurala dostupnost i pogodnost za korisnike vozila na vodik. Kako bi vozila na vodik postala konkurentna alternativa konvencionalnim i električnim vozilima predlaže se uvođenje dodatnih poreznih poticaja i subvencija za kupce vozila na vodik što uključuje osobne automobile i komercijalne flote.

Struktura prometnog sektora prikazana je u Tab. 11. Broj osobnih i teretnih vozila raste, a porast je zabilježen i u godinama COVID krize. Broj autobusa se smanjivao. Republika Hrvatska ima 475 osobnih vozila na tisuću stanovnika, a u Europskoj uniji raspon je od 400 (Rumunjska) do 700 (Poljska).

Tab. 11: Struktura prometnog sektora u Republici Hrvatskoj (2016.-2022.)

Kategorija vozila	2016.	2017.	2018.	2019.	2020.	2021.	2022.
Kopnena vozila							
Osobna vozila	1,552,904	1,596,087	1,666,413	1,724,900	1,724,285	1,795,465	1,840,767
Autobusi	5,513	5,698	5,877	6,041	5,237	5,206	5,633
Kamioni	146,230	156,724	169,175	180,505	188,505	193,316	208,352
Teški kamioni	10,443	11,334	12,229	12,976	13,781	14,586	15,371
Lokomotive	284	285	298	285	306	260	254

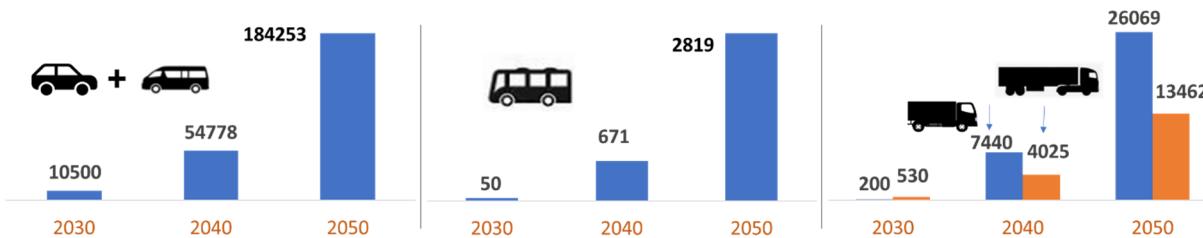
Brodovi u morskom prometu >

100 BT

- putnički brod	197	210	228	247	251	261	261
- teretni brod	157	149	152	153	152	151	152

Izvor: Državni zavod za statistiku 2017.-2023.

Na Sl. 8. prikazan je očekivani broj vozila s gorivnim člancima do 2050. godine, pri čemu je broj vozila u 2030. godine određen zahtjevom cilja za korištenje obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla. Podatak najvećeg značenja je broj autobusa. Od najavljenih potencijalnih projekata, Grad Zagreb razmatra 20 autobusa, dok ostali gradovi u Republici Hrvatskoj zajedno planiraju ukupno oko 50 autobusa na vodik.



Sl. 8: Očekivan broj vozila s gorivnim člancima prema Osnovnom scenariju Studije

Tab. 12: Udio i potrošnja obnovljivog vodika u cestovnom prometu – Osnovni scenarij Studije

Godina	Kategorija	Udio	t _{H2}
2030.	Osobna vozila	0.52%	1,502
	Kamioni	0.09%	367
	Traktori-prikolice	3.12%	2,114
	Autobusi	0.80%	289
	Ukupno	4,272	
2040.	Osobni automobili	2.50%	7,051
	Kamioni	3.00%	12,461
	Traktori-prikolice	22.00%	14,639
	Autobusi	10.00%	3,529
	Ukupno	37,681	
2050.	Osobni automobili	8.00%	22,130
	Kamioni	10.00%	40,742
	Traktori - prikolice	70.00%	45,687
	Autobusi	40.00%	13,846
	Ukupno	122,405	

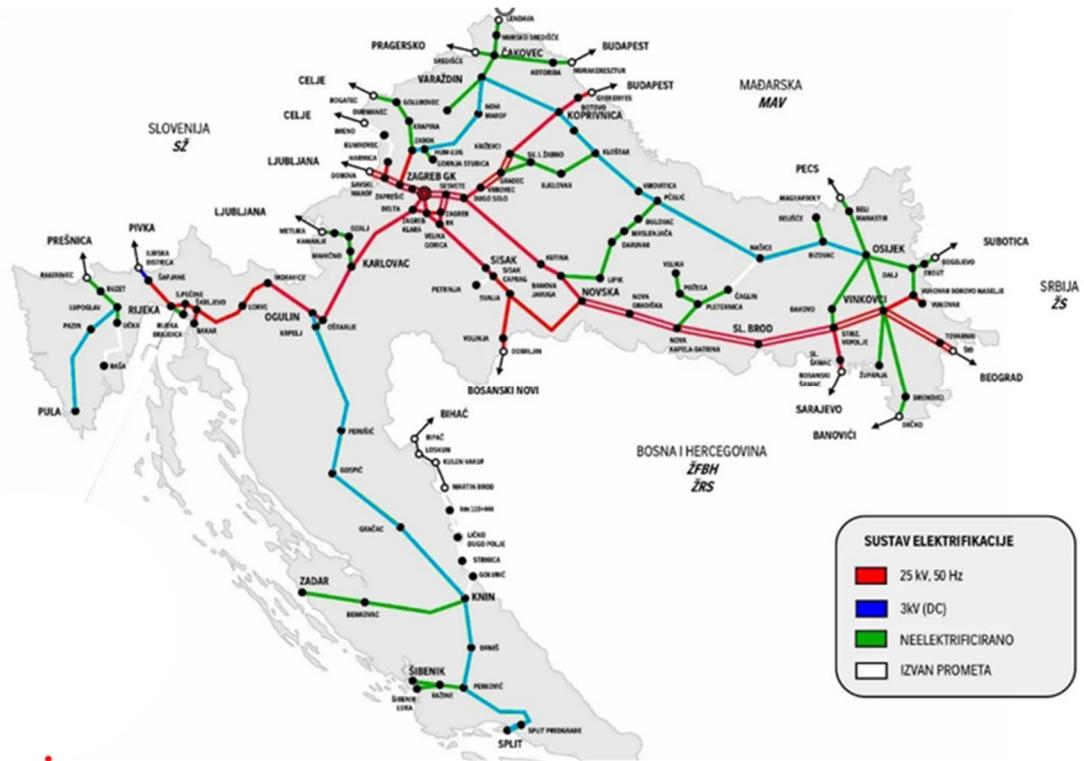
Željeznički promet

Prema statistici Europske komisije (Eurostat, 2023) od 2022. godine, električna energija kao izvor energije za pogon vlakova porasla je tijekom godina u većini država članica EU. No, još uvijek vlakovi na dizelsko gorivo čine oko 50% sadašnjeg voznog parka u Europi, dok se u Republici Hrvatskoj dizelsko gorivo koristi za pogon između 48% i 53% vlakova. U Republici Hrvatskoj izgrađeno je 2617 km željezničkih pruga, a elektrificirano je samo 980 km. Željeznička infrastruktura je u procesu obnove i modernizacije. Do 2030. godine planira se rekonstruirati oko 750 km pruge. U pripremi i provedbi je 19 ključnih investicijskih projekata. Projekti su dio Transeuropske prometne mreže (TEN-T), odnosno nalaze se na hrvatskom dijelu Mediteranskog koridora.

U željezničkom prometu korištenje vodika dolazi u obzir tamo gdje nije provedena elektrifikacija mreže. Na takvim dionicama pogodna je i uporaba hibridnih baterijsko-električnih vlakova te isključivo baterijskih vlakova, koji za sada još uvijek imaju relativno mali domet, do 100 km.

Prema dostupnim informacijama, Hrvatske željeznice čekaju isporuku dvaju baterijskih elektromotornih vlakova, jednog hibridnog i jednog baterijskog, za koje će biti izgrađeno ukupno šest punionica, i to u Zagrebu, Osijeku, Splitu, Bjelovaru, Varaždinu i Virovitici.

Korištenje vodika može postati opravdano na dionicama koje imaju slabiju prometnu frekvenciju pa ih stoga nije opravdano elektrificirati. Prema istraživanjima, konkurentnost se postiže na dužim neelektrificiranim dionicama od 100 km i uz nisku iskorištenost – do 10 vlakova dnevno. Domet vlakova na vodik može biti do 800 km. U Republici Hrvatskoj nije elektrificirano nekoliko dionica koje imaju nisku dnevnu iskoristivost: dionica Oštarije-Split (320 km), Varaždin-Dalj (250 km) i Lupoglav-Pula (58 km). Dionice prikladne za vlakove na vodik prikazane su na Sl. 9.



Izvor karte: HŽ teretni prijevoz

Sl. 9: Dionice željezničke mreže pogodne za vlakove na vodik, označeno plavom bojom

Zbog očekivanog povećanja ukupnog željezničkog tereta za 100% do 2050. godine morat će se povećati ukupan broj lokomotiva. Kako potpuna elektrifikacija željezničke mreže nije moguća, željeznički promet treba tehnologije koje će mu omogućiti postupni prelazak s dizelskog goriva kako bi ostao najodrživiji oblik kopnenog prometa. Osim nabave novih vlakova na vodikov pogon, važnu ulogu u tome može odigrati i modernizacija postojećih dizelskih lokomotiva te zamjena dizelskih motora s vodikovim pogonom.

Tab. 13: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u željezničkom prometu prema Osnovnom scenariju Studije

	2030.	2040.	2050.
Udio obnovljivog vodika u ukupnoj željezničkoj potrošnji	1.33%	4.08%	8.55%
Potrošnja obnovljivog vodika u željezničkom prometu	153 t	459 t	919 t

Pomorski promet

Kao glavna snaga Republike Hrvatske, razvedena Jadranska obala i njezini brojni otoci istaknuta su turistička odredišta, poznata po svojoj prirodnoj ljepoti i privlačnosti. Ova regija ima znatnu prometnu infrastrukturu, uključujući velike luke poput Rijeke, kao i industrijske objekte poput rafinerije i tvornica cementa.

U Republici Hrvatskoj u pomorskom prometu sudjeluje oko 310 plovila većih od 100 BT. Oko 85% tih plovila su putnički brodovi, a ostatak se koristi za prijevoz robe. U riječnom prometu ima oko 120 brodova. Najmanji broj ovih brodova, oko 10%, su motorni teretnjaci i motorni tankeri, dok najveći dio čine ne samohodna plovila.

Brodarstvo je veliki potrošač fosilnih goriva. Potencijal za korištenje vodika u hrvatskom pomorskom sektoru, uključujući trajekte, male brodove i čamce, jedinstveno je priliku za dekarbonizaciju sektora komercijalnog brodarstva i unapređenje zelenog turizma. Ova sinergija između zelenog turizma i vodikove tehnologije može Republiku Hrvatsku pozicionirati kao vodeću destinaciju za održiva putovanja u Europi. U tu svrhu bit će potrebno izgraditi odgovarajuću infrastrukturu (punionice u lukama) te zamijeniti ili preinačiti postojeće brodove.

Tab. 14: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u pomorskom prometu prema Osnovnom scenariju Studije i ciljanom udjelu u 2030. godini

	2030	2040	2050
Udio obnovljivog vodika u ukupnoj potrošnji pomorskog prometa	2.65%	5.00%	8.0%
Potrošnja obnovljivog vodika u pomorskem prometu	432 t	784 t	1,200 t
Cilj prema RED III	>1.2%	-	-

Zračni promet

Zbog strogih sigurnosnih i tehnoloških zahtjeva vodik se smatra alternativom za smanjenje ugljičnog otiska zrakoplovstva na duži rok.

U zračnom prometu potrošnja goriva za domaće letove relativno je mala u usporedbi s gorivom isporučenim za međunarodne letove. Prema Uredbi (EU) 2023/2405, čiji je cilj osigurati jednake uvjete tržišnog natjecanja za održivi zračni prijevoz (ReFuelEU Aviation), dobavljači zrakoplovnog goriva imaju posebne obveze do 2050. godine. Scenarij predviđa da će do 2030. godine 1,2% potrošnje goriva dolaziti iz vodika, otprilike 29 tona godišnje. Do 2040. godine to će porasti na 6%, odnosno 145 tona godišnje, a do 2050. godine dosegnut će 20%, odnosno 483 tone godišnje. Tijekom prvih deset godina predviđa se uvoz potrebnih količina.

Na temelju izračuna, a uzimajući u obzir razvoj tržišta i regulatorne okvire, očekivana uporaba obnovljivog vodika u zrakoplovstvu prikazana je za 2030., 2040. i 2050. godinu kako je navedeno u Tab. 15.

Tab. 15: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u zrakoplovstvu prema Osnovnom scenariju Studije

	2030	2040	2050
Udio obnovljivog vodika u ukupnoj potrošnji zrakoplovstva	1.2%	6.0%	20.0%
Potrošnja obnovljivog vodika u zrakoplovnom prometu	29 t	145 t	483 t
Cilj ReFuelEU zrakoplovstva (sintetsko niskougljično gorivo i gorivo na temelju vodika)	>0.7%	>8%	>28%

Rekapitulacija ciljeva uporabe obnovljivog vodika u prometu za sve oblike prijevoza do 2030. godine prema Osnovnom scenariju Studije prikazana je u Tab.16.

Tab. 16: Očekivana uporaba obnovljivog vodika u prometu prema Osnovnom scenariju Studije

Vrsta vozila	2030 [t/a]	2040 [t/a]	2050 [t/a]
Osobni automobili	1,502	7,051	22,130
Kamioni	367	12,461	40,742
Teški kamioni	2,114	14,639	45,687
Autobusi	289	3,529	13,846
Željeznički promet	153	459	919
Pomorski promet	432	784	1,200
Zračni promet	29	145	483
Ukupno	4,885	39,069	125,008

Kao što je već gore navedeno, Osnovni scenarij za određivanje potencijala prepostavlja da su ispunjene obveze iz Direktive o obnovljivoj energiji i delegiranih akata koji se odnose na zračni promet.

Scenarij visoke potrošnje

Osim Osnovnog scenarija, Studija je analizirala Scenarij visoke potrošnje vodika. Scenarij visoke potrošnje simulirao je potrošnju vodika, što odgovara 7,4% ukupne potrošnje energije u prometu (izračunato prema metodologiji RED III). Ovakvom količinom Republika Hrvatska bi podigla udio OIE s 21,6% na 29%, što je cilj RED III. Ovaj Scenarij je veoma izazovan zbog kratkog vremenskog okvira. Također, Scenarijem se analizira

koliko bi obnovljivog vodika bilo potrebno za postizanje ciljeva smanjenja emisije CO₂ u prometu za 14,5% do 2030. godine, utvrđeno prema metodologiji izračuna RED III. Izračun pokazuje da bi za to bila potrebna približno slična količina obnovljivog vodika koliko je potrebno za povećanje udjela OIE za 7,4%.

Tab. 17: Usporedba Osnovnog scenarija i Scenarija visoke potrošnje uporabe vodika u prometu

	Obnovljivi vodik u prometu	Udio ukupne potrošnje prometa (izračunato prema RED III metodologiji)
Osnovni scenarij	4.88 kt	1.25%
Scenarij visoke potrošnje	28.2 kt	7.4%

Osnovni scenarij Studije u odnosu na 2021. godinu bi smanjio emisije stakleničkih plinova za:

- **59 kt CO₂-eq u 2030,**
- **457 kt CO₂-eq u 2040 i**
- **1,462kt CO₂-eq u 2050.**

Za izračun ušteda emisije pretpostavljeno je da će se emisije ekvivalenta CO₂ smanjiti za 70% u usporedbi s korištenjem fosilnih goriva (LCA pristup). U praksi se očekuje da će uštede premašiti minimalno smanjenje od 70% koje propisuje RED III.

Dodatne mjere podrške za primjenu vodika u prometnom sektoru

Razvoj potporne infrastrukture

Punionice vodika planirane su duž ključnih prometnih koridora i u blizini industrijskih čvorišta gdje se planira korištenje obnovljivog vodika. Takav položaj punionica osigurava da vozila na vodik imaju mogućnost punjenja gorivom diljem zemlje. Inovacije kao što su punionice velikog kapaciteta i napredna rješenja za pohranu uvode se na punionice vodika kako bi se poboljšala učinkovitost i sigurnost usluge, što omogućava punjenje vodikom usporedivim s konvencionalnim gorivima. Studija predlaže 16 punionica vodika duž TEN-T ruta i u gradskim čvorištima. Nacionalni plan oporavka i otpornosti dodjeljuje sredstva za šest punionica do 2026. godine i četiri punionice kroz Program konkurentnosti i kohezije od 2021. do 2027. godine. Dodatne punionice morat će se financirati putem drugih mehanizama, kao što su privatna ulaganja, razvojne i komercijalne banke. U ožujku 2024. godine, Ministar gospodarstva i održivog razvoja odobrio je 23 milijuna eura iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti te Programa za koheziju i koherentnost (2021-2027) za punionice vodika, pri čemu je polovica tog iznosa dodijeljena za provedbu u 2024. godini.

Podrška u istraživanju

Planirano je kontinuirano ulaganje u istraživanje i razvoj kako bi se odgovorilo na tehnološke i ekonomске izazove povezane s vodikom. To uključuje poboljšanje učinkovitosti gorivnih čelija, smanjenje troškova proizvodnje vodika i osiguranje sigurnosti rješenja za transport i skladištenje vodika.

