

<https://doi.org/10.54318/eip.2023.dm.360>**ĐORĐE MITROVIĆ¹**

E-mail: dorde.mitrovic@ekof.bg.ac.rs

DEJAN MOLNAR²

E-mail: dejan.molnar@ekof.bg.ac.rs

SONJA JOSIPOVIĆ³

E-mail: sjosipovic@tmf.bg.ac.rs

KOMPARATIVNA ANALIZA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZEMLJAMA EVROPSKE UNIJE I ZAPADNOG BALKANA

COMPARATIVE ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN THE EU AND WB COUNTRIES

JEL KLASIFIKACIJA: O13, P28, Q43, Q51

APSTRAKT:

Predmet ovoga rada je ocena i poređenje energetske efikasnosti razvijenih zemalja i zemalja u razvoju. Za potrebe analize energetske efikasnosti definisan je odgovarajući DEA model. Prednost ovog modela, koji ima široku primenu u oblasti energetike i ekonomije životne sredine, ogleda se u integralnom posmatranju četiri značajne i međusobno po-

1 Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, Kamenička 6, 11000 Beograd, Srbija

2 Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, Kamenička 6, 11000 Beograd, Srbija

3 Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija

vezane oblasti (energetike, životne sredine, tehnologije i urbanizacije). Cilj rada je da se sagleda koliko efikasno zemlje EU i Zapadnog Balkana koriste energiju (primarnu i električnu) i da li postoje razlike sa ovog stanovišta između posmatrane dve grupe zemalja. U radu su prikazani rezultati istraživanja dobijeni primenom DEA pristupa na odgovarajući set varijabli koje se odnose na inpute i outpute relevantne za ocenu energetske efikasnosti. Uzorak čine zemlje Evropske unije i Zapadnog Balkana, a kao godina posmatranja izabrana je 2021. godina.

**KLJUČNE REČI:****ENERGETSKA EFIKASNOST, DEA ANALIZA, EU, ZAPADNI BALKAN.****ABSTRACT:**

The subject of this paper is the assessment and comparison of energy efficiency of developed and developing countries. An appropriate DEA model was defined for the purpose of energy efficiency analysis. The advantage of this model, which has a wide application in the fields of energy and environmental economics, is reflected in its integral observation of four significant and mutually connected areas (energy, environment, technology and urbanisation). The aim of the paper is to assess how efficiently the EU and Western Balkan countries use their energy (primary and electricity) and to see if there are any differences from this perspective between the two groups of countries. The results presented in the paper were obtained from the research which applied the DEA model on an appropriate set of variables pertaining to inputs and outputs relevant for the energy efficiency assessment. The sample consists of the EU and Western Balkan countries, and the year chosen is 2021.

**KEYWORDS:****ENERGY EFFICIENCY, DEA ANALYSIS, EU, WESTERN BALKANS.**

1. UVOD

Ocena energetske efikasnosti relevantna je u analizi ekonomskog rasta (i razvoja), iz razloga što efikasnije korišćenje energije podrazumeva proizvodnju uz niže troškove ili veću vrednost outputa (obima proizvodnje). Nastojanje da se unapredi energetska efikasnost na globalnom nivou podržano je Agendom 2030 koju su usvojile zemlje Ujedinjenih nacija 2015. godine. U njoj su definisani ključni međusobno povezani globalni ciljevi održivog razvoja među kojima je i cilj koji se odnosi na oblast energetike. Sedmi cilj održivog razvoja, definisan kao „*dostupna i obnovljiva energija*“, odnosi se na nastojanje da se osigura pristup dostupnoj, pouzdanoj, održivoj i modernoj energiji za sve. U pozadini ovog cilja je želja da se spreči dalje narušavanje životne sredine putem ostvarenja pet potciljeva do 2030. godine, a koji su: 1. Univerzalni pristup jeftinim, pouzdanim i modernim energetske uslugama; 2. Značajno povećanje učešća obnovljive energije u globalnom energetske miksu; 3. Udvostručenje stope unapređenja energetske efikasnosti na globalnom nivou; 4. Unapređenje međunarodne saradnje kako bi se olakšao pristup istraživanju i tehnologiji čiste energije, uključujući obnovljivu energiju, energetske efikasnost i naprednu i čistiju tehnologiju fosilnih goriva, i podsticanje investiranja u energetske infrastrukture i tehnologije čiste energije i 5. Proširenje infrastrukture i unapređenje tehnologije za snabdevanje svih korisnika uslugama moderne i održive energije u zemljama u razvoju, a posebno u najnerazvijenijim zemljama i malim ostrvskim državama u razvoju. Pristup električnoj energiji, energetska efikasnost, pristup čistim gorivima za kuvanje, pristup i investicije u čistu energiju i proširenje energetske usluga za zemlje u razvoju predstavljaju korisne indikatore za praćenje napretka u ostvarenju navedenih potciljeva.

Glavni motiv za sprovođenje istraživanja čiji su rezultati prikazani u ovom radu ogleda se u nedostatku analiza koje za predmet imaju kvantifikovanje i poređenje energetske efikasnosti razvijenih zemalja i zemalja u razvoju, poput onih koje pripadaju regionu Zapadnog Balkana. Glavni cilj bio je da ocenimo koliko efikasno zemlje Evropske unije i Zapadnog Balkana koriste energiju (primarnu i električnu energiju). Dobijene ocene su značajne sa stanovišta poređenja energetske efikasnosti između dve posmatrane grupe zemalja kako bi se sagledalo da li postoje razlike i ukoliko postoje čime su one uslovljene.

