

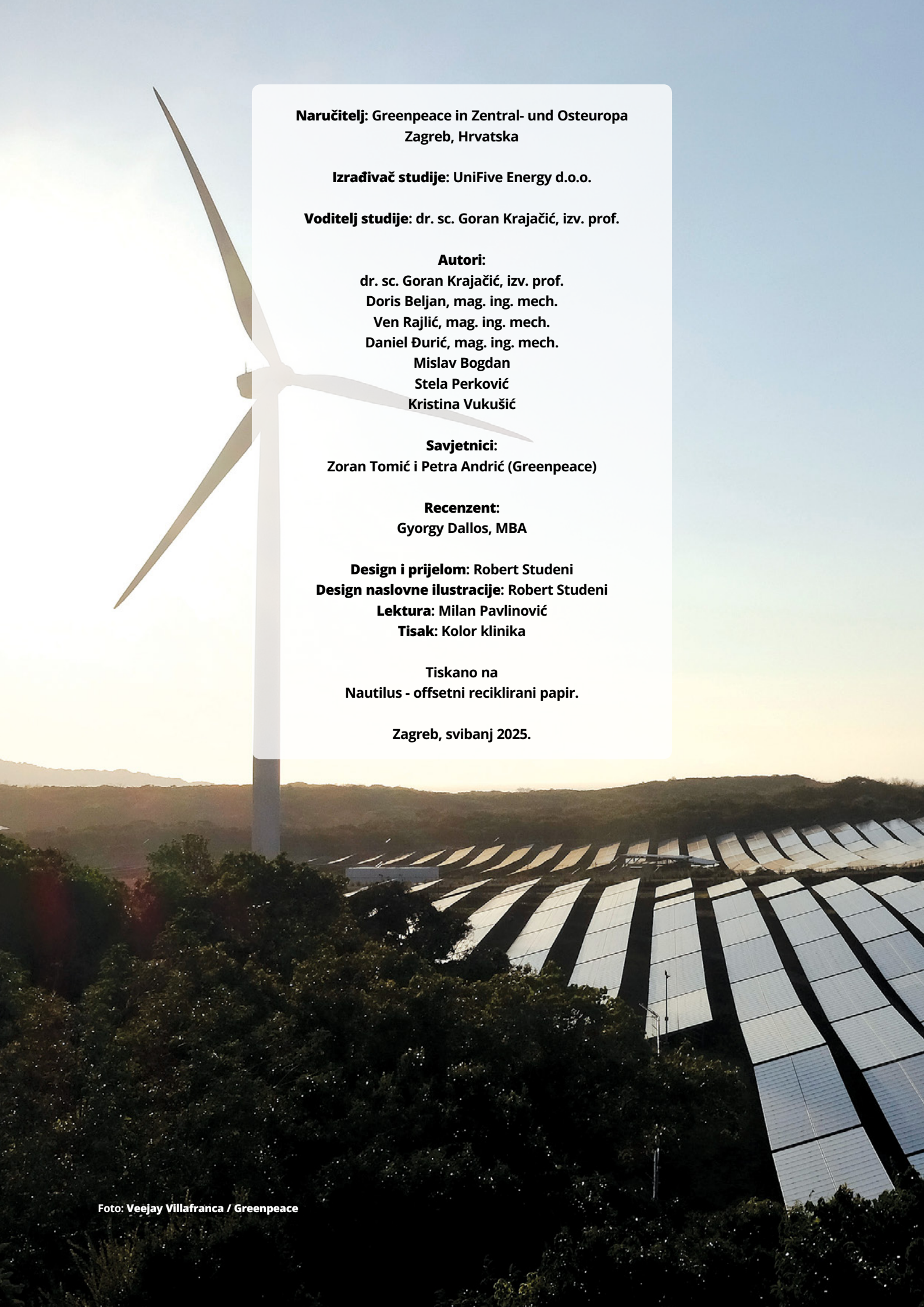
The Greenpeace logo is located in the top left corner of the image. It consists of the word "GREENPEACE" in a white, bold, sans-serif font. The background of the entire top section is a composite image featuring wind turbines on the left and solar panels on the right, set against a bright, cloudy sky. A semi-transparent red triangle is overlaid on the right side of the image, partially covering the solar panels.

GREENPEACE

100%
OBNOVLJIVO
DO 2030.

**Plan za
zelenu tranziciju
hrvatske elektroenergetike**

A close-up, angled view of several dark blue solar panels with silver grid lines, located in the bottom right corner of the page.



Naručitelj: Greenpeace in Zentral- und Osteuropa
Zagreb, Hrvatska

Izrađivač studije: UniFive Energy d.o.o.

Voditelj studije: dr. sc. Goran Krajačić, izv. prof.

Autori:

dr. sc. Goran Krajačić, izv. prof.
Doris Beljan, mag. ing. mech.
Ven Rajlić, mag. ing. mech.
Daniel Đurić, mag. ing. mech.
Mislav Bogdan
Stela Perković
Kristina Vukušić

Savjetnici:

Zoran Tomić i Petra Andrić (Greenpeace)

Recenzent:

Gyorgy Dallos, MBA

Design i prijelom: Robert Studeni

Design naslovne ilustracije: Robert Studeni

Lektura: Milan Pavlinović

Tisak: Kolor klinika

Tiskano na

Nautilus - offsetni reciklirani papir.

Zagreb, svibanj 2025.

SADRŽAJ

PREDGOVOR	7
UVOD	8
METODE, PODACI I PRETPOSTAVKE	17
Scenariji i ulazni podaci	18
Referentni scenarij	19
NECP scenarij	22
Scenarij 100% OIE u potrošnji električne energije	26
REZULTATI ANALIZE	29
Analiza Referentnog scenarija	29
Analiza NECP scenarija	30
Analiza scenarija 100% OIE u potrošnji električne energije	32
Usporedba rezultata scenarijske analize sa sadašnjim stanjem	34
Jednostavna ekonomska analiza	36
DISKUSIJA I PREPORUKE	37
ZAKLJUČAK	52
ZAHVALE	53
REFERENCE	54

POPIS SLIKA

Slika 1.	Globalna krivulja ublažavanja emisija CO ₂ : 1,5°C [4]	9
Slika 2.	Rezultati detaljnog modeliranja energetske tranzicije s detaljno proračunatim krivuljama učenja pokazuju da ubrzana energetska tranzicija donosi uštede od 12 milijuna dolara na svjetskoj razini [5]	10
Slika 3.	Dijagram toka i pregled tehnologija u EnergyPLAN-u [26]	17
Slika 4.	Udjeli u godišnjoj energiji za grijanje i PTV u kućanstvima i uslužnom sektoru za 2019. godinu	20
Slika 5.	Potrošnja goriva u sektoru industrije u TWh	20
Slika 6.	Udio tehnologija u proizvodnji električne energije u 2019. godini	22
Slika 7.	Usporedba potrošnje energije za grijanje i PTV u kućanstvima i uslužnom sektoru u 2019. i 2030. godini	23
Slika 8.	Usporedba potrošnje energije u industriji, poljoprivredi, ribarstvu te neenergetskoj i potrošnji energetike u 2019. i 2030. godini	24
Slika 9.	Usporedba potrošnje energije u transportu u 2019. i 2030. godini	24
Slika 10.	Udjeli energije iz OIE-a za Hrvatsku (2004. – 2023.) [31]	26
Slika 11.	Usporedba sektorske potrošnje i potrošnje po gorivima u 2019. godini	30
Slika 12.	Usporedba sektorske potrošnje i potrošnje po gorivima u referentnom 2019. scenariju i NECP 2030. scenariju	31
Slika 13.	Karakteristike otvorenog i zatvorenog elektroenergetskog sustava	32
Slika 14.	Raspoloživa električna energija u scenariju otvorenog sustava u 2030. godini	33

POPIS TABLICA

Tablica 1. Potrošnja primarne energije, emisije CO ₂ , kritični višak proizvodnje električne energije/izvoz, ukupni godišnji socio-ekonomski troškovi u 2012. godini i proračunati troškovi za 2050.	12
Tablica 2. Prikaz nazivne snage postrojenja OIE-a potrebne do 2050. i instalirane do 2022. [20].....	13
Tablica 3. Prikaz potrošnje električne energije u 2019. godini.....	19
Tablica 4. Godišnja potrošnja u sektoru transporta u 2019. godini.....	21
Tablica 5. Proizvodni kapaciteti za proizvodnju električne energije u 2019. godini	21
Tablica 6. Indikativni nacionalni ciljevi udjela OIE-a do 2030. godine.....	23
Tablica 7. Usporedba kapaciteta za proizvodnju električne energije u 2019. i 2030. godini [MW]	25
Tablica 8. Kapaciteti za proizvodnju električne energije u 100% OIE scenarijima [MW].....	27
Tablica 9. Usporedba ključnih pokazatelja proračunatih EnergyPLAN modelom za referentni scenarij i objavljenih statističkih podataka za 2019. godinu.....	29
Tablica 10. Ključni pokazatelji proračunati u NECP scenariju.....	30
Tablica 11. Ključni pokazatelji u scenariju otvorenog sustava 100% OIE u potrošnji električne energije	33
Tablica 12. Ključni pokazatelji u scenariju zatvorenog sustava 100% OIE u potrošnji električne energije	34
Tablica 13. Usporedba ključnih pokazatelja statističkih podataka sadašnjeg stanja s rezultatima scenarijske analize.....	35
Tablica 14. Usporedba proizvodnih kapaciteta trenutnog stanja sa scenarijskim analizama	35



Foto: Simon Lim / Greenpeace

PREDGOVOR

Čovječanstvo se posljednjih desetljeća suočava s jednim od najvećih izazova u povijesti - klimatskim promjenama. Gubici koje klimatska kriza donosi već godinama se, nažalost, mjere ljudskim životima i očituju u sve većoj materijalnoj šteti nastaloj uslijed ekstremnih vremenskih uvjeta u obliku sve češćih i sve žešćih toplinskih udara, ekstremnih hladnoća, poplava, suša i požara. Klimatska kriza koju je zakuhala i dalje podgrijava fosilna industrija pogađa cijelo društvo, a posebno njegove najosjetljivije članove i skupine od čega, naravno, nisu pošteđene ni Hrvatska ni Europa. Fosilni biznis ne bira sredstva kako bi nas zadržao na utabanom putu koji njemu donosi ekstraprofite, dok društvo i građani plaćaju cijenu narušenog zdravlja, onečišćenog okoliša i rastućeg klimatskog kaosa. Krajnji je čas da prekinemo taj začarani krug koji nas vuče prema katastrofi i odlučno se okrenemo održivoj budućnosti.

Još 2014. godine agencija Ipsos je za Greenpeace provela istraživanje [1] koje je pokazalo da više od 90% hrvatskih građana podržava politiku usmjerenu na obnovljive izvore energije (OIE) kao put prema energetske sigurnosti i neovisnosti koji ujedno pridonosi izlasku iz tadašnje gospodarske krize. Danas je više nego ikad vidljivo koliko bi snažan zaokret prema OIE-u, za koje Hrvatska ima fantastične potencijale, doveo do ostvarenja tih ciljeva u svijetu u kojem se geopolitičke okolnosti dramatično mijenjaju gotovo iz dana u dan.

Brza i odlučna tranzicija prema obnovljivim izvorima energije i energetske učinkovitosti ključno je rješenje za suzbijanje klimatskih promjena. Unatoč golemim potencijalima, Hrvatska je proteklih deset-petnaest godina uvelike propustila priliku za iskorak u korištenju OIE-a, pogotovo energije sunca. Umjesto da obilato koristimo komparativne prednosti i učvršćujemo energetske neovisnost, uz brojne druge pogodnosti koje OIE-i donose (čist zrak, čišći okoliš, radna mjesta, uštede na uvozu i sl.), mi kao da smo nastojali zadovoljiti tek minimum zahtjeva Europske unije.

Ovo je možda naša zadnja prilika za odlučan otklon od fosilnih goriva i nuklearnih fantazija i istinski iskorak prema obnovljivoj budućnosti. Stoga smo u Greenpeaceu angažirali stručnjake za energetiku, nastavnike i diplomante Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, na čelu s prof. dr.sc. Goranom Krajačićem, da nam pomognu izraditi plan kako već od 2030. godine potrošnju električne energije u Republici Hrvatskoj u potpunosti zadovoljiti iz obnovljivih izvora energije. Vjerujemo da će njihovi uvidi, izračuni, zaključci i preporuke sadržani u ovoj publikaciji biti poticaj političkim čelnicima, nadležnim institucijama i drugim uključenim dionicima da se taj ambiciozan, ali realan cilj i ostvari.

Zoran Tomić, Greenpeace

UVOD

Mjerenja koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi i prosječne globalne temperature pokazuju da svijet klizi prema katastrofi. Ako nastavimo s trenutnim tempom emisija stakleničkih plinova, do 2030. godine iscrpit ćemo velik dio svog "ugljičnog budžeta" od 420 GtCO₂. Taj budžet nam ostavlja manje od 66% šanse da zadržimo globalno zagrijavanje ispod 1,5°C, a njegovo premašivanje imat će katastrofalne posljedice za naš planet i buduće generacije, uključujući porast razine mora, ekstremne vremenske uvjete i gubitak biološke raznolikosti [2].

U slučaju da smo smanjivanje emisija započeli već 2000. godine, bilo bi ih dovoljno smanjivati samo 4% godišnje, kao što prema izračunima Raupacha et al. [2] prikazuje Slika 1., pa sadašnji napor kretanja prema društvu bez fosilnih goriva ne bi bio značajan.

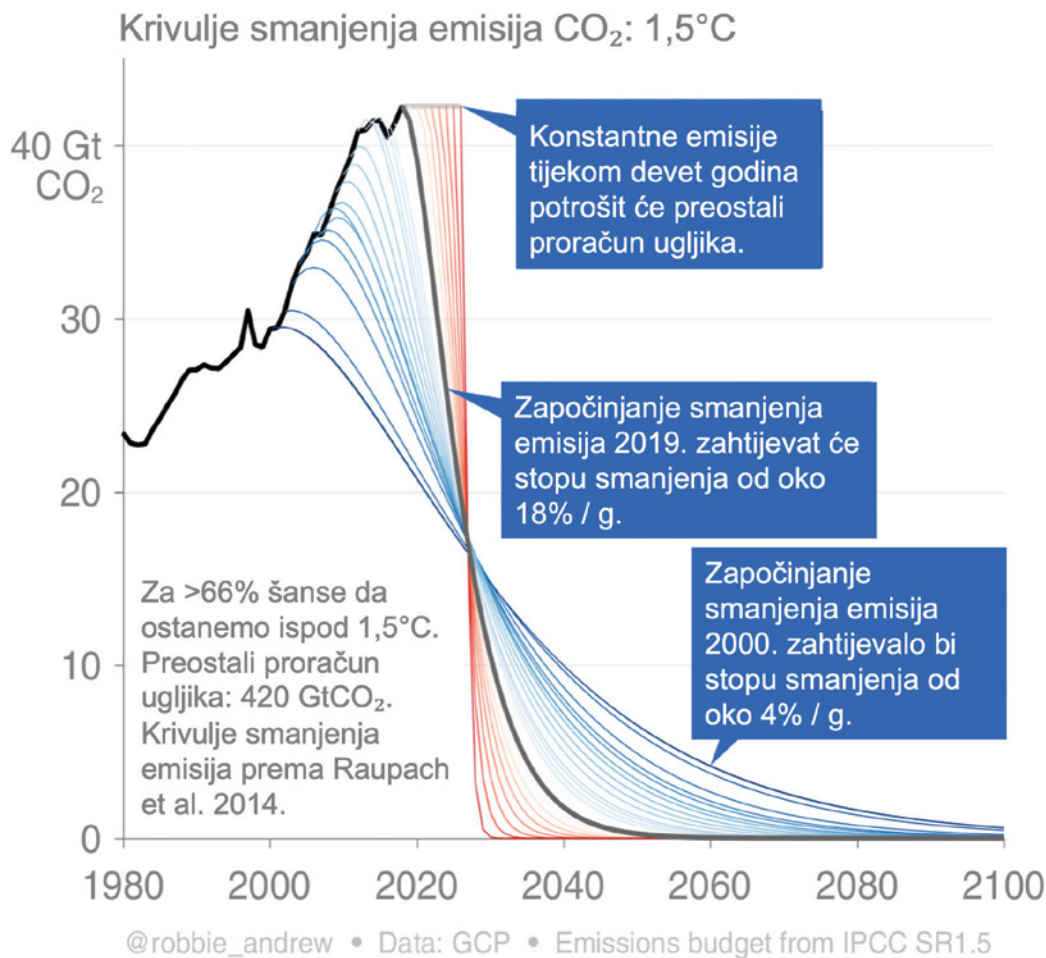
Najnovija znanstvena istraživanja [3] pokazuju da nam je preostali „ugljični budžet“ za 50-postotnu vjerojatnost ograničenja globalnog zatopljenja na 1,5°C, 1,7°C i 2°C iznad razine 1850. - 1900. smanjen na 65 GtC (235 GtCO₂), 160 GtC (585 GtCO₂) i 305 GtC (1110 GtCO₂), redom, od početka 2025. godine, što je ekvivalentno periodu otprilike 6, 14 i 27 godina, uz pretpostavku razine emisija iz 2024. godine.

Ako bismo sada započeli veliki ciklus ulaganja u obnovljive izvore i maksimalno iskoristili kapacitete postojećih tvornica za proizvodnju potrebne opreme, mogli bismo postići visoke stope zamjene fosilnih tehnologija te bismo zagrijavanje planeta održali u prihvatljivim granicama. U suprotnom, budućnost će biti vrlo neizvjesna jer se kao rješenje nude neprovjerene i skupe tehnologije hvatanja i izvlačenja stakleničkih plinova iz atmosfere, a na njih se ne smijemo oslanjati.

Zato je sada vrijeme da udružimo snage i poduzmemo hitne mjere kako bismo izbjegli najcrnije scenarije.



Foto: Shayne Robinson / Greenpeace



Slika 1. Globalna krivulja ublažavanja emisija CO₂: 1,5°C [4]

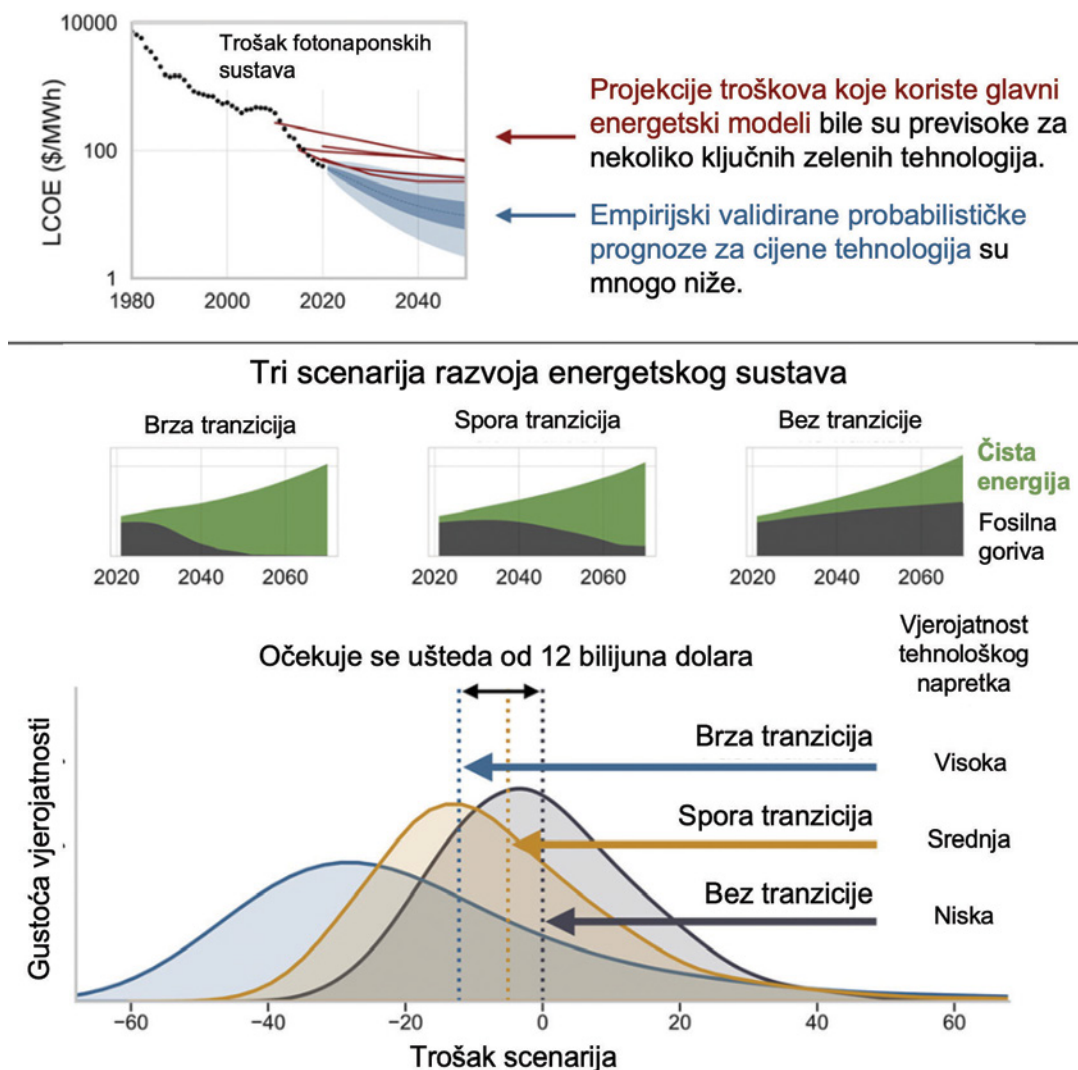
Kada je prije nekoliko desetljeća Greenpeace objavio vlastite studije o budućnosti obnovljivih izvora energije, mnogi su bili skeptični. Njihova predviđanja o drastičnom padu cijena solarnih panela, vjetroturbina i drugih tehnologija zvučala su previše optimistično, čak i revolucionarno. Dok su mnogi drugi stručnjaci i institucije poput Međunarodne agencije za energiju (IEA), Ministarstva energetike SAD-a (DOE) i slični nudili konzervativnije procjene, Greenpeace je ustrajao u svojoj viziji budućnosti u kojoj će obnovljivi izvori energije biti glavni pokretač energetskeg sustava.

