Uredba (EU) 2024/1787 o smanjenju emisije metana – regulatorni okvir energetske tranzicije prema niskougljičnoj budućnosti

Regulation (EU) 2024/1787 on Methane Emissions Reduction – A Regulatory Framework for the Energy Transition Towards a Low-Carbon Future

izv. prof. dr. sc. Darko Pavlović, prof. struč. stud.
Plinacro d.o.o., Zagreb, Hrvatska
darko.pavlovic@plinacro.hr

Marija Gilja, dipl. iur.
Plinacro d.o.o., Zagreb, Hrvatska
marija.gilja@plinacro.hr



Ključne riječi: emisije stakleničkih plinova, klimatske promjene, metan, modernizacija infrastrukture, održivi razvoj, Uredba EU

Keywords: greenhouse gas emissions, climate change, methane, infrastructure modernization, sustainable development, EU regulation

Sažetak

Ovaj članak analizira Uredbu (EU) 2024/1787 o smanjenju emisije metana u energetskom sektoru, s posebnim naglaskom na njezin strateški značaj u kontekstu energetske tranzicije Europske unije.

Metan je snažan stakleнički plin i ključna komponenta tradicionalnog fosilnog energetskog sustava, čija je ekonomija bila zasnovana na oskudici i ekstrakciji ograničenih resursa. U toj paradigmi, smanjenje emisija metana bilo je ponajprije pitanje ekološke regulacije fosilnih goriva – plina, nafte i ugljena.

Međutim, kako se globalna energetika transformira prema obnovljivim izvorima temeljenima na tehnologiji i proizvodnji, uloga uredbi poput one o smanjenju emisije metana dobiva novu dimenziju. Ove uredbe danas nisu samo ekološki alat, već i instrument ubrzavanja tranzicije prema niskougljičnim sustavima. Smanjenje emisija metana smanjuje ukupni ugljični otisak fosilnih goriva i time čini obnovljive izvore još konkurentnijima u odnosu na tradicionalne izvore energije.

Osim toga, kako se energetska sigurnost redefinira – s tradicionalne ovisnosti o uvozu goriva prema sigurnosti opskrbe tehnologijom i materijalima – uredbe o metanu postaju dio šire strategije dekarbonizacije i industrijske politike. One pomažu smanjiti ekološke i reputacijske rizike povezane s fosilnim gorivima, čime se dodatno ubrzava prelazak na obnovljive izvore i potiče razvoj domaće industrije čiste tehnologije.

Zaključno, uredba o smanjenju emisije metana nije samo ekološka mjera, već i važan alat u novoj paradigmi ekonomije energije. Ona podupire tranziciju prema energetskom sustavu temeljenom na razmjeru, inovacijama i održivosti, što je središnja tema sažetka i suvremene energetske politike.

Abstract

This article analyses Regulation (EU) 2024/1787 on the reduction of methane emissions in the energy sector, with particular emphasis on its strategic significance in the context of the European Union's energy transition. The regulation on methane emission reduction directly relates to fundamental changes in the energy sector. Methane is a potent greenhouse gas and a key component of the traditional fossil energy system, whose economy was based on scarcity and extraction of limited resources. In that paradigm, reducing methane emissions was primarily a matter of environmental regulation of fossil fuels—gas, oil, and coal.

However, as the global energy sector transforms towards renewable sources based on technology and production, the role of regulations like the methane emission reduction regulation gains a new dimension. Today, these regulations are not only environmental tools but also instruments for accelerating the transition to low-carbon systems. Reducing methane emissions lowers the overall carbon footprint of fossil fuels, thereby making renewable sources even more competitive compared to traditional energy sources.

Moreover, as energy security is redefined—from traditional dependence on fuel imports to supply security based on technology and materials—methane regulations become part of a broader decarbonization and industrial policy strategy. They help reduce environmental and reputational risks associated with fossil fuels, further accelerating the shift to renewables and encouraging the development of a domestic clean technology industry.

In conclusion, the regulation on the reduction of methane emissions is not only an environmental measure, but also an important tool in the new economic paradigm of the energy economy. It supports the transition to an energy system based on scale, innovation, and sustainability, which is a central theme of the summary and contemporary energy policy.

1. Metan – izazov klimatskim promjenama i utjecaj na energetski sektor

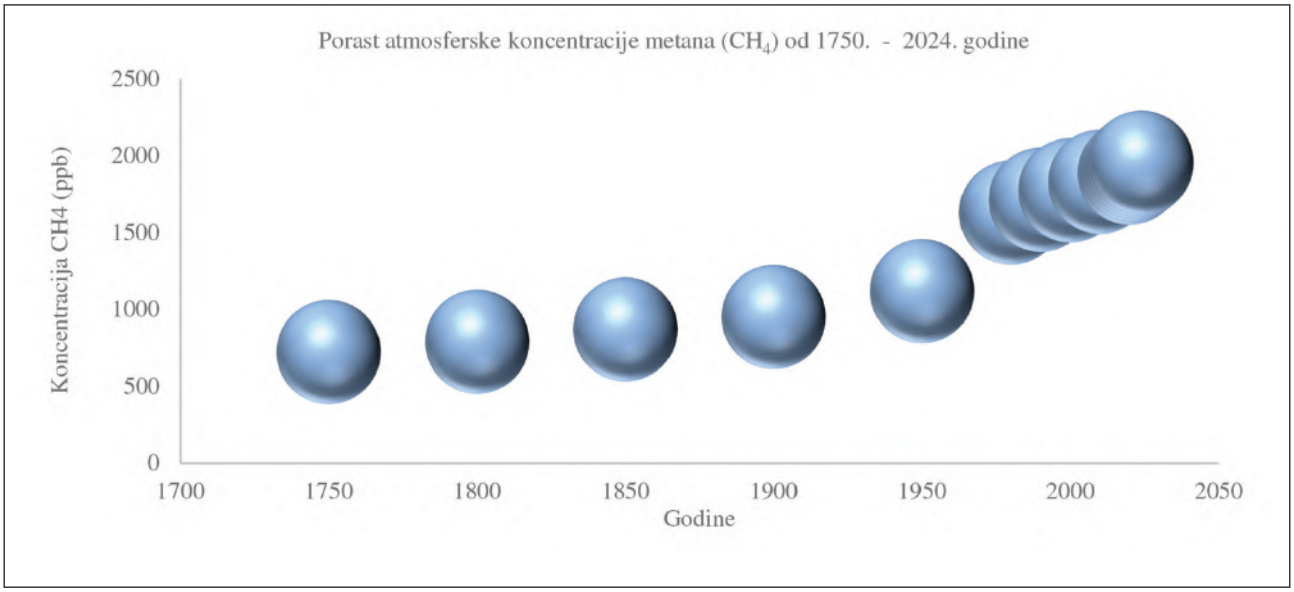
Europska unija (EU) posljednjih godina postavlja ambiciozne ciljeve za smanjenje emisija stakleničkih plinova u sklopu borbe protiv klimatskih promjena, pri čemu je posebna pažnja usmjerena na metan (CH_4). S obzirom na to da metan čini značajan dio ukupnih emisija stakleničkih plinova u EU, njegovo smanjenje ključno je za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja i klimatskih obveza iz Pariškog sporazuma. Energetski sektor, odgovoran za 19% emisija metana u EU, ima najveći potencijal za brzo, učinkovito i troškovno isplativo smanjenje emisija.