Tehnološka integracija i demonstracije

Planirano je ili je u tijeku nekoliko pilot projekata kako bi se prikazala učinkovitost vozila s pogonom na vodik u gradskim i ruralnim sredinama. Ovi projekti pomažu u procjeni izazova u provedbi i realnih pokazatelja učinkovitosti transporta vodika. Ulažu se naporci da se proizvodnja vodika izravno poveže s instalacijama za

obnovljivu energiju, kao što su solarne ili vjetroelektrane, posebno u područjima gdje su ti resursi značajni. Ova integracija ima za cilj osigurati da proizvodnja vodika za promet bude što zelenija i održivija.

Uključivanje dionika i informiranje javnosti

Postoji znatan poticaj prema suradnji s proizvođačima vozila i energetskim tvrtkama kako bi se ubrzalo usvajanje vodikovih tehnologija u prometu. Ova partnerstva pomažu u usklađivanju tehnološkog razvoja s potrebama tržišta. Pokreću se kampanje i informativni programi za educiranje dionika i šire javnosti o prednostima i sigurnosti vodika, s ciljem povećanja prihvjeta njegove uporabe.

3.5.3. Industrija

Dok industrije diljem svijeta nastoje smanjiti svoje ugljične otiske i prihvati održive prakse, svestranost vodika i potencijal za integraciju u različite industrijske procese čine ga ključnom komponentom u prijelazu na čišće izvore energije i odmaku od fosilnih goriva. Njegove primjene sežu od sirovina u kemijskoj proizvodnji (neenergetske primjene) do goriva u industrijskim procesima koje karakteriziraju intenzivni energetski zahtjevi, pozicionirajući vodik kao temelj zelene industrijske revolucije. Industrije s vlastitim obnovljivim izvorima električne energije proizvodit će vodik iz viška električne energije. Vodik se može pohraniti i koristiti po potrebi, čime je moguće smanjiti ovisnost o električnoj energiji iz mreže.

Trenutna industrijska primjena sivog vodika u Republici Hrvatskoj veliki je potencijal za prelazak na obnovljivi vodik u preradi nafte i proizvodnji naftnih derivata u Rafineriji nafte Rijeka te proizvodnji amonijaka u Petrokemiji Kutina.

Cementna industrija zajedno s ostalom mineralnom industrijom čini približno 11% nacionalnih emisija CO₂ te je najveći emiter CO₂ u Republici Hrvatskoj. Potencijalne mjere za smanjenje ovih emisija uključuju poboljšanje energetske učinkovitosti tijekom proizvodnog procesa, primjenu tehnologija za hvatanje i skladištenje (ili korištenje) ugljika (CCS / CCU), korištenje biogoriva i alternativnih goriva te primjenu obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla. Iako je to tehnički izvedivo, tvornice cementa u Republici Hrvatskoj ne planiraju uvođenje vodika kao zamjenskog goriva prije 2030. godine. Ipak, očekuje se da će se svjetska iskustva, poput onih iz tvornica CEMEX u Meksiku, u budućnosti prenijeti u tvornice u Republici Hrvatskoj. Još jedan veliki proizvođač cementa, HOLCIM, također testira izvedivost korištenja vodika u svojim postrojenjima.

Dodatni industrijski sektori u Republici Hrvatskoj, koji bi mogli uključiti vodik u svoje aktivnosti za dekarbonizaciju uključuju:

- Proizvodnja stakla i izolacijskih materijala: vodik može zamijeniti fosilna goriva u visoko temperaturnim procesima bitnim za proizvodnju stakla i izolacijskih materijala.
- Prerada hrane: vodik bi se mogao sve više koristiti za procese hidrogenacije u prehrambenoj industriji, kao što je proizvodnja margarina.
- Industrija celuloze i papira: Pilot projekti u Europi pokazuju da bi vodik teoretski mogao zamijeniti sva fosilna goriva koja se koriste u ovim industrijama.
- Proizvodnja vapna i proizvoda od vapna.
- Industrija opeke, crijepe i keramike.
- Izrada izolacijskih mineralnih proizvoda.

U Republici Hrvatskoj vodik se koristi u Petrokemiji Kutina i u Rafineriji nafte Rijeka, a vrlo male količine u ostalim industrijama. Prema podacima INA-e, udio vodika u proizvodima koji se ne koriste u prometnom sektoru je zanemariv (trenutno manje od 5% proizvoda).

Iz navedenog proizlazi da se cilj obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla neće odnositi na Rafineriju nafte Rijeka. Ako će Rafinerija nafte Rijeka koristiti obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla umjesto sivog vodika iz parnog reformiranja metana, to će se moći računati kao doprinos cilju sektora prometa.

Izračun cilja, uz pretpostavku proizvodnje u rasponu od one ostvarene 2021. godine do najveće moguće proizvodnje, je prikazan u Tab. 18.

Tab. 18: Izračun cilja (indikativan) za obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla u industriji do 2030. i 2035. godine

Stavka	Količina H ₂ [kt]
Ukupna proizvodnja vodika (SMR)	71.0 – 141.2
Vodik za potrošnju u industriji	51.0 – 80.0
Cilj obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla do 2030. (42%)	21.4 – 33.6
Cilj obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla 2035. (60%)	30.6 – 48.0

Zamjena 42% 'sivog' vodika s obnovljivim vodikom (RFNBO) dobivenim elektrolizom vode zahtjevala bi oko 1500 MW obnovljive električne energije (za maksimalnu proizvodnju amonijaka). To pokazuje da će postizanje cilja od 42% zamjene obnovljivim vodikom do 2030. godine biti izazov za Petrokemiju, a time i za Republiku Hrvatsku. Potrebno je na vrijeme započeti pregovore s Europskom unijom o načinu prijenosa odredbi u nacionalno zakonodavstvo i specifičnostima Republike Hrvatske. Što se tiče ostvarenja cilja od 42% u industriji, treba istaknuti da je Republika Hrvatska u posebnom položaju jer ima samo jedan industrijski pogon na koji se odnosi cilj RFNBO. Ciljevi RED III odnose se na cijeli sektor. Direktiva ne zahtijeva izravni prijenos pojedinačnim subjektima, a na državama članicama je da odluče kako postići ovaj sektorski cilj. To je predmet promišljanja prilikom prijenosa RED III u hrvatsko zakonodavstvo i usklađivanja s tumačenjima Europske komisije.

Kao što je ranije navedeno, sektor proizvodnje nemetalnih mineralnih proizvoda je najveći izvor emisije CO₂ u industriji. U 2021. godini proizvedeno je 2.825 kt Portland cementa. Proizvodnja specijalnog aluminatnog cementa je oko 100.000 tona godišnje. U proizvodnji cementa oko 60% emisija CO₂ dolazi iz proizvodnog procesa. Izravna emisija CO₂ u procesu proizvodnje cementa uzrokovanata je kemijskom reakcijom proizvodnje klinkera u pećima.

Preinakama je tehnički moguće u potpunosti zamijeniti fosilna goriva vodikom u industriji cementa. Tvornice cementa tek 2030. godine planiraju uvesti vodik kao zamjensko gorivo. Korporacija CEMEX, se u dvije tvornice cementa u Meksiku počela koristiti vodikom. Očekuje se da će se stečena iskustva prenijeti u tvornice u drugim zemljama, pa tako i u svoje splitske pogone. Grupacija Holcim također testira primjenu vodika.

Procjena uporabe vodika u industriji je prikazana u Tab. 19, a po industrijskim granama na Sl. 10.

Tab. 19: Projekcija uporabe obnovljivog vodika u industriji

Industrija	2030 [kt _{H2}]	2040 [kt _{H2}]	2050 [kt _{H2}]
Potrošnja energije	0.1	6.1	32.7
Neenergetska potrošnja	21.4	37.2	51.0

Procjenjuje se da će uporaba vodika smanjiti emisije stakleničkih plinova u industrijskom sektoru (industriji koja ima potencijal za smanjenje) za 5,5% u 2030. godini, za 11,5% u 2040. godini i za 24,6% u 2050. godini. (vidi Tab. 20).

Tab. 20: Smanjivanje CO₂ emisija u industriji uporabom vodika

	2030 [kt _{CO2}]	2040 [kt _{CO2}]	2050 [kt _{CO2}]
Potrošnja energije	1.4	56.4	323.1
Neenergetska potrošnja	153.4	266.6	365.5
Total	154.8	323.0	688.6
Smanjenje emisija u industriji u usporedbi s 2021.	-5,5%	-11,5%	-24,6%

Očekuje se da će **do 2030.** godine industrija prerade nafte i proizvodnja amonijaka u Republici Hrvatskoj ostati najveći potrošači vodika, vidi sliku 10. Očekuje se da će obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla činiti 42% ukupnog vodika koji se koristi u proizvodnji amonijaka. Upotreba vodika u drugim industrijama bit će ograničena na istraživanja i male pilot projekte, s razinama proizvodnje koje će se zadržati na razinama iz 2021. godine.

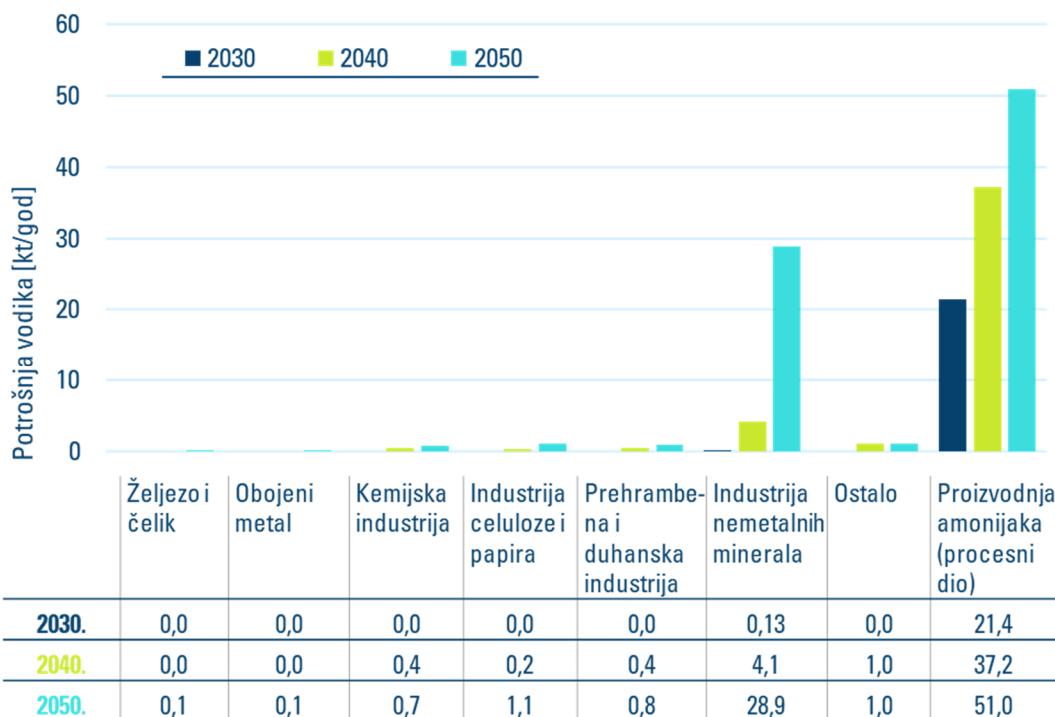
Do 2040. godine, industrija proizvodnje amonijaka koristit će više od 73% obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla kako bi ispunila hrvatski cilj od 60% do 2035. godine. Cementna industrija pripremat će se za implementaciju postrojenja za hvatanje i korištenje i skladištenje ugljika (CCUS), koja će biti operativna do 2040. godine, koristeći se vodikom kao dodatnom mjerom za smanjenje CO₂. Industrija će sunčeve elektrane planirati prvenstveno za vlastite potrebe za električnom energijom, a višak potencijalno koristiti za proizvodnju vodika. Velike sunčeve elektrane zahtijevat će dodatni prostor i usklađenost s Direktivom o obnovljivoj energiji RED III za korištenje električne energije iz mreže. Predviđa se da će 3% fosilnih goriva u industriji nemetalnih minerala, uključujući cement, biti zamijenjeno vodikom, uz 1% supstitucije u drugim industrijama.

Do 2050. godine, proizvodnja amonijaka postići će 100% cilj obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla, pri čemu će cijene obnovljivog vodika postati konkurentne fosilnim gorivima. Očekuje se da će tvornice cementa zamijeniti 15% fosilnih goriva s obnovljivim gorivom nebiološkog podrijetla, dok bi ostale industrie nemetalnih minerala mogle ostvariti stopu zamjene od 30% jer neće imati postrojenja za hvatanje i korištenje/skladištenje ugljika.

Općenito, uporaba vodika u industriji ovisit će o ovim čimbenicima:

- cijena vodika u usporedbi s drugim gorivima i u odnosu na električnu energiju,
- cijena emisijskih jedinica CO₂ na tržištu Sustava trgovanja emisijama (ETS),
- trošak kapitalnih ulaganja za modifikacije povezane s vodikom (npr. proizvodnih procesa),
- komplementarnost s primjenom tehnologija za hvatanje i korištenje/skladištenje ugljika,
- prodor novih tehnologija na tržište,

- predanost industrija / tvrtki ciljevima zelene tranzicije,
- zahtjevi tržišta za proizvode s niskim i nultim udjelom ugljika,
- sigurnost opskrbe.



Sl. 10: Očekivana potrošnja vodika u industriji po sektorima

3.5.4. Električna energija i grijanje

Vodik će imati važnu ulogu u budućnosti sektora električne energije i grijanja. Kao nositelj energije, vodik nudi znatan potencijal za smanjenje emisija stakleničkih plinova, za povećanje energetske sigurnosti i za integraciju obnovljivih izvora energije u cijelokupni energetski sustav. Primjena vodika u proizvodnji električne energije, skladištenju energije i sustavima grijanja intenzivno se istražuje i razvija, te obećava značajnu transformaciju u načinu na koji se energija proizvodi, pohranjuje i koristi.

Uporaba vodika u energetskom sektoru

Obnovljivi vodik može se koristiti kao rješenje za pohranu viška proizvedene obnovljive električne energije njenom pohranom u vodik. Pohranjeni vodik može se zatim ponovno pretvoriti u električnu energiju tijekom razdoblja najveće potražnje ili kada obnovljivi izvori nisu dostupni. Ova sposobnost čini vodik nezamjenjivom komponentom u upravljanju varijabilnošću obnovljivih izvora energije, čime se osigurava stabilna i pouzdana opskrba energijom.

Štoviše, vodik se može koristiti za decentraliziranu opskrbu električnom energijom i balansiranje mreže. Može se koristiti u gorivnim ćelijama ili plinskim turbinama za proizvodnju električne energije, te kao dodatak u konvencionalnim elektranama za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Korištenje vodika u takvim sustavima podupire održivost proizvodnje električne energije i usklađuje se sa ciljevima zaštite okoliša.

Nadalje, istražuje se potencijal vodika u regionalnim energetskim sustavima. Određene regije moguće bi se specijalizirati za određene vrste vodikovih sustava temeljem dostupnosti lokalne obnovljive energije i industrijskih potreba. Ovaj regionalni pristup omogućuje optimizaciju lokalne ponude i potražnje te stvaranje prilagođenih energetskih rješenja.

Uporaba vodika u sektoru grijanja

Vodik se potencijalno može integrirati u postojeće plinske mreže miješanjem s prirodnim plinom. Ovaj pristup omogućuje postupan prijelaz, smanjujući intenzitet ugljika u plinu koji se koristi za grijanje bez potrebe za značajnim promjenama postojećih sustava grijanja. Kompatibilnost vodika s postojećim cjevovodima prirodnog plina i sustavima grijanja trenutno se procjenjuje kako bi se odredio maksimalni postotak vodika koji se može sigurno miješati bez potrebe za velikim modifikacijama cjevovoda, kućanskih aparata ili industrijskih plamenika. Potencijal sigurnog umješavanja vodika u postojeću plinsku distribucijsku mrežu u Republici Hrvatskoj do 2035. godine procijenjen je na 2 – 3%. To iznosi cca. 0,8 kt vodika i smanjenje emisije CO₂ od 5 kt. Veći postoci umješavanja vodika zahtijevaju daljnja istraživanja i testiranja. Za usporedbu, neke zemlje EU već dopuštaju umješavanje vodika u prirodni plin, čak i do 10% (Wang, et al., 2021).

Kako je obnovljivi vodik skuplji od prirodnog plina, umješavanje će povećati ukupne troškove energije za krajnje potrošače. Ako su potrebne modifikacije sustava za prilagodbu vodika, ti će se troškovi također prenijeti na krajnje potrošače, što dodatno povećava cijenu energije. Dodatno, ekonomski korist od smanjenja emisija stakleničkih plinova je minimalna, jer 10% udjela vodika smanjuje emisiju CO₂ za 3,25%.

Provode se pilot projekti za testiranje izvedivosti i sigurnosti korištenja vodika u grijanju stambenih objekata. Cilj ovih projekta je identificirati potrebne prilagodbe i prikupiti podatke o sigurnosti i prihvaćanju potrošača. U tijeku su i istraživanja radi razvoja plamenika i kotlova koji bi učinkovito radili sa smjesama s visokim udjelom vodika ili čak sa 100% vodikom. Ova je tehnologija ključna za širu primjenu vodika u sektoru grijanja.