Vrijeme je pokazalo da su upravo Greenpeaceova predviđanja bila bliža stvarnosti¹. Zahvaljujući tehnološkom napretku, ekonomiji veličine i sve većoj podršci vlada, kao i međunarodnih sporazuma o zaštiti klime i okoliša, cijene obnovljivih izvora energije pale su mnogo brže nego što su mnogi očekivali. Solarna energija, koja je nekada bila preskupa za široku primjenu, danas je postala jedan od najjeftinijih izvora električne energije.

Većina modela, na koje su se pozivali i znanstvenici, podcijenila je brzinu kojom se razvijaju tehnologije za čistu energiju i smanjuju njihovi troškovi. No ima i drugih primjera, kao što je znanstveni rad objavljen u ča-

¹ Merchant, „Guess Who Most Accurately Predicted the Clean Energy Market Boom”, <https://www.vice.com/en/article/guess-who-accurately-predicted-the-explosion-of-the-clean-energy-market/>

sopisu Joule 2022. godine [5], u kojem su se koristile nove metode predviđanja da bi se točnije procijenili budući troškovi obnovljivih izvora energije. Rezultati pokazuju da bi brza tranzicija prema čistoj energiji mogla dovesti do značajnih ušteda, čak i ako se ne uzmu u obzir koristi za klimu. Drugim riječima, prelazak na obnovljive izvore energije bio bi ne samo povoljan za okoliš nego, dugoročno gledano, i isplativiji od ovisnosti o fosilnim gorivima.



Slika 2. Rezultati detaljnog modeliranja energetske tranzicije s detaljno proračunatim krivuljama učenja pokazuju da ubrzana energetska tranzicija donosi uštede od 12 milijuna dolara na svjetskoj razini [5]

U istom radu [5] pokazuje se usporedba triju scenarija prema brzini energetske tranzicije. Prvi s ubrzanim prelaskom na obnovljive izvore energije do 2040. godine, drugi sa sporim prelaskom na obnovljive izvore energije do 2060. te treći scenarij bez tranzicije na obnovljive izvore energije. Kako pokazuje Slika 2. scenarij ubrzane energetske tranzicije donosi uštede od 12 milijuna dolara na svjetskoj razini, onaj sa sporom tranzicijom ostvari tek trećinu te uštede, dok scenarij bez tranzicije ne donosi uštede.

No kada se isti rezultati promatraju sa stajališta industrije fosilnih goriva i vlada koje tu industriju podržavaju, tada sve spomenute uštede njima predstavljaju financijski gubitak pa se u mnogim raspravama ta izgubljena



Foto: Marten van Dijk / Greenpeace

dobit fosilne industrije navodi i kao najveća kočnica prema brznoj energetske tranziciji u kojoj društvo i planet Zemlja ostvaruju najveću dobit.

Konferencija COP svake godine okuplja svjetske čelnike kako bi razgovarali o klimatskim promjenama i dogovorili konkretne mjere za njihovo ublažavanje, a 2024. godine održana je u Azerbajdžanu. Taj COP 29 postavio je dva ključna cilja; prvi je podići razinu ambicija svih zemalja u borbi protiv klimatskih promjena, odnosno osigurati da svaka zemlja donese još ambicioznije nacionalne planove za smanjenje emisija stakleničkih plinova. Drugi cilj je omogućiti konkretnu provedbu tih planova, posebno kroz osiguranje dovoljnih financijskih sredstava za ulaganja u čistu energiju, prilagodbu na klimatske promjene i pomoć najugroženijim zajednicama. Slični zaključci doneseni su i godinu dana ranije na COP-u 28, uz dodatni poziv na poduzimanje akcija prema postizanju globalnog cilja utrostručenja kapaciteta obnovljive energije i udvostručenja povećanja energetske učinkovitosti do 2030. godine. U zaključcima se također nalaze ubrzanje napora za smanjenje korištenja termoelektrana na ugljen, ukidanje neučinkovitih subvencija za fosilna goriva i druge mjere koje potiču prijelaz s fosilnih goriva u energetske sustavima na pravedan, uređen i pravičan način, u čemu razvijene zemlje i dalje imaju vodeću ulogu.

Pored Greenpeacea koji je u svojim publikacijama isticao mogućnost prelaska na stopostotnu proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora, tijekom posljednjih dvaju desetljeća rađene su i znanstvene analize prelaska energetske sustava pojedinih zemalja na 100% obnovljive izvore. U jednom od radova [6] istražuje se mogućnost stopostotne proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u Portugalu. Analiza se temelji na prvotnim verzijama modela H2RES [7] koji omogućuje analizu različitih scenarija uz uključivanje sustava za skladištenje energije kako bi se uravnotežila proizvodnja iz varijabilnih obnovljivih izvora poput vjetrova i sunca te osigurala sigurna opskrba električnom energijom.

Sličan rad, proračunat pomoću modela EnergyPLAN, pokazuje što je sve potrebno napraviti da bi energetske sustav Sjeverne Makedonije do 2030. proizvodio 50% električne energije iz obnovljivih izvora te što sve treba napraviti do 2050. za 100% proizvodnje električne energije iz OIE-a [8].

Pomoću modela EnergyPLAN rađen je proračun za dekarbonizaciju energetske sustava i za Republiku Hrvatsku i još 2011. pokazano je da se, uz značajne kapacitete instaliranih obnovljivih izvora [9], do 2030. može

postići smanjenje emisija ugljičnog dioksida od 82% (20 Mt). U istom radu tako se navodi da bi uz potrošnju električnih vozila od 7 TWh električne energije i ukupni kapacitet baterija u vozilima od 171 GWh sustav mogao prihvatiti proizvodnju električne energije iz 6 GW vjetroelektrana, pri čemu bi priključena vozila podržavala rad mreže. Scenarij je uključivao i integraciju drugih mjera, primjerice 2500 MW kapaciteta u reverzibilnim hidroelektranama i korištenje dizalica topline.

Kao dio pripreme i doprinosa jugoistočne Europe Pariškom sporazumu o klimi usvojenom na COP-u 21, napravljen je proračun za energetski sustav bez fosilnih goriva za 11 zemalja jugoistočne Europe do 2050. [10]. U proračun su uključeni svi sektori s mjerama štednje energije i značajnom instalacijom kapaciteta u obnovljivim izvorima. Između ostalog, to je uključivalo 65 GW fotonaponskih sustava, 50 GW vjetroelektrana, 11 GW solarnih termoelektrana, ali i 1,5 GW dizalica topline velike snage, spojenih na sustave daljinskog grijanja, značajan broj sunčevih toplana sa sezonskim spremnicima topline iz kojih se zadovoljavalo 13,3% ukupne potrošnje toplinske energije u centraliziranim toplinskim sustavima. Kapacitet sezonskih spremnika topline procijenjen je na 230 GWh. Značajan je udio geotermalnih elektrana od 1,25 GW i geotermalnih toplana ukupnog kapaciteta 7,5 GW. Zanimljivo je da se u scenariju nije koristila nuklearna energija, odnosno sve nuklearne elektrane u regiji ugašene su do 2050.

Tablica 1. Potrošnja primarne energije, emisije CO₂, kritični višak proizvodnje električne energije/izvoz, ukupni godišnji socio-ekonomski troškovi u 2012. godini i proračunati troškovi za 2050.

	2012.	2050.
Potrošnja primarne energije [TWh]	1426	702,86
CO ₂ emisije [Mt]	332	0
Kritični višak proizvodnje električne energije, odnosno izvoz iz SEE regije [TWh]	0	15,64
Ukupni godišnji socio-ekonomski troškovi [MEUR]	63.903	44.415

Bitan rezultat studije su i uštede koje se mogu postići prelaskom na 100% dobave energije iz lokalnih obnovljivih izvora prisutnih u regiji jugoistočne Europe i pokazuje se da je na godišnjoj razini moguće uštedjeti 20 milijardi eura, što je značajan iznos (~30% ušteda), kako prikazuje Tablica 1.

Tri scenarija 100% obnovljivih izvora energije predviđaju da će otprilike do 2050. godine sva električna energija dolaziti isključivo iz obnovljivih izvora, osobito iz vjetroelektrana i solarnih tehnologija ([11] Teske, 2019.; [12] Bogdanov et al., 2021.; [13] Jacobson et al., 2022.). To se postiže prvenstveno zahvaljujući trenutno konkurentnim cijenama i projekcijama budućeg smanjenja troškova te tehnološkim inovacijama u ovim sektorima. U slučaju solarnih fotonaponskih elektrana očekuje se dramatičan rast, kako na razini distribuiranih (krovnih) stambenih i komercijalnih sustava, tako i na razini velikih elektrana. Tri scenarija sa 100% OIE-a procjenjuju da ukupni kapacitet solarne energije do 2050. godine može varirati od 33% do 69%. S druge strane, scenarij 1,5°C Međunarodne agencije za obnovljive izvore energije (IRENA) i scenarij Međunarodne agencije za energiju (IEA) za postizanje neto nulte emisije do 2050. (scenarij NZE-a) ukazuju na to da bi proizvodnja solarnih fotonaponskih elektrana iznosila od 17% ukupne potrošnje finalne energije (TFEC - total final energy consumption) do 20% ukupne primarne energije (TES) do 2050. godine ([14] IRENA, 2021; [15] IEA, 2021). Prema posljednjim izračunima IEA-a za scenarij neto nulte emisije stakleničkih plinova u 2050.,

potrebno je do 2030. u svijetu imati instalirani kapacitet vjetroelektrana i solarnih elektrana od 8843 GW, koje će proizvoditi 40% ukupne električne energije [16].

Iako je već danas moguće pronaći elektroenergetske sustave u kojima se sva električna energija proizvodi iz obnovljivih izvora, uglavnom se radi o malim izoliranim ili otočnim sustavima ili o velikim sustavima koji se temelje na energiji iz hidroelektrana [17]. Analiza [18] prikazuje 60 država/teritorija čija je proizvodnja električne energije u 2023. godini bila 50-100% iz vjetra, hidroenergije i sunca (WWS) (uključujući 12 s 98,4-100% WWS proizvodnje) i 11 američkih saveznih država koje su proizvele ekvivalentno 53,2-118% električne energije koju su potrošile, koristeći WWS u 2024. godini.

Za 143 zemlje Jacobson detaljno navodi koliko je kapaciteta OIE-a potrebno instalirati da do 2050. godine prestanu koristiti fosilna goriva [19]. Noviji izračuni iz 2024. za Republiku Hrvatsku navedeni su u Tablici 2. [20] i pokazuju ukupnu nazivnu snagu (GW) WWS generatora potrebnu do 2050. (postojeća plus nova) za kontinuirano usklađivanje potražnje i ponude električne energije, pohrane i odziva na potražnju tijekom razdoblja 2050. – 2052.

Tablica 2. Prikaz nazivne snage postrojenja OIE-a potrebne do 2050. i instalirane do 2022. [20]

Tehnologija [GW]	2022. Hrvatska	2022. Europa	2050. Hrvatska	2050. Europa
Vjetroelektrane na kopnu	1,043	209,94	4,04	891
Vjetroelektrane na pučini	0	30,66	0	350,3
Kućni krovni PV sustavi	0,0226	27,96	2,89	341,4
PV sustavi na komercijalnim i javnim zgradama	0,0537	66,51	5,56	498,8
Fotonaponske elektrane	0,1057	131	12,12	1,469
CSP solarne termoelektrane s pohranom	0	2,315	0,01	3,81
Geotermalne elektrane	0,01	0,877	0,01	3,192
Hidroelektrane	2,201	194,4	2,201	194,39
Elektrane na valove	0	0,0001	0	2,652
Elektrane na plimu i oseku	0	0,2401	0,021	1,543
Solarni toplinski sustavi	0,189	40,31	0,189	40,31
Geotermalni toplinski sustavi	0,0793	31,64	0,0793	31,64
Ukupno	3,7	735,9	27,1	3,828

Još 2015. godine Greenpeace je u studiji "Prelazak Hrvatske na 100% obnovljivih izvora energije: Analiza mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije u Republici Hrvatskoj" pokazao da u tehničkom i ekonomskom pogledu nema dugoročne alternative 100% obnovljivom elektroenergetskom sustavu. U istoj studiji navodi

se koji kapaciteti su potrebni da se 2050. prijeđe na 100% OIE-a: 4600 MW vjetroelektrana, 3600 MW fotonaponskih elektrana, 1000 MW reverzibilnih hidroelektrana, 2922 MW hidroelektrana, 250 MW elektrana na biomasu, 50 MW geotermalne energije, 35 MW elektrana na deponijski plin, 174 MW na bioplin i 150 MW malih HE.

Važnost istraživanja i planiranja 100% OIE sustava vidi se i iz znanstvenog rada "On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research" [21] koji je pregledan više od 100.000 puta, a donosi i pregled velikog broja znanstvenih radova. Glavni zaključak većine ovih studija je taj da je 100% obnovljivih izvora energije ostvarivo diljem svijeta uz niske troškove. U većini scenarija solarna energija i energija vjetra u kombinaciji s mjerama energetske učinkovitosti glavni su nosioci tranzicije. Pregledom se dodatno zaključuje da modeliranje optimizacije troškova i veća dostupnost resursa obično dovode do većeg udjela solarne energije, dok naglasak na diverzifikaciji opskrbe energijom obično upućuje na veći udio energije vjetra. Novija istraživanja pokušavaju riješiti izazove i mogućnosti u vezi sa zagušenjima u mreži, skladištenjem energije, integracijom različitih sektora, elektrifikacijom prometa i industrije te raznim drugim tzv. "Power-to-X" i "Hydrogen-to-X" pristupima.

U Strategiji energetskog razvoja Republike Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. godinu, Energetski Institut Hrvoje Požar (EIHP) navodi ukupni tehnički potencijal za većinu OIE-a. Navedene brojke prilično su konzervativne pa tako navedeni potencijal korištenja energije sunca za građevine iznosi svega 2700 MW, dok je prema raspoloživoj površini uz otprilike 50% korištenja prostora krovova prema aplikaciji Hotmaps potencijal četverostruko veći (oko 10.300 MW). Pri ovoj procjeni računati su samo integrirani fotonaponski sustavi na krovovima zgrada, dok se može očekivati i njihova integracija u konstruktivne elemente, vertikalne zidove te na pomoćne površine građevina, parkirališta, nadstrešnice, šetnice itd. I ovo je konzervativna procjena jer za solarnu energiju gotovo dvostruko veći potencijal navodi i Jacobson u svojim izračunima, uz zaključak da je na krovovima stambenih zgrada i kuća u Republici Hrvatskoj moguće instalirati 10.603 MW i još 8327 MW na krovovima javnih i poslovnih zgrada [19]

Isto tako, u Energetskoj strategiji RH navodi se tehnički potencijal za instaliranu snagu vjetroelektrana od 7000 do 9000 MW, a nedavno objavljen dokument Zajedničkog istraživačkog centra Europske komisije (JRC - Joint Research Centre) pokazuje da je samo za vjetroelektrane na kopnu taj potencijal znatno veći, to jest 74.200 MW ako su vjetroturbine udaljene 500 m od naselja, 37.700 MW ako su udaljene 1000 m i 9100 MW za vjetroturbine 2000 m od naseljenih područja [22]. Uz vjetroelektrane na kopnu treba uzeti i potencijal onih plutajućih koji se kreće u zoni slabog ekološkog i vizualnog utjecaja u sjevernom dijelu hrvatskog dijela Jadranskog mora, a identificirano pučinsko područje moglo bi primiti do 25 GW kapaciteta pučinskog vjetra. Dodatno, proširenjem na zone srednjeg utjecaja, potencijalni kapacitet pučinskog vjetra povećava se za dodatnih 32 GW [23]. Prema studiji Europske komisije, Hrvatska ima više od 1158 km² raspoložive površine za pučinske vjetroelektrane fiksirane na dnu i 18.104 km² za plutajuće vjetroelektrane na moru. Stoga je tehnički kapacitet procijenjen na više od 8,1 GW fiksnih vjetroelektrana (koje bi mogle proizvoditi više od 17,9 TWh) te 126,7 GW plutajućih vjetroelektrana (proizvodnja više od 313 TWh godišnje) [24].

Bitna odgovornost u postizanju niskougljičnog društva leži na gradovima i urbanim središtima koji se organiziraju kroz razne inicijative i pokrete kako bi doprinijeli smanjenju emisija stakleničkih plinova i povećali udjele obnovljive i čiste energije. Rad [25] predstavlja skup podataka, prikupljen putem Europske komisije, "100 klimatski neutralnih i pametnih gradova" i pruža jedinstvene uvide u 362 grada koji su izrazili ambiciju da postignu klimatsku neutralnost do 2030. godine. Potrebno je ukloniti prepreke koje stoje na putu dekarbonizacije gradova i ključno je uspostaviti učinkovite mehanizme suradnje između različitih razina upravljanja (lokalne, regionalne, nacionalne i europske) kako bi se osigurala koordinacija i podrška gradovima u

njihovim klimatskim ambicijama. Studija pruža vrijedne uvide koji će pomoći u razvoju ciljanih mjera i prioriteta za postizanje klimatske neutralnosti u urbanim sredinama.

Uzimajući u obzir uvodne pretpostavke iz kojih se može iščitati da globalno zagrijavanje prijeti, no s druge strane da su rješenja za izbjegavanje emisija stakleničkih plinova odavno u primjeni te su tehnologije dokazane u praksi, izrađena je i ova studija za ubrzavanje energetske tranzicije u Hrvatskoj prema proizvodnji električne energije iz obnovljivih izvora do 2030. U studiji se nakon uvodnog poglavlja daje pregled metoda, EnergyPLAN modela te podataka i pretpostavki koje su uključene u proračunate scenarije. Treće poglavlje daje pregled najbitnijih rezultata, a iza toga slijedi poglavlje s diskusijom i preporukama koje bi trebale dovesti do ostvarenja scenarija. Ovaj dio studije pruža praktične smjernice za donositelje odluka i vremenski okvir u kojem bi trebale biti ostvarene. Na kraju studije se daje zaključak s glavnom porukom za buduće akcije.



Foto: Guillaume Bression / Greenpeace



Foto: Athit Perawongmetha / Greenpeace

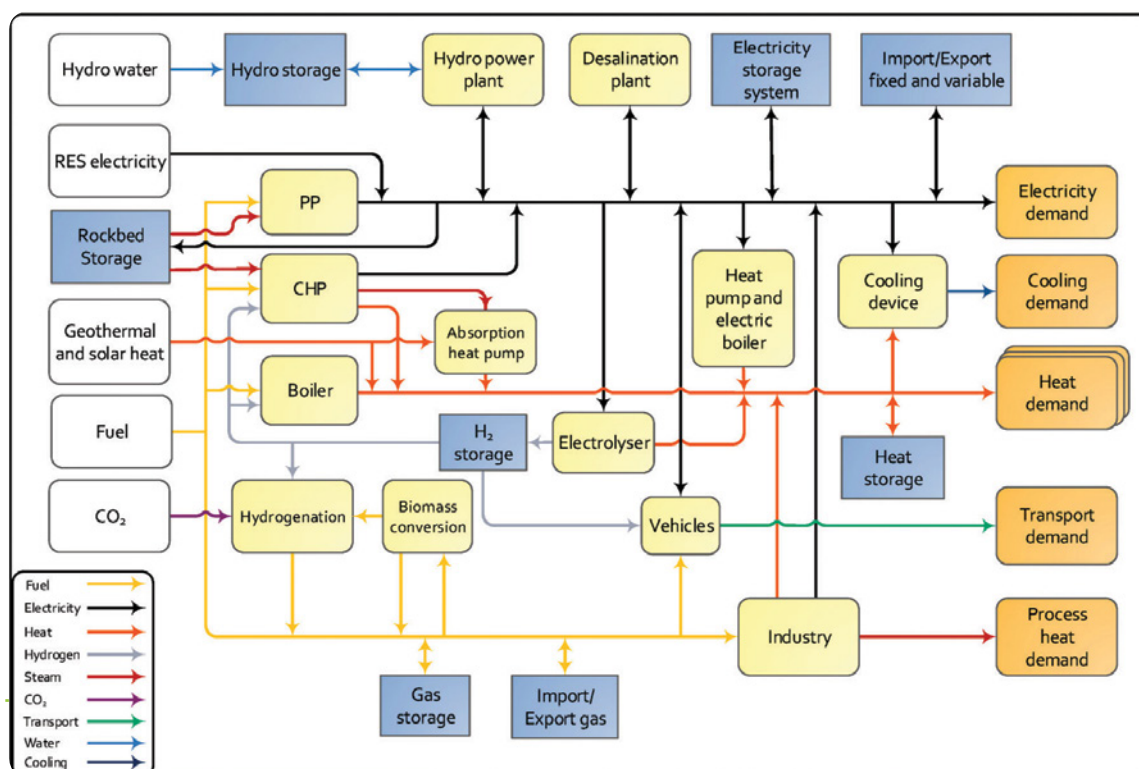
METODE, PODACI I PRETPOSTAVKE

Energetska tranzicija zahtijeva prelazak i integraciju obnovljivih izvora energije u postojeći energetske sustav. Energetsko planiranje pretpostavlja dugoročno modeliranje kako bi se omogućio prostor za donošenje strategija i politika postizanja strateških ciljeva energetske tranzicije te smanjenja emisija stakleničkih plinova. Dodatno, karakteristika energetskog planiranja je postizanje željenog rješenja uz optimizaciju troškova kako bi se, osim tehničkih i ekoloških uvjeta, zadovoljili i ekonomski uvjeti. Zbog toga se za analize koriste različiti alati energetskog planiranja kako bi se obuhvatila kompleksnost takvih sustava.

