

<https://doi.org/10.54318/eip.2022.bp.317>

BOJAN PEJOVIĆ
E-mail: bojan.p@ucg.ac.me

PRIVREDNI RAST, POTROŠNJA ENERGIJE I EMISIJA CO₂ U TRANZICIONIM ZEMLJAMA: ANALIZA KUZNETSOVE EKOLOŠKE KRIVE

ECONOMIC GROWTH, ENERGY CONSUMPTION AND CO₂ EMISSIONS IN TRANSITION COUNTRIES: ANALYSIS OF THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE

JEL KLASIFIKACIJA: C33, O11, Q01

APSTRAKT:

Rad se bavi analizom veze između privrednog rasta, potrošnje energije i emisije CO₂ gasa kroz koncept Kuznetsove ekološke krive u tranzicionim zemljama u periodu od 1995. do 2018. godine. U radu se koriste savremeni pristupi ekonometrije panela koji uzimaju u obzir uporednu zavisnost podataka. Empirijski rezultati pokazuju da se na nivou grupe

tranzicionih zemalja ne može utvrditi postojanje Kuznetsove ekološke krive. Na osnovu rezultata metoda proširenih grupnih sredina po pojedinačnim zemljama pokazano je da u: Albaniji, Mađarskoj, Severnoj Makedoniji, Poljskoj i Rumuniji važi Kuznetsova ekološka kriva, dok se u sedam od 20 zemalja odnos između bruto domaćeg proizvoda i emisije CO₂ gasa može predstaviti izgledom slova U. Na nivou grupe zemalja je utvrđeno postojanje pozitivne veze između potrošnje energije i emisije CO₂, što je i potvrđeno statističkim pozitivnim uticajem u 19 od 20 analiziranih zemalja. Kako bi tranzicione zemlje u dugom roku smanjile emisiju CO₂ gasa potrebno je da implementiraju odgovarajuće politike koje imaju za cilj unapređenje energetske efikasnosti i smanjenje potrošnje energije.

**KLJUČNE REČI:****PRIVREDNI RAST, POTROŠNJA ENERGIJE, EMISIJA CO₂, TRANZICIONE ZEMLJE****ABSTRACT**

The paper analyzes the links between economic growth, energy consumption and CO₂ emissions through the concept of the Environmental Kuznets Curve in transition countries in the period from 1995 to 2018. The paper uses modern approaches to panel econometrics that take into account cross-sectional dependence. Empirical results show that the existence of an Environmental Kuznets Curve cannot be determined at the level of all transition countries. Based on the results of the Augmented Mean Group estimator by individual countries, the existence of the Environmental Kuznets Curve was confirmed in: Albania, Hungary, North Macedonia, Poland and Romania. Furthermore, while in seven of the 20 countries the link between gross domestic product and CO₂ emissions can be represented by the U-shape. At the level of all countries, the existence of a positive relationship between energy consumption and CO₂ emissions was determined, which was confirmed by a significant positive impact in 19 out of 20 countries. In order to reduce CO₂ emissions in the long run, transition countries need to implement appropriate policies aimed at improving energy efficiency and reducing energy consumption.

**KEYWORDS:****ECONOMIC GROWTH, ENERGY CONSUMPTION, CO₂ EMISSIONS, TRANSITION COUNTRIES**

1. UVOD

Pitanje emisije CO₂ gasa je danas aktuelnije nego ikada ranije, a usled toga što je CO₂ jedan od glavnih uzročnika klimatskih promena i globalnog zagrevanja. Emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte, kao i emisija CO₂ gasa, je u prethodnim decenijama imala trend rasta na svetskom nivou. Rastuća emisija je uticala negativno na klimatske promene povećavajući prosečnu temperaturu na Zemlji, čiji nekontrolisani rast može dovesti do brojnih negativnih posledica. Ovakve promene zahtevaju brze i odlučne akcije, dodatno zbog toga što CO₂ ima učešće od oko 75% u ukupnoj emisiji gasova koji izazivaju efekat staklene bašte², pa je stoga smanjenje njegove emisije od ključnog značaja. Strategije za smanjenje emisije su date kroz Kjoto protokol i Pariski sporazum, međutim rezultati još uvek nisu zadovoljavajući. Jedan od razloga zašto rezultati nisu na željenom nivou jeste i protivljenje zemalja koje se plaše da će ograničenjem emisije CO₂ gasa dovesti u pitanje privredni rast. Međutim, danas je potrebno da se zelena ekonomija razume kao univerzalni koncept, obrazac razmišljanja i delovanja³. U skladu sa tim je od posebne važnosti analiza odnosa između privrednog rasta i emisije CO₂ gasa, ali i potrošnje energije kao glavnog uzročnika emisije, u kontekstu Kuznetsove ekološke krive koja će biti predmet dalje analize.

