

**ĐORĐE MITROVIĆ<sup>1</sup>**

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

**EMILIJU MANIĆ<sup>2</sup>**

E-mail: geografija@ekof.bg.ac.rs

# TRANZICIJA KA CIRKULARNOJ EKONOMIJI U ZEMLJAMA EVROPSKE UNIJE — KONVERGENCIJA ILI DIVERGENCIJA

## TRANSITION TO CIRCULAR ECONOMY IN THE EU COUNTRIES — CONVERGENCE OR DIVERGENCE

---

JEL KLASIFIKACIJA: C5, R5, R10, R12, Q55

---

### APSTRAKT:

*Način na koji je organizovana proizvodnja materijalnih dobara i njihovo odlaganje na kraju životnog veka ima značajan uticaj na životnu sredinu. Evropska unija je krajem XX veka prepoznala razvoj cirkularne ekonomije kako kao ključnu pretpostavku zaštite životne sredine, tako i kao sredstvo za povećavanje konkurentnosti svojih privreda u odnosu na SAD*

---

1 Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet

2 Univerzitet u Beogradu – Ekonomski fakultet

*i Japan. Osnovni izvor ekonomskog rasta u cirkularnoj ekonomiji jeste što veća ponovna upotreba velikog broja materijala dobijenih iz proizvoda koji su završili svoj životni ciklus, a što manja ekstrakcija novih resursa. U radu se analizira dostignuti stepen razvoja cirkularne ekonomije u zemljama Evropske Unije. Upotrebom DEA analize i Malmkvistovog indeksa produktivnosti će se pokazati da li zemlje Evropske unije međusobno konvergiraju po pitanju stepena razvijenosti i primene cirkularne ekonomije. U radu će biti ukazano na osnovne trendove u razvoju cirkularne ekonomije u zemljama Evropske unije i moguće faktore koji ograničavaju njen brži razvoj i međusobnu konvergenciju.*

**KLJUČNE REČI:****CIRKULARNA EKONOMIJA, MALMKVISTOV INDEKS PRODUKTIVNOSTI, DEA****ABSTRACT:**

*The way in which production of material goods is organized and their disposal at the end of their life-cycle has a significant impact on the environment. At the end of the twentieth century, the European Union (EU) identified circular economy development as both the key assumption in the environmental protection and the means of increasing competitiveness of their economies with respect to the US and Japan. The main source of economic growth in circular economy is a repeated use of as large as possible number of materials obtained from products that have completed their life-cycle, and as small as possible extraction of new resources. The paper analyses the achieved degree of circular economy development in the EU countries. By means of DEA analysis and Malmquist Productivity Index, it will be shown whether the EU countries mutually converge with respect to the degree of circular economy development and implementation. The paper will show the main trends in circular economy development in the EU countries and possible factors limiting its faster development and mutual convergence.*

**KEYWORDS:****CIRKULARNA EKONOMIJA, COMPOSITE INDEX, MALMKVISTOV INDEKS PRODUKTIVNOSTI, DEA**

# 1. UVOD

Zaštita životne sredine danas predstavlja jedan od najvažnijih problema sa kojim se suočavaju kreatori javnih politika. Veliku uticaj na životnu sredinu ima način na koji je organizovana proizvodnja materijalnih dobara i njihovo odlaganje na kraju životnog veka, odnosno ekonomski sistem zemlje. Tradicionalni proizvodni procesi ne uzimaju u obzir probleme poput zagađenja i degradacije kvaliteta životne sredine i iscrpljivanja prirodnih resursa. U zemljama u kojima se kroz ekonomsku (fiskalnu politiku) ne internalizuju indirektni eksterni troškovi proizvođači ne obraćaju pažnju na efekte svojih poslovnih aktivnosti na životnu sredinu. Životni ciklus fizičkog dobra započinje jednostavnim preuzimanjem potrebnih resursa iz prirode, proizvodnjom proizvoda, njegovom upotrebom i odlaganjem na otpad. Povećanje zagađenosti životne sredine, porast cena resursa, materijala i energije i porast broja stanovnika naveli su preduzeća i kreatore javnih politika u razvijenim zemljama da donesu niz strategija i akcionih planova usmerenih ka smanjenju ekstrakcije novih resursa iz prirode i količine otpada koja nastaje na kraju životnog veka proizvoda. Početkom XXI veka u ekonomskim, tehničkim i drugim naukama postepeno počinje da prevlađuje razrada sasvim novog ekonomskog koncepta pod nazivom cirkularna ekonomija. Cirkularna ekonomija podrazumeva da je osnovni izvor ekonomskog rasta što veća ponovna upotreba velikog broja materijala dobijenih iz proizvoda koji su završili svoj životni ciklus, a što manja ekstrakcija novih resursa. Za razliku od nje, tradicionalna linearna ekonomija sledi jednostavnu putanju „uzmi – proizvedi – odloži“, odnosno zasniva se na stalnoj ekstrakciji novih resursa i odlaganju upotrebljenih proizvoda na otpad bez mogućnosti njihove ponovne upotrebe kao inputa u proizvodnji istog ili nekog drugog proizvoda.

U radu se primenom analize obavijenih podataka (engl. *Data envelopment analysis* – DEA) analizira dinamika i dostignuti stepen razvoja cirkularne ekonomije u zemljama Evropske unije. DEA metodologija se koristi za određivanje promene efikasnosti zemalja Evropske unije u izgradnji cirkularne ekonomije tokom vremena. DEA numerički izražava dostignutu efikasnost procesa razvoja cirkularne ekonomije i samim tim predstavlja pogodan alat za određivanje efikasne ili neefikasne pozicije zemlje koja je predmet analize. U radu će se upotrebom DEA analize pokazati da li zemlje Evropske unije međusobno konvergiraju po pitanju stepena razvijenosti cirkularne ekonomije ili dolazi do pojave njihove međusobne divergencije. Stepem razvijenosti cirkularne ekonomije će prvo biti izmeren kreiranjem kompozitnog indikatora putem DEA analize, a zatim i upotrebom naprednijeg pristupa analize obavijenih podataka – Malmkvistovog indeksa produktivnosti. Kompozitni indeks omogućava statičko posmatranje dostignutog nivoa efikasnosti konkretne zemlje u razvoju cirkularne ekonomije u odnosu na ostale zemlje. Za razliku od njega, primena Malmkvistovog indeksa produktivnosti omogućava dinamičku analizu efikasnosti zemalja Evropske unije u razvoju cirkularne ekonomije tokom vremenskog perioda 2010-2017. godina uzimajući u obzir interne i eksterne pretpostavke razvoja cirkularne ekonomije, ekonomskog rasta i konkurentne pozicije.

Posle uvoda i razmatranja ekonomskog konteksta razvoja cirkularne ekonomije, u drugom delu rada će biti objašnjena metodologija analize obavijenih podataka, izbor indikatora koji predstavljaju inpute i outpute za izračunavanje kompozitnog i Malmkvistovog indeksa produktivnosti, kao i sam način njihovog izračunavanja i tumačenja. U trećem delu rada se analiziraju dobijeni rezultati i na osnovu izračunatih vrednosti indeksa ukazuje

na osnovne trendove u razvoju cirkularne ekonomije u zemljama Evropske unije, kao i na moguće faktore koji ograničavaju njihovu bržu tranziciju ka cirkularnoj ekonomiji. Četvrti deo sadrži glavne zaključke i preporuke, kao i smernice za buduća istraživanja u ovoj oblasti.

## 2. DEFINISANJE CIRKULARNE EKONOMIJE

Industrijska proizvodnja u zemljama Evropske unije je tokom XX veka bila zasnovana na linearnom modelu upotrebe resursa, odnosno na linearnoj ekonomiji (engl. *linear economy*). Ovaj model proizvodnje sledi jednostavnu putanju „uzmi – proizvedi – odloži“. U ovom modelu proizvodnje resursi se direktno preuzimaju iz prirode („uzmi“). Resursi se dalje prerađuju i primenom energije i rada stvaraju finalni proizvodi („proizvedi“). Krajnji kupac odbacuje proizvod onog trenutka kada se proizvod pokvari ili više ne može da služi svojoj prvobitnoj nameni („odloži“).<sup>3</sup> To znači da finalni proizvod, a samim tim i svi resursi koji su uloženi u njegovu proizvodnju, završavaju na kraju na deponiji ili u spalionicama otpada. Samim tim u modelu linearne ekonomije ne postoje (ili su veoma ograničeni) podsticaji za smanjivanje otpada u fazi proizvodnje i potrošnje, odnosno za njegovu valorizaciju i ponovnu upotrebu.

