

FUZIJA – OBNOVLJIVA ENERGIJA U SKOROJ BUDUĆNOSTI?

*Farkaš Anamarija i Dora Renjić**

Uvod

Naš svijet sve je više pod utjecajem klimatskih promjena i potrebno je hitno smanjiti emisije stakleničkih plinova. Međunarodni sastanci o klimatskim promjenama kao što je COP29 (Baku, 2024.) svake godine okupljaju svjetske čelnike kako bi dogovorili konkretne mjere za njihovo smanjenje i ublažavanje. COP29 postavio je dva važna cilja; prvi je da se osigura da svaka zemlja donese još ambicioznije nacionalne planove za smanjenje emisija stakleničkih plinova, a drugi je omogućiti da se ti planovi i provedu, posebno kroz osiguranje financijskih sredstava za ulaganja u obnovljivu energiju, prilagodbu i ublažavanje klimatskih promjena i pomoć najugroženijim skupinama u društvu (Greenpeace, 2025). EU Komisija je 2021. godine predstavila nove europske klimatske ciljeve za 2030., uključujući prijedlog za izmjenu Direktive o obnovljivim izvorima energije. U 2022. godini EU komisija je objavila plan REPowerEU, kojim je utvrđen niz mjera za brzo smanjenje ovisnosti EU-a o ruskim fosilnim gorivima znatno prije 2030. i to ubrzavanjem prijelaza na čistu, obnovljivu energiju. Plan REPowerEU temelji se na tri stupa: ušteda energije, proizvodnja čiste energije i diverzifikacija opskrbe energijom u EU. Kao dio povećanja korištenja obnovljivih izvora energije u proizvodnji energije, industriji, zgradarstvu i prometu, Komisija je predložila povećanje cilja u Direktivi na 45% do 2030 (EK, 2023.).

** Fakultet strojarstva i brodogradnje*

Klimatska i energetska kriza je najveća je do sada. Stoga je potrebno ubrzati tranziciju prema čistoj, održivoj i sigurnoj energiji. Fuzijska energija predstavlja održivi put da se zadovolje potrebe za čistom energijom. Fuzija je izvor energije Sunca te ima potencijal osigurati isplativu i sigurnu energiju za budućnost Europe, pridružujući se već postojećem razvoju obnovljivih izvora energije.

Klimatske promjene i emisije stakleničkih plinova

Svake godine sve je veći broj ljudskih žrtava i materijalne štete uslijed ekstremnih vremenskih uvjeta kao što su toplinski udari i ekstremna hladnoća, poplave, suše, uragani i požari. Klimatsku krizu uzrokovala je fosilna industrija (nafta i plin) koja pogađa čitavo društvo. Zagađenje zraka odgovorno je za oko 7 milijuna preuranjenih smrti svake godine (WHO, 2014). Pariški sporazum je jedan od najznačajnijih međunarodnih klimatskih sporazuma u povijesti kojega su ratificirale gotovo sve zemlje svijeta. Sporazum je dogovoren na sastanku okvirne konferencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime (engl. United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 2015. godine u Parizu (UNCC). Glavni cilj ovog sporazuma bio je ograničiti globalno zagrijavanje na manje od 2 °C iznad preindustrijskih razina, s težnjom da se porast temperature zadrži ispod 1,5 °C. Emisije stakleničkih plinova primarni su pokretač klimatskih promjena danas. CO₂ i drugi staklenički plinovi poput metana i dušikovog oksida emitiraju se kada sagorijevamo fosilna goriva, proizvodimo materijale poput čelika, cementa i plastike i uzgajamo hranu. Da bi se smanjile te emisije, moraju se transformirati naši energetske, industrijske i prehrambene sustavi. Brza i učinkovita tranzicija prema obnovljivim izvorima energije i energetske učinkovitosti važno je rješenje za smanjenje i ublažavanje klimatskih promjena. To bi mogle omogućiti tehnološke inovacije. Troškovi solarne energije, energije vjetra, vode, geotermalna energija i baterija su se smanjili u zadnjih deset godina te oni postaju alternativa fosilnim gorivima. Proizvodnja energije odgovorna je za 87 % globalnih emisija stakleničkih plinova, a najbogatije i najrazvijenije zemlje imaju najveće emisije jer siromašnima nedostaje pristup i resursi za modernu tehnologiju. Međutim, emisije još uvijek rastu u mnogim dijelovima svijeta (Ritchie, 2023).