Nobelovac Kuznets je analizirajući odnos između bruto domaćeg proizvoda i nejednakosti u društvu utvrdio da se on može predstaviti krivom koja ima izgled obrnutog slova U, ova kriva se naziva još i Kuznetsova kriva⁴. Polazeći od ovog nalaza u poslednjoj deceniji 20. veka uporedo sa aktuelizacijom pitanja održivog razvoja razvija se i koncept Kuznetsove ekološke krive. Pod Kuznetsovom ekološkom krivom se podrazumeva takođe odnos koji se može grafički predstaviti oblikom obrnutog slova U, ali za razliku od inicijalnog koncepta opisuje odnos između bruto domaćeg proizvoda i emisije CO₂ gasa. Naime rast bruto domaćeg proizvoda u početnim fazama dovodi do rasta emisije CO₂, što je mera degradacije životne sredine, da bi kasnije nakon što se dostigne tačka prekretnice taj odnos promenio svoj znak, pa će dalji rast dohotka biti praćen smanjenjem degradacije. Ovakvo tvrđenje se bazira na tome da u početnim fazama privrednog razvoja i aktivnog razvoja industrijalizacije dolazi do velike upotrebe fosilnih goriva koja se koriste kao energetski izvori, dok se kasnije njihova upotreba smanjuje pa dolazi do smanjenja emisije CO₂ gasa. Dodatno, usled rasta dohotka dolazi i do transformacije ekonomije uz rastuće učešće uslužnog sektora koji zamenjuje industrijski sektor koji je bio uzročnik velikih emisija CO₂. Pored ovog ključnog razloga postoje još i drugi kao što su: povećanje obrazovanja stanovništva, rastuća svest o značaju zaštite životne sredine, unapređenje tehnologije i povećanje efikasnosti. Posebno se akcentuju unapređenja u energetskom sektoru koji će prema „Čistom” scenariju do 2050. godine ostvariti smanjenje emisije gasova staklene bašte za 95% u odnosu na 1990. godinu⁵.

Ostatak rada je strukturiran na sledeći način. U delu 2 je dat pregled literature, dok je u delu 3 prezentovana metodologija koja će se koristiti u istraživanju. U delu 4 su predstavljene empirijski rezultati i data njihova diskusija. Zaključna razmatranja su data u delu 5.

2 Atasoy (2017), pp. 371

3 Đorić (2021), pp. 70

4 Kuznets (1955), pp. 5

5 Pavlović (2019), pp. 32

2. PREGLED LITERATURE

Pionirska istraživanja koja se bave analizom Kuznetsove ekološke krive su sproveli Grossman i Krueger koji su analizirali odnos između bruto domaćeg proizvoda po stanovniku i više indikatora degradacije životne sredine⁶. Došli su do zaključka da rast bruto domaćeg proizvoda po stanovniku nije u kontinuitetu praćen degradacijom životne sredine, već da postoji tačka prekretnice nakon koje njihov odnos menja znak, što je dodatno potvrđeno i u njihovom drugom radu⁷. Naime, ovim je potvrđeno postojanje Kuznetsove ekološke krive. Dodatno, posebno je važno i jedno od prvih istraživanja iz ove oblasti koje je sproveo Panayotou gde je takođe pokazano da se između privrednog razvoja i degradacije životne sredine može utvrditi postojanje odnosa koji se može opisati izgledom obrnutog slova U⁸. Nakon ovih pionirskih istraživanja u narednim godinama pojavljuje se veliki broj radova koji se bave ovom temom.

Istraživanja se dalje mogu klasifikovati prema većem broju kriterijuma, i to na panel istraživanja i istraživanja vremenskih serija, u zavisnosti od pristupa koji se koristi⁹. Dalje, na istraživanja koja uzimaju u obzir samo emisiju CO₂ gasa i istraživanja ukupne emisije gasova staklene bašte ili se može napraviti distinkcija u zavisnosti od grupe zemalja koja se analizira. Kada su u pitanju tranzicione zemlje postoji veoma mali broj istraživanja koja se bave specifično ovom grupom zemalja. Međutim neke od ovih zemlja su obuhvaćene panel istraživanjima grupa zemalja prema nekom drugom kriterijumu, a najčešće je to: članstvo u Evropskoj uniji¹⁰, prema geografskom kriterijumu pripadnosti zemljama centralne i istočne Evrope¹¹ ili prema nivou dohotka na svetskom nivou¹². Ne može se utvrditi jednoznačnost odnosa koji je potvrđen u svim istraživanjima, već on u značajnoj meri zavisi od pristupa koji se koristi, grupe zemalja koja se analizira, vremenskog perioda koji je obuhvaćen analizom i drugih eksternih faktora koji mogu bitno uticati na bruto domaći proizvod i/ili emisiju CO₂ gasa.

Istraživanje koje analizira Kuznetsovu ekološku krivu u grupi zemalja centralne i istočne Evrope, što možemo posmatrati kao podgrupu tranzicionih zemalja, pokazalo je da postoji značajna heterogenost po analiziranim zemljama¹³. Odnosno, u zavisnosti od analizirane zemlje može se utvrditi postojanje veze između bruto domaćeg proizvoda i emisije CO₂ koja odgovara izgledu oblika slova U, obrnutog slova U ili se može pokazati da ne postoji značajna veza između promenljivih. Heterogenost utvrđene veze po jedinicama posmatranja, u okviru iste grupe zemalja, potvrđuje se i kroz druga istraživanja¹⁴. Na osnovu prethodnog za očekivati je da se i kod tranzicionih zemalja, koje pored toga što obuhvataju zemlje centralne i istočne Evrope uključuju i druge zemlje, a usled razlika u strukturi energetske sektora i kapacitetima¹⁵, utvrdi heterogenost veze između promenljivih.

