



Podzemno skladište plina d. o. o.
vodi, održava i razvija siguran,
pouzdan i učinkovit sustav
skladišta plina

Veslačka 2-4_10000 Zagreb
tel.: +385 1 6053 111 fax: +385 1 6053 112
web: www.psp.hr e-mail: psp@psp.hr

SURAĐUJU S VODEĆIM DOMAĆIM I MEĐUNARODNIM INSTITUCIJAMA I ORGANIZACIJAMA IZ PLINSKOGA GOSPODARSTVA



Međunarodnom plinskom unijom (IGU), međunarodnom organizacijom koja podržava kontinuirani globalni razvoj proizvodnje, marketinga i primjene plina



operatorom plinskoga transportnog sustava Republike Hrvatske, kompanijom Plinacro d. o. o.



hrvatskom nacionalnom energetsom tvrtkom Hrvatska elektroprivreda d. d.



tvrtkom Siemens Energy d. o. o.



HROTE HRVATSKI OPERATOR
TRŽIŠTA ENERGIJE d.o.o.

Hrvatskim operatorom tržišta energije d. o. o.



HERA

Hrvatskom energetsom regulatornom agencijom



tvrtkom MET Croatia Energy Trade d. o. o.



INNOVATION

stručnim časopisom



Kompanijom INA-Industrija nafte, d.d. i tvrtkom iz INA Grupe *STSI-Integrirani tehnički servisi d.o.o.*



tvrtkom Prvo plinarsko društvo d. o. o.



operatorom podzemnog skladišta plina Republike Hrvatske, kompanijom PSP d. o. o.



tvrtkom Međimurje-Plin d. o. o.



GRADSKA
PLINARA
ZAGREB
OPSKRBA

tvrtkom Gradska plinara Zagreb – Opskrba d. o. o.



GRADSKA PLINARA
ZAGREB

tvrtkom Gradska plinara Zagreb d. o. o.



Gas
Infrastructure
Europe

europskom udrugom plinskih infrastrukturnih operatora



Izdavač:
HRVATSKA STRUČNA
UDRUGA ZA PLIN

Ulica Vjekoslava Heinzela 9
10 000 Zagreb
tel: 01/6189-595
e-pošta: hsup@hsup.hr
url: www.hsup.hr

Časopis Plin IMPRESUM UREDNIŠTVO

Glavni i odgovorni urednik:

Dalibor Pudić
tel.: 01/6189-595
e-pošta: dalibor.pudic@hsup.hr

Zamjenik glavnog urednika:

Eraldo Banovac

Članovi:

Darko Pavlović
Davor Matić
Gordana Sekulić
Igor Grozdanić
Ivan Topolnjak
Laslo Farkaš Višontai
Sabina Škrtić
Srećko Ezgeta

SAVJET ČASOPISA

Anica Hunjet (Sveučilište Sjever)
Berislav Pavlović (GPZ)
Damir Rajković
Darjan Budimir (HROTE)
Davor Horvat (Termoplin)
Dražan Kozak (Sveučilište u Slavanskom Brodu)
Franc Cimerman (Plinovodi, Slovenija)
Igor Dekanić
Ivan Meandžija
Nenad Hranilović (Međimurje-plin)
Nikola Vištica (HERA)
Zoran Pull (HEP Osijek)
Željko Požega (Ekonomski fakultet u Osijeku)

Predstavnici industrije:

Dalibor Crnić (Vaillant)
Vladimir Turina (Viessmann)
Zoran Novaković (Eko fluid)

Tehnički urednik:

Zoran Dojčinović

Tisak:  PRINTERA

Naslovnica: Međimurje-plin d. o. o.

OSVRT GLAVNOG UREDNIKA

4

AKTUALNOSTI

IZ HRVATSKE STRUČNE UDRUGE ZA PLIN

POZIV AUTORIMA za sudjelovanje na 41. MEĐUNARODNOM ZNANSTVENO-STRUČNOM SUSRETU STRUČNJAKA ZA PLIN (6. - 8. svibanj 2026.), Opatija	8
15. listopada 2025. svečano je obilježen Dan plina	12
Tehnička pravila za projektiranje, izvođenje, uporabu i održavanje plinskih instalacija, HSUP - P 600, 2. izdanje	19

OBJAVE - NAJAVE

Održan je seminar Robur Days u organizaciji tvrtke Tehnokom d. o. o. i renomiranog talijanskog proizvođača opreme za grijanje i hlađenje Robur S.p.A.	20
---	----

PRENOSIMO

IZ MEDIJA

EU određuje rok do 2028. za okončanje uvoza ruskog plina u okviru postupne zabrane	25
Podzemno skladištenje plina – ključni stup energetske sigurnosti	26
Plan Clean Air Task Forcea zacrtava troškovno učinkovitu primjenu hvatanja i skladištenja ugljika u srednjoj i istočnoj Europi	27

ZNANSTVENI I STRUČNI RADOVI

Parametrizacija rada plinsko-turbinskog procesa pri različitim omjerima vodika i metana u smjesi goriva	28
Vodik kao stup zelene energetske tranzicije – izazovi transporta cjevovodima	39
Plinacrova primjena strategije „Nulta tolerancija metana“ prema Uredbi (EU) 2024/1787.	48



Časopis Plin besplatno je javno glasilo za plinsko gospodarstvo, oglašivače, obrazovne i druge zainteresirane institucije u RH i okruženju. Izlazi četiri puta na godinu. Objavljuje znanstveno-stručne radove, informacije iz međunarodnih i hrvatskih plinskih organizacija, prenosi aktualnosti iz drugih stručnih časopisa i ostale literature te praktične škole plina, plinske tehnike i plinske regulative. Časopisu Plin dodijeljen je međunarodni standardni broj ISSN 1333-1132 i skraćeni ključni naslov Plin (Zagreb). Sadržaj časopisa dopušteno je objavljivati bez naknade uz navod izvora (časopis Plin) te signature autora objavljenog dijela sadržaja. Materijale za časopis potrebno je slati na e-poštu: hsup@hsup.hr. Pripremljeni materijali ne vraćaju se autorima. Izrađeni oglasi vlasništvo su časopisa.

OSVRT GLAVNOG UREDNIKA



Poštovani i dragi čitatelji časopisa Plin!

Ogrjevna sezona 2025./2026. odvija se bez teškoća zahvaljujući dobroj pripremljenosti svih ključnih aktera. Tome naročito doprinose domaća proizvodnja plina, podzemno skladište plina Okoli, učinkovit rad terminala za UPP na otoku Krku, stručno vođen plinski transportni sustav i činjenica da su ugovorene dovoljne količine plina. Nadalje, energetske subjekti koji obavljaju plinske djelatnosti pravodobno su proveli potrebne aktivnosti održavanja pripadajuće plinske infrastrukture, što je od velikog značaja za pouzdano funkcioniranje hrvatskog plinskog sustava.

S obzirom na ključan značaj terminala za UPP na otoku Krku, od velike je važnosti što su završeni radovi na ugradnji novog modula za regasifikaciju na FSRU brodu i da je terminal ponovno krenuo s radom 26. listopada 2025. Nakon završetka velikog Plinacrova projekta „Jačanje plinske infrastrukture“, uz godišnji kapacitet terminala za UPP na otoku Krku od 6,1 milijardi m³, značajno će se povećati kapaciteti transporta prirodnog plina s terminala za UPP na otoku Krku prema Sloveniji, Mađarskoj i drugim državama jugoistočne Europe. Time će Hrvatska ojačati svoju ulogu u pogledu energetske sigurnosti u regiji.

Posebno nas raduje da je napokon provedena korekcija iznosa tarifnih stavki za distribuciju plina, važne regulirane energetske djelatnosti koja se obavlja kao javna usluga. U uredničkim osvrtima objavljenima u časopisu Plin više sam puta ukazivao na problematiku operativnih troškova koji su proteklih godina rasli iznad predviđenih iznosa i ugrozili poslovanje distributera plina u Republici Hrvatskoj. Iako će se učinci odluke regulatora osjetiti tek iduće godine, nakon što se prikupe sredstva na temelju povišenih tarifa, ipak je time nakon duljeg razdoblja pritiska operativnih troškova napravljen važan iskorak za financijsku održivost distributera.

Na početku ogrjevnog sezone 2025./2026., EU ulazi s razinom sigurnosti opskrbe plinom koja je i dalje visoka, ali ipak niža nego godinu ranije. Na dan 1. listopada 2025. podzemna skladišta plina u EU-u bila su popunjena do 83 %, a godinu prije do 94 %. Riječ je o prosječnoj vrijednosti na razini EU-a, pri čemu nacionalne razine skladištenja značajno variraju. Usporedno s time, zapunjenost PSP-a Okoli na početku sezone bila je niža nego prethodnih godina. To je izravna posljedica pojačanog povlačenja plina iz skladišta za vrijeme prestanka rada terminala za UPP na otoku Krku zbog ugradnje novog modula za regasifikaciju na FSRU brod. U tom razdoblju skladište je imalo ključnu ulogu u osiguravanju kontinuirane opskrbe plinom.

Podaci ENTSG-a pokazuju da je tijekom prošle zimske sezone 2024./2025. oko 31 % ukupne opskrbe u EU-u bilo pokriveno plinom povučenim iz skladišta. Početkom travnja 2025. godine europska skladišta bila su popunjena približno do 34 % jer je tijekom zime iz njih povučeno oko 63 milijarde m³ plina. Time je potvrđena važnost dobro osmišljene strategije ponovnog punjenja skladišta za sigurnost opskrbe plinom. U skladu s Uredbom EU-a o skladištenju plina, države članice imaju obvezu postići razinu napunjenosti od 90 % u razdoblju od 1. listopada do 1. prosinca, uz određenu fleksibilnost u iznimno nepovoljnim tržišnim okolnostima.

Spot-cijena plina (*day-ahead*) na vodećem europskom plinskom čvorištu, nizozemskom TTF-u, nastavlja pokazivati volatilnost. U studenom 2025. godine TTF spot-cijena pala je ispod 30 EUR/MWh, a početkom

prosinca iznosila je 28 EUR/MWh. Te su vrijednosti slijedile i budućnosnice (*futures*). Riječ je o najnižoj cijeni plina u posljednjih 18 mjeseci.

Dana 15. listopada 2025. održana je redovita i izborna sjednica Skupštine Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP) i tradicionalna proslava Dana plina. U zgradi INA – Industrije nafte d. d., u Zagrebu, okupili su se mnogobrojni sudionici hrvatskog tržišta plina: stručnjaci iz plinskoga gospodarstva i energetike, predstavnici institucija, članovi uprava energetskih tvrtki, direktori distributera, opskrbljivača i drugih tvrtki, sveučilišni profesori te predstavnici medija. Skupština HSUP-a izabrala je novo vodstvo koje će voditi Udrugu u razdoblju 2025. – 2029. godine. Nadalje, na skupu je održano pet stručnih izlaganja na temu „Spremnost plinskog sustava za zimsku sezonu 2025./2026.“, kojima je predloženo aktualno stanje hrvatskog plinskog sustava i tržišta plina. Budući da je Upravni odbor HSUP-a u rujnu 2025. donio Odluku o dodjeli priznanja HSUP-a u 2025. godini, u svečanom dijelu sjednice uručena su priznanja za predani rad i ostvarene rezultate istaknutim stručnjacima koji aktivno pridonose razvoju plinskoga gospodarstva. Detalje o ovome možete pročitati u izvješću koje objavljujemo u ovom broju časopisa Plin.

U ovom broju donosimo izvješće o seminaru Robur Days, koji je održan 6. studenoga 2025. u Zagrebu, u organizaciji tvrtke Tehnokom d. o. o. i talijanskog proizvođača opreme za grijanje i hlađenje Robur S.p.A. Seminar je okupio više od stotinu sudionika iz plinske industrije, projektantskih i inženjerskih tvrtki, predstavnika građevinskog i energetskog sektora. Ovim putem čestitamo tvrtki Tehnokom na uspješnoj organizaciji ovog događaja.

Iz stranih medija prenosimo tri objave. U prvoj objavi riječ je o planu za potpuno ukidanje uvoza ruskog plina do 2028. godine, što su odobrili ministri energetike Europske unije. Planom se uvodi postupna zabrana novih i postojećih ugovora te pojačavaju kontrole kako bi se spriječio ulazak pošiljki povezanih s Kremljom u Uniju kroz postojeće rupe u sustavu. Slijedi procedura pregovora o konačnom tekstu uredbe između država članica i Europskog parlamenta.

U drugoj objavi riječ je o izvješću „Podzemno skladištenje plina – ključni stup energetske sigurnosti“, koje je objavila Međunarodna plinska unija (IGU), na temelju podataka iz jedinstvene baze svojih članica. U dokumentu se naglašava temeljna uloga skladištenja plina kao strateškog stupa budućeg energetskog sustava. Naglašeno je da, s pohranom velikih količina plina, podzemno skladištenje plina pomaže energetskim tržištima savladati sezonske promjene, apsorbirati kratkoročne šokove i osigurati pouzdanu, pravodobnu isporuku potrošačima.

U trećoj objavi opisuje se kako bi koordinirano djelovanje vlada na području hvatanja i skladištenja ugljika (CCS) moglo znatno smanjiti troškove dekarbonizacije industrije u srednjoj i istočnoj Europi (SIE), što proizlazi iz novog analitičkog izvješća organizacije Clean Air Task Force (pod naslovom: „Funding Carbon Capture and Storage in Central and Eastern Europe: Strategies for Cost-Effective Deployment“). Izvješće ističe da bi razvoj regionalnih skladišta CO₂ mogao smanjiti troškove transporta i skladištenja za čak 48 %. Dane su i odgovarajuće preporuke za politike vlada SIE-a koje aktivnijom ulogom mogu otvoriti put troškovno pristupačnim rješenjima za CCS, koja će očuvati industriju, radna mjesta i dugoročnu gospodarsku otpornost regije.

U ovom broju časopisa Plin objavljujemo tri rada. U radu „Parametrizacija rada plinsko-turbinskog procesa pri različitim omjerima vodika i metana u smjesi goriva“, Filipa Mileševića i Luke Perkovića, razmatra se kako se niskougljični vodik može koristiti kao dodatak prirodnom plinu – kao gorivu za pogon plinskih turbina za proizvodnju korisnih oblika energije. U radu je prikazan teorijski proračun hipotetskoga otvorenog plinsko-turbinskog procesa u kojem se metan postupno zamjenjuje vodikom, ovisno o tlačnom prirastu kompresora zraka i temperaturi na izlazu iz komore izgaranja. Daje se i pregled istraživanja plinsko-turbinskih procesa pri umješavanju vodika u smjesu plinovitih goriva. Utvrđeno je da porast udjela niskougljičnog vodika dovodi do veće termodinamičke iskoristivosti plinsko-turbinskog procesa, uz razmjerno smanjenje emisija CO₂. Udio vodika u gorivu ne utječe bitno na potrebnu količinu zraka (kisika), a time ni na utrošak snage kompresora, kao ni na temperaturu dimnih plinova na izlazu iz otvorenog plinskoturbinskog procesa.

Ivana Kaličanin u radu „Vodik kao stup zelene energetske tranzicije – izazovi transporta cjevovodima“ daje pregled svojstava vodika i njegova ponašanja pri transportu cjevovodima. Poseban naglasak stavljen je na sustave upravljanja koji osiguravaju integritet cjevovoda, kontinuirano praćenje stanja i sigurnost transporta vodika. Obrađeni su uzroci propuštanja cjevovodnih sustava za transport vodika i međunarodni standardi i tehničke smjernice za infrastrukturu vodika. Zbog vrlo male molekule, vodik lakše bježi kroz spojeve cjevovoda, brtve i druge osjetljive točke pa treba primijeniti sustave za detekciju propuštanja s osjetljivim senzorima i kontinuiranim nadzorom protoka, tlaka i temperature. Daljnji razvoj standarda i naprednih tehnologija nadzora omogućit će sigurnu integraciju vodika u energetska mrežu. Vodik predstavlja bitnu komponentu niskougljičnog energetske sustava jer kao gorivo, industrijska sirovina i sredstvo za pohranu energije može pridonijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i povećanju energetske sigurnosti.

U radu autora Marije Gilje, Luke Dermišeka, Darka Pavlovića i Tvrtka Begovića „Plinacrova primjena strategije „Nulta tolerancija metana“ prema Uredbi (EU) 2024/1787“ razmatra se doprinos Plinacro d. o. o. – operatora plinskog transportnog sustava – u provedbi Uredbe (EU) 2024/1787 o smanjenju emisija metana u energetske sektoru. U radu su obrađeni izazovi i mogućnosti u implementaciji EU regulative o smanjenju emisija metana. Predloženi su sljedeći ključni koraci koje provodi Plinacro u cilju smanjenja emisija metana kroz modernizaciju infrastrukture, primjenu naprednih tehnologija za detekciju curenja i transparentno izvješćivanje prema Uredbi (EU) 2024/1787: stalni nadzor i kontrola trase plinovoda i tehnoloških objekata, implementacija novih upravljačkih uređaja na blokadnim stanicama, nova oprema za kontrolu, nadzor i servis regulacijskih linija, sigurnosnih ventila i kuglastih ventila, optimalizacija sustava predgrijavanja plina, tehnologija prepumpavanja plina, promjena tehnologije pripreme transportnog sustava za radove i učinkovito upravljanje energijom.

Najavljujemo 41. međunarodni znanstveno-stručni susret stručnjaka za plin koji će se održati u Opatiji od 6. do 8. svibnja 2026. godine. Skup će obuhvatiti aktualnu problematiku tržišta plina i plinskoga sektora te energetike. Ovom prigodom pozivamo sve zainteresirane da u okviru predloženih tematskih cjelina i posterske sekcije pridonese kvaliteti i uspješnosti skupa.

Svim članovima Hrvatske stručne udruge za plin, pokroviteljima, podupirateljima, suradnicima, poslovnim partnerima i čitateljima časopisa Plin želim čestit Božić te mnogo sreće, zdravlja i uspjeha u 2026. godini.

predsjednik Hrvatske stručne udruge za plin

izv. prof. dr. sc. Dalibor Pudić



*Svim našim članovima,
pokroviteljima i podupirateljima,
suradnicima i poslovnim partnerima,
kao i svim čitateljima našeg časopisa
želimo čestit Božić i mnogo uspjeha u
nadolazećoj 2026. godini!*



41.

MEĐUNARODNI ZNANSTVENO-STRUČNI
SUSRET STRUČNJAKA ZA PLIN
OPATIJA, 6. - 8. SVIBNJA 2026.

POZIV AUTORIMA

Centar za plin Hrvatske i Hrvatska stručna udruga za plin (HSUP), članica Međunarodne plinske unije (IGU), poziva-ju vas da prezentacijom znanstveno-stručnog rada i/ili tehničko-komercijalnom prezentacijom sudjelujete u radu **41. MEĐUNARODNOG ZNANSTVENO-STRUČNOG SUSRETA STRUČNJAKA ZA PLIN**, koji će se održati od **6. do 8. svibnja 2026. godine** na tradicionalnoj lokaciji u Kongresnom centru Grand hotela Adriatic u **Opatiji**.

*Najveća međunarodna konferencija i izložba u jugoistočnoj Europi na temu
prirodnog plina, ukapljenog prirodnog plina i niskougljičnih rješenja*

TEME KONFERENCIJE

1. POZVANO PREDAVANJE I PANEL-DISKUSIJA:

GLOBALNA KRETANJA NA TRŽIŠTU PLINA I UTJECAJ NA SIGURNOST OPSKRBE

- Globalni energetske trendovi i uloga plina u tranziciji
- Utjecaj geopolitičkih okolnosti na tržište plina
- Sigurnost opskrbe prirodnim plinom u Europi i svijetu
- Diversifikacija izvora i pravaca opskrbe
- Odnosi cijena plina i električne energije

2. UVODNA PREDAVANJA I PANEL-DISKUSIJA:

PROJEKTI ISTRAŽIVANJA I PROIZVODNJE PRIRODNOG PLINA I RAZVOJ PLINSKE INFRASTRUKTURE

- Projekti istraživanja prirodnog plina
- Projekti u proizvodnji plina
- Projekti izgradnje plinovoda
- Projekti podzemnih skladišta plina
- Projekti implementacije CCUS tehnologija
- Otpornost plinske infrastrukture – utjecaj prirodnih nepogoda i katastrofa

3. VODIK, PLINOVI IZ OBNOVLJIVIH IZVORA I NISKOUGLJIČNI PLINOVI – KLJUČNE NADOPUNE OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

- Uloga vodika u smanjenju emisija stakleničkih plinova
- Biometan i sintetski metan kao zamjena za prirodni plin
- Proizvodnja i primjena niskougljičnih plinova u industriji i prometu
- Tehničke mogućnosti skladištenja i transporta novih plinova
- Izazovi standardizacije i regulative za vodik i obnovljive plinove
- Poticaji za projekte vodika, plinova iz obnovljivih izvora i niskougljičnih plinova



41.

MEĐUNARODNI ZNANSTVENO-STRUČNI
SUSRET STRUČNJAKA ZA PLIN
OPATIJA, 6. - 8. SVIBNJA 2026.

4. BUDUĆNOST UPP-a U EUROPI I TEHNOLOŠKI ISKORACI U SEKTORU UKAPLJENOG PRIRODNOG PLINA

- Razvoj terminala i novih kapaciteta za UPP
- Tehnološke inovacije u procesima ukapljivanja i regasifikacije
- Uloga UPP-a u sigurnosti opskrbe i energetske tranziciji
- UPP u prometu i industriji kao prijelazno gorivo
- Konkurentnost i globalno pozicioniranje europskog tržišta UPP-a

5. UVODNA PREDAVANJA I PANEL-DISKUSIJA: PROBLEMATIKA OPSKRBE PLINOM

- Regulatorni okvir i specifičnosti obveze javne usluge u opskrbi plinom
- Tržišni rizici: volatilnost cijena, financijska održivost i ugovorni modeli
- Diversifikacija izvora i izazovi dugoročnog planiranja opskrbe
- Zaštita krajnjih kupaca i uloga opskrbljivača u kriznim situacijama
- Prilagodba opskrbljivača energetske tranziciji (biometan, vodik, nove tehnologije)
- Tarifni modeli i tržišna pravila u opskrbi plinom
- Energetska učinkovitost, obveze i reperkusije

6. UVODNA PREDAVANJA I PANEL-DISKUSIJA: PROBLEMATIKA TRANSPORTA PLINA, DISTRIBUCIJE PLINA I SKLADIŠTENJA PLINA

- Modernizacija i digitalizacija transportnih i distribucijskih mreža
- Ekološki usmjerena izgradnja plinovoda (hydrogen-ready pipeline)
- Skladišni kapaciteti i implementacija inovativnih tehnologija skladištenja plina
- Tehnički aspekti transporta plina, distribucije plina i skladištenja plina
- Implementacija inovativnih tehnologija, mjerenje volumena plina, upravljanje kvalitetom plina
- Problematika plinske opreme

7. PAMETNE TEHNOLOGIJE I DIGITALNA TRANSFORMACIJA PLINSKOG I ENERGETSKOG SEKTORA, SMANJENJE EMISIJA METANA, PREVENCIJA PROPUŠTANJA I IZVJEŠTAVANJE

- Digitalizacija i napredni sustavi upravljanja u plinskom sektoru
- Primjena umjetne inteligencije i interneta stvari (IoT)
- Monitoring emisija metana i sustavi za otkrivanje propuštanja
- Prevencija i sanacija gubitaka plina u mrežama
- Izvještavanje i transparentnost u skladu s europskom regulativom



41.

