

## Energetska tranzicija i održiva energetika

# NA PUTU PREMA VODIKOVOJ ENERGETICI

izv. prof. dr. sc.

**Darko Pavlović**

**Marija Gilja**

mag. iur.

dr. sc.

**Melita Srpak**

**T**ijekom prosinca 2023. godine, Europski parlament i Vijeće sporazumno su započeli postupak donošenja nove uredbe kojom će se ubuduće razvijati zajedničko tržište vodika i prirodnog plina. Cilj zajedničkih pravila unutarnjeg tržišta za obnovljive i prirodne plinove i vodik jest olakšati prodiranje obnovljivih i niskougljičnih plinova u energetske sustave članica Europske unije, posebno vodika i biometana. Unatoč neizvjesnosti oko toga koliko je ta budućnost daleko, jasno je da će svaka zemlja koristiti postojeće sustave i da će postojati međusobne razlike. Stoga je važno osigurati postojanje jedinstvene regulative koja će omogućiti praćenje razvoja i integrirano planiranje mreže.

Europski zeleni plan (eng. European Green Deal), sveobuhvatna strategija Europske unije iz prosinca 2019., postavila je cilj ugljične neutralnosti do 2050. godine. Njime se ističe da je integrirani energetske sustav ključan za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Tim je Planom vodik prvi put prepoznat kao ključni element budućeg dekarboniziranog energetske sustava. Strategija EU-a za vodik (Strategija vodika za kli-

matski neutralnu Europu), koju je Europska komisija objavila 2020. godine, prepoznala je važnu ulogu vodika u dekarbonizaciji industrijskih procesa i ostalih područja gospodarstva. Kako bi se povećala proizvodnja vodika, koja je ključna za omogućavanje te uloge, Strategija je postavila cilj imati 40 GW instalirane snage elektrolizatora u Europi do 2030. godine i proizvodnju do 10 Mt obnovljivog vodika u zemlji. Ta je objava nadopunjena

izjavama nekih članica EU-a koje su izrazile namjere da povećaju proizvodnju vodika, uključujući onu s malim udjelom ugljika korištenjem prirodnog plina sa zahvaćanjem i izdvajanjem ugljika (CCS) ili nuklearnom energijom.

## PLAN REPowerEU

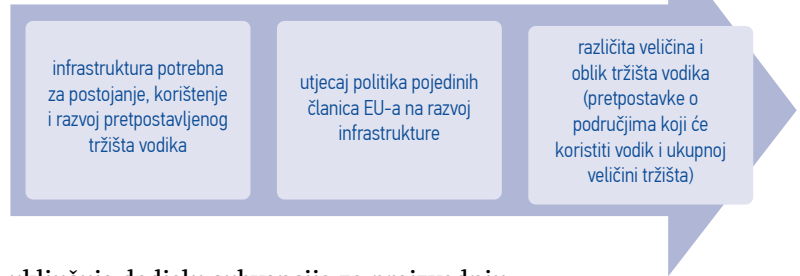
Nakon ruske invazije na Ukrajinu, EK je pokrenuo plan REPowerEU koji je postavio cilj smanjenja ovisnosti EU-a o ruskim fosilnim gorivima ubrzavanjem čiste tranzicije. Štoviše, EK nastavlja raditi sa susjedima i partnerima na Zapadnom Balkanu i u Energetskoj zajednici, koji dijele ovisnost EU-a o fosilnim gorivima i izloženost rastu cijena, a istodobno su se obvezali na iste dugoročne klimatske i dekarbonizacijske ciljeve.

U prosincu 2021. godine EK je objavio Paket o dekarbonizaciji vodika i plina. Taj paket dokumenata smatrao je da treba ažurirati trenutnu regulativu koja upravlja infrastrukturom prirodnog plina, ali i donijeti pravila koja potiču prihvaćanje obnovljivih i niskougljičnih plinova poput biometana i vodika. Iako se biometan može razmjerno lako transportirati postojećom mrežom prirodnog plina, to ne vrijedi i za vodik. To znači da vodik zahtijeva ili pravila koja omogućuju njegovo miješanje s tokovima prirodnog plina, ili pravila koja upravljaju razvojem i radom nove i odvojene infrastrukture za vodik, mreže kojom bi se povezala proizvodnja s potražnjom vodika.