Uredba EU 2024/1787, koja je stupila na snagu 4. kolovoza 2024., osigurava pravni okvir za smanjenje emisija metana u energetskom sektoru te je rezultat sveobuhvatnog pristupa Europske komisije usmjerenog na postizanje ambicioznih klimatskih ciljeva, s posebnim naglaskom na metan.[1,3] Metan (CH_4) i ugljikov dioksid (CO_2) dva su ključna staklenička plina koja značajno doprinose globalnom zagrijavanju. Iako je CO_2 često u središtu pozornosti zbog svoje velike koncentracije u atmosferi i dugog životnog vijeka, metan, unatoč svojoj nižoj prisutnosti, ima znatno veću potenciju zagrijavanja. Ova kombinacija visoke snage zagrijavanja i kratkog vijeka u atmosferi čini ga izazovom, ali i prilikom za brzo smanjenje učinaka klimatskih promjena.

Metan (CH_4)1 je stakleнički plin koji, unatoč tome što je manje poznat široj javnosti od ugljikovog dioksida (CO_2), igra vrlo važnu ulogu u globalnom zatopljenju i predstavlja značajan izazov u borbi protiv klimatskih promjena. Njegova sposobnost zadržavanja topline u atmosferi, čini ga jednim od najopasnijih plinova u atmosferi kada je riječ o klimatskim promjenama. Od početka industrijske revolucije (1750.), atmosferska koncentracija metana porasla je s približno 722 ppb[2] na više od 1900 ppb u 2022. godini, što predstavlja porast veći od 160%. Ovaj dramatični porast čini metan jednim od ključnih čimbenika u ubrzanju globalnog zatopljenja. Na Slici 1 prikazan je vremenski tijek rasta koncentracije metana u atmosferi, koji pokazuje ubrzano povećanje nakon 1950-ih, uslijed porasta industrijske aktivnosti i intenziviranja eksploatacije fosilnih goriva.

1 CH_4 je manje prisutan, ali je mnogo snažniji u kratkom roku te ima značajan utjecaj na trenutne klimatske promjene dok je CO_2 dominantni stakleнički plin zbog svoje visoke koncentracije i dugotrajnog zadržavanja u atmosferi, ali ima nižu potenciju zagrijavanja

2 ppb (parts per billion) – dijelova na milijardu. Ova mjerna jedinica označava broj molekula određenog plina – u ovom slučaju metana – u odnosu na milijardu molekula zraka. Na primjer, koncentracija od 722 ppb znači da u svakih 1.000.000.000 molekula zraka ima 722 molekule metana, što odgovara udjelu od 0,0000722% metana u ukupnom volumenu atmosfere. Slično tome, koncentracija od 1923 ppb označava 1923 molekule metana na milijardu molekula zraka – koje se pretežno sastoje od dušika, kisika i argona.



Slika 1. Porast atmosferske koncentracije metana (CH_4) od 1750. do 2022. godine. Autorova obrada prema izvorima: IPCC AR6, NOAA GML (2023).

Jasno se vidi naglo povećanje od sredine 20. stoljeća, s najvećim porastom u posljednjih nekoliko desetljeća. Ova značajka proizlazi iz molekularne strukture metana, koja mu omogućuje da apsorbira i ponovno emitira infracrveno zračenje, pojačavajući učinak zagrijavanja Zemljine površine. Naime, kada molekula metana apsorbira ovu energiju, ona je ponovno emitira u svim smjerovima, uključujući natrag prema tlu, čime pojačava učinak zagrijavanja atmosfere.

Unatoč tome što je metan prisutan u atmosferi u znatno manjim koncentracijama od CO_2, njegova visoka globalna potencija zagrijavanja (GWP – „*Global Warming Potential*“) znači da čak i male količine metana imaju iznimno velik utjecaj na povećanje globalnih temperatura. Drugim riječima, ova visoka učinkovitost u zadržavanju topline čini metan posebno problematičnim u kontekstu klimatskih promjena.[2]

S druge strane, metan ima relativno kratki životni vijek u atmosferi, otprilike 12 godina, prije nego što se razgradi u CO_2 i vodenu paru kroz kemijske reakcije. Naime, metan (CH_4) ima 28 do 36 puta veći globalni potencijal zagrijavanja (GWP) od ugljikova dioksida (CO_2) na vremenskom horizontu od 100 godina, prema Međuvladinom panelu o klimatskim promjenama (IPCC). S obzirom na njegov relativno kratak atmosferski vijek (~12 godina), smanjenje emisija metana smatra se jednom od najisplativijih i najbržih mjera za ublažavanje klimatskih promjena. Unatoč regulatornim naporima, globalne emisije metana nastavljaju rasti, posebice iz sektora fosilnih goriva koji ostaje jedan od najvećih izvora antropogenih emisija CH_4. S tim u svezi, čak i tijekom tog „kratkog razdoblja“, njegov intenzivan učinak na zagrijavanje atmosfere značajno doprinosi trenutnim klimatskim promjenama.

Ova kombinacija visoke snage zagrijavanja i kratkog vijeka čini metan jednim od ključnih ciljeva za smanjenje emisija. Prema podacima Ujedinjenih naroda, emisije metana odgovorne su za približno 20% globalnog zagrijavanja od predindustrijske ere. Dodatno, prema izvješću Globalnog ugljičnog projekta, koncentracija metana u atmosferi značajno je porasla tijekom posljednjih deset godina. Između 2000. i 2020. godine emisije metana zabilježile su rast od 20%, Posebno zabrinjava podatak da je 2020. godina donijela porast od 42 milijuna tona metana u atmosferi, što je dvostruko više od prosječnog godišnjeg porasta u prethodnom desetljeću. Ovi podaci jasno ukazuju na ubrzano povećanje emisija metana u posljednjem desetljeću, s naglašenim trendom rasta





u 2020. godini, što zahtijeva hitnu pozornosti djelovanje kako bi se ublažio njihov utjecaj na globalno zagrijavanje.

Oko 60% svjetskih emisija metana pripisuje se ljudskim aktivnostima, pri čemu tri ključna sektora imaju najveći utjecaj na te emisije: poljoprivreda, odlaganja otpada, proizvodnja fosilnih goriva. Kada je riječ o sektoru poljoprivrede treba naglasiti da je u stvari riječ o stočarstvu-grani poljoprivrede koja se bavi uzgojem stoke.

Metan, glavni sastojak prirodnog plina i jedan od najmoćnijih stakleničkih plinova, ima ključnu ulogu u energetskom sektoru. Dok s jedne strane predstavlja vitalan izvor energije, s druge strane predstavlja značajan izazov zbog svog utjecaja na okoliš. Njegova prisutnost i način upravljanja imaju dugoročne posljedice na globalne energetske strategije, klimatske promjene i održivi razvoj [4] Energetski sektor, kao drugi najveći izvor emisija metana nakon poljoprivrede, igra presudnu ulogu u borbi protiv klimatskih promjena.