MEĐUNARODNI ZNANSTVENO-STRUČNI
SUSRET STRUČNJAKA ZA PLIN
OPATIJA, 6. - 8. SVIBNJA 2026.

8. UVODNA PREDAVANJA I PANEL-DISKUSIJA: ODRŽIVI PROMETNI SUSTAVI TEMELJENI NA PRIRODNOM PLINU, UPP-u, SPP-u I BIOPLINU

- Prirodni plin, UNP i bioplin u cestovnom i javnom prijevozu
- UPP u pomorskom prometu
- SPP u teretnom prometu
- Biometan i obnovljivi plinovi u održivoj mobilnosti
- Razvoj infrastrukture za punionice i logističke centre

9. PRAVNA REGULATIVA, TEHNIČKI PROPISI, PRAVILA STRUKE, REGULATORNA PITANJA I PRAVA POTROŠAČA

- Europski i nacionalni pravni okvir za plinski sektor
- Tehnički propisi i sigurnosni standardi
- Regulatorna pitanja
- Prava i zaštita potrošača u opskrbi energijom
- Tržišna pravila i liberalizacija plinskog sektora

10. POSTERSKA SEKCIJA: PROBLEMATIKA PLINSKOGA GOSPODARSTVA I ENERGETIKE

- Autorska prezentacija postera s raznim temama relevantnim za plinsko gospodarstvo i energetiku.

MOGUĆNOSTI I UVJETI SUDJELOVANJA

- kao autor/ica znanstvenog/stručnog rada usmenim izlaganjem (predavanjem)
- kao autor/ica znanstvenog/stručnog rada izloženog na posterskoj sekciji
- kao voditelj/ica okruglog stola (tj. tehničko-komercijalne prezentacije)

Svi autori znanstveno-stručnih radova plaćaju punu cijenu kotizacije u iznosu od 577,00 EUR + PDV, osim autora koji dolaze iz obrazovnih ustanova Republike Hrvatske. Radovi koji sadržavaju elemente promotivnog karaktera bit će predstavljeni kao okrugli stol (tehničko-komercijalna prezentacija) koji se plaća po posebnoj cijeni. Uključenost pojedine teme u konačni program, kao i redoslijed tema u konačnom programu konferencije ovisit će o kvaliteti i broju primljenih znanstvenih i stručnih radova.



41.

MEĐUNARODNI ZNANSTVENO-STRUČNI
SUSRET STRUČNJAKA ZA PLIN
OPATIJA, 6. - 8. SVIBNJA 2026.

DIREKTNNA POVEZNICA ZA PRIJAVU RADA

Prijavite rad slanjem **sažetka** putem *online*-obrasca za prijavu rada na internetskoj stranici konferencije i izložbe:
<http://susret.hsup.hr/prijava-rada-i-dostava-sazetaka/>.



ROKOVI

- | | |
|---|--------------|
| • Dostava naslova i sažetka rada: | 15. 1. 2026. |
| • Obavijest autorima o prihvaćanju sažetaka radova: | 5. 2. 2026. |
| • Dostava dovršenih cjelovitih radova: | 2. 3. 2026. |
| • Obavijest autorima o prihvaćanju radova po završetku recenzija: | 31. 3. 2026. |
| • Dostava prezentacija radova: | 10. 4. 2026. |



Za više informacija, molimo, obratite se organizatorima:

HRVATSKA STRUCNA UDRUGA ZA PLIN & CENTAR ZA PLIN HRVATSKE d.o.o.,
Ulica Vjekoslava Heinzela 9/II, 10000 Zagreb, tel.: 01 6189 590
e-pošta: opatiya@hsup.hr, url: <https://susret.hsup.hr/>

15. LISTOPADA 2025. SVEČANO JE OBILJEŽEN DAN PLINA



Zagreb, 15. listopada 2025. – Redovita i izborna sjednica Skupštine Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP), i tradicionalna proslava Dana plina, okupili su mnogobrojne sudionike hrvatskog tržišta plina u zgradi INA - Industrije nafte d. d., Avenija Većeslava Holjevca 10, u Zagrebu. Skupu su nazočili stručnjaci iz plinskoga gospodarstva i energetike, predstavnici institucija, članovi uprava energetske tvrtki, direktori distributera, opskrbljivača i drugih tvrtki, sveučilišni profesori te predstavnici medija.



Na sjednici Skupštine HSUP-a, predsjednik Hrvatske stručne udruge za plin izv. prof. dr. sc. **Dalibor Pudić** podnio je Izvješće o radu Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP) za razdoblje 2021. - 2025. Osvrnuo se na vrlo dinamično i izazovno četverogodišnje razdoblje koje je obilježio poremećaj cijene plina zbog rata u Ukrajini, inflacija, problemi s niskim tarifama u transportu i distribuciji plina. Plinski se sektor uspješno prilagodio navedenim situacijama. U tom kontekstu, na temelju zaprimljenih poziva, zabilježena su mnogobrojna istupanja predstavnika HSUP-a u raznim medijima. Udruga je aktivno doprinijela u izradi strateških dokumenata, poput Nacrta Prijedloga

Hrvatske strategije za vodik od 2021. do 2050. godine i Integriranog nacionalnog energetske i klimatskog plana za Republiku Hrvatsku za razdoblje od 2021. do 2030. godine. Redovito su izlazili znanstveno-stručni časopis „PLIN“ i brošura „Plinsko gospodarstvo Republike Hrvatske“. Povjerenstvo za izdavanje ovlasti za obavljanje poslova provjere ispravnosti i nepropusnosti plinskih instalacija HSUP-a obavljalo je provjeru znanja te su izdavana uvjerenja s valjanošću na području Republike Hrvatske. Udruga je aktivno doprinijela u rješavanju problematike povećanog udjela dušika u sastavu prirodnog plina pridobivanog tijekom probne eksploatacije prirodnog plina iz ležišta Grubišno Polje. U proteklom četverogodišnjem razdoblju održano je devet sjednica UO-a i nije bilo postupanja Časnog suda. Uspješno se surađivalo s Međunarodnom plinskom unijom (IGU), kao i s Hrvatskim inženjerskim savezom (HIS), u kojem je HSUP članica. Uspješno su održana četiri međunarodna znanstveno-stručna susreta stručnjaka za plin u Opatiji. HSUP-a je sudjelovao na desetoj „Danu inženjera Republike Hrvatske“, s temom „Strategija razvoja Republike Hrvatske u svjetlu klimatskih promjena“. HSUP se kritički osvrnuo na „Studiju deplinifikacije Republike Hrvatske“ Zelene akcije, smatrajući da je riječ o dokumentu temeljenom na segmentarnom razmatranju, zalažući se za sveobuhvatnu stručnu i znanstveno utemeljenu analizu energetske bilance i energetske miksa Republike Hrvatske. Povodom godišnjih obilježavanja Dana plina, koje je organizirao HSUP, uručivana su priznanja zaslužnim pojedincima.

Predsjednik Hrvatske stručne udruge za plin izv. prof. dr. sc. **Dalibor Pudić** obrazložio je i Program rada Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP) za razdoblje 2025. - 2029. Istaknuo je značaj razvoja plinske infrastrukture u Republici Hrvatskoj (proširenje kapaciteta terminala za UPP na otoku Krku, stavljanje u funkciju podzemnog skladišta plina Grubišno Polje, pridobivanje prirodnog plina iz novih domaćih plinskih polja). HSUP će poticati projekt IAP-a i konekcije prema BiH, zalagati se za što širu primjenu tehnologije CCUS-a, aktivno doprinijeti rješavanju problema ugradnje novih kondenzacijskih bojlera i

sanacije dimnjaka u višestambenim zgradama. Iduće godine započinje novo regulacijsko razdoblje za transport i distribuciju plina. Bit će u izradi novi Zakon o tržištu plinova, kojim će biti obuhvaćeni svi plinovi, pri čemu HSUP treba imati aktivnu ulogu. HSUP će poticati razvoj obrazovanja, provoditi misiju, viziju i ciljeve koji su zacrtani, davati potporu članicama u rješavanju problema. HSUP će raditi na unapređenju raznih disciplina plinske struke, promicati digitalizaciju i pametne tehnologije u svim segmentima plinske djelatnosti te korištenje apsorpcijskih sustava za hlađenje, koristeći plin u kombinaciji sa solarnom energijom, za hotele za vrijeme sezone. Održat će se Dani plina, Međunarodni-znanstveno-stručni susreti stručnjaka za plin, promicat će se međunarodna suradnja, razmatrati nove teme, izdavati će se časopis „PLIN“ itd. HSUP će nastaviti djelovati kao konstruktivan čimbenik u sektoru plina, koji povezuje sve relevantne dionike – od industrije, regulacije, znanosti i obrazovanja, do krajnjih korisnika.

Srećko Ezgeta je istaknuo ulogu plina u budućnosti. Smatra da će plin, bez obzira na zelenu agendu, imati značajnu ulogu još dugu niz godina, jer nije moguće zamijeniti toliko veliku količinu energije s energijom iz obnovljivih izvora. Založio se za otklanjanje negativne ekološke percepcije plina u javnosti i medijima. Istaknuo je potrebu školovanja novog kadra koji nedostaje, a program aktivnosti HSUP-a to omogućuje.



Skupština HSUP-a je prihvatila Izvješće o radu Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP) za razdoblje 2021. - 2025. i Program rada Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP) za razdoblje 2025. - 2029.

Predstavljeni su i prihvaćeni Financijsko izvješće HSUP-a za 2024. godinu, Plan rada HSUP-a za 2026. godinu i Financijski plan HSUP-a za 2026. godinu.

U nastavku sjednice Skupština je upoznata s listom kandidata za novi saziv Upravnog odbora i Časnog suda te za predsjednika i dopredsjednike HSUP-a.

Poslije glasanja krenula su izlaganja eminentnih stručnjaka o spremnosti plinskog sustava za zimsku sezonu 2025./2026.



Prvo izlaganje pod naslovom „Mogućnosti povećanja proizvodnje plina na zrelim poljima“ održala je **Nikolina Lukačić Petrović**, direktorica proizvodnje u INA - Industrija nafte d. d. Osvrnula se na udio proizvodnje plina u ukupnoj potrošnji u RH koji iznosi oko 25 % i koji je stabilan već niz godina, a očekivanja za 2025. godinu su na istoj razini. Proizvodnja se odvija na 66 polja, što na Jadranu, što na kopnenom dijelu i mahom se odvija na zrelim poljima, s visokim faktorom iscrpljenosti ležišta. U prvom dijelu 2025. godine zabilježeno je povećanje proizvodnje, postignuto intenzivnim remontnim

radovima i kampanjom kiselinskih obrada (povećana utilizacija infrastrukture kao pokazatelj). Kao rezultat investicija dobivena je veća isporuka plina u sustav Plinacra. Kao primjer, navela je postrojenje frakcionacije u Ivanić Gradu, gdje je dosegnuta količina proizvodnje iz 2019. godine, što se smatra iznimnim rezultatom. Zbog ograničenog iscrpka bušotina iz zrelih polja, vrlo je važno puštati u proizvodnju nove količine plina. Ove godine puštena je u proizvodnju nova bušotina iz polja Jamarice, od 33.000 m³/d (Jam-183), što predstavlja primjer odlično izvedenog projekta. Istaknula je i proizvodnju kaptažnog plina, kao nusprodukta iz proizvodnje nafte, koji se isporučuje direktno kupcima spojenim na mrežu proizvodnih plinovoda (MRS Belišće, SS Dugo Selo, MRS Šandrovac i PS Vrapčana). Kaptažni plin je izvan specifikacije, neobrađen i postoji interes tvrtke da se kroz projekte ekonomske isplativosti omogući obrada i isporuka plina u transportni sustav. Na taj bi se način reducirao komercijalni rizik isporuke kupcima i postigla garancija stabilnije proizvodnje. Osvrnula se na Uredbu (EU) 2024/1787 o smanjenju emisija metana u energetske sektoru, koja sadrži skup obaveza, koja obuhvaćaju Pravila za točno mjerenje, praćenje, izvješćivanje i smanjenje emisija metana, za što se INA - Industrija nafte d. d. dobro pripremila. U narednim godinama u planu je povećanje proizvodnje plina, kroz aktivnosti istražnog i razradnog bušenja, intenzivne kampanje remontnih radova, pri čemu je fokus usmjeren na privođenju proizvodnji iz prijašnjih otkrića. Potencijal za povećanje proizvodnje u RH postoji.



Iva Vrkić, voditeljica Sektora trgovanja i nabave, iz tvrtke Prvo plinarsko društvo d. o. o., održala je izlaganje na temu „Stanje na tržištu plina u regiji“. Ukazala je na ključne faktore stabilnog tržišta plina. Prikazala je najveće promjene opskrbe Europe unatrag nekoliko godina, prvenstveno u pogledu ruskih tokova plina. EU predlaže potpuno ukidanje dobave plina iz Rusije 2028. godine. RH je u vrlo dobroj poziciji s povećanjem kapaciteta terminala za UPP na otoku Krku i kapaciteta na interkonekcijama. Stoga možemo osigurati vlastitu stabilnost opskrbe, kao i susjednih zemalja u regiji. Europa ima nove i proširene kapacitete terminala za UPP, pri čemu ulazi u zimu s jačom

opskrbom UPP-om nego prethodnih godina. Globalna proizvodnja UPP-a ove zime doseći će povećanje od 12 % u odnosu na prošlu zimu, predvođeno SAD-om, Kanadom, Australijom i Afrikom. Cijene plina su se prošle plinske godine kretale dosta promjenjivo, u rasponu od 30-ak do 40-ak eura/MWh, a maksimum od 60-ak eura/MWh je postignut u zimi, zbog geopolitičkih prilika i hladnog vremena. Osvrnula se na tržišnu likvidnost na burzama plina te na vrlo dobru zapunjenost europskih skladišta plina, unatoč lošem „ljetno-zimskom spreadu“, što pokazuje da su sigurnost i stabilnost opskrbe bile ispred ekonomske računice. Istaknula je negativan utjecaj regulative ukoliko ona previše ograničava pristup opskrbi i time povećava troškove za krajnje korisnike te se založila za usklađivanje tržišnih mehanizama. Kapacitete plinovoda i dostupnost smatra faktorom tržišne stabilnosti, pri čemu je RH u dobroj poziciji. Očekuje veću potražnju plina zbog gospodarskog rasta zemalja i rasta novih industrija te potrebe za većom proizvodnjom električne energije na globalnom tržištu. Smatra da su mogući kratkoročni poremećaji opskrbe plinom u Europi zbog globalnog geopolitičkog stanja, ali ne vjeruje da će se ponoviti krizni scenarij iz 2022. godine.



Marko Blažević, direktor Sektora za razvoj plinskog poslovanja u tvrtki HEP-Trgovina d. o. o., održao je izlaganje na temu „Tržište plina – osvrt na 2024./2025. i očekivanja u 2026. godini“. Istaknuo je raniji početak ogrjevne sezone u sektoru toplinarstva. Od ukupne potrošnje plina u RH u prvih devet mjeseci 2025., samo 3 % količine plina ušlo je u našu zemlju kopnenim putem, a sve preostale količine putem terminala za UPP na otoku Krku. Prikazao je trend zapunjenosti europskih skladišta plina za razdoblje 2021. - 2025., ističući pripremljenost Europe za amortizaciju eventualnih tržišnih poremećaja, zbog restrukturiranja tržišta,

novih dobavnih pravaca i plasmana novih količina UPP-a. Ukupna zapunjenost skladišta plina u Europi, trenutno je u prosjeku manja za 11 % u odnosu na 2024. godinu (25 milijardi m³). Podzemno skladište plina u RH, na dan 1. listopada 2025., bilježi 14 % manje utisnutog plina u odnosu na prošlu godinu (jer je ciklus povlačenja započeo početkom rujna, zbog prestanka rada terminala za UPP na otoku Krku, uslijed radova na povećanju kapaciteta). Objasnio je obveze iz nove Uredbe EU 2025/1733 u pogledu uloge skladištenja plina za osiguravanje opskrbe plinom prije zimske sezone, kojom se za dvije godine produljuju aktualne obveze država članica da do zimske sezone osiguraju dovoljno plina u skladištima. U pogledu cijena plina na TTF-u, referentnih za cijelu Europu, dao je pregled kretanja tijekom 2025. godine, ističući da je tržište postalo otpornije u odnosu na geopolitičke okolnosti. Na globalnom tržištu plina došlo je do snažnih strukturalnih promjena i Europa je integrirana, odnosno postala je dio svjetskog tržišta. U 2024. godini, trgovina UPP-om iznosila je 568 milijardi m³. Najveći izvoznici UPP-a su SAD, Australija i Katar (60 % globalnog izvoza), dok su najveći uvoznici, EU, Kina i Japan (60 % globalnog uvoza). U 2024. godini, 2/3 uvoza plina dolazilo je preko terminala za UPP, 1/3 preko Norveške, a vrlo mali dio iz Rusije preko Ukrajine. S prestankom opskrbe Europe plinom, Rusija se okreće Kini i (prema planu projekata i investicija) planira 2034. dosegnuti izvoz od 150 milijardi m³. S prekinutim transportom ruskog plina, RH se treba pozicionirati kao regionalni igrač s plinskim čvorištem te iskoristiti priliku u novim geopolitičkim odnosima.



Ivana Marković, direktorica Sektora upravljanja transportnim sustavom i prodaje transportnih kapaciteta u Plinacru d. o. o., održala je izlaganje na temu „Jačanje okvira sigurnosti opskrbe plinom u EU: aktivnosti i uloga Plinacra“. Objasnila je inicijative koje su pokrenute na razini EU-a, a koje nisu bile adekvatno obrađene i vezane za zakonodavni okvir. Naime, EK je uočila da postoje određeni rizici koje je potrebno uključiti u postojeću regulativu, kao što su: kibernetički i fizički rizici, utjecaj klimatskih promjena, geopolitičke promjene. EK je pokrenula prve korake i predložila reviziju dokumenta o energetske sigurnosti te pozvala sve interesne skupine (energetske subjekte)

da se očituju do 13. listopada 2025. ENTSOG je okupio predstavnike operatora transportnih sustava. Izrađen je dokument s prijedlozima i preporukama za poboljšanje postojećeg zakonodavnog okvira o energetske sigurnosti EU-a. Vezano za navedeni dokument, pojasnila je glavne smjernice za jačanje otpornosti europskog plinskog sustava u kontekstu sve kompleksnijih izazova i jasno definirane uloge i odgovornosti tijela nadležnog za sigurnost opskrbe, regulatora i ostalih sudionika. Naglasila je važnost ulaganja u transportni sustav RH u pogledu sigurnosti opskrbe plinom. Prikazala je dinamiku ulaganja i realizacije projekata u infrastrukturu na povećanju kapaciteta terminala za UPP na otoku Krku i transportnog sustava prema Sloveniji i Mađarskoj u vrijednosti od 533 milijuna eura. Plinovod Zlobin – Bosiljevo DN800/100, u dužini 58 km, je izgrađen i pušten u rad. Radovi su u tijeku na plinovodu Lučko – Zabok DN700/75, u dužini 36 km. Radovi na izgradnji plinovoda Bosiljevo – Sisak – Kozarac DN800/100, u dužini 122 km, započet će u listopadu 2025. godine. Novi plinovodi će povećanjem kapaciteta omogućiti

sigurnost opskrbe u RH i regiji, kroz transport znatno većih količina plina. Plinacro d. o. o. je u prvih devet mjeseci transportirao 27.674 GWh prirodnog plina, i tu su uključene količine plina koje izlaze i ulaze u skladište plina. U pogledu preuzimanja plina na ulazima u transportni sustav, najveći ulaz od 65 % se odvija na terminalu za UPP na otoku Krku, proizvodnja plina čini 17 %, povlačenje iz PSP Okoli 13 % i interkonekcija 5 %. Izlaz plina iz transportnog sustava odvija se prema: krajnjim kupcima 35 %, distribucijskim sustavima 30 %, izlazima na interkonekcijama 19 % i PSP Okoli (za utiskivanje) 16 %. S izgradnjom plinovoda DN800/100 Zlobin – Bosiljevo te povećanjem kapaciteta na UMS Omišalj, Plinacro je dodatno ojačao stabilnost i kapacitete transportnog sustava, čime je potvrđeno da je transportni sustav pouzdana karika u lancu sigurnosti opskrbe plinom u RH i zemljama u okruženju.



Posljednje izlaganje pod naslovom „Spremnost sustava skladišta plina za nadolazeću ogrjevnu sezonu 2025./2026.“ održao je **Laslo Farkaš Višontai**, direktor Sektora tehnološkog upravljanja u tvrtki Podzemno skladište plina d. o. o. Osvrnuo se na stanje zapunjenosti skladišta plina u Okolima, koje je na dan 17. 10. 2024. iznosilo 91 %. Istaknuo je da zapunjenost na današnji dan (15. 10. 2025.) iznosi 66 %, što je 25 % manje nego u isto vrijeme prošle godine. Uzrok tome je povećanje kapaciteta na terminalu za UPP na otoku Krku i ranije povlačenje plina iz skladišta. Istodobno, prosječna zapunjenost europskih skladišta plina iznosi 83 %, što je također manje nego što je bilo prošle godine. Osvrnuo se na 37. ciklus povlačenja koji je započeo 30. 10. 2024. i završio

3. 4. 2025. U tom razdoblju povučeno je 343.322.831 m³, što je za 34.267.645 m³ više od desetogodišnjeg prosjeka, a zapunjenost skladišta Okoli iznosila je svega 8 %, što je povijesno najniža razina. 38. ciklus povlačenja započeo je 1. 9. 2025. Na dan 15. 10. 2025., korisnici u skladištu raspolažu s oko 280.000.000 m³ plina. Temeljem tempa povlačenja, prema procjeni, korisnici će 30. 10. 2025. imati oko 240.000.000 m³ plina. To je za oko 100.000.000 m³ manje plina u skladištu nego na isti dan prošle godine. Prikazao je dinamiku punjenja skladišta plina u 2025. (do 10. 10. 2025.) u državama članicama EU-a. Osvrnuo se na Uredbu (EU) 994/2010, ističući da se „sigurnost opskrbe“, prema kriteriju (formuli) N-1, nalazi u kategoriji - ranjivosti. Izložio je i planirani slijed aktivnosti na projektu pripreme ležišta za buduće PSP Grubišno Polje. Do sada je na proizvodnom polju Grubišno Polje proizvedeno oko 140 mil. m³ plina. Daljnja eksploatacija plina na Grubišnom Polju dodatno će pomoći sigurnosti opskrbe u ciklusu povlačenja. Na kraju izlaganja, informirao je nazočne da je, tehnički i tehnološki, postrojenje PSP-a Okoli spremno za zimu i može bez zastoja ispuniti sve nominacije korisnika skladišta, kao i do sada.