6 Grossman & Krueger (1993), pp. 5

7 Grossman & Krueger (1995), pp. 19

8 Panayotou (1993), pp. 14

9 Purcel (2020), pp. 22

10 Mazur et al. (2015), pp. 110

11 Simionescu (2021), pp. 60885

12 Lau et al. (2018), pp. 228

13 Lazăr et al. (2019), pp. 23

14 Piątowska & Włodarczyk (2017), pp. 324

15 Jakšić & Ješić (2021), pp. 21

3. METODOLOGIJA

Kako bi se analizirao uticaj bruto domaćeg proizvoda, kvadrata bruto domaćeg proizvoda, potrošnje energije na emisiju CO₂ gasa, a sve u funkciji testiranja postojanja Kuznetsove ekološke krive, oceniće se sledeći model panela:

$$CO2_{it} = f(GDP_{it}, GDP_{it}^2, E_{it}) \quad (1)$$

gde CO₂ predstavlja emisiju CO₂ gasa po stanovniku, GDP bruto domaći proizvod po stanovniku i E potrošnju energije po stanovniku, dok *i* i *t* predstavljaju oznake za jedinice posmatranja i vremensku dimenziju. Logaritmovanjem dobijamo model koji se može zapisati kao:

$$\ln CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln GDP_{it} + \beta_2 \ln GDP_{it}^2 + \beta_3 \ln E_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

U zavisnosti od znaka i statističke značajnosti ocenjenih parametara možemo utvrditi odnos između bruto domaćeg proizvoda i emisije CO₂ gasa koji odgovara obliku slova U (β_1 manje od 0, β_2 veće od 0), obrnutog slova U (β_1 veće od 0, β_2 manje od 0) ili ukoliko parametri nisu statistički signifikantni utvrđujemo da ne postoji signifikantna veza između promenljivih.

Kako bi se utvrdila dugoročna veza između promenljivih neophodno je ispitati njihovu stacionarnost. U cilju izbora optimalnog testa za ispitivanje stacionarnosti prethodno će se testirati postojanje uporedne zavisnosti podataka primenom Pesaran CD testa¹⁶. Nakon testiranja uporedne zavisnosti testiraće se homogenost regresionih parametara po jedinicama posmatranja primenom odgovarajućeg testa¹⁷, a usled nalaza prethodnih istraživanja ove grupe zemalja koji na to upućuju. Prilikom testiranja stacionarnosti promenljivih u zavisnosti od rezultata prethodnih testova koristiće se testovi jediničnog korena prve ili druge generacije.

Kako bi se ispitala stacionarnost u slučaju postojanja uporedne zavisnosti podataka, što je za očekivati da postoji usled povezanosti zemalja i drugih ekonomskih faktora, primeniće se Pesaranov test jediničnog korena¹⁸. Testira se nulta hipoteza da promenljiva ima jedinični koren, naspram alternativne hipoteze da je promenljiva stacionarna. U slučaju da su promenljive integrisane prvog reda za testiranje postojanja kointegracione veze koristiće se Westerlund test kointegracije¹⁹, čiji rezultati će se dodatno proveriti primenom Pedroni testa kointegracije²⁰. Ukoliko su ispunjene prethodne pretpostavke oceniće se modeli primenom metoda: grupnih sredina²¹, grupnih sredina sa zajedničkim korelisanim efektima²² i proširenih grupnih sredina²³. Na osnovu rezultata primene metoda proširenih grupnih sredina oceniće se individualni koeficijenti po analiziranim tranzicionim zemljama.

16 Pesaran (2021), pp. 2

17 Pesaran & Yamagata (2008), pp. 1

18 Pesaran (2007), pp. 5

19 Westerlund (2005), pp. 300

20 Pedroni (1999), pp. 655

21 Pesaran & Smith (1995), pp. 83

22 Pesaran (2006), pp. 3

23 Eberhardt & Teal (2010), pp. 7

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U istraživanju se koriste podaci o emisiji CO₂ gasa i potrošnji energije, gde se obe promenljive posmatraju po stanovniku i koje objavljuje Američka uprava za energetske informacije (*engl. U.S. Energy Information Administration*) i podaci o bruto domaćem proizvodu po stanovniku koje objavljuje Svetska banka (*engl. World Bank*). Podaci obuhvataju period od 1995. do 2018. godine za grupu tranzicionih zemalja, kojoj pripadaju: Albanija, Belorusija, Bosna i Hercegovina, Bugarska, Hrvatska, Češka, Estonija, Mađarska, Letonija, Litvanija, Moldavija, Crna Gora, Severna Makedonija, Poljska, Rumunija, Rusija, Srbija, Slovačka, Slovenija i Ukrajina. U istraživanju su korišćeni balansirani podaci, tako da tokom analiziranog perioda nema nedostajućih podataka. Podaci o emisiji CO₂ gasa su izraženi u metričkim tonama po stanovniku, potrošnja energije po stanovniku je izražena u megadžulima, dok je bruto domaći proizvod po stanovniku izražen u konstantnim US dolarima iz 2010. godine, kako bi se eliminisao uticaj inflacije. Na osnovu deskriptivnih statistika koje su date u tabeli 1 uočavamo da se prosečno po stanovniku u tranzicionim zemljama emituje 5.97 metričkih tona CO₂ na godišnjem nivou, dok prosečan bruto domaći proizvod iznosi 9046.99 (2010 US \$). Prosečna potrošnja energije po stanovniku tokom analiziranog perioda je iznosila 104.68 megadžula.