Azija je daleko najveći proizvođač emisija, s udjelom od 53 % globalnih emisija. Budući da u njoj živi 60 % svjetske populacije (Kina je najveći azijski i svjetski proizvođač emisija), emitira gotovo 10 milijardi tona svake godine, više od četvrtine globalnih emisija. Sjeverna Amerika – kojom dominira SAD

– drugi je najveći regionalni proizvođač emisija s 18 % globalnih emisija. Odmah iza nje slijedi Europa sa 17 %.

Gotovo četvrtina ukupne potrošnje energije u EU u 2023. godini bila je osigurana iz obnovljivih izvora. Ipak, današnji energetska sustav još uvijek je uvelike ovisan o fosilnim gorivima. Cijene energije bile su nestabilne posljednjih godina, što naglašava veliku izloženost uvoza fosilnih goriva geopolitičkoj nestabilnosti. Niske zalihe plina od 2021. godine uzrokovale su nagli porast cijena.

Negativni utjecaji klimatskih promjena sve su vidljiviji. Potrebne su nacionalne i EU mjere za ublažavanje emisija stakleničkih plinova i pripremu za veće buduće rizike i utjecaje (EEA, 2024). Klimatska i energetska kriza najveća je do sada. EU nije sasvim spremna za brzorastuće klimatske rizike.

Bilten Copernicus (2025) pokazao je da je prosječna globalna temperatura u razdoblju između veljače 2023. i travnja 2025. premašila predindustrijske razine za 1,5 °C. U 2024., najtoplijoj godini u povijesti mjerenja, globalno, temperature su bile 1,6 °C iznad predindustrijskih razina. Temperature oceana bile su previsoke. U Europi 2024. bila najtoplija godina od početka instrumentalnih mjerenja. Većina dana u 2023. godini zabilježila je više temperature od prosječne temperature za razdoblje 1991. - 2020. Europa je trenutno kontinent koji se najbrže zagrijava, s temperaturama koje rastu otprilike dvostruko brže od globalnih.

Od 1980. do 2023. ekonomski gubici od ekstremnih klimatskih uvjeta procijenjeni su na značajnih 738 milijardi eura za 27 država članica EU. Predviđa se da će se dodatno povećati. Ekonomski gubici povezani s ekstremnim klimatskim uvjetima značajno se razlikuju među državama članicama EU. Prikupljeni podaci od 1980. do 2023. pokazuju da su Belgija, Njemačka i Luksemburg zabilježili su najveće gubitke po površini, dok su Luksemburg, Slovenija, Švicarska pretrpjele najveće gubitke po glavi stanovnika (EEA, 2024).

Nastali klimatski utjecaji izuzetno su ozbiljni. Izvješće o globalnom riziku Svjetskog ekonomskog foruma (WEF, 2024) prepoznalo je klimatske promjene i ekstremne vremenske događaje kao najveću globalnu prijetnju u 2024. Ova procjena temeljila se na uvidima gotovo 1500 stručnjaka iz akademske zajednice, vlade, poslovnog sektora i civilnog društva (EEA Report, 2025).