2. PREGLED LITERATURE

DEA model kao neparametarski pristup za merenje efikasnosti zaokuplja sve više pažnju međunarodne akademske zajednice, a naročito u oblasti energetike i ekonomije životne sredine.⁴ Tokom perioda 2006-2015. godina najviše radova koji za predmet istraživanju imaju primenu DEA metoda za ocenu energetske efikasnosti objavili su naučnici iz Kine, Irana, SAD-a, Tajvana, Španije i Koreje.⁵ Za potrebe istraživanja energija se najčešće deli na sledeći način: primarna energija (energija fosilnih goriva, obnovljivi izvori energije i nuklearna energija) i sekundarna energija (električna energija).

4 Mardani et al. (2017); Mardani et al. (2018); Fidanoski et al. (2021)

5 Mardani et al. (2017)

Fidasoski et al. (2021) u cilju ocene energetske efikasnosti razvijenih zemalja članica Organizacije za ekonomsku saradnju i razvoj (OECD) razvili su model koji oblast energetike povezuje sa oblastima sa kojima je povezana, poput životne sredine, tehnologije i urbanizacije. Ocene efikasnosti sa aspekta minimizacije upotrebe i gubitaka energije i emisije CO₂ dobijene su na osnovu uzorka od 30 zemalja tokom perioda 2001-2018. godina. Prema rezultatima istraživanja granica efikasnosti u proseku iznosi 16,1% za primarnu energiju, dok se u slučaju električne energije nalazi u intervalu od 10,8 do 13,5%. Ouyang and Yang (2020) su na primeru 27 zemalja OECD-a izvršili komparativnu analizu rezultata dobijenih primenom različitih DEA modela kako bi sagledali koji metod je relevantniji za procenu regionalne energetske efikasnosti, a koji pruža detaljniju analizu rezultata koja može pomoći kreatorima javnih politika pri donošenju odluka i definisanju mera.

U cilju sagledavanja doprinosa javnih politika na stvaranje održivog sektora energetike, Chen and Gong (2017) su analizirali energetske efikasnost prerađivačke industrije u Kini. U DEA model uključena je jedna autput varijabla (energetski intenzitet) i pet input varijabli (konkurencija unutar industrija, razvoj novih tehnologija, struktura potrošnje energije, otvorenost privrede, regulative u oblasti zaštite životne sredine i politike energetske efikasnosti). Rezultati ocene modela, korišćenjem panel podataka tokom perioda 2004-2014. godina, su ukazali da je nedostatak odgovarajućih politika koje se tiču unapređenja energetske efikasnosti jedan od faktora koji utiče na nisku energetske efikasnost u oblasti prerađivačke industrije. Takođe, za održivi razvoj energetske sektora naročito su značajni pozitivni efekti stranih direktnih investicija u pogledu transfera tehnologije.⁶ Mnogi autori dali su doprinos u pogledu unapređenja DEA metodologije za ocenu efikasnosti. Jedan od značajnih doprinosa ogleda se u uključivanju u DEA model pored poželjnog autputa (npr. energetske intenziteta) i nepoželjnog autputa (poput emisije CO₂).

3. UZORAK I OPIS VARIJABLI

U cilju ocene i poređenja energetske efikasnosti razvijenih zemalja i zemalja u razvoju, kreirali smo uzorak koji je sačinjen od 31 države (26 zemalja Evropske unije i 5 zemalja Zapadnog Balkana) i odabrana je 2021. godina kao godina posmatranja. Na osnovu potciljeva i indikatora postavljenog sedmog cilja održivog razvoja koji se odnosi na obezbeđenje dostupne i obnovljive energije i po ugledu na istraživanja u kojima je analizirana energetska efikasnost zemalja članica OECD⁷, definisane su odgovarajuće varijable inputa i autputa DEA modela. Za prikupljanje podataka korišćeni su različiti statistički izvori, a to su: Svetska banka, OECD, Baza podataka o emisijama za globalna atmosferska istraživanja i Uprava za informacije o energetici SAD. U Tabeli 1. dat je opis varijabli koje su korišćene za ocenu energetske efikasnosti zemalja EU i Zapadnog Balkana.

6 Parežanin M. (2016)

7 Ouyang and Yang (2020); Fidasoski et al. (2021)

TABELA 1. VARIJABLE ZA OCENU ENERGETSKE EFIKASNOSTI

VARIJABLE	SKRAĆENICA	MERA	IZVOR
<i>Varijable inputa</i>			
Zavisnost od trgovine primarnom energijom	PED	vrednost veća od 0	Uprava za informacije o energetici SAD
Kapacitet za proizvodnju električne energije po stanovniku	ELC	hiljadu kW	Uprava za informacije o energetici SAD
Električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora	ELR	Učešće u ukupno proizvedenoj električnoj energiji	Uprava za informacije o energetici SAD
Izdvajanja za istraživanje i razvoj	RD	Učešće u bruto domaćem proizvodu	OECD
Stopa urbanizacije	URB	Učešće u ukupnoj populaciji	Svetska banka
<i>Varijable outputa</i>			
Bruto domaći proizvod po stanovniku	BDP	tekući američki dolar	Svetska banka
Emisija CO ₂	CO ₂	Mton	Baza podataka o emisijama za globalna atmosferska istraživanja

Izvor: Samostalan prikaz autora.