U svrhu izrade ove studije, za modeliranje energetskog sustava Republike Hrvatske, korišten je EnergyPLAN² model koji uzima u obzir elektroenergetski sektor, grijanje, hlađenje, industriju i sektor transporta. Model se razvija od 1999. godine na Sveučilištu u Aalborgu (Danska) i od tada je korišten za velik broj znanstvenih radova, diplomskih i doktorskih disertacija, studija i analiza.

EnergyPLAN je računalni model prvenstveno namijenjen za modeliranje nacionalnih energetskih sustava, ali korišten je i za analizu ostalih geografskih razina/područja. Razvijen je kao alat za analizu različitih puteva energetske tranzicije i procjene alternativnih strategija. Koristi se i za analizu uloge pojedinih tehnologija u energetskom sustavu. Pristup modeliranju temelji se na seriji endogenih prioriteta i simulaciji korisnički definiranih sustava bez optimizacije endogenog sustava. Simulacije se izvode prema korisničkim postavkama i unaprijed zadanim unutarnjim pravilima ponašanja sustava, bez kompleksnih optimizacijskih postupaka, omogućujući veću fleksibilnost u analizi različitih scenarija i korisničkih ulaza.

Slika 3. Dijagram toka i pregled tehnologija u EnergyPLAN-u [26]



² EnergyPLAN, dostupno na <https://www.energyplan.eu/>

Simulacije se vrše na satnoj razini jedne prijestupne godine, gdje je potražnja i proizvodnja egzogeno definirana satnim vremenskim distribucijama. Ovakav pristup posebno je važan kako bi se adekvatno razmotrila intermitentnost obnovljivih izvora energije te, posljedično, ravnoteža i stabilnost mreže u svakom vremenskom koraku. Glavni ulazni podaci su: energetska potrošnja i proizvodnja, proizvodne jedinice, strategije simulacije i troškovi. Izlazni podaci su satne energetske bilance i sumirani godišnji pokazatelji.

U odnosu na ostale modele energetske planiranja, glavne prednosti EnergyPLAN-a su:

- Mogućnosti modeliranja cijelog sustava sa svim popratnim sektorima;
- Grupiranje proizvodnih jedinica koje smanjuju zahtjeve za prikupljanjem podataka;
- Brzina simulacije i satna rezolucija;
- Transparentnost u razvijanju scenarija.

Ograničenja EnergyPLAN-a su:

- Nemogućnost opisa specifičnosti pojedinih jedinica;
- Simulacijski pristup modeliranju sustava zahtijeva znanje i iskustvo prilikom analize rezultata, izbora i tumačenja najboljeg scenarija te mogućih alternativa.

Kako bi se analizirala mogućnost prelaska potrošnje električne energije na potpuno obnovljive izvore energije, izradit će se tri scenarija Republike Hrvatske do 2030. godine na temelju referentnog scenarija za 2019. godinu. U sljedećim poglavljima dan je detaljan prikaz ulaznih podataka i pretpostavka prilikom izrade scenarija.

Scenariji i ulazni podaci

U svrhu scenarijske analize, 2019. je uzeta kao referentna godina za analizu i validaciju energetske sustava Republike Hrvatske, kako bi se izbjegle devijacije uzrokovane epidemijom covid-19 i energetske krizom nakon ruske agresije na Ukrajinu. Iako su pomaci od tada već postignuti, scenarij 2019. godine predstavlja kalibracijski korak EnergyPLAN modela, na temelju kojeg se mogu razmatrati i scenariji za 2030. godinu. Kalibracijski korak je nužan kako bi se potvrdila ispravnost modela za daljinu analizu budućih scenarija, uslijed ograničenja alata kao što je agregacija proizvodnih jedinica, spremnika energije i distribucijskih krivulja.

Na temelju referentnog scenarija, napravljena je analiza razvoja energetske sektora do 2030. godine za dva glavna scenarija:

1. NECP scenarij - povećanje udjela obnovljivih izvora energije u bruto neposrednoj potrošnji energije na 42,5%
2. Scenariji 100% OIE - 100% obnovljivih izvora energije u potrošnji električne energije za:
 - a) Proračun otvorenog sustava
 - b) Proračun zatvorenog sustava

U scenarijima 100% OIE opisana je konfiguracija sa 100% obnovljivih izvora energije u potrošnji električne energije. U slučaju zatvorenog sustava za pokrivanje potrošnje također se razmatra i dostupna električna energija iz NE Krško, s naglaskom na potrebu njene zamjene drugim oblicima OIE-a. Dodatno, u scenarijima otvorenog sustava, scenarij 100% OIE u potrošnji električne energije označava i mali udio uvoza električne energije kako bi se u svakom trenutku zadovoljile potrebe sustava iako je godišnja ukupna proizvodnja veća od ukupne potrošnje električne energije, kako se može vidjeti u narednim poglavljima.

Referentni scenarij

Referentni scenarij predstavlja 2019. godinu, za čiju su se izradu koristile dostupne nacionalne³ i europske baze podataka⁴.

Potrošnja energije u referentnom scenariju

Ukupna bruto potrošnja električne energije, definirana u EnergyPLAN modelu, u Hrvatskoj za 2019. godinu iznosi 18,89 TWh. Sastoji se od opće potrošnje električne energije (13,44 TWh) uvećane za iznose električne energije potrebne za električno grijanje i dizalice topline (3,38 TWh), hlađenje (1,80 TWh) te transport (0,27 TWh). Također, zasebno se definira uvoz električne energije, kojem pripada i uvoz iz nuklearne elektrane Krško (6,13 TWh), kako prikazuje Tablica 3. Podaci su preuzeti iz godišnjeg energetskog pregleda Energija u Hrvatskoj 2019. Energetskog instituta Hrvoje Požar [27]. Prekogranični kapaciteti iznose 2900 MW.

Tablica 3. Prikaz potrošnje električne energije u 2019. godini

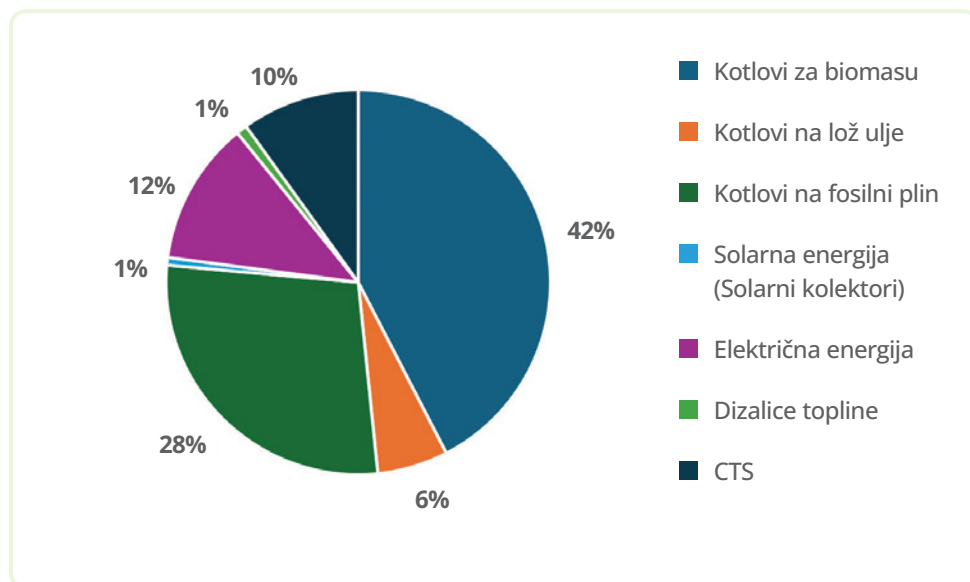
Potrošnja električne energije u EnergyPLAN modelu	TWh/god
Bruto potrošnja električne energije	18,89
Opća potrošnja električne energije	13,44
Električno grijanje i dizalice topline	3,38
Električno hlađenje	1,80
Električna energija za transport	0,27
Uvoz električne energije	(-) 6,13
Ukupno proizvedena električna energija	12,76



³ EIHP, Energija u Hrvatskoj 2019., dostupno na: https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/12/1_Energija_u_Hrvatskoj_2019-compressed-1.pdf

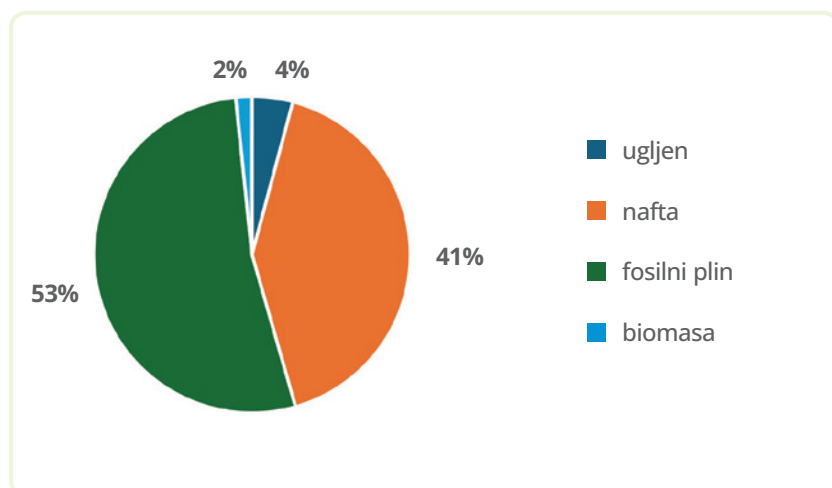
⁴ Eurostat, dostupno na: <https://ec.europa.eu/eurostat/>

Ukupna isporučena toplinska energija u 2019. godini za potrebe grijanja i pripremu potrošne tople vode (PTV) u uslužnom i sektoru kućanstva iznosi 24,5 TWh. Sastoji se od potrošnje za sustave individualnog i centraliziranog toplinskog sustava (CTS), kako prikazuje Slika 4. Za potrebe hlađenja koristilo se 1,8 TWh električne energije [28].



Slika 4. Udjeli u godišnjoj energiji za grijanje i PTV u kućanstvima i uslužnom sektoru za 2019. godinu

Slika 5. prikazuje potrošnju goriva u sektoru industrije, poljoprivredi, ribarstvu, neenergetskoj i potrošnji energije koja je iznosila 22,34 TWh u 2019. godini [29]. Fosilni plin čini najveći udio od 53%, dok najmanji zauzima biomasa s 2%.



Slika 5. Potrošnja goriva u sektoru industrije u TWh

Potrošnja u sektoru transporta iznosi približno 26 TWh, koju čine pretežno fosilna goriva, kako prikazuje Tablica 4. [29].

Tablica 4. Godišnja potrošnja u sektoru transporta u 2019. godini

	Godišnja potrošnja [TWh]
Dizel	18,204
Bioplin	0,728
Benzin/Metanol	5,759
Aviogoriva	0,124
Ukapljeni naftni plin	0,859
Fosilni plin	0,046
Električna energija	0,273

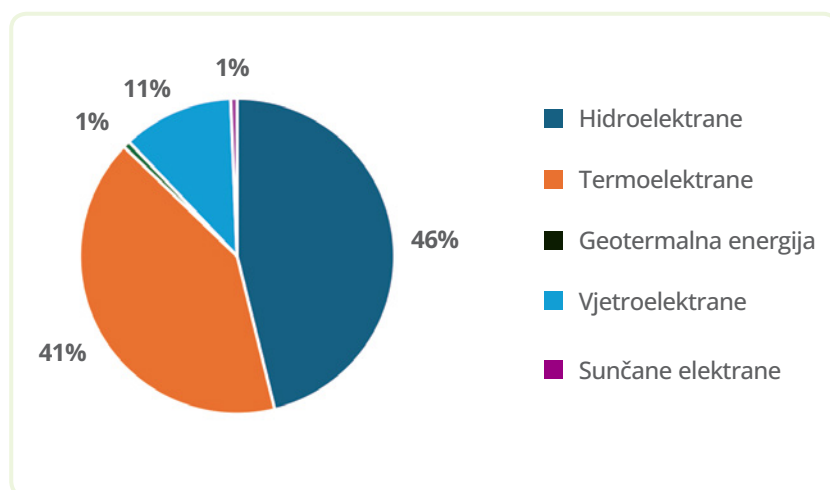
Opskrba energijom u referentnom scenariju

Ukupni instalirani proizvodni kapacitet za proizvodnju električne energije iznosi 4711,8 MW. Od toga se 46,7% odnosi na hidroelektrane i 37,8% na termoelektrane, dok ostatak čine obnovljivi izvori energije, prvenstveno solarne elektrane i vjetroelektrane [27].

Tablica 5. Proizvodni kapaciteti za proizvodnju električne energije u 2019. godini

Kapaciteti za proizvodnju električne energije	Raspoloživa snaga [MW]
Termoelektrane	1781
Vjetroelektrane	646,3
Sunčane elektrane	84,8
Protočne hidroelektrane	405,3
Male hidroelektrane	33,3
Akumulacijske hidroelektrane	1485,7
Crpne hidroelektrane	275,4
Geotermalne elektrane	10

Ukupno je proizvedeno 12,76 TWh električne energije u 2019. godini [27]. Najveći udio čine hidroelektrane s 46%, kako prikazuje Slika 6.



Slika 6. Udio tehnologija u proizvodnji električne energije u 2019. godini

Proračun referentnog scenarija u EnergyPLAN modelu uspoređen je sa statističkim podacima za Republiku Hrvatsku u 2019. godini kako bi se potvrdila ispravnost modeliranja stvarnog stanja sustava.

NECP scenarij

Nacionalni energetske i klimatski plan (NECP) uveden je kao dio Paketa za čistu energiju za sve Europljane koji je Europska komisija usvojila krajem 2018. godine. NECP je strateški dokument koji svaka država članica Europske unije izrađuje u skladu s Uredbom (EU) 2018/1999 o upravljanju energetske unijom i djelovanjem u području klime, s ciljem pružanja jasnog okvira za postizanje nacionalnih ciljeva u pet ključnih dimenzija energetske politike EU-a:

- Energetska sigurnost;
- Unutarnje energetske tržište;
- Energetska učinkovitost;
- Dekarbonizacija;
- Istraživanje, inovacije i konkurentnost.

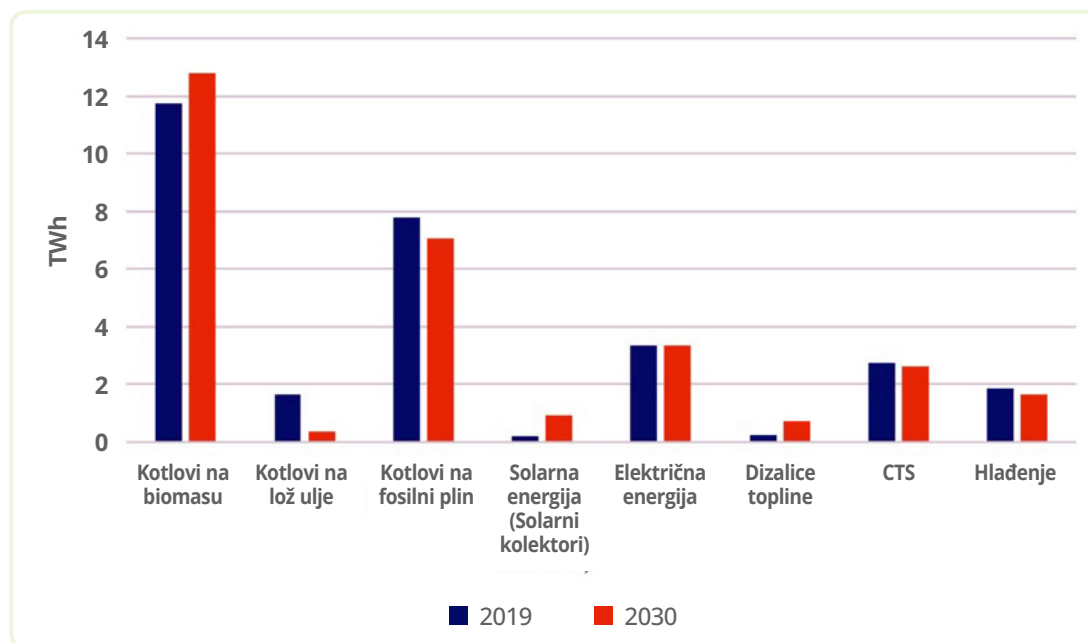
Prvi NECP-ovi podneseni su do kraja 2019. godine, a revidiraju se svakih 5 godina. Prva revizija provedena je 2023. godine s ciljem praćenja napretka i prilagodbe u skladu s ambicijama Europskog zelenog plana i ciljevima za 2030. godinu. NECP scenarij u ovoj analizi prati Nacrt ažuriranog NECP-a, budući da u vrijeme izrade studije konačna verzija još nije bila usvojena. Kako prikazuje Tablica 6., cilj za 2030. godinu je postizanje 73,6% OIE-a u bruto neposrednoj potrošnji električne energije.

Tablica 6. Indikativni nacionalni ciljevi udjela OIE-a do 2030. godine

Udio obnovljivih izvora energije, %	Ostvareno 2021.	Ciljevi 2030.
U bruto neposrednoj potrošnji energije	31,7	42,5
U bruto neposrednoj potrošnji električne energije	53,5	73,6
U bruto neposrednoj potrošnji energije za grijanje i hlađenje	38,0	47,1
U potrošnji energije u prometu	7,1	21,6

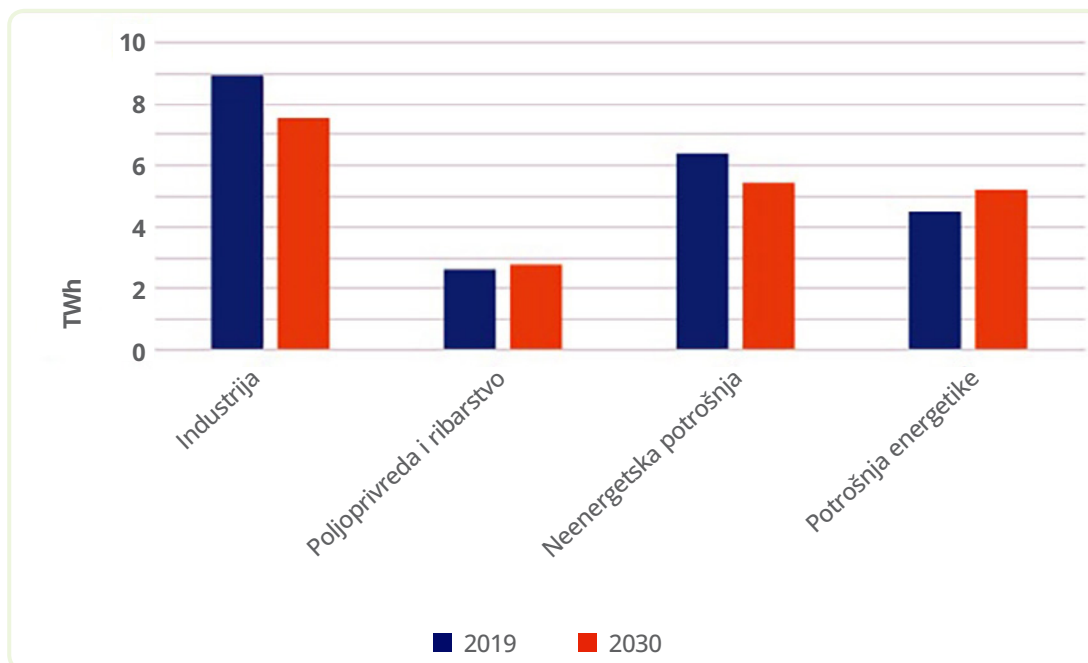
Potrošnja energije u NECP scenariju

U odnosu na referentni scenarij, prema sadašnjoj potrošnji i pokazateljima njenog rasta, analiza pokazuje kako bi godišnja potrošnja električne energije u 2030. godini iznosila oko 22 TWh. Potrebe za grijanjem i pripremom PTV-a smanjuju se na 22,8 TWh, Slika 7., kao i potrebe za hlađenjem uslijed porasta učinkovitosti [28].