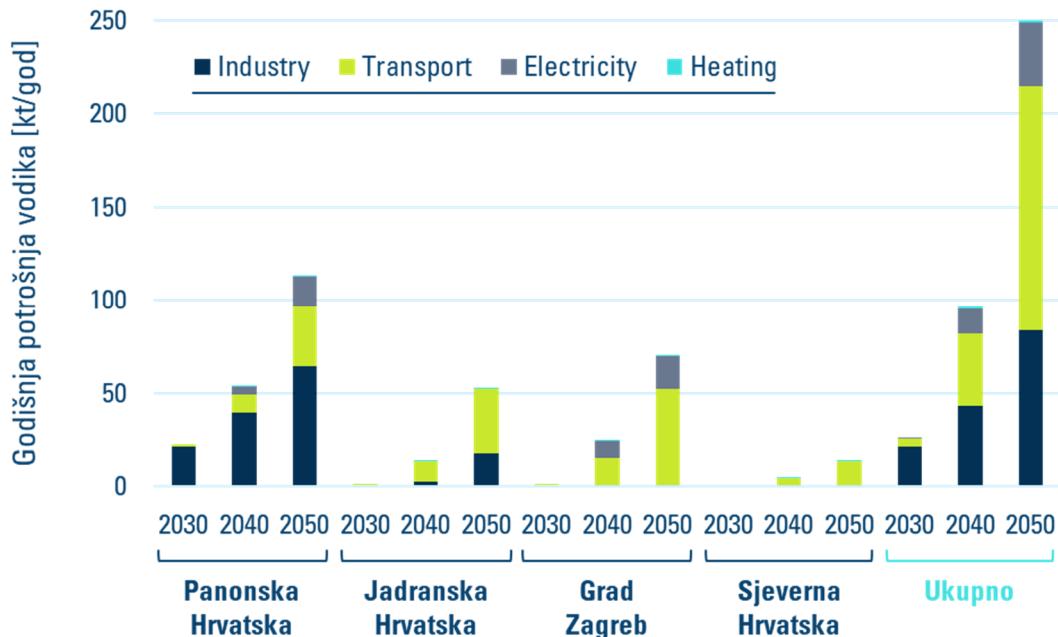
Sigurnost korištenja vodika u sustavima grijanja je prioritet. To uključuje stroge propise i standarde za upravljanje rizicima povezanim s vodikom, posebno njegovom zapaljivošću i potrebom za robusnim sustavima za otkrivanje propuštanja. Republika Hrvatska aktivno sudjeluje u razvoju europskih standarda za korištenje vodika u grijanju, što će pomoći u usklađivanju sigurnosnih protokola i tehnoloških specifikacija diljem EU.

Primarne prednosti korištenja vodika za grijanje uključuju značajno smanjenje emisije CO₂, čime se usklađuju s klimatskim ciljevima Republike Hrvatske i ciljevima Zelenog plana EU. Vodik također može povećati energetsku sigurnost diverzifikacijom izvora energije koji se koriste za grijanje, potencijalno smanjujući ovisnost o uvezenim fosilnim gorivima. Ova diversifikacija podržava otporniji i održiviji energetski sustav.

Zbog geotermalnih potencijala u Panonskom bazenu vjerojatnije je da vodik neće postati dominantan emergent za grijanje, već komplementaran.

3.5.5. Sažetak i kvantitativna očekivanja

Očekivana potrošnja vodika u 2030., 2040. i 2050. godini za hrvatske regije u različitim gore opisanim sektorima su sažete na Sl. 11 (odgovarajući podaci navedeni su u Tab. 21 do Tab. 23).



Sl. 11: Očekivana potrošnja vodika za 2030., 2040., i 2050. godinu za hrvatske regije u različitim sektorima

Tab. 21: Očekivana godišnja potrošnja vodika po regiji i sektoru

GODINA	Panonska Hrvatska	Jadranska obala	Grad Zagreb	Sjeverna Hrvatska
	Industrija [kt/godina]			
2030	21,5	0,1	0	0
2040	39,6	2,8	0,3	0,5
2050	64,6	17,9	0,4	0,8
	Promet [kt/godina]			
	2030	2040	2050	
	1,1	1,7	1,7	0,4
	9,4	10,8	15,1	3,8
	30,5	32,9	49,0	12,2
	Električna energija [kt/godina]			
	2030	2040	2050	
	0	0	0	0,02
	4,2	0	8,9	0,04
	16,2	0	17,6	0,06
	Grijanje [kt/godina]			
	2030	2040	2050	
	0	0,5	0,3	0
	0	0,1	0,1	0,5
	0	0,5	0,4	0,4

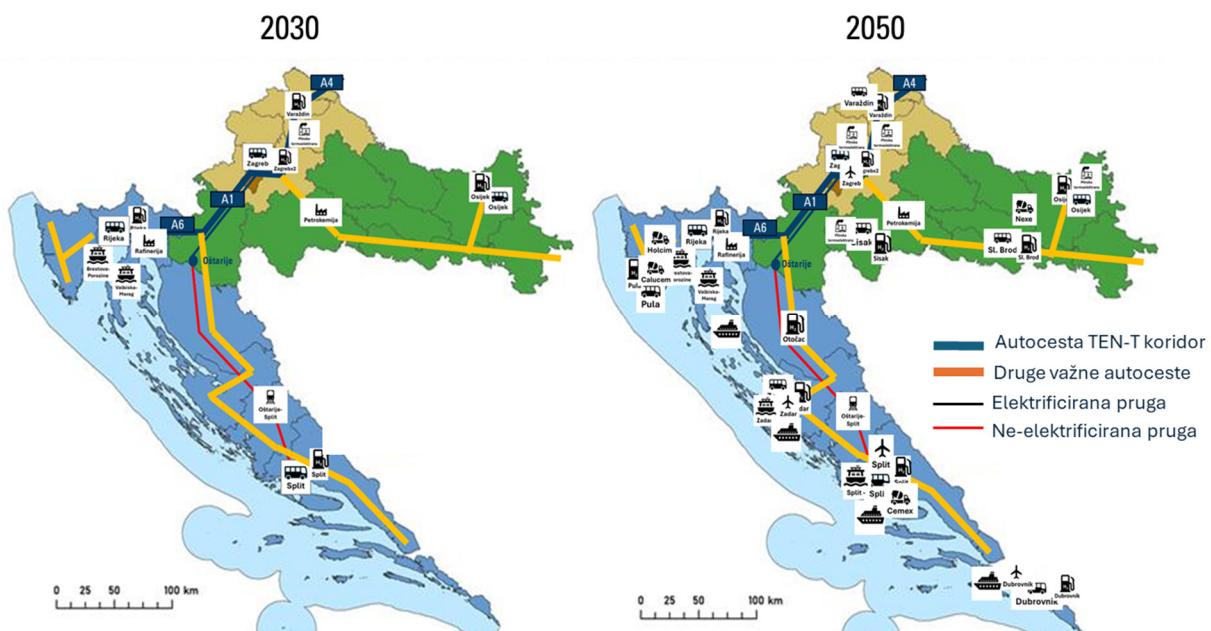
Tab. 22: Ukupno očekivana godišnja potrošnja vodika po regijama

GODINA	UKUPNO [kt/godina]					Ukupno
	Panonska Hrvatska	Jadranska obala	Grad Zagreb	Sjeverna Hrvatska		
2030	22,5	1,8	1,7	0,4	26,4	
2040	53,7	13,7	24,9	4,8	97,1	
2050	111,6	50,8	67,3	13,4	243,2	

Tab. 23: Ukupno očekivana godišnja potrošnja vodika po sektoru

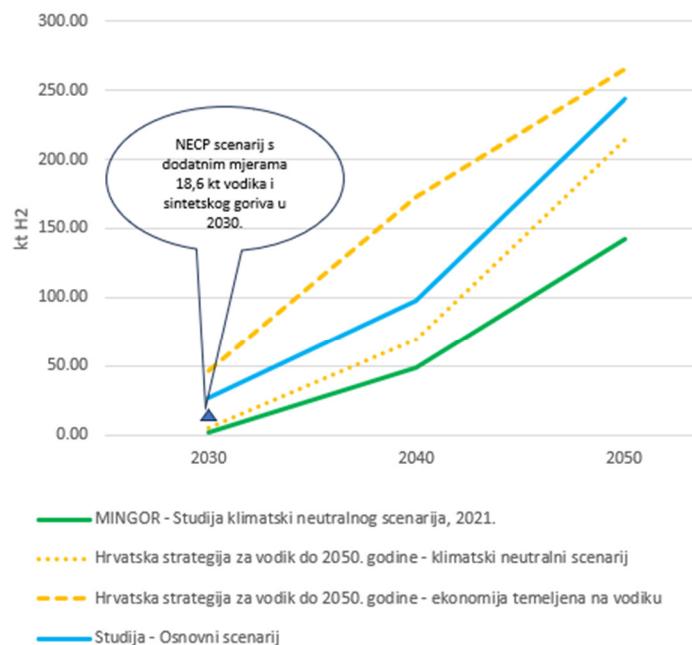
GODINA	Industrija	Promet	Električna energija	UKUPNO [kt/godina]	
				Grijanje	Ukupno
2030	21,5	4,9	0,02	0	26,4
2040	43,3	39,1	13,1	1,6	97,1
2050	83,7	124,5	33,8	1,1	243,2

Očekivan regionalni rast uporabe vodika u Republici Hrvatskoj za godine 2030. i 2050. je prikazan na Sl. 12.



Sl. 12: Očekivan regionalan rast uporabe vodika u Republici Hrvatskoj

Na Sl. 13. prikazan je Osnovni scenarij za potrošnju obnovljivog vodika u Republici Hrvatskoj do 2050. godine u različitim sektorima, uključujući industriju, promet, kućanstva, usluge te potrošnju topline i električne energije. Ovaj Scenarij također se uspoređuje s drugim dostupnim projekcijama. Osnovni scenarij Studije nalazi se između dva scenarija iz Hrvatske strategije za vodik, a viši je od Scenarija za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine (MINGOR, 2021.). NECP scenarij 'S dodatnim mjerama' (WAM) predviđa manju potrošnju vodika u 2030. godini. Prema NECP-u, potrošnja vodika će dominirati u industrijskom sektoru, s minimalnom količinom u sektoru prometa u 2030. godini. U Osnovnom scenariju Studije za 2030. godinu, prometni sektor čini 17,2% potrošnje vodika, dok industrija čini 82,8%.



Sl. 13: Očekivana potrošnja vodika u 2030., 2040., i 2050. godini

U usporedbi sa susjednim zemljama, na temelju njihovih NECP projekcija, potrošnja vodika u Republici Hrvatskoj iznosi 6,5 kg po stanovniku 2030. godine, dok se u Sloveniji, Mađarskoj, Italiji i Austriji kreće u rasponu od 2,8 – 5,6 kg po stanovniku.

3.6. Mogućnost korištenja postojećom infrastrukturom i potreba za proširenjem

U Republici Hrvatskoj razvijena je infrastruktura prirodnog plina koja se sastoji od transportne i distribucijske mreže, podzemnih skladišta i LNG terminala. Plinski transportni sustav kojim upravlja PLINACRO d.o.o. sastoji se od međunarodnih i magistralnih plinovoda koji transportiraju plin iz domaće proizvodnje, LNG terminala na otoku Krku i uvoza iz Slovenije i Mađarske te ga predaju u distribucijske mreže i industrijskim potrošačima.

Integracija vodika u ovu mrežu zahtijeva značajne prilagodbe zbog niže gustoće energije vodika ($12,1 \text{ MJ/m}^3$ u usporedbi s $37,8 \text{ MJ/m}^3$ metana) i njegove veće difuzije. Nužne su procjene kompatibilnosti, koje potencijalno uključuju promjene materijala kako bi se spriječilo curenje i osigurala sigurnost. Potencijal za umješavanje vodika procijenjen je na temelju prosječne potrošnje plina od 2016. do 2021. godine (približno 2.874 milijuna m^3 godišnje), što ukazuje na značajne mogućnosti za dekarbonizaciju opskrbe plinom i smanjenje emisija CO_2 (vidi Tab. 24).

Modernizacija i nadogradnja uključuju temeljitu procjenu i ispitivanje sustava (tlačne probe) kako bi se odredile potrebne izmjene. Ključna je primjena naprednih tehnologija nadzora i upotreba sigurnosnih ventila dizajniranih za svojstva vodika. Usklađenost s EU i međunarodnim standardima nužna je za sigurnost i učinkovitost. Poboljšanja uključuju razvoj novih cjevovoda i punionica vodika na važnim lokacijama. Suradnja između vlade, regulatornih tijela i privatnih dionika ključna je za učinkovito planiranje i provedbu. Unatoč ovim izazovima, još uvijek je praktičnije i isplativije proizvoditi vodik u blizini obnovljivih izvora energije i transportirati ga cjevovodom nego transportirati električnu energiju i proizvoditi vodik na mjestu potrošnje zbog nižih troškova lokacije, prostora i izgradnje.

Tab. 24: Različiti scenariji za miješanje plinova i opskrbu dekarboniziranim plinom

Scenarij miješanja H ₂ [%]	Potencijal za miješanje		Potencijal za smanjenje emisije CO ₂
	[1,000,000 m ³ _{H2}]	[kt _{H2}]	[kt _{CO2}]
3	86	7.2	166
5	144	12.0	276
10	287	24.1	552
100*	9,784 eq.	819.9 eq.	5,520

*Ukupna potrošnja prirodnog plina izražena u tonama H₂ ekvivalenta.

Zemljopisni položaj Republike Hrvatske na raskrižju srednje, istočne i jugoistočne Europe, zajedno s lukama dubokog gaza, čini je idealnim čvorишtem vodika. Riječki zaljev, sa svojim industrijskim nasleđem i postojećim LNG terminalom, posebno je pogodan za novu vodikovu infrastrukturu. LNG terminal na Krku mogao bi se prenamijeniti za uvoz vodika, što bi Republici Hrvatskoj omogućilo distribuciju vodika u srednjoj i jugoistočnoj Europi. Alternativno, izgradnja novog terminala specifičnog za vodik mogla bi ojačati položaj Republike Hrvatske kao važnog vodikovog čvorista za uvoz i izvoz.

Osim toga, Plinacro je već prijavio pet projekata ENTSOG-ovom TYNDP-u koji su uključeni u razvojne planove Europske vodikove okosnice. Dakle, sustav za transport vodika u Hrvatskoj sastojat će se od Sustava za opskrbu vodikom Hrvatska – sjever i Hrvatska – jug. Projekt Hrvatska - sjever uključuje prenamjenu sustava od 75 bara sjeverno od Karlovca i cjevovoda od 50 bara u kontinentalnoj Hrvatskoj prema glavnim centrima potrošnje. Projekt Hrvatska - jug uključuje prenamjenu sustava od 75 bara južno od Karlovca. Ovim sustavom vodik će se prenositi iz obalnih područja, gdje se očekuje velika proizvodnja obnovljivog vodika, do glavnih potrošačkih centara u sjevernoj Hrvatskoj i međunarodnih interkonekcija sa Slovenijom i Mađarskom, povezujući se s međunarodnom mrežom vodika.

Izgradnja potrebne vodikove infrastrukture složena je i dugotrajna, no nedavno iskustvo Republike Hrvatske s LNG terminalom dobro ju je pozicioniralo za takve projekte. Brzo planiranje i razvoj ključni su za održivo iskorištavanje ovog potencijala. Korištenje postojeće infrastrukture uključuje opsežnu mrežu cjevovoda koji bi se mogli prilagoditi za transport vodika. Procjene su također potrebne za vodikovu kompatibilnost u različitim instalacijama, jer vodik može uzrokovati krtost u određenim metalima. Možda će biti potrebne nadogradnje za prilagodbu svojstvima vodika, uključujući poboljšane brtve i spojeve kako bi se sprječilo curenje.

3.7. Plan razvoja budućih punionica vodika

Hrvatski plan razvoja punionica za vodik strateški je osmišljen kako bi integrirao infrastrukturu za vodik unutar nacionalnog okvira i šire prometne mreže EU-a, uskladjujući se s Transeuropskom prometnom mrežom EU-a (TEN-T). Europa ima cilj uspostaviti mrežu punionica vodika duž TEN-T koridora do 2030. godine, pri čemu će svaka punionica imati minimalni kapacitet od 1 tone dnevno i opremljena je mlaznicom za punjenje goriva od 700 bara. Do 2030. godine, svaki gradski čvor duž TEN-T osnovne mreže trebao bi imati barem jednu javno dostupnu punionicu vodika. Nadalje, trebalo bi osigurati da ova infrastruktura podržava različite načine prijevoza, uključujući cestovni, željeznički i prijevoz unutarnjim vodama, te ispunjava zahtjeve prekograničnog usklađivanja radi promicanja kontinuirane opskrbe vodikom duž TEN-T koridora.

Punionice u planu Republike Hrvatske bit će postavljene tako da zadovolje maksimalne udaljenosti propisane EU-om, osiguravajući kontinuirano putovanje za vozila s pogonom na vodik. U urbanim područjima, punionice vodika bit će u blizini glavnih prometnih čvorova i garaža javnog prijevoza kako bi se podržale flote koje prelaze na vodikovo gorivo. Do 2030. godine, gradovi poput Zagreba, Splita, Osijeka, Rijeke, Varaždina i Dubrovnika imat će barem jednu javno dostupnu punionicu za vodik. Dodatne punionice vodika izgradit će se duž TEN-T koridora i izvan njih čime će se osigurati povezanost između regija (vidi sliku 14). Ta je infrastruktura ključna za stabilan rast prometa na vodik i za osiguranje pouzdane opskrbe vodikom. Osim toga, postavljanje punionica u blizini luka, zračnih luka i željezničkih postaja poboljšava multimodalnu povezanost, promičući i podržavajući primjenu vodika u pomorskom, željezničkom i zrakoplovnom sektoru.