U prosincu 2023. godine Europsko vijeće i Parlament pokrenuli su proces donošenja nove europske direktive koja će regulirati razvoj zajedničkog tržišta vodika i prirodnog plina. Ti akti imaju za cilj olakšati integraciju obnovljivih i niskougljičnih plinova u energetske sustave članica EU-a, posebno vodika i biometana. Iako nije jasno u vremenskoj trajektoriji primjene, koliko je ta budućnost udaljena, očito je da će se različite zemlje suočiti s različitim izazovima, s obzirom na njihove trenutne energetske sustave i međusobne razlike. Naime, predviđanje veličine i razvoja tržišta vodika predstavlja izazov, s obzirom na nepostojanje tržišta niskougljičnog i obnovljivog vodika. Mnoge varijable tržišta su izvan nadležnosti EK-a, što dodatno otežava predviđanja. Iako europska zakonodavstva, uključujući Direktivu o obnovljivim izvorima energije, mogu postavljati ciljeve za upotrebu vodika, ključna uloga leži u učinkovitosti članica EU-a u razvoju vlastitih politika kako bi ispunile postavljene ciljeve. To

### Ilustracija 1

Osnovne pretpostavke u razvoju zakonodavnih dokumenta vezanih uz vodik



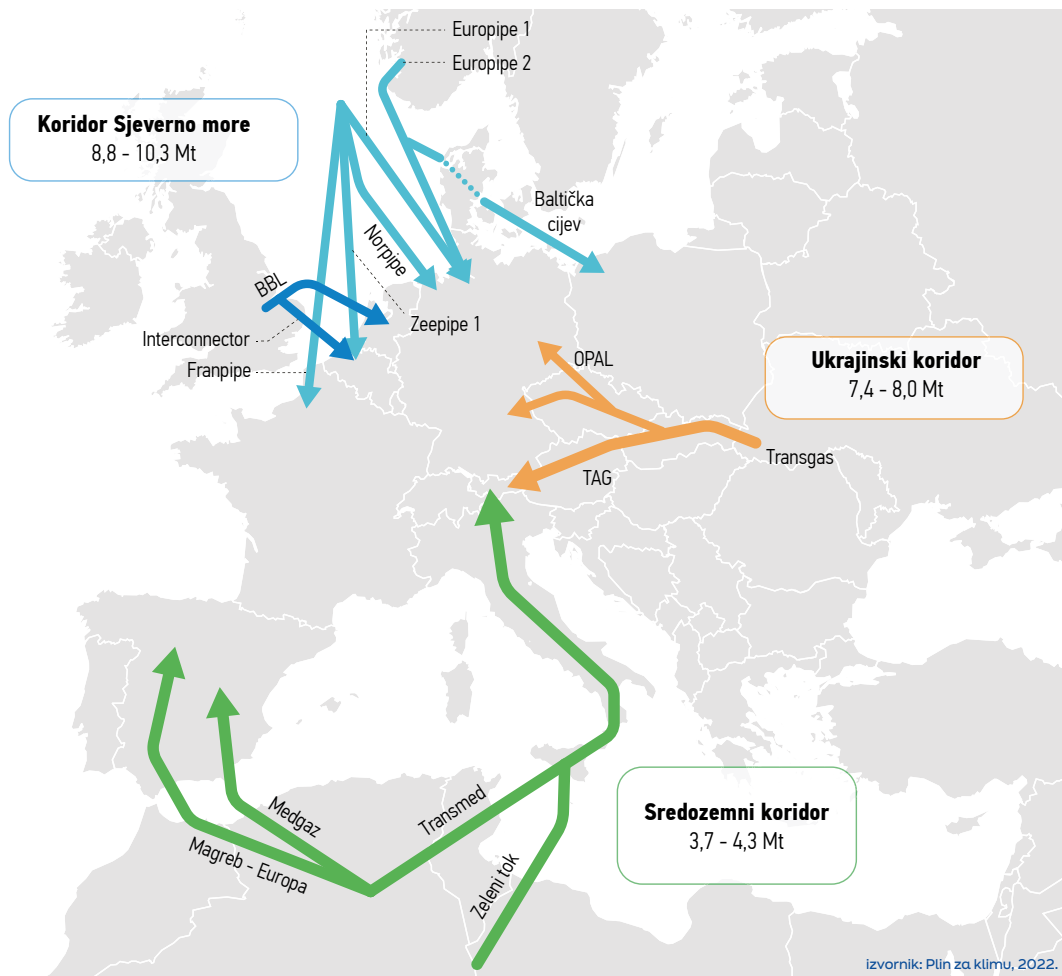
uključuje dodjelu subvencija za proizvodnju i upotrebu vodika, imajući u vidu da je on trenutno skuplji od drugih goriva.