► TABELA 1: DESKRIPTIVNE STATISTIKE

PROMENLJIVA	BR. OPSERVACIJA	PROSEK	STD. DEV.	MINIMUM	MAKSIMUM
CO2PC	480	5.97	2.84	0.622	12.978
GDPPC	480	9046.99	5816.74	870.205	26760.484
ECPC	480	104.68	44.05	25.608	243.207

Kako bi se predupredio problem potencijalne heteroskedastičnosti, a u skladu sa uobičajenim istraživačkim postupkom, sve promenljive će se logaritmovati prirodnom logaritmom, pa će se ocenjeni koeficijenti u modelima tumačiti kao elastičnosti. U cilju testiranja stacionarnosti analiziranih promenljivih neophodno je prethodno utvrditi da li postoji uporedna zavisnost podataka. Rezultati primene Pesaranovog testa uporedne zavisnosti su prikazani u tabeli 2. Na osnovu vrednosti CD statistike i prikazanih p-vrednosti za sve tri analizirane varijable možemo odbaciti nultu hipotezu. Odbacivanjem nulte hipoteze po kojoj ne postoji uporedna zavisnost podataka uz rizik greške od 1% pokazujemo da zavisnost postoji. Stoga je prilikom testiranja stacionarnosti neophodno koristiti testove jediničnog korena druge generacije.

► TABELA 2: TEST UPOREDNE ZAVISNOSTI

PROMENLJIVA	CD	p-VREDNOST	N	T
log(co2)	6.125	0.000	20	24
log(gdp)	63.987	0.000	20	24
log(ec)	6.712	0.000	20	24

Testiranje homogenosti koeficijenata nagiba po jedinicama posmatranja je sprovedeno primenom testa koji su predložili Pesaran i Yamagata. Na osnovu rezultata sprovedenog

testa koji su prikazani u tabeli 3 zaključujemo da uz rizik greške od 1% možemo odbaciti nultu hipotezu. Odbacivanjem nulte hipoteze kojom se tvrdi da su regresioni koeficijenti po jedinicama posmatranja homogeni pokazujemo da su oni različiti po jedinicama posmatranja, odnosno da su heterogeni.

▶ **TABELA 3: TEST HOMOGENOSTI REGRESIONIH KOEFICIJENATA**

DEPENDENT		DELTA	p - VREDNOST
log(co2)		13.077	0.000
	prilagođeno	14.697	0.000

Nakon što je utvrđeno postojanje uporedne zavisnosti podataka i heterogenost koeficijenta nagiba primenjen je Pesaranov test jediničnog korena. Broj docnji prilikom sprovođenja testa je određen minimiziranjem vrednosti prilagođenog Akaike informacionog kriterijuma (MAIC). Rezultati testa koji su prikazani u tabeli 4 pokazuju da su uz rizik greške od 10% sve promenljive na nivou podataka nestacionarne, odnosno da imaju jedinični koren. Usled nestacionarnosti podataka na nivou nije moguće odmah oceniti dugoročnu vezu između promenljivih, već je neophodno testirati postojanje kointegracije. Nadalje, kako bi se testiralo postojanje kointegracije neophodno je da promenljive budu stacionarne na prvoj diferenci, što je potvrđeno rezultatima testa gde su sve p-vrednosti manje od 0.1. Zaključujemo, sve promenljive su nestacionarne na nivou podataka, a stacionarne na prvoj diferenci, pa je ispunjen preduslov za testiranje postojanja kointegracije.

▶ **TABELA 4: PESARAN-OV TEST JEDINIČNOG KORENA**

	PROMENLJIVA:	STATISTIKA	t-STAT.	p-VREDNOST
Nivo podataka	log(gdp)	CIPS:	-1.57097	>=0.10
	log(lec)	CIPS:	-1.41516	>=0.10
	log(gdp2)	CIPS:	-1.57584	>=0.10
	log(co2)	CIPS:	-1.02527	>=0.10
Prva diferencija	log(gdp)	CIPS:	-2.23441	<0.05
	log(lec)	CIPS:	-3.59186	<0.01
	log(gdp2)	CIPS:	-2.17063	<0.10
	log(co2)	CIPS:	-3.41976	<0.01

Primenom Westerlund testa testirano je postojanja kointegracione veze između promenljivih, što je neophodan uslov za ocenu dugoročne veze usled njihove nestacionarnosti, a rezultati su dodatno provereni i primenom Pedroni testa kointegracije. Na osnovu rezultata Westerlundovog testa koji je prikazan u tabeli 5 zaključujemo da uz rizik greške od 5% odbacujemo nultu hipotezu da promenljive nisu kointegrisane. Pripadamo alternativnu hipotezu da postoji kointegracija u oba slučaja, odnosno i kod nekih panela, ali i kod svih analiziranih panela. Dodatno, test je ponovo sproveden nakon što su oduzeti uporedni proseci kako bi se eliminisao uticaj međuzavisnosti i dolazimo do istovetnog zaključka uz rizik greške od 10%. Nulta hipoteza se odbacuje u oba testirana slučaja, pa rezultati Westerlundovog testa nedvosmisleno upućuju da između promenljivih postoji kointegraciona veza.