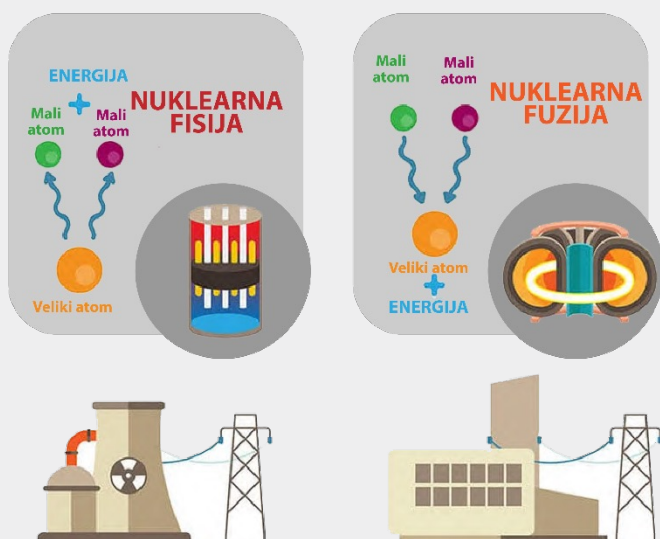
Hitno je potreban novi, održivi i ugljično neutralan oblik energije velikih razmjera. Sljedeća desetljeća su ključna za usmjeravanje prema smanjenju

emisija stakleničkih plinova. Do kraja stoljeća potražnja za energijom utrostručit će se pod kombiniranim pritiskom rasta stanovništva, povećane urbanizacije i širenja pristupa električnoj energiji u zemljama u razvoju.

Fuzija kao obnovljivi izvor energije

Globalni energetske sektor prolazi kroz transformaciju zbog sve veće potražnje za energijom, industrijskim rastom i hitnom potrebom za održivim rješenjima. Ova promjena naglašava korištenje obnovljivih izvora, naprednih tehnologija i inovativnih metoda za rješavanje klimatskih promjena i izazova energetske sigurnosti. Potrošnja energije vjerojatno će se povećati zbog očekivanog rasta stanovništva i brze industrijalizacije, što zahtijeva stvaranje strategija za rješavanje ove potrebe uz minimalne ekološke posljedice. Međunarodna agencija za energiju (IEA) predviđa porast svjetske potrošnje energije od 30 % do 2040. (IEA, 2024.).

NUKLEARNA ENERGIJA



Slika 1. Nuklearna energija – razlika između fisije i fuzije

Izvor: Nuclear Fusion: The Future of Clean Energy? - Eco Experts, <https://www.theecoexperts.co.uk/news/nuclear-fusion> (pristupljeno 11.7.2025.)

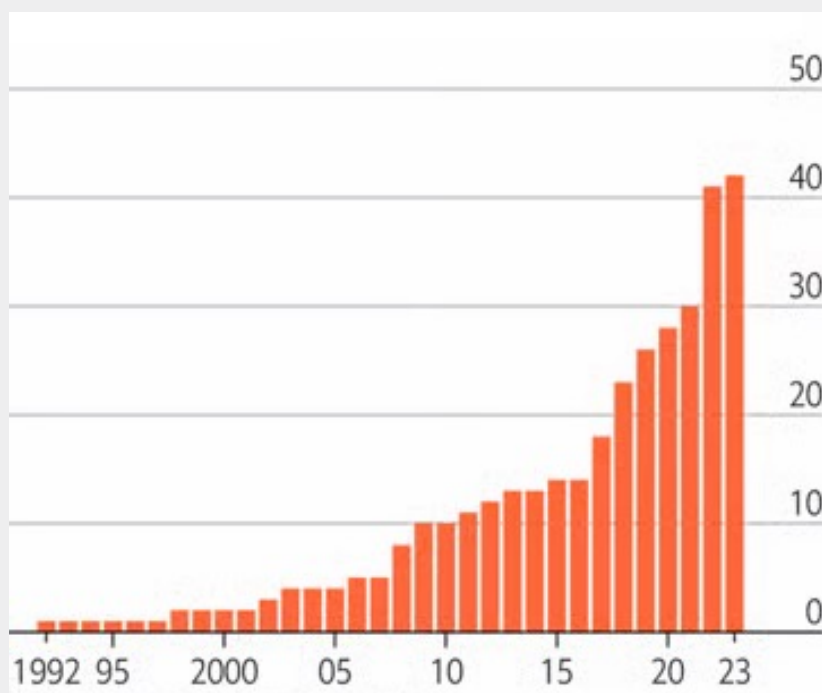
Infrastruktura obnovljivih izvora energije općenito je isplativija od tradicionalnih sustava fosilnih goriva. Međutim, trenutno nema sposobnost da u potpunosti zamijeni stabilnu i pouzdanu energiju koju osiguravaju fosilna goriva. Ovo ograničenje potaknulo je potragu za inovativnim i održivim energetske rješenjima. Fuzijska energija pojavljuje se kao jedna nova opcija, s potencijalom da promjeni globalnu proizvodnju energije