Početak XXI veka kreatori ekonomskih politika u zemljama Evropske unije počinju da shvataju da ekonomski sistem ne može da bude dugoročno održiv ukoliko funkcioniše na osnovama linearne ekonomije. Veliki broj naučnika iz različitih disciplina u razvijenim zemljama još šezdesetih godina XX veka počinje da ukazuje na negativan uticaj linearne ekonomije na stanje prirodnih resursa i životne okoline. Veliki ekološki problemi koji su vremenom počeli da se pojavljuju su uslovlili potrebu da se tradicionalni linearni model ekonomskog razvoja postepeno transformiše u noviji model koji ima više obzira prema prirodnim resursima koje je potrebno sačuvati za naredne generacije.

Jedan od rodonačelnika budućeg novog koncepta korišćenja resursa jeste američki ekonomista Kenneth Boulding. On je prvi 1966. godine upotrebio pojam cirkularna ekonomija u svom članku „The economics of the coming spaceship earth“ u kojem je planetu Zemlju uporedio sa svemirskim brodom u kojem su ograničeni resursi i koje je zbog toga neophodno stalno reciklirati i ponovo proizvoditi.<sup>4</sup> Drugim rečima, Zemlja je zatvoren ekonomski sistem u kojem privreda i životna okolina nisu linearno, već cirkularno povezani.

Ograničenost linearne ekonomije je počela da dolazi do izražaja već tokom sedamdesetih godina XX veka. Dve energetske krize su pokazale visok stepen neusklađenosti između ekonomskog rasta i ograničenih resursa. Zbog toga je u izveštaju Rimskog kluba „Ograničenja rasta“ izneta ideja o ekonomskom modelu kao zatvorenom sistemu koji je baziran na ograničenim resursima i koji predstavlja alternativu dotadašnjem linearnom modelu rasta.<sup>5</sup> Cirkularna ekonomija kao zatvoreni model ne predstavlja novi privredni model koji je isključen iz međunarodne trgovine, već model koji može da ostvari ekonomski rast sa

---

3 Lacy & Rutqvist (2015)

4 Boulding (1966)

5 Meadows et al. (1972)

što manjim učešćem novih resursa, a što većom upotrebom resursa koji su dobijeni iz proizvoda koji su završili svoj životni ciklus.

Švedski ekonomista Karl Goran-Maler je usmerio svoj istraživački rad na ekonomske efekte nelinearnih dinamičkih eko-sistema, kao jedno od polja istraživanja ekonomije životne sredine. Godine 1974. je objavio knjigu pod nazivom „Environmental Economics: A Theoretical Inquiry” u kojoj je razmatrao odnos između ekonomskog rasta, kvaliteta životne sredine, potrošnje i društvenog blagostanja.

Argumentacija u korist smanjenja ekstrakcije novih resursa i češćeg korišćenja materijala koji su dobijeni iz proizvoda čiji je životni vek prošao su počeli da se pojavljuju u literaturi još u poslednjoj deceniji XX veka. Pearce and Turner (1990) su u svojoj knjizi „Economics of Natural Resources and the Environment“ dali veoma detaljan opis međusobnog uticaja ekonomije i životne sredine. Posebnu pažnju su posvetili zagađenju i iscrpljivanju prirodnih resursa. U ovom radu oni upotrebljavaju i pojam cirkularne ekonomije. Američki ekonomista Herman E. Daly je 1992. godine u svom radu „Allocation, distribution and scale: toward an economics that is efficient, just, and sustainable” izrazio zabrinutost za budućnost, kako on smatra, neefikasnog, nepravednog i neodrživog privrednog razvoja.

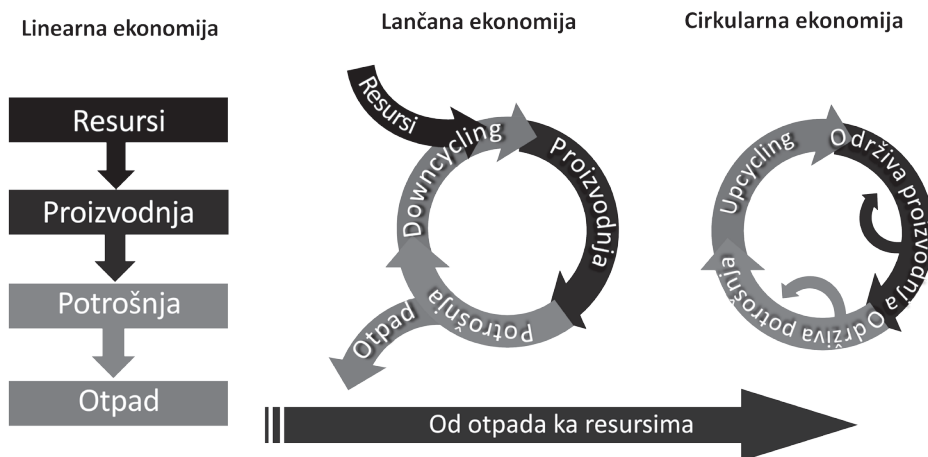
Göttsching (1996) je proučavao razvojni put Nemačke od uvoznika do izvoznika papirnog otpada u periodu od sedamdesetih do devedesetih godina XX veka. Schwarz et Steininger (1997) su proučavali funkcionisanje mreže preduzeća u kojoj svako preduzeće koristi kao input otpad koji je stvorilo prethodno preduzeće. Strebel (2004) je smatrao da ekonomski modeli treba da slede model prirode, odnosno da cirkulisanje materijala i energije u privredi treba da sledi ono koje je karakteristično u prirodi. Wedekind et Haasis (2004) smatraju da proizvođači moraju da prate i budu odgovorni za ceo životni ciklus svog proizvoda. Illge et Schwarze (2009) uvode ekonomske koncepte tržišnih neuspeha, eksternalija i državne politike u koncept cirkularne ekonomije. Prema njihovom mišljenju jednosmeran tok materije „potrošnja resursa – proizvodnja – emisija“ treba da bude zamjenjen cikličnim tokom materije „upotreba resursa – proizvodnja – obnavljanje resursa“.

Početak XXI veka, najveći doprinos promociji, teorijskim i primenjenim istraživanjima u vezi sa cirkularnom ekonomijom je dala Ellen Macarthur Fondacija (<http://www.ellenmacarthurfoundation.org/>) koja je osnovana 2010. godine. Ellen Macarthur je bila britanski mornar. Iako se ona ne smatra modernim utemeljivačem cirkularne ekonomije, zasluge njene fondacije u domenu podizanja svesti, obrazovanja i ubrzanja tranzicije ka cirkularnoj ekonomiji su veoma značajni.

Potreba za razvojem novog koncepta ekonomskog rasta je proistekla iz težnje preduzeća da pronađu odgovor na porast cena resursa i energije, odnosno njihovih troškova, i smanjenja prihoda zbog stagniranja tražnje. Cirkularna ekonomija podrazumeva da je osnovni izvor ekonomskog rasta što veća ponovna upotreba velikog broja materijala dobijenih iz proizvoda koji su završili svoj životni ciklus, a što manja ekstrakcija novih resursa. Zbog toga su proizvodi dizajnirani tako da mogu lako da se ponovo upotrebe, rastave i repariraju ili recikliraju. Resurs kao što je rad dobija centralnu ulogu u ekonomskom sistemu, dok ograničeni prirodni resursi dobijaju ulogu podrške. Razlike između linearne i cirkularne ekonomije su predstavljene na slici 1.

Međutim, cirkularna ekonomija je danas još uvek mnogo više teorijski nego praktičan koncept jednog ekonomskog sistema. S obzirom da je cirkularna ekonomija multidisciplinarni koncept, veoma je teško postaviti jedinstvenu definiciju koja bi u potpunosti pokrila sve ono što ona obuhvata. Cirkularna ekonomija je nešto što tek dolazi i predstavlja koncept u razvoju. Kao što se vidi iz priloženog, još uvek ne postoji precizna definicija koja bi obuhvatila ekonomske, društvene i ekološke stubove održivosti na kojima se zasniva cirkularna ekonomija.

