



# Ekonomska perspektiva obnovljivih izvora energije: Sigurnost opskrbe, inovacije i izazovi

**Barbara Dorić**

*Sveučilište u Ljubljani, Ekonomski fakultet, Ljubljana, Slovenija*

## Sažetak

Obnovljivi izvori energije ključni su za rješavanje izazova energetske sigurnosti i klimatskih promjena. Rastuća zabrinutost zbog klimatskih promjena, iscrpljivanja fosilnih goriva i energetske sigurnosti dovela je do povećanog fokusa na obnovljive izvore energije. Prijelaz na globalni energetski sustav koji dominira obnovljivim izvorima energije, iako obećava, suočava se sa značajnim izazovima koji zahtijevaju koordinirane globalne napore i inovativna rješenja. Članak obrađuje tehnološka dostignuća obnovljivih izvora energije, procjenjuje njihove ekonomske učinke te istražuje buduće trendove i implikacije raznih politika. Pretpostavka rada, koja se ispituje je da unatoč značajnom tehnološkom napretku, još uvijek nije postignut dovoljan tehnološki proboj i poticajno investicijsko okruženje, koji bi omogućili potpunu zamjenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije, analiziraju se trenutni kapaciteti i tehnološki izazovi, kao i ekonomski aspekti i razne politike koje utječu na implementaciju i realizaciju projekata obnovljivih izvora energije. Kroz detaljnu analizu povremenosti proizvodnje energije, ograničenja pohrane energije i potrebe za modernizacijom infrastrukture, istražuju se ekonomski aspekti ulaganja u obnovljive izvore energije, kao i mogućnosti trenutnih tehnologija u pružanju održive alternative fosilnim gorivima. Potrebna su dodatna ulaganja, kontinuirane inovacije i globalna suradnja kako bi se prevladali postojeći izazovi i osigurao održivi prijelaz na obnovljive izvore energije.

**Ključne riječi:** obnovljivi izvori energije; ekonomska perspektiva; investicije; energetska sigurnost

**Vrsta članka:** Izvorni znanstveni rad

**Primljeno:** 28.05.2024.

**Prihvaćeno:** 29.07.2024.

**DOI:** 10.2478/crdj-2024-0005

## Uvod

Rastuća zabrinutost zbog klimatskih promjena, iscrpljivanja fosilnih goriva i energetske sigurnosti dovela je do povećanog fokusa na obnovljive izvore energije. Obnovljivi izvori energije, poput solarnih elektrana, vjetroelektrana, hidroelektrana, geotermalne energije i biomase, ključni su za smanjenje emisija stakleničkih plinova i postizanje održivog razvoja. Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (International Energy Agency, IEA), fosilna goriva i dalje dominiraju globalnim energetske izvorima, čineći više od 80% ukupne potrošnje energije (IEA, 2021). Iako su obnovljivi izvori energije postigli značajan napredak, još uvijek čine relativno mali udio u globalnoj energetske potrošnji.

Globalni prijelaz na obnovljive izvore energije nije samo tehnološki izazov već i ekonomski i društveni poduhvat. Sve veća svijest o ekološkim koristima obnovljive energije, zajedno s padom troškova tehnologija poput solarnih panela i vjetroturbina, potaknula je vlade i privatni sektor na ulaganja u obnovljive izvore energije. Međutim, prijelaz zahtijeva značajna početna ulaganja, modernizaciju infrastrukture i razvoj novih tehnologija za pohranu energije kako bi se osigurala pouzdana i stabilna opskrba energijom.

Pored tehnoloških inovacija, politike i regulative igraju ključnu ulogu u poticanju realizacije raznih projekata odnosno elektrana iz obnovljivih izvora energije. Konzistentne i poticajne politike, kao što su FIT tarife (engl. feed-in tariffs), porezne olakšice i razne subvencije, mogu privući ulaganja i podržati razvoj projekata iz obnovljivih izvora energije (REN21, 2023).

Prijelaz na obnovljive izvore energije nudi značajne ekonomske koristi, uključujući otvaranje novih radnih mjesta, poticanje tehnoloških inovacija i smanjenje ovisnosti o uvezenim fosilnim gorivima povećavajući sigurnost opskrbe (IRENA, 2020). Prema procjenama, obnovljivi izvori energije mogli bi stvoriti oko 42 milijuna radnih mjesta do 2050. godine (IRENA, 2021). Obnovljivi izvori energije smanjuju emisiju stakleničkih plinova, smanjuju zagađenje zraka i ublažavaju utjecaje klimatskih promjena (Lund, 2009). Međutim, prijelaz također postavlja ekonomske izazove, poput potrebe za značajnim početnim ulaganjima (Sovacool et al., 2020).

Uz kontinuirani tehnološki napredak i smanjenje troškova početnih investicija koja će potaknuti daljnja ulaganja, obnovljivi izvori energije nastaviti će smanjivati ovisnost o konvencionalnim izvorima energije te će igrati ključnu ulogu u borbi protiv klimatskih promjena. Vlade moraju igrati ključnu ulogu u ovom prijelazu pružanjem poticaja za ulaganja u obnovljive izvore energije, financiranjem istraživanja i razvoja te implementacijom politika koje promiču održivost. Međunarodna suradnja također je ključna za rješavanje globalnih izazova poput klimatskih promjena i pristupa energiji (Goldemberg, 2007). Povećana suradnja između zemalja mogla bi ubrzati prijenos tehnologija i dijeljenje najboljih praksi, dok bi globalni sporazumi poput Pariškog sporazuma pružili okvir za koordinirane napore na smanjenju emisija stakleničkih plinova (UNFCCC, 2015).

Globalni ekonomski izgled za obnovljive izvore energije je optimističan, uz značajan rast ulaganja u sektor. Prema Međunarodnoj agenciji za obnovljivu energiju (International Renewable Energy Agency, IRENA), ukupna ulaganja u obnovljive izvore energije mogla bi doseći 130 trilijuna dolara do 2050. godine, što bi predstavljalo temelj za nove poslovne modele i inovacije (IRENA, 2021). Nadalje, prijelaz na obnovljive izvore energije može donijeti ekonomske koristi koje nadmašuju troškove ulaganja, uključujući uštede u zdravstvenim troškovima zbog smanjenog zagađenja zraka i smanjenih troškova povezanim s klimatskim promjenama (IRENA, 2021).