▶ TABELA 5: WESTERLUND TEST KOINTEGRACIJE

PROMENLJIVA	STATISTIKA	p-VREDNOST	KOINTEGRACIJA
log(co2)	-2.7884	0.0026	Neki paneli
log(co2)	-1.8788	0.0301	Svi paneli
BEZ UPOREDNIH PROSEKA			
log(co2)	-2.6931	0.0035	Neki paneli
log(co2)	-1.3050	0.0959	Svi paneli

Rezultati prethodno sprovedenog testa su dodatno provereni primenom Pedroni testa kointegracije čiji su rezultati prikazani u tabeli 6. Odgovarajuće p-vrednosti kod svih panel statistika upućuju na odbacivanje nulte hipoteze i prihvatanje alternativne prema kojoj postoje zajednički AR koeficijenti, dok tri od četiri p-vrednosti kod ponderisanih panel statistika upućuju na isti zaključak. Izračunate p-vrednosti koje odgovaraju grupnim statistikama u dva od tri slučaja upućuju na postojanje kointegracione veze između promenljivih. Vrednosti *panel ADF* i *group ADF* statistika koje su najpouzdanije upućuju na postojanje kointegracione veze između promenljivih. Sumarno, zaključujemo da rezultati Pedronijevog testa potvrđuju prethodne rezultate dobijene primenom Westerlundovog testa o postojanju dugoročne veze između: emisije CO₂, privrednog rasta i potrošnje energije u tranzicionim zemljama.

▶ TABELA 6: PEDRONI TEST KOINTEGRACIJE

H1: ZAJEDNIČKI AR KOEFICIJENTI				
	STATISTIKA	p-VREDNOST	PONDERISANA STATISTIKA	p-VREDNOST
Panel v	1.374609	0.0846	0.060260	0.4760
Panel rho	-2.833317	0.0023	-1.680232	0.0465
Panel PP	-6.694471	0.0000	-5.691370	0.0000
Panel ADF	-6.675711	0.0000	-6.193550	0.0000
H1: INDIVIDUALNI AR KOEFICIJENTI				
	STATISTIKA	p-VREDNOST		
Group rho	0.096858	0.5386		
Group PP	-6.274158	0.0000		
Group ADF	-6.734797	0.0000		

Nakon što je utvrđeno postojanje kointegracije između analiziranih promenljivih ocenjeni su modeli primenom metoda: grupnih sredina (MG), grupnih sredina sa zajedničkim korelisanim efektima (CCEMG) i proširenih grupnih sredina (AMG). Ocenjeni modeli su prikazani u tabeli 7. Prednost modela grupnih sredina sa zajedničkim korelisanim efektima i proširenih grupnih sredina je u tome što na adekvatan način obuhvataju uporednu zavisnost podataka. Nezavisno od metoda kojim se ocenjuje model utvrđeno je da bruto domaći proizvod i kvadrat bruto domaćeg proizvoda nemaju signifikantan uticaj na emisiju CO₂ gasa u tranzicionim zemljama, a sve promenljive su prikazane kao prirodni logaritmi vrednosti po stanovniku. Dodatno, pokazano je da rast potrošnje energije po sta-

novniku od 1% dovodi do statistički signifikantnog rasta emisije CO₂ gasa po stanovniku za: 0.997%, prema oceni metoda grupnih sredina, 0.914% prema oceni metoda grupnih sredina sa zajedničkim korelisanim efektima i za 0.981%, prema oceni metoda proširenih grupnih sredina. Primećujemo da su vrednosti ocenjenih koeficijenata veoma bliske bez obzira koji se metod koristi, što potvrđuje robustnost rezultata. Pozitivan uticaj potrošnje energije na rast emisije CO₂ kod zemalja koje pripadaju grupi tranzicionih zemalja je u skladu sa očekivanjima i odgovara rezultatima do kojih su došli i drugi istraživači²⁴.

► **TABELA 7: OCENA MODELA PRIMENOM METODA GRUPNIH SREDINA, GRUPNIH SREDINA SA ZAJEDNIČKIM KORELISANIM EFEKTIMA I PROŠIRENIH GRUPNIH SREDINA**

PROMENLJIVA	MG	CCEMG	AMG
	log(co2)	log(co2)	log(co2)
log(gdp)	-2.204 (2.197)	-3.103 (3.717)	-1.619 (2.092)
log(gdp2)	0.110 (0.126)	0.153 (0.208)	0.082 (0.120)
log(ec)	0.997*** (0.101)	0.914*** (0.125)	0.981*** (0.095)
konstanta	7.988 (9.878)	11.597 (11.861)	5.215 (9.371)
RMSE	0.0487	0.0334	0.0423
Wald test	214.52	69.61	179.38
p-vrednost	0.000	0.000	0.000
EKC postoji	NE	NE	NE
Standardne greške su u zagradama			
*** p < ,01, ** p < ,05, * p < ,1			

Usled toga što je utvrđena statistička značajnost uticaja potrošnje energije na emisiju CO₂ gasa, ali ne i značajnost uticaja bruto domaćeg proizvoda i kvadrata bruto domaćeg proizvoda možemo reći da u tranzicionim zemljama ne važi Kuznetsova ekološka kriva obrnutog U izgleda. Rezultati Waldovog testa za modele ocenjene primenom sva tri metoda pokazuju da uz rizik greške od 1% možemo odbaciti nultu hipotezu o neznačajnosti uticaja objašnjavajućih promenljivih.