### ▶ SLIKA 1. TRANZICIJA OD LINEARNE KA CIRKULARNOJ EKONOMIJI



Izvor: Bonnet (2014)

Dosadašnji pregled literature ukazuje na četiri komponente koje bi trebalo da sadrži definicija cirkularne ekonomije kako bi se ona mogla smatrati sveobuhvatnom. Te četiri komponente su 1) reciklacija resursa i energije, minimiziranje tražnje za resursima, obnavljanje vrednosti iz otpada, 2) pristup na više nivoa (engl. *multilevel approach*), 3) značaj postizanja održivog razvoja i 4) bliska veza sa načinom na koji društvo inovira.<sup>6</sup>

U velikom broju naučnih radova se postavlja pitanje da li se razvojem cirkularne ekonomije može lakše inkorporirati koncept održivog razvoja u razvoj privrede i društva u celini i kakav je odnos između ova dva koncepta.<sup>7</sup> Odnos između intenzivnijeg uvođenja koncepta održivog razvoja i razvoja cirkularne ekonomije je odnos povratne sprege. Cirkularna ekonomija se uvodi kako bi se generisani otpad nastao u jednoj zemlji, u što većoj količini, ponovo uveo u proces proizvodnje i time smanjio negativan pritisak na životnu sredinu, kako u potrebi odlaganja sve većih količina otpada, tako i u potrebi što veće potrošnje prirodnih resursa. Istovremeno, jačanja koncepta održivog razvoja pozitivno utiče na osnaživanje cirkularne ekonomije. Ono što su svakako faktori koji utiču na razvoj cirkularne ekonomije jesu razvoj tehnologije, infrastrukture, aktivnosti na istraživanju i razvoju, inovacije, ali i demografski razvoj i razvoj obrazovanja,<sup>8</sup> kao i mere na ublažavanju negativnih efekata klimatskih promena.<sup>9</sup>

6 Prieta-Sandoval et al. (2017)

7 Schroeder et al. (2018); Škrinjarić (2020)

8 Škrinjarić (2020)

9 Abramović et al. (2016)

## 3. METODOLOGIJA

### 3.1 Kompozitni indeks

Kreiranje kompozitnog indeksa u kontekstu poređenja zemalja po stepenu njihove razvijenosti, a uzimajući u obzir različite oblasti, smatra se jednim od „korisnih alata u analiza-ma politike i javne administracije“.<sup>10</sup> Dakle, korišćenjem jednog kompozitnog indikatora praktično se pojednostavljuje analiziranje kompleksnih tema poput razvoja, a izbegava se poređenje između zemalja po pojedinačnim indikatorima. Kroz metodu analize omeđenih podataka (engl. *Data Envelopment Analysis - DEA*) kreira se jedan takav kompozitni indeks – *Indeks cirkularne ekonomije (CEI)* koji ukazuje na glavne razlike u stepenu razvijenosti primene koncepta cirkularne ekonomije unutar posmatranog prostora (ovde prostora zemalja Evropske unije). DEA je vrsta metode koja počiva na tzv. granici efikasnosti baziranoj na pojedinačnim pokazateljima za svaku zemlju, a korišćenjem matematičkog linearnog programiranja. Ona određuje najbolje rešenje merenjem relativne pozicije svake zemlje u odnosu na vrednost seta izabranih pokazatelja. Ovakvo prezentovanje razvoja cirkularne ekonomije po različitim oblastima (pojedinačni pokazatelji) i preporuke za moguća poboljšanja daleko su jasnija širem auditorijumu i nenaučnoj javnosti.

Sam proces kreiranja kompozitnog indeksa nije previše komplikovan. Sastoji se od četiri faze: (1) identifikovanje i analiziranje individualnih indikatora, (2) popunjavanje (imputiranje) nedostajućih podataka, (3) normalizacija i, (4) određivanje pondera za svaki od pojedinačnih indikatora, što je i najosetljiviji korak u čitavom procesu.

Kalkulacija kompozitnog indeksa podrazumeva prethodni izbor pojedinačnih indikatora, tj. njihovih pondera. Prema raspoloživoj literaturi iz ove oblasti, najjednostavniji način za to je da se dodeli jednak značaj, tj. isti ponder svim pojedinačnim indikatorima.<sup>11</sup> Za potrebe ove analize, ponderi za svaki pojedinačni indikator i za svaku zemlju su određeni tzv. „Benefit of Doubt“ pristupom.<sup>12</sup> Ovaj pristup podrazumeva da su ponderi određeni endogeno – kroz analizu performansi i poređenje zemalja Evropske unije, a u osnovi se oslanja na linearno programiranje. Takva kombinacija pondera, izračunata kroz linearno programiranje, omogućava da ukupan relativni kompozitni indeks autputa za svaku zemlju bude najviši mogući.

Kako bi se prema DEA metodologiji odredili ponderi, odnosno kompozitni indeks na kraju, neophodno je uraditi i normalizaciju. Ova faza je od posebnog značaja, jer više vrednosti nekih pojedinačnih indikatora označavaju bolju poziciju (kao, na primer, veličina BDP-a), dok kod drugih indikatora označavaju lošiju poziciju date zemlje (kao, na primer, stopa inflacije). Vrednosti se normalizuju u intervalu od 0 do 1 (indikator koji imaju veće vrednosti ukazuju na bolje performanse date zemlje i obrnuto).

Prema jednom broju autora,<sup>13</sup> bazični DEA model pretpostavlja da se kompozitni indeks (CI) za svaku zemlju  $j$  ( $j=0, 1, \dots, m$ ) izračunava kao suma ponderisanih  $n$  pojedinačnih

10 Nardo, M., et al. (2005); Vidoli, F. et al. (2015)

11 Zhou et al. (2007)

12 Charnes et al. (1978)

13 Zhou et al. (2006); Vidoli et al. (2015); Cherchye et al. (2007); Fusco (2015)

indikatora gde su ponderi endogeno određeni tako da je vrednost kompozitnog indeksa za svaku zemlju maksimalno moguća. Optimalne pondere je moguće odrediti rešavanjem sledećeg problema linearnog programiranja:

$$CI_j = \max \sum_{i=0}^n y_{ij} w_{ij} \quad (1)$$

gde je

$$\sum_{i=0}^n y_{ij} w_{ik} \leq 1$$

i

$$w_{ij} \geq 0$$

za svako  $i=0,1,\dots,n$ , svako  $j=0,1,\dots,m$ , i svako  $k=0,1,\dots,m$ .

Drugi izazov u primeni DEA tiče se veličine seta podataka. Postoji više različitih mišljenja kada je u pitanju optimalan broj indikatora. U analizi koja je korišćena u ovom radu, prevladalo je „pravilo palca“ koje je predloženo u literaturi,<sup>14</sup> a koje kaže da broj analiziranih zemalja mora biti najmanje dva puta veći od broja pojedinačnih indikatora koji se posmatraju.

Posle izračunavanja pondera za svaki pojedinačni indikator koristeći klasični pristup „Benefits of Doubt“, upotrebljen je DEA model unakrsne efikasnosti (engl. *Cross Efficiency model*), a u cilju da se izračunaju konačne vrednosti. Iako je klasična DEA analiza pogodna za identifikovanje najbolje granice efikasnosti za svaku zemlju, u literaturi je dosta kritikovana njena karakteristika samoevaluacije. U ovom radu korišćena je metoda matrice unakrsne efikasnosti koja je razvijena kao proširenje klasičnog DEA modela. Pomenuti alat za interpretiranje rezultata DEA analize predstavljen je tabelom gde su brojevi redova ( $i$ ) i kolona ( $j$ ) jednaki brojevima zemalja u analizi. Za svaku ćeliju ( $ij$ ) vrednost pojedinačnog indikatora za svaku zemlju pomnožen je sa odgovarajućim ponderom  $j$ .<sup>15</sup>

## 3.2 DEA i Malmkvistov indeks produktivnosti

Malmkvistov indeks produktivnost predstavlja u literaturi prvi primer uvođenja dinamičke komponente u analizu obavijenih podataka. Ovaj indeks ocenjuje promene u produktivnosti posmatrane jedinice (zemlje) između dva perioda i predstavlja primer komparativne statističke analize.<sup>16</sup> Malmkvistov indeks produktivnosti se definiše kao proizvod promene

14 Golany et al. (1989)

15 Doyle & Green (1994)

16 Fare et al. (1998)



u relativnoj efikasnosti upotrebe inputa (engl. *catch-up effect*) i promene (pomeranja) granice efikasnosti (engl. *frontier shift effect*).<sup>17</sup> Prvi efekat (efekat sustizanja) pokazuje da li je zemlja poboljšala svoju relativnu efikasnost upotrebe inputa, odnosno da li zemlja ostvaruje rast ili nazaduje. Drugi efekat meri pomeranje granice proizvodnih mogućnosti (tehnološko ograničenje) u vremenu, odnosno promenu tehnologije i, u ovom radu, pokazuje da li zemlja primenjuje novi koncept cirkularne ekonomije (eko-inovacije) ili ostaje pri postojećim. Izračunavanje Malmkvistovog indeksa, promene relativne efikasnosti upotrebe inputa i pomeranje granice proizvodnih mogućnosti je u daljem tekstu prikazano na osnovu metodološkog objašnjenja datog u Sánchez (2018).