Sl. 14: Potencijalne lokacije punionica vodika u Republici Hrvatskoj

Punionice će imati naprednu tehnologiju skladištenja i kompresiju vodika kako bi podnijela visoku propusnost i osigurala brzo punjenje gorivom, slično konvencionalnim benzinskim postajama. Tehnologije punjenja goriva na tlaku od 350 bara i 700 bara prilagodit će se raznim vozilima, od lakih osobnih automobila do teških kamiona. Početne punionice imat će mogućnost povećanja kapaciteta kako bi se mogle proširiti s povećanjem broja vozila na vodik. To će omogućiti jednostavno povećanje kapaciteta skladištenja i punjenja.

Razvoj je usklađen sa strogim sigurnosnim i ekološkim propisima EU, osiguravajući učinkovitu infrastrukturu s minimalnim utjecajem na okoliš i društvo. Usklađenost s Uredbom o infrastrukturni za alternativna goriva (AFIR) ključna je za uvođenje punionica vodika. Financijski instrumenti EU, kao što su Instrument za povezivanje Europe (CEF) i Horizon Europe, osiguravaju važna sredstva i mogu biti podrška provedbi inicijativa za prijenos čiste energije.

Nacionalna politika Republike Hrvatske podupire implementaciju vodikove infrastrukture kroz poticaje poput smanjenja poreza, subvencija i finansijske potpore za istraživanje i razvoj. Aktivan angažman s proizvođačima vozila, energetskim tvrtkama i pružateljima tehnologije osigurava da infrastruktura zadovoljava potrebe tržista i prati tehnološki napredak. Primarni cilj je uspostaviti sveobuhvatnu mrežu punionica vodika koja podržava nadolazeću potražnju i prilagođava se budućim proširenjima. Uspostava mreže učinit će vodik središnjim čimbenikom aktivnosti u Republici Hrvatskoj u smjeru dekarbonizacije prometnog sektora u skladu sa širim politikama zaštite okoliša i energetike EU.

3.8. Vodikova čvorišta

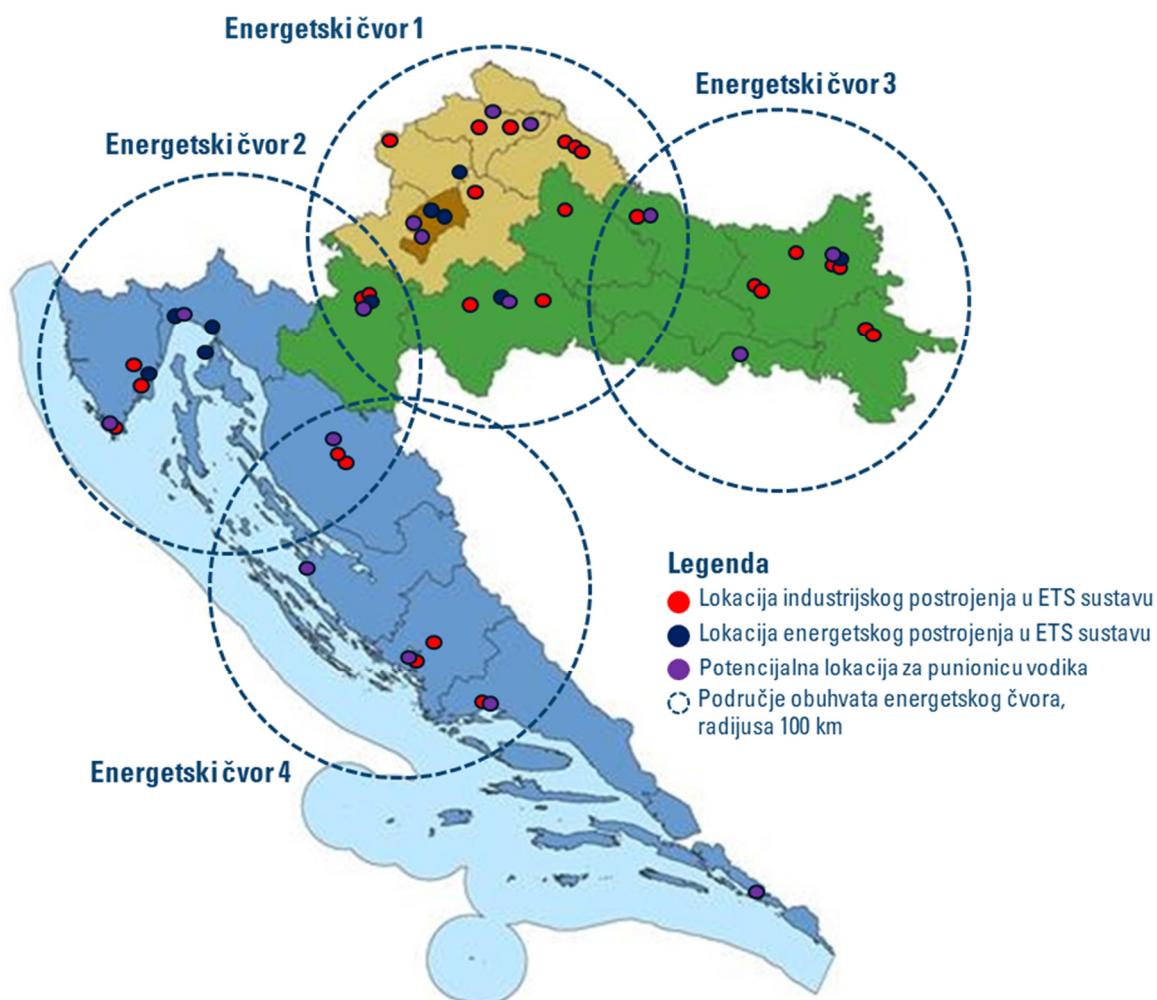
Vodikova čvorišta su centralizirani kompleksi, koji obuhvaćaju proizvodnju, skladištenje, distribuciju i aktivnosti primjene vodika, s ciljem optimizacije opskrbnog lanca vodika. Smanjenjem troškova prijevoza i gubitaka energije, ova čvorišta povećavaju učinkovitost iskorištavanja vodika u različitim sektorima. Služeći se višestrukim funkcijama, vodikova čvorišta usmjerena su na proizvodnju vodika (prvenstveno elektrolizom), njegovo skladištenje u (velikim) postrojenjima i distribuciju putem lokalnih cjevovoda ili cestovni transport do punionica vodika i industrijskih potrošača.

Strateško pozicioniranje Republike Hrvatske za vodikova čvorišta iskorištava njezina zemljopisna obilježja i pristup obnovljivim izvorima energije poput energije vode, vjetra i sunca, koji su velikog značenja u obalnim i/ili planinskim regijama. Ta su područja idealna za postrojenja za proizvodnju vodika koja se pokreću lokalno proizvedenom obnovljivom energijom. Osim toga, blizina postojeće infrastrukture, kao što su cjevovodi prirodnog plina koji se mogu ponovno koristiti i glavni transportni pravci, ključna je za učinkovitu distribuciju vodika do krajnjih korisnika.

Zamišljena kao središnja čvorišta u budućoj energetskoj mreži Republike Hrvatske, vodikova čvorišta povezuju proizvodnju obnovljive energije s potrošnjom energije temeljenom na vodiku, djelujući kao okosnica vodikovog gospodarstva. Oni olakšavaju prijelaz raznih sektora, uključujući promet i industriju, na vodik. Ekonomski, ova središta potiču lokalna gospodarstva stvaranjem radnih mjesta i privlačenjem ulaganja u razvoj tehnologije i infrastrukture. Vodikova čvorišta imaju značajnu ulogu u smanjenju emisija stakleničkih plinova i utjecaj na okoliš.

Predložena energetska čvorišta vodika u Republici Hrvatskoj ističu njihovu stratešku važnost (vidi Sl. 15):

- **Energetski čvor 1:** Uključuje sjevernu Hrvatsku, Grad Zagreb i zapadni dio regije Panonske Hrvatske. Ovo područje ima najveći potencijal za primjenu vodika, posebice u javnom prijevozu u Zagrebu i industrijskom kompleksu Petrokemije Kutina do 2030. godine.
- **Energetski čvor 2:** Obuhvaća sjeverni dio regije Jadranske Hrvatske, točnije područje Riječkog zaljeva, poznatog po svojoj strateškoj važnosti u prometu roba i energenata. Do 2030. godine, značajan potencijal leži u javnom prijevozu Rijeke, pomorskom prometu i preradi nafte, uz razmatranje izgradnje terminala za uvoz vodika. Zbog svoje povoljne lokacije, ovaj se čvor potencijalno može razviti kao središnja energetska poveznica između jugoistočne i srednje Europe za transport tekućih (LNG) i plinovitih (vodik) energenata brodovima i cjevovodima.
- **Energetski čvor 3:** Proteže se istočnim dijelom regije Panonske Hrvatske, gdje se nalaze ključne industrije poput industrije papira te industrije nemetalnih minerala. Do 2030. godine, prometni sektor pokazuje najveći potencijal za korištenje vodika, a primjena u navedenim industrijama očekuje se iza 2030. godine.
- **Energetski čvor 4:** Pokriva središnji dio regije Jadranska Hrvatska, ovo područje uključuje industriju nemetalnih minerala i javni prijevoz u većim gradovima. Do 2030. godine, promet nudi najveći potencijal za primjenu vodika, s mogućom budućom primjenom u spomenutoj industriji.



Sl. 15: Potencijalna energetska čvorišta vodika u Republici Hrvatskoj

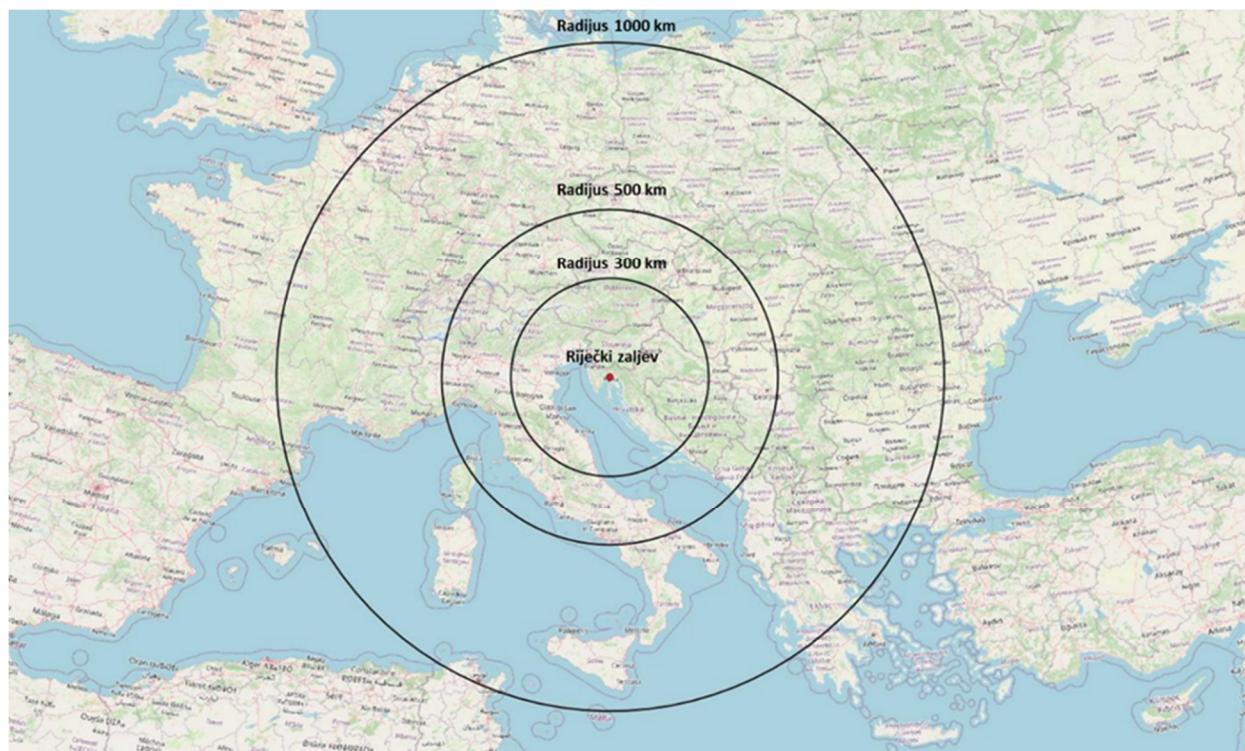
Razvoj energetskih čvorišta u Republici Hrvatskoj snažno je podržan nacionalnim politikama i uskladen s EU direktivama koje se odnose na čistu energiju i smanjenje emisije CO₂. Ova potpora uključuje finansijske poticaje, regulatorne okvire i tehničku pomoć EU-a. Suradnja s drugim zemljama EU-a, energetskim tvrtkama i pružateljima tehnologije ključna je za uspješnu implementaciju vodikovih čvorišta, osiguravajući pristup naprednim tehnologijama i najboljim praksama u proizvodnji, skladištenju, distribuciji i primjenama za krajnju upotrebu.

Početni razvoj energetskih čvorišta koristi se trenutnom tehnologijom i infrastrukturom i planovima za povećanje kapaciteta i tehnološke nadogradnje kako bi nove inovacije u vodikovoj tehnologiji postale komercijalno održive. Ovaj pristup osigurava da se vodikova čvorišta mogu prilagoditi budućim energetskim potrebama i razvoju tržišta, održavajući svoju relevantnost i učinkovitost u energetskom krajoliku koji se razvija.

3.9. Infrastruktura za uvoz vodika

Smještena na raskrižju putova koji vode prema Srednjoistočnoj i Jugoistočnoj Europi, ali i regiji, Republika Hrvatska, zahvaljujući prirodnoj dubini mora, ima uvjete za izgradnju infrastrukture za prihvat velikih plovila bez poteškoća povezanih s promjenama mora (plime). Njezin položaj, koji seže duboko u europski kontinent, predstavlja ključnu prednost u smanjenju udaljenosti transportnih pravaca, čime značajno pridonosi smanjenju transportnih troškova, čineći ga još atraktivnijim za trgovinske tokove.

Riječki zaljev posebno je atraktivno mjesto za razvoj infrastrukture za uvoz vodika (vidi Sl. 16). To je područje koje već ima dugu tradiciju industrijskog razvoja. Tu se nalaze brojne industrijske luke za uvoz potrebnih sirovina, kao i za kontejnerski promet. Od postojećih luka važno je istaknuti LNG terminal na otoku Krku i Rafineriju nafte Rijeka.



Sl. 16: Geostrateška pozicija Riječkog zaljeva (© OpenStreetMap)

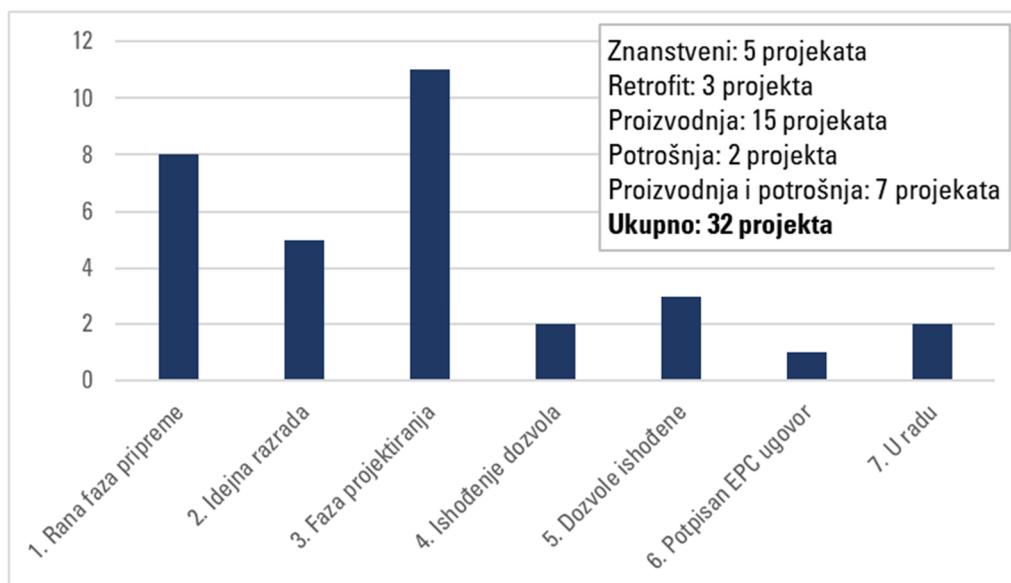
Već spomenuta Rafinerija nafte, smještena u Riječkom zaljevu, potencijalni je potrošač obnovljivog vodika u blizini. S druge strane, zbog nedavnog puštanja u rad LNG terminala, Riječki zaljev povezan je s visokotlačnom plinskom transportnom mrežom koja je dio buduće okosnice vodikove mreže. Nacionalna vodikova strategija također prepoznaje lokaciju LNG terminala kao pogodnu za prenamjenu za budući uvoz obnovljivog vodika.