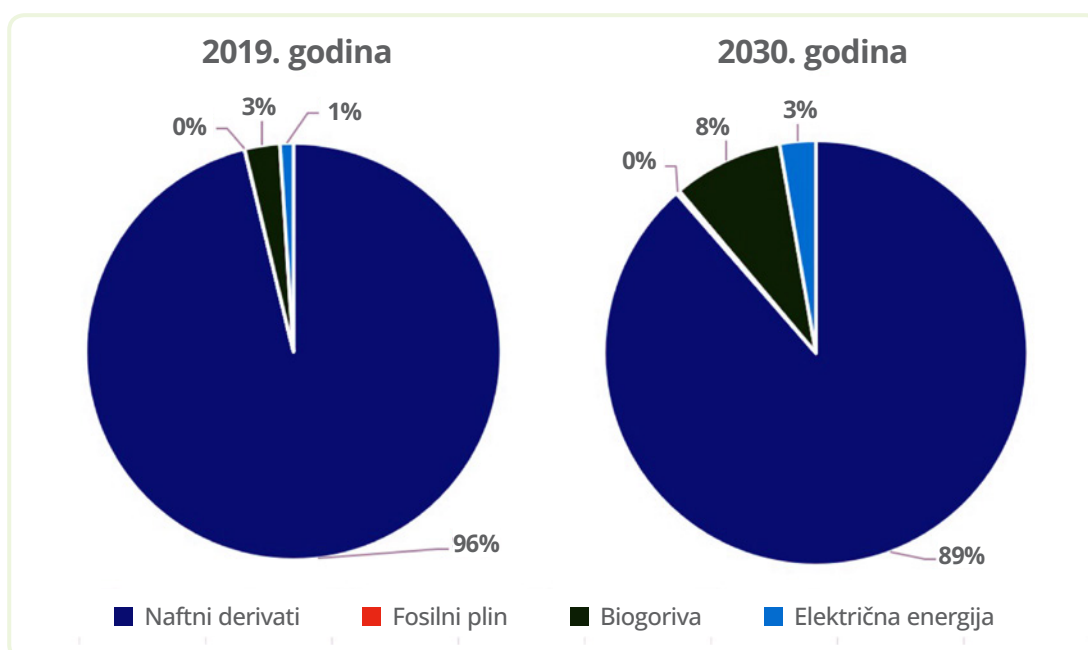
Slika 7. Usporedba potrošnje energije za grijanje i PTV u kućanstvima i uslužnom sektoru u 2019. i 2030. godini

U sektorima industrije, poljoprivrede, ribarstva te neenergetske i potrošnje energetike dolazi do pada potrošnje energije s 22,34 TWh na 20,91 TWh [30]. Slika 8. prikazuje promjene u 2030. u odnosu na 2019. godinu. U potrošnji prevladavaju fosilna goriva, prvenstveno fosilni plin i naftni derivati.



Slika 8. Usporedba potrošnje energije u industriji, poljoprivredi, ribarstvu te neenergetskoj i potrošnji energetike u 2019. i 2030. godini

U sektoru transporta, smanjuje se potrošnja fosilnih goriva, a povećava upotreba biogoriva i električne energije, Slika 9. Ukupna potrošnja smanjuje se s 25,71 TWh u 2019. na 24,73 TWh u 2030. godini.



Slika 9. Usporedba potrošnje energije u transportu u 2019. i 2030. godini

Opskrba energijom u NECP scenariju

Proizvodni kapaciteti za proizvodnju električne energije za 2030. godinu preuzeti su iz NECP-a [30]. Tablica 7. prikazuje usporedbu instaliranih kapaciteta u referentnom i NECP scenariju. Primjećuje se znatan porast obnovljivih izvora energije, prvenstveno solarnih elektrana i vjetroelektrana. Također dolazi do malog povećanja kapaciteta hidroelektrana uslijed revitalizacije i dekomisije elektrana na fosilna goriva. U obzir se i dalje uzima proizvodnja iz nuklearne elektrane Krško. Raspoloživi prekogranični transmisijski kapaciteti rastu na 3200 MW.

Proizvodnja toplinske energije iz CTS-a iznosi 3,68 TWh/god, što uzrokuje povećanje u odnosu na 3,08 TWh/god u referentnom scenariju. Kapacitet kondenzacijske⁵ i protutlačne⁶ kogeneracije za proizvodnju električne energije je 979 MW te je kapacitet od 623 MW namijenjen proizvodnji toplinske energije. Smanjen je ukupni kapacitet termoelektrana u odnosu na referentni scenarij s 565 MW na 245 MW, dok je iznos proizvodnje električne energije iz industrijske kogeneracije ostao nepromijenjen.

Tablica 7. Usporedba kapaciteta za proizvodnju električne energije u 2019. i 2030. godini [MW]

	2019.	2030.
Hidroelektrane	2200	2393
Elektrane na fosilni plin	969,1	1079
Elektrane na loživo ulje	344	0
Elektrane na ugljen	331	210
Elektrane na biomasu	75,5	145
Elektrane na bioplin	51,9	59
Geotermalne elektrane	10	68
Vjetroelektrane	646,3	2562
Solarne elektrane	84,8	960



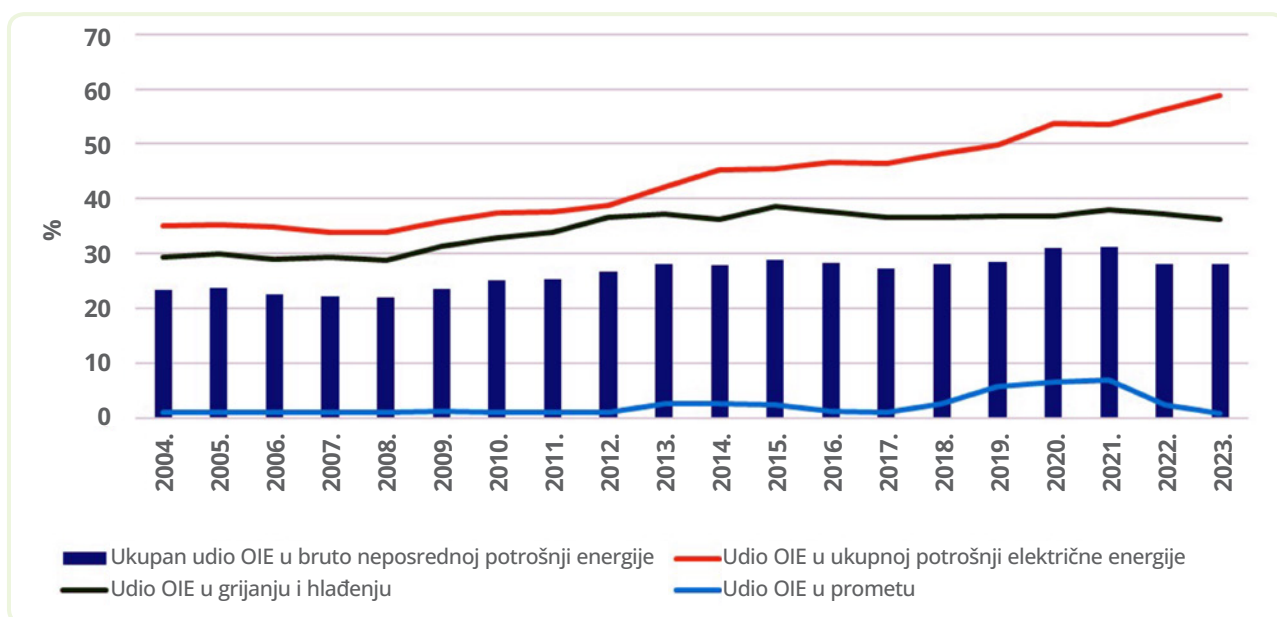
Foto: Paul Langrock / Greenpeace

5 Kogeneracija s kondenzacijskom parnom turbinom: para koja izlazi iz turbine odvodi se u kondenzator gdje kondenzira, a toplina kondenzacije se predaje okolini.

6 Kogeneracija s protutlačnom parnom turbinom: para proizvedena u generatoru pare ekspandira u protutlačnoj turbini do protutlaka te se dalje razvodi u sustav za korištenje toplinske energije.

Scenarij 100% OIE u potrošnji električne energije

Revizija RED II (Renewable Energy Directive II) ili RED III direktiva je revidirana Direktiva o obnovljivim izvorima energije koja je dio zakonodavnog okvira Europske unije s ciljem poticanja korištenja obnovljivih izvora energije. Direktiva dolazi kao odgovor na povećanu potrebu za dekarbonizacijom energetskeg sektora i postizanje klimatskih ciljeva EU-a do 2030. godine. Ona je u skladu s ciljem postizanja klimatski neutralnog EU-a do 2050. godine. Glavna odredba te direktive je povećanje udjela obnovljivih izvora energije na 42,5% u bruto neposrednoj potrošnji energije na razini cijelog EU-a do 2030. godine, s indikativnim ciljem od dodatnih 2,5%, koji bi države članice mogle postići putem dodatnih nacionalnih doprinosa. Kako prikazuje Slika 10., udio OIE-a u bruto neposrednoj potrošnji energije u 2023. godini iznosio je nešto manje od 30% i porast na 42,5% u 2030. godini predstavlja značaj iskorak prema ciljevima klimatske neutralnosti.



Slika 10. Udjeli energije iz OIE-a za Hrvatsku (2004. – 2023.) [31]

RePowerEU je inicijativa Europske unije pokrenuta kao odgovor na energetske krize izazvanu ruskom invazijom na Ukrajinu 2022. godine. Cilj RePowerEU-a je smanjiti ovisnost EU-a o ruskim fosilnim gorivima, povećati energetske sigurnost i ubrzati tranziciju prema čistim, obnovljivim izvorima energije. RePowerEU predstavlja set mjera koji se nadovezuje na postojeće energetske i klimatske politike EU-a, uključujući Europski zeleni plan i direktive poput RED II. Inicijativa predviđa povećanje cilja udjela obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji EU-a na 42,5% do 2030. godine, u odnosu na 32% predviđenih RED II direktivom.

Prema navedenom, RePowerEU i nova revizija Direktive za promicanje energije iz OIE-a traži 42,5% udjela OIE-a u ukupnoj bruto neposrednoj potrošnji energije. Unutar planiranih ciljeva ključnu ulogu imalo bi povećanje kapaciteta solarnih i vjetroelektrana. Prema RePowerEU-u, nova Solarna strategija postavlja cilj od 600 GW instaliranih kapaciteta solarnih elektrana do 2030. godine, dok RED direktiva traži oko 500 GW instaliranih vjetroelektrana u Europskoj uniji.

Osim toga, Greenpeace ne podržava korištenje nuklearne energije ni izgradnju novih nuklearnih postrojenja jer ih smatra neodrživim izvorom električne energije. Međutim, Greenpeace je upoznat s dobivenom do-

zvolom za nastavak rada NE Krško do 2043. i njeno gašenje vjerojatno ne može biti provedeno do 2030. godine, jer je prema postojećim primjerima (primjerice Njemačka) pokazano kako proces dekomisije traje od 5 do 10 godina. Republika Hrvatska, to jest Hrvatska elektroprivreda, ima obvezu preuzimanja polovice energije i snage proizvedene u NE Krško, odnosno 348 MW i 2,78 TWh godišnje. Ove kapacitete moguće je zamijeniti geotermalnim postrojenjima istog instaliranog kapaciteta ili kombinacijom proizvodnje i postrojenjima na biomasu, bioplin i biootpad. Stoga će se u nastavku nuklearna energija uvezena iz NE Krško označavati zvjezdicom (*) kako bi se istaknulo da se želi zamijeniti obnovljivim izvorima.

Ako bi se navedeni ciljevi ostvarivali razmjerno broju stanovnika svake članice EU-a, Republika Hrvatska trebala bi pridonijeti s 5 GW solarnih elektrana i 4,22 GW vjetroelektrana. Uz navedene nove kapacitete i s dosadašnjom proizvodnjom iz elektrana na biomasu, bioplin, geotermalnih i hidroelektrana, Republika Hrvatska mogla bi potpuno zadovoljiti potrebe za električnom energijom iz obnovljivih izvora energije ako bi se gledala bilanca uvoza i izvoza. Međutim, uz varijabilnost obnovljivih izvora energije rastu i potrebe za balansiranjem sustava, što predstavlja i najveći izazov u njihovoj integraciji.

Zbog toga će se u ovom scenariju analizirati sustav 100% OIE u potrošnji električne energije i potrebne veze između elektroenergetskih, toplinskih i plinskih mreža te tehnologija upravljanja potrošnjom i skladištenje. Takav pametni energetska sustav omogućio bi usklađenost s EU politikama do 2030. godine. Iako ovakav korak predstavlja pomak u odnosu na postojeće stanje, ambiciozniji ciljevi su još uvijek nužni za postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine. Kapacitete za proizvodnju električne energije u ovom scenariju, prema navedenim pretpostavkama, prikazuje Tablica 8.

Tablica 8. Kapaciteti za proizvodnju električne energije u 100% OIE scenarijima [MW]

	2030.
Hidroelektrane	2393
Termoelektrane i kogeneracije OIE-a	880
Geotermalne elektrane	68
Vjetroelektrane	4220
Solarne elektrane	5000



Foto: Guillaume Bresson / Greenpeace



REZULTATI ANALIZE

Analiza referentnog scenarija

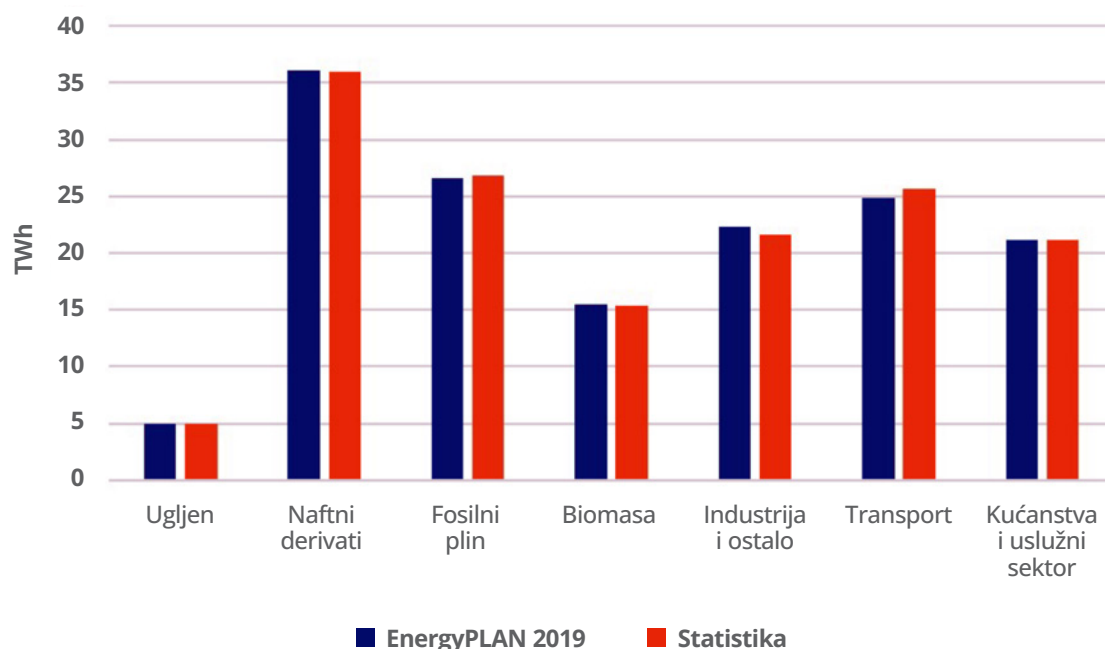
Referentni scenarij 2019. godine korišten je za validaciju i kalibraciju modela. Ključni parametri dobiveni analizom prikazani su u odnosu na podatke iz statističkih baza⁷.

Tablica 9. Usporedba ključnih pokazatelja proračunatih EnergyPLAN modelom za referentni scenarij i objavljenih statističkih podataka za 2019. godinu

	Referentni scenarij - EnergyPLAN	Statistički podaci [4] [6] [8]
Neposredna potrošnja energije [TWh]	80,42	80,26
Udio OIE-a u ukupnoj opskrbi energijom [%]	24,9	24,8
Emisije CO ₂ [Mt]	15,3	15,4

Tablica 9. prikazuje usporedbu ključnih pokazatelja za 2019. godinu u modelu izrađenom u EnergyPLAN-u i podacima iz statističkih baza s povijesnim podacima. Neposredna potrošnja energije razlikuje se za 0,16%, udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije za 0,1% i emisije CO₂ za svega 0,1%. U EnergyPLAN modelu prisutan je nešto veći udio OIE-a u ukupnoj potrošnji, s proizvodnjom električne energije od 8,5 TWh u odnosu na 8,45 TWh prikazanih u statističkom izvještaju Energija u Hrvatskoj [27]. Razlike između ulaznih statističkih podataka i izračunatih podataka u EnergyPLAN-u proizlaze iz načina simulacije sustava i pretpostavki unutar modela te ograničenja sustava. Statistički podaci predstavljaju godišnje agregirane vrijednosti, dok EnergyPLAN koristi satnu razinu simulacije za analizu proizvodnje, potražnje i skladištenja energije. Slika 11. prikazuje usporedbu sektorske potrošnje i potrošnje po gorivima u 2019. godini. Male razlike se primjećuju u sektoru transporta i industrije, dok ostale kategorije imaju zanemarive razlike.

⁷ Energetski institut Hrvoje Požar: "Energija u Hrvatskoj 2019."; Eurostat: "Complete energy balances"; Ministarstvo gospodarstva i održivog razvoja: "Izvešće o inventaru stakleničkih plinova na području Republike Hrvatske za razdoblje 1990.-2019. NIR 2021"



Slika 11. Usporedba sektorske potrošnje i potrošnje po gorivima u 2019. godini

Iz priloženog može se zaključiti da model vjerodostojno replicira energetske sustav Republike Hrvatske u 2019. godini i može se razmatrati za daljnje analize.

Analiza NECP scenarija

NECP scenarij rađen je prema Nacrtu ažuriranog Integriranog nacionalnog energetskeg i klimatskog plana [30]. Na temelju referentnog scenarija i podataka dostupnih u NECP-u, modeliran je scenarij za 2030. godinu u EnergyPLAN-u. Tablica 10. prikazuje ključne pokazatelje NECP scenarija u EnergyPLAN modelu, gdje se proizvelo 17,4 TWh električne energije iz OIE-a, što čini ukupno 78,1% ukupne potrošnje u 2030. godini. Ukupna potrošnja energije iznosi 94,25 TWh, što odgovara okvirnim ciljevima iz NECP-a od 94,7 TWh.

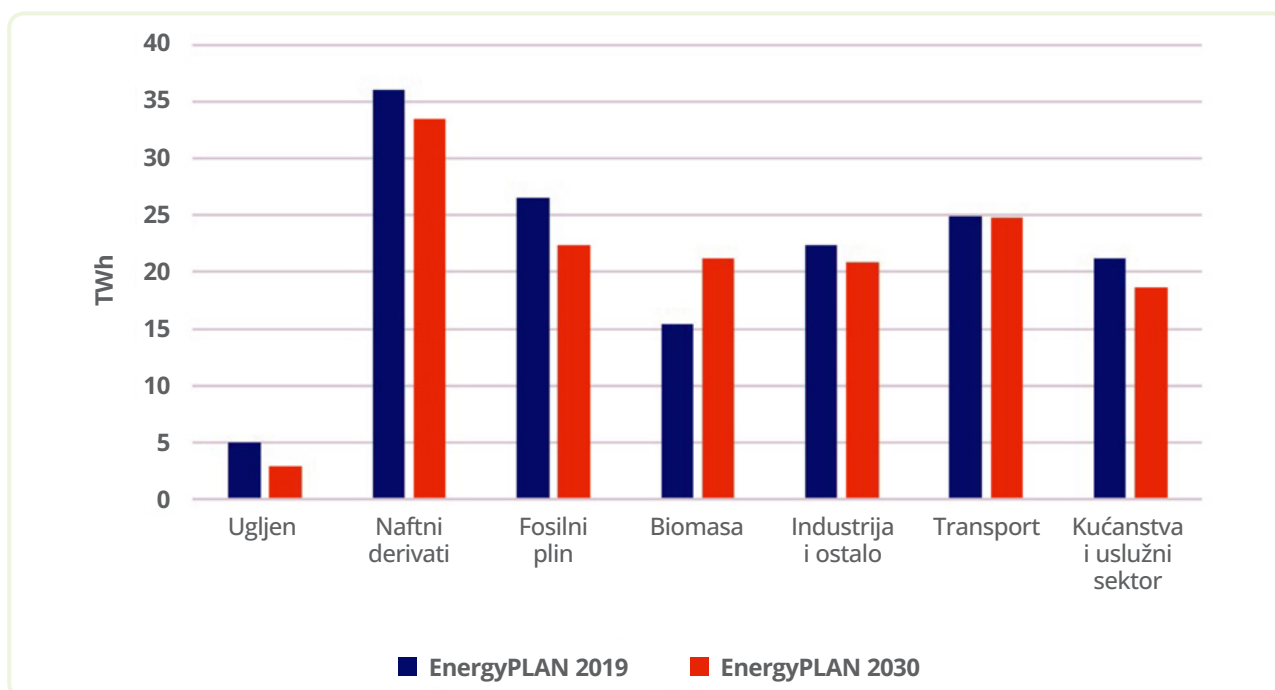
Tablica 10. Ključni pokazatelji proračunati u NECP scenariju

	NECP scenarij - EnergyPLAN
Ukupna potrošnja energije [TWh]	94,25
Udio OIE-a u ukupnoj potrošnji energije [%]	37,6
Emisije CO ₂ [Mt]	14,1
Električna energija proizvedena iz OIE-a [TWh]	17,4
Udio električne energije iz OIE-a [%]	78,1

Za potrebe balansiranja sustava, uz postojeće kapacitete reverzibilnih elektrana u Hrvatskoj, koristila su se i električna vozila, odnosno princip „od vozila do mreže“, eng. „vehicle-to-grid“. Ta tehnologija omogućuje električnim vozilima da, osim što imaju ulogu potrošača, imaju i ulogu proizvođača električne energije tako da je pohranjuju i vraćaju u mrežu kada je potrebno. Na temelju signala iz mreže, baterija se može puniti i prazniti, ovisno o potrebama sustava u tom trenutku. Time električna vozila kroz pomoćne usluge postaju aktivni sudionici u elektroenergetskom sustavu i tako doprinose stabilizaciji mreže i smanjenju vršnih opterećenja. Budući da je prosječni automobil parkiran većinu vremena, prednost ove tehnologije vidjela bi se i kod potrošača i operatora mreže. U NECP scenariju je pretpostavljen udio od 10% električnih vozila u voznom parku registriranih cestovnih vozila. S prosječnom učinkovitosti od 5 km/kWh, ukupna potrošnja električne energije u sektoru transporta u ovom scenariju iznosila je 0,73 TWh. U analizi je uzeta prosječna vrijednost od 7 MW za priključak na mrežu i 50 kWh spremnika energije po vozilu.