Nadalje, ključna su pitanja poput dobivanja dozvola za prostorno planiranje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i izgradnju infrastrukture za vodik. Sve te varijable imaju značajan utjecaj na razvoj tržišta vodika pa je ključno uspostaviti jedinstvenu regulativu koja će omogućiti praćenje i integrirano planiranje razvoja energetske mreže. Pri tome treba naglasiti da ključnu razliku provedbe trenutnog regulatornog okvira za prirodni plin i predložene regulative za vodik, koja je u okolnostima da je u vrijeme stvaranja regulatornog okvira za plin već postojalo profitabilno i zrelo tržište s dobro razvijenom infrastrukturom i da, za razliku od toga, trenutno ne postoji tržište za vodik ni bilo kakva dobro razvijena infrastruktura. Propisi za vodik temelje se na nizu osnovnih pretpostavki i mnogih varijabli sadržanih u njima (il. 1).

Snažan utjecaj na rad EK-a u dijelu regulative je posljedica procesa liberalizacije tržišta prirodnog plina proteklih dvadeset godina. Ta ga je promjena usmjerila prema stvaranju optimalnog regulatornog okvira za vodik od samog početka, iako se sustav u stvarnosti još nije razvio ili se tek započeo razvijati u pojedinim članicama EU-a. Cilj prijedloga je uklanjanje regulatornih prepreka pristupu mrežama i tržištima za obnovljive i niskougljične plinove i u tom kontekstu omogućavanje dekarbonizacije plinovitih goriva u EU-u do 2050. godine. Pri tome se očekuje da će taj udio iznositi oko 85% trenutne razine u energetske pojmovima, ali s mnogo većim udjelom biometana i vodika. Ključno za postizanje tih ciljeva biti će postojanje sinergija i koordinacija članica EU-a i kontinuirani rad na razvoju tržišta vodika i niskougljičnih alternativa.

Primjerice, Plan REPowerEU identificirao je tri glavna koridora za uvoz vodika iz su-

**► Ilustracija 2**  
Cjevovodi za uvoz prirodnog plina u EU s potencijalnim kapacitetima uvoza



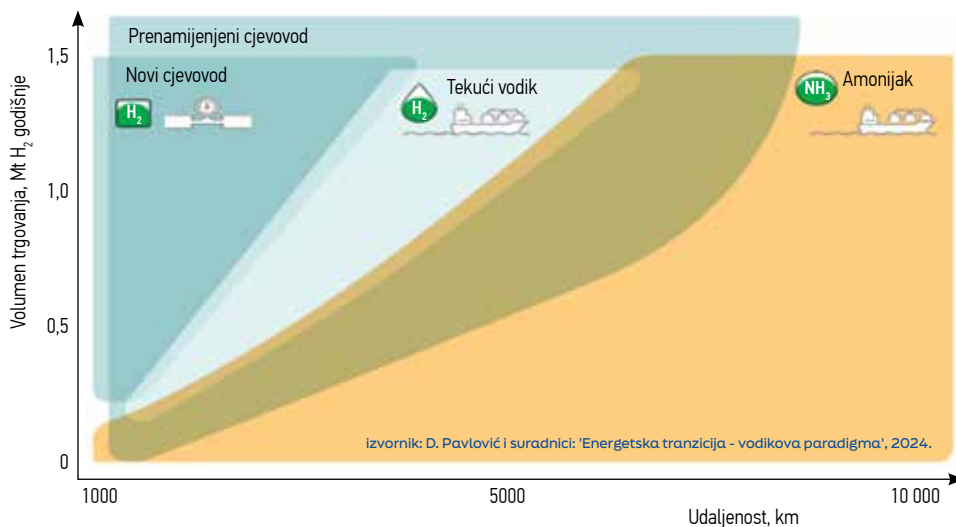
sjednih regija EU-a i olakšao postizanje 10 Mt uvezenih količina do 2030. godine:

- Koridor Sjeverno more
- Sredozemni koridor
- Istočnoeuropski koridor s Ukrajinom.

Transport vodika cjevovodima predstavlja obećavajući način za njegov prijenos od

velikih proizvodnih postrojenja do urbanih centara potražnje (il. 2). Važno je naglasiti potencijalnu prednost vodika proizašlu iz postojeće infrastrukture koja omogućuje njegov transport na velike udaljenosti već postojećim cjevovodima i distribucijskim mrežama. Ta prednost pojednostavljuje integraciju vodika u postojeće energetske susta-

**► Ilustracija 3**  
Troškovna učinkovitost mogućnosti prijevoza vodika, ovisno o volumenu i udaljenosti



ve i tržišta. Pri tome je važna troškovna učinkovitost rješenja za prijevoz, kada se u obzir uzimaju volumen i udaljenost (il. 3).

### ENERGETSKI CIKLUSI U VREMENSKOM OBZORU ENERGETSKE TRANZICIJE

Povijesno gledano, pojam energetske tranzicije označava promjenu u strukturi potrošnje primarne energije i postupan prijelaz iz postojećeg sustava opskrbe energijom u novo stanje energetskog sustava i danas nedvojbeno predstavlja temeljitu transformaciju globalne energetike. Taj se pojam odnosi na značajne strukturne promjene u energetskom sustavu, odnosno to je globalni prijelaz koji teži zamjeni dominacije fosilnih goriva obnovljivim izvorima i povećanoj energetske učinkovitosti. Taj proces ima ključnu ulogu u suočavanju s izazovima klimatskih promjena, smanjenja emisija stakleničkih plinova i postizanja održive budućnosti. Dovedeno su te promjene bile uzrokovane dostupnošću energenata i potražnjom za pojedinim energentima. Danas energetska tranzicija znači prepoznavanje osnovne potrebe da se emisija stakleničkih plinova u svijetu svede na nulu.

Transformacija energetskog sustava velik je izazov 21. stoljeća. Rast svjetske populacije i bruto domaćeg proizvoda (BDP) povećava potražnju za vodom, hranom i energijom, dok su Zemljini resursi ograničeni i iscrpljuju se. Do sada je rast BDP-a povlačio za sobom rast potrošnje energije, što dovodi do povećanja crpljenja i proizvodnje energije.