Nakon održanih stručnih izlaganja otvorena je diskusija. **Nenad Švarc** je rekao da se sprema novi Zakon o energetske učinkovitosti. Pozvao je sve opskrbljivače, neovisno o energentu, da se uključe svojim sugestijama i prijedlozima o tome kako podići efikasnost i kako ostvariti energetske uštede. Smatra da bi s budućim Zakonom o energetske učinkovitosti trebalo odrediti da se prikupljeni novac vrati nazad u razvoj energetskega sektora, automatizaciju, digitalizaciju i školovanje budućih tehničkih stručnjaka, a ne trošiti za druge namjene. Upozorio je na činjenicu da potrošnja, barem što se tiče električne energije, ne raste. Zbog toga smatra da je potrebno preispitati što se sve desilo u odnosu na zacrtane ciljeve energetske strategije, jer je planirana potrošnja puno veća od ostvarene. Potrebno je znati za koga se točno provode investicije u izgradnju i razvoj infrastrukture. Apelira na realno planiranje i maksimalno financiranje iz europskih fondova, kako se ne bi opteretilo domaćeg kupca.

Srećko Ezgeta osvrnuo se na prezentaciju Lasla Farkaša Višontai i naveo potrebu maksimalne zapunjenosti skladišta plina kao sigurnosnog faktora opskrbe plinom. Ukazao je na pozitivnu praksu Španjolske.

Nakon završetka diskusije, predsjednik Izborne komisije **Mladen Novaković** objavio je rezultate izbora za upravna tijela HSUP-a (9. saziv, razdoblje 2025. - 2029.).

Za predsjednika HSUP-a ponovno je izabran izv. prof. dr. sc. **Dalibor Pudić** (Gradska plinara Zagreb d. o. o.). Izabrani dopredsjednici jesu: **Marin Zovko** (INA d. d., Zagreb), **Zvonimir Šibalić** (PPD d. o. o., Vukovar), **Daria Krstičević** (Plinacro d. o. o., Zagreb), **Damir Pećušak**, (HEP-Plin d. o. o., Osijek) i **Srećko Ezgeta** (Gradska plinara Bjelovar d. o. o., Bjelovar).

Izabrani članovi Upravnog odbora jesu: **Darko Markovinović** (PSP d. o. o., Zagreb), **Dalibor Bukvić** (Brod Plin d. o. o., Slavonski Brod), **Dean Gnjidić** (E.ON distribucija plina d. o. o., Zagreb), **Marko Blažević** (HEP-Trgovina d. o. o., Zagreb), **Nevenka Grbac** (Termoplin d. d., Varaždin), **Nikolina Lukačić Petrović** (INA d. d., Zagreb), **Mladen Novaković** (Tehnokom d. o. o., Zagreb), **Josip Dičak** (Drnišplast d. d., Drniš), **Stjepan Novak** (Monter-strojarske montaže d. o. o., Zagreb), **Jakov Bakić** (Inženjering za energetiku i plin d. o. o., Zadar), **Darjan Budimir** (HROTE d. o. o., Zagreb), **Ivan Fugaš** (LNG Hrvatska d. o. o., Zagreb) i **Ivana Marković** (Plinacro d. o. o., Zagreb).

Izabrani članovi Časnog suda jesu: **Danijela Duž** (Centar za plin Hrvatske d. o. o., Zagreb), **Darko Pavlović**, Plinacro d. o. o., Zagreb) i **Juraj Bradač** (Zagorski Metalac d. o. o., Zabok).

Skupština je dala razrješnicu dosadašnjim upravnim tijelima HSUP-a.



Izabrani predsjednik HSUP-a izv. prof. dr. sc. **Dalibor Pudić** obratio se skupu. Zahvalio je na povjerenju i čestitao je novoizabranim članovima upravnih tijela HSUP-a, ističući da će se i dalje raditi na jačanju Udruge i na ispunjenju programa posvećenog razvoju plinskoga gospodarstva i isticanju važne uloge plinova kao energenata budućnosti.

U svečanom dijelu sjednice uručena su priznanja zaslužnim pojedincima, na temelju Odluke Upravnog odbora HSUP-a o dodjeli priznanja HSUP-a u 2025. godini, kako slijedi:

Ivani Marković, Plinacro d. o. o. – Priznanje za značajan doprinos u pojedinim segmentima plinske djelatnosti, s vrlo dobrim rezultatima značajnim za plinsku djelatnost.

Krešimiru Marijanoviću, Brod plin d. o. o. – Priznanje za značajan doprinos u pojedinim segmentima plinske djelatnosti, s vrlo dobrim rezultatima značajnim za plinsku djelatnost.

Mariju Opačaku, Vaillant d. o. o. – za menadžerski uspjeh u gospodarskom i tehnološkom razvoju, te primjerno vođenje tvrtke ili dijela tvrtke koja se bavi plinskom djelatnošću.



TEHNIČKA PRAVILA ZA PROJEKTIRANJE, IZVOĐENJE, UPORABU I ODRŽAVANJE PLINSKIH INSTALACIJA

Rezultati razvoja i unaprjeđenja tehnologije i postupaka, primjene novih materijala i proizvoda te njihova spajanja i zaštite, donošenja novih zakona i propisa radi povećanja sigurnosti i trajnosti pri uporabi plina, posebice u širokoj potrošnji doveli su do relativne zastarjelosti izdanja Pravilnika HSUP-P 600 iz 2002. godine. Budući da su mnoge odredbe u tom Pravilniku, zbog razvoja novih uređaja, proširene primjene plina, uvođenja novih materijala i načina polaganja plinskih instalacija, doživjele temeljite izmjene, osobito u pogledu povećanja sigurnosti pri njihovom postavljanju i uporabi, dovedu zraka za izgaranje i odvodu plinova izgaranja u slobodnu atmosferu iznad krova, nametnula se potreba da se Pravilnik iz 2002. godine zamijeni Tehničkim pravilima HSUP-P 600, 2. izdanje, koja su mnogo detaljnija i daju rješenja za mnoge sporne slučajeve posebno pri postavljanju plinskih uređaja, oko kojih su se vodile opsežne stručne i ostale rasprave.



ODRŽAN JE SEMINAR ROBUR DAYS U ORGANIZACIJI TVRTKE TEHNOKOM d. o. o. I RENOMIRANOG TALIJANSKOG PROIZVOĐAČA OPREME ZA GRIJANJE I HLAĐENJE ROBUR S.p.A.

Predstavljeni hibridni sustavi tvrtke Robur S.p.A. kao iskorak prema visokoj energetskej učinkovitosti



U Zagrebu, 6. studenoga 2025., održan je seminar pod nazivom **Robur Days**, u organizaciji tvrtki **Tehnokom d. o. o.** i **Robur S.p.A.**, koji je okupio više od stotinu sudionika iz različitih sektora: plinske industrije, projektantskih i inženjerskih tvrtki te predstavnika građevinskog i energetskeg sektora.

U atmosferi razmjene znanja i tehnoloških noviteta, predstavljena su najnovija tehnološka rješenja proizvodnog programa za grijanje i hlađenje tvrtke Robur S.p.A., koja ne samo što pomiču granice energetske učinkovitosti, već i redefiniraju način na koji industrija pristupa održivosti.

Seminar je programski obuhvatio četiri tematske cjeline, u kojima su predavači izlagali o najnovijim trendovima na polju energetske učinkovitosti u Europi kao i tehnološkim inovacijama proizvoda tvrtke Robur S.p.A., kroz prikaz primjera implementacije iz prakse.

Ignacio Nuñez, direktor prodaje za strana tržišta tvrtke Robur S.p.A., održao je uvodno izlaganje u kojem je dao sveobuhvatan pregled europskog energetskeg stanja i aktualne tranzicije. Posebno je naglasio regulatorni okvir Europske unije kroz pregled Uredbi i Direktiva, delegiranih propisa i komunikacija Komisije. Osvrnuo se na mjere poput postupnog uklanjanja konvencionalnih kotlova na fosilna goriva i poticajnih financijskih programa za njihovu zamjenu. Upozorio je na sve strože kriterije EU-a u pogledu energetske učinkovitosti u sustavima grijanja i hlađenja, nužnost smanjenja potrošnje energije te povećanja udjela obnovljivih izvora u klimatizaciji zgrada.

Siniša Šćepanović, predstavnik tvrtke Robur S.p.A. za istočnu i jugoistočnu Europu, održao je sljedeće predavanje, kojim je predstavio portfelj proizvoda: GAHP Plus, R-Hybrid, e-NextPro i klasične sustave. Posebnu je pozornost posvetio Robur Hybrid sustavu, koji integrira plinske apsorpcijske i električne dizalice topline, uz pametno upravljanje energetskeim vektorima. Istaknuo je tehnološke prednosti Robur Hybrid sustava, među kojima se ističu energetska učinkovitost od 172 %, reverzibilna funkcija grijanja

i hlađenja te mogućnost smanjenja potrošnje električne energije. Naglasio je da takva rješenja ne samo da rasterećuju elektroenergetsku mrežu, već i osiguravaju značajne uštede uz visoku razinu održivosti.

Izv. prof. dr. sc. Dalibor Pudić, predsjednik Hrvatske stručne udruge za plin (HSUP), govorio je u svom izlaganju o budućnosti plinskog sektora u Republici Hrvatskoj. Osvrnuo se na korištenje plina na europskim i svjetskim tržištima, naglašavajući strateške smjernice razvoja sektora i tržišne izazove te važnost prilagodbe novim europskim energetske politikama i zahtjevima održivosti.



Mario Lekić, direktor za energetiku i održavanje tvrtke Tehnokom d. o. o., predstavio je projekt energetske obnove franjevačkog samostana. Implementacija GAHP sustava dizalice topline tvrtke Robur S.p.A. omogućila je učinkovito grijanje i hlađenje, uz minimalnu potrošnju električne energije i značajno smanjenje troškova grijanja korisnika te poštivanje zahtjeva očuvanja kulturne baštine. U svom izlaganju istaknuo je uspješnost projekta kao oglednog primjera za budućnost, jer demonstrira kako se naslijeđe i tradicija mogu pretvoriti u temelj za primjenu najmodernijih tehnoloških dostignuća.



Na završetku seminara, **Diego Julian Cardaci**, tehnički savjetnik za strana tržišta tvrtke Robur S.p.A., predstavio je primjere uspješne implementacije GAHP i R-Hybrid tehnologije u Italiji. Osvrnuo se na projekte u stambenim zgradama i logističkim centrima, gdje kombinacija plinskih i električnih dizalica topline osigurava optimalnu opskrbu toplinom i hlađenjem. Posebno je istaknuo novu primjenu GAHP sustava u plinskim mjerno-redukcijskim stanicama, čime se otvaraju dodatne mogućnosti za integraciju naprednih plinskih tehnologija u različite sektore.

Seminar Robur Days ispunio je očekivanja kao relevantna stručna platforma. Sudionici su svojim pitanjima i komentarima iskazali veliku zainteresiranost za temu široko primjenjivih novih i održivih tehnologija. Razmjena iskustava i ideja među sudionicima potvrdila je da se inovacije poput hibridnih sustava grijanja i hlađenja ne promatraju više samo kao tehnička rješenja, već kao strateški alat za postizanje održivosti, smanjenje troškova i očuvanje okoliša. Povezivanjem stručnjaka iz različitih industrija, stvorena su nova partnerstva u zajedničkom promišljanju o energetske budućnosti Hrvatske i Europe. Kroz niz stručnih predavanja i primjera iz prakse, jasno je istaknuto da budućnost energetike leži u integraciji obnovljivih izvora energije i naprednih tehnoloških rješenja.



Visoko učinkovite tehnologije grijanja i hlađenja hibridnim sustavima:

35
godina
iskustva u
projektiranju

- Plinske apsorpcijske dizalice topline (GAHP)
- Električne dizalice topline
- Pametno upravljanje energetskeim vektorima



Obratite nam se za optimalno rješenje, nudimo Vam uslugu po principu ključ u ruke od ideje do realizacije.

Odaberi Hibridni sustav:

pouzdani rad s dva generatora topline

Hibridni sustav je kombinacija dvaju različitih generatora topline, što vam omogućuje automatsko prebacivanje između električne energije i plina kao izvora energije.

Obično se radi o hibridu regenerativnog sustava grijanja, poput dizalice topline i generatora topline na fosilna goriva, poput plinske kondenzacijske jedinice. To znači da ako dizalica topline na

niskim vanjskim temperaturama ili prilikom zagrijavanja sanitarne vode zbog viših temperatura postane manje učinkovita, grijanje automatski preuzme plinska kondenzacijska jedinica.



Hibridni sustav s plinskom kondenzacijskom jedinicom WTC-GW i dizalicom topline Splitblock® WSB.

PREDNOSTI HIBRIDNOG SUSTAVA

- **Optimizacija troškova energije** s automatskim odabirom učinkovitijeg sustava.
- **Niži troškovi investicije** od monovalentne dizalice topline
- **Ekonomična upotreba** čak i pri višim temperaturama protoka (npr. radiatorima)
- Nije potrebno **mijenjati grijaće površine** tijekom renovacije.
- **Poboljšanje godišnjeg koeficijenta** učinkovitosti dizalice topline.
- **Pouzdanost rada** zahvaljujući drugom generatoru topline i drugom izvoru energije.



EU ODREĐUJE ROK DO 2028. ZA OKONČANJE UVOZA RUSKOG PLINA U OKVIRU POSTUPNE ZABRANE



Ministri energetike Europske unije odobrili su plan za potpuno ukidanje uvoza ruskog plina do 2028. godine. Planom se uvodi postupna zabrana novih i postojećih ugovora te pojačavaju kontrole kako bi se spriječio ulazak pošiljki povezanih s Kremljom u Uniju kroz postojeće rupe u sustavu.

U priopćenju za javnost, Vijeće Europske unije navelo je da je nova politika središnji element strategije REPowerEU te da uvodi zakonsku zabranu i na plin iz plinovoda i na ukapljeni prirodni plin (UPP) iz Rusije, uz ograničeno prijelazno razdoblje za postojeće ugovore. Novi ugovori o uvozu bit će zabranjeni od 1. siječnja 2026., kratkoročni ugovori potpisani prije 17. lipnja 2025. mogu trajati do 17. lipnja 2026., a dugoročni ugovori moraju završiti do 1. siječnja 2028. Tekst još nije postao zakon jer države članice sada moraju pregovarati o konačnoj uredbi s Europskim parlamentom.

Radi provedbe novih pravila, plan predviđa sustav prethodnog odobrenja na granicama. Za ruski plin ili pošiljke koje su još obuhvaćene prijelaznim razdobljem, dokumentacija se mora dostaviti najmanje mjesec dana prije ulaska. Za neruski plin, dokaz o podrijetlu mora se predati pet dana prije ulaska. Mješoviti UPP tereti morat će sadržavati dokumentaciju koja prikazuje ruski i neruski udio, pri čemu će samo potonji biti dopušten za ulazak u EU. Dodatne mjere nadzora imaju za cilj spriječiti ulazak ruskog plina pod „tranzitnim” procedurama.

Inicijativa nastoji učvrstiti geopolitički zaokret koji je uslijedio nakon što je Moskva koristila opskrbu energijom kao sredstvo pritiska, uz istodobno očuvanje energetske sigurnosti Unije i ravnoteže unutarnjih političkih interesa. Ruski plin trenutačno čini oko 13 % uvoza EU-a, u vrijednosti većoj od 15 milijardi eura (17,5 milijardi dolara), što je znatno manje od približno polovice tržišta prije početka rata u Ukrajini.

Države članice morat će podnijeti nacionalne planove diversifikacije, osim ako mogu dokazati da ne primaju ruski plin ni izravno ni neizravno. One koje i dalje uvoze rusku naftu moraju izraditi planove za prekid tih tokova do 2028. godine. Tekst Vijeća također pojašnjava klauzulu o suspenziji u slučaju izvanrednih okolnosti, smanjuje administrativne zahtjeve za neruske pošiljke i nalaže Europskoj komisiji da, u roku od pet dana od stupanja uredbe na snagu, objavi popis pouzdanih zemalja podrijetla izuzetih od obveze prethodnog odobrenja.

Mjera je usvojena kvalificiranom većinom, uz određene iznimke za zemlje bez izlaza na more. Slijede pregovori s Europskim parlamentom, dok se zaseban paket sankcija, kojim se predlaže pomicanje roka za zabranu UPP-a na razini EU-a na 2027., još razmatra.

Izvornik: bne IntelliNews, 20. listopada 2025.

PODZEMNO SKLADIŠTENJE PLINA – KLJUČNI STUP ENERGETSKE SIGURNOSTI

Danas, 27. listopada 2025., Međunarodna plinska unija (IGU) objavila je izvješće „Podzemno skladištenje plina – ključni stup energetske sigurnosti”, temeljeno na podacima iz jedinstvene baze svojih članica, kojim se naglašava temeljna uloga skladištenja plina kao strateškog stupa budućeg energetskog sustava.

Podzemno skladištenje plina (PSP) ima presudnu ulogu u rješavanju izazova povezanih s pokrivanjem vršne potražnje za plinom i razdobljima nestalnosti proizvodnje iz obnovljivih izvora. Omogućavanjem pohrane velikih količina plina, PSP pomaže energetskim tržištima savladati sezonske promjene, apsorbirati kratkoročne šokove i osigurati pouzdanu, pravodobnu isporuku potrošačima. Time se uravnotežuju ponuda i potražnja, stabiliziraju prijenosne mreže, jača energetska sigurnost, podupire učinkovito funkcioniranje tržišta i optimiziraju proizvodni tokovi, što PSP čini ključnim čimbenikom integriranih i otpornih energetskih sustava.

Od 2025. godine, u pogonu je 699 podzemnih skladišta plina širom svijeta, s ukupnim radnim kapacitetom od 424 milijarde m³, što je povećanje od 10 milijardi m³ u odnosu na 2022. godinu. Prvih pet zemalja prema raspoloživom skladišnom kapacitetu su Sjedinjene Američke Države, Rusija, Ukrajina, Kanada i Njemačka. Važno je istaknuti da je Kina povećala svoje skladišne kapacitete za 6 milijardi m³ te je sada na šestom mjestu u svijetu.

PSP stagnira ili bilježi tek umjereni rast na razvijenim tržištima. Ti trendovi odražavaju razlike u regulatornim okvirima, tržišnim strukturama, geološkim mogućnostima i integraciji novih plinskih projekata, što naglašava stalnu potrebu prilagodbe PSP strategija promjenjivim energetskim tržištima (nacionalnom, regionalnom i međunarodnom).

Menelaos (Mel) Ydreos, glavni tajnik IGU-a, izjavio je:

„Podzemno skladište plina strateška je imovina, jer njegova vrijednost obuhvaća pouzdanost, pristupačnost, sigurnost i održivost. Potreban nam je pristup koji promatra cijeli sustav kako bismo osigurali otpornu, dekarboniziranu energetska budućnost; u tom smislu legislativni okviri moraju se razvijati tako da odražavaju ključnu sustavnu ulogu PSP-a.”

Izvornik: IGU, Priopćenje za tisak, 27. listopada 2025.

PLAN CLEAN AIR TASK FORCE A ZACRTAVA TROŠKOVNO UČINKOVITU PRIMJENU HVATANJA I SKLADIŠTENJA UGLJIKA U SREDNJOJ I ISTOČNOJ EUROPI

Novo analitičko izvješće organizacije Clean Air Task Force (CATF) opisuje kako bi koordinirano djelovanje vlada na području hvatanja i skladištenja ugljika (CCS) moglo znatno smanjiti troškove dekarbonizacije industrije u srednjoj i istočnoj Europi (SIE). U izvješću se navodi da bi usklađivanje razvoja infrastrukture, kombiniranje instrumenata financiranja i potpora ranim projektima omogućili državama regije dekarbonizaciju teške industrije uz očuvanje konkurentnosti i radnih mjesta.

Izvješće pod naslovom “Funding Carbon Capture and Storage in Central and Eastern Europe: Strategies for Cost-Effective Deployment” ističe da bi razvoj regionalnih skladišta CO₂ mogao smanjiti troškove transporta i skladištenja za čak 48 %.

Bez domaćih skladišnih kapaciteta, vlade riskiraju plaćanje milijunskih dodatnih subvencija — primjerice, projekt koji godišnje hvata 500.000 metričkih tona CO₂ mogao bi zahtijevati dodatnih 23,5 milijuna eura (27,6 milijuna dolara) godišnje ako se skladišta ne razviju u zemlji.

“Hvatanje i skladištenje ugljika ključno je za zemlje srednje i istočne Europe u ostvarivanju klimatskih ciljeva, uz očuvanje industrijskih lanaca vrijednosti i radnih mjesta”, izjavila je Tamara Lagurashvili, direktorica za srednju i istočnu Europu u CATF-u.

“U regiji koja raspolaže usporedno manjim proračunskim kapacitetima nego vlade zapadne Europe, način oblikovanja mehanizama financiranja i provedbe CCS-a imat će dubok utjecaj na ukupne troškove.”

Relevantno: CATF objavljuje informativne listove o CCS-u za europske zemlje.

Preporuke za politike
CATF-ov plan poziva vlade SIE-a da:

Koordiniraju lance vrijednosti CCS-a; resorna ministarstva i regulatori trebaju uskladiti planiranje hvatanja, transporta i skladištenja kako bi projekti napredovali bez zastoja, od koncepta do izgradnje.

Kombiniraju europsku i nacionalnu potporu; spoj sredstava na razini EU-a (npr. Inovacijski fond) i nacionalnih instrumenata poput ugovora o razlici za ugljik može osigurati stabilne prihode i smanjiti troškovni teret.

Podupru rane projekte; potpore i jasnoća politike mogu ubrzati izdavanje dozvola i odluke o ulaganjima te potaknuti povjerenje investitora.