Europska svemirska agencija (ESA) upozorava da koncentracija metana u atmosferi raste po stopi od približno jedan posto godišnje, što dodatno naglašava hitnost rješavanja ovog problema. Ova zabrinjavajuća stopa rasta dodatno ističe potrebu za inovacijama i međunarodnom suradnjom u sektorima poput energetike, poljoprivrede i upravljanja otpadom, gdje su emisije metana najizraženije. ESA-ina tehnologija za praćenje plinova u atmosferi igra ključnu ulogu u razumijevanju dinamike emisija metana i pruža vrijedne podatke koji podržavaju globalne klimatske strategije. Energetski sektor – uključujući naftu, prirodni plin, ugljen i bioenergiju – odgovoran je za gotovo 40% emisija metana.

Operacije vezane za ugljen, naftu i prirodni plin odgovorne su za oko 40 miliona tona emisija, dok je gotovo 5 miliona tona rezultat propuštanja iz opreme za krajnju upotrebu. Približno 10 miliona tona emisija dolazi od nepotpunog izgaranja bioenergije, uglavnom uzrokovanog tradicionalnim korištenjem biomase.

Globalni prosječni intenzitet emisija metana u proizvodnji nafte i plina od 2019. godine je smanjen za približno 5%. Međutim, ukupne emisije i dalje rastu, što ukazuje na to da smanjenje intenziteta nije dovoljno da neutralizira utjecaj povećane proizvodnje. Ovaj trend naglašava potrebu za uvođenjem strožih mjera i ambicioznijih ciljeva. Naftna i plinska industrija trebale bi zamijeniti tradicionalne ciljeve smanjenja intenziteta emisija i usvojiti strategiju *nulte tolerancije prema emisijama metana*[3].

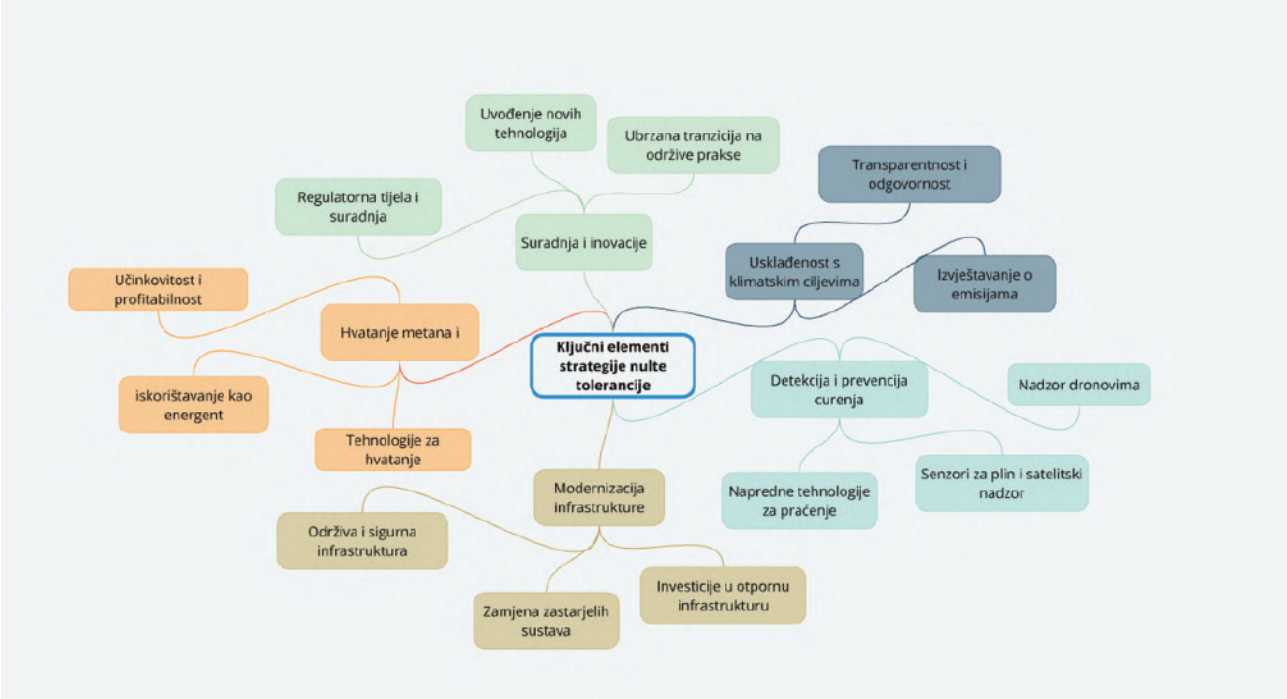
S obzirom na to da je smanjenje emisija metana u ovom sektoru izrazito isplativo, ulaganja u tehnologije za smanjenje propuštanja i unapređenje transportnih mreža donose značajne prednosti za okoliš i gospodarstvo. Tehnologije poput naprednih senzora, dronova za detekciju prppuštanja i sustava za hvatanje metana omogućuju smanjenje gubitaka dok istovremeno povećavaju učinkovitost i profitabilnost operacija. Primjerice, prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), ulaganje od približno 100 milijardi USD bilo bi dovoljno za postizanje 75% smanjenja emisija metana u naftnom i plinskom sektoru. Ovaj iznos predstavlja manje od 3% prihoda koje su globalne naftne i plinske kompanije ostvarile 2022. godine.

IEA također procjenjuje da bi se, na temelju rekordnih cijena plina zabilježenih diljem svijeta 2022., oko 80% mjera za smanjenje emisija iz naftnih i plinskih operacija moglo implementirati bez neto troškova [5]. S tim u svezi uspostavom strategije nulte tolerancije prema emisijama metana, naftna i plinska industrija mogu postati lideri u globalnoj tranziciji prema održivim energetskim praksama, istovremeno smanjujući svoj utjecaj na klimatske promjene. Ključni elementi strategije nulte tolerancije prikazani na Slici 2. prikazuju integrirani pristup smanjenju emisija metana kroz tri komplementarne razine djelovanja: tehnološku, institucionalnu i tržišnu.

Na tehnološkoj razini, istaknute su napredne metode detekcije i praćenja emisija (sateliti, drono-

3 Strategija nulte tolerancije temelji se na principu potpune eliminacije emisija metana koje su tehnički i ekonomski izvedive, koristeći napredne tehnologije, strože regulative i modernizaciju infrastrukture.

4 Gilja, Marija; Srpak, Melita; Pavlović, Darko: Uloga Uredbe (EU) 2024/1787 u smanjenju emisija metana: Nevidljivi izazov klimatskim promjenama // EGE: energetika, gospodarstvo, ekologija, etika, XXXII (2024), 5; 98–101)



Slika 2. Ključni elementi strategije nulte tolerancije metana[4]

vi, senzori), koje pripadaju skupini „Best Available Techniques" (BAT). Dodatno, modernizacija i zamjena zastarjele infrastrukture odgovaraju zahtjevima klimatske i industrijske politike za izgradnju otpornih energetskih sustava. Institucionalni elementi – usklađenost s klimatskim ciljevima, izvještavanje i transparentnost – temelje se na MRV („monitoring, reporting, verification") okvirima definiranima europskom regulativom. Tržišna komponenta naglašava učinkovitost i iskorištavanje metana kao energenta, čime se povezuju ciljevi dekarbonizacije i energetske sigurnosti. Promatrajuću sliku kao cjelinu nedvojbeno je da je strategija nulte tolerancije više od tehničkog zahtjeva – ona je strateški okvir za tranziciju prema održivom, niskougljičnom i otpornom energetskom sustavu, osobito u kontekstu Uredbe (EU) 2024/1787.