Izračunavanje Malmkvistovog indeksa podrazumeva određivanje vrednosti  $\theta$  DEA modelom i primenom linearnog programiranja pomoću sledeće jednačine ( $s$  predstavlja broj granica proizvodnih mogućnosti i uzima vrednost 1 i 2, a  $t$  broj posmatranih perioda i uzima vrednost 1 i 2, odnosno oznake dva perioda koji se međusobno porede):<sup>18</sup>

$$\delta^s(x_0, y_0)^t = \min_{\theta, \lambda} \theta \quad (2)$$

pri čemu je

$$\delta^s x_0^t \geq X^s \lambda_i$$

$$y_0^t \leq Y^s \lambda_i$$

$$L \leq e \lambda_i \leq U$$

$$\lambda_i > 0$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, N$$

Navedeni DEA model je input orijentisan, jer se traži kombinacija najmanjih mogućih količina inputa kojima se može proizvesti zadati output. Za razliku od tog modela, output orijentisan model izračunavanja Malmkvistovog indeksa polazi od toga da je potrebno 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).<sup>19</sup>

U slučaju output orijentisanog modela, izračunavanje Malmkvistovog indeksa i  $\theta$  vrednosti bi se odvijalo putem linearnog programiranja preko sledeće jednačine i postavljenih ograničenja

$$(x_0, y_0)^t = \min_{\theta, \lambda} \theta \quad (3)$$

17 Fare et al. (1994)

18 Zhu (2011)

19 Fare et al. (1994)

pri čemu je

$$x'_0 \geq X^s \lambda_i$$

$$\left(\frac{1}{\theta}\right) y'_0 \leq Y^s \lambda_i$$

$$L \leq e \lambda_i \leq U$$

$$\lambda_i > 0$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, N$$

U našem prethodnom jednostavnom primeru, ovaj model, odnosno problem linearnog programiranja bi se sastojao od četiri jednačine. Vektor  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N)$  predstavlja niz od  $N$  promenljivih  $\lambda_i$  kojima se konstruiše granica efikasnosti, odnosno granica proizvodnih mogućnosti, dok  $e$  predstavlja vektor  $e = (1, 1, \dots, 1)$  veličine  $1 \times N$ .  $X$  predstavlja matricu u kojoj su uneseni inputi, a  $Y$  matricu u kojoj se nalaze podaci o vrednostima outputa za svaku posmatranu zemlju, odnosno DMU (broj redova u matricama  $X$  i  $Y$  odgovara broju inputa i outputa respektivno, a broj kolona broju posmatranih jedinica, odnosno zemalja). Za svaki par vrednosti  $(s, t)$  model se izračunava  $N$  puta, gde  $N$  predstavlja broj posmatranih jedinica (DMU).

Ukoliko je  $(L, U) = (1, 1)$  onda je u pitanju model koji efikasnost posmatranih jedinica izračunava sa varijabilnim prinosima (BCC model).<sup>20</sup> Ovakav model je pogodan ukoliko su DMU različitih veličina. Ukoliko je  $(L, U) = (0, \infty)$  onda je u pitanju model koji efikasnost posmatranih jedinica izračunava sa konstantnim prinosima (CRS model). Ovakav model je pogodan ukoliko su DMU slične, odnosno približnih veličina.

► TABELA 1. MALMKVISTOV INDEKS PRODUKTIVNOSTI I NJEGOVE KOMPONENTE

| VREDNOST INDEKSA (POKAZATELJA) | MALMKVISTOV INDEKS PRODUKTIVNOSTI (MI) | EFEKAT SUSTIZANJA (EC) – PROMENE U RELATIVNOJ EFIKASNOSTI | TEHNOLOŠKA EFIKASNOST (TC) – POMERANJE GRANICE PROIZVODNIH MOGUĆNOSTI |
|--------------------------------|--|---|---|
| Veća od 1                      | produktivnost raste                    | porast relativne efikasnosti                              | porast tehnološke efikasnosti   |
| Manja od 1                     | produktivnost opada                    | smanjenje relativne efikasnosti                           | smanjenje tehnološke efikasnosti                                      |
| Jednaka 1                      | produktivnost ista                     | relativna efikasnost je nepromenjena                      | tehnološka efikasnost je nepromenjena                                 |

Izvor: Fare, R. et al. (1994)

Malmkvistov indeks se izračunava kao  $MI = EC \times TC$ . Prva komponenta (EC) pokazuje veličinu promene tehnološke efikasnosti, odnosno relativne efikasnosti upotrebe inputa između dva vremenska perioda i pokazuje da li se ona poboljšava, opada ili ostaje nepro-

20 Banker et al. (1984)

menjena. Drugi izraz (TC) pokazuje pomeranje granice proizvodnih mogućnosti, odnosno promene u primenjenoj tehnologiji između dva vremenska perioda. Tabela 1 pokazuje moguće vrednosti Malmkvistovog indeksa i njegovih komponenti i njihovo tumačenje.

### 3.3 Klaster analiza

Pored izračunavanja kompozitnog indeksa i Malmkvistovog indeksa, u radu je dodatno primenjena i klaster analiza. Ova analiza je urađena na osnovu vrednosti GDP per capita, Indeksa globalne konkurentnosti (GCI) i izračunatog kompozitnog indeksa cirkularne ekonomije (CEI). Euklidova funkcija je primenjena za izračunavanje međusobne udaljenosti zemalja po osnovu vrednosti sva tri indeksa, dok je za određivanje optimalnog broja klastera korišćena Wardova metoda, metoda prosečne siluete<sup>21</sup> i GAP statistika.<sup>22</sup>

## 4. IZBOR INDIKATORA ZA OCENU RAZVIJENOSTI CIRKULARNE EKONOMIJE

Da bi se analizom obavljenih podataka ocenila efikasnost zemalja Evropske unije u primeni principa cirkularne ekonomije potrebno je da se izaberu određeni indikatori koji će predstavljati inpute i outpute. U tabeli 2 je dat pregled izabranih indikatora. Četiri indikatora koji se odnose na primenu principa cirkularne ekonomije u posmatranoj zemlji predstavljaju inpute, dok šesti indikator predstavlja output (BDP po glavi stanovnika).

➤ TABELA 2. INDIKATORI KORIŠĆENI U DEA ANALIZI

| DIMENZIJA | INDIKATOR  |
|-----------|--|
| Input     | WPC – Generisani otpad po glavi stanovnika (%)         |
|           | RMW – Stopa recikliranja komunalnog otpada (%)         |
|           | CMR – Stopa upotrebe cirkularnih materijala (%)        |
|           | EMP – Zaposlenost u sektorima cirkularne ekonomije (#) |
| Output    | GDPpc – BDP po glavi stanovnika (€)                    |

Izvor: Evrostat (<https://ec.europa.eu/eurostat>)

Za određivanje granica tehnološke efikasnosti, odnosno granice proizvodnih mogućnosti DEA analizom u ovom radu je obuhvaćeno 24 zemlje: Austrija, Belgija, Bugarska, Hrvatska, Kipar, Danska, Estonija, Finska, Francuska, Nemačka, Grčka, Mađarska, Italija, Litvanija, Letonija, Holandija, Poljska, Portugalija, Rumunija, Slovačka, Slovenija, Španija, Švedska i Velika Britanija. Za neke od zemalja Evropske unije nisu bili raspoloživi podaci za sve indikatore u periodu od 2010. do 2017. godine, najčešće za zaposlenost u sektorima privrede koji se odnose na cirkularnu ekonomiju. Velika Britanije je uzeta u

21 Kaufman, Rousseeuw (1990)

22 Tibshirani et al. (2001)

razmatranje zbog toga što je u celom analiziranom periodu bila članica Evropske unije, ali i da bi se povećala diskriminatorska moć modela.