U analizu energetske efikasnosti zemalja EU i Zapadnog Balkana uključeno je pet varijabli inputa. Tri varijable odnose se direktno na oblast energetike (zavisnost od trgovine primarnom energijom, instalirani kapacitet za proizvodnju električne energije i električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora), dok dve varijable predstavljaju procenu za značajne i povezane oblasti sa energetikom, tehnologiju i urbanizaciju (izdvajanja za istraživanje i razvoj i stopa urbanizacije).

Postojanje razlika između proizvedene i utrošene primarne energije ukazuju na trgovinsku orijentaciju zemlje. Ako zemlja proizvodi više energije nego što može da potroši, onda će višak izvoziti. Ako zemlja proizvodi manje energije nego što joj je potrebno, onda će manjak uvoziti. Indeks zavisnosti od trgovine primarnom energijom predstavlja količnik bilansa primarne energije (apsolutna razlika između utrošene i proizvedene primarne energije) i ukupne proizvodnje primarne energije. Niža vrednost indeksa ukazuje na manju zavisnost nacionalne ekonomije od trgovine primarnom energijom. Za potrebe istraživanja instaliran kapacitet za proizvodnju električne energije po stanovniku izračunat je kao količnik instaliranog kapaciteta proizvodnje električne energije i ukupnog broja stanovnika. Viša vrednost ovog indikatora ukazuje na veću efikasnost u proizvodnji električne energije. Takođe, u istraživanju se polazi od pretpostavke da veće učešće električne energije iz obnovljivih izvora povećava energetska efikasnost zbog čega je kao ulazna varijabla uključeno i učešće električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora.

Mnogobrojna istraživanja su za predmet analize imala ocenu značaja izdvajanja za istraživanje i razvoj (kvantifikovana na osnovu njihovog učešća u bruto domaćem proizvodu) za razvoj inovacija u sektoru energetike i smanjenje emisije CO₂.⁸ Iznos ulaganja za

8 Bointner (2014); Koçak et al. (2019)

istraživanje i razvoj najčešće se uzima kao aproksimacija za raspoloživost novim tehnologijama koje mogu obezbediti proizvodnju po nižim troškovima i efikasniju potrošnju energije. Takođe, stopa urbanizacije (učešće urbanog stanovništva u ukupnoj populaciji) predstavlja značajnu varijablu u analizi energetske efikasnosti s obzirom da su tražnja i potrošnja energije znatno veće u urbanim u odnosu na ruralna područja. Proces urbanizacije dovodi do značajnog povećanja potrošnje energije i samim tim utiče na smanjenje energetske efikasnosti.⁹

U analizi su korišćene dve varijable outputa - jedna koja je poželjna i predstavlja aproksimaciju za ekonomski rast (bruto domaći proizvod po stanovniku), dok je druga nepoželjna i odnosi se na meru narušavanja životne sredine (emisija CO₂). Za održiv ekonomski razvoj potrebno je obezbediti i rast bruto domaćeg proizvoda i efikasnu potrošnju raspoložive energije. Maksimiranje energetske efikasnosti zahteva rast bruto domaćeg proizvoda koji je praćen uštedom energije u cilju obezbeđenja veće efikasnosti proizvodnje. U relevantnim istraživanjima emisija CO₂ predstavlja ključnu varijablu u vezi sa pitanjima zaštite životne sredine na koju značajno utiče učešće energije iz obnovljivih izvora.¹⁰ Veće oslanjanje na obnovljive izvore energije može značajno smanjiti emisiju CO₂. U Tabeli 2. prikazana je deskriptivna statistika input i output promenljivih koje su korišćene u DEA modelu prilikom ocene energetske efikasnosti za 31 posmatranu zemlju u 2021. godini.

► **TABELA 2. DESKRIPTIVNA STATISTIKA VARIJABLI U DEA MODELU ZA 31 ZEMLJU, 2021. GODINA**

VARIABLE	PROSEK	MAX	MIN	ST. DEVIJACIJA
<i>Varijable inputa</i>				
Zavisnost od trgovine primarnom energijom	3,005	21,000	0,167	4,4277
Kapacitet za proizvodnju električne energije po stanovniku	0,002	0,005	0,001	0,009
Električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora	46,786	111,111	12,987	24,5836
Izdvanja za istraživanje i razvoj	1,619	3,350	0,480	0,8346
Stopa urbanizacije	70,871	98,000	49,000	13,0250
<i>Varijable outputa</i>				
Bruto domaći proizvod po stanovniku	34779,441	133590,976	6492,867	28393,9126
Emisija CO ₂	92,879	665,880	4,590	141,0503

Napomena: Varijable su iskazane u sledećim jedinicama mere: Zavisnost od trgovine primarnom energijom: racio (vrednost veća od 0); Kapacitet za proizvodnju električne energije po stanovniku: hiljadu kW; Električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora: učešće u ukupno proizvedenoj električnoj energiji (u %); Izdvanja za istraživanje i razvoj: učešće u BDP-u (u %); Stopa urbanizacije: učešće urbane u ukupnoj populaciji (u %); BDP po stanovniku: tekući američki dolar; Emisija CO₂: Mton.

Izvor: Samostalan prikaz autora.