U isto vrijeme, energetska sektor se suočava s izazovom kako financirati i upravljati prijelazom na obnovljive izvore energije. Nadogradnja i proširenje postojeće infrastrukture mreže kako bi se prilagodila obnovljivim izvorima energije predstavlja značajan izazov (Sims et al., 2007). Tradicionalni energetska sustavi temelje se na infrastrukturi koja je već amortizirana i integrirana u globalne gospodarske sustave. Prijelaz na obnovljive izvore energije zahtijevat će značajna ulaganja u novu infrastrukturu, uključujući pametne mreže, skladištenje energije i modernizaciju postojećih elektroenergetskih mreža (IRENA, 2021).

## Pregled literature

Prijelaz s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije predstavlja jedan od najvećih izazova suvremene energetike i okolišne politike. Iako su obnovljivi izvori energije prepoznati kao ključni za postizanje održivog razvoja i smanjenje emisija stakleničkih plinova, njihova integracija u globalni energetska sustav suočava se s brojnim tehničkim, ekonomskim i političkim izazovima.

Globalni energetska miks u 2020. godini bio je dominiran fosilnim gorivima, s udjelom od 84% (IEA, 2021). Nafta je činila 31%, ugljen 27%, a prirodni plin 26% globalne potrošnje energije. Obnovljivi izvori energije činili su oko 12% globalne potrošnje, s hidroenergijom kao najdominantnijim obnovljivim izvorom (IEA, 2021). Nafta, ugljen i prirodni plin temelj su svjetskog energetska sustava zbog njihove relativne dostupnosti, energetske gustoće i razvijene infrastrukture za njihovu proizvodnju i distribuciju. Ova dominacija ima svoje korijene u industrijskoj revoluciji, kada su fosilna goriva omogućila brzi razvoj industrije i transporta. Međutim, fosilna goriva također su glavni izvor emisija stakleničkih plinova, koje su glavni pokretač klimatskih promjena.

Solarna energija ima veliki potencijal za rast, ali trenutačno čini samo mali udio globalne proizvodnje energije. U 2020. godini solarna energija činila je manje od 3% globalne proizvodnje električne energije (IRENA, 2021). Unatoč ovom malom udjelu, solarna energija bilježi najbrži rast među obnovljivim izvorima energije. Prema procjenama IRENA-e, solarna energija bi mogla doseći 30% globalne proizvodnje električne energije do 2050. godine (IRENA, 2021). Energija iz vjetera također ima značajan potencijal za rast. U 2020. godini vjetroelektrane su činile oko 6% globalne proizvodnje električne energije (GWEC, 2021). Globalna mreža vjetroelektrana dosegla je instalirani kapacitet od preko 700 GW do kraja 2020. godine, s očekivanim daljnjim rastom na preko 2.000 GW do 2030. godine (GWEC, 2021). Offshore

vjetroelektrane predstavljaju ključnu komponentu ovog rasta, s predviđenim rastom instaliranog kapaciteta na 230 GW do 2030. godine (GWEC, 2021). Hidroenergija trenutno čini najveći udio u obnovljivim izvorima energije. Prema IEA-i, hidroenergija čini oko 16% globalne proizvodnje električne energije (IEA, 2021). Unatoč tome, potencijal za daljnji rast hidroenergije je ograničen zbog ekoloških i društvenih izazova povezanih s velikim hidroenergetskim projektima. Mala hidroenergija, koja ima manji utjecaj na okoliš, može igrati ključnu ulogu u ruralnim područjima i zemljama u razvoju. Geotermalna energija čini manje od 1% globalne proizvodnje električne energije, s instaliranim kapacitetom od oko 14 GW (IRENA, 2020). Unatoč malom udjelu, geotermalna energija ima značajan potencijal za rast u regijama s odgovarajućim geotermalnim resursima. Poboļšani geotermalni sustavi (EGS) i binarni ciklusi mogu proširiti dostupnost geotermalne energije na šire područje. Energija biomase i biogoriva čine značajan dio energetskeg miksa u mnogim zemljama, posebno u ruralnim područjima i zemljama u razvoju. Prema IRENA-i, biomasa čini oko 10% globalne potrošnje energije (IRENA, 2021). Biogoriva druge generacije, koja se dobivaju iz neprehrambene biomase, nude održiviju alternativu biogorivima prve generacije.

Jedan od glavnih izazova u integraciji obnovljivih izvora energije je njihova povremenost. Solarne elektrane proizvode energiju samo tijekom dana ovisno o broju sunčanih sati, dok vjetroelektrane ovise o prisutnosti vjetra. Ova povremenost može uzrokovati nestabilnost u elektroenergetskom sustavu, posebno kada su obnovljivi izvori energije dominantni u energetskeg miksu (Zakeri & Syri, 2015). Tehnologije pohrane energije, kao što su litij-ionske baterije i napredni sustavi za pohranu energije, ključne su za rješavanje ovog problema. Međutim, trenutne tehnologije pohrane energije još uvijek nisu dovoljno razvijene i ekonomski isplative na velikoj skali (IRENA, 2020).

Visoki početni troškovi ulaganja, potreba za modernizacijom infrastrukture i nedostatak konzistentnih politika i poticaja predstavljaju glavne prepreke ulaganjima u obnovljive izvore energije (Sovacool et al., 2020). Iako su troškovi tehnologija obnovljivih izvora energije značajno smanjeni u posljednjih nekoliko desetljeća, još uvijek su potrebna velika početna ulaganja sa dugoročnim povratima. Prema IRENA-i, ukupna ulaganja potrebna za postizanje globalnog prijelaza na obnovljive izvore energije mogla bi doseći 130 trilijuna dolara do 2050. godine (IRENA, 2021). Ova ulaganja uključuju razvoj i instalaciju novih obnovljivih energetskeg sustava, istraživanje i razvoj novih tehnologija, modernizaciju postojeće infrastrukture te razvoj pametnih mreža i sustava za skladištenje energije.