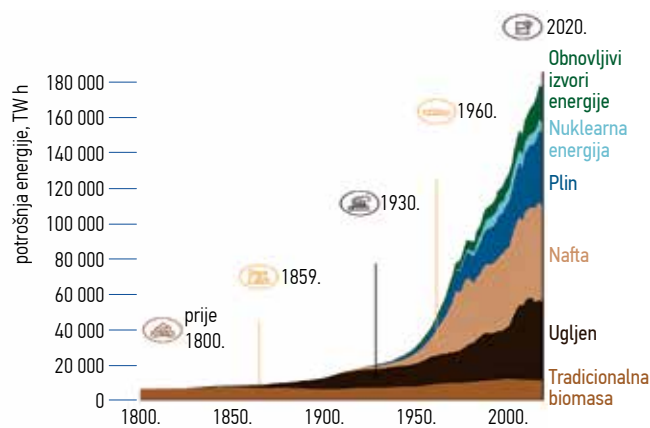
Energetska tranzicija je ključan proces koji se odvija u svjetskom društvu kako bi se suočilo s izazovima vezanim uz korištenje energije u suvremenome svijetu. Taj se pojam odnosi na prijelaz s dominantne uporabe konvencionalnih izvora energije na veću uporabu obnovljivih izvora i energetski održivijih rješenja (il. 4). Postoji ključna razlika trenutačne tranzicije i prethodnih energetske tranzicije, razdoblja promjene energetske sustava. Prethodne su tranzicije (poput prelaska s drva na ugljen s ugljena na naftu ili na prirodni plin) bile postupne i često su bile potaknute tehničkim napretkom ili ekonomskim promjenama i sve su bile dodaci energije, odnosno donosile su nove izvore energije koji su se dodavali postojećem energetskom sustavu. Dakle, nisu zamjenjivale postojeće izvore energije, već su ih nadopunjavale. Trenutačnu energetske tranziciju karakterizira potpuno drugačija paradigma, pri čemu se umjesto jednostavne



zamjene izvora energije odvija transformacija energetike na globalnoj razini uz cjelovito napuštanje fosilnih energenata i povećanje energetske učinkovitosti, dok geopolitički čimbenici imaju značajan utjecaj na energetske politiku i strategiju.

U vrijednosnoj se analizi energetske tranzicija može definirati kao 10 %-tno smanjenje tržišnog udjela određenog energenta tijekom 10 godina, a najbolju ilustraciju u razlikovanju dosadašnjih globalnih faza energetske tranzicije predložio je češko-kanadski znanstvenik Václav Smil, politički analitičar i profesor emeritus na Fakultetu za okoliš Sveučilišta Manitobe u Winnipegu u Kanadi. U njegovu razmatranju sadašnja energetska tranzicija (četvrta) u osnovi predstavlja svojevrsan energetske zaokret u nizu sličnih temeljnih strukturnih transformacija globalne energetike.

Prema njegovoj analizi, prva energetska tranzicija dogodila se prelaskom s korištenja biomase na korištenje ugljena, kada je njegov udio u ukupnoj potrošnji primarne energije porastao s 5 na 50% u vremenu 1840. - 1900. godine pa je ugljen postao primarni izvor energije u industrijskom svijetu (il. 4).

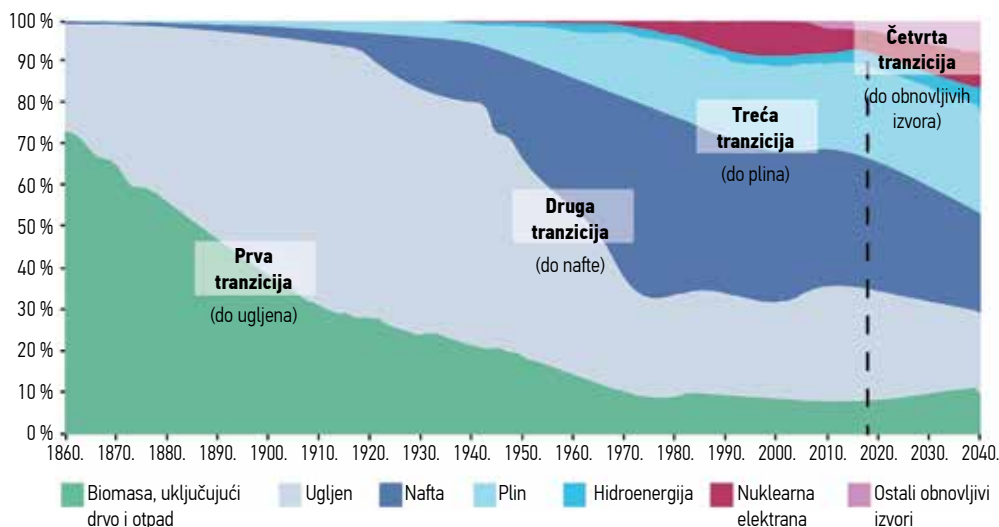


Ilustracija 4  
Energetski ciklusi u razdoblju 1800. - 2100.

izvornik: D. Pavlović i suradnici: 'Energetska tranzicija - vodikova paradigma', 2024.