4. STANJE VODIKOVIH PROJEKATA U HRVATSKOJ

Ovo poglavlje daje kratak pregled trenutnih vodikovih projekata u Republici Hrvatskoj i njihov status. Također, razrađuje općenite izazove, osnovna razmatranja i provedbu vodikovih projekata. Na kraju, ukratko objašnjava mehanizme za dodjelu finansijske pomoći vodikovim projektima.

4.1. Trenutno stanje vodikovih projekata u Republici Hrvatskoj

U Republici Hrvatskoj su trenutno u tijeku 32 vodikova projekta u različitim fazama zrelosti. Od toga je 6 projekata obuhvaćeno Sjevernojadranskom dolinom vodika. Pregled projekata prema različitim fazama razvoja prikazan je na Sl. 17.



Sl. 17: Zrelost vodikovih projekata u Republici Hrvatskoj

Analizom projekata, vidljivo je da većina njih ne tvori zatvorene vodikove sustave. Samo je sedam projekata, za koje se procjenjuje da će proizvesti približno 975 tona vodika godišnje, dizajnirano za istodobnu proizvodnju i potrošnju vodika, čime se smanjuje rizik povezan s nepostojanjem tržišta vodika. Nadalje, trenutno postoji više projekata proizvodnje vodika, procijenjenih na oko 33.750 tona vodika godišnje, za koje nema jasnih naznaka potencijalnih kupaca. Projekti usmjereni na potrošnju vodika procjenjuju se na približno 382 tone vodika godišnje. Međutim, procijenjena potražnja za vodikom temeljem scenarija Studije daju dodatni poticaj za razvoj novih projekata proizvodnje vodika.

4.2. Pilot projekti od nacionalne važnosti za Republiku Hrvatsku

U ovom poglavlju definiran je koncept provedbe prvih pilot projekata vodika u Republici Hrvatskoj.

4.2.1. Izazovi implementacije vodikovih projekata

Početni pilot projekti vodika moraju prevladati brojne izazove: nedostatak funkcionalnog tržišta obnovljivog vodika, ograničeno iskustvo u vezi s tehnologijom vodika i dvosmislen ili nepostojeći regulatorni okvir.

Nepostojanje funkcionalnog tržišta vodika stavlja promotore projekata u težak položaj, što dovodi do neizvjesnosti oko stvaranja prihoda i finansijske održivosti. Zbog nedostatka zrelog tržišta vodika, koje bi bilo obilježeno širokom uporabom vodika u različitim sektorima, vodikove projekte treba osmisliti i implementirati kao samodostatne, zatvorene sustave. Samo ovaj pristup osigurava da su sve potrebne komponente duž vrijednosnog lanca vodika za određeni projekt dostupne i da se mogu integrirati u potpuno funkcionalnu, samoodrživu cjelinu. Ovisno o projektu, ova integracija može uključivati proizvodnju vodika, skladištenje, distribuciju do mjesta potrošača i na kraju korištenje samog vodika. Nakon provedbe nekoliko takvih neovisnih projekata, može se započeti s konsolidacijom tržišta vodika, omogućujući elementima prethodno uspostavljenog vrijednosnog lanca da se samostalno razvijaju i natječu na tržištu, čime se uspostavlja pravedna cijena vodika za krajnje korisnike. Pri tome treba uzeti u obzir ideju Europske komisije o provedbi tzv. vodikovih dolina.

Tab. 25: Karakteristike izazova uporabe vodika u različitim sektorima krajnjih korisnika

	Potražnja za vodikom u bliskoj budućnosti	Mjesto potrošnje vodika	Troškovi i prepreke za prelazak na vodik	Dugoročni ugovori za opskrbu vodikom
Promet	Mala potrošnja vodika. Prodajna cijena vodika, bez subvencija, vjerojatno će biti vrlo visoka.	Mjesta potrošnje raspoređena su po cijeloj zemlji. Potrebno je osigurati odgovarajuću distribuciju vodika.	Punionice vodika tek treba izgraditi. Vozila na vodik skuplja su od konvencionalnih vozila.	Dugoročni ugovori su mogući no ovise o razvoju tržišta.
Industrija	Velika potražnja za vodikom mogla bi potaknuti razvoj projekata proizvodnje vodika.	Potrošnja vodika mora biti koncentrirana blizu infrastrukture za transporti i skladištenje.	Investicijski troškovi i zastoji postrojenja za postojeće korisnike metana. Korištenje oba goriva u većini slučajeva nije praktično.	S obzirom da se postrojenja mogu zatvoriti ili promijeniti način rada, postoji nevoljnost u potpisivanju dugoročnih ugovora
Energetika	Glavna uloga vodika vjerojatno će biti u vršnim elektranama.	Relativno fleksibilno.	Investicijski troškovi prelaska na vodik. Kapacitet skladištenja vodika može biti velik.	Dugoročni ugovori su mogući no ovise o razvoju tržišta.
Miješanje s prirodnim plinom (grijanje)	Grijanje predstavlja stabilnu potražnju, ali utiskivanje vodika u plinsku mrežu nije dovoljno istraženo.	Potrošnja vodika moguća je tamo gdje postoji potrošač priključen na plinsku mrežu.	Regulatorna ograničenja za utiskivanje vodika u plinsku mrežu. Potrebna su dodatna sigurnosna ispitivanja.	Dugoročni ugovori su vjerojatno mogući. Moguća ograničenja prihvaćanja vodika od strane krajnjih potrošača.

Za uspješnu realizaciju vodikovih projekata u ovoj ranoj fazi razvoja tržišta, ključno je fokusirati se na komercijalno održive tehnologije, uključujući njihovu učinkovitu implementaciju, održavanje i zamjenu rezervnih dijelova. Nadalje, izgradnja, puštanje u pogon i operativni rad zahtijevaju odgovarajuće obučeno osoblje. Konačno, ukupni trošak vlasništva za ove tehnologije trebao bi biti konkurentan alternativnim rješenjima, posebno onima koja ovise o fosilnim gorivima.

Općenito, svaki sektor krajnje upotrebe vodika suočava se s pojedinačnim izazovima kako je navedeno u Tab. 25.

Jasan i predvidljiv regulatorni okvir ključan je za uspjeh prvih pilot projekata vodika. Takav okvir pruža temelj za stvaranje tržišnih uvjeta potrebnih za pokretanje, rast i širenje vodikovih inicijativa.

4.2.2. Osnovna razmatranja za vodikove projekte

Koncept provedbe uspješnih vodikovih pilot projekata obuhvaća sve elemente od početne projektne ideje do redovnog rada projekta. Uključuje niz ključnih elemenata koji osiguravaju uspješnu provedbu projekta uključujući definiranje ciljeva, odabir tehnologija, planiranje resursa i upravljanje rizicima.

Ciljevi: Ciljevi kojima bi vodikovi pilot projekti trebali pridonijeti trebali bi biti mjerljivi i realni. Jedan od tih ciljeva svakako se odnosi na one iz Direktive o obnovljivoj energiji koji uključuju primjenu obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla u prometu, uključujući poseban cilj za pomorski promet i za domaći zračni promet, te cilj primjene obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla u industriji, koja već koristi vodik kao sirovinu u određenim tehnološkim procesima. Također je potrebno definirati ciljeve koji će doprinijeti budućem razvoju kao što je izgradnja većeg broja punionica vodika na svim važnim prometnim koridorima kao i prilagodba postojeće plinske infrastrukture za transport i distribuciju vodika.

Tehnologija: S obzirom da su postavljeni ciljevi za korištenje obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla, fokus treba usmjeriti na one vodikove tehnologije koje su u najvišem stupnju zrelosti, tj. koje su komercijalno dostupne. Za proizvodnju vodika, to je elektroliza. Također je moguće implementirati nove tehnologije u namjenskim demonstracijskim projektima ako se smatra prikladnim, npr. unaprijediti tehnologiju za specifične primjene ili podržati lokalne dionike.

Resursi: Pilot projekti za vodik moraju pružiti jasan poslovni plan, koji uključuje sve bitne elemente aktivnosti kao što su izvori financiranja, početna ulaganja, operativni troškovi, plan povrata prihoda, plan povrata ulaganja, plan upravljanja projektom, ljudski resursi, održavanje, plan nabave opreme, plan nabave repromaterijala, plan ishođenja potrebnih dozvola i suglasnosti i sl.

Rizici: Pilot projekti za vodik, budući da tržište još nije u potpunosti razvijeno, moraju osigurati dobar plan upravljanja rizikom. Mora se upravljati različitim rizicima, uključujući tehničke, finansijske, operativne, ekološke, regulatorne, tržišne i izazove vezane uz osoblje. Kako bi se uspješno nosili sa svim gore navedenim rizicima, potrebno je razviti adekvatan plan odgovora na izbjegavanje, smanjenje ili eventualno prihvatanje različitih rizika.

4.2.3. Trošak opskrbe vodikom

Svaki element vrijednosnog lanca vodika ima vlastiti specifični trošak. **Ukupni trošak opskrbe vodikom uvelike ovisi o scenariju od slučaja do slučaja.** U nekim je slučajevima moguće izostaviti određene elemente vrijednosnog lanca vodika, poput distribucije i skladištenja, ako se vodik proizvodi na mjestu potrošnje. U drugim će se slučajevima koristiti svi elementi vrijednosnog lanca vodika, kao što su proizvodnja, transport, distribucija i skladištenje, što će rezultirati najvećim ukupnim troškom opskrbe vodikom.

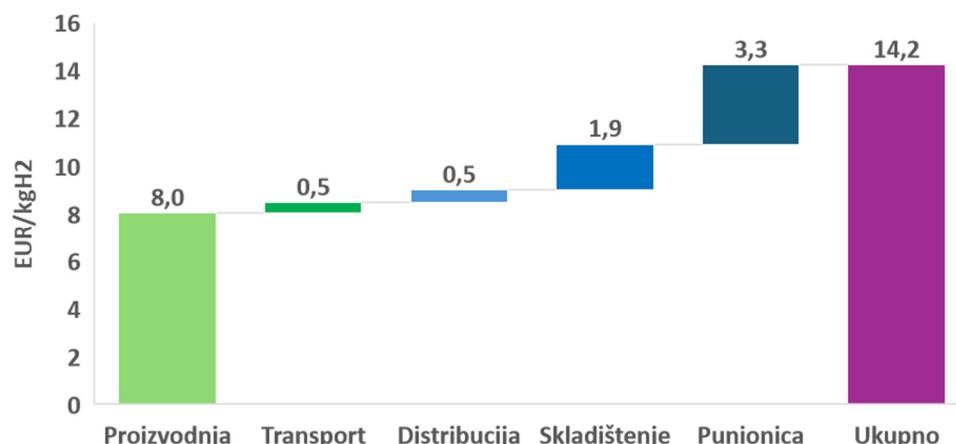
Ako nije subvencionirana, proizvodnja vodika čini najveći udio u troškovima opskrbe, obično u rasponu od 60 do 70%. Nedavne procjene troškova proizvodnje vodika korištenjem PEM elektrolizatora iznose približno **8 EUR/kgH₂**. Trošak obnovljive električne energije koja se koristi u proizvodnji vodika ključan je čimbenik, koji značajno utječe na troškove proizvodnje i zahtijeva posebnu pozornost.

Logistički troškovi, koji uključuju prijevoz, distribuciju i skladištenje, ovise o više čimbenika kao što su način prijevoza (brod, vlak, kamion, cjevovod), prijeđena udaljenost i ukupni instalirani skladišni kapacitet. Ti se troškovi obično dodaju troškovima proizvodnje vodika, čime se povećavaju ukupni troškovi opskrbe vodikom. Njihov udio u ukupnim troškovima nabave mogao bi se kretati u rasponu od 15 do 20%.

Konkretno u prometnom sektoru, punionice vodika predstavljaju dodatni element vrijednosnog lanca vodika. Izgradnja i rad ovih punionica podrazumijeva određene troškove koji se uračunavaju u ukupne troškove opskrbe, a koji također mogu iznositi od 15 do 20% ukupnih troškova.

Bez finansijske potpore ili dodatnog poreza na fosilne alternative, korištenje obnovljivog vodika, a posebno obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla, još nije troškovno konkurentno. Finansijska potpora smanjila bi početna kapitalna ulaganja potrebna za uspostavu proizvodnih pogona, poput elektrolizatora i druge vodikove infrastrukture. Također bi moglo potaknuti istraživanje i razvoj učinkovitijih i isplativijih metoda proizvodnje vodika. U konačnici, snažna finansijska potpora mogla bi učiniti vodik konkurentnijom alternativom na energetskom tržištu, potencijalno dovodeći do veće energetske sigurnosti i diversifikacije.

Ukupni prosječni trošak obnovljivog vodika, a koji uključuje trošak svih elemenata vrijednosnog lanca vodika, procijenjen je na 14 EUR/kg (vidi Sl. 18). Pritom valja naglasiti da je riječ tek o gruboj procjeni troškova koji su podložni promjenama ovisno o specifičnostima investicijskog projekta poput lokacije, specifičnostima tehnologije, uvjetima priključenja na eksternu infrastrukturu (struja, voda) te općenito složenosti samog projekta.



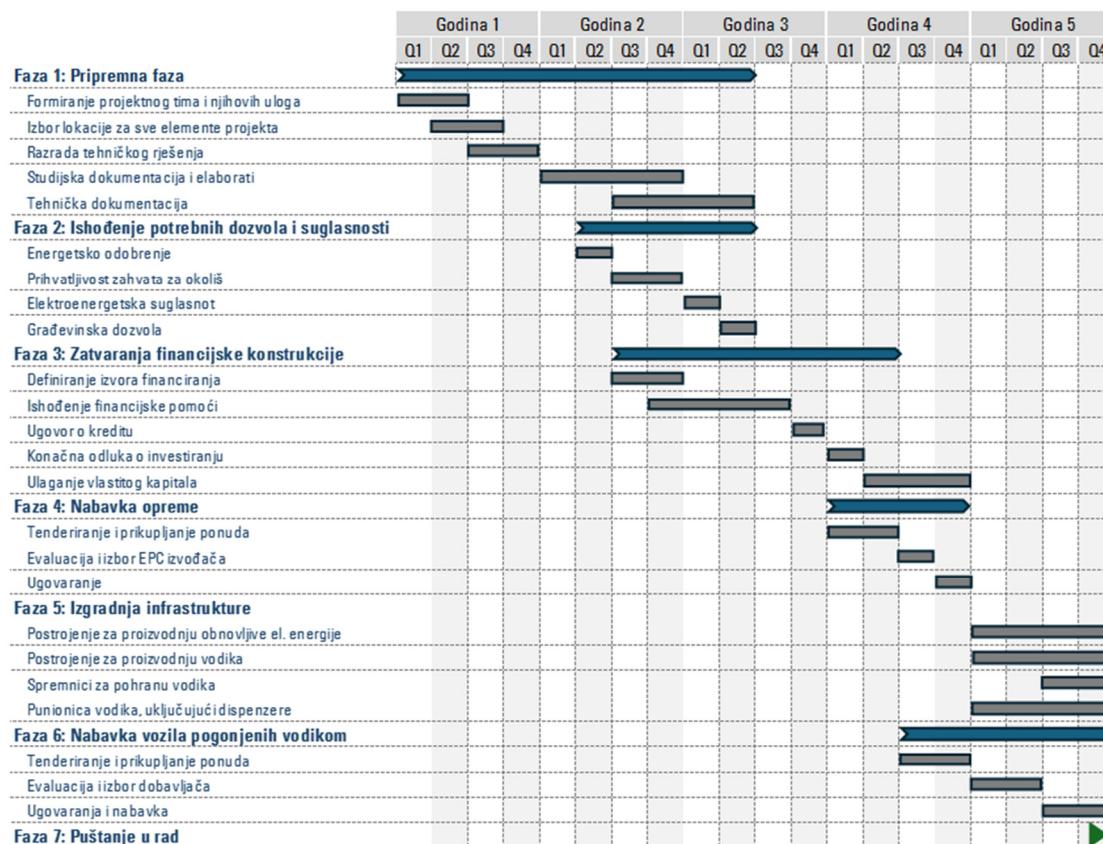
Sl. 18: Prosječni trošak vodika po elementima njegova vrijednosnog lanca

4.2.4. Implementacija vodikovih projekata

Priprema i provedba svakog od prethodno identificiranih elemenata vrijednosnog lanca vodika administrativno je i tehnički zahtjevna aktivnost. S obzirom na složenost pilot projekta, preporučljivo je predvidjeti ulogu nadzora projekta, koji će imati pregled nad svim prethodno navedenim elementima projekta. Potrebno je uskladiti aktivnosti svih pojedinačnih dionika uključenih u projekt. Provedba ovako sveobuhvatnih projekata zahtijeva i temeljito vremensko planiranje koje se može grupirati u sljedeće faze:

- 1) Pripremna faza
- 2) Ishođenje potrebnih dozvola i suglasnosti
- 3) Sporazum o finansijskoj strukturi
- 4) Nabava opreme
- 5) Izgradnja infrastrukture
- 6) Nabava vozila na vodikov pogon
- 7) Puštanje u rad

Vremenski plan, za primjer projekta vozila na vodik i punionice je prikazan na Sl. 19.