Naredni korak u DEA analizi, posle odabira indikatora koji će predstavljati inpute i outpute, kao i zemalja koje predstavljaju posmatrane jedinice (DMU), potrebno je proveriti da li su ispunjena sledeća dva uslova:

- (1) broj posmatranih zemalja (DMU) bi trebalo da bude najmanje tri puta veći od zbira input i output promenljivih koje se koriste u analizi;
- (2) output ne bi trebalo da se smanjuje kada se količina inputa povećava; drugim rečima, povećavanje količine jednog inputa pri nepromenjenim količinama drugih inputa ne bi trebalo da dovede do smanjenja nijednog outputa, odnosno trebalo bi da dovede do povećanja količine barem jednog outputa.

Prvi uslov je ispunjen, jer je ukupan broj posmatranih zemalja je 24, dok je ukupan zbir posmatranih indikatora 5 (4 inputa i 1 output). Drugi uslov je ispitan izračunavanjem stepena korelacije između input i output promenljivih, koja je pozitivna, čime je opravdan izbor predloženih indikatora (tabela 3). Za izračunavanje kompozitnog indeksa CEI i Malmkvistovog indeksa korišćen je softverski paketi MaxDEA 8 Ultra. Nakon izračunavanja CEI indeksa pristupljeno je klaster analizi na osnovu podataka za sve zemlje za BDP po glavi stanovnika, Indeks globalne konkurentske prednosti i izračunati Indeks cirkularne ekonomije. Za određivanje optimalnog broja klastera u skladu sa prethodno navedenom metodologijom je korišćen softverski paket R (moduli „cluster“ i „factoextra“).

► TABELA 3. STEPEN KORELACIJE IZMEĐU INDIKATORA

|                   | WPC  | RMW  | CMR  | EMP  | GDP <sub>pc</sub> |
|-------------------|------|------|------|------|-------------------|
| WPC               | 1,00 | 0,48 | 0,15 | 0,13 | 0,70              |
| RMW               | 0,48 | 1,00 | 0,58 | 0,36 | 0,75              |
| CMR               | 0,15 | 0,58 | 1,00 | 0,43 | 0,55              |
| EMP               | 0,13 | 0,36 | 0,43 | 1,00 | 0,23              |
| GDP <sub>pc</sub> | 0,70 | 0,75 | 0,55 | 0,23 | 1,00              |

Izvor: Kalkulacija autora

## 5. REZULTATI I DISKUSIJA

Za analizirani period 2010-2017. godina vrednosti CEI indeksa za odabrane zemlje EU za koje su posmatrani indikatori primene principa cirkularne ekonomije u svakoj od nacionalnih ekonomija pokazuju određene trendove (Tabela 4). Izračunate vrednosti pokazuju da jedna grupa zemalja (Nemačka, Danska, Holandija...) imaju visoke vrednosti CEI indeksa, te da se te vrednosti u posmatranom periodu konstantno održavaju. To ukazuje na činjenicu da je koncept cirkularne ekonomije već prisutan unutar okvira nacionalne privrede ovih zemalja. Ovakav rezultat je očekivan, jer je u ovim zemljama i koncept održivog razvoja već značajan deo vremena uspešno primenjen u različitim privrednim sektorima, odnosno u društveno-ekonomskom razvoju u celini. Sa druge strane postoji jedan broj zemalja, poput Slovenije, pa i Litvanije, Letonije, Mađarske i Slovačke koje konstantno poboljšavaju efikasnost primene principa cirkularne ekonomije za ostvarivanje privrednog rasta. Rezultati DEA analize ukazuju na određeno međusobno približavanje ili udaljšavanje zemalja po pitanju efikasnosti u primeni koncepta cirkularne ekonomije tokom posmatranog perioda, ali ne i njihovo jasno grupisanje kada se posmatra efikasnost primene cirkularne ekonomije za ostvarivanje ekonomskog rasta. Zbog toga se pribeglo metodi klasterizacije kojom su izdvojene tri grupe zemalja i to prema CEI indeksu, BDP-u po glavi stanovnika i indeksu globalne konkurentne prednosti (vrednosti iz 2017. godine). Reč je o svojevrsnim klasterima koji su izdvojeni na osnovu najmanjih razlika u datim pokazateljima kojima se prati efikasnost primene principa cirkularne ekonomije (Slika 2). Na grafikonima je prikazan raspored zemalja prema prve dve dimenzije koje najviše objašnjavaju najveći deo varijanse, a koje su određene analizom glavnih komponenti (engl. *principal component analysis*).

Iako CEI indeks pokazuje različite promene u periodu 2010-2017. godina za odabrane zemlje unutar svakog od ovih klastera, ono što im je zajedničko jeste da su zemlje grupisane pre svega po tome što pokazuju u međusobnoj komparaciji najmanje razlike po pitanju razvijenosti cirkularne ekonomije. U prvu grupu (klaster 1) su svrstane zemlje poput Danske, Holandije, Britanije, Nemačke, Belgije Austrije, Francuske, ali i Švedske i Finske, dok su najbolje performanse u primeni i razvoju koncepta cirkularne ekonomije imale zemlje u grupi – klasteru koji čine Estonija, Portugalija, Mađarska, Slovačka, Letonija, Rumunija, Hrvatska, Bugarska i Grčka (klaster 2). Iako je metodološki sugerisan izbor dva klastera, autori su se odlučili da uvedu i treći klaster jer su tu zemlje koje pokazuju određene razlike po pitanju vrednosti CEI indeksa u odnosu na oba prethodna klastera (klaster 3): Poljska, Litvanija, Kipar, Slovenija, Španija i Italija.

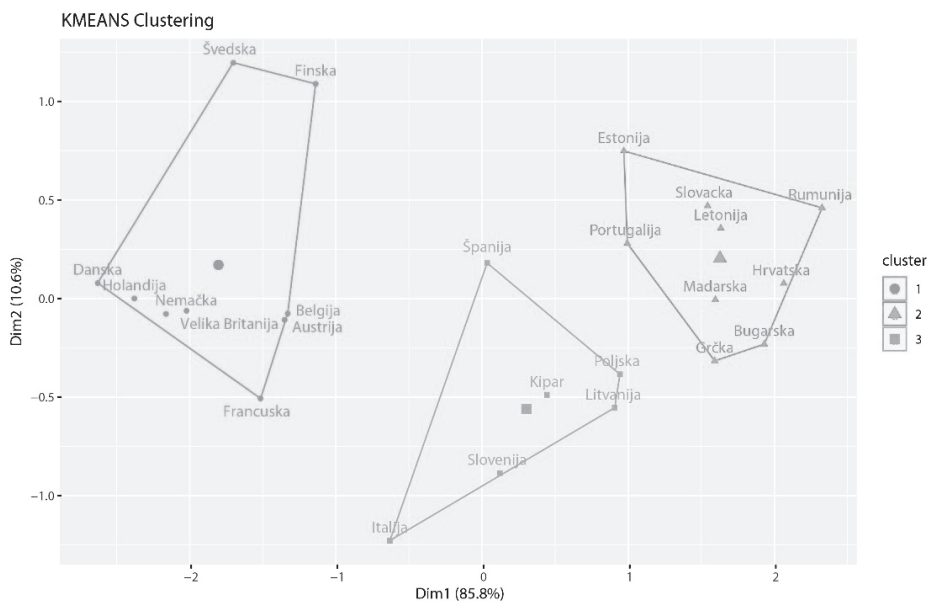
▶ TABELA 4. IZRAČUNATE VREDNOSTI CEI INDEKSA (2010-2017)