Elektroenergetske mreže dizajnirane su za centraliziranu proizvodnju energije iz fosilnih goriva, dok obnovljivi izvori energije zahtijevaju decentralizirani pristup. Pametne mreže, koje koriste napredne tehnologije za upravljanje i optimizaciju distribucije energije, mogu poboljšati pouzdanost i stabilnost energetskeg sustava (Gungor et al., 2011). Međutim, modernizacija elektroenergetskeg mreža zahtijeva značajna ulaganja.

Konzistentne i poticajne politike ključne su za poticanje ulaganja u obnovljive izvore energije. Međutim, politike moraju biti stabilne i dugoročne kako bi osigurale sigurnost

ulaganja. Uspjeh njemačkog “Energiewende” programa pokazuje kako konzistentna politika može potaknuti značajan rast obnovljivih izvora energije i razvoj popratne industrije, ali također ukazuje na potrebu za rješavanjem izazova kao što su visoke cijene energije i integracija obnovljivih izvora u elektroenergetsku mrežu (Agora Energiewende, 2021).

Prijelaz na obnovljive izvore energije može donijeti značajne ekonomske koristi. Prema IRENA-i, prijelaz na obnovljive izvore energije mogao bi rezultirati stvaranjem oko 42 milijuna radnih mjesta do 2050. godine (IRENA, 2021). Ova radna mjesta uključuju ne samo direktno zapošljavanje u sektorima proizvodnje, instalacije i održavanja obnovljivih energetske sustava, već i indirektna radna mjesta u pratećim industrijama kao što su proizvodnja komponenata, istraživanje i razvoj te usluge podrške. Osim toga, smanjenje zagađenja zraka koje prati prijelaz na obnovljive izvore energije može rezultirati značajnim uštedama u zdravstvenim troškovima. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) procjenjuje da zagađenje zraka uzrokuje milijune preuranjenih smrti svake godine, a prijelaz na obnovljive izvore energije može značajno smanjiti ove zdravstvene troškove (WHO, 2016).

Primjeri uspješnih prijelaza na obnovljive izvore energije mogu pružiti vrijedne lekcije za druge zemlje. Njemačka, sa svojim ambicioznim “Energiewende” programom, postigla je značajan napredak u povećanju udjela obnovljivih izvora energije u svom energetske miksu te je ujedno razvila i popratnu industriju. Njemačka je uvela razne poticaje, uključujući FIT tarife, kako bi potaknula ulaganja u obnovljive izvore energije. Kao rezultat toga, postignut je značajan rast u instaliranom kapacitetu solarnih elektrana i vjetroelektrana. Međutim, izazovi poput visoke cijene energije i integracije obnovljivih izvora energije u elektroenergetsku mrežu i dalje ostaju (Agora Energiewende, 2021).

Kalifornija je jedan od lidera u SAD-u kada je riječ o obnovljivim izvorima energije. Država je postavila cilj da 100% električne energije dolazi iz čiste energije do 2045. godine. Kalifornijski programi poticaja za solarnu energiju, poput California Solar Initiative, značajno su povećali instalaciju solarnih sustava na krovovima kuća i komercijalnih objekata. Kalifornija također ulaže u razvoj pametnih mreža i tehnologija skladištenja energije kako bi poboljšala pouzdanost i integraciju obnovljivih izvora energije (California Energy Commission, 2021). Programi poput poticaja za čistu energiju i zakona o infrastrukturi usmjereni su na poticanje ulaganja u obnovljive izvore energije i modernizaciju infrastrukture (White House, 2021).

Kina, najveći emiter stakleničkih plinova, planira doseći klimatsku neutralnost do 2060. godine i ulaže značajna sredstva u razvoj solarnih, vjetroelektrana i hidroenergije. Kina je također lider u proizvodnji solarnih panela i vjetroelektrana, što joj omogućuje brzu ekspanziju obnovljivih izvora energije na domaćem tržištu i izvoz tih tehnologija (China National Energy Administration, 2021).

Tehnološki napredak igra ključnu ulogu u prijelazu na obnovljive izvore energije. Solarne elektrane i vjetroelektrane postigle su značajan napredak u smislu povećanja učinkovitosti i smanjenja troškova. Primjerice, perovskitne solarne ćelije predstavljaju novo obećavajuće rješenje koje može značajno smanjiti troškove i povećati učinkovitost

solarnih PV sustava (Yang et al., 2020). Slično tome, inovacije u dizajnu lopatica vjetroturbina i materijalima povećale su učinkovitost i vijek trajanja vjetroturbina (Hau, 2013). Koncentrirana solarna energija (CSP) također predstavlja važnu tehnologiju koja može pomoći u rješavanju problema povremenosti proizvodnje energije. CSP sustavi koriste sunčevu toplinu za proizvodnju električne energije, a napredne tehnologije poput upotrebe rastaljene soli za pohranu toplinske energije omogućuju proizvodnju električne energije čak i kada nema sunca (Sharma et al., 2017). Unatoč ovim inovacijama, CSP tehnologije trenutno čine manji dio solarnih instalacija, ali nude značajne prednosti u pogledu pohrane energije. Geotermalna energija također ima značajan potencijal za rast. Poboljšani geotermalni sustavi (EGS) omogućuju stvaranje pukotina u vrućim stjenovitim formacijama, čime se proširuje zemljopisna dostupnost geotermalne energije (Tester et al., 2006). Biljke binarnog ciklusa omogućuju korištenje resursa niže temperature, čineći geotermalnu energiju održivom na više lokacija (DiPippo, 2012).