Sl. 19: Potencijalan vremenski plan za pilot projekt vodika u sektoru prometa

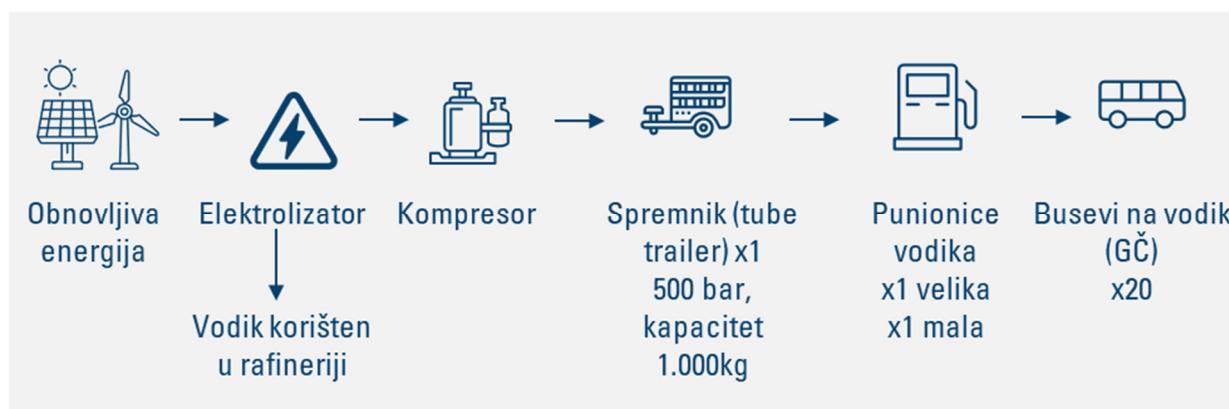
4.2.5. Okvir implementacije pilot projekta

Na temelju analiza provedenih u okviru Studije, sektor prometa ima najbolje preduvjete za pokretanje pilot projekata vodika u Republici Hrvatskoj. Tu prije svega spada cestovni promet, točnije javni prijevoz, a eventualno pomorski i željeznički promet. U najranijoj fazi razvoja tržišta vodika može se očekivati da će među prvima korisnicima vodikove tehnologije biti javni gradski prijevoz u najvećim urbanim središtima Republike Hrvatske Zagrebu, Splitu, Osijeku i Rijeci.

Treba napomenuti da takve primjene zahtijevaju implementaciju cijelog vrijednosnog lanca vodika, od njegove proizvodnje, distribucije, skladištenja do krajne uporabe. Implementacija svih elemenata vrijednosnog lanca vodika mora se odvijati istodobno jer samo svi elementi zajedno čine samoodrživ projekt kao što je prikazano za vrijednosni lanac javnog prijevoza korištenjem vodikove tehnologije (vidi Sl. 20).

Predlaže se sljedeći popis kriterija za odabir prvih pilot projekata:

- Projekt mora biti cjelovit (tj. od proizvodnje vodika do krajne primjene vodika)
- Projekt mora biti realan i izvediv (tehnički i ekonomski izvediv)
- Projekt mora imati ozbiljne / vjerodostojne / predane partnerne
- Prioritet za one projekte koji već imaju barem djelomično osigurano financiranje
- Projekt mora imati dobru vidljivost



Sl. 20: Primjer samoodrživog lanca opskrbe vodikom za pilot projekte u prometnom sektoru

Projekt javnog prijevoza autobusima na vodikove gorivne članke koji uključuje cjelokupni opskrbni lanac može uključivati vodikovu prikolicu (trailer) od 500 bara koja opskrbljuje 1-2 punionice vodika na kojima se puni 10-20 autobusa na vodikove gorivne članke (vidi Sl. 20).

Zbog visokih cijena obnovljivog vodika, primjena i dostupnost vodika bit će izazovna u javnom prijevozu. Nametanjem poreza na CO₂ iz fosilnih goriva u kasnijim fazama, olakšat će se pristupačnost čistog javnog prijevoza. Međutim, u ranim fazama uvođenja pilot projekta, umjetno smanjenje cijene obnovljivog vodika moglo bi biti jednostavnije rješenje. To zahtijeva uvođenje novog nacionalnog modela za poticanje proizvodnje vodika iz obnovljivih izvora, kao što je opisano u sljedećem poglavlju.

4.3. Mehanizmi financijske pomoći

Nacionalni i europski planovi predviđaju značajna ulaganja koja će potaknuti projekte velike proizvodnje i korištenja obnovljivog vodika. Ovo poglavlje daje opise financijskih instrumenata dostupnih za potporu projekata vezanih za vodik, koji pokrivaju razvoj novih i poboljšanih tehnologija i cijeli lanac vrijednosti, koji obuhvaća proizvodnju, distribuciju, skladištenje i krajnju uporabu vodika.

Hrvatska strategija za vodik do 2050. godine propisuje kako se uspostava gospodarstva temeljenog na vodiku treba financirati iz fondova EU i nacionalnih programa.

Od programa i fondova EU, koji nemaju nacionalnu alokaciju najvažniji su **Inovacijski fond i Obzor Europa**.

Inovacijski fond (bespovratna sredstva): demonstracija inovativnih tehnologija s niskim udjelom ugljika u dijelovima Sustava trgovanja emisijama EU.

Inovacijski fond (aukcije): aukcije za isplativo uvođenje tehnologija s niskim udjelom ugljika, počevši od proizvodnje obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla u EU.

Obzor Europa: program financiranja istraživanja, inovacija i demonstracije (Clean Hydrogen JU, SPIRE)

S ciljem izgradnje digitalne, prometne i energetske transeuropske infrastrukture koja naglašava dekarbonizaciju i doprinosi dugoročnoj održivosti, uspostavljen je **Instrument za povezivanje Europe** (CEF) u kojem se prioritetna tematska područja **CEF-Promet** i **CEF-Energija** odnose na vodikove projekte.

CEF-Promet: fokus na financiranje ključnih projekata na Transeuropskoj prometnoj mreži (TEN-T), koji promiču pametnu, održivu, pristupačnu i sigurnu mobilnost.

CEF-Energija: podrška provedbi Uredbe o transeuropskim energetskim mrežama (TEN-E), tj. regulatornog okvira usmjerенog na povezivanje energetske infrastrukture zemalja EU.

Nadalje, EU fondovi, koji su dostupni kroz nacionalne programe uključuju: **Europski fond za regionalni razvoj**, **Kohezijski fond**, **Fond za modernizaciju**, **Nacionalni plan oporavka i otpornosti**.

Europski fond za regionalni razvoj (ERDF): doprinos povećanju kohezije unutar EU smanjenjem gospodarskih, društvenih i teritorijalnih razlika između regija i podržavanjem integracije manje razvijenih regija s unutarnjim tržistem EU putem bespovratnih sredstava i financijskih instrumenata.

Kohezijski fond: financiranje kapitalno intenzivnih ulaganja u okoliš i promet. Pruža potporu državama članicama EU s bruto nacionalnim dohotkom po glavi stanovnika ispod 90% europskog prosjeka.

Fond za modernizaciju: financijski program namijenjen 10 slabije razvijenih zemalja EU u njihovoј tranziciji prema klimatskoj neutralnosti, doprinoseći modernizaciji njihovih energetskih sustava i poboljšanju energetske učinkovitosti.

Nacionalni plan oporavka i otpornosti (NRRP/NPOO): financiranje elektrolizatora, punionica vodika i nabava vozila na vodik.

Socijalni fond za klimatsku politiku: podržava strukturne mjere i ulaganja u energetsku učinkovitost i obnovu zgrada, čisto grijanje i hlađenje, integraciju obnovljive energije, kao i u rješenjima za mobilnost s nultom i niskom emisijom.

Ostali mehanizmi finansijske pomoći su slijedeći:

Fond za pravednu tranziciju: fokus na potporu najugroženijim regijama za ublažavanje socijalnih i ekonomskih troškova uzrokovanih tranzicijom na klimatski neutralno gospodarstvo.

LIFE: jedini fond EU posvećen isključivo ekološkim, klimatskim i energetskim ciljevima, koji se sastoji od četiri potprograma: Priroda i raznolikost, Kružno gospodarstvo i kvaliteta života, Prilagodba i ublažavanje klimatskih promjena i Prijelaz na čistu energiju.

InvestEU: potiče privatna i javna ulaganja kroz finansijske institucije kao što su Europska investicijska banka (EIB) i druge finansijske institucije.

Nacionalni fondovi iz kojih se mogu financirati projekti vodika financirani su iz državnog proračuna i prihoda od prodaje emisijskih jedinica.

Novi nacionalni model za poticanje proizvodnje vodika iz obnovljivih izvora, koji se može temeljiti na poznatim modelima za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora, tj. ugovori za razliku (contracts for difference - CfD). "Razlika" ili "premija" računa se kao razlika između troškova proizvodnje obnovljivog vodika i referentne tržišne cijene vodika. Referentna tržišna cijena predstavlja cijenu po kojoj je obnovljivi vodik konkurentan svojim fosilnim alternativama. Uz pretpostavku da će cijene emisija CO₂ s vremenom rasti, može se očekivati smanjenje potrebnog iznosa premije. Hrvatski operator tržišta energije upravljao bi modelom financiranja. Očekuje se da će iznos premije biti u rasponu od 3,5 - 5 €/kg proizvedenog obnovljivog vodika. Posljedično, godišnji fond za isplatu sredstava potrebnih za poticanje korištenja obnovljivog vodika u prometnom sektoru iznosio bi cca. 20 milijuna eura u 2030. godini.

5. INSTITUCIONALNI I REGULATORNI OKVIR REPUBLIKE HRVATSKE

Ovim poglavljem opisane su potrebne izmjene hrvatskog zakonodavnog okvira kako bi se uskladio sa smjernicama EU paketa mjera „Spremni za 55“, s ciljem omogućavanja te poticanja upotrebe vodika iz obnovljivih izvora u različitim gospodarskim sektorima poput prometa i industrije, stavljući naglasak na potpunu usklađenost s ciljevima uspostave održivog i niskougljičnog gospodarstva. Također, u obzir je uzeta uloga istraživačkih centara te su razmatrani mogući oblici suradnje sa znanstvenom zajednicom. Na samom kraju poglavlja, predložene su nove uloge Agencije za ugljikovodike.

5.1. Smjernice za regulatorni okvir

U skladu s usvajanjem EU paketa mjera „Spremni za 55“ i povezanim paketom mjer za tržište plina i vodika (vidi poglavlje 2.1), Republika Hrvatska mora prilagoditi svoj zakonodavni okvir kako bi integrirala obnovljivi vodik kao ključni element u prijelazu na održivu i niskougljičnu ekonomiju. Ovaj paket predstavlja najsveobuhvatniji skup prijedloga koje je Europska komisija predstavila u području klime i energetike uključujući različite EU direktive i uredbe.

Hrvatsko zakonodavstvo je usklađeno s propisima EU, ali su nužne određene revizije postojećih zakona i podzakonskih akata kako bi se osigurala potpuna usklađenost s izmjenama i dopunama direktiva i propisa iz paketa „Spremni za 55“. Takve će prilagodbe omogućiti učinkovitu integraciju obnovljivog vodika u različite sektore, uključujući promet i industriju. Smjernice za strukturiranje regulatornog okvira prvenstveno su usmjerene na područje energetike i prometa, jer su to ključna područja za proizvodnju i korištenje vodika. Ostala administrativna područja primjenjiva na vrijednosni lanac vodika, koja su inače vrlo široka nisu uključena u pregled i analizu regulatornog okvira. Regulatorni okvir obuhvaćen ovim smjernicama uključuje:

Tab. 26: Hrvatski regulatorni okvir vezan za vodik ⁴

Vrijednosni lanac vodika	Sektori za korištenje vodika	Regulatorni okvir (zakonski i podzakonski akti)
Proizvodnja vodika	Svi sektori (promet, industrija itd.)	Zakon o energiji <ul style="list-style-type: none">Pravilnik o dozvolama za obavljanje energetskih djelatnosti i vođenju registra izdanih i oduzetih dozvola za obavljanje energetskih djelatnostiUredba o sustavu jamstva podrijetla energije
		Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji <ul style="list-style-type: none">Uredba o korištenju obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracijaUredba o uspostavi sustava jamstva podrijetla električne energije
		Zakon o tržištu električne energije
		Zakon o biogorivima za prijevoz

⁴ Sve reference korištene u ovoj tablici su navedene u Popisu literature na kraju ovog dokumenta.

Vrijednosni lanac vodika	Sektori za korištenje vodika	Regulatorni okvir (zakonski i podzakonski akti)
Infrastruktura za transport, distribuciju i skladištenje vodika	Svi sektori (promet, industrija itd.)	<ul style="list-style-type: none"> Pravilnik o načinu i uvjetima primjene zahtjeva održivosti u proizvodnji i korištenju biogoriva <p>Zakon o energiji</p> <ul style="list-style-type: none"> Pravilnik o dozvolama za obavljanje energetskih djelatnosti i vođenju registra izdanih i oduzetih dozvola za obavljanje energetskih djelatnosti <p>Zakon o tržištu plina</p> <ul style="list-style-type: none"> Opći uvjeti opskrbe plinom Mrežna pravila plinskog distribucijskog sustava Mrežna pravila transportnog sustava Pravila korištenja sustava skladišta plina Pravila korištenja terminala za ukapljeni prirodni plin Pravila o organizaciji tržišta plina Kriteriji za izdavanje suglasnosti za izgradnju i pogon izravnog plinovoda
Upotreba vodika	Svi sektori (promet, industrija itd.)	<p>Zakon o biogorivima za prijevoz</p> <ul style="list-style-type: none"> Pravilnik o mjerama za poticanje korištenja biogoriva u prijevozu Pravilnik o utvrđivanju prosječnih energijskih vrijednosti goriva Uredba o posebnoj naknadi za okoliš zbog nestavljanja biogoriva na tržište i zbog nesmanjivanja emisije stakleničkih plinova Pravilnik o načinu i uvjetima primjene zahtjeva održivosti u proizvodnji i korištenju biogoriva
Punionice vodika	Promet	<p>Zakon o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva</p> <ul style="list-style-type: none"> Pravilnik o registru identifikacijskih kodova i infrastrukture za alternativna goriva Pravilnik o usporedbi jediničnih cijena alternativnih i konvencionalnih goriva
Vozila na vodik	Promet	Zakon o promicanju čistih vozila u cestovnom prometu

Usvajanjem RED III direktive, u usporedbi s prethodno usvojenom RED II direktivom, ciljevi za korištenje vodika kao obnovljivog goriva nebiološkog podrijetla prošireni su na industrijski sektor, uz već uključen prometni sektor. S obzirom da hrvatski regulatorni okvir, posebice Zakon o biogorivima za prijevoz i pripadajućim podzakonskim aktima, trenutno naglašava korištenje vodika isključivo u prometu, potrebno ga je izmijeniti u skladu s RED III direktivom. To uključuje proširenje primjene zakona na industrijski sektor i moguću reviziju naslova zakona i podzakonskih akata kako bi jasno obuhvatili i prometni i industrijski sektor.

Za učinkovitu regulaciju **proizvodnje vodika iz obnovljivih izvora** potrebno je revidirati postojeći regulatorni okvir kako bi pojam „energija“ uključivao i obnovljivi vodik kao transformirani oblik energije. Budući da je za proizvodnju energije potrebna dozvola za obavljanje ove energetske djelatnosti, nužno je uspostaviti jasne protokole za dobivanje odgovarajuće dozvole za proizvodnju obnovljivog vodika. U segmentu proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora regulatorni okvir mora sadržavati posebne uvjete za njenu proizvodnju koja se koristi za proizvodnju vodika iz obnovljivih izvora, kao i za izdavanje pripadajućih jamstava podrijetla. Dodatno, regulatorni okvir koji se tiče održivosti proizvodnje biogoriva treba proširiti na industrijski sektor, uključujući vodik kao obnovljivo gorivo nebiološkog podrijetla. Nапослјетку, ključно је uspostaviti sustav koji potiče proizvodnju vodika iz obnovljivih izvora, uključujući prikupljanje i isplatu poticaja za proizvodnju. To će pridonijeti njegovoj većoj primjeni i integraciji u energetski sustav, čime će se omogućiti stvaranje robusnog i fleksibilnog regulatornog okvira koji podržava prijelaz na održivo i niskougljično gospodarstvo.

Regulatorni okvir koji uređuje upravljanje **infrastrukturom za transport, distribuciju i skladištenje vodika** treba ažurirati u skladu s novim paketom mjera za tržište plina i vodika, koji je proširio smjernice za regulaciju tržišta prirodnog plina na plinove iz obnovljivih izvora, uključujući vodik. U ovom segmentu potrebno je revidirati tehnička pravila postojeće plinske infrastrukture kako bi se omogućila njezina prilagodba za korištenje vodika, čime će se osigurati usklađenost s najnovijim zahtjevima i standardima za sigurno i učinkovito upravljanje vodikovom infrastrukturom.

Regulatorni okvir za **korištenje vodika** potrebno je temeljito revidirati kako bi uključio ne samo prometni sektor, već i industrijski sektor te potencijalno druge sektore poput energetskog sektora te proizvodnje toplinske energije. Obzirom na nove zahtjeve usvojene RED III direktivom, potrebno je preciznije definirati pojam „obnovljivi vodik“, posebno razgraničavajući pojam obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla od ostalih oblika obnovljivog vodika na bazi bioenergije. Dodatno, unutar regulatornog okvira koji se odnosi na promicanje korištenja biogoriva u prometu potrebno je uvesti posebne mjere za promicanje korištenja obnovljivog vodika. Ovaj pristup također treba proširiti na industrijski sektor, gdje je potrebno uskladiti pravila održivosti za korištenje biogoriva s onima koja se primjenjuju na obnovljivi vodik.