Preporuke dolaze u trenutku kada se vlade zemalja SIE-a suočavaju s rastućim pritiskom da ispune klimatske ciljeve EU-a unatoč geopolitičkim i gospodarskim izazovima. Prema stajalištu CATF-a, aktivnijom ulogom nacionalne vlade mogu otvoriti put troškovno pristupačnim rješenjima za CCS koja će očuvati industriju, radna mjesta i dugoročnu gospodarsku otpornost regije.

“Neki od najnaprednijih europskih CCS projekata napreduju zato što su vlade pojačale koordinaciju i smanjile rizike”, rekao je Codie Rossi, voditelj europske politike za hvatanje ugljika pri CATF-u.

Izvornik: Carbon Herald, 19. rujna 2025.

PARAMETRIZACIJA RADA PLINSKO-TURBINSKOG PROCESA PRI RAZLIČITIM OMJERIMA VODIKA I METANA U SMJESI GORIVA

PARAMETERIZATION OF GAS TURBINE PROCESS AT DIFFERENT LEVELS OF H₂-METHANE FUEL MIXTURES

Autori: Filip Milešević, izv. prof. dr. sc. Luka Perković

Sažetak

Cilj ovog rada je dati pregled mogućnosti korištenja niskougljičnog vodika kao nadopunu postojećem prirodnom plinu, kao gorivu za pogon plinskih turbina u proizvodnji korisnih oblika energije. Dan je i teoretski pregled parametrizacije hipotetskog slučaja otvorenog plinsko-turbinskog procesa pri postupnoj zamjeni metana s vodikom, i to u ovisnosti o parametrima procesa: tlačnom prirastu kompresora zraka i temperaturi na izlazu iz komore izgaranja. Rezultati provedeni u Python modulu TESP_y pokazuju kako povećavanje udjela niskougljičnog vodika povećava termodinamičku iskoristivost plinsko-turbinskog procesa te proporcionalno udjelu smanjuju intenzitet emisija ugljikovog dioksida. S druge strane, udio vodika u gorivu ne utječe značajno na potrebe za zrakom/kisikom, a time niti na utrošak snage kompresora. Udio vodika u gorivu također ne utječe značajno na temperaturu dimnih plinova na izlazu iz otvorenog plinsko-turbinskog procesa.

Ključne riječi: emisije CO₂, niskougljično izgaranje, parametrizacija procesa, plinsko-turbinski proces, umješavanje vodika u metan

Abstract

The aim of this paper is to provide an overview of the possibility of using low-carbon hydrogen as a supplement to the existing natural gas as a fuel for driving gas turbines in the production of useful forms of energy. A theoretical overview of the parameterization of a hypothetical case of an open gas turbine process with a gradual replacement of methane with hydrogen (hydrogen-methane blending) is also given, depending on the process parameters: the pressure ratio of the air compressor and the temperature at the outlet of the combustion chamber. The results implemented in the Python module TESP_y show that increasing the share of low-carbon hydrogen increases the thermodynamic efficiency of the gas turbine process and proportionally reduces the intensity of carbon dioxide emissions. On the other hand, the share of hydrogen in the fuel does not significantly affect the air/oxygen requirements, and thus the compressor power consumption. The share of hydrogen in the fuel also does not significantly affect the temperature of the flue gases at the outlet of the open gas turbine process.

Keywords: CO₂ emissions, gas turbine process, hydrogen-methane blending, low-carbon combustion, process parametrization

1. UVOD

Trenutno se nalazimo na prekretnici u energetskej tranziciji. Do kraja ovog desetljeća, globalna proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora energije (OIE) će se udvostručiti, a nefleksibilna proizvodnja će se značajno smanjiti. Samo proizvodnja električne energije iz ugljena i nafte bi se mogla smanjiti za 2300 TWh [1].

Dostupnost jeftinih OIE i ambiciozni klimatski ciljevi vlada zemalja diljem svijeta znače da se promjene događaju impresivnom brzinom. Međutim, to stavlja veliki pritisak na postojeću elektroenergetsku infrastrukturu, kako prelazimo s nefleksibilne, centralizirane proizvodnje energije na velike količine decentralizirane, nestalne proizvodnje iz sunca i vjetra.

Kako bismo se prilagodili budućim energetskej sustavima, potrebna je fleksibilna proizvodnja električne energije koja može rapidno reagirati na fluktuacije OIE.

Plinske turbine su optimalna tehnologija jer kao pouzdan i fleksibilan izvor energije nadopunjuju nestalne izvore obnovljive energije poput sunca i vjetra. One pomažu uravnotežiti mrežu brzim prilagođavanjem proizvodnje kako bi odgovarali nestabilnoj proizvodnji energije iz obnovljivih izvora i promjenjivoj potražnji za električnom energijom. Sjedinjene Američke Države, na primjer, vide plinske turbine kao ključne za zadovoljavanje rastuće potražnje za električnom energijom potaknute elektrifikacijom i podatkovnim centrima [2].

Plinske turbine mogu brzo povećati ili smanjiti svoju proizvodnju, pružajući kritične mrežne usluge kao što su regulacija frekvencije, podrška naponu i rezervno napajanje. Ova sposobnost brzog odgovora ključna je za stabilnost mreže s obzirom na varijabilnost i isprekidanost obnovljivih izvora energije. Plinske turbine također doprinose održavanju konstantnog napona i frekvencije [3, 4].

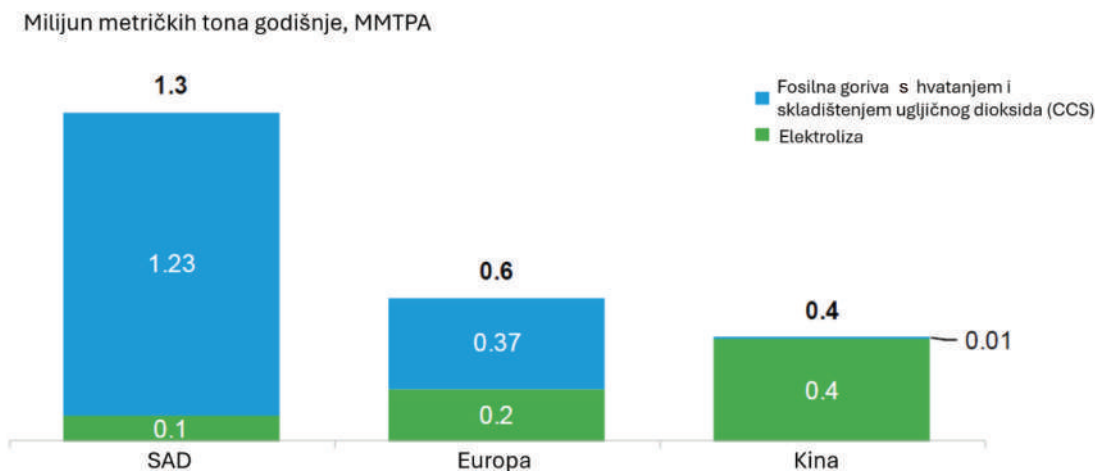
Njihova fleksibilnost omogućuje im da djeluju kao tehnologija tranzicije, podržavajući integraciju obnovljivih izvora energije osiguravanjem pouzdane energije kada obnovljivi izvori energije nisu dostupni, čime se olakšava veći prodor obnovljivih izvora energije u mrežu. Također, pomažu u elektrifikaciji novih sektora uz smanjenje ukupnih emisija, ukoliko se koriste umjesto elektrana na ugljen ili naftu [5], a dodatni potencijal u smanjenju emisija ugljika se može realizirati povećanim korištenjem vodika kao plinskog goriva turbina.

Kombinirajući plinske turbine s pohranom energije (npr. baterijama) i naprednim kontrolnim sustavima može se poboljšati fleksibilnost i efikasnost mreže, te pružiti iznimno brz odaziv kada je potrebno. Senzori i digitalne tehnologije omogućavaju predviđanje i upravljanje potražnjom u stvarnom vremenu, optimizirajući rad plinskih turbina uz OIE tako što potpomažu maksimalno vrijeme rada turbine u nazivnom opterećenju (100 % opterećenja).

Generalno, uloga plinskih turbina se pomiče od masovne proizvodnje energije baznog opterećenja prema strateškim, fleksibilnim i komplementarnim sredstvima u sustavima kojima dominiraju promjenjivi obnovljivi izvori energije, te imaju potencijal da budu amortizeri šokova – rjeđe korištene, ali ključne kada je potrebno.

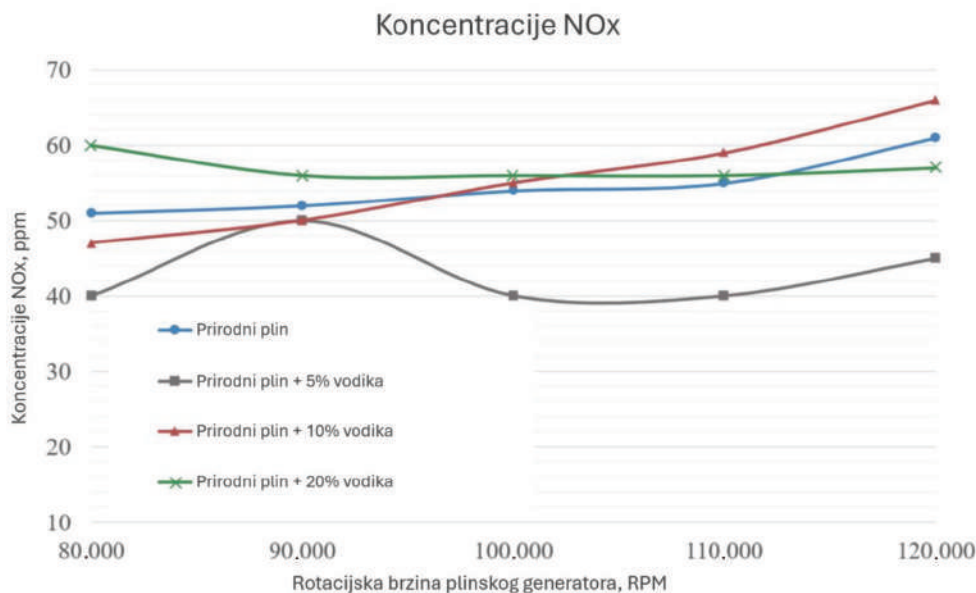
2. NISKOUGLJIČNI VODIK KAO NADOPUNA PLINSKOM GORIVU

Postoje tehnologije koje su trenutno dostupne i mogu generirati velike količine vodika, uključujući parno reformiranje metana (SMR) i elektrolizu vode. Parno reformiranje metana (SMR) glavna je metoda proizvodnje većine vodika koji se danas proizvodi u svijetu. Ali ovaj proces stvara CO₂ kao nusproizvod, pa bi bila potrebna upotreba tehnologija hvatanja ugljika (CCS) kako bi bio dio niskougljičnog energetskej sustava. Na slici 1 prikazana je proizvodnja niskougljičnog vodika u SAD-u, Europi i Kini do svibnja 2024.



Slika 1. Proizvodnja niskougljičnog vodika u SAD-u, Europi i Kini do svibnja 2024.
Izvor: BloombergNEF, u Izvješću o stanju europskog tržišta vodika [6])

Elektroliza vode nije novi koncept, ali njezino korištenje za proizvodnju količina vodika potrebnih za proizvodnju električne energije zahtijevat će veliku količinu energije, što bi moglo dramatično povećati cijenu vodika i električne energije. Alternativno rješenje za proizvodnju velikih količina može biti proizvodnja vodika iz elektrolize korištenjem obnovljive energije. Ovo rješenje predstavlja temeljnu promjenu paradigme u industriji proizvodnje električne energije; brzo povećanje instaliranog kapaciteta obnovljivih izvora stvara višak energije, što ponekad dovodi do restrikcija proizvodnje iz OIE i u nekim situacijama negativno utječe na cijene električne energije. Korištenje te ograničene snage iz obnovljivih izvora bi potencijalno moglo isporučiti energiju potrebnu za proizvodnju onoga što se naziva „zeleni H₂“, vodik proizveden iz elektrolize korištenjem obnovljive energije. Tako proizveden vodik se može smatrati fleksibilnim skladištem energije i kao takav može pomoći pri balansiranju ponude i potražnje za energijom, osiguravajući stabilnost mreže i poboljšavajući pouzdanost elektroenergetskih sustava baziranih na obnovljivim izvorima energije [7]. Na slici 2 prikazane su emisije dušikovih oksida (NO_x) u testnoj plinskoj turbini korištenjem različitih volumnih udjela vodika u plinskom gorivu.



Slika 2. Emisije dušikovih oksida (NO_x) u testnoj plinskoj turbini korištenjem različitih volumnih udjela vodika u plinskom gorivu [12]

Osim toga, plinske turbine na vodik se trenutno koriste u kogeneracijskim elektranama i elektranama s kombiniranim ciklusom, koje istovremeno proizvode električnu i toplinsku energiju. Ove turbine, bilo da se napajaju čistim vodikom ili mješavinama vodika i prirodnog plina, postižu visoku učinkovitost i znatno niže emisije ugljika u usporedbi s tradicionalnim fosilnim gorivima. U industrijskom sektoru, kao što su rafinerije i petrokemijska postrojenja, vodik, kao nusproizvod, se često koristi. U tim okruženjima plinske turbine rade na gorivima s različitim koncentracijama vodika, pomažući u dekarbonizaciji industrijskih procesa bez značajnih izmjena infrastrukture. Na primjer, rafinerija Gibraltar-San Roque u Španjolskoj upravlja plinskom turbinom 6B.03 na rafinerijski gorivi plin koji sadrži do 32 % vodika. Nadalje, vodik se integrira u plinske turbine u sektorima kao što su proizvodnja čelika i kemijska proizvodnja, u kojima plinovi nusproizvoda služe kao gorivo. Ovaj pristup pomaže u smanjenju emisija stakleničkih plinova uz korištenje postojeće opreme. U pogonima za proizvodnju čelika plinske turbine upotrebljavaju se za izgaranje nusproizvoda plinova, uključujući koksni plin, koji je bogat vodikom. Ova metoda podržava i proizvodnju električne energije i smanjenje emisije ugljika, predstavljajući održivo rješenje za tešku industriju. Na primjer, čeličane u Kini i Europi koriste GE-ove plinske turbine 9E.03 za rad na gorivima s različitim sadržajem vodika, pokazujući prilagodljivost i učinkovitost uključivanja plinova nusproizvoda bogatih vodikom u energetske sustave. Ova integracija poboljšava optimizaciju potrošnje energije uz korištenje postojećih resursa [7].

3. PREGLED ISTRAŽIVANJA PLINSKO-TURBINSKIH PROCESA PRI UMJEŠAVANJU VODIKA U SMJESU PLINOVITIH GORIVA

U Atlanti, SAD, ove godine po prvi puta je demonstrirana pouzdana mogućnost mješanja vodika od 5 % do 50 % (po volumenu) u smjesu plinskih goriva napredne plinske turbine s kombiniranim ciklusom (CCGT) [8]. Dosadašnja iskustva s mješavinama vodika su prvenstveno bila na starijim turbinama koje rade na nižim tlakovima i temperaturama. Ovo testiranje je provedeno na M501GAC plinskoj turbini (proizvođača Mitsubishi Power), generirajući snagu od otprilike 283 MW, a procjena je da su se s mješavinom od 50 % vodika u gorivu smanjile emisije ugljičnog dioksida za 22 %, nasprem korištenja 100 % prirodnog plina.

Umješavanje vodika u smjesu plinovitih goriva stvara izazov efikasnom radu ekspandera plinskih turbina, pošto povećan protok, različita svojstva smjese plina i temperaturni raspon rada mogu imati utjecaj na performanse i strukturalni integritet turbina. No, Alberto Bandini et al. [9] su pokazali u numeričkoj studiji da je i dalje moguće koristiti plinsko gorivo s visokim udjelom vodika u postojećim plinskim turbinama bez potrebe za dodatnim redizajnom, uz prihvatljive razine degradacije performansi.

Druga istraživanja korištenjem simulacijskih modela različitih konfiguracija plinskih turbina pokazala su da se s povećanjem vodika u smjesi plinovitih goriva povećava izlazna snaga i učinkovitost rada turbine [10]. Tehno-ekonomska analiza Ju-Yeol Ryu et al. [11] je pokazala kako se s povećanjem udjela vodika u plinskom gorivu može očekivati veća efikasnost procesa i viša izlazna snaga, no zbog povećanog volumnog protoka na ulazu komore za izgaranje, njen dizajn je bitna stavka prilikom korištenja mješavina plinskih goriva s vodikom.

Ekperimentalna studija [12] je pokazala par zanimljivih ponašanja procesnih parametara testne plinske turbine ET 792 (originalno pogonjene propanom), snage 2 kW:

- Najniže koncentracije emisija dušikovih oksida (NO_x) postiže smjesa s 5 % volumnog udjela vodika, smanjenje od 21,25 % u odnosu na gorivo sa 100 % prirodnog plina.
- Smanjenje emisija CO₂ za 7,22 % u slučaju smjese s 20 % vodika.
- Smjese do 20 % vodika u plinskom gorivu se općenito mogu smatrati sigurnim i ne predstavljaju opasnost komponentama sustava plinske turbine.
- Izlazna snaga i efikasnost sustava se nije značajno promijenila umješavanjem vodika u gorivo.

Simulacijska studija [13] Mitsubishi M701F plinske turbine, snage 238,5 MW, je pokazala povećanje termalne efikasnosti od oko 2 % u slučaju mješavine vodika od 30 % te smanjenje emisija CO₂ od 2,16

% za svakih 5 % udjela vodika. No, u radu su analizirani i slučajevi smanjenog opterećenja rada plinske turbine (engl. *part-load*) – rad na 100 %, 75 % i 50 % snage. Posebno je zanimljivo što najveće povećanje efikasnosti jest u slučaju smanjenog opterećenja rada plinske turbine – rada od 50 %, što ide u prilog korištenju vodika prilikom fleksibilnog rada plinskih turbina.

No, korištenje vodika kao pogonskog goriva plinskih turbina zahtjeva razvoj tehnologije i kreativna tehnološka rješenja, uključujući modifikacije u komorama za izgaranje, sustavima ubrizgavanja goriva, materijalima turbina i komponentama za skladištenje i transport vodika. Glavni izazovi prilikom korištenja vodika kao pogonskog goriva plinskih turbina su potencijalno visok sadržaj vode, fugitivne emisije vodika, povrat plamena u komori za izgaranje te visoka temperatura izgaranja vodika [7]. Dodatni problemi su stabilizacija i velika brzina plamena, termoakustični efekti te kontrola emisija NO_x [14].

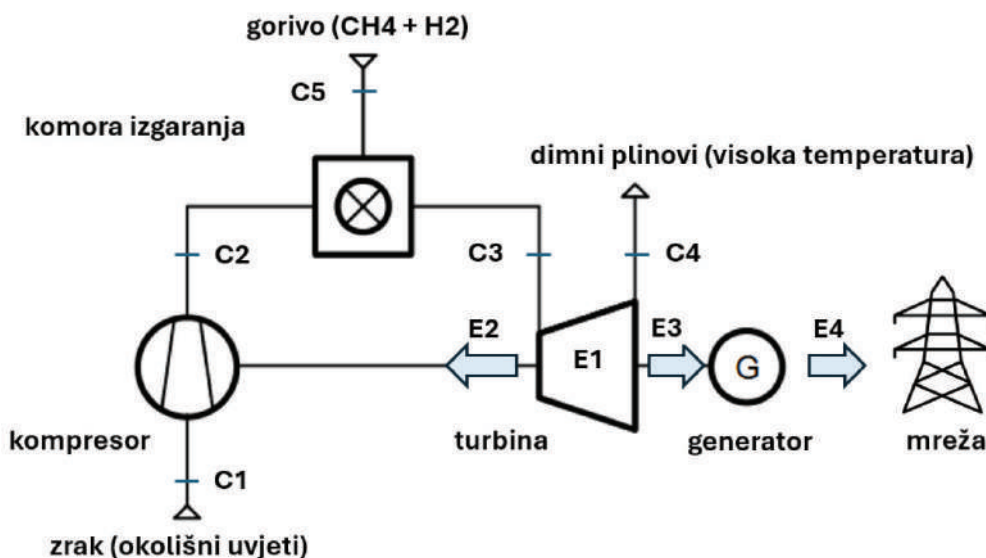
Jedan od problema prilikom korištenja smjesa vodika i metana su i gubici u kompresoru, te su Murillo et al. [15] pokazali važnost dizajniranja kompresora za specifične sastave smjesa plinskih goriva kako bi se minimizirali gubici, osobito kada uvjeti rada turbine odstupaju od projektiranih uvjeta.

4. PARAMETRIZACIJA RADA PLINSKO-TURBINSKOG PROCESA PRI RAZLIČITIM STUPNJEVIMA UMJEŠANOSTI VODIKA U SMJESU GORIVA POMOĆU PYTHON MODULA TESPy

Glavni udio u prirodnom plinu ima metan. U ovome radu je predstavljena parametarska analiza rada otvorenog plinsko-turbinskog procesa pri različitim stupnjevima umješanosti vodika u smjesu vodika i metana. Analiza je provedena pomoću Python modula TESPy [16]. Modul TESPy nudi mogućnosti parametarske analize različitih termodinamičkih sustava i bazu riješenih primjera koja uključuje plinsko-turbinski proces, dizalicu topline, Rankine-ov ciklus i mrežu centraliziranog toplinskog sustava.

4.1. MODELIRANJE PLINSKO-TURBINSKOG PROCESA U MODULU TESPy

Plinsko-turbinski proces se sastoji od kompresora, komore izgaranja, turbine i generatora. Kompresor usisava zrak okolišnih uvjeta i komprimira ga na viši tlak i temperaturu. Zrak se u komori izgaranja miješa s gorivom i smjesa goriva i zraka izgara te nastaju vrući dimni plinovi na visokom tlaku i temperaturi koji ekspandiraju u turbini predajući joj rad. Turbina predaje rad vratilu, pri čemu se dio troši u kompresoru, a dio u generatoru. Generator predaje korisnu električnu energiju mreži. Shemu procesa prikazuje slika 3.