1.1. Uredba EU o smanjenju emisija metana u energetskom sektoru

Europska unija (EU) suočava se s izazovima smanjenja emisija stakleničkih plinova, pri čemu je metan jedan od najznačajnijih plinova koji doprinose globalnom zagrijavanju. Kao jedan od najvećih uvoznika fosilnih goriva, EU je 2020. godine usvojio strategiju za metan koja naglašava potrebu za poboljšanim mjerenjem i izvještavanjem o emisijama metana, kako unutar EU-a, tako i u vezi s emisijama povezanim s uvozom fosilnih goriva. Ova strategija postavila je temelje za daljnje mjere koje su rezultirale usvajanjem Uredbe (EU) 2024/1787[5] o smanjenju emisija metana u energetskom sektoru, čija je svrha smanjenje emisija metana na razini EU-a i jačanje energetske sigurnosti. [6]

2. Nove obveze za operatore nafte i plina, rudnike ugljena, države članice i uvoznike

Uredba EU-a o smanjenju emisije metana u energetskom sektoru, (koja je stupila na snagu u ljeto 2024. godine, implementirati će se u fazama do 2030. godine) uvodi nove obveze za operatore nafte i plina, rudnike ugljena, države članice i uvoznike u vezi s kvantificiranjem, praćenjem, izvještavanjem i verifikacijom emisija metana. Cilj ove regulative je smanjiti emisije metana kroz jasne smjernice i obveze koje se primjenjuju na sve relevantne sektore, s posebnim naglaskom na mjerenje emisija na razini izvora.

Uredbom je jasno definirano tko je operator na način da ga se utvrđuje kao „bilo koju fizičku ili pravnu osobu koja upravlja ili kontrolira imovinu, ili, kada je to predviđeno nacionalnim zakonom, kojoj je delegirana odlučujuća ekonomska moć nad tehničkim

5 Uredba (EU) 2024/1787 Europskog parlamenta i Vijeća od 13.lipnja 2024.godine o smanjenju emisije metana u energetskom sektoru i izmjeni Uredbe (EU) 2019/942



funkcioniranjem imovine“ *(članak 2. stavak 3. Uredbe EU 2024/1787)*. Ova definicija uključuje i operirane imovine, koje ostaju pod operativnom kontrolom operatera, i neoperirane imovine uspostavljene u Uniji *(članak 2. stavak 4. i 5. Uredbe EU 2024/1787)*.

Uredba nadalje jasno definira obveze operatora nafte i plina, uključujući sljedeće aspekte:

1. **Kvantificiranje, praćenje, izvještavanje i verifikacija (QMRV) emisija**
   - operatori će biti obvezni:
     a) Provoditi izravna mjerenja emisija metana na razini pojedinačnih izvora i uspoređivati ih s neovisnim mjerenjima na razini lokacije kako bi se osigurala točnost podataka.
     b) Koristiti specifične faktore emisije[6], čime će se osigurati veća točnost, preciznost u procjenama emisija.
     c) Izvještavati o rezultatima u skladu s jasno definiranim standardima za verifikaciju, čime se osigurava transparentnost i dosljednost.
2. **Ublažavanje emisija**
   - kako bi se emisije svele na najmanju moguću mjeru, Uredba uključuje:
     a) Opću obvezu minimiziranja emisija, kroz program otkrivanja i popravka curenja *(LDAR – Leak Detection and Repair,)* Cilj ovog programa je identificirati, kvantificirati i brzo sanirati curenja plinova koja se javljaju na opremi, infrastrukturi i postrojenjima. Ova praksa obuhvaća sustavan pristup praćenju emisija i uvođenju mjera za minimizaciju utjecaja na okoliš. LDAR pomaže operaterima ispuniti obveze minimiziranja emisija, zaštititi okoliš i povećati ekonomsku učinkovitost. Njegova implementacija predstavlja važan korak prema održivijem poslovanju u sektoru energetike.
     b) Zakonska regulativa jasno će definirati pragove za *venting* (*kontrolirano ispuštanje plina u atmosferu*) i *flaring* (*kontrolirano spaljivanje plina*), uz strogo propisane zahtjeve kako bi se smanjile emisije metana i njegov utjecaj na okoliš:
   - Korištenje visoko učinkovitih tehnologija spaljivanja (*flaring*); regulativa zahtijeva primjenu tehnologija koje postižu minimalnu učinkovitost od 99%. Ova visoka razina učinkovitosti osigurava da se gotovo sav metan i drugi plinovi pretvore u manje štetne spojeve, poput ugljičnog dioksida (CO_2), umjesto da se emitiraju kao metan, koji ima znatno snažniji učinak na globalno zagrijavanje.
   - Prijedlozi za smanjenje ventinga; odnose se na kontrolirano ispuštanje neobrađenog plina u atmosferu, što ima velik utjecaj na klimatske promjene zbog iznimno snažnog potencijala metana



6 Faktor emisije označava brojčanu vrijednost koja prikazuje količinu emisija (npr. metana) po jedinici aktivnosti, poput proizvodnje prirodnog plina, količine prerađenog goriva ili broja upotrijebljene opreme. Specifični faktori emisije temelje se na detaljnim podacima koji uzimaju u obzir stvarne uvjete, uključujući vrstu opreme, tehnologiju, geografski položaj i operativne prakse. Njihova primjena omogućuje preciznije procjene emisija, pružajući točne informacije za učinkovito praćenje i upravljanje emisijama. Time se operaterima olakšava donošenje informiranih odluka i ispunjavanje regulatornih zahtjeva.

za zagrijavanje. Regulativa predlaže implementaciju inovativnih tehnologija koje smanjuju ispuštanje metana u atmosferu, uključujući sustave za hvatanje plina i njegovo iskorištavanje kao goriva ili kemijskog resursa te tehnologije za rekompresiju plina (rekompresori), koje vraćaju plin natrag u sustav za preradu ili transport, umjesto da ga ispuštaju.