Kako bi testirali da li ocenjeni modeli na adekvatan način obuhvataju prethodno utvrđenu uporednu zavisnost podataka sproveden je CD test uporedne zavisnosti reziduala i Pesaranov test stacionarnosti reziduala. Rezultati testa uporedne zavisnosti koji su prikazani u tabeli 8 pokazuju da za rezidualne dobijene primenom metoda grupnih sredina odbacujemo nultu hipotezu o uporednoj nezavisnosti, dok za rezidualne dobijene primenom druga dva metoda ne možemo odbaciti nultu hipotezu. Dobijeni rezultati su očekivani usled prethodno naznačenih prednosti CCEMG i AMG modela.

► **TABELA 8: TESTIRANJE UPOREDNE ZAVISNOSTI REZIDUALA U MG, CCEMG I AMG MODELIMA**

PROMENLJIVA	GD - TEST	p-VREDNOST
reziduali (MG)	5.435	0.000
reziduali (CCEMG)	-0.685	0.493
reziduali (AUG)	0.517	0.605

Rezultati primene Pesaranovog testa stacionarnosti na rezidualima ocenjenih modela su prikazani u tabeli 9. Primećujemo da bez obzira koji je metod korišćen prilikom ocene modela dobijeni reziduali su stacionarni. Detaljnije, sve izračunate p-vrednosti su manje od 0.01, pa uz rizik greške od 1% možemo odbaciti nultu hipotezu kojom se tvrdi da promenljive imaju jedinični koren.

► **TABELA 9: TESTIRANJE STACIONARNOSTI REZIDUALA U MG, CCEMG I AMG MODELIMA**

PROMENLJIVA	t STATISTIKA	p-VREDNOST
reziduali (MG)	-4.924	<0,01
reziduali (CCEMG)	-9.365	<0,01
reziduali (AUG)	-5.923	<0,01

U cilju dalje analize date su ocene individualnih koeficijenata po tranzicionim zemljama primenom metoda proširenih grupnih sredina. Vrednosti ocenjenih koeficijenata su prikazane u tabeli 10. Za razliku od rezultata dobijenih na nivou panela ovde uočavamo da postoje zemlje kod kojih je uticaj bruto domaćeg proizvoda i kvadrata bruto domaćeg proizvoda na emisiju CO₂ gasa statistički signifikantan. Pored toga, u 19 od 20 zemalja je utvrđen signifikantan uticaj potrošnje energije na rast emisije CO₂ gasa, što je u skladu sa prethodnim očekivanjima i utvrđenom značajnošću na nivou panela.

Primećujemo da u pet zemalja možemo utvrditi postojanje Kuznetsove ekološke krive, usled toga što postoji signifikantan pozitivan uticaj bruto domaćeg proizvoda i signifikantan negativan uticaj kvadrata bruto domaćeg proizvoda na emisiju CO₂. Tranzicione zemlje kod kojih je utvrđeno postojanje Kuznetsove ekološke krive, koja ima izgled obrnutog slova U, su: Albanija, Mađarska, Severna Makedonija, Poljska i Rumunija. Kod ovih zemalja rast kvadrata bruto domaćeg proizvoda dovodi do smanjenja emisije CO₂ gasa, pa u ovim zemljama možemo očekivati dalje smanjenje degradacije životne sredine. Tačke prekretnice za zemlje kod kojih je utvrđen odnos izgleda obrnutog slova U iznose: 3521, 7324, 3525, 3198, 4585, respektivno i izraženo u 2010 US \$. Kod sedam zemalja je utvrđeno postojanje krive oblika slova U, i to u zemljama: Belorusija, Hrvatska, Letonija, Litvanija, Moldavija, Crna Gora i Slovačka. Kod ovih zemalja emisija CO₂ raste uporedo sa rastom kvadrata bruto domaćeg proizvoda, pa očekujemo da će se u dugom roku doći do rasta degradacije životne sredine usled rasta bruto domaćeg proizvoda.