Slika 3. Shema sustava otvorenog plinsko-turbinskog procesa

Model plinsko-turbinskog procesa se sastoji od konekcija C (C1 – C5) gdje se balansiraju tokovi fluida. Mehanički dio se sastoji od energetskih tokova E (E1 – E3) i električnog toka E4. konkretno, u ovom primjeru energetski tokovi kompresora, turbine i komore izgaranja se mogu prikazati pomoću formula

$$\phi_{C1} + P_{E2} = \phi_{C3}$$

$$\phi_{C3} - \phi_{C4} = P_{E1}$$

$$\phi_{C3} - \phi_{C2} = \phi_{C5}$$

Pri čemu je ϕ_{C5} toplinski tok predan izgaranjem goriva, P_{E2} snaga koju treba dovesti kompresoru, a P_{E1} snaga koju razvija turbina. Mehanička snaga na vratilu se može prikazati kao

$$P_{E1} = P_{E2} + P_{E3}$$

Pri čemu je P_{E3} snaga koja se predaje generatoru, dok je izlazna snaga iz generatora (snaga predana mreži) manja za iskoristivost generatora η_G

$$P_{E4} = P_{E3} \cdot \eta_G$$

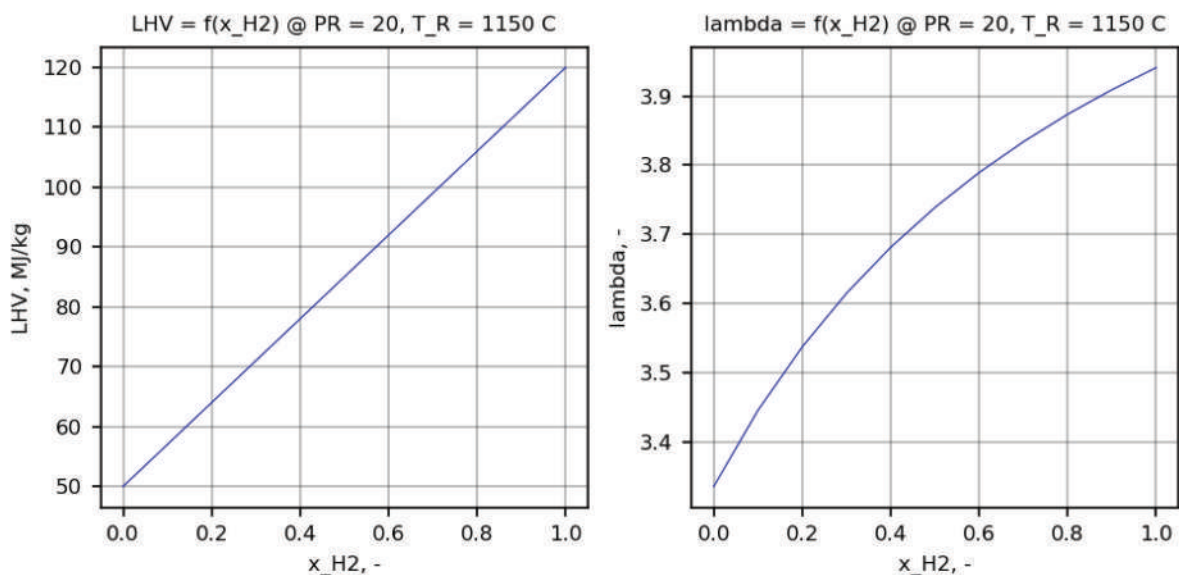
Toplinska snaga generatora (ϕ_{C5}) je umnožak masenog protoka goriva i donje ogrijevne vrijednosti (engl. *Lower Heating Value* – LHV). Maseni protoci zraka i goriva ($q_{m,Air}$ i $q_{m,F}$) se izračunavaju iz zadanih parametara procesa. Primjerice, korištenje goriva s većom LHV znači korištenje manje goriva i zraka za istu vrijednost dobivene toplinske snage. Omjer goriva i zraka opisuje parametar omjera stvarnog i stehiometrijskog omjera kisika (λ). Veće vrijednosti λ znače da plamen izgara u gorivom „siromašnim“ uvjetima, što je uobičajeni slučaj kod plinskih turbina radi stabilizacije plamena, smanjenja temperature izgaranja i potpunog izgaranja goriva. Model je potrebno „usidriti“ s nekoliko fiksnih parametara, a za potrebe ovog rada fiksirani parametri su stupanj prirasta tlaka kompresora $PR = p_{C2}/p_{C1}$ i temperatura na izlazu iz komore izgaranja $TC3$. Također, svi procesi su izračunati s istim traženim izlazom električne snage prema mreži P_{E4} . Ogrijevne vrijednosti goriva (metana i vodika), kao i svi termodinamički parametri su izračunati pomoću termodinamičkog modula CoolProp [17].

4.2. POSTAVKE ANALIZE SLUČAJA PLINSKO-TURBINSKOG PROCESA

Traženi izlaz električne snage za sve slučajeve iznosi $P_{E4} = 10$ MW. Referentni stupanj povišenja tlaka i temperatura na izlazu iz turbine iznose $PR = 20$ i $TC3 = 1150$ °C, s tim da su ta dva parametra mijenjana unutar granica $PR = \{10 \rightarrow 30\}$ i $TC3 = \{900 \rightarrow 1400\}$ °C. Od ostalih postavljenih parametara, treba napomenuti termičku efikasnost komore izgaranja u iznosu od 99 %, izentropske iskoristivosti kompresora i turbine u iznosima od 85 i 90 %, kao i iskoristivost generatora u iznosu od 98 %. Izlazni parametri simulacija temeljem kojih je provedena analiza su: ukupna iskoristivost procesa η , intenzitet emisija CO₂ po količini korisno proizvedene energije I_{CO2} , snaga kompresora $P_{komp} = P_{E2}$, potrebni maseni protoci goriva i zraka $q_{m,F}$ i $q_{m,Air}$ i izlazna temperatura dimnih plinova $TC4$. Ukupnu efikasnost procesa definiramo kao omjer korisne izlazne snage i snage dovedene gorivom preko LHV u komori izgaranja

$$\eta = \frac{P_{E4}}{q_{m,F} \cdot LHV}$$

Slika 4 prikazuje ovisnost LHV o masenom udjelu vodika, kao i λ za referentne parametre simulacije.

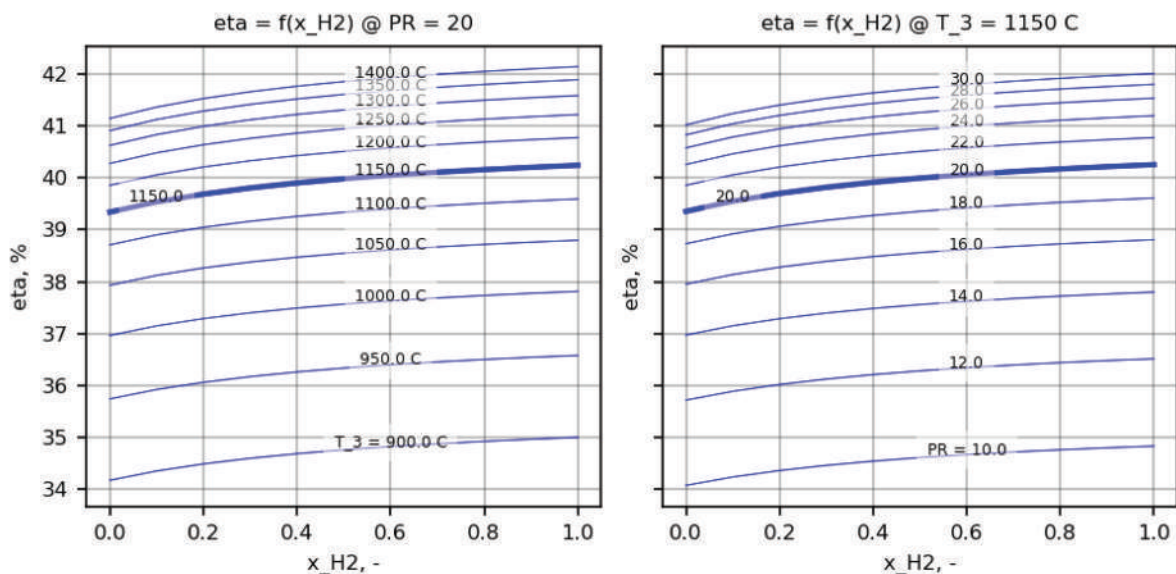


Slika 4. Donja ogrijevna vrijednost smjese vodika i metana i omjer stvarnog i stehiometrijskog omjera kisika za referentnu radnu točku

Vidljivo je da dodavanjem vodika u smjesu metana dobivamo linearni porast ogrijevne vrijednosti plinske gorivne smjese jer vodik ima veću ogrijevnost u odnosu na metan (120 MJ/kg u odnosu na 50 MJ/kg). Također, dodavanjem vodika u smjesu goriva pri konstantnim referentnim uvjetima raste i količina potrebnog kisika (koji se dovodi zrakom kao oksidatorom) kako bi se temperatura plamena na izlazu iz komore izgaranja održala na referentnoj vrijednosti $T_R = T_{C3} = 1150$ °C.

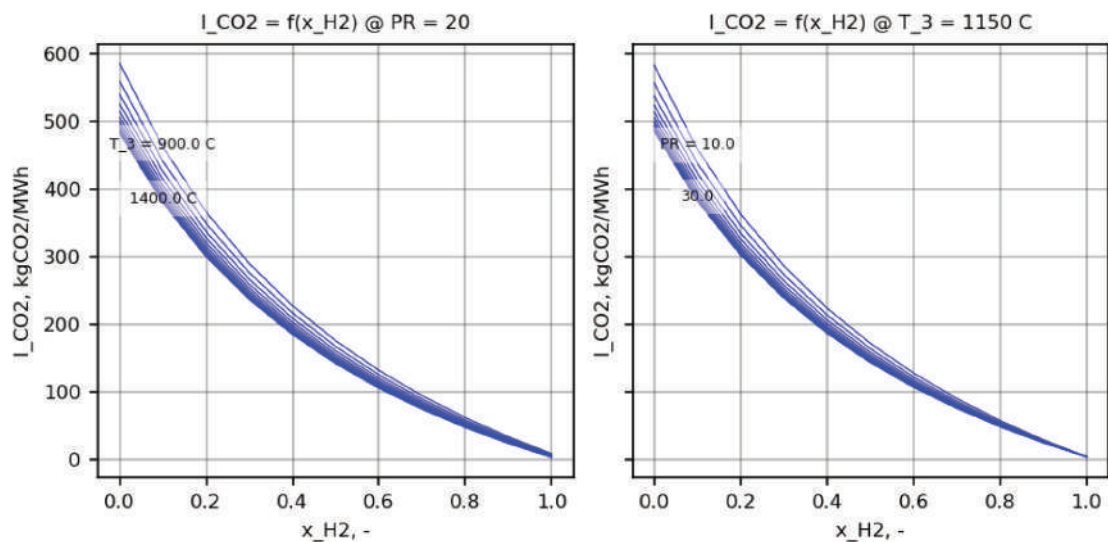
4.3. REZULTATI

Simulirano je po 11 koraka za udio H_2 u smjesi goriva, omjera tlačnih prirasta i temperatura na izlazu iz turbine, što daje ukupno 1331 simulacija. Analiza rezultata je prikazana na sljedećim slikama.



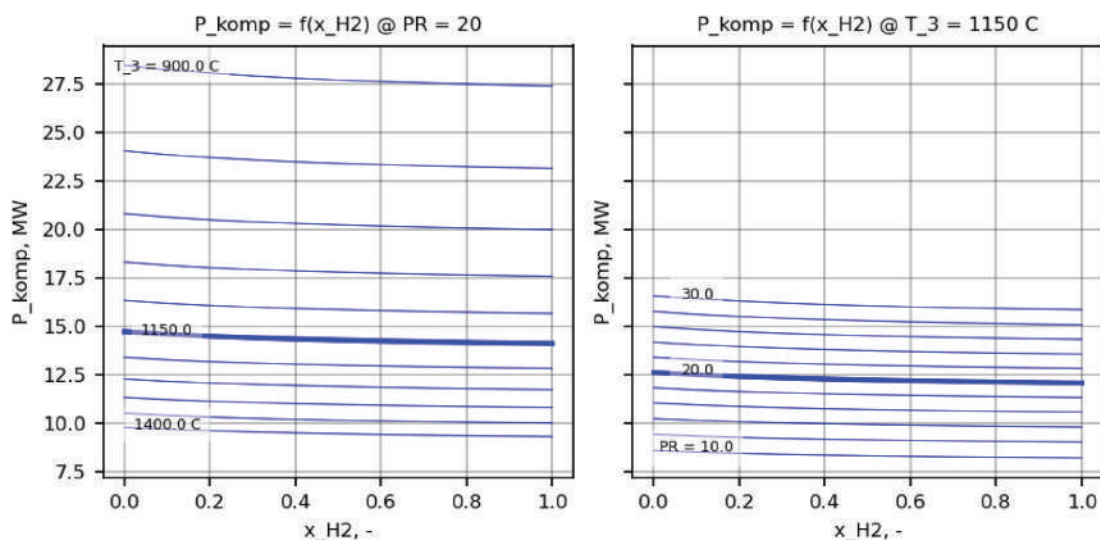
Slika 5. Ovisnost efikasnosti plinsko-turbinskog procesa o masenom udjelu vodika u gorivu i procesnim parametrima PR i T_3

Efikasnost plinsko turbinskog procesa raste s porastom udjela vodika u gorivu (x_{H_2}), kao i porastom procesnih parametara PR i T_3 , slika 5. Utjecaj procesnih parametara PR i T_3 je značajno veći u odnosu na x_{H_2} , te se efikasnosti kreću u rasponu od 34 do 42 %. Povećanje efikasnosti uslijed većeg omjera vodika u smjesi goriva je posljedica smanjene potrošnje snage u kompresoru zraka, slika 7, zbog manje potrebne količine goriva, slika 8. Iako je potrebna količina zraka po jedinici goriva veća zbog većeg λ (slika 4), na količinu potrebnog zraka ipak veći utjecaj ima manja potrebna količina samog goriva zbog veće LHV vodika u odnosu na metan pri većim x_{H_2} .

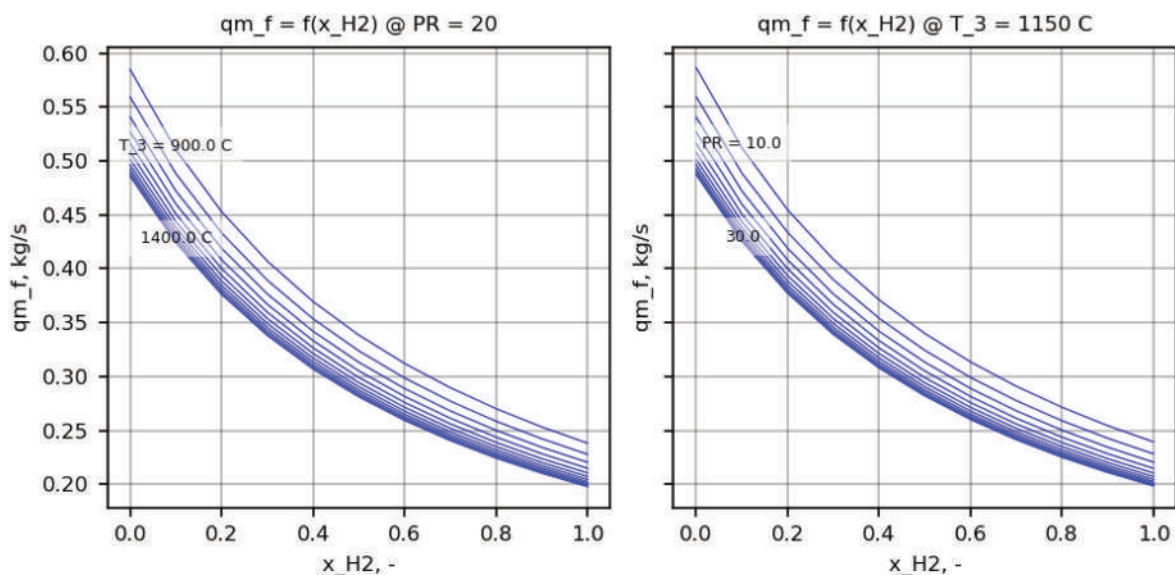


Slika 6. Ovisnost specifičnih emisija CO₂ plinsko-turbinskog procesa o masenom udjelu vodika u gorivu i procesnim parametrima PR i T_3

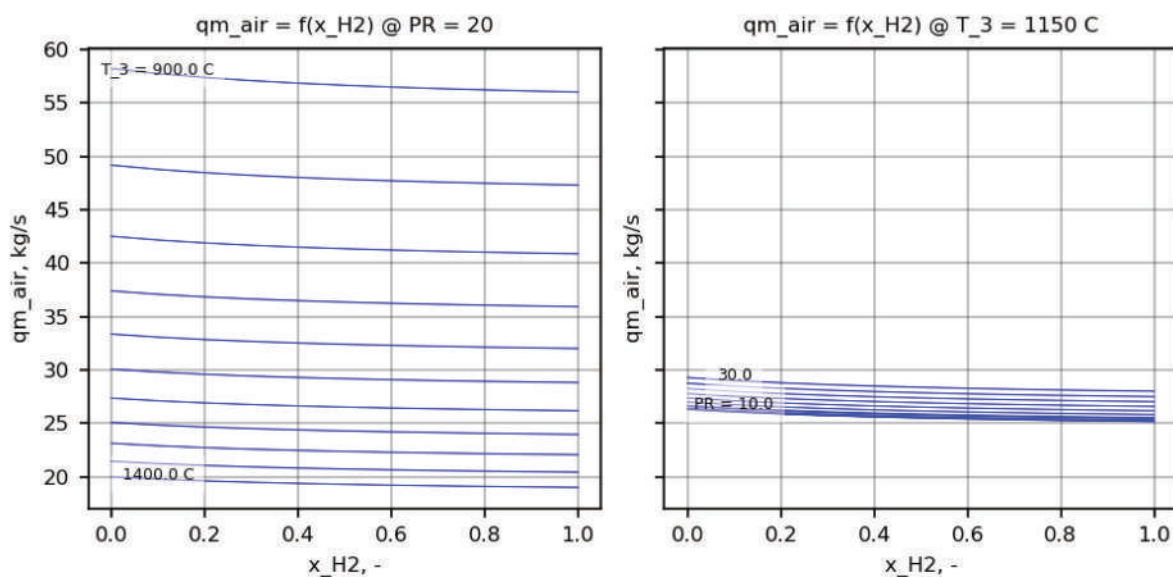
S obzirom da pretpostavljamo da vodik u smjesi goriva dolazi s nultim vezanim emisijama CO₂, a da metan proizvodi CO₂ tijekom izgaranja, te uzevši u obzir efikasnosti procesa, specifične emisije po količini korisno proizvedene el. energije I_{CO_2} iznose između 480 i 600 kgCO₂/MWh za 100 % metan i nula za 100 % vodika u smjesi goriva. Procesni parametri manje utječu na same emisije CO₂, ali je bitno napomenuti kako viša temperatura izgaranja i tlačni prirast povoljno utječu na smanjenje emisija jer je plinsko-turbinski proces načelno efikasniji.



Slika 7. Ovisnost snage kompresora plinsko-turbinskog procesa o masenom udjelu vodika u gorivu i procesnim parametrima PR i T_3

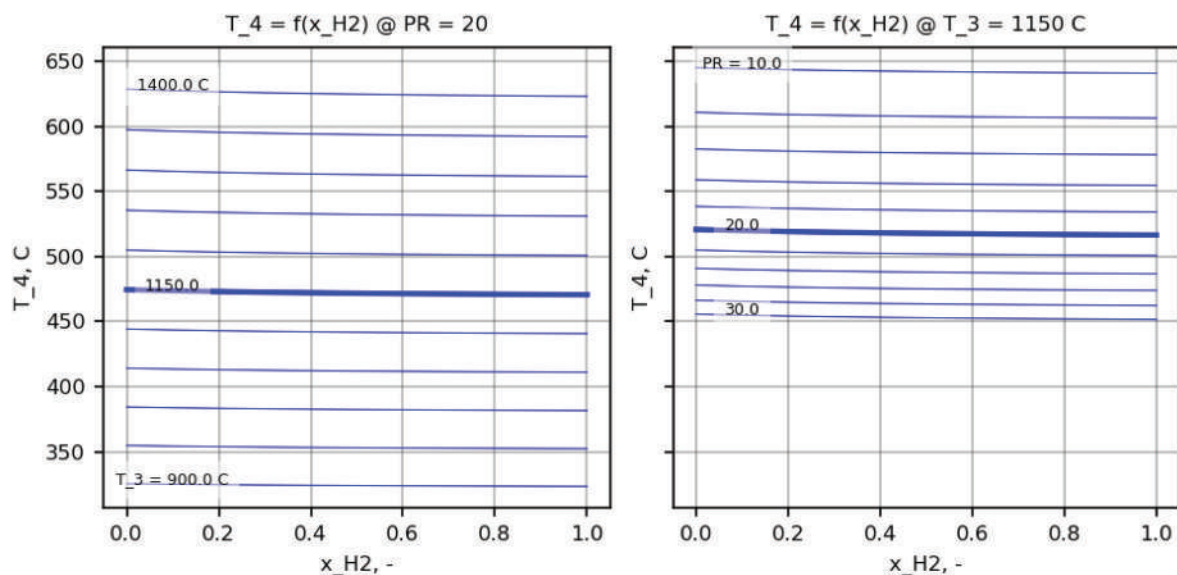


Slika 8. Ovisnost masenog protoka goriva ($\text{CH}_4 + \text{H}_2$) plinsko-turbinskog procesa o masenom udjelu vodika u gorivu i procesnim parametrima PR i T_3



Slika 9. Ovisnost masenog protoka zraka plinsko-turbinskog procesa o masenom udjelu vodika u gorivu i procesnim parametrima PR i T_3

Izlazna temperatura dimnih plinova T_{C4} je načelno visoka, od 350 do 650 °C, te raste s porastom temperature u komori izgaranja kao i tlačnim prirastom kompresora. Utjecaj x_{H2} nije toliko vidljiv zbog toga što sa većim udjelom vodika imamo i veću količinu zraka/kisika po jedinici goriva koji regulira temperaturu na izlazu iz komore izgaranja na preddefiniranu vrijednost T_{C3} .



Slika 10. Ovisnost izlazne temperature dimnih plinova plinsko-turbinskog procesa o masenom udjelu vodika u gorivu i procesnim parametrima PR i T_3

5. ZAKLJUČAK

U radu je dan pregled mogućnosti korištenja niskougljičnog vodika, kao nadopune postojećem prirodnom plinu kao gorivu za pogon plinskih turbina u proizvodnji korisnih oblika energije. Analiza je provedena za proizvodnju električne energije u otvorenom plinsko-turbinskom procesu u Python modulu TESP. Rezultati su prikazani u obliku parametrizacije rada hipotetskog slučaja otvorenog plinsko-turbinskog procesa konstantne izlazne snage 10 MW pri postupnoj zamjeni metana s vodikom. Za svaku kombinaciju izlazne temperature iz komore izgaranja (T_3) i tlačnog prirasta kompresora (PR) povećanje udjela vodika dovodi do povećanja termodinamičke iskoristivosti plinsko-turbinskog procesa i istovremenog pada intenziteta emisija ugljikovog dioksida. Potrebe za dovedenim zrakom/kisikom se ne mijenjaju značajno s udjelom vodika u gorivu, ali veliki utjecaj na taj parametar ima temperatura na izlazu iz komore izgaranja. Kvalitativno isti trend pokazuje i utrošak snage kompresora, s obzirom da izravno ovisi o masenom protoku zraka i tlačnom prirastu kojeg mora ostvariti. Nadalje, za svaku kombinaciju PR i T_3 maseni protok gorive smjese vodika i prirodnog plina se također smanjuje s povećanjem udjela vodika zbog toga što vodik ima veću specifičnu ogrijevnost vrijednost u odnosu na prirodni plin. Utjecaj udjela vodika u gorivu također ne utječe značajno na temperaturu dimnih plinova na izlazu iz otvorenog plinsko-turbinskog procesa, s obzirom na to da je za svaki slučaj izlazna snaga bila limitirana na istu vrijednost izlazne snage.