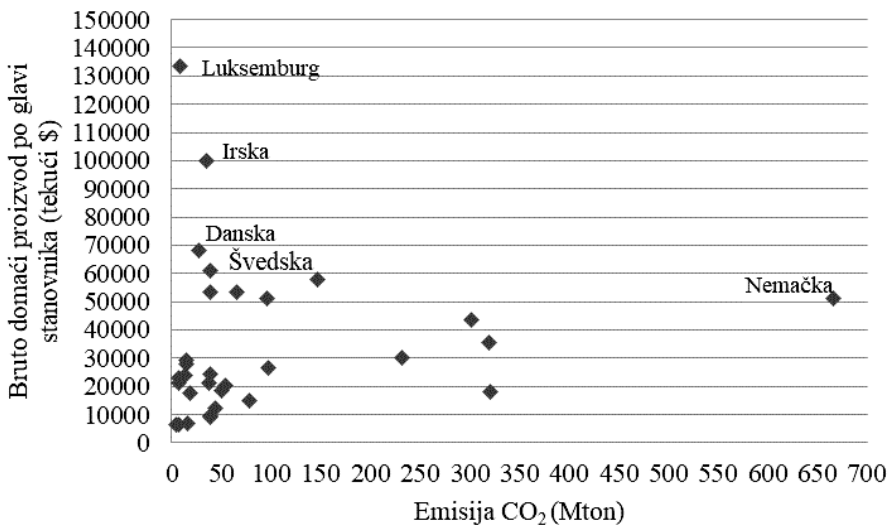
Prosečna vrednost indeksa zavisnosti od trgovine primarnom energijom je 3,005. Možemo zaključiti da je u proseku za posmatrane zemlje trgovina primarnom energijom tri puta veća u odnosu na proizvodnju. Zemlje koje su najzavisnije od trgovine primarnom

9 Sheng et al. (2017)

10 Koçak et al. (2019); Ciupăgeanu et al. (2017); Iftikhar et al. (2018); Fidanoski et al. (2021); Pejović, B. (2022)

energijom su Luksemburg, Kipar i Litvanija. One uvoze 21, 14 i 11 puta više primarne energije u odnosu na proizvodnju, respektivno. Albanija, Švedska i Crna Gora su najmanje uvezno zavisne i imaju vrednost indeksa ispod 0,5. Kapacitet za proizvodnju električne energije iznosio je u 2021. godini u proseku 2 kW po stanovniku. Najveći instaliran kapacitet ima Švedska (5 kW), dok je najmanji u slučaju Albanije i Severne Makedonije (oko 1 kW). Prosečno učešće električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora iznosi 46,77%. Albanija i Luksemburg celokupnu proizvodnju električne energije obezbeđuju iz obnovljivih izvora, dok Češka ima najmanje učešće od 12,99%. Posmatrane zemlje ulažu u istraživanje i razvoj u proseku 1,6% BDP-a. Učešće se kreće od 0,48% u slučaju Rumunije do 3,35% u slučaju Švedske. Prosečna stopa urbanizacije za sve zemlje u 2021. godini iznosila je 70,87%. Najmanju stopu urbanizacije ima Bosna i Hercegovina u kojoj oko 50% stanovništva živi u urbanim oblastima, dok je najveća stopa urbanizacije u Belgiji i iznosi 98%. Sa stanovišta visine BDP-a najrazvijenija zemlja je Luksemburg, a najmanji ekonomski rast odlikuje Albaniju. Sa aspekta uticaja na životnu sredinu, prosečna emisija CO₂ u 2021. godini iznosila je 92,88 Mtoe. Najmanja emisija CO₂ od 4,590 Mtoe je u Albaniji (što se može objasniti orijentacijom na celokupnu proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora), a najveća od 665,88 Mtoe u Nemačkoj.

▶ GRAFIKON 1. EMISIJA CO₂ I BRUTO DOMAĆI PROIZVOD PO STANOVNIKU



Izvor: Samostalan prikaz autora.

Koeficijent korelacije emisije CO₂ sa bruto domaćim proizvodom po stanovniku je pozitivan i vrlo nizak, 0,083. Većina zemalja sa bruto domaćim proizvodom po stanovniku između 10.000 i 25.000 \$ su grupisane u okviru emisije CO₂ koja je između 15 i 90 Mton (Grafikon 1.). Četiri zemlje koje imaju najveći bruto domaći proizvod po stanovniku (redom Luksemburg, Irska, Danska i Švedska) imaju emisiju CO₂ značajno ispod proseka. Bruto domaći proizvod Nemačke je iznad prosečne vrednosti i ona ima najveću emisiju CO₂ u 2021. godini (665,88 Mton).

Koeficijent korelacije emisije CO₂ sa bruto domaćim proizvodom po stanovniku za 26 posmatranih zemalja EU je negativan, ali vrlo nizak i iznosi -0,015. Iz navedenog ne možemo zaključiti da je u slučaju zemalja EU rast bruto domaćeg proizvoda praćen smanjenjem emisije CO₂, odnosno unapređenjem energetske efikasnosti. U slučaju pet posmatranih zemalja Zapadnog Balkana koje zauzimaju poslednjih pet mesta u pogledu visine bruto domaćeg proizvoda po stanovniku, koeficijent korelacije je pozitivan i izuzetno visok i iznosi 0,996. Iz navedenog možemo zaključiti da je za ove zemlje ekonomski rast praćen rastom emisije CO₂ što ih čini energetske neefikasnim.