TABELA 10: OCENA INDIVIDUALNIH KOEFICIJENATA NA OSNOVU METODA PROŠIRENIH GRUPNIH SREDINA

ZEMLJA	ZAVISNA PROMENLJIVA: LOG(CO2)				EKC
	log(gdp)	log(gdp ²)	log(ec)	konstanta	
Albanija	16.333***	-1.000***	0.890***	-69.388***	DA
Belorusija	-2.490**	0.150**	1.047***	7.207	U oblik
Bosna i Hercegovina	1.505*	-0.087	1.485***	-11.110***	
Bugarska	2.467	-0.138	0.811***	-12.956*	
Hrvatska	-26.705***	1.434***	-0.292	128.094***	U oblik
Češka	-8.112*	0.397	1.268***	37.177	
Estonija	2.726	-0.145	0.842***	-14.828	
Mađarska	4.841***	-0.272***	1.473***	-26.673***	DA
Letonija	-3.141**	0.168**	1.157***	10.936*	U oblik
Litvanija	-7.031***	0.398***	0.503***	30.198***	U oblik
Moldavija	-3.160***	0.217***	0.933***	8.845**	U oblik
Crna Gora	-19.084**	1.168**	0.910***	75.013*	U oblik
Severna Makedonija	12.088**	-0.740**	0.315*	-49.195**	DA
Poljska	1.033**	-0.064***	1.010***	-6.671***	DA
Rumunija	3.153*	-0.187*	1.194***	-17.043**	DA
Rusija	-1.851**	0.099**	0.964***	5.920	
Srbija	-1.065	0.060	1.275***	0.722	
Slovačka	-5.077*	0.264*	1.265***	20.072	U oblik
Slovenija	-0.464	0.015	1.469***	-2.189	
Ukrajina	1.647	-0.105	1.105***	-9.836	

Napomena: DA označava postojanje Kuznetsove ekološke krive obrnutog U izgleda.

4. ZAKLJUČAK

Analiza veze između privrednog rasta, potrošnje energije i emisije CO₂ gasa u kontekstu Kuznetsove ekološke krive predstavlja veoma važan aspekt održivog privrednog razvoja. Iako se istraživanja na ovu temu sprovode od kraja 20. veka veoma je mali broj onih istraživanja koja se bave grupom tranzicionih zemalja, koje se pored izazova privredne tranzicije sada suočavaju i sa izazovima energetske tranzicije. Postizanje visokih stopa privrednog rasta uz istovremeno smanjenje emisije CO₂ gasa i racionalnu upotrebu energije jesu prioriteta koji ove zemlje žele da ostvare, međutim postavlja se pitanje njihove međusobne usaglašenosti ili pak suprostavljenosti. Testiranjem koncepta Kuznetsove ekološke krive na primeru post-komunističkih Evropskih zemalja želi se nadomestiti identifikovani nedostatak u literaturi. Posebnost istraživanja je u tome što se pored analize na nivou grupe tranzicionih zemalja daje i analiza po pojedinačnim zemljama.

U istraživanju su korišćeni podaci za tranzicione zemlje u periodu od 1995. do 2018. godine, bez nedostajućih podataka, čime su stvoreni preduslovi za primenu adekvatnih metoda u radu sa balansiranim panelima. U početnom delu empirijskog istraživanja testirano je postojanje uporedne zavisnosti podataka u cilju izbora adekvatne grupe metoda za dalju analizu. Nakon što je utvrđeno postojanje uporedne zavisnosti prilikom testiranja stacionarnosti primenjen je Pesaranov test jediničnog korena koji spada u grupu testova jediničnog korena druge generacije. Nakon što je utvrđeno da su sve promenljive nestacionarne na nivou podataka i da se diferenciranjem dobijaju stacionarne promenljive testirano je postojanje kointegracione veze između promenljivih na nivou. Primenom Westerlund testa kointegracije utvrđeno je da između promenljivih na nivou postoji kointegraciona veza, što je dodatno potvrđeno i primenom Pedroni testa kointegracije. Kointegrisanost podataka na nivou omogućava ocenu dugoročne veze između promenljivih primenom metoda: grupnih sredina, grupnih sredina sa zajedničkim koreliranim efektima i proširenih grupnih sredina. Na osnovu ocenjenih modela pokazano je da na nivou grupe tranzicionih zemalja ne važi Kuznetsova kriva. Naime, nije utvrđen signifikantan uticaj bruto domaćeg proizvoda i kvadrata bruto domaćeg proizvoda na emisiju CO₂ gasa. Nadalje, utvrđen je statistički signifikantan i pozitivan uticaj potrošnje energije na emisiju CO₂ gasa, što je u skladu sa početnim očekivanjima. Dodatno, na osnovu metoda proširenih grupnih sredina ocenjeni su i individualni koeficijenti po tranzicionim zemljama, pa se u: Albaniji, Mađarskoj, Severnoj Makedoniji, Poljskoj i Rumuniji može potvrditi postojanje Kuznetsove ekološke krive. Individualni koeficijenti pokazuju i da u sedam od 20 zemalja odnos između bruto domaćeg proizvoda po stanovniku i emisije CO₂ po stanovniku može opisati izgledom slova U.