U dijelu postojećeg regulatornog okvira koji se odnosi na izgradnju **punionica vodika**, potrebno je usvojiti Uredbu (EU) 2023/1804 o uvođenju infrastrukture za alternativna goriva.

Navedene su opće smjernice za reviziju postojećeg regulatornog okvira kako bi se omogućila provedba lanca vrijednosti vodika, posebno obnovljivog vodika, s naglaskom na njegovu upotrebu u prometnom i industrijskom sektoru. Važno je da se sadržaj direktiva iz paketa „Spremni za 55“ adekvatno prenese u nacionalno zakonodavstvo. Legislativu iz navedenog paketa, koja još nije u potpunosti ugrađena u nacionalno zakonodavstvo potrebno je usvojiti kroz donošenje provedbenih akata. To se posebno odnosi na Uredbu (EU) 2023/1805 o upotrebi obnovljivih i niskougljičnih goriva u pomorskom prometu te Uredbu (EU) 2023/2405 o osiguravanju jednakih uvjeta tržišnog natjecanja za održiv zračni prijevoz.

5.2. Identifikacija područja za projekte OIE

Prema članku 15.b RED III direktive, u Republici Hrvatskoj potrebno je provesti koordinirano mapiranje do 21. svibnja 2025. godine kako bi se identificirala područja potrebna za implementaciju projekata obnovljivih izvora energije, a čime bi se ispunio nacionalni doprinos ukupnom cilju Europske unije za obnovljive izvore energije do 2030. godine. Potrebno je razmotriti dostupnost obnovljivih izvora energije, predviđenu potražnju za energijom i relevantnu energetsku infrastrukturu. Pri tome treba dati prednost višestrukoj uporabi prostora, osiguravajući kompatibilnost s već postojećom uporabom.

Članak 15.c RED III direktive zahtijeva od Republike Hrvatske da se odrede područja ubrzanog razvoja obnovljivih izvora energije do 21. veljače 2026. godine, usredotočujući se na područja na kojima se očekuje da korištenje obnovljivih izvora energije neće imati značajan utjecaj na okoliš. Prioritet su područja posebno prikladna za razvoj projekata OIE, isključujući osjetljiva područja kao što su područja unutar mreže NATURA 2000. Ovakvim označavanjem trebalo bi se postići ubrzanje procedure izdavanja dozvola prethodnim rješavanjem prostorno-planske dokumentacije za planirane zahvate/projekte na tim područjima.

Određivanje područja duž Osnovne transeuropske prometne mreže (TEN-T) za proizvodnju vodika namjenjenog prometu, smanjilo bi potrebu za distribucijom vodika. Glavni prometni koridori, koji prolaze kroz Hrvatsku su: Mediteranski koridor, koridor Rajna-Dunav, Baltičko-jadranski koridor i koridor Zapadni Balkan-Istočni Mediteran (vidi Sl. 14).

Navedeni koridori s punionicama vodika i lokacijama za proizvodnju vodika, ključni su za integraciju infrastrukture obnovljivih izvora energije te moraju biti jasno definirani prostorno-planskim dokumentima, kako bi se postupci za izdavanje dozvola odvijali u zadanim rokovima navedenim u RED III direktivi prema Člancima 16.a do 16.f.

5.3. Uloga istraživačkih centara i oblici suradnje sa znanstvenom zajednicom

Primarna uloga istraživačkih centara je stvaranje nove vrijednosti razvojem novih tehnologija, usluga i proizvoda. Kroz interakciju sa znanstvenom zajednicom, istraživački centri se koriste znanstvenim otkrićima i tehnološkim dostignućima, ali aktivno sudjeluju i u oblikovanju znanstvenih istraživanja. Identificiraju praktične probleme koji zahtijevaju rješenja. Ovakav tip suradnje omogućuje stvaranje sinergije između teorijskih istraživanja i praktične primjene, što rezultira ubrzanim inovacijama i povećanjem tržišne konkurentnosti.

Na nacionalnoj razini jedan od oblika suradnje mogu biti zajednički istraživački projekti koji omogućuju razmjenu resursa i znanja između različitih institucija radi postizanja konkretnih rezultata. Nadalje, transfer tehnologije je jedan od oblika suradnje koji omogućuje prijenos znanja iz istraživačkih institucija u privatni sektor, čime se promiče komercijalizacija inovacija. Presudnu ulogu u osiguranju kontinuiteta stručnog usavršavanja u području vodikovih tehnologija imaju stipendije koje mladim stručnjacima omogućuju financiranje i daljnji razvoj znanja. Drugi aspekt suradnje može biti osnivanje zajedničkih istraživačkih laboratorija koji pružaju okruženje za provođenje naprednih istraživanja, testiranja i razvoja novih tehnologija.

Formiranje centra za istraživanje i razvoj može se provesti na različite načine, svaki sa svojim specifičnim prednostima i izazovima. Jedan pristup podrazumijeva formiranje istraživačkog centra kao neovisnog tijela odvojenog od drugih institucija, pri čemu bi istraživački centar imao autonomiju u donošenju odluka i provođenju istraživačkih aktivnosti. To bi omogućilo istraživačkom centru da se usredotoči na svoje ciljeve i strategije te da razvije svoj identitet i stručnost u području vodika i srodnih tehnologija. Drugi pristup je formiranje istraživačkog centra unutar postojeće institucionalne strukture, kao što je makroregionalni centar za kompetentnost unutar projekta Dolina vodika Sjeverni Jadran, koji potiče suradnju između različitih dionika i omogućuje dijeljenje resursa. Oba pristupa zahtijevaju jasnu viziju, ciljeve i strategije, kao i uspostavu suradnje s relevantnim dionicima, uključujući industriju, akademsku zajednicu i političke dionike.

Glavnu ulogu u uspostavi centra za istraživanje i razvoj imat će industrija i država. Uloga industrije je pružiti stručnost u područjima kao što su vodikova tehnologija, inženjering, proizvodni procesi i primjena. Također može osigurati infrastrukturu, laboratorijske kapacitete i pristup tehnološkim inovacijama. Industrija treba diktirati svoje potrebe i smjerove za daljnja istraživanja. S druge strane, država treba osigurati regulatorni i financijski okvir za osnivanje centra za istraživanje i razvoj. Državna potpora može uključivati uspostavljanje politika i strategija usmjerenih na promicanje istraživanja i razvoja vodika, financiranje istraživačkih projekata putem javnih fondova i poticaja, osiguravanje suradnje između industrije, akademske zajednice i politike te potporu komercijalizaciji rezultata istraživanja.

5.4. Definiranje uloge Agencije za ugljikovodike

Postojeće zadaće Agencije za ugljikovodike (AZU) definirane su člankom 58.a Zakona o OIE i visokoučinkovitim kogeneracijskim postrojenjima (NN 138/21 i 83/23). Zadaće AZU uključuju programiranje i provedbu strateških planova kao tehničke pomoći Ministarstvu i drugim državnim tijelima nadležnim za pitanja vezana uz vodik. Također uključuju pripremu složenih i inovativnih projekata od nacionalnog interesa, mapiranje dionika, tehničku provjeru kapaciteta, potencijala i ozbiljnosti projektnih prijedloga, provedbu projekata unutar relevantnih fondova, koordinaciju procesa provedbe u složenim i inovativnim projektima od nacionalnog interesa te komunikaciju s drugim državama članicama u pogledu pozicioniranja projekta i pregovaranja o komplementarnosti projekata. Nadalje, među postojećim zadaćama AZU su utvrđivanje i aktiviranje financijskih sredstava te izvješćivanje preko Ministarstva i Europske komisije o provedbi vodikove Strategije.

Predlaže se proširenje koordinacijske uloge AZU na sva obnovljiva goriva u prometu. U okviru ove nove uloge predlaže se preuzimanje dodatnih operativnih zadaća s ciljem doprinosa provedbi energetske i klimatske politike. Kao dio tehničke podrške, predlaže se pomoći u praćenju postizanja ciljeva obnovljivih izvora energije (OIE) u prometu, podrška u uspostavi procesa certifikacije održivosti za obnovljivi vodik i podrška za projekte vrijednosnog lanca vodika (vidi Sl. 21).

Tehnička podrška u provedbi ciljeva OIE u prometu

- Operativno praćenje i izvješćivanje o napretku prema ciljevima za OIE u prometu
- Analiza, kalkulacije, primjene metodologija za izračun ciljeva, održavanje registara i evidencija, međusektorska razmjena informacija

Uspostava i vođenje nacionalnog registra održivosti vodika u prometu

- Primjena dobrovoljnih međunarodnih shema
- Izgradnja i održavanje nacionalne sheme
- Aktivnosti stručnog nacionalnog tijela za komunikaciju sa bazom podataka Unije

Poticanje i praćenje projekata vrijednosnog lanca vodika

- Uspostava i vođenje baze podataka projekata u vrijednosnom lancu vodika
- Poticanje integrativnog pristupa u razvoju projekata
- Međusektorska suradnja i uključivanje u rad stručnih tijela i inicijativa na nacionalnoj i međunarodnoj razini

Sl. 21: Nove uloge AZU i neke specifične zadaće unutar postojećih nadležnosti za doprinos provedbi energetske i klimatske politike

Tehnička podrška u provedbi ciljeva OIE u prometu

Studijom se predlaže da AZU, kao nacionalni koordinator za promicanje korištenja vodika, uspostavi sustav praćenja ostvarenja ciljeva korištenja vodika pomoću ključnih pokazatelja. Od pokazatelja su najvažniji: praćenje količine obnovljivog vodika kroz cjelokupni vrijednosni lanac, postignuto smanjenje emisija CO₂ te dokaz o održivosti za obnovljivi vodik. Predlaže se proširenje koordinacijske uloge i na korištenje ostalih obnovljivih izvora energije u prometu (biogoriva, el. energija, sintetička goriva, e- goriva). Naime, do kraja 2024. godine, sukladno zahtjevima iz RED III direktive, bit će uspostavljena „Baza podataka Unije“ (*The Union data base*) koja će omogućiti praćenje tekućih i plinovitih obnovljivih goriva i goriva iz recikliranog ugljika. To će zahtjevati od gospodarskih subjekata unos podataka o provedenim transakcijama i svojstvima održivosti goriva direktno u „Bazu podataka Unije“ ili preko uspostavljene nacionalne baze podataka. Stoga se predlaže proširenje koordinacijske uloge AZU kao nacionalnog „lead user-a“ sa pristupom „Bazi podataka Unije“ i nacionalnoj bazi podataka u cilju ažuriranog praćenja ostvarenja ciljeva i izvještavanja.

Uspostava i vođenje nacionalnog registra održivosti vodika u prometu

Uspostava sustava certifikacije održivosti za obnovljiva goriva nebiološkog podrijetla (RFNBO) u prometu osigurava da energija iz obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla doprinosi smanjenju emisije stakleničkih plinova za najmanje 70%, kako to zahtijeva RED III direktiva.

Certifikacija održivosti može se provoditi korištenjem dobrovoljnih shema koje je potvrdila Europska komisija ili uspostavom nacionalne sheme države članice. Prednosti nacionalne sheme su npr.: jednostavniji proces certificiranja za gospodarski subjekt jer se određeni elementi lanca vrijednosti vodika mogu certificirati objedinjeno u istom pregledu/izvješću, a što može imati povoljan utjecaj na smanjenje troškova certifikacije. Predlaže se koordinacijska uloga AZU u procesu uspostave, a kasnije i provođenju certifikacije održivosti vodika. Time bi se omogućilo kontinuirano praćenje količine RFNBO u prometu i njegov doprinos u ostvarenju ciljeva dekarbonizacije.

Poticanje i praćenje projekata vrijednosnog lanca vodika

Priprema i provedba projekata vodika u RH, trenutno je oslonjena na inovativnost pojedinih gospodarskih subjekata. Stoga je potrebno uspostaviti ažuriranu bazu projekata vrijednosnog lanca vodika kako bi se usuglasili proizvodnja, distribucija i potrošnja vodika. Takva baza može omogućiti sustavno planiranje i pripremu investicijskih projekata, a što može doprinjeti i učinkovitom programiranju sredstava.

AZU svojim aktivnostima može doprinijeti bržoj implementaciji projekata koji imaju integrativni pristup. (doline vodika, energetska čvorišta, pametni gradovi, CCUS rješenja itd.). Preporučljivo je uključiti predstavnike AZU u rad različitih tehničkih odbora koji rade na podršci međusektorskih politika. Na međunarodnoj razini postoje brojne udruge i inicijative, posebice regionalne međunarodne suradnje, koje pružaju priliku za razvoj zajedničke infrastrukture te veće mogućnosti pri realizaciji finansijski zahtjevnijih projekata.

Zaključno, širenje uloge AZU poboljšat će učinkovitost provedbe energetske i klimatske politike te pridonijeti prelasku na održivo i niskougljično gospodarstvo. AZU će pomoći u praćenju ispunjavanja ciljeva obnovljivih izvora energije i smanjenja emisija stakleničkih plinova kroz tehničku podršku, nadogradnju zakonodavnog okvira, razvoj sustava operativnog praćenja i izvješćivanja te podršku procesu certifikacije održivosti.

6. PRIORITETNE AKTIVNOSTI DO 2030. GODINE

Studija predlaže potrebne promjene na vrijednosnom lancu vodika čime bi se postigli definirani ciljevi provedbom predloženog Osnovnog scenarija Studije. U nastavku su navedene prioritetne aktivnosti:

- **Korištenje rezultatima studije za reviziju NECP-a i prostorno planiranje:** U reviziji NECP-a potrebno je uključiti rezultate Studije čime se pomaže u povećanju ambicija u pogledu OIE u prometnom sektoru i industriji te smanjenju emisije stakleničkih plinova.
- **Izgradnja punionica za vodik:** Visoki prioritet je izgradnja punionica vodika. Mreža punionica vodika trebala bi biti uspostavljena do kraja 2026.
- **Sufinanciranje FCEV vozila:** Fondovi koji imaju alocirana sredstva za financiranje vozila s nultom emisijom CO₂ (električna vozila i vozila na vodik) trebaju objaviti pozive isključivo za financiranje nabave vozila na vodik.
- **Definiranje premije za RFNBO u prometu:** Studija jasno pokazuje da će sustav subvencioniranja cijene obnovljivog vodika biti potreban dulje vrijeme. Model treba biti fleksibilan i dugoročno jamčiti opravdanost ulaganja.
- **Definiranje RFNBO cilja u industriji:** Veliki proizvođač i potrošač vodika je tvornica za proizvodnju amonijaka u Kutini. Nacionalni cilj je postići 42% obnovljivog vodika do 2030. godine, zamjenjujući prirodni plin obnovljivim vodikom. Ovo je iznimno zahtjevno. Hrvatska je u specifičnoj situaciji jer ima samo jednu tvornicu, pa se nacionalni cilj izravno odnosi na jedan gospodarski subjekt. O ovom pitanju treba razgovarati s Europskom komisijom u procesu preuzimanja RED III direktive.
- **Prilagođavanje zakonodavnog okvira i provedba RED III direktive:** Potrebno je započeti transpoziciju RED III direktive i kroz ovaj proces izvršiti druge zakonske prilagodbe. Procedura uključuje i moguće pregovore s Europskom komisijom o mogućim fleksibilnostima.
- **Uspostava nacionalnog sustava za certificiranje održivosti RFNBO:** Potrebno je što prije donijeti odluku i definirati treba li se uspostaviti nacionalni sustav certificiranja održivosti.
- **Jačanje provedbe propisa o čistim vozilima:** Hitno je potrebno operativno uspostaviti sustav praćenja provedbe propisa o čistim vozilima i ojačati provedbu propisa.
- **Uključivanje projekata transporta vodika u Socijalni klimatski fond:** Važno je uključiti se u proces programiranja sredstava EU Socijalnog klimatskog fonda koji će se početi koristiti od 2027. godine, a financirat će se iz sustava trgovanja emisijama u zgradarstvu i sektoru prometa (ETS II).
- **Analiza uloge vodika za nacionalnu sigurnost:** Nadležno Ministarstvo trebalo bi razmotriti korištenje vodika za doprinos nacionalnoj sigurnosti iz energetske perspektive, održavanje proizvodnje i usluga ključnih za funkcioniranje u kriznim situacijama.
- **Razmjena informacija:** Rezultate ove Studije treba podijeliti s dionicima, uključujući poslovne banke, potencijalne investitore, regionalne i lokalne vlasti, razvojne agencije itd. Treba ojačati suradnju s udrugama.

7. ZAKLJUČAK

U skladu sa EU Strategijom vodika i politikom EU, Republika Hrvatska je 2022. godine usvojila **Hrvatsku strategiju za vodik do 2050. godine**, kojom je određen nacionalni okvir za proizvodnju i korištenje vodika, s fokusom na obnovljivi vodik kao alternativu fosilnim gorivima.

Plan razvoja i primjene Strategije osmišljen u ovoj Studiji **strateški pozicionira Republiku Hrvatsku** koristeći se njezinim jedinstvenim prednostima u vrijednosnom lancu vodika.

Cilj Studije je usmjeriti Republiku Hrvatsku prema provedbi Strategije vodika koja je usklađena s europskim ciljevima i razvojem, koja olakšava suradnju unutar EU te međunarodnu suradnju, čime je Republika Hrvatska u poziciji da u potpunosti iskoristi učinke primjene vodika na nacionalno gospodarstvo i klimu.