4. METODOLOGIJA ZA OCENU ENERGETSKE EFIKASNOSTI

Za određivanje energetske efikasnosti Srbije u odnosu na zemlje Evropske unije u radu je primenjena analiza obavijenih podataka (engl. *Data envelopment analysis* – DEA). To je neparametarski pristup za ocenu efikasnosti posmatranih jedinica upotrebom tehnika linearnog programiranja.¹¹ Performanse posmatranih jedinica (zemalja, preduzeća itd.) (engl. *decision-making units* - DMU) u određenoj oblasti/procesu se ocenjuju u odnosu na najbolju moguću granicu efikasnosti (proizvodnih mogućnosti) koja je određena na osnovu podataka o inputima i outputima. DEA numerički izražava dostignutu ekonomsku i energetske efikasnost, što je čini pogodnim alatom za određivanje efikasne ili neefikasne pozicije zemlje koja je predmet analize.¹²

Efikasnost je odnos između ostvarenih outputa (BDP *per capita* i emisija CO₂) i upotrebljenih inputa (zavisnost od trgovine primarnom energijom, kapacitet za proizvodnju električne energije po stanovniku, električna energija proizvedena iz obnovljivih izvora, izdvajanja za istraživanje i razvoj, stopa urbanizacije). DEA modeli mogu biti input-orijentisani (kada se minimizira količina inputa za zadati output) ili output-orijentisani (kada se maksimizira output bez povećavanja količine inputa). Drugim rečima, output-orijentisan model polazi od toga da treba odrediti potencijalni output koji posmatrana zemlja može da ostvari datim inputima ukoliko bi te inpute koristila kao i zemlje koje se nalaze na samoj granici proizvodnih mogućnosti (najefikasnije zemlje).¹³

Situacija kada neki proizvodni proces stvara jedan ili više nepoželjnih outputa, kao što je to u ovom slučaju emisija CO₂, predstavlja metodološki problem za primenu DEA analize. U tom slučaju, ukoliko postoji neefikasnost u proizvodnji, količinu neželjenog outputa (CO₂) trebalo bi smanjiti kako bi se poboljšala efikasnost, odnosno neželjeni output mora da bude drugačije tretiran u DEA analizi nego poželjan output (BDP *per capita*).¹⁴

U literaturi se navode četiri moguća načina tretiranja nepoželjnih outputa u DEA analizi: 1. ignorisanje njihove pojave u proizvodnoj funkciji,¹⁵ 2. njihovo tretiranje kao i svakog

11 Boussofiene et al. (1991).

12 Banker et al. (1984); Charnes et al. (1978); Mitrović (2020); Mitrović i Manić (2020); Mitrović i Božanić (2021).

13 Fare et al. (1994).

14 Seiford and Zhu (2001).

15 He et al. (2013).

drugog inputa,¹⁶ 3. njihovo tretiranje kao uobičajenog outputa¹⁷ i 4. sprovođenje odgovarajućih transformacija kako bi se oni mogli uzeti u razmatranje.¹⁸

Za potrebe analize u ovom radu emisija CO₂ (nepoželjan output) biće tretirana kao output čiju je količinu poželjno smanjiti (isto kao i inputa) za zadatu količinu poželjnog outputa (BDP).¹⁹ Pretpostavimo da vektor y^d opisuje poželjne outpute, vektor y^u nepoželjne outpute, dok je $Y \in \mathbb{R}^+$ matrica outputa, koja se sastoji od nenegativnih elemenata. U tom slučaju matrica outputa može biti prikazana kao

$$Y = \begin{pmatrix} Y^d \\ Y^u \end{pmatrix} \quad (1)$$

gde je $P \times N$ matrica Y^d koja predstavlja poželjne outpute, $S \times N$ matrica Y^u koja predstavlja nepoželjne outpute. Tehnologija proizvodnog procesa je predstavljena na sledeći način:

$$T = \left\{ (x, y^d, y^u) : (x) \text{ mogu da proizvedu } (y^d, y^u) \right\} \quad (2)$$

U ovoj relaciji, T je zatvoren i ograničen skup koji je formiran u skladu sa činjenicom da konačan nivo inputa može da proizvede isključivo konačan nivo outputa.

Pretpostavimo da za zadati nivo poželjnog outputa želimo da smanjimo količinu inputa i nepoželjnog outputa koliko god je to moguće. Polazeći od pretpostavke o konstantnim prinosima, za bilo koju zemlju j ($j = 1, \dots, N$), možemo formulisati input-orijentisan DEA model kako bismo opisali ekonomsko-ekološke performanse

$$F_j(X, Y^D, Y^U) = \min \theta \quad (3)$$

tako da je

$$Y^d \lambda \geq y_j^d \quad (4)$$

$$Y^u \lambda = \theta y_j^u \quad (5)$$

$$X \lambda \leq \theta x_j \quad (6)$$

$$\lambda \in \mathbb{R}_+ \quad (7)$$

pri čemu je λ ($N \times 1$) vektor koeficijenata koji predstavljaju nivo intenziteta kojim posmatrane jedinice (zemlje) doprinose kreiranju referentne granice efikasnosti. U našem slučaju, θ predstavlja standardizovanu meru ekonomskih i ekoloških performansi zemlje j .

¹⁶ Gomes and Lins (2008).

¹⁷ Chen et al. (2014).

¹⁸ Kortelainen (2008).

¹⁹ Yang (2010).

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Odgovarajući DEA model razvijen je i ocenjen na osnovu definisanih varijabli koje su opisane u trećem delu rada, a koje se odnose na 31 zemlju koje čine uzorak i podacima za 2021. godinu. U modelu su zavisnost od trgovine primarnom energijom, kapacitet za proizvodnju električne energije po stanovniku, učešće električne energije proizvedene iz obnovljivih izvora u ukupno proizvedenoj električnoj energiji, učešće izdvajanja za istraživanje i razvoj u bruto domaćem proizvodu i učešće urbanog stanovništva u ukupnom stanovništvu uključeni kao varijable inputa, a bruto domaći proizvod po stanovniku i emisija CO₂ kao varijable outputa.