Pametne mreže ključne su za integraciju obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sustav. One koriste napredne tehnologije za upravljanje i optimizaciju distribucije energije, omogućujući veću fleksibilnost i stabilnost mreže. Pametne mreže također omogućuju bolju integraciju decentraliziranih izvora energije, kao što su solarni paneli na krovovima kuća i male vjetroelektrane (Gungor et al., 2011). Pametne mreže uključuju upotrebu naprednih sustava za mjerenje i nadzor, kao i sustave za upravljanje potražnjom koji omogućuju prilagodbu potrošnje energije u stvarnom vremenu. Ove tehnologije mogu poboljšati pouzdanost i stabilnost energetske sustava, smanjujući rizik od nestanka struje i omogućujući učinkovitiju integraciju obnovljivih izvora energije, međutim zahtijevaju značajna ulaganja koja nisu dovoljno poticajna za privatni sektor.

Globalna suradnja ključna je za rješavanje izazova prijelaza na obnovljive izvore energije. Međunarodni sporazumi poput Pariškog sporazuma pružaju okvir za koordinirane napore na smanjenju emisija stakleničkih plinova i poticanje održivog razvoja (UNFCCC, 2015). Regionalne inicijative, poput Europskog zelenog plana, također igraju važnu ulogu u postizanju klimatskih ciljeva kroz koordinirane napore i zajednička ulaganja (European Commission, 2020). Konzistentne i poticajne politike ključne su za poticanje ulaganja u obnovljive izvore energije. Primjeri uspješnih politika uključuju FIT tarife, porezne olakšice i razne programe poticaja kako bi se potaknula ulaganja od strane privatnog sektora. Ove politike mogu privući ulaganja i podržati razvoj obnovljivih izvora energije, ali moraju biti stabilne i dugoročne kako bi osigurale sigurnost ulaganja (Sovacool, 2009).

Unatoč značajnom napretku, postoje brojni izazovi i prepreke koje treba prevladati kako bi se omogućio uspješan prijelaz na obnovljive izvore energije. Povremenost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora, nedovoljno razvijene tehnologije pohrane energije, visoki početni troškovi ulaganja i potreba za modernizacijom infrastrukture glavni su izazovi s kojima se suočavamo (Lund & Mathiesen, 2009). Osim tehnoloških i ekonomskih izazova, postoji i pitanje prihvaćanja javnosti. Dobivanje podrške javnosti za poticanje ulaganja u projekte obnovljivih izvora energije od ključne je važnosti, posebno vjetroelektrana i hidroelektrana, koje mogu imati značajne lokalne okolišne i



društvene utjecaje (Wüstenhagen et al., 2007). Edukacija i transparentna komunikacija s lokalnim zajednicama može poboljšati prihvaćanje i smanjiti otpor (Devine-Wright, 2011).

Teorijska pozadina pruža pregled glavnih elemenata koji su doveli do pretpostavke rada da, unatoč značajnom tehnološkom napretku, još uvijek nije postignut dovoljan tehnološki proboj i poticajno investicijsko okruženje, koji bi omogućili potpunu zamjenu fosilnih goriva obnovljivim izvorima energije.

Analiza trenutnih kapaciteta obnovljivih izvora energije, tehnoloških izazova, ekonomskih i političkih čimbenika, kao i primjera uspješnih prijelaza na obnovljive izvore energije, ukazuje na potrebu za daljnjim poticajima ulaganja, kontinuiranim inovacijama i globalnom suradnjom kako bi se prevladali postojeći izazovi i osigurao održivi prijelaz na obnovljive izvore energije. Dugoročni uspjeh ovog prijelaza ovisit će o sposobnosti društva da se prilagodi novim tehnologijama i modelima upravljanja energijom te o spremnosti vlada i privatnog sektora da ulažu u budućnost koja je ekološki, ekonomski i socijalno održiva.

## Metodologija

Da bismo kvantitativno dokazali postavljenu istraživačku pretpostavku rada, potrebno je analizirati nekoliko ključnih pokazatelja koji uključuju trenutne kapacitete obnovljivih izvora energije i njihov udio u globalnom energetsom miksu, povremenost proizvodnje i učinkovitost tehnologija pohrane energije, te ekonomske aspekte i političke mjere. Metodologija ovog istraživanja uključuje analizu trenutnih kapaciteta i udjela obnovljivih izvora energije u globalnom energetsom miksu kroz pregled literature i dostupnih statističkih podataka. Koristeći podatke iz izvora poput Međunarodne agencije za energiju (International Energy Agency, IEA) i Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (International Renewable Energy Agency, IRENA), istraženi su trendovi rasta kapaciteta solarnih fotonaponskih sustava, vjetroelektrana, hidroenergije, geotermalne energije i biomase. Analizirani su izazovi povremenosti proizvodnje energije iz obnovljivih izvora te učinkovitost postojećih tehnologija pohrane energije. Također su pregledane ekonomske implikacije prijelaza na obnovljive izvore energije, uključujući troškove tehnologija, financijske poticaje, te utjecaj na zapošljavanje i makroekonomske učinke. Korišteni su podaci iz raznih studija, izvještaja i predviđanja kako bi se dobio cjelovit uvid u trenutnu situaciju i buduće trendove.

## Rezultati

### Trenutni kapaciteti i udio obnovljivih izvora energije u globalnom energetsom miksu

Globalni kapaciteti obnovljivih izvora energije značajno su porasli u posljednjem desetljeću. Solarni fotonaponski (PV) sustavi porasli su sa 40 GW u 2010. godini na preko 580 GW u 2019. godini (IRENA, 2020). Globalni kapacitet vjetroelektrana

dosegnuo je preko 700 GW do kraja 2020. godine (GWEC, 2021). Međutim, unatoč ovim impresivnim brojkama, solarna energija i energija vjetra zajedno čine manje od 10% udjela u globalnoj proizvodnji električne energije (IEA, 2021).