Slika 12. prikazuje usporedbu u potrošnji goriva i sektorskoj potrošnji u EnergyPLAN-u za referentni i NECP scenarij.

Primjećuje se pad u svim kategorijama, osim u potrošnji biomase koja raste za 5,5 TWh.



Slika 12. Usporedba sektorske potrošnje i potrošnje po gorivima u referentnom 2019. scenariju i NECP 2030. scenariju



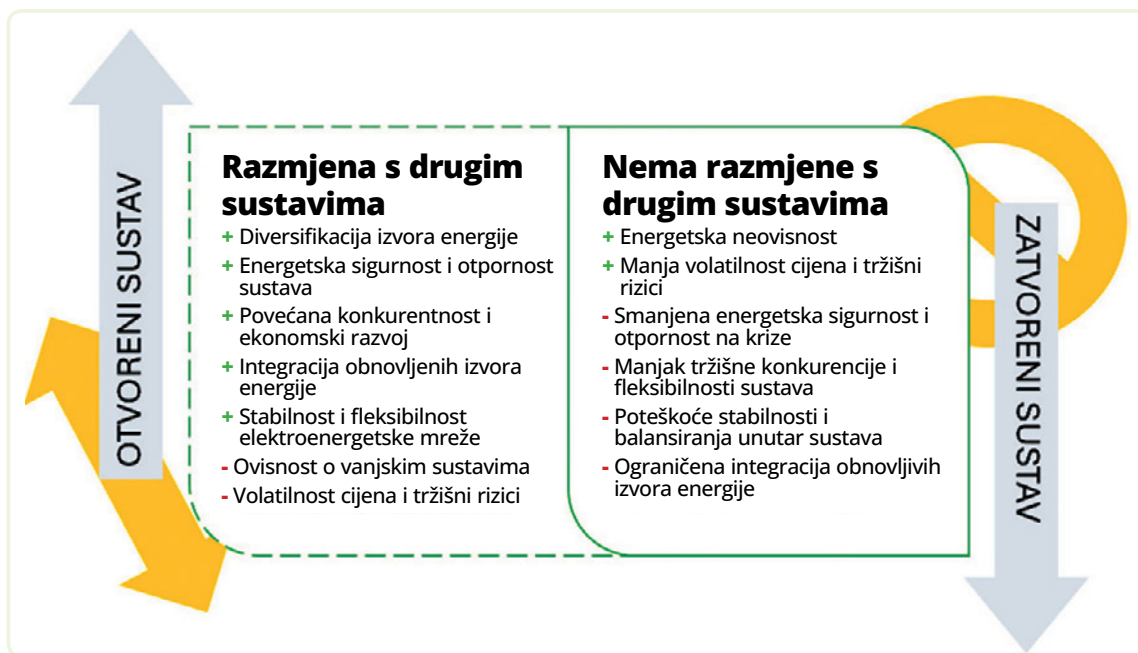
Foto: Ivan Šejić / Greenpeace

Analiza scenarija 100% OIE u potrošnji električne energije

Scenarij 100% OIE u potrošnji električne energije izrađen je za dva slučaja:

- Otvoreni elektroenergetski sustav
- Zatvoreni elektroenergetski sustav

Otvoreni elektroenergetski sustav ima mogućnost uvoza i izvoza električne energije upotrebom prekograničnih transmisijskih kapaciteta za koji u 2030. tržišno raspoloživ kapacitet iznosi 3200 MW, dok se u drugom slučaju promatrala situacija bez dostupnih kapaciteta kako bi se analizirala samodostatnost sustava bez prekomjernog “viška kritično proizvedene električne energije” koja se ne može iskoristiti. Scenarij s otvorenim elektroenergetskim sustavom je relevantan kao primjer stvarnog sustava povezanog s međunarodnom mrežom. S druge strane, zatvoreni sustav predstavlja slučaj scenarija gdje se istražuje mogućnost energetske neovisnosti i samodostatnosti iz lokalnih obnovljivih izvora energije. U tom slučaju, bez mogućnosti uvoza i izvoza, zahtjevi za balansiranjem ponude i potražnje sustava ovise o tehnologijama skladištenja, fleksibilnosti na strani potražnje i sektorskom povezivanju.



Slika 13. Karakteristike otvorenog i zatvorenog elektroenergetskog sustava

Otvoreni sustav 100% OIE u potrošnji električne energije

U scenariju se postigla potpuna proizvodnja električne energije iz OIE-a. Za potrebe balansiranja sustava, uz postojeće kapacitete reverzibilnih hidroelektrana i prekograničnih kapaciteta, udio električnih vozila koji sudjeluju u balansiranju mreže povećao se na 14,5%. Osim električnih vozila, u analizu su uključeni baterijski spremnici kumulativnog kapaciteta 1,6 GWh. Zbog mogućnosti uvoza i izvoza, nema velikih potreba za naprednim rješenjima balansiranja i skladištenja električne energije, već se koristi dostupna mreža kako bi se osigurala dostatnost proizvodnje bez neiskorištenih viškova proizvedene električne energije. Stoga udio električne energije iz OIE-a u ukupnoj potrošnji iznosi i više od 100%, kako prikazuje Tablica 11.

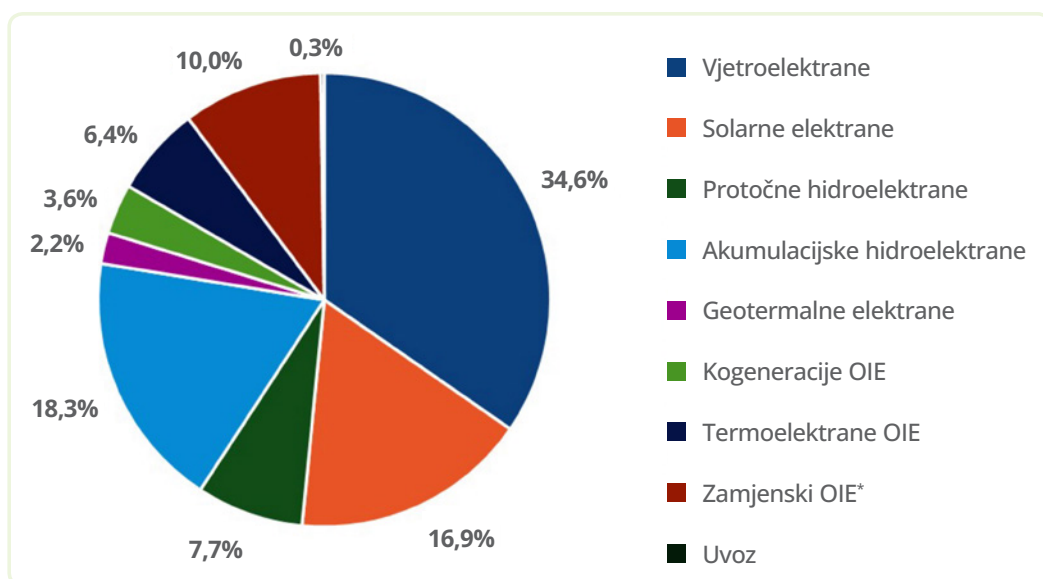
Tablica 11. Ključni pokazatelji u scenariju otvorenog sustava 100% OIE u potrošnji električne energije

	100% OIE otvoreni sustav - EnergyPLAN
Ukupna potrošnja energije [TWh]	87,45
Udio OIE-a u ukupnoj potrošnji energije [%]	48,6
Emisije CO ₂ [Mt]	10,9
Električna energija proizvedena iz OIE-a [TWh]	24,86
Udio električne energije iz OIE-a [%]	109,5

U ovom scenariju primjećuje se pad ukupne potrošnje energije u odnosu na 2030. godinu u NECP scenariju jer se proizvodnja termoelektrana na fosilna goriva zamjenjuje proizvodnjom iz obnovljivih izvora energije. Nadalje, provodi se elektrifikacija sustava kako bi se iskoristio potencijal obnovljivih izvora energije i istovremeno omogućila fleksibilnost sustava. U sektoru grijanja dolazi do zamjene klasičnih kotlova na fosilna goriva, prvenstveno na lož ulje i fosilni plin, električnim kotlovima i dizalicama topline koje daju više toplinske energije za količinu električne energije koju koriste za svoj rad. Nadalje, penetracijom električnih vozila dolazi do manje potrošnje energije za istu ukupno prijeđenu udaljenost jer električna vozila imaju veću učinkovitost od vozila s motorom na unutarnje izgaranje.

Dodavanjem novih kapaciteta raste proizvodnja i udio obnovljivih izvora energije u sustavu s ukupno 5 GW solarnih elektrana i 4,22 GW vjetroelektrana. Kako prikazuje Slika 14., vjetroelektrane i solarne elektrane dominiraju u udjelu raspoložive električne energije u scenariju otvorenog sustava za 2030. godinu.

Ukupna proizvodnja iznosi 24,86 TWh godišnje, dok je ukupna potražnja 22 TWh. Također, u izračunu je uzeta konzervativnija proizvodnja iz hidroelektrana gdje, ovisno o sušnoj ili vlažnoj godini, može iznositi od 5,5 do 10 TWh godišnje. U ovim scenarijima 100% OIE ukupno proizvedena električna energija iz hidroelektrana iznosi 7,2 TWh godišnje. Osim proizvodnje unutar sustava, na raspolaganju je i uvoz od 0,07 TWh godišnje te 2,77 TWh iz NE Krško. U ovom scenariju otvorenog sustava omogućen je i izvoz električne energije koji iznosi 3,62 TWh godišnje.



Slika 14. Raspoloživa električna energija u scenariju otvorenog sustava u 2030. godini

Zatvoreni sustav 100% OIE u potrošnji električne energije

Zatvoreni sustav nema mogućnosti uvoza i izvoza električne energije iz ostalih sustava i balansiranje se mora samostalno zadovoljiti u traženom vremenskom periodu, uz zadovoljavanje uvjeta od 5% "viška proizvedene električne energije" koja se ne može iskoristiti.

Tablica 12. pokazuje ključne parametre scenarija zatvorenog sustava, u kojem je postignut udio od 100% proizvedene električne energije iz OIE-a. Za potrebe balansiranja sustava dodatno su se povećali baterijski spremnici na kapacitet 6 GWh. Dodatno, udio električnih vozila povećava se na 26,9% u potrošnji energije u sektoru transporta. Kao mjera upravljanja potrošnjom, engl. „demand response“, koja potrošačima električne energije omogućuje da svoju energetska potrošnju prilagode zahtjevima na mreži, uvodi se da je 0,5 TWh moguće učiniti fleksibilnim na jedan dan. Ona označuje godišnju potrošnju slobodno raspoređenu tijekom 24-satnog razdoblja prema stvarnoj ravnoteži potrošnje i proizvodnje električne energije. Konačno, u sustavu grijanja, dizalice topline i električno grijanje sudjeluju u uravnoteženju sustava te u interakciji s drugim tehnologijama omogućuju uravnoteženje sustava, bez mogućnosti razmjene električne energije s okolnim sustavima, uz potpunu proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije.

Tablica 12. Ključni pokazatelji u scenariju zatvorenog sustava 100% OIE u potrošnji električne energije

	100% OIE otvoreni sustav - EnergyPLAN
Ukupna potrošnja energije [TWh]	79,29
Udio OIE-a u ukupnoj potrošnji energije [%]	52,5
Emisije CO ₂ [Mt]	9,2
Električna energija proizvedena iz OIE-a [TWh]	24,06
Udio električne energije iz OIE-a [%]	100,6

Usporedba rezultata scenarijske analize sa sadašnjim stanjem

Prema statističkom izvješću Energija u Hrvatskoj za 2023. godinu Energetskog instituta Hrvoje Požar [32], neposredna potrošnja energije iznosila je 80,53 TWh s udjelom obnovljivih izvora energije od 28,1%, Tablica 13. Analizom u EnergyPLAN-u za NECP scenarij postigao se indikativni cilj od 45% udjela OIE-a u bruto neposrednoj potrošnji energije prema ažuriranoj verziji Direktive o obnovljivim izvorima energije Europske unije, tzv. RED III direktiva, koja je donesena u rujnu 2023. godine.

U scenarijima 100% OIE, električna energija proizvodi se isključivo iz obnovljivih izvora, čime se povećava udio OIE-a u neposrednoj potrošnji energije na 59% u scenariju s otvorenim sustavom i 62,9% u scenariju sa zatvorenim sustavom.

Tablica 13. Usporedba ključnih pokazatelja statističkih podataka sadašnjeg stanja s rezultatima scenarijske analize

	Statistički podaci			Rezultati scenarijske analize		
	2019. godina	2023. godina	Draft NECP-a	NECP scenarij	100% OIE - otvoreni sustav	100% OIE - zatvoreni sustav
Neposredna potrošnja energije [TWh]	80,26	80,53	76,2	78,81	72,08	66,31
Udio OIE-a u neposrednoj potrošnji energije [%]	24,2	28,1	42,5	45	59	62,9
Emisije CO ₂ [Mt]	15,48	16,73	13,3	14,20	10,92	9,24
Električna energija proizvedena iz OIE-a [TWh]	8,45	12,31	16,3	17,41	24,86	24,06
Udio električne energije iz OIE-a u proizvodnji električne energije [%]	66,2	63,7	73,6	78,1	109,5	101

Razlike u proizvodnim kapacitetima u 2019. i 2023. godini i scenarijima za 2030. godinu prikazuje Tablica 14. Do porasta instalirane snage hidroelektrana u NECP scenariju, u odnosu na trenutno stanje, dolazi revitalizacijom postojećih postrojenja. Također, iako se NECP-om predviđa porast obnovljivih izvora energije, promjene ne prate potencijal Republike Hrvatske i europske ciljeve. Stoga, u OIE scenarijima najveća promjena je u novim kapacitetima solarnih elektrana i vjetroelektrana koje bi činile više od 73% ukupno instaliranih kapaciteta.

Tablica 14. Usporedba proizvodnih kapaciteta trenutnog stanja sa scenarijskim analizama

	2019. godina	2023. godina	2030. NECP	2030. 100% OIE
Hidroelektrane [MW]	2200	2189,9	2393	2393
Termoelektrane na fosilna goriva [MW]	1644,1	1496,8	1289	0**
Termoelektrane na OIE [MW]	127,4	154,9	204	880
Geotermalne elektrane [MW]	10	10	68	68
Vjetroelektrane [MW]	646,3	1160,2	2562	4220
Solarne elektrane [MW]	84,8	474,9	960	5000
UKUPNO [MW]	4712,6	5486,7	7476	12.561

** Zbog proračuna u EnergyPLAN modelu termoelektrane na fosilna goriva su svedene na 0 MW, što ne znači da se postojeće kogeneracije zatvaraju, već je njihov prelazak moguć na biogoriva, biometan, bioplin, sintetički zeleni metan ili biomasu. Dio tih kapaciteta prikazan je u liniji Termoelektrane na OIE.

Jednostavna ekonomska analiza

EnergyPLAN model može izraditi detaljnu analizu različitih troškova scenarija, ali kako to uključuje svu instaliranu opremu, fiksne i varijabilne troškove vođenja i održavanja i drugo, zbog jednostavnosti prikaza napravljen je samo jednostavan socio-ekonomski proračun za glavne komponente i prikazane su samo glavne uštede u usporedbi s 2019., odnosno 2023. godinom ako se promatraju samo troškovi emisija stakleničkih plinova.

Troškovi novoizgrađenih postrojenja i podmorskih vodova/odnosno ojačanja prekograničnih kapaciteta mreže do 2030. procijenjeni su na 12.182.730.000 eura (12,2 milijarde), što predstavlja pozamašan iznos, ali ako bi se on financirao komercijalnim kreditima po kamatnoj stopi od 5% i uz rok otplate od 25 godina, godišnja rata iznosila bi 864.395.000 eura (864 milijuna).

S druge strane, uštede na emisijama stakleničkih plinova samo za proizvodnju električne energije, ako se uzme 2023. za referentnu godinu (83 EUR/tCO₂), bile bi 198 milijuna eura u 2030.

Nadalje, uštede na trošku goriva za proizvodnju električne energije procijenjene su na 231.208.000 eura u 2030., a kad bi se u obzir uzela ostvarena dobit od neto izvezeno električne energije, to bi bilo dodatnih 360 milijuna eura.

Dakle, samo u sektoru proizvodnje električne energije gotovo bi se godišnjim uštedama i izvozom nadoknadio godišnja rata potrebna za izgradnju postrojenja, što ih čini financijski isplativim po komercijalnim uvjetima. Dodatne uštede se ostvaruju korištenjem električne energije za proizvodnju toplinske energije te manjem korištenju fosilnog plina ovisno o scenariju, od 58 do 102 milijuna eura. Tomu se mogu pridodati i uštede smanjenog korištenja fosilnih goriva zbog elektrifikacije transporta koje se kreću od 373 do 850 milijuna eura, ovisno o scenariju. Iako su uštede od korištenja električne energije ostvaruju i u sektoru toplinarstva i proizvodnje topline te transportu, one bi se trebale koristiti za pokrivanje investicijskog troška u tim sektorima, odnosno za instalacije dizalica topline, nabavu električnih vozila, punionica i sl.

Valja napomenuti da su prema statističkim podacima HNB-a, na kraju prosinca 2024. depoziti kućanstava iznosili 39,6 mlrd. eura, nefinancijskih društava 17,1 mlrd. eura, a opće države 6,2 mlrd. eura [33].

Mudrim rasporedom ova sredstva mogla bi biti iskorištena za izdavanje obveznica ili osnivanje fondova potrebnih za kreditiranje investicija uz donošenje većih prinosa vlasnicima od onih koje osiguravaju banke. Konkretno se može zaključiti da bi otvoreni sustav 2030. godine dugoročnim zaduživanjem mogao zaista sam sebe isplatiti, uz višestruke koristi za društvo.



Foto: Oleksandr Popenko / Greenpeace

DISKUSIJA I PREPORUKE

Elektroenergetska mreža

Kada je riječ o tehničkim i tehnološkim elementima, u ostvarenju scenarija 100% OIE ne bi trebalo biti problema, ali valja imati na umu da je u EnergyPLAN-u cijeli energetska sustav proračunat kao jedna točka, odnosno bez internih zagušenja u vodovima. Stanje na terenu pokazuje da je elektroenergetska mreža u Hrvatskoj kritična u pravcu sjever-jug, odnosno problem je u prijenosu kroz Liku prema Dalmaciji. Međutim, hrvatski elektroenergetski sustav (EES) dio je puno šireg prstena koji uz zemlje EU-a, Sloveniju i Mađarsku čine BiH i Srbija te će se planiranom integracijom tržišta kroz Energetsku zajednicu i pristupanje EU-u sigurno otvoriti i novi tržišno dostupni prijenosni kapaciteti u regiji. Analiza mreže za prihvata OIE-a rađena je u studiji OIE RH [34] koja pokazuje na koji način i kojim financijskim mehanizmima se može potaknuti izgradnja mreže i priključenje novih kapaciteta OIE-a.

Detaljnim financijskim i tehničkim proračunom EES-a može se analizirati na kojim lokacijama se očekuje priključenje određenog kapaciteta OIE-a i kako bi se mreža mogla prilagoditi tim količinama. Primjerice, brzo udvostručenje kapaciteta postojećih prijenosnih vodova je izvedivo jer su trase dalekovoda definirane pa bi samo trebalo postaviti jače nosače ili veće količine modernijih vodiča. Ovakvu zamjenu teško je provesti u sustavu u kojemu nije osiguran uvjet N-1, odnosno nema zamjenskog prijenosnog voda koji bi održavao sustav dok je drugi u remontu. Zato bi se trebala proračunati mogućnost izgradnje zamjenskog podmorskog voda na relaciji Zadar - Ancona ili eventualno podmorskog kabela koji bi povezivao hrvatski EES iz Dalmacije s pučinskim vjetroelektranama u Jadranu i talijanskim EES-om. Ovo rješenje bilo bi brzo izvedivo jer je polaganje podmorskih kabela u plićem moru zbog imovinsko-pravnih odnosa i vizualne degradacije okoliša jednostavnije od gradnje novih zemaljskih vodova, a mogla bi se koristiti tehnologija visokonaponskog prijenosa istosmjernje struje (HVDC).

Preporuka 1. Nadležnim tijelima (Vlada, Sabor, HOPS i HERA) - Potrebno je izraditi detaljnu tehno-ekonomsku analizu proširenja prijenosne mreže elektroenergetskog sustava RH s analizom dostupnih lokacija za OIE-e i skladištenja energije (baterijski sustavi, reverzibilne hidroelektrane itd.); odabrati rješenja i odrediti prioritete. Polazište može biti Akcijski plan za potrebna pojačanja elektroenergetske mreže u cilju integracije obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj, EBRD, prosinac 2021., [34].

Izrada studije do kraja 2025. → odabir rješenja i financiranja 2026. → projektiranje i ishođenje dozvola 2027. → odabir izvođača i gradnja 2027. - 2030.

Preporuka 2. (HOPS-u i Vladi) - Ojačanje postojećih vodova jačim nosačima i većim brojem vodiča zbog povećanja prijenosnog kapaciteta.

Odabir i financiranje 2025. → projektiranje i dozvole 2026. → odabir izvođača i gradnja 2027. - 2030.

Preporuka 3. (HOPS-u, Vladi, AZU-u) - Izgradnja HVDC kabela za povezivanje hrvatskog i talijanskog EES-a u kombinaciji s pučinskim vjetroelektranama.

Analiza 2025. - 2026. → odabir lokacije, financiranje i projektiranje, ugovaranje 2027. → odabir izvođača i studije, dozvole 2027. → izgradnja 2028. - 2030.