U Tabeli 3. prikazana su, posebno za svaku zemlju iz uzorka, odstupanja varijabli uključenih u DEA model u odnosu na prosečnu vrednost za sve posmatrane zemlje, rezultati ocene DEA modela i dodeljen rang svakoj zemlji na osnovu dobijene ocene energetske efikasnosti.

U proseku granica energetske efikasnosti iznosi 42,3%, iz čega možemo zaključiti da postoji prostor za dalja unapređenja za nepromenjenu vrednost inputa. Osam zemalja (Irška, Luksemburg, Belgija, Holandija, Češka, Francuska, Kipar i Austrija) imaju vrednost indeksa energetske efikasnosti iznad 0,5 iz čega sledi da su relativno energetske efikasnije u odnosu na ostale posmatrane zemlje. Najlošije ocene energetske efikasnosti (ispod 0,2) imaju Bugarska, Srbija, Severna Makedonija, Crna Gora i Bosna i Hercegovina.

Irška i Luksemburg imaju najveći BDP po stanovniku i dodeljen im je najbolji rang 1. Takođe, njih odlikuje značajno manja emisija CO₂ u odnosu na prosek za sve posmatrane zemlje. Sledeće četiri najbolje rangirane zemlje su po redu Belgija, Holandija, Češka i Francuska. U pogledu pokazatelja outputa one imaju emisiju CO₂ iznad proseka, dok je BDP *per capita* samo u slučaju Češke neznatno ispod proseka. Vrednosti pokazatelja inputa u odnosu na prosek su iste za ove zemlje. Indeks zavisnosti od trgovine i učešće obnovljivih izvora energije je ispod proseka, dok su instalirani kapacitet, izdvajanja za istraživanje i razvoj i stopa urbanizacije iznad proseka.

Dobijeni rezultati upućuju na zaključak da su energetske najneefikasnije čak četiri od pet posmatranih zemalja Zapadnog Balkana, a to su: Srbija (indeks 0,175 i rang 28), Severna Makedonija (indeks 0,161 i rang 29), Crna Gora (indeks 0,134 i rang 40) i Bosna i Hercegovina (indeks 0,119 i rang 31). U slučaju sve četiri zemlje vrednosti svih posmatranih pokazatelja inputa i outputa su ispod proseka. Izuzetak je Crna Gora koja samo u pogledu učešća proizvodnje iz obnovljivih izvora ima veće učešće u odnosu na prosek, ali neznatno za 2% više. Takođe, ovo su najmanje razvijene ekonomije (posmatrano sa stanovišta visine BDP-a po stanovniku) što objašnjava manju zavisnost od trgovine primarnom energijom, niži instalirani kapacitet za proizvodnju električne energije i nisku emisiju CO₂ u slučaju ovih zemalja u odnosu na prosečne vrednosti. Za razliku od prvih šest najbolje rangiranih zemalja koje imaju iznad proseka instaliran kapacitet proizvodnje električne energije po stanovniku (samim tim i veću energetske efikasnosti), vrednost ovog pokazatelja je ispod proseka za poslednjih pet najlošije rangiranih zemalja.

► TABELA 3. ODSTUPANJA VARIJABLI U ODNOSU NA PROSEČNU VREDNOST I OCENA ENERGETSKE EFIKASNOSTI PO ZEMLJAMA, 2021. GOD.

DMU	PED	ELC	ELR	RD	URB	BDP	CO ₂	OCENA	RANG
Irska	0,097	0,201	-14,433	-0,559	-6,871	65392,74	-57,869	1,000	1
Luksemburg	17,995	0,889	64,325	-0,599	21,129	98811,53	-84,429	1,000	1
Belgija	-0,227	0,316	-22,576	1,601	27,129	16467,58	3,041	0,856	3
Holanjija	-0,798	0,650	-13,453	0,641	22,129	22988,45	53,991	0,717	4
Češka	-2,096	0,021	-33,799	0,381	3,129	-7958,19	4,811	0,706	5
Francuska	-1,997	0,035	-23,579	0,591	10,129	8879,54	209,451	0,608	6
Kipar	10,995	-0,456	-30,460	-0,319	-3,871	-11947,02	-86,129	0,603	7
Austrija	-1,236	1,135	34,464	0,181	-11,871	18858,25	-26,869	0,581	8
Danska	-2,405	1,054	32,002	1,191	17,129	33228,35	-65,599	0,494	9
Švedska	-2,584	2,729	21,699	1,731	17,129	26249,30	-53,959	0,443	10
Nemačka	-0,947	0,946	-4,955	1,511	7,129	16424,11	573,001	0,439	11
Mađarska	-0,902	-0,923	-26,198	0,031	1,129	-16051,32	-42,189	0,403	12
Finska	-1,934	1,717	6,071	1,371	15,129	18875,28	-53,889	0,399	13
Italija	0,877	-0,019	-4,815	-0,139	0,129	878,05	226,791	0,392	14
Poljska	-2,094	-0,613	-28,223	-0,179	-10,871	-16779,53	227,891	0,373	15
Litvanija	7,828	-0,654	23,484	-0,509	-2,871	-11056,11	-79,059	0,372	16
Slovenija	-1,945	-0,190	-10,786	0,521	-15,871	-5488,05	-78,709	0,352	17
Slovačka	-0,941	-0,630	-21,971	-0,689	-16,871	-13387,53	-55,499	0,343	18
Albanija	-2,838	-1,161	53,214	0,000	-7,871	-28286,58	-88,289	0,330	19
Rumunija	-2,547	-1,002	0,487	-1,139	-16,871	-19921,21	-14,129	0,309	20
Hrvatska	-1,519	-0,794	19,881	-0,119	-12,871	-17094,12	-74,879	0,308	21
Letonija	0,995	-0,408	18,668	-0,929	-2,871	-13631,28	-85,669	0,282	22
Španija	-0,664	0,340	0,704	-0,189	10,129	-4675,93	138,031	0,282	23
Estonija	0,138	0,333	0,975	0,131	-1,871	-6835,70	-77,968	0,274	24
Portugalija	-0,527	0,181	19,171	0,041	-3,871	-10211,94	-54,199	0,244	25
Grčka	0,214	-0,044	-4,478	-0,169	9,129	-14586,84	-39,509	0,225	26
Bugarska	-2,278	-0,479	-27,024	-0,619	5,129	-22557,94	-49,239	0,200	27
Srbija	-2,460	-0,891	-9,643	-0,719	-13,871	-25549,27	-53,529	0,175	28
Severna Makedonija	-1,205	-1,144	-16,017	-0,919	-11,871	-28084,79	-85,369	0,161	29
Gora Gora	-2,577	-0,449	1,699	-1,019	-2,871	-25313,72	-53,53	0,134	30
Bosna i Hercegovina	-2,420	-0,688	-4,433	-1,119	-21,871	-27636,12	-77,509	0,119	31