Usled toga što na nivou grupe tranzicionih zemalja nije utvrđeno postojanje Kuznetsove ekološke krive, a u cilju smanjenja emisije CO₂ gasa u dugom roku, zemlje treba da implementiraju politike koje imaju za cilj unapređenje energetske efikasnosti, prelazak na obnovljive energetske izvore i u finalnom smanjenju potrošnje energije. Pod smanjenjem potrošnje energije prvenstveno se misli na energiju iz fosilnih goriva koja učestvuje značajno u ukupnoj potrošnji. Kod zemalja kod kojih je utvrđeno postojanje Kuznetsove ekološke krive, a već su dostigle tačke prekretnice, možemo očekivati smanjenje emisije CO₂ u narednom periodu. Jedan od razloga koji ide u prilog utvrđenom odnosu može biti visoko učešće proizvodnje energije iz obnovljivih energetskih izvora kao u slučaju Albanije ili visoke stope rasta proizvodnje obnovljive energije tokom analiziranog perioda kod drugih zemalja. Važno je da zemlje kod kojih nije utvrđeno postojanje Kuznetsove ekološke krive, a posebno one zemlje kod kojih je utvrđeno postojanje krive oblika slova U, preduzmu aktivnosti sa ciljem razvoja sektora obnovljive energije kako bi se smanjio negativan uticaja po životnu sredinu.

Jedno od ograničenja u radu jeste da su usled nedostupnosti podataka obuhvaćeni samo podaci za poslednje 24 godine, a nedostaju podaci koji prethode 1995. godini. Dodatno, u radu je analiziran odnos između privrednog rasta i emisije CO₂, gde su zanemareni drugi gasovi koji izazivaju efekat staklene bašte, što bi potencijalno moglo imati uticaja na utvrđeni odnos. Preporuka za dalja istraživanja jeste da se pored analize ukupne potrošnje energije analizira poseban uticaj potrošnje obnovljive i neobnovljive energije, a u cilju detaljnijeg sagledavanja veze između promenljivih.

LITERATURA

Atasoy, B. S. (2017). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis across the US: Evidence from panel mean group estimators. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 731-747. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.050>

Đorić, Ž. (2021). Zelena Ekonomija I Održivi Razvoj U Zemljama Zapadnog Balkana (Green Economy And Sustainable Development In The Western Balkan Countries). *Ekonomске ideje i praksa*, (41), 67-91.

Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). Productivity Analysis in Global Manufacturing Production. *Economics Series*. Working Papers: 515. University of Oxford Department of Economics.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1993). Environmental impacts of a North American free trade agreement, The US-Mexico free trade agreement. *MA: MIT Press*, Cambridge.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>

Jakšić, M., & Ješić, M. (2021). Komparativna analiza stanja na tržištu električne energije sa osvrtom na makroekonomske posledice (Comparative Analysis Of Electricity Market Stance With Overview Of Macroeconomic Consequences). *Ekonomске ideje i praksa*, (43), 15-29. <https://doi.org/10.54318/eip.2021.mj.311>

Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, 45(1), 1-28.

Lau, L. S., Choong, C. K., & Ng, C. F. (2018). Role of institutional quality on environmental Kuznets curve: a comparative study in developed and developing countries. In *Advances in pacific basin business, economics and finance*. Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S2514-465020180000006007>

Lazăr, D., Minea, A., & Purcel, A. A. (2019). Pollution and economic growth: Evidence from Central and Eastern European countries. *Energy Economics*, 81, 1121-1131. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.05.011>

Mazur, A., Phutkaradze, Z., & Phutkaradze, J. (2015). Economic growth and environmental quality in the European Union countries—is there evidence for the environmental Kuznets curve?. *International Journal of Management and Economics*, 45(1), 108-126.

Panayotou, T. (1993). Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development (No. 992927783402676). *International Labour Organization*.

Pavlović, D. (2019). Transformacija Energetskog Sistema Eu Do 2050. Godine (Transformation Of The Eu'S Energy System Until 2050). *Ekonomске ideje i praksa*, (32), 25-38.

Pedroni, P. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics*, 61(S1), 653-670. <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1653>

Pesaran, M. H. (2006). Estimation and inference in large heterogeneous panels with a multifactor error structure. *Econometrica*, 74(4), 967-1012. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2006.00692.x>

Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of applied econometrics*, 22(2), 265-312. <https://doi.org/10.1002/jae.951>

Pesaran, M. H. (2021). General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels. *Empirical Economics*, 60(1), 13-50. <https://doi.org/10.1007/s00181-020-01875-7>

Pesaran, M. H., & Smith, R. (1995). Estimating long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of econometrics*, 68(1), 79-113. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01644-F](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01644-F)

Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of econometrics*, 142(1), 50-93. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010>

Pilatowska, M.; Włodarczyk, A. The Environmental Kuznets Curve in the CEE countries—The Threshold Cointegration Approach. *Argum. Oecon.* 2017, 2, 307–338. <https://doi:10.15611/aoe.2017.2.13>

Purcel, A. A. (2020). New insights into the environmental Kuznets curve hypothesis in developing and transition economies: a literature survey. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22(4), 585-631. <https://doi.org/10.1007/s10018-020-00272-9>

Simionescu, M. (2021). Revised environmental Kuznets Curve in CEE countries. Evidence from panel threshold models for economic sectors. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 60881-60899. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14905-3>

Simionescu, M., Păuna, C. B., & Niculescu, M. D. V. (2021). The Relationship between Economic Growth and Pollution in Some New European Union Member States: A Dynamic Panel ARDL Approach. *Energies*, 14(9), 2363. <https://doi.org/10.3390/en14092363>

Westerlund, J. (2005). New simple tests for panel cointegration. *Econometric Reviews*, 24(3), 297-316. <https://doi.org/10.1080/07474930500243019>