Europska strategija i zakonodavni okvir za vodik razvijeni u proteklih pet godina omogućuju Republici Hrvatskoj da iskoristi svoje specifične potencijale i prilike dok se usklađuje s drugim državama članicama EU u zajedničkom razvoju vodikovog gospodarstva. Iako regulatorni i institucionalni okvir za vodik u Republici Hrvatskoj još nije u potpunosti razvijen, postojeći okvir pruža dobru osnovu za nadogradnju i omogućuje brz napredak.

Osnovni scenarij Studije usklađen je s ciljevima do 2030. godine definiranim u Direktivi o obnovljivoj energiji, RED III i Uredbi ReFuelEU Aviation, postizanjem:

- >1.0 % obnovljivih goriva nebiološkog podrijetla (RFNBO) u sektoru prometa,
- >1.2 % RFNBO u pomorskom prometu,
- >0.7% sintetičkog goriva na bazi vodika u zračnom prometu,
- 42% RFNBO u energetskoj i neenergetskoj potrošnji vodika u industriji.

Ukupna količina obnovljivog vodika, proizvedena i potrošena u Republici Hrvatskoj, za promet, industriju, stambeni i komercijalni sektor kao i za proizvodnju električne i plinske energije miješanjem s prirodnim plinom iznosi **26,4 kt u 2030. godini, 97,1 kt u 2040. godini i 243,2 kt u 2050. godini**. Implementacijom vodika smanjit će se nacionalna emisija CO₂-eq za 0,9% u 2030., 3,6% u 2040. i 9,8% u 2050. godini u usporedbi s emisijom u 2021. godini.

Ako se prethodno navedene projekcije iz Studije usporede sa scenarijima koje daje Strategija vodika, količine vodika u 2030., 2040. i 2050. godini nalaze se između nižeg i višeg scenarija Strategije.

Republika Hrvatska ima **četiri NUTS-2 regije**: Panonsku Hrvatsku, Jadransku Hrvatsku, Grad Zagreb i Sjevernu Hrvatsku. Snage i izazovi svake regije temelje se na individualnim karakteristikama, npr. korištenje vodika u pomorskom prometu u Jadranskoj Hrvatskoj. Veliki potencijal u Panonskoj Hrvatskoj i Jadranskoj Hrvatskoj ima industrijska potrošnja vodika. U Zagrebu i sjevernoj Hrvatskoj fokus je na javnom prijevozu i umješavanju vodika u plinsku distribucijsku mrežu. Značajan potencijal za proizvodnju obnovljive energije za proizvodnju vodika postoji u Jadranskoj Hrvatskoj (sunce, vjetar).

Regionalni pristupi navedeni u Studiji u skladu su s nacionalnim planom razvoja.

Hrvatski potencijal za proizvodnju obnovljivog vodika ima uporište u nizu strateških inicijativa. Zemljopisni položaj Hrvatske na raskriju srednje, istočne i jugoistočne Europe pruža stratešku prednost za razvoj i distribuciju vodika u skladu s inicijativom European Hydrogen Backbone (EHB) za paneuropsku vodikovu mrežu. Razvedena obala i pristup dubokovodnim lukama čine je održivim središtem za uvoz i izvoz vodika. Republika Hrvatska ima veliki potencijal u solarnoj energiji i energiji vjetra za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Sirovina za elektrolizu je voda, što nije izazov za Republiku Hrvatsku koja je relativno bogata vodnim resursima.

Fokus **korištenja vodika** bit će na strateškoj implementaciji vodika **u prometnom sektoru** i u ključnim industrijama, kao i u sektorima proizvodnje električne energije i grijanja u srednjoročnoj i dugoročnoj perspektivi kako bi se osigurala održiva i otporna energetska budućnost.

Prometni **sektor** u Republici Hrvatskoj pokazuje značajni potencijal za primjenu vodika, čime bi se postiglo smanjenje emisija stakleničkih plinova i ovisnosti o fosilnim gorivima. Električna vozila na vodikove gorivne članke (FCEV) prikladna su za teški cestovni prijevoz, autobuse i vozila koja prelaze velike udaljenosti. U javnom prijevozu, vodik je održiva opcija za autobuse, posebno u urbanim područjima gdje je smanjenje emisija ključno te su konkretni projekti već u fazi razvoja. Također se, zajedno s autobusima za međugradska putovanja, razmatra primjena vodika u željezničkom prijevozu u regijama gdje elektrifikacija željezničkih linija nije izvediva ili ekonomski isplativa.

Vodik se smatra dugoročnom opcijom za smanjenje ugljičnog otiska zračnog prometa.

Razvedena Jadranska obala i brojni hrvatski otoci istaknuta su turistička destinacija, ali također imaju značajnu prometnu infrastrukturu, posebice **morske luke** poput Rijeke i industrijske objekte poput rafinerije, tvornica cementa itd. Republika Hrvatska je stoga pogodna za korištenje vodika u pomorskom sektoru, uključujući trajekte, male brodove i čamce, koji bi sinergijski podržali zeleni turizam.

U Republici Hrvatskoj vodik se trenutno koristi u industriji u Rafineriji nafte Rijeka i za proizvodnju amonijaka u Petrokemiji Kutina. Za proizvodnju vodika u industriji koristi se fosilni izvor, koji se s vremenom može zamijeniti obnovljivim izvorima energije. Nadalje, proizvodnja cementa i proizvodnja vapna te građevnih proizvoda važni su industrijski sektori u Republici Hrvatskoj, koji bi mogli koristiti vodik u srednjoročnoj i dugoročnoj perspektivi. Budući da je značajan dio emisija CO₂ u cementnoj industriji teško izbjegći (emisije iz procesa), cementna industrija trenutno se fokusira na hvatanje i trajno geološko skladištenje (CCS), dok se emisije povezane s energetskom potrošnjom dugoročno mogu izbjegći korištenjem vodika.

Vodik će igrati važnu ulogu u **proizvodnji električne energije i sektoru grijanja** u budućnosti kako bi se otvarilo smanjenje emisija stakleničkih plinova, povećanje energetske sigurnosti i integraciju obnovljivih izvora energije. Trenutno se aktivno istražuje upotreba vodika u proizvodnji električne energije, skladištenju energije i sustavima grijanja. Vodik tako može nadopuniti druge obnovljive izvore za potrebe grijanja, uključujući značajne geotermalne potencijale u Panonskom bazenu.

U Republici Hrvatskoj se trenutno provode ukupno **32 projekta vezana za vodik**. Projekti se nalaze u različitim fazama zrelosti. Od velike je važnosti za budućnost je idući korak u kombiniranju samostalnih tehnoloških projekata s većim pilot projektima, koji se mogu dalje razvijati u samoodržive vodikove sustave kao što su **vodikova čvorišta** ili **vodikove doline**. Stoga se finansijska sredstva moraju koristiti učinkovito kako bi se osigurao stalan rast vodikovog gospodarstva.

Studija predlaže proširenje koordinacijske uloge Agencije za ugljikovodike (AZU) vezane za vodik, na sva obnovljiva goriva u prometu. Studija predlaže da AZU preuzme dodatne operativne zadatke i posebne odgovornosti usmjerene na doprinos provedbi OIE u prometu, te energetske i klimatske politike. Kao dio tehničke podrške, AZU će pomoći u praćenju postizanja ciljeva OIE u prometu, podržati uspostavu procesa certifikacije održivosti za obnovljivi vodik te pružiti podršku za projekte vrijednosnog lanca vodika.

Zaključno, Republika Hrvatska ima dobre preduvjete za uspostavu proizvodnje i korištenja obnovljivog vodika. Provedba plana razvoja korištenja vodika, predstavljenog u ovoj Studiji, omogućila bi Republici Hrvatskoj ostvarenje klimatskih ciljeva uz jačanje nacionalnog energetskog sustava.

8. POPIS LITERATURE

Delegirana uredba Komisije o utvrđivanju metodologije Unije za detaljna pravila za proizvodnju obnovljivih tekućih i plinovitih goriva nebiološkog podrijetla namijenjenih uporabi u prometu, Delegirana uredba Komisije (EU) 2023/1184 (dopuna Direktive (EU) 2018/2001) (10. 02 2023).

Delegirana uredba Komisije o utvrđivanju minimalne granične vrijednosti za uštete emisija stakleničkih plinova povezanih s gorivima iz recikliranog ugljika i metodologije za procjenu ušteta emisija stakleničkih plinova ..., Delegirana uredba Komisije (EU) 2023/1185 (dopuna Direktive (EU) 2018/2001) (10. 02 2023).

Direktiva (EU) 2023/2413 Europskog parlamenta i Vijeća, o izmjeni Direktive (EU) 2018/2001, Uredbe (EU) 2018/1999 i Direktive 98/70/EZ u pogledu promicanja energije iz obnovljivih izvora te o stavljanju izvan snage Direktive Vijeća (EU) 2015/652 (23. 11 2023). Preuzeto 24. 06 2024 iz <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413&qid=1699364355105>

Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju čistih i energetski učinkovitih vozila u cestovnom prijevozu, Direktiva 2009/33/EC (23. 04 2009).

Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju čistih i energetski učinkovitih vozila u cestovnom prijevozu, Direktiva (EU) 2019/1161 (izmjena Direktive 2009/33/EC) (20. 06 2019).

Direktiva Europskog parlamenta i Vijeća o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora (preinaka), Direktiva (EU) 2018/2001 (11. 12 2018).

Državni zavod za statistiku. (2017 - 2023). *Godišnje statističko izvješće za transport*. Preuzeto 27. 06 2024 iz <https://podaci.dzs.hr/en/>

Europska komisija. (2024). Europski zeleni plan - Težnja da Europa bude prvi klimatski neutralan kontinent. Preuzeto 24. 06 2024 iz https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

Eurostat. (2023). *Statistika transportne opreme*. Preuzeto 27. 06 2024 iz https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Transport_equipment_statistics

Hrvatska strategija za vodik do 2050. godine, Narodne novine 40/2022 (03 2022). Preuzeto 24. 06 2024 iz <https://mingo.gov.hr/UserDocsImages/UPRAVA%20ZA%20ENERGETIKU/Croatian%20Hydrogen%20Strategy%20ENG%20FIN%202022%208.pdf>

Komunikacija Komisije: Energija za klimatski neutralno gospodarstvo: strategija EU-a za integraciju energetskog sustav, Europska komisija COM(2020) 299 final (2020).

Komunikacija Komisije: Strategija za vodik za klimatski neutralnu Europu, Europska komisija COM(2020) 301 final (2020).

Kriteriji za izdavanje suglasnosti za izgradnju i pogon izravnog plinovoda, Narodne novine 78/2017 (2017).

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (2021). Scenarij za postizanje klimatske neutralnosti u Republici Hrvatskoj do 2050. godine.

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (06 2023). Integrirani nacionalni energetski i klimatski plan za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine. Preuzeto 24. 06 2024 iz https://commission.europa.eu/system/files/2023-07/CROATIA_%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021%202030%20%282%29_0.pdf

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (2023a). *Energija u Hrvatskoj 2021*. Preuzeto 27. 06 2024 iz https://eihp.hr/wp-content/uploads/2023/01/Energija%20u%20Hrvatskoj%202021%20WEB_LR.pdf

Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja. (2023b). *Izvješće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990 - 2021.* Preuzeto 27. 06 2024 iz <https://unfccc.int/documents/627738>

Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture. (2014). Strategija prometnog razvoja Republike Hrvatske (2017. – 2030.).

Mrežna pravila plinskog distribucijskog sustava, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 50/2018, 88/2019, 36/2020, 100/2021 (2018-2021).

Mrežna pravila transportnog sustava, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 50/2018, 31/2019, 89/2019, 36/2020, 106/2021, 58/2022, 9/2024 (2018-2024).

Opći uvjeti opskrbe plinom, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 50/2018, 88/2019, 39/2020, 100/2021, 103/2022, 68/2023 (2018-2023).

Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2023. – 2028. godine, Narodne novine 84/2023 (22. 07. 2023). Preuzeto 24. 06 2024 iz https://mingo.gov.hr/UserDocslImages/UPRAVA-ZA-PROCJENU-UTJECAJA-NA-OKOLIS-ODRZIVO-GOSPODARENJE-OTPADOM/Sektor%20za%20odr%C5%BEivo%20gospodarenje%20otpadom/PGO%20eng_web%2011_12_2023.pdf

Pravila korištenja sustava skladišta plina, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 50/2018, 26/2020, 58/2021, 111/2022 (2018-2022).

Pravila korištenja terminala za ukapljeni prirodni plin, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 87/2021, 72/2022 (2021-2022).

Pravila o organizaciji tržišta plina, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 50/2018, 154/2022 (2018-2022).

Pravilnik o dozvolama za obavljanje energetskih djelatnosti i vođenju registra izdanih i oduzetih dozvola za obavljanje energetskih djelatnosti, Narodne novine 120/2012, 14/2014, 102/2015, 68/2018 (2012-2018).

Pravilnik o mjerama za poticanje korištenja biogoriva u prijevozu, Narodne novine 88/2021.

Pravilnik o načinu i uvjetima primjene zahtjeva održivosti u proizvodnji i korištenju biogoriva, Narodne novine 88/2021 (2021).

Pravilnik o registru identifikacijskih kodova i infrastrukture za alternativna goriva, Narodne novine 134/2022.

Pravilnik o usporedbi jediničnih cijena alternativnih i konvencionalnih goriva, Narodne novine 134/2022.

Pravilnik o utvrđivanju prosječnih energijskih vrijednosti goriva, Narodne novine 88/2021.

Prijedlog Direktive Europskog parlamenta i Vijeća o unutarnjim tržištima plinova iz obnovljivih izvora i prirodnih plinova te vodika (preinaka), Europska komisija COM(2021) 804 final (2021).

Prijedlog Direktive Europskog parlamenta i Vijeća o zajedničkim pravilima za unutarnje tržište plinova iz obnovljivih izvora i prirodnih plinova i vodika, Europska komisija COM(2021) 803 final (2021).

Strategija energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Narodne novine 25/2020 (2020).

Strategija niskougljičnog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Narodne novine 63/2021 (06 2021). Preuzeto 24. 06 2024 iz https://mingo.gov.hr/UserDocslImages/klimatske_aktivnosti/odrzivi_razvoj/NUS/lts_nus_eng.pdf

Strategija prometnog razvoja Republike Hrvatske za razdoblje od 2017. do 2030. godine, Narodne novine 84/17 (08 2017). Preuzeto 24. 06 2024 iz https://mmpo.gov.hr/UserDocslImages/dokumenti/INFRASTRUKTURA/Infrastruktura%2010_19/Transport%20Development%20Strategy%20of%20the%20Republic%20of%20Croatia%202017-2030%202029-10_19.pdf

Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o osiguravanju jednakih uvjeta tržišnog natjecanja za održiv zračni prijevoz (ReFuelEU Aviation), Uredba (EU) 2023/2405 (18. 10 2023).

Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o upotrebi obnovljivih i niskougljičnih goriva u pomorskom prometu, Uredba (EU) 2023/1805 (izmjena Direktive 2009/16/EC (FuelEU Maritime) (13. 09 2003).

Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o uspostavi mehanizma za ugljičnu prilagodbu na granicama, Uredba (EU) 2023/956 (10. 05 2023).

Uredba Europskog parlamenta i Vijeća o uvođenju infrastrukture za alternativna goriva, Uredba (EU) 2023/1804 (stavljanje izvan snage Direktive 2014/94/EU (13. 09 2023).

Uredba o korištenju obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, Narodne novine 83/2023 (2023).

Uredba o posebnoj naknadi za okoliš zbog nestavljanja biogoriva na tržiste i zbog nesmanjivanja emisije stakleničkih plinova, Narodne novine 116/2018, 35/2022, 156/2022, 71/2023, 158/2023 (2019-2023).

Uredba o sustavu jamstva podrijetla energije, Narodne novine 28/2023 (2023).

Uredba o uspostavi sustava jamstva podrijetla električne energije, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 84/2013, 20/2014, 108/2015, 55/2019 (2013-2019).

Vlada Republike Hrvatske. (08. 12 2023). Nacionalni plan oporavka i otpornosti - NRRP. Preuzeto 24. 06 2024 iz https://commission.europa.eu/business-economy-euro/economic-recovery/recovery-and-resilience-facility/country-pages/croatias-recovery-and-resilience-plan_en#documents

Wang, H., Xiong, S., Zhang, X., Wang, M., Xun, M., Wang, Z., . . . Fu, P. (2021). Application Status and Analysis of Technology for Blending Hydrogen Into Natural Gas. *Gas Heat* 41.

Zakon o biogorivima za prijevoz, uključujući izmjene i dopune, uključujući njegove izmjene i dopune, Narodne novine 65/2009, 145/2010, 26/2011, 144/2012, 14/2014, 94/2018, 52/2021 (2009-2021).

Zakon o energiji, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 120/2012, 14/2014, 102/2015, 68/2018 (2012-2018).

Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 138/2021, 83/2023 (2021-2023).

Zakon o promicanju čistih vozila u cestovnom prijevozu, Narodne novine 52/2021 (2021).

Zakon o tržištu električne energije, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 112/2021, 83/2023 (2021-2023).

Zakon o tržištu plina, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 18/2018, 23/2020 (2018-2020).

Zakon o uspostavi infrastrukture za alternativna goriva, uključujući izmjene i dopune, Narodne novine 120/2016, 63/2022 (2016-2022).