LITERATURA

1. WÄRTSILÄ: Faster, cheaper, cleaner: The grid balancing technology shaping our renewable future, URL: <https://www.wartsila.com/insights/article/faster-cheaper-cleaner-the-grid-balancing-technology-shaping-our-renewable-future> (14. 8. 2025.).
2. Power Engineering: How do gas turbines fit into the clean energy transition?, URL: <https://www.power-eng.com/gas/turbines/how-do-gas-turbines-fit-into-the-clean-energy-transition/> (14. 8. 2025.).
3. Energy News Network: Balancing Power Demand: A Synergistic Approach With Renewable And Gas Power Projects, URL: <https://energy-news-network.com/industry-news/balancing-power-demand-a-synergistic-approach-with-renewable-and-gas-power-projects/> (14. 8. 2025.).

4. PRISMECS: How Gas Turbines Are Transforming the Future of Energy Production, URL: <https://prismecs.com/blog/how-gas-turbines-are-transforming-the-future-of-energy-production/> (14. 8. 2025.).
5. GE VERNova: Gas turbines: Building the bridge to a resilient and low-carbon energy future, URL: <https://www.gevernova.com/gas-power/resources/articles/2025/resilient-low-carbon-future> (14. 8. 2025.).
6. The Oxford Institute for Energy Studies: 2024 State of the European Hydrogen Market Report, URL: <https://www.oxfordenergy.org/wpcms/wp-content/uploads/2024/06/2024-State-of-the-European-Hydrogen-Market-Report.pdf> (14. 8. 2025.).
7. Medhat A. Nemitallah et al.: Hydrogen Mobility toward Affordable and Clean Energy Production in Gas Turbines: State-of-the-Art and Perspectives. *Energy & Fuels*, 2025., Vol 39/Issue 13. DOI: 10.1021/acs.energyfuels.4c05875.
8. Energy Institute: US utility trials 50-50 hydrogen/natural gas mix in CCGT, URL: <https://knowledge.energyinst.org/new-energy-world/article?id=139684> (14. 8. 2025.).
9. Alberto Bandini et al.: Targeting Full-Hydrogen Operation on Industrial-Scale Gas Turbines: Impact of Unconventional Fuels on Turbine Module Performance and Aeromechanics. *Journal of Turbomachinery*, 2025., 147(7), 071008. DOI: 10.1115/1.4067127.
10. Harutyunyan A., Badyda, K., Szablowski, L.: Energy and exergy analysis of complex gas turbines systems powered by a mixture of hydrogen and methane. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2025., Vol. 144, pg. 713-725. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.02.378.
11. Ju-Yeol Ryu et. al.: Techno-Economic Analysis of Hydrogen–Natural Gas Blended Fuels for 400 MW Combined Cycle Power Plants (CCPPs). *Energies*, 2023., 16, 6822. DOI: 0.3390/en16196822.
12. Ruben Valente, Jorge M. Costa, Nuno Soares Domingues: Natural Gas–Hydrogen Blends to Power: Equipment Adaptation and Experimental Study. *Energies*, 2025., 18(8), 1922. DOI: 10.3390/en18081922.
13. Rizcky Rahadian Nugraha, S. Silviana, Widayat Widayat: Effect of Hydrogen Co-Firing with Natural Gas on Thermal Efficiency and CO₂ Emissions in Gas Turbine Power Plant. *Hydrogen*, 2025., 6(1), 18. DOI: 10.3390/hydrogen6010018.
14. Amr Abbass: Hydrogen Integration in Gas Turbines: OEM Innovations and Challenges in Advancing Sustainable Energy Systems. *Journal of Management and Engineering Sciences*, 2025., Vol. 2, Issue 3, pg. 99.-108. DOI: 10.61552/JMES.2025.03.00.
15. Murillo S.S. Pereira Neto, Bruno J.N. Antonio, Jurandir I. Yanagihara: Impact of hydrogen-enriched methane on the aerodynamic performance of centrifugal compressors: A computational fluid dynamics analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2025., Vol. 144, pg. 746-759. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2025.03.189.
16. Francesco Witte and Ilja Tuschy: TESPpy: Thermal Engineering Systems in Python, *Journal of Open Source Software*, 49 (5), 2020. DOI: 10.21105/joss.02178.
17. Ian H. Bell, Jorrit Wronski, Sylvain Quoilin, Vincent Lemort: Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp; *Industrial & Engineering Chemistry Research* 53 (6), 2014, DOI: 10.1021/ie4033999.

VODIK KAO STUP ZELENE ENERGETSKE TRANZICIJE – IZAZOVI TRANSPORTA CJEVOVODIMA

HYDROGEN AS A PILLAR OF THE GREEN ENERGY TRANSITION – CHALLENGES OF PIPELINE TRANSPORT

Autorica: dr. sc. Ivana Kaličanin

Sažetak

Vodik (H_2) se prepoznaje kao ključni pokretač prijelaza prema energetsom sustavu s niskim udjelom ugljika. Kada se proizvodi metodama bez emisije ugljičnog dioksida (CO_2), poput elektrolize pokretane obnovljivim izvorima energije, smatra se ugljično neutralnim gorivom. Zbog svoje svestranosti, vodik ima važnu ulogu u industrijskim procesima, kao čisto gorivo i sredstvo za pohranu energije.

U kontekstu zelene tranzicije, brojne zemlje ulažu u razvoj tehnologija temeljenih na vodikom radi smanjenja emisija i jačanja energetske sigurnosti. Ovaj rad donosi pregled svojstava vodika i njegovog ponašanja pri transportu cjevovodima te prikazuje osnovne standarde i tehničke smjernice za cjevovodne sustave. Poseban naglasak stavljen je na sustave upravljanja koji osiguravaju integritet, praćenje i sigurnost transporta vodika.

Ključne riječi: niskougljična energija, sigurnost, sustav upravljanja vodikom, transport cjevovodima, vodik

Abstract

Hydrogen (H_2) is recognized as a key driver in the transition toward a low-carbon energy system. When produced using methods that do not emit carbon dioxide (CO_2), such as electrolysis powered by renewable energy sources, it is considered a carbon-neutral fuel. Due to its versatility, hydrogen plays an important role in industrial processes, as a clean fuel, and as an energy storage medium.

In the context of the green transition, many countries are investing in hydrogen-based technologies to reduce emissions and enhance energy security. This paper provides an overview of hydrogen's properties and behaviour during pipeline transport, as well as the main standards and technical guidelines for hydrogen pipeline systems. Particular emphasis is placed on management systems that ensure the integrity, monitoring, and safety of hydrogen transport.

Keywords: hydrogen, hydrogen management system, low-carbon energy, pipeline transport, safety

1. UVOD

Europska unija [1] obvezala se na potpunu dekarbonizaciju svog energetskeg sektora, uključujući grijanje i hlađenje u zgradama i industriji, kako bi do 2050. godine postigla gospodarstvo s neto nultom emisijom stakleničkih plinova.

Pri tome se vodik (H_2) prepoznaje kao ključan pokretač prijelaza prema energetsom sustavu s niskim udjelom ugljika. Kada se proizvodi metodama koje ne emitiraju ugljični dioksid (CO_2) - poput elektrolize pokretane obnovljivom energijom, smatra se ugljično neutralnim gorivom.

Vodik ima višestruke uloge u energetsom prostoru: kao sirovina u industrijskim procesima, čisto gorivo i sredstvo za pohranu energije. On je ključna komponenta zelene tranzicije.

Kao rezultat, zemlje sve više ulažu u tehnologije temeljene na vodiku kako bi ubrzale prijelaz prema gospodarstvu s niskim udjelom ugljika. Njegova važnost kao izvora energije proizlazi iz značajnog potencijala za unapređenje energetske sigurnosti i održivosti okoliša [2].

Trenutačno se vodik koristi u industrijskom sektoru, posebno u kemijskoj i petrokemijskoj industriji. Međutim, s rastućim globalnim naglaskom na dekarbonizaciju, vlade i industrije svijeta sve više ulažu u tehnologije temeljene na vodiku kako bi unaprijedile ciljeve klimatske i energetske sigurnosti. Svestranost vodika proizlazi iz njegove količine, male težine i mogućnosti proizvodnje iz obnovljivih izvora, uključujući elektrolizu vode i termokemijske reakcije.

Sposobnost vodika da pohranjuje višak obnovljive energije čini ga ključnim čimbenikom za stabilnost mreže, dok se njegova primjena proteže od vozila s gorivnim ćelijama s nultom emisijom do čiste industrijske energije. Stoga vodik djeluje kao most prema održivoj energetskej budućnosti, olakšavajući integraciju obnovljivih izvora energije, smanjujući ovisnost o fosilnim gorivima i ublažavajući emisije stakleničkih plinova.

Trenutno je u svijetu u funkciji otprilike 5000 km vodikovih cjevovoda. Europska unija procjenjuje [3] da bi do 2050. trebalo izgraditi oko 18.000 – 20.000 km cjevovodnih sustava samo u Europi. Pri tome bi većina trebala biti izgrađena u prvom desetljeću, odnosno do 2035. godine.

2. SVOJSTVA VODIKA I NJEGOVO PONAŠANJE KOD TRANSPORTA CJEVOVODIMA

Strujanje vodika kroz cjevovode rezultat je složene interakcije između dinamike fluida, termodinamičkih procesa i svojstava materijala [2]. Zbog svojih jedinstvenih karakteristika – male gustoće i visoke reaktivnosti – vodik zahtijeva detaljno poznavanje njegova ponašanja tijekom transporta. Na dinamiku strujanja utječu brojni čimbenici, uključujući apsolutni tlak, promjene tlaka u vremenu i prostoru, temperaturne gradijente, dimenzije cjevovoda te prisutnost nečistoća. Dodatnu složenost sustavu unose učinci inercije strujanja i turbulencije.

Prenamjena postojećih cjevovoda [4], osobito onih koji se trenutno koriste za transport prirodnog plina, predstavlja jedan od najisplativijih načina za razvoj infrastrukture namijenjene prijenosu vodika.

Karakteristike vodika u usporedbi s metanom i njihove implikacije

Vodik (H_2) se značajno razlikuje od metana (CH_4) u pogledu svojih fizikalnih svojstava, što vodi do brojnih izazova za njegovu primjenu u postojećoj infrastrukturi za transport prirodnog plina. Dvije ključne razlike odnose se na veličinu molekule i temperaturu ukapljivanja.

Kao prvo, vodik je najmanja i najlakša molekula u prirodi, sastavljena od dva atoma vodika. Njegova molekularna težina i gustoća su otprilike jedna osmina one metana, a difuzivnost u zraku je oko tri puta veća. Zbog tih svojstava vodik je skloniji propuštanju, jer lakše prodire u materijale i izlazi kroz mikroskopske pukotine ili spojeve cjevovoda i opreme.

Budući da je vodik lakši od zraka, sklon je nakupljanju na povišenim točkama u zatvorenim ili slabo prozračenim prostorima, što predstavlja potencijalni rizik od požara i eksplozije.

Nadalje, postoji značajna razlika u vrelištima vodika i metana. Vodik se ukapljuje na $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, dok metan

postaje tekućina na -162 °C pod atmosferskim tlakom. Ova značajna temperaturna razlika implicira da je za skladištenje i transport vodika u tekućem obliku potrebno znatno više energije. Štoviše, temperaturni gradijent između tekućeg vodika i uvjeta okoline povećava rizik od gubitaka isparavanjem, što može utjecati na učinkovitost i sigurnost transporta i skladištenja.

Tablica 1 ilustrira ključne fizikalne karakteristike vodika u usporedbi s prirodnim plinom (metanom) ističući temeljne razlike koje utječu na njihovo ponašanje kod skladištenja, transporta i kompatibilnosti infrastrukture [5].

Tablica 1. Fizikalna svojstva vodika u odnosu na prirodni plin

	Svojstvo	vodik (H ₂)	metan (CH ₄)	vodik u usporedbi s prirodnim plinom	Implikacije vodika u odnosu na prirodni plin
Fizikalna					
Veličina	molekularna težina, g/mol	2,106	16,04	~8x laganiji	Brži proboj kroz brtve, plastične cijevi i ostale mekane materijale.
Gustoća	Gustoća, kg/m ³	0,08375	0,668	~8x manja gustoća	Diže se i nakuplja u zatvorenim prostorima.
Difuzija (rasprostranjenost / širenje/raspršivanje)	koeficijent difuzije u zraku, m ² /s (20 °C)	7,56E-05	2,21E-05	veća difuzija viša razina raspršivanja	Opća sklonost propuštanju u većoj mjeri kroz neoštećene materijale konstrukcije, brtve i spojeve cijevi.
	Koeficijent difuzije u vodi, m ² /s (20 °C)	4,58E-09	1,62E-09		
Tekuća faza	Temperatura na atm. zraku (°C)	-253	-162	-100°C hladnija	Potrebno je mnogo više energije za prelazak u tekuće stanje; brže isparavanje.

Sva ova svojstva zajedno naglašavaju tehničke izazove i sigurnosne aspekte povezane s naknadnim opremanjem postojeće infrastrukture za transport prirodnog plina za korištenje transporta vodika. Također ukazuju na potrebu za specijaliziranim materijalima, sustavima za detekciju propuštanja i novijim sigurnosnim protokolima prilikom prelaska na energetske sustave temeljene na vodiku.

Postoje četiri osnovne kemijske razlike između vodika (H₂) i metana (CH₄) koje značajno utječu na njihovu reaktivnost, zapaljivost, ponašanje plamena i gustoću energije - čimbenike koji su ključni za sigurnu i učinkovitu upotrebu u energetsnoj infrastrukturi.

Prvo, vodik je znatno reaktivniji od metana. Dok H-H veza u H₂ i C-H veza u CH₄ imaju usporedive energije veza, molekularna simetrija vodika olakšava stvaranje parcijalnih veza, smanjujući energiju aktivacije potrebnu za reakcije. Kao rezultat, vodik može lakše reagirati s određenim materijalima, poput cementa, što potencijalno otežava podzemno skladištenje u usporedbi s metanom.

Nadalje, vodik pokazuje puno veću zapaljivost od metana. Njegov raspon zapaljivosti na zraku kreće se od 4 % do 75 %, za razliku od 5,3 % – 15 % za CH₄ (5 % – 15,6 % za prirodni plin). Ovaj široki raspon zapaljivosti povećava vjerojatnost da će propuštanje vodika stvoriti zapaljivu smjesu u okolišu. Štoviše, vodik ima znatno nižu energiju paljenja, što ga čini lakšim za paljenje putem električnih lukova, statičkog pražnjenja ili iskri.

Tablica 2 ilustrira ključne kemijske karakteristike vodika u usporedbi s prirodnim plinom (metanom), naglašavajući razlike u reaktivnosti, zapaljivosti, svojstvima paljenja i implikacijama za sigurnost i kompatibilnost infrastrukture.

Tablica 2. Kemijska svojstva vodika u odnosu na prirodni plin

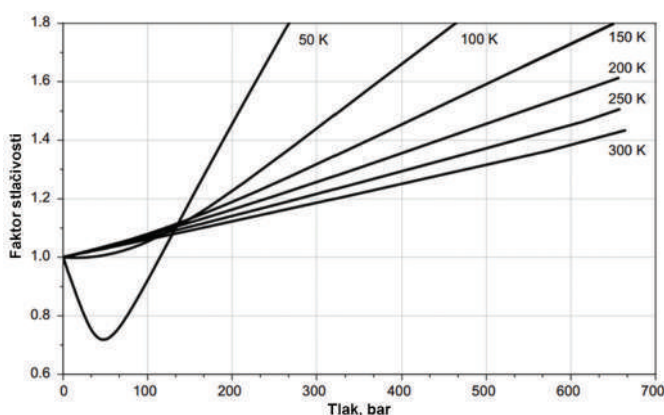
	Svojstvo	vodik (H ₂)	metan (CH ₄)	vodik u usporedbi sa prirodnim plinom	Implikacije vodika u odnosu na prirodni plin
Kemijsko					
	Reaktivnost	H-H veza simetrična	C-H veza asimetrična	Stvaranje parcijalnih veza koje snižavaju energiju aktivacije.	Ubrzava zamor materijala i smanjuje lomnu žilavost čelika. Može se smanjiti / nestati u podzemnom skladištu.
Paljenje	Granice eksplozivnosti, % - % volumena	4 - 75	5.3 - 15	Granica eksplozivnosti veća	Viši rizik od požara.
	Energija paljenja mJ	20	290	Niža energija zapaljenja	
Plamen	Maksimalna brzina plamena, m/s	0,34	2,9	~8x veća brzina plamena	Manja stabilnost plamena u plamenicima, rizik od povratnog plamena.
	Boja plamena	nevidljiv na danjem svijetlu	Plava	Manja vidljivost	Teže se detektira.
	Adijabatska temperatura plamena na zraku, °C	2210	1950	Viša temperatura	Više NO _x spojeva.
Kalorična vrijednost	Viša ogrjevna vrijednost, MJ/m ³	12,7	39,8	1/3 volumena u odnosu na prirodni plin	Potrebna 3x veća brzina u odnosu na plin za isporuku iste količine toplinske energije. Potrebno 3x više energije za kompresiju plina. Potrebno 3x više mjerenja protoka plina. 3x manja količina koju je moguće pohraniti u cijevi.

Navedene razlike naglašavaju potrebu za poboljšanim sigurnosnim protokolima, procjenama kompatibilnosti materijala i strategijama otkrivanja propuštanja kada se vodik razmatra kao zamjena u sustavima izvorno dizajniranim za prirodni plin.

Karakteristike vodika u usporedbi s metanom i njihove implikacije

Stlačivost vodika je temeljno termodinamičko svojstvo koje značajno utječe na njegovo skladištenje, transport i ponašanje u cjevovodima. Za razliku od idealnih plinova, stvarni plinovi poput vodika odstupaju od idealnog ponašanja pod različitim uvjetima tlaka i temperature, što se odražava u faktoru stlačivosti (Z).

Kao što je prikazano na slici 1 [2], [6], faktor stlačivosti vodika mijenja se s temperaturom i tlakom zbog svojih jedinstvenih molekularnih svojstava. Pri niskim temperaturama i visokim tlakovima, vodik se obično ponaša bliže idealnom plinu. To je prvenstveno zbog niske kinetičke energije molekula vodika u zadanim uvjetima te slabih međumolekularnih sila, što rezultira samo manjim odstupanjima od ponašanja idealnog plina.



Slika 1. Faktor stlačivosti vodika u odnosu na temperaturu [2], [6]

Kako temperatura raste, kinetička energija molekula također raste, što dovodi do jačih odbojnih interakcija između molekula vodika. Posljedično, plin pokazuje veća odstupanja od idealnog plina, a faktor stlačivosti se smanjuje. Ovaj pomak ukazuje na smanjenje stlačivosti, što se mora uzeti u obzir tijekom projektiranja cjevovoda i regulacije tlaka, osobito za sustave prijenosa na velike udaljenosti.

Razumijevanje temperaturno ovisnog ponašanja stlačivosti vodika ključno je za efikasno modeliranje, dimenzioniranje cjevovoda i učinkovit prijenos energije u sustavima vodikove infrastrukture.

Jednadžba stanja za vodik

Razvijeno je nekoliko modela jednadžbi stanja [7] za opisivanje ponašanja strujanja vodika u različitim uvjetima. Svaki od navedenih modela pruža različitu razinu točnosti i složenosti za razumijevanje stvarnog ponašanja vodika. U nastavku će se prikazati neke od često korištenih jednadžbi stanja za modeliranje strujanja vodika.

Najjednostavnija jednadžba stanja je jednadžba idealnog plina koja polazi od pretpostavke da se plin ponaša idealno, odnosno da među molekulama ne djeluju privlačne ni odbojne sile te da je njihov vlastiti volumen zanemariv. Prikladan je za uvjete niskog tlaka i visoke temperature.

Jednadžba glasi [8]:

$$pV = znRT$$

Gdje je: p – tlak, V – volumen, z – popravni koeficijent, n – broj molova, R – konstanta za idealni plin i T – temperatura.

Modifikacija zakona idealnog plina koja uzima u obzir međumolekularne sile je Van der Waalsova jednačba stanja koja se može napisati kao [7], [9]:

$$\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right) \cdot (V - nb) = nRT$$

Gdje su a i b Van der Waals konstante za vodik.

Navedena jednačba stanja nudi poboljšanu točnost u odnosu na zakon idealnog plina, posebno pri umjerenim tlakovima i temperaturama.

Poluempirijska jednačba stanja koja kombinira ponašanje idealnog plina i korekcije za veličinu molekule i međumolekularne sile je Redlich-Kwongova jednačba stanja, koja prema Nasrifaru [7] glasi:

$$p = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{\sqrt{TV}(V + b)}$$

Gdje su a i b , u ovom slučaju, Redlich-Kwong konstante za vodik.

Peng–Robinsonova i Soave–Redlich–Kwongova jednačbe stanja [10] pripadaju kubnim jednačbama stanja koje se često primjenjuju u analizama i modeliranju ponašanja prirodnog plina. Međutim, za vodik i slične plinove, GERG-2008 pruža sveobuhvatniji model jednačbe stanja. Razvijen od strane Europskog udruženja za istraživanje plinova (franc. *Groupe Européen de Recherches Gazières* - GERG), GERG-2008 je proširenje ranijeg GERG-2004 modela, koji, uz vodik uključuje dodatnih 20 komponenti.

GERG-2008 model je usvojen kao ISO standard [11] ISO 20765-2:2017 (engl. *ISO 20765-2:2017 Natural gas – Calculation of thermodynamic properties Part 2: Single-phase properties (gas, liquid, and dense fluid) for extended ranges of application*).

3. UZROCI PROPUŠTANJA CJEVOVODA VODIKA I IZAZOVI PRENAMJENE

Uzroci propuštanja cjevovodnih sustava za transport vodika su raznoliki, a u nastavku će biti navedeni samo neki od njih.