Fosilna goriva i dalje dominiraju globalnim energetske miksom, čineći više od 80% ukupne potrošnje energije (IEA, 2021). Hidroenergija, koja je najstariji i najzastupljeniji obnovljivi izvor energije, čini oko 16% udjela u globalnoj proizvodnji električne energije, dok solarna energija i energija iz vjetra zajedno čine oko 9% (IEA, 2021). Ostali obnovljivi izvori, poput geotermalne energije i biomase, imaju još manji udio. Ove brojke jasno pokazuju da, unatoč brzom rastu, obnovljivi izvori energije još uvijek ne mogu u potpunosti zamijeniti fosilna goriva u udjelu proizvodnje električne energije kao niti globalnom energetske miks.

U Tablici 1 vidimo predviđeni rast kapaciteta obnovljivih izvora energije do 2050. godine. Solarni kapaciteti trebali bi porasti s 580 GW u 2020. godini na 30,000 GW do 2050. godine, dok bi kapaciteti vjetroelektrana trebali porasti s 700 GW na 10,000 GW. Unatoč ovim impresivnim predviđanjima, trenutni kapaciteti još uvijek nisu dovoljni za postizanje potpune zamjene fosilnih goriva (IRENA, 2021).

Tablica 1: Predviđeni rast kapaciteta obnovljivih izvora energije do 2050.

Kapacitet (GW)	2020.	2030.	2050.
Solarna energija	580	2000	30000
Energija iz vjetra	700	2000	10000
Hidroenergija	1200	1500	2000
Geotermalna energija	14	100	1000
Biomasa	100	300	1000

Izvor: IRENA (2021)

### Povremenost proizvodnje i učinkovitost tehnologija pohrane energije

Povremenost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora energije jedan je od glavnih izazova. Solarne elektrane proizvode energiju samo tijekom dana ovisno o broju sunčanih sati, a vjetroelektrane ovise o prisutnosti vjetra. Studija Zakeri i Syri (2015) pokazuje da povremenost može uzrokovati nestabilnost u elektroenergetskom sustavu, posebno kada su obnovljivi izvori energije dominantni u energetske miks. Trenutno, tehnologije za pohranu energije, poput litij-ionskih baterija, mogu pohraniti energiju za nekoliko sati do nekoliko dana, ali nisu sposobne za dugotrajnu pohranu koja bi bila potrebna za potpuno nadoknađivanje povremenosti (IRENA, 2020).

Povremenost proizvodnje energije iz solarnih elektrana i vjetroelektrana predstavljena je kao jedan od glavnih izazova. Solarna energija je dostupna samo tijekom dana i ovisi o broju sunčanih sati, dok energija vjetra ovisi o vremenskim uvjetima. Tehnologije pohrane energije, poput litij-ionskih baterija, nude djelomična rješenja za ovu povremenost. Tablica 2 prikazuje smanjenje troškova pohrane energije litij-ionskim baterijama od 2010. do 2020. godine. Iako su troškovi značajno smanjeni, trenutni kapaciteti pohrane još uvijek nisu dovoljni za rješavanje svih izazova povremenosti



odnosno mogućnosti skladištenja električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora energije.

*Tablica 2: Troškovi pohrane energije litij-ionskim baterijama*

<b>Godina</b>	<b>Trošak po kWh (USD)</b>
<b>2010</b>	1100
<b>2012</b>	800
<b>2014</b>	600
<b>2016</b>	400
<b>2018</b>	250
<b>2020</b>	137

*Izvor: IRENA (2021)*

Litij-ionske baterije, koje su najraširenija tehnologija za pohranu energije, imaju ograničeni vijek trajanja i kapacitet pohrane. Prema istraživanju koje je proveo Lund (2009), trenutne tehnologije pohrane energije još uvijek nisu dovoljno razvijene i ekonomski isplative na velikoj skali. Iako se razvijaju nove tehnologije, poput vodikovih gorivnih ćelija i naprednih baterija, one još nisu spremne za široku komercijalnu primjenu. Troškovi pohrane energije i dalje predstavljaju značajnu prepreku masovnom usvajanju obnovljivih izvora energije.

## **Ekonomski aspekti i političke mjere**

Prijelaz na obnovljive izvore energije ima duboke ekonomske implikacije koje se protežu od troškova i koristi na makroekonomskoj razini do specifičnih sektora unutar gospodarstva. Stoga je bitno sagledati ekonomske aspekte obnovljivih izvora energije, uključujući troškove tehnologija, financijske poticaje, ekonomske koristi, izazove financiranja, utjecaj na zapošljavanje i šire makroekonomske učinke.

Troškovi obnovljivih izvora energije značajno su se smanjili u posljednjih nekoliko desetljeća. Prema podacima IRENA-e, prosječni troškovi instaliranih solarnih fotonaponskih sustava pali su s 4,8 USD po vatu u 2010. godini na 0,68 USD po vatu u 2020. godini (IRENA, 2021). Slično tome, troškovi vjetroelektrana na kopnu pali su za oko 40% u istom razdoblju, dok su troškovi vjetroelektrana na moru smanjeni za oko 30% (IRENA, 2021). Unatoč smanjenju troškova, visoki početni troškovi ulaganja u obnovljive izvore energije i dalje predstavljaju značajnu prepreku. Troškovi uključuju ne samo nabavu i instalaciju opreme, već i troškove povezane s modernizacijom infrastrukture, kao što su pametne mreže i sustavi za pohranu energije. Ulaganja su visoka sa dugoročnim povratima te nisu dovoljno zanimljiva privatnom sektoru kojem je bitna brzina povrata prilikom evaluacije investicija u razne projekte.