| ZEMLJA           | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2010-2017 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| Belgija          | 0,908 | 0,911 | 0,907 | 0,909 | 0,924 | 0,905 | 0,868 | 0,849 |           |
| Bugarska         | 0,488 | 0,457 | 0,403 | 0,400 | 0,368 | 0,364 | 0,360 | 0,416 |           |
| Danska           | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |           |
| Nemačka          | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |           |
| Estonija         | 0,315 | 0,536 | 0,706 | 0,504 | 0,468 | 0,404 | 0,398 | 0,351 |           |
| Grčka            | 0,447 | 0,437 | 0,466 | 0,430 | 0,452 | 0,440 | 0,443 | 0,447 |           |
| Španija          | 0,701 | 0,659 | 0,646 | 0,622 | 0,581 | 0,596 | 0,612 | 0,596 |           |
| Francuska        | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 0,992 | 0,985 |           |
| Hrvatska         | 0,155 | 0,222 | 0,279 | 0,281 | 0,284 | 0,282 | 0,281 | 0,305 |           |
| Italija          | 0,943 | 0,952 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |           |
| Kipar            | 0,689 | 0,685 | 0,732 | 0,651 | 0,653 | 0,680 | 0,666 | 0,666 |           |
| Letonija         | 0,092 | 0,164 | 0,137 | 0,285 | 0,318 | 0,353 | 0,336 | 0,325 |           |
| Litvanija        | 0,222 | 0,319 | 0,369 | 0,393 | 0,417 | 0,435 | 0,645 | 0,641 |           |
| Mađarska         | 0,302 | 0,302 | 0,361 | 0,337 | 0,374 | 0,366 | 0,409 | 0,405 |           |
| Holandija        | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |           |
| Austrija         | 0,947 | 0,885 | 0,874 | 0,890 | 0,844 | 0,838 | 0,843 | 0,852 |           |
| Poljska          | 0,657 | 0,626 | 0,659 | 0,679 | 0,682 | 0,685 | 0,630 | 0,603 |           |
| Portugalija      | 0,436 | 0,429 | 0,401 | 0,379 | 0,439 | 0,413 | 0,425 | 0,430 |           |
| Rumunija         | 0,213 | 0,213 | 0,217 | 0,224 | 0,202 | 0,204 | 0,198 | 0,192 |           |
| Slovenija        | 0,419 | 0,523 | 0,605 | 0,499 | 0,510 | 0,764 | 0,786 | 0,823 |           |
| Slovačka         | 0,182 | 0,162 | 0,155 | 0,149 | 0,191 | 0,208 | 0,222 | 0,303 |           |
| Finska           | 0,597 | 0,658 | 0,699 | 0,575 | 0,518 | 0,573 | 0,581 | 0,568 |           |
| Švedska          | 0,749 | 0,707 | 0,668 | 0,706 | 0,705 | 0,641 | 0,652 | 0,617 |           |
| Velika Britanija | 0,989 | 1,000 | 0,984 | 0,978 | 0,921 | 0,984 | 0,975 | 0,984 |           |

Izvor: Kalkulacija autora

Da bi se mogla bolje razumeti ovakva klasifikacija zemalja, tj. dinamika promene u primeni principa cirkularne ekonomije i faktora koji na tu promenu utiču, neophodno je postojeću DEA analizu unaprediti kroz uključivanje i dinamičke komponente. To je postignuto uvođenjem Malmkvistovog indeksa produktivnosti, koji je dobijen primenom DEA metode (input-autput orijentisanim modelom sa varijabilnim prinosima) i koeficijente efikasnosti za sve posmatrane zemlje u periodu 2010-2017 (Tabela 5).

## ► SLIKA 2. KLASTER ANALIZA (KRITERIJUM – VREDNOSTI GDP PC, GCI I CEI U 2017. GODINI)



Izvor: Kalkulacija autora

▶ TABELA 5. IZRAČUNATE VREDNOSTI MALMKVISTOVOG INDEKSA (MI)

|                  | 2011/2010 | 2012/2011 | 2013/2012 | 2014/2013 | 2015/2014 | 2016/2015 | 2017/2016 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Austrija         | 1,014     | 0,928     | 0,994     | 1,002     | 1,003     | 1,004     | 1,009     |
| Belgija          | 1,006     | 0,996     | 1,043     | 1,032     | 1,038     | 0,990     | 1,051     |
| Bugarska         | 2,219     | 1,030     | 0,558     | 0,931     | 1,065     | 0,739     | 0,829     |
| Hrvatska         | 0,902     | 0,661     | 0,800     | 0,711     | 1,304     | 0,817     | 0,798     |
| Kipa             | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,002     | 1,000     | 1,000     |
| Danska           | 1,033     | 1,030     | 0,945     | 0,962     | 1,021     | 1,037     | 1,018     |
| Estonija         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 0,967     | 1,000     |
| Finska           | 0,959     | 0,985     | 1,056     | 1,011     | 0,939     | 1,079     | 1,016     |
| Francuska        | 1,008     | 0,990     | 0,992     | 0,995     | 0,991     | 0,983     | 0,998     |
| Nemačka          | 1,034     | 1,004     | 1,003     | 1,014     | 1,008     | 1,014     | 1,022     |
| Grčka            | 1,044     | 1,019     | 0,994     | 1,000     | 0,980     | 0,945     | 0,957     |
| Mađarska         | 0,984     | 0,870     | 1,021     | 0,988     | 1,022     | 0,958     | 1,010     |
| Italija          | 0,938     | 0,931     | 0,971     | 0,975     | 0,968     | 0,983     | 0,996     |
| Letonija         | 0,960     | 1,000     | 0,860     | 0,885     | 0,828     | 0,804     | 1,074     |
| Litvanija        | 0,490     | 0,978     | 1,175     | 0,740     | 0,884     | 0,940     | 0,929     |
| Holandija        | 1,011     | 0,990     | 1,002     | 1,010     | 1,016     | 1,017     | 1,025     |
| Poljska          | 1,107     | 0,996     | 0,947     | 1,288     | 0,855     | 0,800     | 0,956     |
| Portugalija      | 1,054     | 0,994     | 0,907     | 0,974     | 1,128     | 0,989     | 1,277     |
| Rumunija         | 1,354     | 1,000     | 1,000     | 1,060     | 1,000     | 1,027     | 0,983     |
| Slovačka         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 0,964     | 0,966     | 0,885     |
| Slovenija        | 1,118     | 1,060     | 0,841     | 1,007     | 0,951     | 1,019     | 1,010     |
| Španija          | 1,069     | 0,919     | 0,962     | 1,068     | 1,049     | 0,918     | 0,960     |
| Švedska          | 0,987     | 0,953     | 1,040     | 1,075     | 1,009     | 1,009     | 1,019     |
| Velika Britanija | 0,994     | 1,006     | 1,006     | 1,016     | 1,017     | 0,998     | 1,023     |

Izvor: Kalkulacija autora

Na osnovu sprovedene DEA analize i rezultata dobijenih izračunavanjem Malmkvistovog indeksa produktivnosti, proizilazi da se ovaj koeficijent u periodu od 2011. do 2017. godine za 24 posmatrane zemlje kretao u rasponu od 0,490 do 2,219. Kako bi tumačenje vrednosti Malmkvistovog indeksa moglo smatrati kompletnim neophodno je istovremeno sagledati i trendove njegovih komponenti: iskorišćenost postojećih resursa (EC) i uvođenje nove tehnologije (TC). I jedna i druga komponenta utiču na nivo korišćenja inputa na privredni rast, ali je sada pitanje same strukture tih promena. Tako na primer, vrednost CEI indeksa je za Francusku konstantno visoka, sa izuzetkom poslednje dve godine kada dolazi do smanjivanja ukupne produktivnosti. Upravo u tim godinama nižih vrednosti, ova zemlja beleži povećanje TC indeksa koji ukazuje da je reč o periodu kada zemlja uvodi novu tehnologiju, dok je primena postojećih inputa bila nešto slabija (EC).



TABELA 6. IZRAČUNATE VREDNOSTI INDEKSA RELATIVNE EFIKASNOSTI (EC)

|                  | 2011/2010 | 2012/2011 | 2013/2012 | 2014/2013 | 2015/2014 | 2016/2015 | 2017/2016 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Austrija         | 0,998     | 0,946     | 0,991     | 0,985     | 0,979     | 0,994     | 1,001     |
| Belgija          | 1,053     | 1,005     | 1,039     | 1,002     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Bugarska         | 3,906     | 0,331     | 1,018     | 0,902     | 1,151     | 0,754     | 0,822     |
| Hrvatska         | 1,000     | 0,649     | 1,030     | 0,874     | 1,711     | 1,000     | 1,000     |
| Kipa             | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Danska           | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Estonija         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Finska           | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Francuska        | 1,015     | 0,990     | 0,995     | 0,994     | 1,014     | 0,977     | 0,960     |
| Nemačka          | 1,018     | 1,006     | 0,999     | 0,998     | 0,986     | 0,998     | 1,009     |
| Grčka            | 1,075     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 0,959     | 0,878     |
| Mađarska         | 0,997     | 0,908     | 0,984     | 0,961     | 1,021     | 1,008     | 1,050     |
| Italija          | 0,958     | 0,935     | 0,974     | 0,972     | 0,961     | 0,984     | 0,967     |
| Letonija         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Litvanija        | 0,516     | 0,922     | 1,437     | 0,898     | 0,972     | 0,927     | 0,802     |
| Holandija        | 0,994     | 0,997     | 0,999     | 0,992     | 0,989     | 1,005     | 1,013     |
| Poljska          | 0,996     | 1,382     | 0,780     | 1,217     | 0,818     | 0,883     | 1,032     |
| Portugalija      | 1,011     | 0,985     | 0,945     | 0,840     | 1,273     | 1,005     | 1,000     |
| Rumunija         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Slovačka         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Slovenija        | 1,195     | 1,000     | 0,885     | 0,982     | 0,974     | 1,030     | 0,980     |
| Španija          | 1,114     | 0,937     | 0,914     | 1,046     | 1,158     | 0,937     | 0,920     |
| Švedska          | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |
| Velika Britanija | 0,986     | 1,014     | 1,014     | 1,011     | 1,005     | 0,997     | 0,982     |