Energija u rukama građana

Brža integracija solarnih elektrana mogla bi se osigurati ako bi one bile integrirane u zgrade ili izgrađene objekte u gradovima i naseljima. Proizvodnja na mjestu potrošnje može dovesti do smanjenja potrebe za prijenosnom mrežom, a pohrana viškova ili nadoknađivanje manjkova osigurava se izgradnjom pametnog energetskeg sustava koji integrira sve proizvođače, potrošače i one koji imaju obje funkcije kroz različite energetske i druge sustave kao što su vodovod, transport i telekomunikacije. Tu se stavlja velik naglasak na energetske učinkovitost i skladištenje energije, ali i na demokratizaciju energetskeg sustava i zajednička ulaganja i dijeljenje energije u zajednici.

Energetske zajednice, zajednice obnovljive energije, energetske zadruge, aktivni kupci i agregatori novi su dionici na tržištu energije koji kroz pametne energetske sustave preuzimaju vođenje i financijsku optimizaciju, ali daju i dugoročnu sigurnost u opskrbi energije osiguravajući višestruke koristi lokalnoj zajednici. Zbog politike EU-a koja izuzetno potiče ove oblike udruživanja i izgradnje postrojenja OIE-a, potrebno je da HERA, HEP, HROTE, HOPS, a naposljetku i Sabor donesu jasnu politiku o brzom implementaciji građanske energije.

Preporuka 4. (Vladi, Saboru, HERA-i) - Prema dokumentu „Energetske zajednice u Hrvatskoj - preporuke temeljene na adresiranim barijerama iz prakse” [35] pokrenuti sveobuhvatne izmjene Zakona o tržištu električne energije i Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, kao i povezanih pravilnika i propisa te ih uskladiti s izmijenjenom Direktivom za promicanje energije iz obnovljivih izvora, tzv. RED III (Directive EU/2023/2413)⁸. Direktiva posebno ističe važnost promicanja energetskeg zajednica u sektorima vjetroelektrana na moru te daljinskog grijanja i hlađenja. Kako bi se ubrzala integracija obnovljivih izvora energije u zgrade, preporučuje se poticanje suradnje energetskeg zajednica s lokalnim vlastima putem javne nabave. U svibnju 2024. godine Europska komisija usvojila je preporuke i smjernice o izdavanju dozvola i sheme potpora za obnovljive izvore energije, pozivajući nacionalne vlade na pojednostavljenje postupaka izdavanja dozvola i smanjenje zahtjeva (uključujući priključenje na elektroenergetsku mrežu) za energetske zajednice (C/2022/3219)⁹, (SWD/2022/149)¹⁰, (EU/2024/223)¹¹, (EU/2024/1343)¹², (SWD/2024/124)¹³. U proces uključiti sve relevantne dionike poput Zelene energetske zadruge (ZEZ), HEP-a, EIHP-a, akademске zajednice, nevladinih udruga i dr.

Preporuka 5. (gradovima i općinama) - Uspostaviti savez gradova i općina za građansku energiju i zelenu tranziciju.

Ubrzana solarizacija gradova i naselja bit će moguća samo organiziranjem građana u energetske zajednice putem energetskeg zadruga, udruga ili drugih oblika organizacije koje će omogućiti udruživanje i zajednički

⁸ Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023L2413>

⁹ Commission Recommendation C/2022/3219 of 18 May 2022 on speeding up permit-granting procedures for renewable energy projects and facilitating Power Purchase Agreements, [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=intcom:C\(2022\)3219](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=intcom:C(2022)3219)

¹⁰ Commission Staff Working Document SWD/2022/0149 of 18 May 2022 on Guidance to Member States on good practices to speed up permit-granting procedures for renewable energy projects and on facilitating Power Purchase Agreements Accompanying the document Commission Recommendation on speeding up permit-granting procedures for renewable energy projects and facilitating Power Purchase Agreements, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52022SC0149>

¹¹ Council Regulation (EU) 2024/223 of 22 December 2023 amending Regulation (EU) 2022/2577 laying down a framework to accelerate the deployment of renewable energy, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/223/oj/eng>

¹² Commission Recommendation (EU) 2024/1343 of 13 May 2024 on speeding up permit-granting procedures for renewable energy and related infrastructure projects, <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2024/1343/oj/eng>

¹³ Commission Staff Working Document of 13 May 2024 on Guidance to Member States on good practices to speed up permit-granting procedures for renewable energy and related infrastructure projects, https://energy.ec.europa.eu/publications/recommendation-and-guidance-speeding-permit-granting-renewable-energy-and-related-infrastructure_en



Foto: ESG films - ZEZ

nastup s javnom upravom u raspisivanju natječaja za masovnu solarizaciju. Ovime se postiže minimalna cijena i maksimalna učinkovitost resursa, a poželjno je uključivati i kombinirati mjere solarizacije s mjerama energetske učinkovitosti.

U proces uključiti sve relevantne dionike, ponajprije Udrugu gradova i Hrvatsku zajednicu općina, Forum energetskih zajednica u Hrvatskoj, Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost (FZOEU) i dr.

2026. → osnivanje saveza gradova za promicanje energetskih zajednica, građanske energije i energetske tranzicije - okrupnjavanje inicijativa, npr. po uzoru na Forum energetskih zajednica u Hrvatskoj¹⁴ osnovan 2024., kako bi se provela ubrzana energetska tranzicija u gradovima.

Preporuka 6. (Vladi, Saboru, FZOEU-a, uz uključivanje HBOR-a, EIB-a, EBRD-a) - Promjene zakona.

2025. Poticaji za osnivanje energetskih zajednica i zadruga putem PV-ESCO modela → osnivanje fonda za garanciju kreditiranja energetskih zajednica, energetskih zadruga i građanske energije

Preporuka 7. Kako bi se aktivirala štednja koja je veća od 60 milijardi eura i ponudili građanima bolji uvjeti, trebalo bi izdavati obveznice za 100% obnovljivu Hrvatsku ili slične financijske mehanizme.

Preporuka 8. (Vladi, FZOEU-u, HROTE-u): Pokretanje i financiranje kampanje za 1000 MW „solara“ u energetskim zajednicama.

2026. → Putem uspostavljenog saveza gradova pokrenuti masovnu solarizaciju: 1000 MW solara na krovovima u energetskim zajednicama

¹⁴ Forum energetskih zajednica u Hrvatskoj, <https://www.zez.coop/forum-energetskih-zajednica/>

Istraživanja i inovacije

U pogledu proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora pojačana istraživanja mogu se očekivati na razini integracije OIE-a u sustav, primjerice razvojem pametnih energetskih sustava i istraživanjem spona te razvojem opreme i tehnologije za povezivanje raznih sektora (vodovoda i električne energije kroz reverzibilne pumpe/elektrane, desalinizacijska postrojenja, sustave obrane od poplave i sl.).

Postizanje stopostotne proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj donijelo bi višestruku korist. U prvom redu, Hrvatska bi se u EU-u i svijetu istaknula visoko postavljenim ciljevima koji podrazumijevaju velik inovacijski potencijal. Domaće industrijske tvrtke pritom proizvode dio potrebne opreme te razvijaju i prodaju razna digitalna rješenja. Također, svi proizvodi izrađeni u Hrvatskoj mogli bi istaknuti da su proizvedeni čistom električnom energijom bez emisija stakleničkih plinova, što bi im dalo dodatnu vidljivost i prepoznatljivost.

Poput brojnih članica Europske unije, Hrvatska je propustila značajnu priliku za ubrzanje zelene energetske tranzicije i vezanih inovacijskih procesa, kao i razvoj poduzetništva kroz učinkovito povezivanje različitih fondova Europske unije. Iako su sredstva iz strukturnih i kohezijskih fondova bila dostupna, njihovo korištenje nije bilo dovoljno usmjereno na razvoj inovativnih rješenja za energetske tranziciju i stvaranje preduvjeta za dugoročan rast i razvoj.

Jedan od ključnih problema je u nedovoljnom povezivanju različitih fondova EU-a. Umjesto integriranog pristupa koji bi omogućio sinergiju strukturnih i kohezijskih fondova te programa poput Obzora Europa, projekti se često realiziraju izolirano. To je dovelo do toga da su se sredstva za obnovu infrastrukture vrlo često koristila za osnovnu namjenu, bez dovoljnog naglaska na zelenu energetske tranziciju, inovacije i digitalizaciju. Moglo bi se zaključiti da je u zadnje dvije dekade Hrvatska izgubila priliku postati lider u pojedinim područjima u kojima smo bili prepoznatljivi u svijetu, što se može ilustrirati primjerom brodogradnje i elektrifikacije pomorskog transporta. U ovom sektoru postojali su vizija i potencijal za razvoj novih tehnologija i usluga, a sredstva koja su bila namijenjena za modernizaciju flota i razvoj infrastrukture nisu učinkovito iskorištena, što je usporilo proces tranzicije i smanjilo konkurentnost hrvatskog gospodarstva.

Nedostatak povezivanja različitih aktera u inovacijskom procesu, poput znanstvenih institucija, poduzeća i javnog sektora te blokiranje izdavanja dozvola za gradnju postrojenja OIE-a usporili su razvoj inovacijskog ekosustava i smanjili sposobnost Hrvatske da privuče investicije i talente. Spomenuta elektrifikacija pomorskog transporta primjer je koji ima visok potencijal za povezivanje aktera iz različitih sektora. Nažalost, do sada za to nije bilo sluha. Naime, konzorcij hrvatskih institucija i tvrtki predložio je ambiciozan projekt elek-



Foto: Greenpeace

trifikacije pomorskog transporta. Inicijativom "Autonomni elektro-brodovi za pametne otoke i gradove" tražena su značajna financijska sredstva koja su bila mali dio raspoloživih sredstava iz NPOO-a za tu namjenu. Unatoč potencijalu za razvoj nove industrijske grane i stvaranje novih radnih mjesta, projekt nije dobio podršku, a sredstva iz fondova ostala su neiskorištena.

Preporuka 9. - Tijekom razdoblja 2025. - 2030. jačati povezivanje fondova; uspostaviti mehanizme koji će omogućiti bolje koordiniranje različitih fondova i programa EU-a koji su u skladu s ciljem 100% OIE.

Preporuka 10. (2025. - 2030) - Fokusirati se na inovacije i digitalizaciju; pri dodjeli sredstava dati prednost projektima koji imaju visok potencijal za inovacije i digitalizaciju potrebne za 100% OIE u RH.

Preporuka 11. (2025. - 2030.) - Razvijati inovacijski ekosustav: podržavati suradnju znanstvenih institucija, poduzeća i javnog sektora za postizanje 100% OIE RH.

Preporuka 12. (2025. - 2026.) - Detaljno analizirati razloge neuspjeha prethodnih projekata za jaču integraciju OIE-a u energetske sustave i izvući pouke/zaključke za period 2030. - 2050.

Industrija

U svijetu postoje „gigatvornice“ kojima se može osigurati dovoljno opreme za OIE-e, ali i Hrvatskoj se otvara prilika za planiranje i gradnju tvornica za one tehnologije kod kojih postoji komparativna prednost ili bi mogla postojati (primjerice gradnja gigatvornica za transformatore, električne brodove, kabele, vozila itd.), a njihovo projektiranje, gradnja, pogon i održavanje otvaraju niz dodatnih mogućnosti za istraživanje i razvoj (3D printanje, različiti oblici automatizacije i robota i sl.).

Industrija za proizvodnju opreme i sustava za prijenos električne energije zastupljena je u Hrvatskoj i u njoj djeluju svjetske tvrtke (Končar, Dalekovod, Siemens, Elka, Helb i dr.), a uz industriju su vezani istraživački instituti i druge znanstvene organizacije. Nažalost, niskim godišnjim stopama gradnje vjetroelektrana i solarnih elektrana u Hrvatskoj se izgubila određena konkurentnost u usporedbi s drugim zemljama, u kojima je izgradnja bila mnogo intenzivnija, a integracija kompleksnija. Međutim, do 2030. očekuje se značajan razvoj digitalizacije pa se u ovom području može dobiti novi zamah znatnijim uključivanjem IT sektora.

Razvoj pametnih energetskih sustava koje moraju povezati pametne elektroenergetske mreže s pametnim toplinskim i plinskim mrežama, sustavima prijevoza (cestovni i pomorski), vodovodima i odvodnjom te na kraju skladištenjem energije i resursa otvara značajan prostor za razvoj tehnologija, sustava, opreme i uređaja za prijenos i distribuciju električne energije. Postoje brojna otvorena pitanja o integraciji varijabilnih obnovljivih izvora energije u elektroenergetske sustave i optimizaciji te integracije, primjerice brzina i mogućnost širenja mreže, ubrzana elektrifikacija transporta, deplinifikacija i elektrifikacija grijanja te ekonomski prihvatljiva proizvodnja zelenog vodika, amonijaka i metanola za industriju i zelenih goriva za interkontinentalni transport. Rješavanje ovih pitanja je veliki inovacijski potencijal za hrvatsku akademsku zajednicu, IT, industriju i povezane sektore.

Preporuka 13. - Tijekom 2025. provesti analizu postojeće industrije i poslovnih zona te izraditi plan širenja postojećih pogona i izgradnje gigatvornica za komponente, odnosno opremu sustava 100% OIE, u tehnološkim područjima u kojima postoji komparativna prednost za proizvodnju u Hrvatskoj. Industriju i gospodarske subjekte koji rade na postizanju 100% OIE svrstati u razinu strateške i obrambene industrije.



Foto: Marina Kelava

Pozivi za financiranje izgradnju/proširenje proizvodnih postrojenja za tehnologije koje podržavaju 100% OIE RH 2026. → izgradnja/nadogradnja tvornica i opremanje 2027. - 2028. → pokrenuta proizvodnja 2029. - 2030.

Pohrana električne energije i sektori koji povećavaju potrošnju električne energije

Skladištenje električne energije zauzima sve veću važnost u planiranju energetske sustava, a tu su u prvom redu akumulacijske/reverzibilne hidroelektrane (koje predstavljaju i dodatna skladišta pitke vode), zatim sve više baterijski sustavi koji se istražuju za stacionarnu i mobilnu primjenu te ostali oblici skladištenja. Skladištenje bioplina i zelenih sintetičkih plinova na bazi vodika umjesto skladištenja fosilnog plina također otvara znatne mogućnosti razvoja i proizvodnje uz zadržavanje korištenja postojeće infrastrukture. Zbog velikog potencijala obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj, koji su varijabilnog i sezonskog karaktera, osim napredne integracije otvara se i velika mogućnost istraživanja različitih tehnologija skladištenja energije, što donosi pogodnosti u cjelokupnom dobavnom lancu - od razvoja i proizvodnje opreme i komponenata sustava preko izgradnje postrojenja, instalacije, integracije, održavanja i vođenja do dekomisije, reciklaže i propisnog zbrinjavanja.

Osobito je važno povezati skladištenje energije s podatkovnim centrima i industrijskim poduzetničkim zonama. U razvijenim zemljama podatkovni centri sve više doprinose porastu potrošnje električne energije, a moguće ih je napajati iz obnovljivih izvora energije. Slično je i s industrijskim poduzetničkim zonama koje se mogu napajati iz obnovljivih izvora ili turističkim naseljima temeljenim na zgradama pozitivne energetske potrošnje. Zadovoljavanje 100% potrošnje električne energije iz OIE-a u lokalnim ili nacionalnim okvirima može postati dodatan adut u privlačenju investitora i industrije koji žele pružati usluge ili proizvoditi proizvode s minimalnim ugljičnim otiskom na strani potrošnje električne energije.

Preporuka 14. - Do kraja 2025. izraditi prijedlog sustava poticanja skladištenja električne energije, uključujući i poticanje zajedničkih skladišta u vlasništvu/suvlasništvu energetske zajednice i zajednice obnovljivih izvora energije.

Raspisani natječaji za gradnju i proširenje postrojenja za skladištenje električne energije 2026. → ponuditi pogodnosti za ulaganje u 100% OIE industrijske poduzetničke zone, 100% OIE podatkovne centre i 100% OIE turističke komplekse 2025. - 2030. → izgradnja postrojenja za skladištenje i njihovo puštanje u pogon 2027. - 2030.

Zeleni vodik

Zeleni vodik, proizveden isključivo iz obnovljivih izvora energije ili prirodnih rezervoara, može se koristiti kao energent, ali i vrijedan resurs u sintetiziranju drugih spojeva, primjerice mineralnih gnojiva i ulja. On ima značajan potencijal razvoja, a njegovu primjenu u RH treba planirati u sektorima u kojima će se alternativama i elektrifikacijom teško postići održiva rješenja. Do 2030. godine ne očekuje se značajnija proizvodnja zelenog vodika (proizvedenog iz obnovljivih izvora), ali u srednjoročnom razdoblju potencijal može biti vrlo visok ako će se viškovi energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj pohranjivati kao vodik te transportirati u druge dijelove EU-a. Ako će se prijenos „viškova“ obavljati putem elektroenergetskih mreža, proizvodnja vodika vjerojatno će se odvijati na mjestu konačnog korištenja/skladištenja energije.

Otvoreno je pitanje u kojoj će mjeri najveća europska gospodarstva (Njemačka, Italija, Francuska, Španjolska) krenuti prema ekonomiji vodika, pa će se u skladu s tim definirati i potrebe za proizvodnjom i skladištenjem. Potrebno je razvijati mogućnosti skladištenja zelenog vodika i drugih zelenih sintetičkih goriva u podzemnim skladištima, a najviše u onoj industriji koja se neće moći učinkovito elektrificirati.

Preporuka 15. - Izraditi plan korištenja zelenog vodika za dekarbonizaciju industrije te sintetiziranje zelenih goriva i drugih spojeva u 100% OIE RH (2026).

Osigurati poticaje za gradnju pilot-postrojenja i elektrolizatora za proizvodnju zelenog vodika (2027).

Deplinifikacija

Zbog rata u Ukrajini, energetske sigurnosti, dekarbonizacije koja se očekuje u proizvodnji električne i toplinske energije i poskupljenja fosilnih goriva, intenzivirat će se razvoj tehnologija, sustava, opreme i uređaja za korištenje energije iz obnovljivih izvora. Zbog minimalnih zaliha vlastitog fosilnog plina, treba brzo provesti masovnu deplinifikaciju (izbacivanje fosilnog plina iz sektora u kojima ga mogu uspješno zamijeniti obnovljivi izvori energije, odnosno električna energija dobivena iz OIE-a). Neke od dostupnih tehnologija su solarne toplane, solarni toplinski kolektori, dizalice topline, biomasa, bioplin i slično. Hrvatska može postojeće industrijske kapacitete i ljudske resurse, osobito u znanstvenoj zajednici, iskoristiti za rješavanje pitanja brže i veće integracije OIE-a. Slično je i s prijevozom, u kojemu naftu i benzin možemo zamijeniti biogorivima ili elektrifikacijom, odnosno električnom energijom iz obnovljivih izvora.

Istraživanje i razvoj hibridnih solarnih toplana sa sezonskim spremnicima toplinske energije te FV poljima i dizalicama topline pružaju dodatne mogućnosti u razvijanju postrojenja koja koriste OIE-e. Ta tehnologija pokazala je velik potencijal zamjene fosilnog plina u centraliziranim toplinskim sustavima. Solarne toplane postaju zanimljive u regionalnom kontekstu i mogu potaknuti razvoj domaće industrije. Primjerice, u Hrvatskoj postoji snažna industrija prerade aluminijske koja može izrađivati postolja ili dijelove solarnih toplinskih kolektora, a imamo i tvornice stakla i izolacijskog materijala. Također, izrada sezonskih spremnika toplinske energije zahtijeva brojne građevinske radove, što je prilika i za taj sektor. U Hrvatskoj se danas razmišlja i o proizvodnji toplinskih kolektora izrađenih od kompozitnih materijala. Uz razvoj sektora i priliku za inovacije u tvrtkama i istraživačkim centrima u Hrvatskoj, solarne toplane značajno bi smanjile i ukupan uvoz fosilnog plina i tako direktno povećale bruto domaći proizvod te popravile bilancu uvoza i izvoza. Toplinska energija vrlo je povoljna za skladištenje pa se očekuju brojni novi kapaciteti toplinskih mreža, a otvara se i prostor za sezonska skladištenja toplinske energije.



Preporuka 16. - Pokretanje sustavne deplinifikacije RH: u skladu s preporukama Europske komisije i pojedinih nevladinih organizacija^{15,16}, zabraniti korištenje fosilnih goriva za grijanje novih stambenih objekata te pokrenuti razvoj programa ubrzane deplinifikacije do 2030., prvenstveno zgrada i gradskih četvrti.

Pokretanje izrade programa deplinifikacije 2025. → konkretne mjere i smjernice za ubranu deplinifikaciju stambenog sektora i poslovnih/komercijalnih zgrada po gradovima i naseljima, uz izradu dodatnih smjernica za ubranu deplinifikaciju po sektorima industrije 2026.

Geotermalna energija

Agencija za ugljikovodike iznosi podatak o geotermalnom potencijalu od 1000 MW za proizvodnju električne energije u Hrvatskoj, uz napomenu da je procjena rađena konzervativno, odnosno da su u obzir uzeti samo izvori s temperaturama iznad 130 i 135°C. Međutim, postoji i znatno veći potencijal za iskorištavanje geotermalne topline niže temperature, što se treba koristiti za grijanje gradova i naselja, za primjenu u industriji, u poljoprivredi i za razvoj turističke djelatnosti. Ako se staklenici širom EU-a griju na fosilni plin, onda bi iskorištavanje geotermalne energije za grijanje staklenika dalo značajnu prednost, ali i dugoročnu sigurnost. Slično je s primjenom u svim drugim sektorima koji su svoje niskotemperaturne potrebe vezali uz fosilna goriva, zanemarujući velik potencijal geotermalne energije.