Prodiranje atoma vodika u strukturu čeličnih cjevovoda i ostalih elemenata transportnog sustava predstavlja ozbiljan problem. Pri tome postoji mogućnost pojave krhkosti i naknadnog pucanja materijala, osobito pri transportu plina pod visokim tlakom. Pucanje uzrokovano vodikom (engl. *Hydrogen Induced Cracking*, HIC) jedna je od pojava koje mogu ozbiljno ugroziti integritet transportnih sustava.

Pukotine uzrokovane ovom vrstom korozije kao i drugi oblici degradacije materijala mogu s vremenom povećati rizike od propuštanja. S time da je rizik od propuštanja veći kod cjevovoda koji nisu projektirani za transport vodika. Povećani rizik od ove vrste korozije pojavljuje se kod cjevovoda izvorno izgrađenih za transport prirodnog plina.

Visokotlačni cjevovodi kojima se transportira vodik osjetljivi su na vibracije uzrokovane raznim čimbenicima kao što su protok fluida, radni uvjeti i čimbenici okoliša. Ove vibracije mogu dovesti do zamora materijala cjevovoda, što s vremenom potencijalno ugrožava strukturni integritet cjevovoda. Razumijevanje dinamičkog odziva cjevovoda na vibracije ključno je za procjenu rizika od loma zbog zamora. Tehnike dinamičke analize naprezanja [2], kao što su analiza konačnih elemenata (FEA) i računalna dinamika fluida (CFD), mogu pomoći u predviđanju učinaka vibracija na komponente cjevovoda i identificiranju kritičnih mjesta sklonih oštećenjima zbog zamora.

Vodik ima sposobnost prodiranja u materijale od kojih su izrađeni kompresori, pri čemu može doći do pojave vodikove krhkosti (engl. *hydrogen embrittlement*), odnosno smanjenja žilavosti i mehaničke otpornosti materijala. To može uzrokovati strukturne slabosti te potencijalni kvar opreme.

Budući da je vodik lako zapaljiv plin, postoji zabrinutost zbog potencijalnih opasnosti povezanih s mogućim propuštanjima. Iako je vodik lakši od zraka i brzo se raspršuje u atmosferi, njegova velika sposobnost difuzije može rezultirati stvaranjem eksplozivne smjese u zatvorenim ili slabo prozračenim prostorima.

Postojeći plinovodi za prirodni plin mogu se, u načelu, prenamijeniti za transport vodika. Međutim, učinkovit i siguran rad zahtijeva modifikacije nekoliko kritičnih komponenti infrastrukture. Pri tom su najpogođeniji elementi mjerni uređaji, zaporni elementi i kompresorske stanice koji se preporučaju zamijeniti kako bi se sustav prilagodio različitim fizikalnim i kemijskim svojstvima vodika.

4. MEĐUNARODNI STANDARDI I TEHNIČKE SMJERNICE ZA INFRASTRUKTURU VODIKA

Kako vodik dobiva sve veći značaj u globalnoj energetskej tranziciji, razvoj i primjena međunarodnih standarda ključni su za osiguravanje sigurne, pouzdane i integrirane primjene tehnologija vodika kroz cijeli lanac vrijednosti — od proizvodnje i skladištenja do transporta i krajnje uporabe.

Glavni tehnički standardi uključuju ISO 14687:2025 (engl. *ISO 14687:2025 Hydrogen fuel quality – Product specification*), [12], koji definira zahtjeve čistoće vodika namijenjenog za gorive članke u vozilima, te ISO tehničko izvješće ISO/TR 15916:2015 (engl. *ISO/TR 15916:2015 Basic considerations for the safety of hydrogen systems*) [13], koje navodi osnovna razmatranja vezana uz sigurnost vodikovih sustava.

Za transport putem cjevovoda, ISO standard ISO 13623:2017 (engl. *ISO 13623:2017 Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems*) [14], zajedno s Amendментом 1 iz 2024. godine, uvodi dodatne zahtjeve za transport vodika, uključujući integritet cjevovoda, sprječavanje propuštanja i kompatibilnost materijala.

Paralelno s navedenim, standard ASME B31.12 (engl. *ASME B31.12 Hydrogen Piping and Pipelines*) [15], kojeg je razvilo Američko društvo strojarских inženjera (ASME), nudi poseban okvir za infrastrukturu vodika obuhvaćajući sustave za plinoviti i tekući vodik. Standard pruža detaljne smjernice za odabir i dopuštena naprezanja materijala kod projektiranja, te izradu, inspekciju i načine ispitivanja. Nadopunjuje ISO standarde nudeći inženjerske prakse specifične za vodik, ali prilagođene sjevernoameričkom regulatornom okruženju.

Nadalje, europski standard EN 17127:2018 (engl. *EN 17127:2018 Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocol*) [16] usmjeren je na sigurnost i tehničke karakteristike postaja za punjenje vodikom na otvorenom.

Ovi standardi čine tehničku osnovu za razvoj politika, regulatornu usklađenost i najbolje industrijske prakse, podržavajući sigurno i održivo širenje infrastrukture vodika na globalnoj razini.

5. UPRAVLJANJE CJEVODIMA ZA TRANSPORT VODIKA: INTEGRITET, PRAĆENJE I SIGURNOST

Sustavi upravljanja cjevovodima zahtijevaju dodatnu pažnju kada se radi o transportu vodika zbog specifičnih izazova koje on predstavlja. To uključuje potencijal za vodikovu krhkost, propuštanja i ubranu degradaciju materijala.

Ključna područja koja zahtijevaju povećanu pozornost unutar sustava upravljanja cjevovodima za transport vodika obuhvaćaju:

Praćenje integriteta: Cjevovodi za transport vodika podložniji su degradaciji i oštećenju materijala zbog vodikove krhkosti, rasta pukotina uslijed zamora materijala i pukotina od naponske korozije. Napredne tehnologije inspekcije poput uređaja za inspekciju na bazi ultrazvučnog ispitivanja i mjerenja promjene magnetskog toka nošeni strujom fluida [17], trebale bi se koristiti za otkrivanje pukotina, propuštanja i

slabosti materijala u ranoj fazi. Redovite inspekcije su ključne, posebno za cjevovode pod visokim tlakom. Time bi se smanjio rizik od propuštanja i izbjegle katastrofalne havarije.

Sustavi za detekciju propuštanja: Vodik, kao najmanja i najlakša molekula, lakše bježi kroz spojeve cjevovoda, brtve i druge potencijalno osjetljive točke. Sustavi upravljanja cjevovodima stoga moraju uključivati osjetljive i pouzdane mehanizme za detekciju propuštanja. To mogu biti specifični senzori za vodik i uređaji za kontinuirano praćenje parametara protoka, tlaka i temperature, koji omogućuju identifikaciju propuštanja u realnom vremenu i brzu reakciju čime bi se osiguralo smanjenje potencijalnog rizika.

Odabir i održavanje materijala: Odabir materijala trebao bi biti usmjeren prema onima koji su manje osjetljivi na vodikovu krhkost i koroziju. Nadalje, raspored održavanja mora biti prilagođen ubrzanom tempu degradacije materijala cjevovoda koji se koriste za transport vodika. Potrebni su poboljšani protokoli održavanja kako bi se dijelovi cjevovodih sustava koji pokazuju znakove trošenja ili oštećenja na vrijeme zamijenili.

Regulacija tlaka i protoka: Vodik ima specifična svojstva kompresibilnosti i protoka koja utječu na praćenje tlaka i protoka u cjevovodima. Sustav upravljanja cjevovodima stoga treba uključivati pametne mehanizme regulacije tlaka i protoka, sposobne prilagoditi se razlikama u ponašanju vodika u usporedbi s prirodnim plinom.

Sigurnosne mjere i upravljanje rizicima: Obzirom na zapaljivost i eksplozivni potencijal vodika, sigurnosne mjere unutar sustava upravljanja cjevovodima moraju biti pojačane. To uključuje uspostavu protokola za procjenu rizika, provođenje redovitih sigurnosnih revizija te osiguravanje da sustavi za hitne slučajeve mogu učinkovito odgovoriti na incidente specifične za vodik.

Usmjeravanjem pažnje na ova specifična područja, sustav upravljanja cjevovodima pomoći će u osiguravanju dugoročne sigurnosti, integriteta i učinkovitosti cjevovoda za transport vodika, omogućujući njegovu uspješnu integraciju u postojeću energetska infrastrukturu.

5. ZAKLJUČAK

Vodik predstavlja ključnu komponentu u globalnoj tranziciji prema održivom, niskougljičnom energetskom sustavu. Njegova primjena kao gorivo, industrijska sirovina i sredstvo za pohranu energije nudi značajan potencijal u smanjenju emisija stakleničkih plinova te povećanju energetske sigurnosti.

Siguran i učinkovit transport vodika putem cjevovoda zahtijeva detaljno razumijevanje njegovih fizikalno-kemijskih svojstava te specifičnih izazova povezanih s vodikovom krhkošću, propuštanjem i degradacijom materijala. Uspostava učinkovitog sustava upravljanja cjevovodima, koji uključuje nadzor integriteta, detekciju propuštanja, regulaciju tlaka i protoka te stroge sigurnosne protokole, ključna je za pouzdan i dugoročan rad infrastrukture za transport vodika.

Razvoj odgovarajućih standarda, tehničkih smjernica i naprednih tehnologija nadzora dodatno će omogućiti sigurnu integraciju vodika u postojeću energetska mrežu, čime se stvaraju preduvjeti za održivu i sigurnu energetska budućnost.

LITERATURA

1. Europska komisija. (2019). *The European Green Deal*. Preuzeto. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf.
2. Raj, A., Larsson, I.A.S., Ljung, A-L, Forslund, T., Andersson, R., Sundstrom, J. (2024). Evaluating hydrogen gas transport in pipelines: Current state of numerical and experimental methodologies. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol 67.

3. Koteck, P., Tóth, B.T., Selei, A. (2023). Designing a future-proof gas and hydrogen infrastructure for Europe – A modelling-based approach. *Energy Policy* Vol 180. 113641.
4. Europska komisija (2020). *Strategija za vodik za klimatski neutralnu Europu*, 2020. Vol. 12.
5. Martin, P., Ocko, I.B., Esquivel-Elizondo, S., Kupers, R., Cebon, D., Baxter, T. (2024). A review of challenges with using the natural gas system for hydrogen. *Energy Science*.
6. Elberry, A. M., Thakur, J., Santasalo-Aarnio, A., Larmi, M. (2021). Large-scale compressed hydrogen storage as part of renewable electricity storage systems. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 46.
7. Nasrifar, K. (2010). Comparative study of eleven equations of state in predicting the thermodynamic properties of hydrogen. *Hydrogen Energy* 2010. Vol 35.
8. Zelić, M. (1987). *Tehnologija sabiranja i pripreme nafte i plina za transport*. INA-NAFTAPLIN.
9. Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M. (2005). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. 7th Edition. McGraw-Hill.
10. Kaličanin, I. (2025). *Pipeline Integrity. Management, Maintenance and Repurposing*. HDO. Zagreb. Croatia.
11. International Organization of Standardisation. (ISO). (2015). ISO 20765-2:2015 *Natural gas – Calculation of thermodynamic properties Part 2: Single-phase properties (gas, liquid, and dense fluid) for extended ranges of application*. International Organization of Standardization.
12. International Organization of Standardisation. (ISO). (2025). ISO 14687:2025 *Hydrogen fuel quality – Product specification*. International Organization of Standardization.
13. International Organization of Standardisation. (ISO). (2015). ISO/TR 15916:2015 *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*. International Organization of Standardization.
14. International Organization of Standardisation. (ISO). (2017). ISO 13623:2017 *Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation system, Amendment 1 Complementary requirements for the transportation of fluids containing carbon dioxide or hydrogen*. Edition 2024. International Organization of Standardization.
15. American Society of Mechanical Engineers (2023). *ASME B31.12 Hydrogen Piping and Pipelines*. American Society of Mechanical Engineers.
16. European Committee for Standardization. (CEN) (2018). EN 17127:2018 *Outdoor hydrogen refuelling points dispensing gaseous hydrogen and incorporating filling protocol*. European Committee for Standardization.
17. Kaličanin, I. (2012). *Utvrdjivanje rizika od propuštanja naftnovoda i razvoj sustava za upravljanje cjevovodima u Republici Hrvatskoj. Doktorski rad*. Sveučilište u Zagrebu. Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

PLINACROVA PRIMJENA STRATEGIJE „NULTA TOLERANCIJA METANA“ PREMA UREDBI (EU) 2024/1787

PLINACRO'S IMPLEMENTATION OF THE "ZERO TOLERANCE FOR METHANE" STRATEGY IN ACCORDANCE WITH REGULATION (EU) 2024/1787

Autori: Marija Gilja, Luka Dermišek, izv. prof. dr. sc. Darko Pavlović, Tvrtko Begović

Sažetak

Fokus u ovom radu stavljen je na doprinos Plinacra, operatora plinskog transportnog sustava Republike Hrvatske, u implementaciji Uredbe (EU) 2024/1787 o smanjenju emisija metana u energetske sektoru. Plinacro je preuzeo važnu ulogu u smanjenju emisija metana kroz modernizaciju infrastrukture, primjenu naprednih tehnologija za detekciju curenja i transparentno izvještavanje. Navedeno se provodi različitim mjerama i metodama koje osiguravaju smanjenje emisija metana na plinskom transportnom sustavu, a odlikuje se kroz sedam ključnih koraka. Ova postignuća čine Plinacro primjerom dobre prakse u usklađivanju lokalnih energetske strategije s europskim i globalnim klimatskim ciljevima. Modernizacija infrastrukture, primjena inovativnih tehnologija i transparentno izvještavanje ključni su čimbenici koji omogućuju uspješno smanjenje emisija metana.

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

Abstract

This paper focuses on the contribution of Plinacro, the natural gas transmission system operator of the Republic of Croatia, in implementing Regulation (EU) 2024/1787 on the reduction of methane emissions in the energy sector. Plinacro has assumed a pivotal role in reducing methane emissions through the modernization of infrastructure, the application of advanced leak detection technologies, and transparent reporting. These efforts are carried out through various measures and methods ensuring the reduction of methane emissions in the gas transmission system, characterized by seven key steps. These achievements position Plinacro as an example of best practices in aligning local energy strategies with European and global climate goals. Infrastructure modernization, the adoption of innovative technologies, and transparent reporting are the key factors enabling the successful reduction of methane emissions.

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

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-u, njegovo smanjenje ključno je za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja i klimatskih obveza iz Pariškog sporazuma. Energetski sektor, odgovoran za 19 % emisija metana u EU-u, 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 staklenički plin koji, unatoč tome što je manje poznat široj javnosti od ugljikovog dioksida (CO_2), igra ključnu 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. Njegova koncentracija u atmosferi porasla je za više od 150 % od početka industrijske revolucije, što ga čini ključnim faktorom u procesu globalnog zatopljenja. 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 vodu u paru kroz kemijske reakcije. 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 pažnju i 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. Kod spominjanja sektora 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

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 staklenički plin zbog svoje visoke koncentracije i dugotrajnog zadržavanja u atmosferi, ali ima nižu potenciju zagrijavanja.

ulogu u borbi protiv klimatskih promjena. U 2022. godini, globalna energetska industrija ispustila je oko 135 milijuna tona metana, što predstavlja povećanje u odnosu na prethodne godine, a samo je malo ispod rekordnih razina iz 2019. godine.² Energetski sektor – uključujući naftu, prirodni plin, ugljen i bioenergiju – odgovoran je za gotovo 40 % emisija metana iz ljudskih aktivnosti. Operacije vezane za ugljen, naftu i prirodni plin odgovorne su za oko 40 milijuna tona emisija, dok je gotovo 5 milijuna tona rezultat curenja iz opreme za krajnju upotrebu. Približno 10 milijuna tona emisija dolazi od nepotpunog izgaranja bioenergije, uglavnom uzrokovanog tradicionalnim korištenjem biomase.

Globalni prosječni intenzitet emisija metana u proizvodnji nafte i plina smanjen je za približno 5 % od 2019. godine. 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 curenja i unapređenje transportnih mreža donose značajne prednosti za okoliš i gospodarstvo. Tehnologije poput naprednih senzora, dronova za detekciju curenja 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 energetske praksama, istovremeno smanjujući svoj utjecaj na klimatske promjene. Ključni elementi strategije nulte tolerancije prikazani su slikom 1.

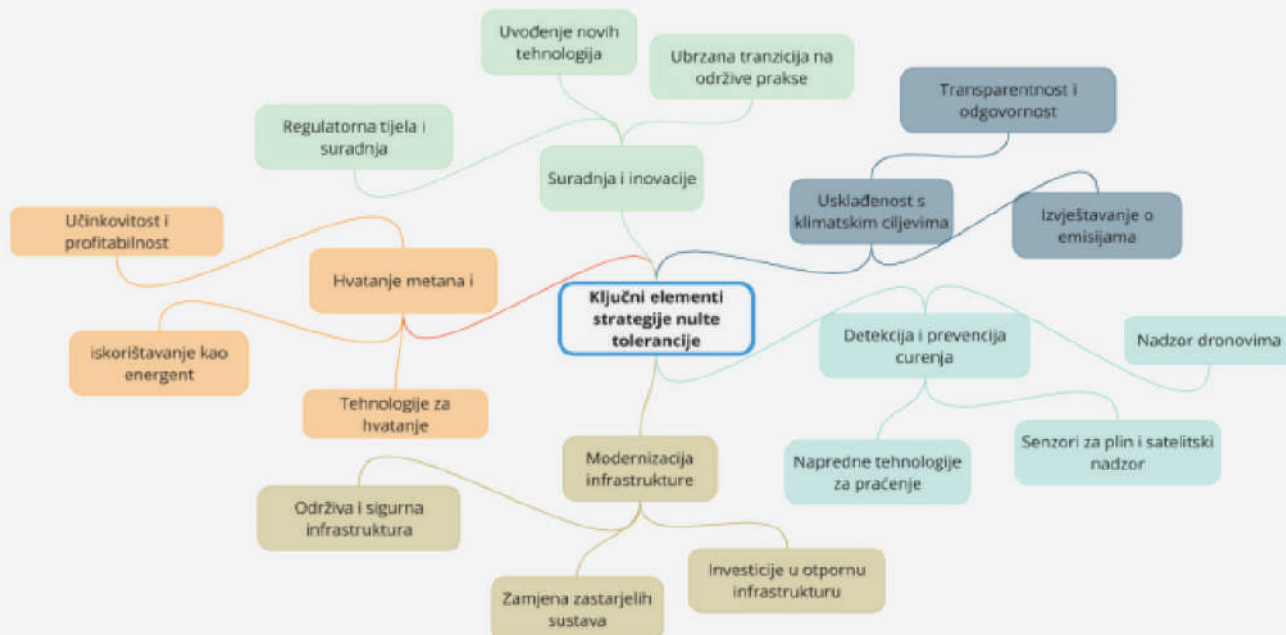
2. UREDBA EU-a O SMANJENJU EMISIJA METANA U ENERGETSKOM SEKTORU

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) 2024/1787⁴ o smanjenju emisija metana u energetske sektoru, čija je svrha smanjenje emisija metana na razini EU-a i jačanje energetske sigurnosti [6]. Uredba EU-a o smanjenju emisije metana u energetske sektoru (koja je stupila na snagu u ljeto 2024. godine, implementirat će se u fazama do 2030. godine) uvodi nove obveze za operatere 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

²Europska svemirska agencija (ESA) upozorava da koncentracija metana u atmosferi raste po stopi od približno 1 % 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.

³Strategija 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 Uredba (EU) 2024/1787 Europskog parlamenta i Vijeća od 13. lipnja 2024. godine o smanjenju emisije metana u energetske sektoru i izmjeni Uredbe (EU) 2019/942.



Slika 1. Ključni elementi strategije nulte tolerancije metana⁵

moć nad tehničkim 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 operatera nafte i plina, uključujući sljedeće aspekte:

1. Kvantificiranje, praćenje, izvještavanje i verifikacija (QMRV) emisija

- operateri 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 emisije⁶, 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) provoditi 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:

⁵Gilja, 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).

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.

- 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 (CO₂), 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 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

- operateri 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 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 CO₂, 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 energetsom 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 povezanim 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 – KLJUČNA PITANJA U KONTEKSTU IMPLEMENTACIJE

EU regulativa o metanu predstavlja važan korak prema smanjenju emisija metana, ali ostaje nejasno kako će se implementirati i koje će konkretne posljedice imati na operatore i uvoznike. 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. EU ima 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 će proces zahtijevati kontinuiranu suradnju među državama članicama EU-a, industrijom i regulatornim tijelima kako bi se postigla održivija i ekološki prihvatljivija energetska budućnost.

U kontekstu Europske unije i njezine regulative o smanjenju emisija metana, nekoliko ključnih pitanja zahtijeva pažnju kako bi se osigurala uspješna implementacija i postizanje ciljeva smanjenja emisija. 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 (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) [9]. 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 [7,8]. 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.

Pitanje je može li EU primijeniti mehanizme poput graničnih poreza na emisije ugljika (*Carbon Border Adjustment Mechanism* – CBAM)⁷ kako bi osigurao pravednu konkurenciju između domaćih i stranih dobavljača. 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.

4. PRAKTIČNI PRIMJER MJERA OPERATORA TRANSPORTNOG SUSTAVA PLINACRO

Doprinos Plinacra kao operatora plinskog transportnog sustava Republike Hrvatske, u implementaciji Uredbe (EU) 2024/1787 igra vrlo važnu ulogu u smanjenju emisija metana kroz modernizaciju infrastrukture, primjenu naprednih tehnologija za detekciju curenja i transparentno izvještavanje. Navedeno se provodi različitim mjerama i metodama koje osiguravaju smanjenje emisija metana na plinskom transportnom sustavu, a odlikuje se kroz sedam ključnih koraka.

Pripreme za provedbu propisanih obaveza i standarda koji uključuju praćenje i izvještavanje o emisijama metana rezultirale su primjenom novih tehnologija, promjenama u tehnologiji pripreme sustava za izvođenje radova, učestalijom i češćom detekcijom metana, kao i učestalijim nadzorom i kontrolom plinskog transportnog sustava.