3. **Kvantificiranje i ublažavanje emisija iz neaktivnih bušotina**
   – operatori će biti odgovorni za:
   a) Upravljanje emisijama iz bušotina koje su privremeno ili trajno zatvorene. Nacionalni i međunarodni zakoni sve više zahtijevaju odgovorno upravljanje zatvorenim bušotinama kako bi se minimizirao njihov utjecaj na okoliš. Kroz pravilno zatvaranje, kontinuirano praćenje i pravovremenu sanaciju, naftna i plinska industrija može značajno doprinijeti održivosti, zaštiti prirodnih resursa i ispunjenju klimatskih ciljeva.
   b) Izradu detaljnih planova sanacije i rekultivacije kako bi se smanjio utjecaj na okoliš. Detaljni planovi sanacije i rekultivacije su kritičan dio odgovornog upravljanja okolišem u naftnoj i plinskoj industriji. Njihova implementacija osigurava da se negativni utjecaji na prirodu minimiziraju i da se područja eksploatacije vrate u funkcionalno i sigurno stanje. Dugoročno, ovakvi planovi pridonose održivosti industrije, očuvanju okoliša i društvenoj prihvatljivosti njenih aktivnosti.
   c) Redovito praćenje stanja neaktivnih bušotina kako bi se osigurala sigurnost i smanjile potencijalne emisije. Upravljanje ovim emisijama ključno je za minimiziranje njihovog utjecaja na okoliš, a zahtijeva sustavan pristup kroz identifikaciju, praćenje, sanaciju i dugoročno održavanje.
4. **Tehnološki napredak**
   – Uredba potiče industriju na usvajanje najnovijih tehnologija i najboljih praksi, uključujući:
   a) Korištenje naprednih sustava za mjerenje i smanjenje emisija.
   b) Primjenu najboljih dostupnih tehnoloških rješenja („*Best Available Techniques*“ – *BAT*) za detekciju curenja, učinkovito spaljivanje plina i minimiziranje emisija. Primjena BAT za otkrivanje curenja uključuje napredne metode koje omogućuju brzu i točnu identifikaciju izvora emisija metana i drugih plinova (optičke plinske kamere (OGI); senzori i analizatori plina; dronovi i robotski sustavi; satelitski sustavi). BAT (najbolja dostupna tehnološka rješenja) za spaljivanje plina obuhvaća tehnologije koje maksimiziraju učinkovitost spaljivanja i minimiziraju emisije. Ovi sustavi osiguravaju da se plinovi pretvore u manje štetne spojeve, poput CO_2, uz minimalnu učinkovitost spaljivanja od 99%. Automatizirane kontrole procesa prilagođavaju uvjete izgaranja, dok se proizvedena toplina može iskoristiti za dodatnu energiju.

Nova regulativa Europske unije o smanjenju emisija metana predstavlja značajan korak prema održivijem upravljanju emisijama u energetskom sektoru. Ova Uredba, koja je usvojena kao dio šireg paketa mjera za borbu protiv klimatskih promjena, uvodi niz obveza i standarda koji se odnose na praćenje, izvještavanje i ublažavanje emisija metana [6].

Države članice EU-a zadužene su za implementaciju Uredbe (što uključuje osiguranje adekvatnih nadležnih tijela za provedbu) imaju rok do 5. veljače 2025. godine obavijestiti EU o nadležnom tijelu za praćenje Uredbe. One će također biti odgovorne za utvrđivanje pravila o kaznama i objavljivanje godišnjih izvještaja o neusklađenosti. Očekuje se da će države članice osigurati sredstva za obuku i akreditaciju pružatelja usluga LDAR, kao i razvijati nacionalne strategije za smanjenje emisija metana. Uvoznici će biti obvezni dokazati ekvivalenciju mjera praćenja emisija metana



koje primjenjuju proizvođači u trećim zemljama. Ovo uključuje izvještavanje o intenzitetu emisije metana kod proizvodnje sirove nafte, prirodnog plina i ugljena.

Uredba naglašava važnost transparentnosti, a podaci koje izvještavaju uvoznici bit će javno dostupni, čime se omogućava veća odgovornost proizvođača i uvoznika. Nadležna tijela u državama članicama bit će zadužena za osiguranje usklađenosti s regulativom. U Republici Hrvatskoj se očekuje da će nadležno tijelo biti Ministarstvo gospodarstva. Očekuje se da će kazne za neusklađenost varirati između država članica, što može dovesti do različitih pristupa i razina provedbe.

Regulativa također omogućuje poticaje za operatore, što bi moglo utjecati na smanjenje emisija u sektoru ugljena. Nadležna tijela će provoditi inspekcije, kako rutinske, tako i nerutinske, kako bi osigurala usklađenost. U slučaju neusklađenosti, operator ili uvoznik suočit će se s financijskim i reputacijskim kaznama.

Regulativa specificira maksimalnu razinu kazni, koja može doseći 20% godišnjeg prometa za pravne osobe država članica. Uredba također predviđa mehanizme za podršku usklađivanju, uključujući poticaje za projekte smanjenja emisija, a države članice mogu koristiti sredstva iz nacionalnih fondova za financiranje ovih inicijativa.

Glavne institucije uključuju nadležna tijela zadužena za provedbu regulative i nacionalne regulatorne agencije koje će nadgledati troškove reguliranih operatera. Očekuje se da će ove agencije surađivati s vanjskim verifikatorima kako bi osigurale točnost izvještavanja o emisijama. Verifikatori će biti neovisni od operatora i moraju biti akreditirani u skladu s pravilima EU-a. Ova tijela će provoditi provjere lokacija i evaluirati pouzdanost podataka koje su dostavili operatori. Verifikatori će također uzeti u obzir informacije koje pruža Međunarodni opservatorij za emisije metana (IMEO). Očekuje se da će verifikatori koristiti najbolje dostupne tehnike i tehnologije u svom radu.

Unatoč napretku, postoje značajne praznine u Uredbi, posebno u vezi s metodologijama koje će se koristiti za izračunavanje emisija metana i transparentnost u vezi s emisijama povezanima s uvozom fosilnih goriva. Ova pitanja ostaju nejasna i morati će se dodatno razraditi kroz sekundarno zakonodavstvo. Važno je napomenuti da Uredba ne specificira do kada se delegirani i provedbeni akti moraju usvojiti, što može odgoditi implementaciju ključnih odredbi.

Očekuje se da će Europska komisija, kroz ove akte, definirati tehničke specifikacije i standarde koji će omogućiti usklađivanje s pravilima EU-a. Osim toga, tijekom pregovora o regulativi, ključna pitanja su se odnosila na to kako će se osigurati da emisije povezane s uvozom fosilnih goriva postanu dio sveobuhvatnog sustava praćenja i izvještavanja. S obzirom na to da EU ostaje veliki uvoznik fosilnih goriva, jasno je da je potrebno razviti mehanizme koji će obuhvatiti sve segmente opskrbnog lanca.

3. Izazovi i mogućnosti u implementaciji EU regulative o smanjenju emisija metana

Regulativa EU o metanu predstavlja važan korak prema smanjenju emisija metana, ali ostaje nejasno kako će se implementirati i koje će konkretne posljedice imati na operatere i uvoznike. Bitno je odrediti koje će biti specifične metodologije za izračunavanje intenziteta metana (potrebno je razviti standardizirane metode koje će omogućiti usporedbu emisija među različitim opskrbnim lancima).

Standardizacija metoda mora uključivati precizne smjernice za mjerenje, praćenje i verifikaciju (MRV) emisija metana, što će omogućiti generiranje usporedivih podataka i potaknuti industriju na smanjenje emisija koristeći dosljedne kriterije, kako bi se osigurala usklađenost s pravilima u trećim zemljama (s obzirom da EU uvozi značajan dio fosilnih goriva iz trećih zemalja, potrebna je suradnja s državama izvan EU-a kako bi se osigurala primjena ekvivalentnih mjera za praćenje i smanjenje emisija metana). U tom kontekstu, EU bi trebao razviti mehanizme suradnje s drugim državama radi implementacije ekvivalentnih mjera praćenja i izvještavanja, odnosno verifikacije podataka o emisijama iz trećih zemalja koja uključuje obvezno izvještavanje i certifikaciju, kako bi se osigurala usklađenost s EU regulativom.