pružajući obilan, čist i pouzdan izvor energije. Koristi lake atomske izotope, poput deuterija i tricija, za stvaranje energije slične sunčevoj. Proces uključuje stvaranje pregrijane plazme u kojoj se atomi sudaraju i spajaju, oslobađajući ogromne količine energije. Za razliku od procesa fisije u nuklearnim elektranama, koja rezultira radioaktivnim otpadom, atomska fuzija daje helij, inertni i bezopasni plin. Osim toga, morska voda može sadržavati deuterij, primarno gorivo za fuziju, što se pokazuje kao potencijal za kontinuiranu upotrebu. Tokamak je eksperimentalni stroj dizajniran za iskorištavanje energije fuzije; unutar tokamaka stvara se fuzijska plazma. Energija proizvedena fuzijom atoma u plazmi apsorbira se kao toplina u stijenkama uređaja. Baš kao i konvencionalna elektrana, fuzijska elektrana koristit će tu toplinu za proizvodnju pare, a zatim električne energije pomoću turbine i generatora. Nuklearna fisija uvijek predstavlja rizik i poteškoće u dugoročnom gospodarenju otpadom, dok fuzija nudi sigurniji i održiviji pristup proizvodnji energije. Fuzijska energija ima veliki potencijal, ali postoje značajne tehnološke poteškoće koje treba prevladati. Na primjer, stvaranje i održavanje potrebnih uvjeta za fuziju zahtijeva veliku količinu energije. Kako bi se pomoglo u ostvarenju fuzijskih elektrana do 2050. godine, razvijaju se multinacionalni projekti poput Međunarodnog termonuklearnog eksperimentalnog reaktora (ITER). ITER je međunarodni projekt čiji je cilj demonstrirati znanstvenu i tehnološku izvedivost proizvodnje fuzijske energije te dokazati tehnologiju i koncepte za buduće demonstracijske fuzijske elektrane za proizvodnju električne energije, nazvane DEMO. Cilj ovih projekata je pokazati kako se fuzijska energija može iskoristiti za praktičnu upotrebu. Fuzijska energija bi mogla znatno pomoći u postizanju ciljeva smanjenja emisije CO₂ postavljenih Pariškim sporazumom za 2050. godinu. Mogla bi se koristiti zajedno s obnovljivim izvorima energije. Međunarodni termonuklearni eksperimentalni reaktor (ITER), koji se trenutno gradi u Francuskoj, predstavlja najveću globalnu suradnju u istraživanju fuzijske energije. Ova inicijativa uključuje preko 35 zemalja, uključujući zemlje Europske unije, Sjedinjene Američke Države, Rusku Federaciju i Kinu, s ciljem demonstracije izvedivosti održive nuklearne fuzije kao izvora energije bez ugljika (Katoch, G. et al, 2025.; Barbarino, M. 2023. IAEA).

IFMIF-DONES (eng. International Fusion Materials Irradiation Facility - DEMO Oriented Neutron Source) je novo istraživačko postrojenje na jednoj lokaciji za testiranje, validaciju i kvalifikaciju materijala koje će se koristiti u budućim fuzijskim elektranama poput DEMO-a (prototip demonstracijskog fuzijskog reaktora). U vezi s ovim međunarodnim projektom, u prosincu 2017., Fusion for Energy (F4E) pozitivno je ocijenio zajednički prijedlog Španjolske i Hrvatske da se IFMIF-DONES smjesti u Španjolskoj. Od velike važnosti u