Ako se navodi Agencije za ugljikovodike pokažu točnim i izgrade se sva postrojenja, proizvodnja električne energije iz geotermalnih izvora mogla bi biti na razini 9 TWh, što je oko 50% trenutne ukupne potrošnje električne energije u Hrvatskoj. To je mnogo bolje ulaganje od izgradnje novog bloka nuklearne elektrane Krško. Postojeći planovi do 2030. predviđaju od 100 do 200 MW proizvodnih kapaciteta u geotermalnim elektranama. Strategija energetskog razvoja Hrvatske do 2030. s pogledom na 2050. navodi 100 MW kao tehnički potencijal za proizvodnju električne energije uz istraživanje novih lokacija koje se već provodi. Potrebno je poticati istraživanje i razvoj korištenja geotermalne energije za proizvodnju električne odnosno toplinske energije, istraživanje i proizvodnju opreme za korištenje, unapređenje procesa istraživanja geotermalnog potencijala i razvoj integracije s ostalim sektorima. Bitno je napomenuti da se u ovom sektoru može osigurati

¹⁵ European Scientists on the Future of Gas: We must ban new natural gas boilers at once, EASAC, <https://easac.eu/news/details/european-scientists-on-the-future-of-gas-we-must-ban-new-natural-gas-boilers-at-once>

¹⁶ Studija deplinifikacije Republike Hrvatske, Zelena akcija, https://zelena-akcija.hr/system/document/1312/doc_files/original/Deplinifikacija_Digital_FINAL_2604.pdf

prijenos znanja iz drugih sektora za istraživanja nafte i fosilnog plina, što može osigurati nove poslovne modele postojećim industrijama te im osigurati brži izlazak iz tradicionalnog poslovanja s fosilnim gorivima.

Neki autori tvrde da je potencijal geotermalnih izvora za proizvodnju električne energije oko 500 MW, a s tim kapacitetom mogao bi se zamijeniti cjelokupan uvoz električne energije, uz nadomještanje energije koju Hrvatska dobiva iz nuklearne elektrane Krško. Gledano sa stajališta energetske tranzicije, geotermalna energija mnogo je prihvatljivija od nuklearne jer su postrojenja decentralizirana, nude mogućnost uključivanja lokalne industrije pri izgradnji i eksploataciji, ne uzimaju velik prostor pod zaštitu te nude dodatne mogućnosti (više o nuklearnoj energiji u nastavku).

Preporuka 17. - 2025. Agencija za ugljikovodike treba izraditi plan prelaska grijanja kontinentalnih gradova s centraliziranim toplinskim sustavima (CTS) na potpuno obnovljivi CTS (geotermal, solar, biomasa...).

→ detaljne tehno-ekonomske analize za svaki CTS koji koriste samo fosilni plin za korištenje geotermalne energije i drugih OIE-a (2026) → značajna sredstva za dekarbonizaciju CTS-a i izbacivanje fosilnog plina iz CTS-a do 2030. (min. 50 mil. eura godišnje) 2027. → zamjena kotlova na fosilni plin 2028. - 2030.

Nuklearna energija

Protiv izgradnje nuklearnih elektrana postoje brojni ekološki i društveni argumenti kao što je problem zbrinjavanja otpada i rizik od havarija, a zbog poremećaja u lancima dobave nuklearnog goriva i opreme, dugih rokova gradnje i visokih investicijskih troškova, nuklearna energija izgubila je prednost pred obnovljivim izvorima energije. I stopa gradnje nuklearnih elektrana nije dovoljna da se postigne scenarij nulte emisije u projekcijama Međunarodne energetske agencije (IEA). Prije rata u Ukrajini, na svjetskoj razini do 2035. planirana je instalacija 167 GW, što je 66 GW manje od potrebnih kapaciteta, prema projekcijama IEA-e, za dostizanje scenarija nulte emisije. S druge strane, obnovljivi izvori energije kao što su vjetar i sunce imat će od 5 do 10 puta više instaliranog kapaciteta do 2035. Već sada se na svjetskoj razini godišnje gradi više od 666 GW obnovljivih izvora energije s ukupnim očekivanim kapacitetom od 10.800 GW u 2030.

Zbog velikog broja fosilnih i nuklearnih postrojenja kojima istječe životni vijek ili su se zbog neekonomičnosti umirovila, postoji pojačana potreba za istraživanjem njihove dekomisije. Dekomisija nuklearne elektrane Krško, termoelektrana Plomin 1 i Plomin 2 te plinskih i naftnih postrojenja u Jadranu i na kopnu može se iskoristiti kao pokazni primjer održive sanacije prostora, uz velik potencijal za nove istraživačke i demonstracijske aktivnosti na polju dekomisije. Naime, postoji velika potreba za razvojem tehnologije, opreme, proizvoda i procesa koji će pomoći pri dekomisiji nuklearnih i fosilnih elektrana, primjerice različiti tipovi robota za rastavljanje postrojenja s opasnim tvarima. Potreba i prilike u razvoju takve opreme sada su značajniji od potreba za razvojem opreme za izgradnju novih nuklearnih ili fosilnih postrojenja jer se njihovo tržište rapidno smanjuje. Prema novom izvješću IRENA-e (Međunarodne agencije za obnovljivu energiju), obnovljivi izvori energije činili su 92% novih instaliranih kapaciteta za proizvodnju električne energije diljem svijeta u 2024. godini. Prostor s fosilnim i nuklearnim postrojenjima s infrastrukturom, primjerice vodovima i trafo-stanicama, može se prenamijeniti za korištenje obnovljivih izvora energije i skladištenje, odnosno za proizvodnju "zelenih goriva" iz OIE-a kao što su vodik i amonijak.

Preporuka 18. - (2025. - 2030.) Poticati istraživanje, razvoj i provedbu dekomisije fosilnih i nuklearnih postrojenja te prenamjenu prostora i infrastrukture koje ta postrojenja zauzimaju za iskorištavanje obnovljivih izvora energije.

Zbrinjavanje postrojenja i opreme za korištenje obnovljivih izvora

Instalacija značajnog kapaciteta postrojenja za OIE-e nameće pitanje njihova propisnog zbrinjavanja nakon kraja životnog vijeka i već sada je potrebno razmišljati o tome da se za svaku ugrađenu tehnologiju osigura njezino propisno zbrinjavanje po svim načelima kružnog gospodarstva, prema kojima većina materijala ostaje kružiti u gospodarstvu, odnosno antropogenom sustavu, bez odlaganja/ispuštanja u okoliš.

Preporuka 19. - (2025. – 2030.) Poticati istraživanje, razvoj i osnivanje tvrtki za propisno zbrinjavanje komponenti OIE-a.

Plutajuće solarne elektrane

Zbog sve skupljeg zemljišta i zauzimanja prostora potrebnog za druge aktivnosti, ali i prednosti koje donose u eksploataciji, solarne elektrane u svijetu sve se više instaliraju na vodene površine (jezera, akumulacije, rijeke, mora). Primjena plutajućih fotonaponskih panela sve se češće razmatra pri hibridnom vođenju sustava baziranog na hidroenergiji i drugim varijabilnim obnovljivim izvorima energije. Plutajući fotonaponski sustavi mogu se instalirati na gornju i/ili donju akumulaciju hidroelektrana, stvarajući hibridni model koji pruža prednosti povećanja efikasnosti iskorištavanja zemljišnih i vodnih resursa, smanjenje ishlapljivanja vode, povećanje efikasnosti fotonaponskih panela zbog efekta hlađenja, korištenje postojeće visokonaponske infrastrukture. Razmišlja se o hibridnim sustavima na moru koji mogu biti vezani i uz postojeću infrastrukturu kao što je infrastruktura za akvakulturu, luke i pristaništa.

Godine 2025. treba pokrenuti program poticanja plutajućih solarnih elektrana (uključujući nepovratna sredstva) kojim će se financirati minimalno četiri postrojenja: postrojenje na postojećoj akumulaciji, postrojenje integrirano s poljoprivrednom proizvodnjom, postrojenje na moru te minimalno jedno postrojenje na zaštićenoj vodenoj površini, primjerice vodocrpilište ili zaštićeno jezero, na kojima je dozvoljena gradnja plutajućih objekata radi zaštite.

Preporuka 20. - Provesti planiranje i ishođenje dozvola za plutajuće solarne elektrane, donijeti preporuke za "go-to zone" i raspisati natječaje 2026. (HROTE). → izgradnja pilot plutajućih solarnih postrojenja, primjerice na akumulacijama hidroelektrana i drugim prikladnim vodenim površinama 2027. - 2030.

Pučinske vjetroeletreane

U odnosu na kopnene vjetroturbine, prednost pučinskih vjetroturbina je u snažnijem, stalnijem i manje turbulentnom vjetru većih brzina. Kao i kod plutajućih solarnih elektrana, vjetroeletreane na moru su povoljnije jer ne zauzimaju zemljište koje se može iskoristiti u druge svrhe. Vjetroeletreane su udaljene od naseljenih područja, nema ometajuće buke, a vizualni utjecaj sveden je na minimum. Pučinske vjetroeletreane znatno su veće snage, odnosno veće su i više zahvaljujući lakšoj instalaciji turbina velike snage na moru u odnosu na prostorna ograničenja na kopnu.

Razvoj pučinskih vjetroeletreana u Hrvatskoj tek je u začetima. Agencija za ugljikovodike s Instrumentom za tehničku potporu EU (TSI) počinje projekt „Potpora razvoju okvira politika za pučinske vjetroeletreane u Hrvatskoj“. Projekt će donijeti preporuke za pravni i regulatorni okvir pučinskih vjetroeletreana, dati smjernice i preporuke za model provedbe, izraditi studiju izvedivosti potencijala pučinskih vjetroeletreana te dati



Foto: Guillaume Bression / Greenpeace

plan razvoja pučinskih vjetroelektrana u Hrvatskoj. Budući da je dosadašnja zakonska regulativa iskorištavanja pučinskih vjetroelektrana raspršena u više različitih propisa, očekuje se da će donesene smjernice zakonskog i regulatornog okvira pokazati ima li potrebe za novim zakonodavnim okvirom ili je dovoljno revidirati postojeći.

U izradi je i prostorni plan isključivog gospodarskog pojasa Republike Hrvatske, u kojem bi se predložilo uključivanje nekoliko potencijalnih testnih lokacija za iskorištavanje pučinske energije vjetra. Pojedine županije već su krenule s izradom vlastitih studija iskorištavanja pučinske energije (Istarska županija). Također, INA je već 2022. godine započela s mjerenjem potencijala vjetra na svojim plinskim platformama na području sjevernog Jadrana, a nedavno je Western Power, odnosno Naver Energy, započeo s procjenom izvedivosti razvoja pučinskih vjetroelektrana i povezanih industrija u Hrvatskoj.

Preporuka 21. - Provesti planiranje i ishođenje dozvola za pučinske vjetroelektrane, donijeti preporuke za "go-to zone", raspisati natječaje 2026. (HROTE) → izgradnja pučinskih vjetroelektrana 2027. - 2030.

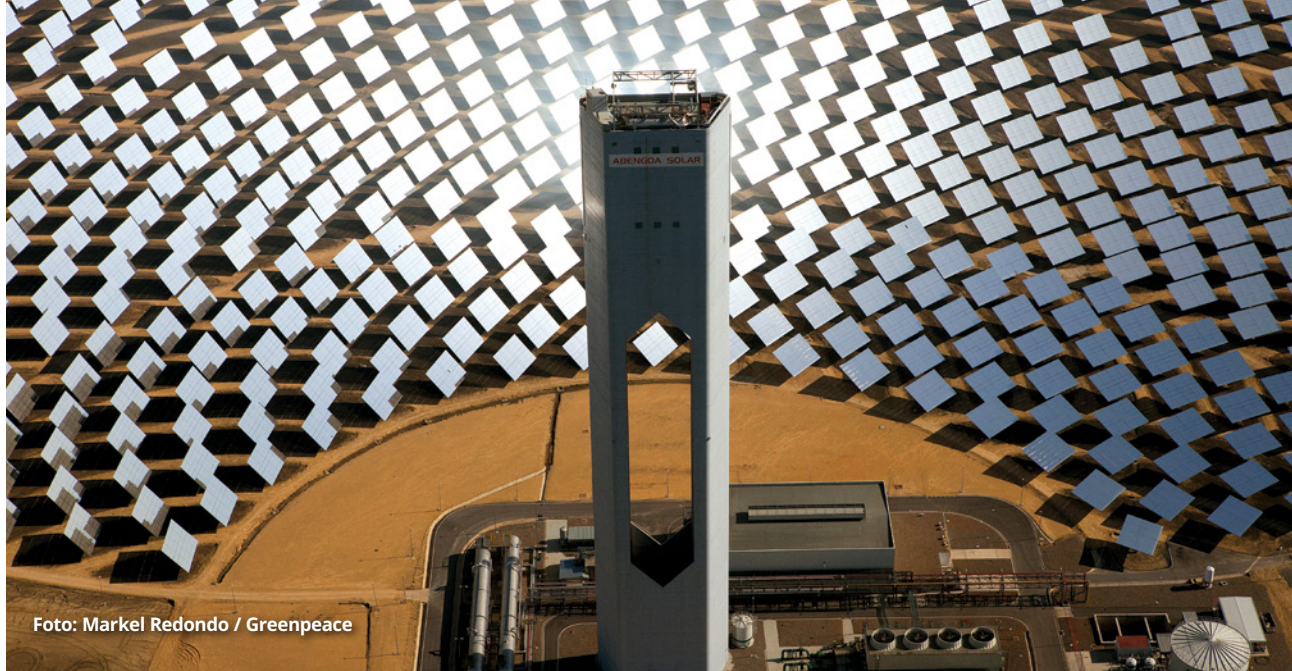
Elektrifikacija prometa

Što se tiče istraživanja i razvoja alternativnog pogona na brodovima i pripadajućoj infrastrukturi, zbog tradicije brodogradnje u Hrvatskoj ovaj sektor brzo se može orijentirati na razvoj i proizvodnju brodova s čistim/zelenim pogonom i povezanu infrastrukturu (električne punjače, punionice vodika i amonijaka). Električni brodovi dodatno omogućavaju integraciju OIE-a na mjestu proizvodnje i ojačali bi lokalne distribucijske i prijenosne sustave. Hrvatska bi mogla postati vodeća zemlja s elektrificiranim pomorskim transportom jer većina brodskih linija prometuje na kraćim relacijama, za koje su u svijetu uspješno demonstrirani elektrificirani brodovi.

Uz električne brodove koji mogu biti zamašnjak u razvoju održivih sustava transporta u Hrvatskoj, velik iskorak očekuje se i od električnih vozila. Električna vozila mogu postati aktivni sudionici u energetskom sustavu. Kada su spojena na električnu mrežu, njihove baterije mogu pohranjivati višak električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora u trenucima kada je proizvodnja veća od potrošnje, a mogu je vraćati u mrežu kada je potražnja veća od proizvodnje. Za ovu integraciju potrebno je razviti široku i pouzdanu infrastrukturu za punjenje električnih vozila i optimizaciju punjenja i vožnji. Elektromobilnost može stvoriti sinergije s drugim sektorima, poput industrije gdje se električna energija iz obnovljivih izvora može koristiti za proizvodnju vodika ili drugih čistih goriva. Potrebno je iskoristiti postojeće resurse jer prijenos znanja iz drugih sektora u Hrvatskoj može osigurati inovacije.

Preporuka 22. - Potrebno je donijeti program ubrzane elektrifikacije pomorske flote te izgradnje i opremanja pametnih luka (trajekti, plovila za prijevoz putnika i ostala plovila), raspisati natječaje za elektrifikaciju minimalno dva trajekta, dva pristaništa te 5-10 turističkih brodova (2025). (Ministarstvo mora, prometa i infrastrukture, Ministarstvo gospodarstva, FZOEU, AZU, javni i privatni brodari).

Dodjeljivanje sredstava i izgradnja brodova 2026 → daljnja elektrifikacija prema dogovorenoj dinamici gradnje/nabave brodova i opremanja luka 2027. - 2030.



Spona energija - voda - hrana

Zbog klimatskih promjena sve je važniji razvoj tehnologija, opreme i uređaja za sponu sustava energija - voda - hrana. Reverzibilne hidroelektrane uparene s desalinizacijskim postrojenjima i sustavima obrane od poplava te suvremenim sustavima navodnjavanja i natapanja predstavljaju sustave koji bi mogli osigurati samodostatnost određenih područja u energiji, hrani i vodi te osigurati dovoljno resursa za zalihe i izvoz.

Preporuka 23. - Pokrenuti program za analizu i istraživanje spone voda - energija - hrana (2025).

→ Identifikacija pogodnih lokacija, njihovo uključivanje u prostorno planiranje, prijedlog korištenih tehnologija i modela financiranja (2026) → Raspisivanje natječaja za sufinanciranje postrojenja za korištenje spone energija - voda - hrana 2027. - 2030.

100% OIE kao politički izbor

Za zadovoljavanje 100% potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora energije potreban je značajan prijenos znanja iz ostalih članica EU-a i svijeta u domaću industriju, istraživačke centre i akademsku zajednicu. Postavljanjem službenih ciljeva na visok postotak integracije ojačali bi se motivi za suradnju i Hrvatska bi postala poželjan partner u mnogim projektima. Osnivanje europskih i međunarodnih instituta, akademija, laboratorija i agencija u Hrvatskoj predstavlja ključan korak u ostvarivanju ambicioznog cilja zadovoljavanja 100% potreba za energijom iz obnovljivih izvora. Takvi instituti poslužili bi kao katalizatori inovacija, prenijeli bi najsuvremenije znanje i tehnologije te privukli značajna ulaganja u ovaj sektor. Nužno je stvoriti stabilno i predvidljivo poslovno okruženje koje će privući ulaganja i talente. To uključuje pojednostavljenje administrativnih postupaka, smanjenje poreznih opterećenja i osiguranje kvalificirane radne snage. Potrebno je promovirati Hrvatsku kao vodeću destinaciju za istraživanja u području obnovljivih izvora energije.

Preporuka 24. - (2025) Vlada postavlja jasne i ambiciozne ciljeve u području energetske tranzicije te razvija sveobuhvatan strateški plan koji će definirati ulogu novih instituta za energetske tranziciju.

Pojednostavljenje administrativnih postupaka, smanjenje poreznih opterećenja i osiguranje kvalificirane radne snage za uspostavljanje instituta, istraživačkih centara i tvrtki koje rade istraživanje i razvoj u području 100% OIE RH, 2026. → aktivno sudjelovanje u europskim projektima i programima kao što su Horizon Europe i Interreg omogućit će pristup fondovima EU-a i izgradnju mreže partnerstava 2026 - 2030. → promocija Hrvatske kao atraktivne destinacije za istraživanje i razvoj 100% obnovljivih sustava, poticanje organizacija međunarodnih konferencija, seminara i radionica i sudjelovanje na svjetskim sajmovima 2027. - 2030.

Uspješni primjeri u svijetu koji mogu poslužiti kao inspiracija za osnivanje instituta:

- Europski institut za inovacije i tehnologiju (EIT) - EIT podržava inovacije u različitim područjima, uključujući održivu energiju. Kroz *Knowledge and Innovation Communities* (KICs) okuplja vodeća europska sveučilišta, istraživačke centre i kompanije. Poveznica: <https://eit.europa.eu/>
- Fraunhofer Gesellschaft - Ova njemačka organizacija jedna je od vodećih europskih organizacija za primijenjena istraživanja. Ima brojne institute koji se bave izazovima u energetici i očuvanju okoliša. Poveznica: <https://www.fraunhofer.de/en.html>
- Nacionalni laboratorij za obnovljive izvore energije (NREL) u SAD-u - NREL je vodeća svjetska institucija za istraživanje i razvoj tehnologija za obnovljive izvore energije. Poveznica: <https://www.nrel.gov/>

GIS sustavi

GIS sustavi su nezamjenjivi alati za planiranje, projektiranje i upravljanje elektroenergetskim mrežama, posebno u kontekstu prelaska na 100% obnovljive izvore energije. S mogućnostima vizualizacije, analize i simulacije, GIS alati omogućavaju optimizaciju procesa, smanjenje troškova i povećanje učinkovitosti, čime se doprinosi ostvarenju ciljeva održivog razvoja. Potrebno je integrirati postojeće GIS sustave po različitim mjestima i kod različitih dionika kako bi se stvorio sinergijski učinak i iskoristili postojeći resursi za inovaciju te prijenos znanja iz drugih sektora. Važno je digitalizirati prostorno-plansku dokumentaciju i pokušati ubrzati proces izdavanja dozvola, izraditi studiju procjene utjecaja na okoliš i obaviti druge procese. Uz GIS sustav vežu se i mnogi pomoćni alati koji omogućuju bržu analizu dostupnih površina za instalaciju solarnih fotonaoponskih sustava na postojećoj infrastrukturi, a automatizirana je i analiza izgradnje drugih postrojenja OIE-a.

Preporuka 25. - (2025) Provesti analizu stupnja digitalizacije po uredima za prostorno planiranje za postizanje 100% OIE RH.

(2026) Uključivanje "go-to zona" za OIE-e i razvoj elektroenergetske mreže u prostorne planove, prijedlog za rješavanje koncesije "go-to zona" u vlasništvu države (lokacije gdje bi se projekti OIE-a mogli brže realizirati jer je riječ o područjima u kojima je utjecaj takvih zahvata na okoliš minimalan).