Izvor: Kalkulacija autora

Primetno je da manji broj zemalja ima vrednosti Malmkvistovog indeksa ispod 1, odnosno vrednosti koje se smanjuju u posmatranom periodu 2010-2017. godina. Najuočljivije su u tom smislu Bugarska i Hrvatska. Bugarska je u analiziranom periodu veoma loše koristila postojeće resurse, a uvođenje nove tehnologije praktično nije imalo velikog uticaja na povećanje nivoa produktivnosti, odnosno primene koncepta CE. Hrvatska, sa druge strane, je imala oscilirajuće trendove u korišćenju postojećih resursa i određene pozitivne efekte je praktično iskoristila da nadomesti nedostatak uvođenja nove tehnologije. Zanimljivo je ispratiti i situaciju kada su u pitanju zemlje poput Finske i Švedske, kao visokorazvijene privrede u kojima je koncept CE prisutan duži niz godina. Obe zemlje imaju stabilno visok nivo korišćenja postojećih resursa uz konstantno uvođenje nove tehnologije, što zapravo rezultira i povećanjem nivoa produktivnosti (MI).

▶ TABELA 7. IZRAČUNATE VREDNOSTI INDEKSA TEHNIČKE EFIKASNOSTI (TC)

|                  | 2011/2010 | 2012/2011 | 2013/2012 | 2014/2013 | 2015/2014 | 2016/2015 | 2017/2016 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Austrija         | 1,017     | 0,981     | 1,003     | 1,017     | 1,024     | 1,010     | 1,008     |
| Belgija          | 0,955     | 0,991     | 1,004     | 1,030     | 1,038     | 0,990     | 1,051     |
| Bugarska         | 0,568     | 3,115     | 0,548     | 1,032     | 0,925     | 0,979     | 1,008     |
| Hrvatska         | 0,902     | 1,017     | 0,776     | 0,814     | 0,762     | 0,817     | 0,798     |
| Kipa             | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,002     | 1,000     | 1,000     |
| Danska           | 1,033     | 1,030     | 0,945     | 0,962     | 1,021     | 1,037     | 1,018     |
| Estonija         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 0,967     | 1,000     |
| Finska           | 0,959     | 0,985     | 1,056     | 1,011     | 0,939     | 1,079     | 1,016     |
| Francuska        | 0,993     | 1,000     | 0,997     | 1,001     | 0,978     | 1,006     | 1,040     |
| Nemačka          | 1,016     | 0,998     | 1,003     | 1,016     | 1,022     | 1,016     | 1,013     |
| Grčka            | 0,971     | 1,019     | 0,994     | 1,000     | 0,980     | 0,985     | 1,091     |
| Mađarska         | 0,986     | 0,958     | 1,038     | 1,028     | 1,001     | 0,951     | 0,962     |
| Italija          | 0,979     | 0,995     | 0,996     | 1,003     | 1,007     | 0,999     | 1,030     |
| Letonija         | 0,960     | 1,000     | 0,860     | 0,885     | 0,828     | 0,804     | 1,074     |
| Litvanija        | 0,951     | 1,061     | 0,818     | 0,824     | 0,910     | 1,013     | 1,158     |
| Holandija        | 1,018     | 0,994     | 1,003     | 1,018     | 1,028     | 1,012     | 1,012     |
| Poljska          | 1,111     | 0,721     | 1,213     | 1,059     | 1,045     | 0,907     | 0,927     |
| Portugalija      | 1,043     | 1,009     | 0,960     | 1,160     | 0,886     | 0,984     | 1,277     |
| Rumunija         | 1,354     | 1,000     | 1,000     | 1,060     | 1,000     | 1,027     | 0,983     |
| Slovačka         | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 0,964     | 0,966     | 0,885     |
| Slovenija        | 0,935     | 1,060     | 0,950     | 1,026     | 0,977     | 0,990     | 1,030     |
| Španija          | 0,959     | 0,981     | 1,053     | 1,021     | 0,906     | 0,980     | 1,044     |
| Švedska          | 0,987     | 0,953     | 1,040     | 1,075     | 1,009     | 1,009     | 1,019     |
| Velika Britanija | 1,009     | 0,993     | 0,993     | 1,005     | 1,011     | 1,000     | 1,041     |

Izvor: Kalkulacija autora

Ako se uporede maksimalne, minimalne i srednje vrednosti Malmkvistovog indeksa za svaku pojedinačnu godinu u navedenom periodu, dolazi se do određenih zaključaka kada je reč o razlozima promena vrednosti ovog indeksa (tabela 8). Posmatrajući srednje vrednosti Malmkvistovog indeksa uočava se oscilirajući trend (opadanje do 2013. godine, pa onda blagi rast). Tokom perioda 2010-2017. godina izabrane zemlje su u proseku zabeležile rast efikasnosti u primeni koncepta cirkularne ekonomije (2013. godina se može posmatrati kao prekretnica zbog početka značajnijeg prisustva koncepta cirkularne ekonomije u zvaničnim nacionalnim strategijama industrijskog razvoja zemalja Evropske unije).

TABELA 8. DESKRIPTIVNA STATISTIKA ZA KOEFICIJENTE EFIKASNOSTI

|                       | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Minimalna vrednost    | 0,490 | 0,661 | 0,558 | 0,711 | 0,828 | 0,739 | 0,798 |
| Maksimalna vrednost   | 2,219 | 1,060 | 1,175 | 1,288 | 1,304 | 1,079 | 1,277 |
| Srednja vrednost      | 1,025 | 0,969 | 0,955 | 0,983 | 0,998 | 0,954 | 1,017 |
| Standardna devijacija | 0,284 | 0,078 | 0,115 | 0,108 | 0,091 | 0,085 | 0,088 |

Izvor: Kalkulacija autora

## 6. ZAKLJUČAK

Poslednjih deset godina koncept cirkularne ekonomije postaje sve više zastupljen kako u naučnim radovima, tako i među kreatorima različitih javnih politika (ekonomske, obrazovne...). Međutim, veliki broj naučnih radova se zasniva na praktičnim studijama slučaja primena koncepta cirkularne ekonomije na mikro nivou, dok su analize faktora njegovog razvoja na nivou privrede veoma malo prisutne. Korišćenjem primenjene metodologije, poput DEA analize i izračunavanja Malmkvistovog indeksa, moguće je ukazati kreatorima ekonomske politike na slabe i jake strane njenih nacionalnih strategija društveno-ekonomskog razvoja koje uključuju koncept cirkularne ekonomije, kao i faktore koji dovode do povećavanja ili smanjivanja međusobnog jaza. Proširivanjem prikazane DEA analiza izborom većeg broja indikatora kao inputa bi omogućilo kreatorima ekonomske politike u zemljama Evropske unije (i Srbije) da njenom primenom na vreme uoče oblasti cirkularne ekonomije u kojima je potrebno povećati efikasnosti. Upravo je takva metodologija korišćena u oceni efikasnosti razvoja cirkularne ekonomije u zemljama Evropske unije u periodu 2010-2017. godine. Rezultati koji su dobijeni potvrđuju konstatacije i zaključke ranijih istraživanja o razvijenosti cirkularne ekonomije u zemljama Evropske unije.