Nadalje, trebalo bi utvrditi kako će EU utjecati na globalno tržište fosilnih goriva, poglavito u slučaju da regulativa stvori nepovoljne uvjete za međunarodne dobavljače koji žele izvoziti u EU, ali nisu u mogućnosti zadovoljiti stroge standarde. Naime, regulativa može utjecati na troškove proizvodnje, cijene i dostupnost fosilnih goriva, što može promijeniti dinamiku globalnog tržišta. Uvođenje strožih standarda zahtijeva od dobavljača ulaganja u napredne tehnologije za mjerenje, smanjenje emisija i modernizaciju infrastrukture, što neizbježno povećava operativne troškove, osobito u slučaju kompanija koje posluju na visoko reguliranim tržištima poput tržišta EU-a. Očekuje se da će se regulativa razvijati s vremenom, uz potrebu za dodatnim mjerama i prilagodbama.



Postoje razlozi za oprezni optimizam u vezi s globalnim naporima za smanjenje emisija metana, posebno u naftnom i plinskom sektoru. Europska unija (EU) igra ključnu ulogu u uspostavi i promicanju robusnog standarda za mjerenje, praćenje i verifikaciju (MRV) emisija metana. Ovaj standard temeljen na preciznom mjerenju postaje sve šire prihvaćen među tvrtkama u svim segmentima opskrbnog lanca nafte i plina. Ako se standardi poput MRV-a pravilno provedu, mogu značajno smanjiti emisije metana i potaknuti globalnu suradnju, iako ne garantiraju potpuno uklanjanje problema. To predstavlja korak naprijed u borbi protiv klimatskih promjena. Druge jurisdikcije, poput SAD-a i Kanade, također se kreću u ovom smjeru, što dodatno potiče međunarodnu suradnju u smanjenju emisija metana.

Konačno, proces pokrenut usvajanjem Uredbe EU o metanu može se, po mišljenju autora ovog članka, usporediti s liberalizacijom tržišta plina EU-a, koja je zahtijevala višestruke zakonodavne inicijative i prilagodbe za postizanje svojih ciljeva. Ovaj proces će zahtijevati kontinuiranu suradnju među zemljama članicama, industrijom i regulatornim tijelima kako bi se postigla održivija i ekološki prihvatljivija energetska budućnost.

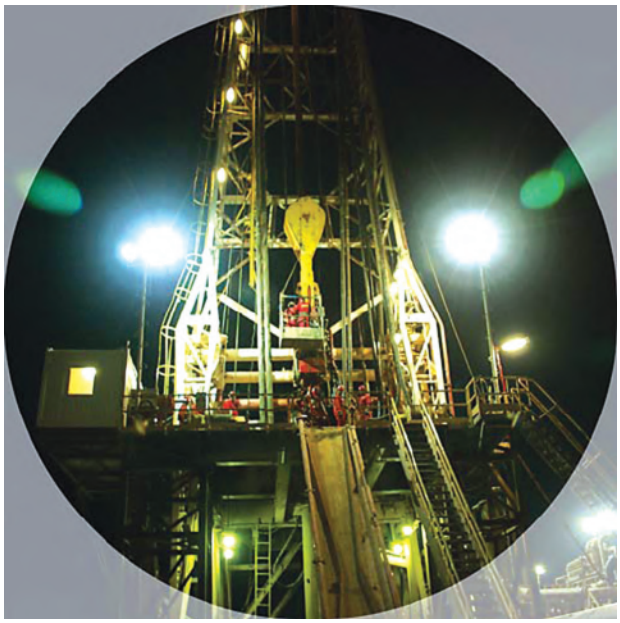
U kontekstu Europske unije (EU) i njezine regulative o smanjenju emisija metana, nekoliko ključnih pitanja zahtijeva pažnju kako bi se osigurala uspješna implementacija i postizanje ciljeva smanjenja emisija. Ključna pitanja će uključivati rješavanje pitanja koje će biti specifične metodologije za izračunavanje intenziteta metana (potrebno je razviti standardizirane metode koje će omogućiti usporedbu emisija među različitim opskrbnim lancima).

Standardizacija metoda mora uključivati precizne smjernice za mjerenje, praćenje i verifikaciju (MRV) emisija metana što će omogućiti stvaranje usporedivih podataka i potaknuti industriju na smanjenje emisija koristeći dosljedne kriterije), kako će se osigurati usklađenost s pravilima u trećim zemljama (s obzirom da EU uvozi značajan dio fosilnih goriva iz trećih zemalja, potrebna je suradnja s državama izvan EU kako bi se osigurala primjena ekvivalentnih mjera za praćenje i smanjenje emisija metana) [10]

U tom kontekstu EU će trebati razviti mehanizme suradnje s drugim državama radi implementacije ekvivalentnih mjera praćenja i izvještavanja, odnosno verifikacija podataka o emisijama iz trećih zemalja koja uključuje obvezno izvještavanje i certifikaciju (kako bi se osigurala usklađenost s EU regulativom), koji će biti utjecaj na tržište fosilnih goriva, odnosno, kako će EU utjecati na globalno tržište fosilnih goriva, poglavito ako regulativa stvori nepovoljne uvjete za međunarodne dobavljače koji žele izvoziti u EU, ali nisu u mogućnosti zadovoljiti stroge standarde. Nedvojbeno je da regulativa može utjecati na troškove proizvodnje, cijene i dostupnost fosilnih goriva, što može promijeniti dinamiku globalnog tržišta. [7,8]

Uvođenje strožih standarda zahtijeva od dobavljača ulaganja u napredne tehnologije za mjerenje, smanjenje emisija i modernizaciju infrastrukture neizbježno povećava operativne troškove, osobito za kompanije koje posluju na visoko reguliranim tržištima poput EU-a. Pitanje može li EU primijeniti mehanizme poput graničnih poreza na emisije ugljika („Carbon Border Adjustment Mechanism“ – CBAM)[7] kako bi osigurala pravednu konkurenciju između domaćih i stranih dobavljača.

7 CBAM je važan mehanizam za poticanje pravedne konkurencije i globalne tranzicije prema nižim emisijama stakleničkih plinova. Njegov uspjeh ovisit će o učinkovitosti provedbe, međunarodnoj suradnji i osiguravanju ravnoteže između klimatskih ciljeva i ekonomskih interesa. Ako se pravilno implementira, CBAM ima potencijal postati snažan alat za smanjenje emisija na globalnoj razini i stvaranje održivijeg tržišnog natjecanja. Međutim, CBAM nosi i određene izazove. Primjerice, porast cijena za neke uvozne proizvode mogao bi negativno utjecati na potrošače unutar EU, povećavajući troškove života ili smanjujući dostupnost određenih dobara. Osim toga, postoji mogućnost neslaganja sa zemljama izvoznicama, koje bi mogle smatrati CBAM oblikom trgovinskog protekcionizma, što bi moglo izazvati trgovinske sporove ili ugroziti međunarodne odnose. Stoga će uravnotežen i pažljivo osmišljen pristup biti ključan za uspješnu primjenu ovog mehanizma.