**Ilustracija 5**  
Četiri energetske tranzicije i strukturalna promjena ukupne potrošnje primarne energije prema vrsti goriva u razdoblju 1860. - 2040.

izvornik: ERI RAS, Skotkovo Energy Centre



Druga tranzicija povezana je s većom upotrebom nafte. Njezin udio porastao je u vremenu 1915. - 1975. godine s 3 na 45%, pri čemu je najintenzivnije razdoblje prelaska s ugljena na naftu bilo u godinama nakon Drugoga svjetskog rata, a završilo je krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća s naftnom krizom. Treća tranzicija dovela je do široke uporabe prirodnoga plina, čiji je udio u vremenu 1930. - 2017. godine porastao s 3 na 23% zbog djelomičnog istiskivanja ugljena i nafte. Trenutačno je svijet na početku četvrte energetske tranzicije.

Dekarbonizacija i borba protiv globalnih klimatskih promjena predstavljaju ključan aksiom i pokretač primjene nekonvencionalnih energetskih resursa i tehnika, što je vidljivo na porastu primjene obnovljivih izvora, uz povećanje energetske učinkovitosti.

### ULOGA VODIKA U 'KVANTNOM SKOKU' ENERGETSKE TRANZICIJE

Nedvojbeno je da napuštanje fosilnih goriva nije stvar izbora, nego prirodan i neizbježan slijed događaja. Tranzicija europske energetike prema zelenoj budućnosti zahtijeva inovativne sudionike koji imaju hrabrosti i želju oblikovati nove poslovne modele, a samim time i inovativnu budućnost. Svako je poznato koji je željeni ishod energetske tranzicije, ali nitko još nije siguran na koji način do njega doći. Danas se čini da je svijet na svojevrsnoj zabrinjavajućoj energetsko-klimatskoj putanji, ali svakako se može pretpostaviti da će se pojaviti nova rješenja koja će omogućiti smanjenje emisija stakleničkih plinova. Imajući to na umu, ulogu vodika u energetske tranziciji treba realno sagledati i vrednovati s ekonomskog i s geopolitičko-geostrateškog aspekta. Ako se razmatra uloga i

značaj vodika u kvantnom skoku energetske tranzicije (pojam kvantnog skoka odnosi se na potencijalnu transformaciju energetike i prelazak na održiviju energetske budućnost zahvaljujući ulozi vodika), potrebno je vrlo pažljivo razmotriti pet ključnih područja koja će omogućiti njegovo uspješno integriranje u cjelokupni energetski sustav. Dakle, taj kvantni skok zahtijeva sljedeće.

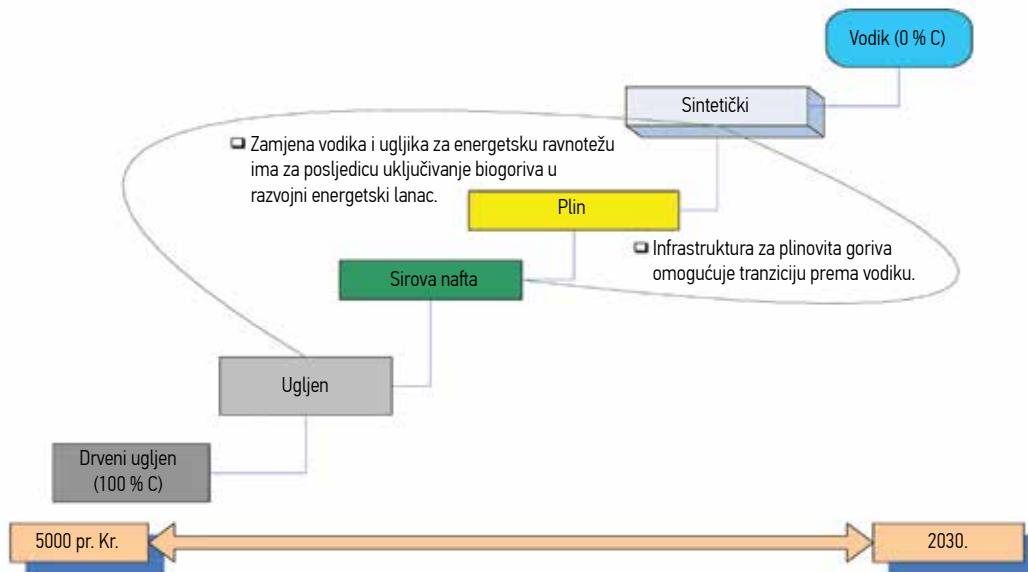
Na prvom je mjestu uspostava ciljeva i političkih signala. Naime, da bi se osigurala vizija uloge vodika u energetske politici, ključno je postaviti jasne ciljeve i dugoročne političke signale. Ti politički signali pružit će zainteresiranim stranama sigurnost u vezi s postojanjem stabilnog i održivog tržišta za vodik, što će potaknuti investicije i inovacije u tom području.