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na osnovu dobijenih rezultata se dolazi do određenih zaključaka koji mogu poslužiti kao dobra osnova za davanje odgovarajućih preporuka kreatorima javnih, pre svega energetskih, politika na području država Zapadnog Balkana kako bi se poboljšala energetska efikasnost. Jedan od mogućih načina se odnosi na unapređenje uslova života u urbanim sredinama koji bi doprineli i manjoj potrošnji energije i smanjenju emisije CO₂. U pitanju je čitav niz mogućih mera kao što je povećanje energetske efikasnosti u zgradarstvu, šira primena obnovljivih izvora energije u domaćinstvima i privrednim subjektima, veća zastupljenost održivih i ekološki prihvatljivih vidova prevoza (poput korišćenja bicikala i pešačenja), pribavljanje vozila za javni gradski prevoz sa niskim emisijama štetnih gasova, veća zastupljenost energetski efikasnih vozila, redovno nadgledanje (praćenje) energetske potrošnje, energetski efikasna ulična rasveta i dr. U velikoj meri može da doprinese i rezidencijalni sektor – ulaganje u izolaciju objekata, zamenu dotrajale stolarije, prelazak na daljinsko grejanje (umesto korišćenje čvrstog, ekološki neprihvatljivog ogreva) itd. Sa druge strane, države svojim merama mogu da doprinesu pozitivnim promenama u domenu privrede – podsticanje ekološki prihvatljivijih delatnosti i modela proizvodnje. U cilju povećanja energetske efikasnosti veoma je bitan prelazak preduzeća na poslovne modele u okviru cirkularne ekonomije. Privreda ima veoma važnu ulogu u tranziciji ka cirkularnoj ekonomiji i jedan je od ključnih učesnika u tom procesu. Potrebno je edukovati privredne subjekte, razvijati dodatne mehanizme finansijskih podsticaja za privredu i podsticati saradnju između naučno-istraživačkih organizacija i privrednih subjekata u oblasti inovacija i optimizacije proizvodnje. Inovacije su sastavni deo tranzicije ka cirkularnoj ekonomiji. Prelazak privrede na cirkularni model poslovanja zahteva razvoj i primenu inovativnih rešenja u svim fazama proizvodnje, od projektovanja proizvoda i procesa, preko vođenja proizvodnje, do pakovanja i plasmana na tržište. Fokus ovih rešenja je na efikasnijem korišćenju resursa, sirovina i energije, a krajnji cilj jeste zaštita životne sredine. Nedostatak kapaciteta u privredi može da se prevaziđe podsticanjem saradnje između privrede i naučno-istraživačkih organizacija. Istovremeno, postojeći istraživački kapaciteti u naučnim organizacijama biće efikasnije i potpunije iskorišćeni.

Predstavljeni DEA model ocene energetske efikasnosti može biti unapređen uključivanjem novih varijabli inputa, kao što su: HDI indeks, primarna energija iz obnovljivih izvora i kapacitet za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Takođe, kao varijable outputa zajedno sa emisijom CO₂ mogu se uključiti intenzitet primarne energije (potrošnja primarne energije/BDP) ili intenzitet električne energije (potrošnja električne energije/BDP). To bi moglo doprineti sveobuhvatnijem sagledavanju razlika u pogledu energetske efikasnosti zemalja EU i Zapadnog Balkana.

Isto tako, za potrebe budućih istraživanja bi trebalo formirati bazu podataka o ovim varijablama u jednom dužem vremenskom periodu, pa na osnovu podataka vremenskih serija i panela odgovarajućim ekonometrijskim tehnikama (kointegracija, analiza panel podataka) dodatno ispitati međuzavisnost između posmatranih indikatora.