Vlade diljem svijeta koriste razne financijske poticaje kako bi potaknule ulaganja u obnovljive izvore energije, a kako bi takve investicije bile poticajne privatnom sektoru. Feed-in tarife, porezne olakšice, subvencije i razni programi poticaja za čistu energiju primjeri su politika koje su se pokazale učinkovitima u povećanju ulaganja u obnovljive izvore energije (REN21, 2023). Feed-in tarife su fiksne cijene koje se nude

proizvođačima obnovljivih izvora energije za svaki proizvedeni kilovat-sat energije te garantiraju isplatu po određenim cijenama koje su nešto više od tržišnih na duži period, a sve s ciljem kako bi ulaganje bilo isplativo. Ovaj pristup osigurava stabilan prihod za proizvođače energije, čime se smanjuje financijski rizik i potiče ulaganja. Njemačka je uspješno koristila FIT tarife kao dio svog "Energiewende" programa, što je dovelo do značajnog povećanja instaliranih kapaciteta solarne i vjetroenergije (Agora Energiewende, 2021). Porezne olakšice i subvencije također igraju ključnu ulogu u poticanju ulaganja. Na primjer, američka vlada nudi porezne olakšice za ulaganja u obnovljive izvore energije kroz program Investment Tax Credit (ITC). Ove mjere smanjuju ukupne troškove projekata obnovljivih izvora energije, čineći ih ekonomski održivijima (IRENA, 2021).

Prijelaz na obnovljive izvore energije donosi brojne ekonomske koristi. Osim smanjenja emisija stakleničkih plinova i poboljšanja kvalitete zraka, obnovljivi izvori energije mogu potaknuti gospodarski rast kroz otvaranje novih radnih mjesta i razvoj novih industrija. Stvaranje radnih mjesta jedan je od najvažnijih ekonomskih učinaka prijelaza na obnovljive izvore energije. Prema procjenama IRENA-e, prijelaz na obnovljive izvore energije mogao bi rezultirati stvaranjem oko 42 milijuna radnih mjesta do 2050. godine (IRENA, 2021). Ova radna mjesta uključuju ne samo direktno zapošljavanje u sektorima proizvodnje, instalacije i održavanja obnovljivih energetske sustava, već i indirektna radna mjesta u pratećim industrijama kao što su proizvodnja komponenata, istraživanje i razvoj te usluge podrške. Osim toga, razvoj novih industrija i inovacija u tehnologijama obnovljive energije može potaknuti gospodarski rast. Primjerice, Kina je postala lider u proizvodnji solarnih panela i vjetroturbina, što joj omogućuje brzu ekspanziju obnovljivih izvora energije na domaćem tržištu i izvoz tih tehnologija. Ovo je stvorilo nova radna mjesta i povećalo gospodarski rast u regijama koje su ranije bile ovisne o tradicionalnim industrijama fosilnih goriva (China National Energy Administration, 2021). Smanjenje zdravstvenih troškova još je jedna važna ekonomska korist prijelaza na obnovljive izvore energije. Smanjenje zagađenja zraka koje prati prijelaz na obnovljive izvore energije može rezultirati značajnim uštedama u zdravstvenim troškovima. Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) procjenjuje da zagađenje zraka uzrokuje milijune preuranjenih smrti svake godine, a prijelaz na obnovljive izvore energije može značajno smanjiti ove zdravstvene troškove (WHO, 2016).

Iako postoje brojne ekonomske koristi, prijelaz na obnovljive izvore energije suočava se s izazovima financiranja. Visoki početni troškovi ulaganja zahtijevaju pristup povoljnim financijskim mehanizmima. Tradicionalni izvori financiranja, kao što su komercijalni krediti, često nisu dovoljno fleksibilni za financiranje velikih projekata obnovljivih izvora energije. Zelene obveznice i fondovi za čistu energiju predstavljaju inovativne financijske mehanizme koji mogu pomoći u mobilizaciji kapitala za projekte obnovljive energije. Zelene obveznice su dugoročni financijski instrumenti koji omogućuju investitorima ulaganje u projekte s pozitivnim okolišnim učincima (IRENA, 2021). Fondovi za čistu energiju, koje često osnivaju vlade i međunarodne financijske institucije, mogu osigurati dodatni kapital za razvoj i implementaciju obnovljivih energetske projekata (IRENA, 2021). Javno-privatna partnerstva (JPP) također igraju

važnu ulogu u financiranju projekata obnovljive energije. Ovi modeli omogućuju dijeljenje rizika i koristi između javnog i privatnog sektora, čime se povećava financijska održivost projekata. Vlade mogu koristiti JPP modele za privlačenje privatnih investicija u infrastrukturne projekte, uključujući pametne mreže i sustave za pohranu energije (IRENA, 2021).

Prijelaz na obnovljive izvore energije može imati značajan utjecaj na zapošljavanje. Globalna industrija obnovljivih izvora energije zapošljavala je oko 11,5 milijuna ljudi 2019. godine, a taj broj nastavlja rasti (IRENA, 2021). Ova radna mjesta uključuju širok raspon sektora, od proizvodnje i instalacije do održavanja i upravljanja sustavima obnovljive energije. Međutim, prijelaz na obnovljive izvore energije također može dovesti do raseljavanja radnika iz tradicionalnih industrija fosilnih goriva. Važno je da vlade i industrije razviju programe prekvalifikacije i podrške za radnike koji gube radna mjesta u sektorima fosilnih goriva kako bi se olakšao njihov prijelaz u nove industrije.

Prijelaz na obnovljive izvore energije može imati široke makroekonomske učinke, uključujući povećanje energetske sigurnosti, smanjenje ovisnosti o uvezenim fosilnim gorivima i poticanje održivog gospodarskog rasta. Povećanje energetske sigurnosti jedno je od ključnih makroekonomskih učinaka prijelaza na obnovljive izvore energije. Korištenje domaćih izvora energije smanjuje ovisnost o uvozu fosilnih goriva i povećava otpornost energetske sustava na vanjske šokove, poput geopolitičkih sukoba ili volatilnosti cijena nafte (IRENA, 2021). To može imati pozitivne učinke na nacionalnu sigurnost i stabilnost gospodarstva. Smanjenje ovisnosti o fosilnim gorivima također može imati značajne ekonomske koristi.