projektu IFMIF-DONES, kao i u čitavom fuzijskom programu EU-a je suradnja s fuzijskom industrijom u Hrvatskoj i ostalim članicama EU-a. Do sada je na fuzijskim poslovima na gradnji ITER-a sudjelovalo šest hrvatskih kompanija, dok se na listi dobavljača za europski fuzijski program, nalazi dvadeset tvrtki iz Hrvatske. Naime, u EURATOM-u (EURATOM je program za istraživanje i osposobljavanje Europske zajednice za atomsku energiju za razdoblje 2021. - 2025.) smatraju da će fuzijsku elektranu DEMO graditi europske kompanije u partnerstvu sa znanstvenim sektorom EU-a (IRB, 2024).

Godine 2014. tijela za istraživanje fuzije iz država članica Europske unije i Švicarske potpisale su sporazum o učvršćivanju europske suradnje u istraživanju fuzije i tako je stvoren Europski konzorcij za razvoj fuzijske energije (EUROfusion). Trenutno EUROfusion podržava i financira aktivnosti istraživanja fuzije u ime programa Euratom Europske komisije unutar 26 država članica EU, dok Švicarska, Norveška i Ujedinjeno Kraljevstvo sudjeluju u aktivnostima sa svojim nacionalnim proračunima za fuziju. Misija EUROfusiona je utrti put fuzijskim reaktorima. U tu svrhu konzorcij financira istraživanja u 28 svojih članica (Eurofusion, 2014). Također je osnovana i Fuzija za energiju (F4E), organizacija Europske unije koja upravlja doprinosom Europe ITER-u - najvećem znanstvenom eksperimentu na putu prema fuzijskoj energiji. Ovo partnerstvo sedam stranaka (Kine, Europa, Japana, Indije, Republike Koreje, Ruske Federacije i SAD-a) predstavlja polovicu svjetskog stanovništva i 80 % globalnog BDP-a (Eurofusion, Fusion for Energy).



Slika 2. Ukupan broj privatnih kompanija koje se bave fuzijom u svijetu

Izvor: Fusion Industry Association, The Economist <https://www.economist.com/science-and-technology/2023/03/22/fusion-power-is-coming-back-into-fashion> (pristupljeno 11.7.2025.)

Zaključak

Fuzijska energija predstavlja obećavajući put prema postizanju održive i gotovo neiscrpne opskrbe energijom. Fuzijske reakcije deuterija i tricija smatraju se održivom alternativom fosilnim gorivima, značajno smanjujući njihov utjecaj na okoliš, a istovremeno zadovoljavajući globalne energetske potrebe. Za razliku od tradicionalne nuklearne energije, fuzija stvara mnogo manje radioaktivnog otpada i ne emitira ugljikov dioksid, što je pozicionira kao izvor čiste energije sa proizvedenom energijom koja daleko premašuje onu fosilnih goriva. Nedavni napredak u tehnologijama zadržavanja plazme, poput tokamaka i visokotemperaturnih supravodljivih magneta, ubrzao je napredak u istraživanju fuzije. Međunarodna suradnja, posebno kroz velike programe poput ITER-a i inicijative privatnog sektora poput SPARC-a, djeluje prema postizanju neto pozitivne proizvodnje energije. Međutim, važno je napomenuti da i dalje postoje značajni tehnološki izazovi. To uključuje postizanje ekstremnih uvjeta potrebnih za fuziju (temperature koje dosežu 150 milijuna Celzijevih stupnjeva) i razvoj naprednih materijala i tehnologija potrebnih za održavanje tih uvjeta tijekom duljih vremenskih razdoblja. S obzirom na svakodnevni vidljivi napredak novih tehnologija i inovacija, stručnjaci smatraju da bi za nekih tridesetak godina fuzija bila u praktičnoj upotrebi kao novi i čisti oblik energije. Europa je dobro pozicionirana jer posjeduje znanje, ali je potrebno više ulaganja u obrazovne inicijative poput Erasmus Mundusa ili programa mobilnosti između akademske zajednice i industrije.