Važno je i kako će se osigurati transparentnost informacija jer osiguranje da su informacije o emisijama dostupne javnosti i dionicima ključan je korak za izgradnju povjerenja i odgovornosti među dionicima, uključujući javnost, industriju i regulatorna tijela.

Energetski sektor u svijetu prolazi kroz duboku i temeljnu promjenu koja mijenja dosadašnje ekonomske paradigme i načine razmišljanja o energiji. Tradicionalno, ekonomija energije bila je usmjerena na oskudicu prirodnih resursa, ponajprije fosilnih goriva, koja se izvlače iz ograničenih i geografski fiksiranih nalazišta.

Cijene ovih resursa određivale su se prema modelu Hotllingovih pravila. Hotllingova pravila nastala su u SAD-u početkom 20-ih i 30-ih godina 20. stoljeća, objašnjavajući zašto konkurenti često nude slične proizvode ili se lociraju blizu jedni drugima. Hotellingovo pravilo o eksploataciji neobnovljivih resursa objavljeno je 1931. godine u časopisu Journal of Political Economy. Njegov model pokazuje kako bi cijene neobnovljivih resursa trebale rasti s vremenom, a temeljio se na promatranju ekonomske isplativosti eksploatacije resursa. Njegova pravila danas se najviše koriste u pravednoj raspodjeli kapaciteta ili resursa među korisnicima mreža.

Osnovni principi istih temelje se na načelima da svaki korisnik ima pravo na minimalni zajamčeni kapacitet, ako ima slobodnog kapaciteta on se dodatno raspodjeljuje korisnicima prema njihovim potrebama ili prioritetima, ukupni kapacitet ne smije biti prekoračen da ne bi došlo do preopterećenja sustava. Ovakav način razmišljanja oblikovao je tržišta kroz dugi niz godina. S vremenom je došlo do prelaska na drugačije poimanje energije, koje se temelji na obnovljivim izvorima kao što su solarna energija, baterije, vjetar, elektrolizatori. Ova energija nije vezana na ograničene prirodne resurse, nego se oslanja na tehnologiju, inovacije i proizvodnju. Kako rastu inovacije u primjeni tehnologije, padaju troškovi proizvodnje i raste dostupnost obnovljivih izvora. Geografska ograničenja dostupnosti energije postaju manje bitna.

Slijedom svega mijenja se i pojam energetske sigurnosti. Dok je ranije sigurnost značila osiguravanje pristupa nafti i plinu, danas se fokus prebacuje na stabilnost pristupa tehnologiji, proizvodnim kapacitetima, i ključnim sirovinama kao što su litij, kobalt i nikl. U epicentar daljnjeg razvoja unutar država ulazi razvoj domaće proizvodnje, jačanje lanaca opskrbe i zaštita intelektualnog vlasništva. Političke mjere također se prilagođavaju novoj stvarnosti.

Subvencije i poticaji za obnovljive izvore sve se češće povezuju s uvjetima lokalne proizvodnje i razvojem domaće industrije. Primjeri su američki Zakon o smanjenju inflacije i Europski zakon o industriji s neto nulom emisija, koji nude porezne olakšice i druge poticaje za razvoj čiste tehnologije unutar svojih granica. Istovremeno, pojavljuju se i trgovinske napetosti, jer zemlje nastoje zaštititi svoje proizvođače od jeftinog uvoza, što pokazuje napetost između poticanja uvođenja obnovljivih izvora i razvoja domaće proizvodnje.

Sve ove promjene ukazuju na to da je ekonomija energije u fazi duboke transformacije. Tradicionalni modeli, koji su se temeljili na oskudici i kontroli resursa, ne mogu objasniti nove odnose u svijetu energije. Umjesto toga, nova paradigma naglašava tehnološki razvoj, proizvodnu sposobnost i strateško upravljanje lancima opskrbe kao ključne čimbenike uspjeha. Ova promjena donosi nove izazove i prilike za tržišta, politike i sigurnosne strategije, te zahtijeva prilagodbu regulatornih okvira i dizajna tržišta kako bi se iskoristile prednosti energije obilja i razmjera.

Može se ustvrditi da suvremeni energetski sektor prolazi kroz paradigmalnu promjenu, u smislu prijelaza s modela temeljenog na oskudici fosilnih resursa prema modelu utemeljenom na razmjeru proizvodnje, tehnološkim inovacijama i učenju kroz korištenje (learning-by-doing). Ovaj zaokret sve se češće u znanstvenoj literaturi tumači kao dubinska promjena logike energetskog sustava – napuštanje strukture oslonjene na geopolitičku kontrolu nad resursima i ulazak u sustav koji počiva na decentralizaciji, digitalizaciji i dekarbonizaciji. Kako ističu Pavlović i suradnici u knjizi Energetska tranzicija – Vodikova paradigma [6] riječ je

Tablica 1: Usporedba energetskih sustava: fosilna goriva – obnovljivi izvori

ASPEKT	FOSILNA GORIVA	OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE
Ekonomski pokretač	Ograničenost i oskudica prirodnih resursa	Razmjer, učenje kroz praksu (*learning-by-doing*)
Struktura troškova	Visoki varijabilni troškovi	Visoki početni kapitalni troškovi, niski granični trošak proizvodnje
Tržišna struktura	Oligopol, geopolitičke barijere, koncentracija izvora	Dinamična tržišta, mrežni učinci, konkurencija skalom, model „pobjednik uzima najviše“ (*Winner-takes-most*)[8]
Energetska sigurnost	Ovisnost o uvozu goriva i geopolitičkoj stabilnosti	Ovisnost o tehnologiji, kritičnim mineralnim sirovinama i digitalnoj infrastrukturi[9] otvara nova pitanja o sigurnosti opskrbe te sve izraženijoj geopolitičkoj ovisnosti o strateškim sirovinama [12]
Profil rizika	Cijene/geopolitički šokovi	Rizici povezani s opskrbnim lancima, mrežama i kibernetičkom sigurnošću
Fokus politike	Subvencije, regulacija tržišta goriva, nacionalni interesi	Industrijska politika, inovacijski klasteri, liberalizirana trgovina

o sveobuhvatnoj transformaciji, u kojoj vodik ne predstavlja samo alternativni energent, već i novu temeljnu energetsku matricu. Ona sa sobom donosi promjenu načina razmišljanja o tržištima, tehnološkom razvoju i energetskoj geopolitici. Takva tranzicija ne podrazumijeva tek tehničku ili okolišnu prilagodbu, već zahvaća duboke strukturne promjene u gospodarstvu, institucionalnim okvirima i međunarodnim odnosima, čineći je jednom od najdalekosežnijih promjena u globalnom energetskom sustavu u 21. stoljeću. Kako bi se ova paradigmalna promjena dodatno operacionalizirala i prikazala kroz ključne parametre, korisno je sagledati strukturne razlike između energetskog sustava temeljenog na fosilnim gorivima i onoga koji se oslanja na obnovljive izvore energije.