Tu je i poticanje potražnje za niskoemisivskim vodikom. To znači razradu politika koje podržavaju stvaranje potražnje za vodikom s malim emisijama, što je ključno za promicanje prihvaćanja vodika kao čiste energetske alternative. Pri tome treba educirati industriju i širu javnost o prednostima korištenja vodika kao čistog energetske vektora (nositelja energije) i potaknuti ga u raznim područjima kao što su promet i industrija.

Ublažavanje rizika ulaganja podrazumijeva projektiranje i prenamjenu i/ili izgradnju infrastrukture za proizvodnju, skladištenje i distribuciju vodika, što zahtijeva znatne investicije. Stoga treba uspostaviti politike koje će olakšati pristup financiranju, ublažiti rizike ulaganja i potaknuti brže ostvarivanje projekata u cijelom lancu vrijednosti vodika.

Poticanje istraživanja i tehnološkog napretka zapravo znači kontinuirano ulaganje u istraživanje i razvoj i tehnološki napredak,

**Ilustracija 6**  
Prevladavajući trendovi u ugljikovodicima



izvornik: D. Pavlović, doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2011.

što je ključno za unaprjeđenje rješenja povezanih s proizvodnjom, skladištenjem i korištenjem vodika. Razvoj novih energetska tehnika s nižim troškovima proizvodnje i većom energetska učinkovitošću bit će od ključne važnosti za postizanje konkurentnih cijena vodika.

Konačno, tu su i međunarodna suradnja i regulacija. Budući da energetska tranzicija prema vodik ne poznaje granice, važno je uspostaviti međunarodnu suradnju i regula-

ciju kako bi se osiguralo jedinstveno tržište i sigurnost opskrbe. Koordinacija međunarodnih sudionika i usklađivanje različitih regulatornih okvira bit će ključni čimbenici za uspješan globalni prijelaz na korištenje vodika kao ključnog elementa energetska tranzicije (il. 6).

U tom kontekstu vlade, industrija i društvo kao cjelina trebaju surađivati i poduzimati odlučne korake prema ostvarivanju tog cilja.

**Napomena**

Ovaj članak s temom vodika i njegove uloge u energetska tranziciji dijelom proizlazi i podudara se sa sadržajem nedavno objavljene knjige 'Energetska tranzicija - vodikova paradigma' autora Darka Pavlovića i sa autora Melite Srpk i Igora Klopotana.

Riječ je o kapitalnom dijelu iz područja vodikove energetike koje pruža sveobuhvatan pregled vodikove paradigme kao važnog elementa energetska tranzicije. Osam pozorno strukturiranih tematskih poglavlja čini ga idealnim izvorom informacija za širu akademsku zajednicu i za studente koji žele produbiti znanje o sve većoj važnosti vodika.

Kao što je rekao Martin Luther King mlađi: "Uvijek je pravo vrijeme da se učini ono što je ispravno."