Zemlje koje su visoko ovisne o uvozu fosilnih goriva često se suočavaju s velikim troškovima uvoza i volatilnošću cijena. Prijelaz na obnovljive izvore energije može smanjiti te troškove i osigurati stabilniju i predvidljiviju opskrbu energijom (IRENA, 2021). To je posebno važno za zemlje u razvoju koje su često najosjetljivije na promjene cijena fosilnih goriva i geopolitiku vezanu uz energetske resurse. Poticanje održivog gospodarskog rasta još je jedan važan makroekonomski učinak prijelaza na obnovljive izvore energije. Razvoj novih tehnologija i industrija povezanih s obnovljivim izvorima energije može potaknuti inovacije, povećati produktivnost i stvoriti nova tržišta. Osim toga, investicije u obnovljive izvore energije često imaju multiplikativne učinke na gospodarstvo, generirajući dodatnu ekonomsku aktivnost i zapošljavanje u povezanim sektorima (IRENA, 2021).

Iako prijelaz na obnovljive izvore energije donosi brojne ekonomske koristi, on također nosi određene rizike i izazove. Financijski rizici uključuju volatilnost tržišta, promjene u politikama i regulativama te neizvjesnosti povezane s tehnološkim napretkom. Ekonomski rizici mogu uključivati visoke početne troškove ulaganja, neizvjesnosti povezane s povratom ulaganja i potencijalne promjene u potražnji za energijom. Tehnološki izazovi uključuju povremenost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora i potrebu za razvojem učinkovitih tehnologija pohrane energije. Ovi izazovi zahtijevaju kontinuirana ulaganja u istraživanje i razvoj te inovacije kako bi se osigurala stabilna i pouzdana opskrba energijom.

## Zaključak

Korištenjem potencijala obnovljivih izvora energije možemo postići održivi energetske prijelaz koji koristi i gospodarstvu i okolišu. Međutim, kako bi se postigli ciljevi, potrebni su koordinirani naponi svih dionika u procesu; vlada, privatnog sektora i međunarodnih organizacija. Potrebno je dodatno poticati ulaganja u istraživanje i razvoj, podržavati inovacije i stvarati poticajne politike koje će omogućiti bržu integraciju obnovljivih izvora energije u energetske miks. Istodobno, važno je raditi na edukaciji i podizanju svijesti javnosti o prednostima obnovljivih izvora energije kako bi se povećala podrška i sudjelovanje u projektima. Samo kroz sveobuhvatan i koordiniran pristup možemo postići održiv prijelaz na obnovljive izvore energije i osigurati energetske sustav koji je ekološki, ekonomski i socijalno održiv.

Obnovljiva energija predstavlja ključnu komponentu globalne strategije za borbu protiv klimatskih promjena i osiguranje održivog razvoja. U posljednjih nekoliko desetljeća, tehnologije obnovljivih izvora energije postigle su značajan napredak, omogućujući značajno smanjenje troškova i povećanje učinkovitosti. Unatoč tome, prijelaz s fosilnih goriva na obnovljive izvore energije suočava se s brojnim izazovima koje je potrebno prevladati kako bi se postigla potpuna zamjena fosilnih goriva. Prvi i možda najvažniji izazov je povremenost proizvodnje energije iz obnovljivih izvora poput solarnih elektrana i vjetroelektrana. Ova povremenost proizvodnje može uzrokovati nestabilnost u elektroenergetskom sustavu, posebno kada su obnovljivi izvori energije dominantni u energetske miks. Tehnologije pohrane energije, kao što su litij-ionske baterije i napredni sustavi za pohranu energije, ključne su za rješavanje ovog problema. Međutim, trenutne tehnologije pohrane energije još uvijek nisu dovoljno razvijene i ekonomski isplative na velikoj skali. Prema istraživanju Zakeri i Syri (2015), troškovi pohrane energije i dalje predstavljaju značajnu prepreku masovnom prijelazu na obnovljive izvore energije. Drugi važan izazov je potreba za modernizacijom postojeće energetske infrastrukture. Elektroenergetske mreže dizajnirane su za centraliziranu proizvodnju energije iz fosilnih goriva, dok obnovljivi izvori energije zahtijevaju decentralizirani pristup. Pametne mreže, koje koriste napredne tehnologije za upravljanje i optimizaciju distribucije energije, mogu poboljšati pouzdanost i stabilnost energetske sustava. Međutim, modernizacija elektroenergetskih mreža zahtijeva značajna ulaganja. Treći izazov su visoki početni troškovi ulaganja u obnovljive izvore energije. Iako su troškovi tehnologija obnovljive energije značajno smanjeni u posljednjih nekoliko desetljeća, još uvijek su potrebna velika početna ulaganja.

Uz tehničke i ekonomske izazove, prijelaz na obnovljive izvore energije zahtijeva i političku podršku. Konzistentne i poticajne politike ključne su za poticanje ulaganja u obnovljive izvore energije. Primjeri uspješnih politika uključuju feed-in tarife, porezne olakšice i programi poticaja za čistu energiju. Međutim, politike moraju biti stabilne i dugoročne kako bi osigurale sigurnost ulaganja. Također je važno napomenuti da prijelaz na obnovljive izvore energije može donijeti značajne ekonomske koristi. Ekonomski aspekti prijelaza na obnovljive izvore energije su složeni i višestruki. Iako postoje značajni troškovi povezani s instalacijom novih kapaciteta i modernizacijom infrastrukture, dugoročne ekonomske koristi su značajne. Stvaranje radnih mjesta,

razvoj novih industrija, smanjenje zdravstvenih troškova i povećanje energetske sigurnosti samo su neki od pozitivnih učinaka prijelaza na obnovljive izvore energije. Kako bi se iskoristile ove ekonomske koristi, potrebna su inovativna financijska rješenja, konzistentne i poticajne politike te globalna suradnja. Vlade, privatni sektor i međunarodne organizacije moraju zajednički raditi na razvoju i implementaciji strategija koje će omogućiti održiv i ekonomski isplativ prijelaz na obnovljive izvore energije. Dugoročni uspjeh ovog prijelaza ovisit će o našoj sposobnosti da se prilagodimo novim tehnologijama i modelima upravljanja energijom te o spremnosti da ulažemo u budućnost koja je ekološki, ekonomski i socijalno održiva. Iako postoje značajni izazovi, stalne inovacije, podrška politika i globalna suradnja mogu omogućiti uspješan prijelaz na obnovljive izvore energije. Kroz sveobuhvatan i koordiniran pristup, možemo postići održivi energetski sustav koji koristi i gospodarstvu i okolišu, osiguravajući bolju budućnost za sve. Korištenjem potencijala obnovljive energije, uz istovremeno rješavanje tehničkih, ekonomskih i socijalnih izazova, možemo ostvariti ciljeve smanjenja emisija stakleničkih plinova i postizanje klimatske neutralnosti. Održivi energetski prijelaz zahtijeva kontinuirano ulaganje u istraživanje i razvoj, poticanje inovacija i edukaciju javnosti, kao i implementaciju učinkovitih politika koje podržavaju razvoj i integraciju obnovljivih izvora energije.