Plinacro provodi sljedeće ključne korake u smanjenju emisija metana kroz modernizaciju infrastrukture, primjenu naprednih tehnologija za detekciju curenja i transparentno izvještavanje prema Uredbi (EU) 2024/1787:

1. Stalni nadzor i kontrola trase plinovoda i tehnoloških objekata (dronom, podmorski robot, laserska detekcija)

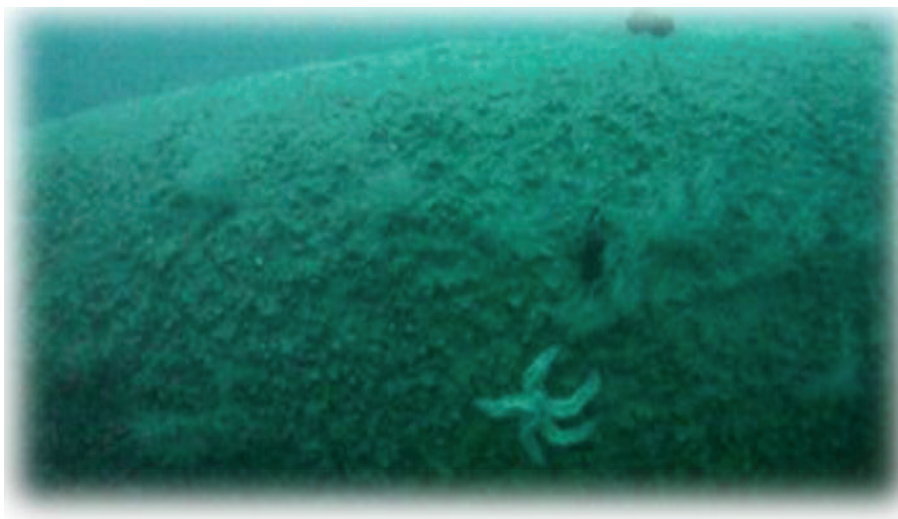
Kontrola nepropusnosti transportnog sustava laserskim detektorom metana RMLD i snimanje pojedinih trasa plinovoda na bespilotnoj letjelici zauzima sve veći značaj, a postiže se učestaliji pregled trasa, detaljniji pregled onih dijelova trasa koji su teže dostupni, a ujedno se dobije foto snimka svih trasa detektiranih plinovoda. Navedenim je moguće pregledavanje trasa kao i usporedba snimljenih podataka s prijašnjih pregleda te se stvaraju baze podataka koje se puno jednostavnije pregledavaju i omogućuju praćenje promjena na istima te se osigurava pravovremeno otklanjanje uočenih nedostataka na trasama plinovoda. Za kontrolu i nadzor podvodnih dionica plinovoda koriste se podvodni roboti kojima se pregledava stanje plinovoda na dnu mora kao i stanje oplata tj. sidrenih blokova. Pregled trase prikazan je na slici 2.

⁷CBAM 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-a, 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.



Slika 2. Pregled trase
Izvor: Plinacro

Pregled podmorskog dijela plinovoda DN 800 Zlobin-Omišalj podmorskim robotom prikazan je na slici 3.



Slika 3. Pregled podmorskog dijela plinovoda DN 800 Zlobin-Omišalj podmorskim robotom
Izvor: Plinacro

2. Implementacija novih upravljačkih uređaja na blokadnim stanicama

Implementacijom novih upravljačkih uređaja na blokadnim stanicama provodi se modernizacija sustava, osigurava smanjenje emisije metana, optimalizacija rada i povećanje sigurnosti. Kako bi se minimiziralo ispuštanje plina tijekom servisa i ispitivanja, Plinacro je pokrenuo sustavnu zamjenu postojećih pneumatskih upravljačkih uređaja s električnim, čime se omogućava preciznija kontrola i povećanje pouzdanosti rada. Pneumatski upravljački uređaji za manipulaciju i upravljanje blokadnim slavinama koriste plin iz sustava kao pogonski medij te tijekom servisa i ispitivanja dolazi do pražnjenja ili punjenja cilindra, što tijekom navedenog procesa dovodi do nepotrebnog ispuštanja plina u okoliš. Zamjenom pneumatskih uređaja s električnima doprinosi se optimalizaciji rada sustava jer električni uređaji kao pogonski medij koriste električnu energiju te prilikom servisa i ispitivanja ne dolazi do ispuštanja plina.

Pneumatski upravljački uređaji prikazani su na slikama 4 i 5.



Slika 4. Pneumatski upravljački uređaj
Izvor: Plinacro



Slika 5. Pneumatski upravljački uređaj
Izvor: Plinacro

Električni upravljački uređaji prikazani su na slikama 6 i 7.



Slika 6. Električni upravljački uređaj
Izvor: Plinacro

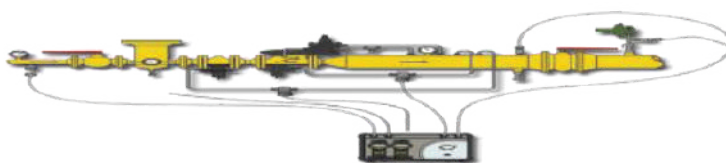


Slika 7. Električni upravljački uređaj

Izvor: Plinacro

3. Nove opreme za kontrolu, nadzor i servis regulacijskih linija, sigurnosnih ventila, kuglastih ventila
Navedenim se osigurava da oprema ili dijelovi opreme pri normalnom radu kao i prilikom servisa, ispitivanja, podešavanja ne ispuštaju plin iz sustava. Nadalje, omogućava se određivanje statusa opreme bez rastavljanja na dijelove, automatizacija rada kao i povezivanje regulacijskih linija na način da se plin za potrebe servisa i ispitivanja prebacuje u povezanu liniju umjesto da se ispušta u atmosferu.

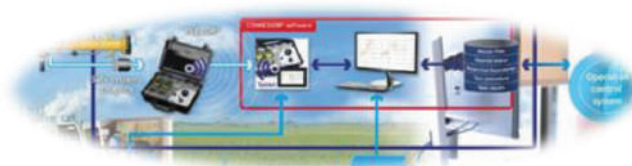
U cilju osiguravanja uvjeta da oprema ili dijelovi opreme ne ispuštaju plin iz sustava tijekom normalnog rada, servisa, ispitivanja ili podešavanja, Plinacro primjenjuje napredne tehnologije i opremu koji omogućuju održavanje sigurnosti i optimalizaciju radnih procesa i parametara. Kroz navedeno se osigurava razvoj sustava koji omogućava automatizaciju procesa i kontrolu statusa opreme. Ključna prednost navedenog je omogućavanje uvida u stanje opreme bez potrebe za fizičkim rastavljanjem ili demontažom. Ovo je moguće zahvaljujući implementaciji opreme pomoću koje se obavlja kontrola, nadzor i podešavanje u radnim uvjetima. Ovisno o vrsti opreme, ugrađuju se inteligentni uređaji i senzori koji prate ključne parametre kao što su tlak, podešene vrijednosti, temperatura i protok. Na slici 8 prikazana je regulacijska linija (*Plexor inspektions system*).



Slika 8. Regulacijska linija (*Plexor inspektions system*)

Izvor: Wigersma & Sikkema, Nizozemska

Obrada i analiza podataka (*Plexor inspektions system*) prikazana je na slici 9.



Slika 9. Obrada i analiza podataka (*Plexor inspektions system*)

Izvor: Wigersma & Sikkema, Nizozemska

4. Optimalizacija sustava predgrijavanja plina

Redovnom i planskom zamjenom kotlova, plamenika i pripadajuće opreme ostvarene su značajne uštede u potrošnji plina, uz poboljšanje energetske učinkovitosti sustava predgrijavanja, te su ostvareni višestruki pozitivni utjecaji na operativnu učinkovitost i smanjivanje emisija metana. Navedenim je ostvarena modernizacija kotlovnica i uvođenje energetski učinkovitih rješenja, čime se smanjuje ukupna potrošnja plina kao energenta i postiže veća energetska učinkovitost. Zamjena zastarjele opreme kotlova i plamenika s novim, energetski učinkovitijim modelima ključna je za smanjenje gubitaka energije. Stari kotlovi često imaju niži koeficijent učinkovitosti i veću potrošnju plina zbog zastarjelih tehnologija, dok moderni kotlovi koriste napredne tehnologije za optimalnu potrošnju plina, smanjenje emisija i bolju kontrolu temperature. Kotlovi nove generacije opremljeni su sustavima za bolju regulaciju, bolje iskorištavanje energije i smanjenje toplinskih gubitaka, što se izravno odražava na smanjenje potrošnje plina kao energenta. Korištenje novih kotlova i plamenika omogućava integraciju s naprednim sustavima za upravljanje energijom, kao što su automatizirani sustavi za regulaciju temperature i potrošnje plina. Implementirani sustavi prate stvarne uvjete u sustavu i automatski prilagođavaju parametre i uvjete rada, a sve u cilju kako bi se održala optimalna energetska učinkovitost, čime se smanjuje nepotrebna potrošnja energije i minimiziraju gubici. Redovita i planska zamjena kotlova, plamenika i pripadajuće opreme u sustavu predgrijavanja donesla je višestruke koristi, od smanjenja potrošnje plina i emisija do poboljšanja energetske učinkovitosti. Na slici 10 prikazan je kotao (stari, tip Toplota), na slici 11 kotao (novi, tip Weishaupt), a na slici 12 ostala nova oprema.



Slika 10. Kotao (stari, tip Toplota)

Izvor: Plinacro

Slika 11. Kotao (novi, tip Weishaupt)

Izvor: Plinacro

Slika 12. Ostala nova oprema

Izvor: Plinacro

5. Tehnologija prepumpavanja plina (*evacuation pipeline*)

Navedena tehnologija se primjenjuje u okviru pripreme transportnog sustava za izvođenje strojarsko-montažnih radova, na način da se pomoću mobilnog kompresora obavlja smanjivanje tlaka u plinovodu (dionici), tako da se plin iz jedne dionice plinovoda prebacuje (tzv. pretače) u drugu. Ovaj postupak, poznat je kao "evacuation pipeline", uključuje kontrolirano preusmjeravanje plina iz jedne dionice plinovoda u drugu, čime se postiže smanjenje tlaka u određenom dijelu sustava. Primjena mobilnog kompresora omogućava veću fleksibilnost i mobilnost u radu, jer osigurava kvalitetno i sigurno obavljanje navedene operacije na različitim dijelovima transportnog sustava. Primjenom navedenog, ostvaruju se značajne uštede kako u financijskom tako i u operativnom dijelu jer ne dolazi do ispuštanja plina te se doprinosi značajnom smanjivanju emisija metana i utjecaja na okoliš. Na slici 13 prikazano je postrojenje za prepumpavanje plina, a na slici 14 mobilni kompresor i prepumpavanje plina na PČ Bosiljevo.



Slika 13. Postrojenje za prepumpavanje plina
Izvor: Plinacro



Slika 14. Mobilni kompresor i prepumpavanje plina na PČ Bosiljevo
Izvor: Plinacro

6. Promjena tehnologije pripreme transportnog sustava za radove

U okviru pripreme transportnog sustava za sigurno izvođenje strojarско – montažnih radova, osim i prije radova prepumpavanja plina obavljaju se radovi snižavanja tlaka u sustavu. Navedeno se postiže pravilnim upravljanjem i preusmjeravanjem količina plina u sustavu, na način da se plinovod ili dionica plinovoda izolira od ostalog dijela sustava te se tlak u izoliranom dijelu smanji na najmanju moguću vrijednost, uz pomoć i međusobnu sinergiju operatora distribucijskih sustava i ostalih korisnika transportnog sustava. Po završetku prethodno iznesenog, pristupa se odvajanju plinovoda (dionice) od transportnog sustava bez klasične tampon zone koja bi uključivala još jednu susjednu dionicu plinovoda te se tampon zona ostvaruje tj. osigurava kroz slavinu. Povezivanje plinovoda DN 600 Zagreb istok – Kutina s PČ Kozarac prikazano je na slici 15. Na slici 16 prikazan je PČ Zlobin.



Slika 15. Radovi povezivanja plinovoda DN 600
Zagreb istok – Kutina s PČ Kozarac
Izvor: Plinacro



Slika 16. PČ Zlobin
Izvor: Plinacro

7. Promjena tehnologije pripreme transportnog sustava za radove

Sustav upravljanja energijom pomaže tvrtkama koje žele optimizirati svoju energetsку potrošnju, smanjiti troškove i povećati energetsку učinkovitost. Primjena takvog sustava donosi brojne prednosti, kao što je objektivan i sveobuhvatan prikaz upotrebe i potrošnje energije unutar tvrtke, što omogućava bolje razumijevanje trenutnog stanja i praćenje trenutne ali i buduće potrošnje. Na temelju navedenih podataka, tvrtkama je lakše obaviti projekciju potrošnje energije, što omogućava lakše planiranje i predviđanje budućih potreba za energijom tijekom godina. Osim toga, sustav upravljanja energijom omogućava detaljnu analizu i pregled stanja te identificira područja u kojima se mogu poduzeti konkretne mjere za smanjenje potrošnje i optimalizaciju rada. Navedeno se ostvaruje kroz primjenu norme ISO 50001, koja predlaže okvire mjera za upravljanje energetsку učinkovitošću i boljem pristupu i kontroli troškova energije [10]. Tako je i tvrtka Plinacro u svoje poslovanje uključila primjenu i provedbu navedene norme, koja omogućava praćenje potrošnje energije, planiranje mogućih poboljšanja kao i unaprjeđenje sustava. Za potrebe nadzora, kontrole i upravljanja transportnim sustavom koriste se energenti prirodni plin i električna energija, dok je prirodni plin značajni energent u korištenju, a upotreba istog se koristi za predgrijavanje plina i pogon kompresora. Modernizacijom transportnog sustava, odabirom energetsکی učinkovitije opreme

Plinacro kontinuirano ulaže u poboljšanja i daje svoj doprinos na smanjivanju emisija metana iz transportnog sustava.

5. 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 energetske 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 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-a. 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.

LITERATURA

1. Uredba (EU) 2024/1787 Europskog parlamenta i Vijeća od 13. lipnja 2024. godine o smanjenju emisije metana u energetske 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. godina.
5. International Energy Agency (IEA) (2023). Global Methane Tracker 2023. IEA Publications.
6. Pavlović D., Srpak M., Klopota 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. 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.
10. ISO, ISO 50001:2018 - Energy management systems – Requirements with guidance for use. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2018.

Ovaj je rad prenesen iz Zbornika radova 40. Međunarodnog znanstveno-stručnog susreta stručnjaka za plin.



EVN

Priključi se.
Uključi se.

*Kad je doma toplo,
svima je toplo oko srca.*

Zemni plin. Komfor. Budućnost. evn.hr

Najbolje mjesto za očuvanje klime je vlastiti dom.



H2 ready
SA 20% VODIKA

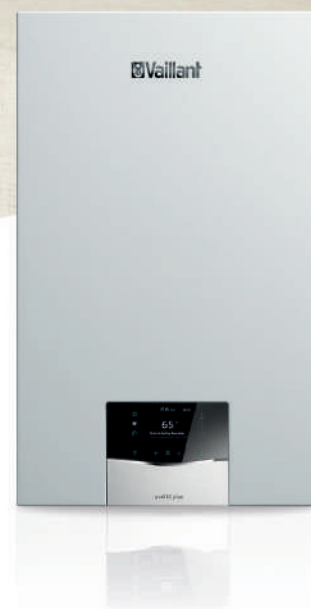


ecoTEC exclusive: Očuvanje klime počinje održivom investicijom u vlastiti dom.

Optimiziranim načinom rada naš plinski kondenzacijski uređaj minimizira ispušt štetnih emisija. IoniDETECT tehnologija osigurava efikasni rad automatskom prilagodbom kvaliteti plina. Spremnost rada uređaja sa do 20% udjela vodika čini investiciju održivom za budućnost.

Više na www.vaillant.hr

Grijanje. Obnovljivi izvori energije. Pametna kuća.



 **Vaillant**

1. TEHNIČKA PRAVILA ZA PROJEKTIRANJE, IZVOĐENJE, UPORABU I ODRŽAVANJE PLINSKIH INSTALACIJA (HSUP-P 600, 2. izdanje)
cijena primjerka: **92,91 €**

2. PRAVILNIK O UVJETIMA I POSTUPKU ISPITIVANJA NEPROPUSNOSTI I ISPRAVNOSTI PLINSKIH INSTALACIJA (HSUP-P 601.111/II. izdanje 2011.) izrađen sukladno odredbama Zakona o zapaljivim tekućinama i plinovima (NN 108/95, 56/10).
cijena primjerka: **66,36 €**

3. TEHNIČKA PRAVILA ZA ODORIZACIJU PLINA (HSUP - P 601.113)
izrađena sukladno odredbama Zakona o zapaljivim tekućinama i plinovima (NN 108/95, čl. 7)
cijena primjerka: **19,91 €**

4. SMJERNICE ZA SURADNJU IZMEĐU DISTRIBUTERA PLINA I OVLAŠTENIH IZVOĐAČA I PLINOINSTALATERA (HSUP-P 111)
cijena primjerka: **19,91 €**

5. Brošura: ENERGIJA U NAŠEM DOMU - EFIKASNOST KORIŠTENJA PLINA - upute korisnicima plina
Cijena:
10 do 500 kom - 1,32 €/kom.
501 do 1000 kom - 0,76 €/kom.
1001 do 5000 kom - 0,63 €/kom.
5001 do 10.000 kom - 0,46 €/kom.
više od 10.001 kom - 0,33 €/kom.

6. Brošura: SIGURNOST KORIŠTENJA PLINA - upute korisnicima plina
vidi: www.hsup.hr/lzdavaštvo

7. TEHNIČKA PRAVILA ZA PROJEKTIRANJE, GRADNJU, POGON I ODRŽAVANJE PLINSKIH POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ENERGIJE (HSUP-P 650)
cijena primjerka: **39,92 €**

8. TEHNIČKA PRAVILA ZA REGULACIJU TLAKA PLINA DO 5 BAR ZA KORIŠTENJE U DISTRIBUCIJSKIM SUSTAVIMA, OBRTU I INDUSTRIJI (HSUP-P 591)
cijena primjerka: **19,91 €**

9. TEHNIČKA PRAVILA ZA REGULACIJU TLAKA PLINA DO 5 BAR ZA OPSKRBU STAMBENIH, POSLOVNIH I JAVNIH OBJEKATA (HSUP-P 590)
cijena primjerka: **19,91 €**

10. Brošura: SIGURNA I EFIKASNA UPORABA DIMOVODNIH INSTALACIJA - III. dopunjeno i izmijenjeno izdanje - upute korisnicima plina
vidi: www.hsup.hr/lzdavaštvo

11. PRIRUČNIK ZA POLAGANJE STRUČNOG ISPITA I DOBIVANJE OVLAŠTI ZA ISPITIVANJE PLINSKIH INSTALACIJA NA NEPROPUSNOST
cijena primjerka: **33,18 €**

Na sve cijene obračunava se PDV po zakonskoj stopi.

Na sva izdanja obračunava se PDV (izuzev br. 1 i 11)		Neopozivo naručujem izdanja broj (poštarina nije uračunata u cijenu):										
		1 - ____kom	2 - ____kom	3 - ____kom	4 - ____kom	5 - ____kom	6 - ____kom	7 - ____kom	8 - ____kom	9 - ____kom	10 - ____kom	11 - ____kom

NAZIV TVRTKE (popunjavaju samo pravne osobe) OIB osnovna djelatnost		Narudžbenicu molimo poslati: • poštom na adresu: Hrvatska stručna udruga za plin - HSUP 10000 Zagreb, Heinzelova 9/II • ili na e-mail: hsup@hsup.hr
ADRESA mjesto:..... ulica i broj ili p.p.:..... tel:..... e-mail:.....		
 datum i potpis		

Obavještavamo Vas da povodom Vaše narudžbe obrađujemo osobne podatke naručitelja i/ili kontakt osobe naručitelja koji su navedeni na narudžbenici kako bismo obradili narudžbu i ispostavili račun. U slučaju da ne želite dati osobne podatke nećemo biti u mogućnosti izvršiti narudžbu.

Hrvatska stručna udruga za plin i Centar za plin Hrvatske d. o. o., kao zajednički voditelji obrade, temeljem legitimnog interesa i sukladno Zakonu o elektroničkim komunikacijama obrađuju osobne podatke svojih kupaca i poslovnih suradnika (e-mail, broj telefona, adresa, dosadašnje kupnje) kako bi im pružili informacije o sličnim proizvodima i uslugama za koje bi mogli biti zainteresirani. Imate se pravo usprotiviti obradi podataka u marketinške svrhe i u svakom trenutku odjaviti od primanja našeg newslettera. U slučaju pitanja, možete pročitati naša Pravila privatnosti <https://hsup.hr/pravila-privatnosti/> te nas kontaktirati putem online obrasca <https://hsup.hr/kontakt/> ili telefonom na 01/6189-590/592/593.

KONTAKT INFORMACIJE

I vi se možete reklamirati u časopisu Plin.
Čekamo na Vaš oglas.



EOL GRUPA d.o.o. za energetiku
Adresa: Ventilatorska 24, 10250 Lučko, Zagreb
Telefon: +385 1 6609 844
E-mail: eol@eolgroup.eu



PA-EL d.o.o.
Dubrovčan 33b, 49214 Veliko Trgovišće
tel./fax: 049 557 442, 049 557 333
e-mail: info@pa-el.hr

**KATODNA ZAŠTITA
ELEKTROTEHNIČKE INSTALACIJE
INSTALACIJE U "Ex" IZVEDBI**
www.pa-el.hr

babić ZG plinoservis

- ✓ prodaja i montaža plinskih aparata
- ✓ servisiranje i održavanje
- ✓ izvedba plinskih instalacija
- ✓ izvedba centralnog grijanja
- ✓ prodaja, montaža i održavanje klima uređaja

10000 Zagreb, Medveščak 23, tel.: 01/4666 568, 4666 548
e-mail: babic.zg@plinoservis.hr www.plinoservis.hr



Tel: 385 (01) 6529 635
6529 853
Fax: 385 (01) 6528 731

Av.V. Holjevca 20
HR 10 020 Zagreb
elob@elob.hr
www.elob.hr

- Prijenosni i fiksni detektori za otkrivanje opasnih plinova
- Odorizacijski uređaji i odoranti
- Uređaji za kontrolu odorizacije
- Analizatori dimnih plinova
- Oprema za otkrivanje gubitaka u vododopskrbi



MAŠINOPROJEKT d.o.o.
BIRO ZA STROJOGRAĐNJU I ENERGETIKU

BRAĆE DOMANY 8
10000 ZAGREB
HRVATSKA

tel: 00 385 1 3 844 015
faks: 00 385 1 3 844 202
e-mail: masinoprojekt@zg.tel.hr



Dräger Safety d.o.o.
Av. V. Holjevca 40
10010 Zagreb, Hrvatska
Tel +385 1 6501 777
Fax +385 1 6501 765
www.draeger.com



INŽENJERING ZA NAFTU I PLIN d.o.o.
10000 ZAGREB, SR Njemačke 10, p.p. 336, HRVATSKA
E-mail: inp@inp.hr www.inp.hr



Telefon:
+385 (0)1 6329 - 600

Fax:
+385 (0)1 6329 - 601