Najefikasnije su one zemlje koje imaju veći BDP po glavi stanovnika, bolju infrastrukturu, obrazovanje i aktivnosti istraživanja i razvoja. Manje efikasne zemlje (u ovom radu grupisane u okviru klastera 3), i pored toga što sprovode određene aktivnosti u smeru razvoja i primene koncepta cirkularne ekonomije u privredi zvanično podržane od strane odgovarajućih državnih institucija, nesistematično sprovode aktivnosti na uvođenju koncepta cirkularne ekonomije. Ovde je neophodno uzeti u obzir i činjenicu da rezultati sprovođenja institucionalnih aktivnosti na razvoju cirkularne ekonomije nisu odmah vidljivi i primenljivi za većinu preduzeća i domaćinstava iz više razloga (od kojih su neki ili više njih prisutni ne samo u zemljama u razvoju, već i u zemljama Evropske unije): ciljevi i indikatori za merenje i praćenje njihovog ostvarivanja nisu definisani, odgovarajuća rešenja u proizvodnji i poslovnim modelima nisu usklađeni sa praktičnim potrebama, nedovoljna usmerenost ka krajnjem korisniku, nepostojanje razvijene javne svesti o ekonomskim i ekološkim efektima principa cirkularne ekonomije, nedovoljna platežna moć krajnjih korisnika, ulaganje u nekompatibilnu tehnologiju zbog pojave traženja rente ili korupcije, nedostatak konkurencije na tržištima (postojanje monopola ili oligopola), nerazvijenost ekološke inspekcije i odgovarajućih kazni za nepoštovanje standarda zaštite životne sredine i slično. Zbog toga je uvođenje ovog koncepta u okvire jedne nacionalne

ekonomije dugotrajan i zahtevan proces, koji nadasve zahteva jasnu posvećenost političkih i ekonomskih elita određene zemlje ka jednom ozbiljnom zaokretu u razvoju privrede i društva. S obzirom da savremene informacione i komunikacione tehnologije imaju veliki uticaj na implementaciju cirkularne ekonomije,<sup>23</sup> posebno je značajno naporedo razvijati konvergentne nacionalne strategija razvoja digitalne i cirkularne ekonomije.

Rezultati dobijeni primenom DEA analize i Malmkvistovog indeksa produktivnosti ukazuju na to da su one zemlje Evropske unije, koje su kroz ekonomsku politiku (pre svega fiskalnu politiku), ali i druge javne politike (obrazovnu i ekološku) implementirale neke od principa cirkularne ekonomije (više vrednosti CEI indeksa), istovremeno ostvarile i veće vrednosti BDP po glavi stanovnika i bolju globalnu konkurentsku poziciju. To znači da primena principa cirkularne ekonomije vodi ka unapređenju ekonomskog položaja zemlje zbog čega bi trebalo da postane prioritet u različitim nacionalnim strategijama zemlje (obrazovnoj, industrijskoj...) i ekonomskim politikama (fiskalnoj). Na taj način se direktno omogućava ubrzani razvoj cirkularne ekonomije i posledično povećavanje opšteg društvenog blagostanja, kao i međusobna konvergencija zemalja. Sa druge strane, društvo koje funkcioniše po tako postavljenim principima brže postaje samosvesno značaja očuvanja resursa i efikasnijeg upravljanja globalnom ekonomijom koja još uvek duboko počiva na eksploataciji prirodnih resursa. U isto vreme, na taj način se ujedno jača i koncept održivog razvoja koji pozitivno deluje na primenu principa cirkularne ekonomije, istovremeno funkcionišući i kao faktor njenog razvoja upravo po principu povratne sprege.

## LITERATURA

---

Abramović, V., Jacimović, D. i Jocović, M. (2016), "Klimatske promjene i njihov uticaj na zemlje regiona" *Ekonomске ideje i praksa*, broj 20, 2016, str. 43-52.

---

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), 1078–1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>

---

Bonnet, F. (2014), *Advancing local circular economies by moving to zero waste*, *Circular Economy, Resource Efficiency & Waste*, June 2014, Green Week Conference, [https://ec.europa.eu/environment/legal/pdf/platform/3rd\\_meeting/francoise\\_bonnet\\_2.2.pdf](https://ec.europa.eu/environment/legal/pdf/platform/3rd_meeting/francoise_bonnet_2.2.pdf), [Pristupljeno: 28/08/20]

---

Boulding K. E. (1966), „The economics of the coming spaceship earth“ in Jarrett H. (ed.), *Environmental quality in a growing economy*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, pp. 3-14.

---

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

---

---

Cherchye, L., Moesen W., Rogge, N. and Puyenbroeck, T. V. (2007), „An introduction to ‘benefit of the doubt’ composite indicators“ *Social Indicators Research*, 82(1), pp. 111-145

---

Cook, W. D., Tone, K. and Zhu, J. (2014), “Data envelopment analysis: Prior to choosing a model” *Omega*, Vol. 44 (April 2014), 1–4, <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.004>

---

Doyle, J. and Green, R. (1994), „Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses“ *The Journal of the Operational Research Society*, 45(5), 567-578

---

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), 66–83.

---

Fare, R., Grosskopf, S., Roos, P. (1998), “Malmquist Productivity Indexes: A Survey of Theory and Practice” in Fare R. et al. (Eds) (1998), *Index Numbers: Essays in Honour of Sten Malmquist* (pp. 127–190). Springer

---

Fusco, E. (2015), „Enhancing non-compensatory composite indicators: A directional proposal“ *European Journal of Operational Research*, 242(2), pp. 620-630

---

Golany, B. and Roll, Y. (1989), „An application procedure for DEA“ *Omega*, 17(3), 237-250

---

Göttsching, L. (1996). “The German recycling scene and the influence of legislation”, *Paper technology*, 37(1), 47-51.

---

Illge, L. and Schwarze, R. (2009), „A matter of opinion — How ecological and neoclassical environmental economists and think about sustainability and economics“, *Ecological Economics*, 68(3), pp. 594-604.

---

Lacy, P. and Rutqvist, J. (2015), *Waste to Wealth - The Circular Economy Advantage*, Palgrave Macmillan UK.

---

Maler K.-G. 1974, *Environmental economics: a theoretical inquiry*. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 1974.

---

Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J. and Behrens, W. W. (1972), *Limits to Growth*, New York: New American Library.

---

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Homan, A. and Giovannini, E. (2005), *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD statistics working papers 2005/3, OECD, statistics directorate, pp. 12-14

---

Pearce D. W. and Turner K. T. (1990), *Economics of natural resources and the environment*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.

---

---

Prieta-Sandoval V., Jaca C., Ormazabal M. (2017), "Towards a consensus on the circular economy" *Journal of Cleaner Production*, 2017, 179, pp. 605-15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>

---

R Core Team (2020), *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

---

Radivojević, A. (2018). „Cirkularna ekonomija – implementacija i primena tehnologije u njenoj funkciji“, *Ekonomске ideje i praksa*, broj 28, str. 33-46.

---

Sánchez, J. J. V. (2018), *Malmquist Index with Time Series to Data Envelopment Analysis*, <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.74571> [Pristupljeno 12/01/20]

---

Schroeder, P., Anggraeni, K. and Weber, U. (2018), "The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals" *Journal of Industrial Ecology* 23 (1), pp. 77-95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>.

---

Schwarz, E. J., Steininger, K. W. (1997). „Implementing nature's lesson: the industrial recycling network enhancing regional development“, *Journal of cleaner production*, 5(1), 47-56.

---

Strebel, H. (2003), "Industrial recycling networks as an entrance into circular economy". Paper presented at the Programme and Conference Proceedings of the Summer Academy on Technology Studies, <http://www.sts.aau.at/Media/Dateien/Downloads-IFZ/Summer-Academy/Proceedings-2003/Industrial-recycling-networks-as-an-entrance-into-circular-economy> [Pristupljeno 01/03/2015]

---

Škrinjarčić, T. (2020), „Empirical assessment of the circular economy of selected European countries“ *Journal of Cleaner Production*, 225 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120246>

---

Vidoli, F., Fusco, E. and Mazziotta, C. (2015), „Non-compensability in composite indicators: A robust directional frontier method“ *Social Indicators Research*, 122(3), pp. 635-652

---

Wedekind, S. and Haasis, H. D. (2004), "Integration of service providers into supply chain services and waste disposal transports". Paper presented at the Photonics Technologies for Robotics, Automation, and Manufacturing, <http://spie.org/Publications/Proceedings/Paper/10.1117/12.516076> [Pristupljeno 28/07/2020]

---

Zhou, P., Ang B. W. and Poh, K. L. (2007), „A mathematical programming approach to constructing composite indicators“ *Ecological Economics*, 62(2), pp. 291-297

---

Zhu, J. (2011), *Manual DEA Frontier—DEA Add-In for Microsoft Excel*. <http://www.deafrontier.net> [Pristupljeno 20/12/19]

---