LITERATURA

Banker, R. D., Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis" *Management Science*, 30(9), Pp. 1078 – 1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>

Bointner, R. (2014), "Innovation in the energy sector: Lessons learnt from R&D expenditures and patents in selected IEA countries" *Energy policy*, 73, Pp. 733 – 747. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.001>

Boussofiane, A., Dyson, R. G. and Thanassoulis, E. (1991), "Applied data envelopment analysis" *European journal of operational research*, 52(1), Pp. 1-15. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(91\)90331-0](https://doi.org/10.1016/0377-2217(91)90331-0)

Charnes, A., Cooper, W. and Rhodes, W. (1978), "Measuring the efficiency of decision making units" *European Journal of Operational Research*, 2(4), Pp. 429 – 444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(79\)90229-7](https://doi.org/10.1016/0377-2217(79)90229-7)

Chen, P.-C., Yu, M.-M., Chang, C.-C. and Managi, S. (2014), "Non-Radial Directional Performance Measurement with Undesirable Outputs", *MPRA Paper* (57189), posted 9. 2014.

Chen, X. and Gong, Z. (2017), "DEA Efficiency of energy consumption in China's manufacturing sectors with environmental regulation policy constraints" *Sustainability*, 9, 210. <https://doi.org/10.3390/su9020210>

Ciupăgeanu, D. A., Lăzăroiu, G. and Tîrșu, M. (2017), "Carbon dioxide emissions reduction by renewable energy employment in Romania", In *2017 International Conference on Electromechanical and Power Systems (SIELMEN)* (Pp. 281-285). IEEE. <https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2017.8123333>

Fare, R., Grosskopf, S., Norris, M. and Zhang, Z. (1994), "Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries" *American Economic Review*, 84(1), Pp. 66 – 83.

Fidanoski, F., Simeonovski, K. and Cvetkoska, V. (2021), "Energy efficiency in OECD countries: A DEA approach" *Energies*, 14(4), 1185. <https://doi.org/10.3390/en14041185>

Gomes, E. G. and Lins, M. P. E. (2008), "Modelling undesirable outputs with zero sum gains data envelopment analysis models" *Journal of Operational Research Society* 59(5), Pp. 616 – 623. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602384>

He, F., Zhang, Q., Lei, J., Fu, W. and Xu, X. (2013), "Energy efficiency and productivity change of China's iron and steel industry: Accounting for undesirable outputs" *Energy Policy*, 54, Pp. 204 – 213. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.020>

Iftikhar, Y., Wang, Z., Zhang, B. and Wang, B. (2018), "Energy and CO₂ emissions efficiency of major economies: A network DEA approach" *Energy*, 147, Pp. 197 – 207. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.012>

Kortelainen, M. (2008), "Dynamic environmental performance analysis: a Malmquist index approach" *Ecol. Econom.*, 64, Pp. 701 – 715. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.001>

Koçak, E. and Ulucak, Z. Ş. (2019), "The effect of energy R&D expenditures on CO₂ emission reduction: estimation of the STIRPAT model for OECD countries" *Environmental Science and Pollution Research*, 26, Pp. 14328 – 14338. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04712-2>

Mardani, A., Zavadskas, E. K., Streimikiene, D., Jusoh, A., and Khoshnoudi, M. (2017), "A comprehensive review of data envelopment analysis (DEA) approach in energy efficiency" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, Pp. 1298 – 1322. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.030>

Mardani, A., Streimikiene, D., Balezentis, T., Saman, M. Z. M., Nor, K. M. and Khoshnava, S. M. (2018), "Data envelopment analysis in energy and environmental economics: An overview of the state-of-the-art and recent development trends." *Energies*, 11(8), 2002. <https://doi.org/10.3390/en11082002>

Mitrović, Đ. (2020), "Measuring the efficiency of digital convergence" *Economics Letters*, 188, March. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2020.108982>

Mitrović, Đ. i Manić, E. (2020), „Tranzicija ka cirkularnoj ekonomiji u zemljama Evropske unije – konvergencija ili divergencija“. *Ekonomске ideje i praksa*, 38, str. 27 – 48.

Mitrović, Đ. i Božanić, D. (2021), „Ekonomska i ugljenična efikasnost i primena evropskog zelenog dogovora u Srbiji“ *Ekonomске ideje i praksa*, 40, str. 33 – 41.

Ouyang, W. and Yang, J. B. (2020), "The network energy and environment efficiency analysis of 27 OECD countries: A multiplicative network DEA model" *Energy*, 197, 117161. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117161>

Parežanin, M. (2016), "Strane Direktne Investicije U Energetskom Sektoru Republike Srbije" *Ekonomске ideje i praksa*, 23, str. 85 – 95.

Pejović, B. (2022), "Privredni rast, potrošnja energije i emisija CO₂ u tranzicionim zemljama: analiza Kuznetsove ekološke krive" *Ekonomске ideje i praksa*, 44, str. 41 – 54. <https://doi.org/10.54318/eip.2022.bp.317>

Seiford, L. M. and Zhu, J. (2001), "Modeling undesirable factors in efficiency evaluation" *European Journal of Operational Research*, 142, Pp. 16 – 20. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00293-4](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00293-4)

Sheng, P., He, Y. and Guo, X. (2017), "The impact of urbanization on energy consumption and efficiency" *Energy & Environment*, 28(7), Pp. 673 – 686. <https://doi.org/10.1177/0958305X17723893>

Yang, H. (2010), "Carbon efficiency, carbon reduction potential, and economic development in the People's Republic of China: A total factor production model Mandaluyong City". Philippines: Asian Development Bank.