Napredna meteorologija

Meteorologija je nezaobilazan dio razvoja energetske sustava temeljenih na obnovljivim izvorima energije i prilagodbe na klimatske promjene. Kroz precizne prognoze i analizu podataka, meteorologija omogućava optimalno korištenje potencijala OIE-a, povećava sigurnost i stabilnost energetske sustava te pomaže u smanjenju utjecaja klimatskih promjena. Napredni meteorološki instrumenti i modeli kao što su radari, sateliti i numerički modeli atmosfere omogućavaju sve preciznije i detaljnije prognoze. Korištenje baza velikih podataka, strojnog učenja i umjetne inteligencije omogućava daljnje unapređenje preciznosti prognoza i bolje razumijevanje kompleksnih meteoroloških procesa. Prognoze se koriste pri balansiranju elektroenergetskog sustava, planiranju dostatnosti postojećih i novih kapaciteta, određivanju servisa u postrojenjima, trgovanju energijom, pri agregiranju proizvodnje itd.

Preporuka 26. - Tijekom razdoblja 2025.- 2030. potrebno je osigurati dostatna sredstva DHMZ-u i drugim subjektima za uspostavljanje naprednog sustava mjerenja, prognoza, analize meteoroloških podataka potrebnih za razvoj 100% proizvodnje električne energije iz OIE-a.

Digitalni blizanci

Digitalni blizanci su virtualne replike stvarnih objekata, sustava ili procesa koje se koriste za analizu, simulaciju i predviđanje ponašanja u stvarnom svijetu. Digitalni blizanci predstavljaju revolucionarnu tehnologiju koja omogućava sveobuhvatno razumijevanje i upravljanje složenim energetske sustavima. Njihova primjena u sektoru obnovljivih izvora energije ključna je za postizanje ciljeva dekarbonizacije i prilagodbe na klimatske promjene. Kroz simulacije, optimizaciju i predviđanje, digitalni blizanci omogućavaju donošenje boljih odluka i povećanje učinkovitosti energetskih sustava. Digitalni blizanci bit će ključni u analiziranju određenih područja i urbanih sredina u prilagodbi klimatskim promjenama. Digitalni blizanci mogu se koristiti za simulaciju utjecaja klimatskih promjena na performanse elektrana na obnovljive izvore i na stabilnost energetskog sustava u cjelini, a na temelju rezultata simulacija mogu se razviti strategije za prilagodbu energetskog sustava na promjenjive klimatske uvjete.

Preporuka 27. - (2025) Poticanje razvoja digitalnih blizanaca za "go-to zone", urbana naselja i druga područja gdje se očekuje velika količina instaliranih OIE-a.

(2026) Donijeti program poticanja ugradnje senzora, prikupljanje podataka, donošenje preporuka za centre podataka, raspisivanje natječaja, osmišljavanje strukture financiranja i određivanje modela zajedničkog vlasništva. → (2027.- 2030.) primjena digitalnih blizanaca u planiranju, vođenju i upravljanju svih razina EES-a i priključenih elektrana, potrošača i spremnika.

Međusektorska suradnja

Ubrzanje razvoja elektroenergetskog sustava temeljenog na obnovljivim izvorima energije u Hrvatskoj zahtijeva snažnu povezanost hrvatske industrije, gospodarstva i znanstvene zajednice s europskim institucijama. Aktivnim sudjelovanjem u europskim projektima i intenzivnom komunikacijom s hrvatskim predstavnicima u Bruxellesu, hrvatski znanstvenici mogu značajno doprinijeti oblikovanju energetske politike EU-a i privući investicije u razvoj inovativnih rješenja. Povećana suradnja omogućit će pristup najnovijim znanjima i tehnologijama iz područja obnovljivih izvora energije, što će rezultirati razvojem novih, učinkovitijih i održivijih tehnologija. Hrvatski znanstvenici će imati priliku izravno utjecati na donošenje odluka na europskoj razini, osiguravajući da se pritom uzmu u obzir specifične potrebe i potencijali Hrvatske.

Jača povezanost s europskim institucijama također će povećati vidljivost hrvatske znanosti i privući investicije u razvoj projekata u području obnovljivih izvora energije. Suradnja znanstvenika i industrije potaknut će razvoj inovativnih rješenja i njihovu bržu komercijalizaciju. Kroz ulaganje u obnovljive izvore energije, Hrvatska će smanjiti ovisnost o uvozu fosilnih goriva i povećati svoju energetske sigurnost. Stabilna i diverzificirana energetska mreža temeljena na obnovljivim izvorima bit će otpornija na vanjske utjecaje i pridonijet će ostvarenju ciljeva Europske unije u borbi protiv klimatskih promjena. Potrebno je uspostaviti platforme za redovitu razmjenu informacija i ideja znanstvenika i političara, što će olakšati usklađivanje nacionalnih i europskih politika. Bilo bi poželjno osnovati i urede-predstavništva ili agencije hrvatskih znanstveno-istraživačkih institucija u glavnim europskim centrima (primjerice u Bruxellesu, Parizu, Berlinu, Rimu, Beču, Barceloni i Madridu) s ciljem poticanja suradnje, ukazivanja na prilike i prikupljanja informacija iz područja energije i održivog okoliša, a sve u svrhu izgradnje sustava koji sve potrebe zadovoljava iz obnovljivih izvora.

Preporuka 28. - (2025) Donijeti odluku o financiranju ureda, odnosno predstavništva za 100% obnovljivu Hrvatsku 2025. → Osnovati ured za 100% OIE RH, odnosno predstavništvo za OIE-e u Bruxellesu ili zadužiti postojeće urede da uspostave maksimalnu suradnju prema cilju 100% obnovljive Hrvatske. (2026. - 2030.).

100% OIE klaster i izvoz znanja

Potrebno je formirati klaster tvrtki i industrije iz Hrvatske koji bi mogao zajednički nastupati u drugim zemljama i nuditi prelazak na 100% obnovljive izvore energije. Udruženim snagama hrvatske tvrtke mogle bi ponuditi sveobuhvatna rješenja za prelazak na 100% OIE, od projektiranja i razvoja do ugradnje opreme. Zajedničkim istraživanjem članovi klastera mogli bi razvijati inovativna rješenja i poboljšati kvalitetu svojih proizvoda i usluga, a klaster bi omogućio lakši pristup stranim tržištima i otvaranje novih poslovnih prilika. Uz dokazani potencijal Hrvatska bi se pozicionirala kao zemlja s naprednim znanjima i tehnologijama u području obnovljivih izvora energije. Zajedničkim naporima i snažnom podrškom vlade, Hrvatska može postati energetska samodostatna zemlja i važan igrač na globalnom tržištu obnovljivih izvora energije. Ovo podrazumijeva i obvezu hrvatskih veleposlanstava da potiču suradnju, ukazuju na prilike i prikupljaju informacije iz područja energije i održivog razvoja. Uspješnost veleposlanstva mogla bi se ocjenjivati brojem sklopljenih ugovora o suradnji u toj zemlji, vrijednošću izvoza proizvoda i usluga članova klastera, brojem organiziranih poslovnih događaja, brojem novih kontakata uspostavljenih s potencijalnim partnerima itd.

Preporuka 29. - (2025) Osnivanje 100% OIE klastera kroz isprepletenu "peterostruku zavojnicu" (industrija, akademija, vlada, mediji, civilni sektor).

Donošenje odluke o ključnim indikatorima uspješnosti (KPI) koje moraju ispuniti veleposlanstva i predstavnici Republike Hrvatske u svijetu u promociji 100% OIE, energetske učinkovitosti i klastera 2026. → aktivna promocija 100% OIE klastera 2026. - 2030.

100% RES Movement - Alliance for a Green Energy Transition

Globalna zajednica ne postiže napredak potreban za ostvarenje 17 ciljeva održivog razvoja (SDG) UN-a do 2030. Ovi ciljevi, usvojeni 2015., obuhvaćaju širok spektar globalnih izazova, od siromaštva i gladi do klimatskih promjena i nejednakosti. Do 2030. svijet je trebao postići značajan napredak u ovim područjima. Izvješća organizacija poput UN-a i SDSN-a ističu područja u kojima napredak zaostaje, a ako se ciljevi održivog razvoja ne postignu, posljedice će biti loše i za ljude i za planet.

Obnovljivi izvori energije doprinose svim ciljevima održivog razvoja i ubrzan prelazak na društvo temeljeno samo na OIE-u mogao bi značajnije poboljšati izgleda da se ispune mnogi ciljevi. U skladu s ciljem br. 17 - Inovativno partnerstvo - potrebno je uspostaviti savez zemalja koje će se udružiti oko programa izgradnje energetskih sustava koji će 100% potreba za energijom prije 2050. zadovoljavati iz OIE-a. Vrijedi spomenuti da je i Europska unija započela kao skromni savez za ugljen i čelik, ali se postupno razvila u složenu političku i gospodarsku uniju koja danas obuhvaća velik dio Europe. Naravno, predloženi savez ne mora biti političke naravi, nego može biti poput sličnih saveza osnovanih za rješavanje konkretnih pitanja, kao što su International Solar Alliance¹⁷, The High Ambition Coalition for Nature and People¹⁸ ili RE100¹⁹, globalna korporativna inicijativa za obnovljivu energiju.

Preporuka 30. - Do 2027. osnovati savez država radnog naziva "100% RES Movement - Alliance for a Green Energy Transition", koje će sve svoje potrebe za energijom zadovoljavati iz OIE-a prije 2050.

¹⁷ International Solar Alliance, <https://isa.int/>

¹⁸ The High Ambition Coalition for Nature and People, <https://hacfornatureandpeople.org/>

¹⁹ RE100, <https://www.there100.org/>

ZAKLJUČAK

Cilj zadovoljavanja potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora u Hrvatskoj do 2030. može biti okosnica za pokretanje novog inovacijskog i investicijskog ciklusa koji će državi donijeti mnogostruke dobiti. One će biti vidljive u svakom segmentu održivog razvoja, odnosno u gospodarstvu, društvu i okolišu. Obnovljivi izvori energije lokalnog su karaktera, što omogućava sigurnu energiju (smanjuje se uvoz), trenutno su najjeftiniji izvori pa njihova primjena doprinosi pristupačnosti energiji, postiže se konkurentnost ako smanjuju uvoz energije i energenata, a jeftinim lokalnim obnovljivim izvorima postiže se smanjenje deficita vanjskotrgovinske bilance, odnosno raste bruto domaći proizvod.

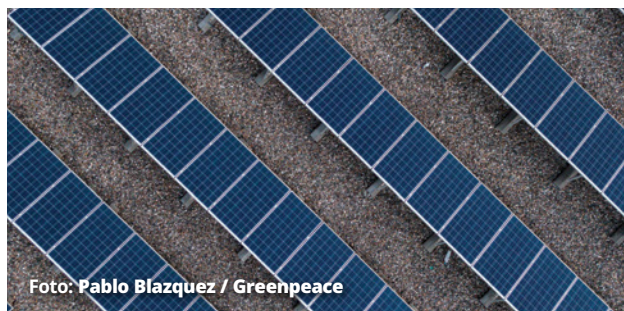
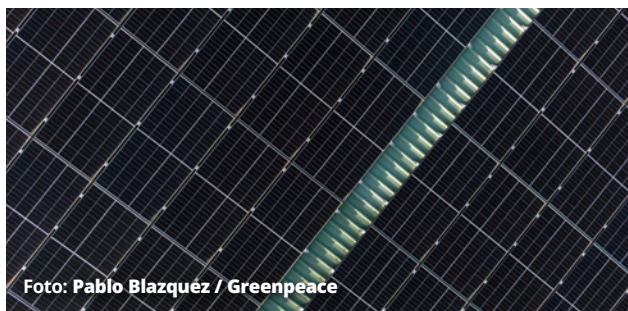
Obnovljivi izvori energije potiču demokratizaciju društva uključivanjem građana u energetske zajednice koje proizvode, skladište i dijele energiju, a na neki način dijele i vlastitu energetsku budućnost.

Kapaciteti koje je potrebno instalirati do 2030. godine nisu nedostižni: brojne zemlje u svijetu na godišnjoj su razini instalirale mnogo više opreme od ove koja se navodi u otvorenom i zatvorenom scenariju zadovoljavanja ukupne potrošnje električne energije iz OIE-a u RH. Samo u Europskoj uniji u 2024. instalirano je 66 GW solarnih fotonaponskih sustava: ako bi se gledala petogodišnja razdoblja, u Mađarskoj je od 2019. do kraja 2024. instalirano 5,5 GW, a u Grčkoj 7 GW, s time da je ta država samo u 2024. uspjela instalirati 2,5 GW.

Uštede i prihodi nastali zbog elektrifikacije i proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora procjenjuju se na godišnjoj razini od 1,22 milijarde eura, dok potrebna godišnja rata za otplatu opreme iznosi oko 864 milijuna eura, što ostavlja dovoljno prostora za dobit koja se može prelitati u druge sektore i sve slojeve društva.

Glavne preporuke ukazuju na to da je potrebna jasna politička odluka kako bi Hrvatska postigla zadovoljavanje ukupne potrošnje električne energije iz obnovljivih izvora, a time ujedno postala i prepoznata u svijetu kao primjer proizvodnje energije iz OIE-a. Takva odluka treba uključivati jasne signale prema unapređenju elektroenergetskog sustava i izgradnji mreže na svim razinama te ojačavanje prekograničnih kapaciteta, odnosno stavljanja tehničkog potencijala vodova u ekonomsku funkciju razmjene. Skladištenje energije mora biti osigurano na svim razinama, ali i u drugim sektorima, primjerice toplinarstvu, transportu i vodnim sustavima. Na kraju, uvijek su građani na ovaj ili onaj način platili i iznijeli energetske tranzicije pa će tako biti i ovaj put. Napretkom digitalne tehnologije oni mogu dati velik doprinos ulaganjima u zajednička postrojenja ili proizvodnjom vlastite energije i njenim dijeljenjem u bližoj i široj zajednici.

Za rješavanje problema emisija stakleničkih plinova mnogi zazivaju novu nuklearnu renesansu, a mi najavljujemo novo doba, eru 100% obnovljivih izvora, za sada jedine čiste, sigurne i svima pristupačne energije.



ZAHVALE

Autori zahvaljuju Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu i EU projektu INITIATE financiranom kroz program Horizon Europe, br. ugovora 101136775, na stvaranju okvira koji je omogućio izradu ove studije.

REFERENCE

- [1] Greenpeace Croatia, "Dvije trećine građana protiv Plomina C." [Online]. Available: <https://www.greenpeace.org/croatia/dvije-trecine-gradana-protiv-plomina-c/>
- [2] M. R. Raupach et al., "The declining uptake rate of atmospheric CO₂ by land and ocean sinks," *Biogeosciences*, vol. 11, no. 13, pp. 3453–3475, Jul. 2014, doi: 10.5194/bg-11-3453-2014.
- [3] P. Friedlingstein et al., "Global Carbon Budget 2024," *Earth Syst Sci Data*, vol. 17, no. 3, pp. 965–1039, Mar. 2025, doi: 10.5194/essd-17-965-2025.
- [4] C. Le Quéré et al., "Global Carbon Budget 2018," *Earth Syst Sci Data*, vol. 10, no. 4, pp. 2141–2194, Dec. 2018, doi: 10.5194/essd-10-2141-2018.
- [5] R. Way, M. C. Ives, P. Mealy, and J. D. Farmer, "Empirically grounded technology forecasts and the energy transition," *Joule*, vol. 6, no. 9, pp. 2057–2082, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.joule.2022.08.009.
- [6] G. Krajačić, N. Duić, and M. da G. Carvalho, "How to achieve a 100% RES electricity supply for Portugal?," *Appl Energy*, vol. 88, no. 2, pp. 508–517, Feb. 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2010.09.006.
- [7] F. Feijoo, A. Pfeifer, L. Herc, D. Groppi, and N. Duić, "A long-term capacity investment and operational energy planning model with power-to-X and flexibility technologies," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 167, p. 112781, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112781.
- [8] B. Ćosić, G. Krajačić, and N. Duić, "A 100% renewable energy system in the year 2050: The case of Macedonia," *Energy*, vol. 48, no. 1, pp. 80–87, Dec. 2012, doi: 10.1016/j.energy.2012.06.078.
- [9] G. Krajačić, N. Duić, Z. Zmijarević, B. V. Mathiesen, A. A. Vučinić, and M. da Graça Carvalho, "Planning for a 100% independent energy system based on smart energy storage for integration of renewables and CO₂ emissions reduction," *Appl Therm Eng*, vol. 31, no. 13, pp. 2073–2083, Sep. 2011, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2011.03.014.
- [10] D. F. Dominković et al., "Zero carbon energy system of South East Europe in 2050," *Appl Energy*, vol. 184, pp. 1517–1528, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.03.046.
- [11] S. Teske, Ed., *Achieving the Paris Climate Agreement Goals*. Cham: Springer International Publishing, 2019. doi: 10.1007/978-3-030-05843-2.
- [12] D. Bogdanov et al., "Low-cost renewable electricity as the key driver of the global energy transition towards sustainability," *Energy*, vol. 227, p. 120467, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.120467.
- [13] M. Z. Jacobson et al., "Low-cost solutions to global warming, air pollution, and energy insecurity for 145 countries," *Energy Environ Sci*, vol. 15, no. 8, pp. 3343–3359, 2022, doi: 10.1039/D2EE00722C.
- [14] IRENA, "World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway," Abu Dhabi, 2021. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_World_Energy_Transitions_Outlook_2021.pdf
- [15] IEA, "Net Zero by 2050," Paris, 2021. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- [16] IEA, "Net Zero Roadmap: A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach," Paris, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap-a-global-pathway-to-keep-the-15-0c-goal-in-reach>
- [17] The International Energy Agency (IEA), "Data and statistics."

- [18] M. Z. Jacobson, "60 Countries/Territories Whose Electricity Generation in 2023 was 50-100% Wind-Water-Solar (WWS) (Including 12 With 98.4-100% WWS Generation) and 11 U.S. States That Produced the Equivalent of 53.2-118% of the Electricity They Consumed With WWS in 2024," Stanford, 2025. [Online]. Available: <https://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/WWSTBook/Countries100Pct.pdf>
- [19] M. Z. Jacobson et al., "Impacts of Green New Deal Energy Plans on Grid Stability, Costs, Jobs, Health, and Climate in 143 Countries," *One Earth*, vol. 1, no. 4, pp. 449–463, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.oneear.2019.12.003.
- [20] M. Z. Jacobson, "A Solution to Global Warming, Air Pollution, and Energy Insecurity for Croatia," Stanford, 2024. [Online]. Available: <http://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/149Country/24-WWS-Croatia.pdf>
- [21] C. Breyer et al., "On the History and Future of 100% Renewable Energy Systems Research," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 78176–78218, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3193402.
- [22] European Commission: Joint Research Centre, P. Elsner, J. Collaer, and A. Uihlein, "The Onshore Wind Potential of the EU and Neighbouring Countries," Luxembourg, 2025. doi: <https://dx.doi.org/10.2760/0396389>.
- [23] RES Croatia, "Action Plan for the uptake of Offshore Renewable Energy Sources in Croatia," Zagreb, 2023. [Online]. Available: <https://oie.hr/wp-content/uploads/2023/05/Action-Plan-for-the-uptake-of-Offshore-Renewable-5.pdf>
- [24] European Commission: Directorate-General for Energy, Guidehouse Netherlands B.V, SWECO, Staschus, K., Kielichowska, I. et al., Study on the offshore grid potential in the Mediterranean region – Final report, Publications Office of the European Union, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2833/742284>.
- [25] G. Ulpiani, N. Vetter, D. Shtjefni, G. Kakoulaki, and N. Taylor, "Let's hear it from the cities: On the role of renewable energy in reaching climate neutrality in urban Europe," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 183, p. 113444, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113444.
- [26] H. Lund, J. Z. Thellufsen, P. A. Østergaard, P. Sorknæs, I. R. Skov, and B. V. Mathiesen, "EnergyPLAN – Advanced analysis of smart energy systems," *Smart Energy*, vol. 1, p. 100007, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.segy.2021.100007.
- [27] Energetski institut Hrvoje Požar, "Energija u Hrvatskoj 2019.," Zagreb, 2020. Accessed: Sep. 25, 2024. [Online]. Available: https://www.eihp.hr/wp-content/uploads/2020/12/1_Energija_u_Hrvatskoj_2019-compressed-1.pdf
- [28] Energetski institut Hrvoje Požar, "Comprehensive assessment of the potential for efficiency in heating and cooling in Croatia under Annex VIII to Directive 2012/27/EU," 2021, Accessed: Sep. 25, 2024. [Online]. Available: <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-01/HR%20CA%202020%20en.pdf>
- [29] European Commission and Eurostat, "Complete energy balances," Publication Office of the European Union. Accessed: Sep. 26, 2024. [Online]. Available: https://doi.org/10.2908/NRG_IND_PEH
- [30] Ministry of Economy and Sustainable Development, "Integrated national energy and climate plan for the Republic of Croatia for the period 2021-2030," Zagreb, 2023.
- [31] "Eurostat." Accessed: Apr. 02, 2023. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>
- [32] Energetski institut Hrvoje Požar, "Energija u Hrvatskoj 2023.," Zagreb, 2023. [Online]. Available: https://eihp.hr/wp-content/uploads/2024/12/Energija-u-HR-2023_WEB_novo.pdf
- [33] HNB, "Objava statističkih podataka o depozitima i kreditima kreditnih institucija za prosinac 2024. godine," Zagreb, 2025. [Online]. Available: <https://www.hnb.hr/-objava-statistickih-podataka-o-depozitima-i-kreditima-kreditnih-institucija-za-prosinac-2024>
- [34] RES Croatia, "Akcijski plan za potrebna pojačanja elektroenergetske mreže u cilju integracije obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj," Zagreb, 2021. [Online]. Available: <https://oie.hr/wp-content/uploads/2021/12/EBRD-Akcijski-Plan.pdf>
- [35] SunSharing, "Energetske zajednice u Hrvatskoj," Zagreb, 2024. [Online]. Available: <https://sunsharing.fsb.hr/?dfile&tp=guides&l=hr&f=SunSharing%20Guidebook%20Hrvatska.pdf>



GREENPEACE



GREENPEACE