Tablica 1 obuhvaća te razlike kroz šest važnih dimenzija – od ekonomskih pokretača do profila rizika i dominantnih regulatornih pristupa čime ilustrira kako se temeljni obrasci energetske politike i tržišne logike transformiraju u prijelazu na niskougljični energetski model.

Tablična usporedba jasno pokazuje da energetska tranzicija ne obuhvaća samo zamjenu izvora energije, već i temeljitu transformaciju ekonomskih modela, regulatornih paradigmi i pristupa energetskoj sigurnosti. Takva promjena zahtijeva novi regulatorni i institucionalni okvir koji će moći pratiti tržišnu dinamiku, poticati tehnološke inovacije i istodobno osiguravati sigurnost opskrbe u uvjetima sve izraženijih sustavnih rizika (od ranjivosti opskrbnih lanaca do kibernetičkih prijetnji).

U tom kontekstu, Uredba (EU) 2024/1787 o smanjenju emisije metana ne predstavlja samo i isključivo tehnički propis, već svojevrsni strukturni instrument europske strategije dekarbonizacije i otpornosti. S tim u vezi, autori zaključuju da se regulativa o metanu potvrđuje kao jedan od vrlo važnih „instrumenata europske energetske tranzicije“, s potencijalom da dugoročno redefinira načine na koje pristupamo proizvodnji, distribuciji i odgovornom korištenju energije.

4. Zaključak

U svjetlu sve većih izazova povezanih s klimatskim promjenama, regulativa Europske unije o smanjenju emisija metana predstavlja ključni korak prema održivijem upravljanju emisijama u energetskom sektoru. Metan, kao jedan od najznačajnijih stakleničkih plinova, ima potencijal da značajno doprinese globalnom zagrijavanju, a njegovo smanjenje postalo je imperativ za postizanje klimatskih ciljeva.

Regulativa Europske unije o smanjenju emisija metana, koja predviđa postupnu implementaciju do 2030. godine, obvezuje operatere u sektorima nafte, plina i ugljena, kao i države članice i uvoznike, na kvantificiranje, praćenje, izvještavanje i verifikaciju emisija. S tim u svezi, mjere za ublažavanje emisija osmišljene su kako bi omogućile pravovremeno otkrivanje curenja i ukupno smanjenje emisija. Ove

8 „*Winner-takes-most*“: tržišna dinamika u kojoj nekoliko dominantnih igrača preuzima većinu tržišnog udjela (npr. kroz tehnološko vodstvo, efikasnost ili brzinu skaliranja).

9 Ova ovisnost uključuje sirovine poput litija, kobalta, nikla i rijetkih zemalja, ključne za proizvodnju baterija, solarnih panela i vodikovih sustava, kao i digitalne komponente za nadzor, upravljanje i balansiranje mreže

obveze uključuju kvantificiranje, praćenje, izvještavanje i verifikaciju emisija metana, kao i mjere za ublažavanje emisija.

Očekuje se da će ove mjere omogućiti pravovremeno otkrivanje curenja i smanjenje ukupnih emisija. Međutim, uspjeh ove regulative ovisit će o sposobnosti EU-a da razvije koherentne politike koje će osigurati stvarno smanjenje emisija metana, uz istovremeno očuvanje energetske sigurnosti i konkurentnosti unutar EU. Također, međunarodna suradnja bit će ključna, posebno s obzirom na globalne napore za smanjenje emisija metana kroz inicijative poput *Global Methane Pledge*. Samo kroz koordinirane napore moguće je osigurati održivu budućnost i učinkovito suočavanje s izazovima klimatskih promjena.

Održiva budućnost i energetska tranzicija nisu samo tehnološka promjena, već temeljna promjena ekonomske logike. Prijelaz s oskudice fosilnih goriva na razmjer obnovljivih izvora energije, na koje se sve više stavlja naglasak, mijenja tržišne strukture, pojam energetske sigurnosti i pristup politici. Uspjeh u novoj paradigmi ovisi o inovacijama, proizvodnom vodstvu i otpornim lancima opskrbe što zahtijeva koordiniranu industrijsku politiku, redizajn tržišta i nove regulatorne okvire. U novoj ekonomskoj paradigmi, kako opisuje sažetak, fokus se s oskudice resursa prebacuje na inovacije, razmjere proizvodnje i tehnološki napredak.

Uredba o smanjenju emisije metana uklapa se u taj okvir jer potiče energetsku industriju na ulaganja u nove tehnologije za detekciju, hvatanje i smanjenje curenja metana. Time se otvara prostor za razvoj i primjenu naprednih rješenja, što je u skladu s trendom prelaska s ekstrakcije resursa na inovacije u proizvodnji i upravljanju energijom. Kako zaključuju autori, u eri ubrzanih klimatskih promjena, regulativa više nije samo instrument upravljanja – ona postaje izraz kolektivne etike i međugeneracijske odgovornosti, čime se pozicionira kao neizostavan temelj nove energetske paradigme, utemeljene na održivosti, inovacijama i pravednosti.

Literatura

1. Uredba (EU) 2024/1787 Europskog parlamenta i Vijeća od 13.lipnja 2024.godine o smanjenju emisije metana u energetskom sektoru i izmjeni Uredbe (EU) 2019/942
2. Allen, D. T., et al. (2013). „Measurements of methane emissions at natural gas production sites in the United States.“ Proceedings of the National Academy of Sciences.
3. European Commission (2020). „EU Strategy to Reduce Methane Emissions.“ European Union Publications.
4. Gilja, M., Pavlović, D., Srpak, M., Vodikova paradigma-regulatorni paket Europske Unije. U XII. međunarodna konferencija HUNIG – Nafta, plin, geoterme, vodik-održiva energetska budućnost 2024.godine.
5. International Energy Agency (IEA) (2023). „Global Methane Tracker 2023.“ IEA Publications
6. Pavlović, D., Srpak, M., Klopotan, I. (2024). Energetska tranzicija – vodikova paradigma, Čakovec: Međimursko veleučilište u Čakovcu.
7. Pavlović, D., Gilja, M., Srpak, M.. (2024). Energetska tranzicija i održiva energetika – brojni izazovi pred vodikom // EGE: energetika, gospodarstvo, ekologija, etika, XXXII. (2024), 3; 36–41
8. Zelenika, I., Novak Mavar, K., Medved, I., Pavlović, D. (2024*). Sustainable Energy Solutions: Utilising UGS for Hydrogen Production by Electrolysis* // Applied sciences (Basel), 14 (2024), 15; 6434-20 p.. doi: 10.3390/app14156434 https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Media_Bulletin_Note_03_COP29.pdf
9. Verdolini, E., & Goulder, L. H. (2018). „*The Role of Natural Gas in Reducing Greenhouse Gas Emissions.*“ Environmental Economics and Policy Studies.
10. International Organization for Standardization (ISO), 2018. ISO 14064-1:2018 – Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals. Geneva: ISO
11. ISO, ISO 50001:2018 – Energy management systems — Requirements with guidance for use. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2018.
12. Pavlović, D., Srpak, M., Meaški, H., Kovač, S. (2025), A geostrategic role of critical mineral raw materials in the energy transition, Environmental engineering, 11 (1–2), 20–26. doi: 10.37023/ee.11.1-2.4