Analiza jasno pokazuje da, unatoč značajnom napretku, trenutni kapaciteti obnovljivih izvora energije, tehnologije pohrane energije i političke mjere još uvijek nisu dovoljne za potpunu zamjenu fosilnih goriva. Trenutni udio obnovljivih izvora energije u globalnom energetskom miks, problemi povremenosti proizvodnje energije i visoki troškovi ulaganja potvrđuju hipotezu da još nije postignut dovoljan tehnološki proboj. Potrebna su dodatna ulaganja, kontinuirane inovacije i globalna suradnja kako bi se prevladali postojeći izazovi i osigurao održivi prijelaz na obnovljive izvore energije. Dugoročni uspjeh prijelaza na obnovljive izvore energije ovisit će o sposobnosti društva da se prilagodi novim tehnologijama i modelima upravljanja energijom te o spremnosti vlada i privatnog sektora da ulažu u budućnost koja je ekološki, ekonomski i socijalno održiva.

## Literatura

Agora Energiewende. (2021). The German Energiewende – history and status quo. Retrieved from <https://www.agora-energiewende.de/en/topics/the-energiewende/detail-view/>

California Energy Commission. (2021). California Solar Initiative. Retrieved from <https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/california-solar-initiative>

China National Energy Administration. (2021). China's Renewable Energy Development. Retrieved from <http://www.nea.gov.cn/>

Devine-Wright, P. (2011). Public engagement with large-scale renewable energy technologies: breaking the cycle of NIMBYism. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1), 19-26.

DiPippo, R. (2012). *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact* (3rd ed.). Elsevier. ISBN 978-0123947871.

Goldemberg, J. (2007). Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science*, 315(5813), 808-810. <https://doi.org/10.1126/science.1137013>

Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., & Ergut, S. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 529-539. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>

Hau, E. (2013). *Wind turbines: Fundamentals, technologies, application, economics*. Springer Science & Business Media.

IRENA. (2020). *Global renewables outlook: Energy transformation 2050*. International Renewable Energy Agency.

IRENA. (2021). *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*. International Renewable Energy Agency.

IEA. (2021). *World Energy Outlook 2021*. World Energy Outlook. <https://doi.org/10.1787/14fcb638-en>

Lund, H. (2009). *Renewable energy systems: The choice and modeling of 100% renewable solutions*. Academic Press.

Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2009). Energy system analysis of 100% renewable energy systems—The case of Denmark in years 2030 and 2050. *Energy*, 34(5), 524-531. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.04.003>

REN21. (2023). *Renewables 2023 Global Status Report*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century.

Sharma, S., & Prasad, R. (2017). A comprehensive review on concentrated solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 304-329. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.174

Sims, R. E., Rogner, H. H., & Gregory, K. (2007). Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation. *Energy Policy*, 35(11), 5186-5196.

Sovacool, B. K. (2009). The importance of comprehensiveness in renewable electricity and energy-efficiency policy. *Energy Policy*, 37(4), 1529-1541. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.12.016>

Sovacool, B. K., Schmid, P., Stirling, A., Walter, G., & MacKerron, G. (2020). Differences in carbon emissions reduction between countries pursuing renewable electricity versus nuclear power. *Nature Energy*, 5(11), 928-935. <https://doi.org/10.1038/s41560-020-00696-3>

Tester, J. W., Anderson, B. J., Batchelor, A. S., Blackwell, D. D., DiPippo, R., & Drake, E. M. (2006). *The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century*. Massachusetts Institute of Technology.



UNFCCC. (2015). Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change.

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, 35(5), 2683-2691.

Yang, S., Fu, W., Zhang, Z., Chen, H., & Li, C.-Z. (2017). Recent advances in perovskite solar cells: efficiency, stability and lead-free perovskite. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(23), 11462-11482. <https://doi.org/10.1039/c7ta00366h>

Zakeri, B., & Syri, S. (2015). Electrical energy storage systems: A comparative life cycle cost analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 569-596. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.011>

European Commission. (2020). A European Green Deal. [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

White House. (2021). The Biden Plan for a Clean Energy Revolution and Environmental Justice. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/01/27/fact-sheet-president-biden-takes-executive-actions-to-tackle-the-climate-crisis-at-home-and-abroad-reach-carbon-pollution-free-power-sector-by-2035-and-put-u-s-on-path-to-net-zero-emissions-economy-by-2050/>

GWEC. (2021). Global Wind Report 2021. Global Wind Energy Council.

WHO. (2016). Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease. World Health Organization.

## **O autorici**

Dr.sc. Barbara Dorić diplomirala je na Ekonomskom fakultetu u Beču, završila je MBA program na IEDC poslovnoj školi na Bledu u Sloveniji te doktorirala je na Ekonomskom fakultetu Sveučilištu u Ljubljani. Doktorirala je na temi upravljanja naftnim i plinskim sektorom. Trenutno radi kao direktorica investicija u Fortenova Grupi. Njeno glavno područje istraživanja je upravljanje, strateško planiranje i održivi razvoj. Autora je moguće kontaktirati na [barbaradoric@yahoo.com](mailto:barbaradoric@yahoo.com)