Literatura

1. Conference of the Parties. (2025). COP29. <https://cop29.az/en/home>
2. Flores, G. (2025). *COP29: What you need to know about annual global climate summit*. Greenpeace International. <https://www.greenpeace.org/international/story/71155/cop29-need-know-annual-global-climate-summit/>
3. European Commission. (2023). *Renewable energy targets*. https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en
4. World Health Organization. (2014). *7 million premature deaths annually linked to air pollution*. <https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>
5. United Nations Climate Change. (n.d.). *What is the Paris Agreement?* <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

6. Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023). *CO₂ and greenhouse gas emissions*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>
7. European Commission. (2025). *Copernicus climate bulletins*. <https://climate.copernicus.eu/climate-bulletins>
8. European Environment Agency. (2024). *Economic losses from weather and climate-related extremes in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/economic-losses-from-climate-related>
9. European Environment Agency. (2025). *Climate overview 2025*. <https://www.eea.europa.eu/en/topics/at-a-glance/climate?activeAccordion=f1d4a81d-03a1-46fa-9453-7174b4b98e18>
10. European Environment Agency. (2025). *Renewables, electrification and flexibility for a competitive EU energy system* (Report No. ISBN 978-92-9480-728-1). Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/renewables-electrification-and-flexibility-for-a-competitive-eu-energy-system>
11. World Economic Forum. (2024). *Climate, nature and energy at Davos: What to know*. <https://www.weforum.org/stories/2024/01/everything-you-need-to-know-about-climate-and-nature-at-davos-2024/>
12. International Energy Agency. (2024). *World energy outlook 2024*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/140a0470-5b90-4922-a0e9-838b3ac6918c/WorldEnergyOutlook2024.pdf>
13. Katoch, G., et al. (2025). Fusion energy: A sustainable pathway to meeting future global energy demands. *Discover Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00906-6>
14. International Atomic Energy Agency. (2023). Barbarino, M. *What is nuclear fusion?* <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion>
15. Institut Ruđer Bošković. (2024). *Novi rekord fuzijske energije dovodi u fokus fuzijsku industriju*. <https://www.irb.hr/Novosti/Novi-rekord-fuzijske-energije-dovodi-u-fokus-fuzijsku-industriju>
16. EUROfusion. (n.d.). *EUROfusion*. <https://euro-fusion.org/eurofusion/>
17. Fusion for Energy. (n.d.). *Our mission and values*. <https://fusionforenergy.europa.eu/our-mission-values/>

Nakladnik:

IRMO - Institut za razvoj i međunarodne odnose
Ulica Ljudevita Farkaša Vukotinovića 2
10000 Zagreb
www.irmo.hr

Za nakladnika:

Jakša Puljiz, ravnatelj

Uredništvo:

Ana-Maria Boromisa,
Sanja Maleković,
Jakša Puljiz,
Sanja Tišma,
Aleksandra Uzelac

Lektura:

Maja Hoić

Grafičko uređenje:

Dragana Markanović

Ova publikacija odražava isključivo stajalište autora i Institut se ne može smatrati odgovornim prilikom uporabe informacija koje se u njoj nalaze.

Sadržaj publikacije moguće je prenositi bez prethodnog odobrenja IRMO-a pod uvjetom da se jasno i vidno navede izvor (autor, naslov, IRMO kao nakladnik te poveznica na internet stranicu objave).

Ovaj je rad nastao u sklopu projekta BORE – Bit i boje održivog regionalnog razvoja u Republici Hrvatskoj financiranog sredstvima iz Nacionalnog plana oporavka i otpornosti 2021.-2026. - NextGenerationEU. Izneseni stavovi i mišljenja samo su autorova i ne odražavaju nužno službena stajališta Europske unije ili Europske komisije. Ni Europska unija ni Europska komisija ne mogu se smatrati odgovornima za njih."



**Financira
Europska unija**
NextGenerationEU

IRMO
Institut za razvoj i međunarodne odnose
Institute for Development and International Relations