

**Ekonomске implikacije tehnološkog i energetskog napretka
na intenzitet emisije CO₂ u izabranim zemljama**

**Economic Implications of Technological and Energy Advancement
on CO₂ Emission Intensity in Selected Countries**

Izv. prof. dr. sc. DANIEL TOMIĆ
Fakultet ekonomije i turizma „Dr. Mijo Mirković“ Pula
Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Preradovićeva 1/1, 52100 Pula
Hrvatska
dtomic@unipu.hr

TINA ĐORĐEVIĆ
Fakultet ekonomije i turizma „Dr. Mijo Mirković“ Pula
Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Preradovićeva 1/1, 52100 Pula
Hrvatska
tdordevic@unipu.hr

MATEA GRDIĆ
Fakultet ekonomije i turizma „Dr. Mijo Mirković“ Pula
Sveučilište Jurja Dobrile u Puli
Preradovićeva 1/1, 52100 Pula
Hrvatska
mgrdic@unipu.hr

Izvorni znanstveni rad / *Original scientific paper*

UDK / UDC: 504:[620.97:546.26]=163.42

Primljeno / Received: 27. travnja 2021. / April 27th, 2021.

Prihvaćeno za objavu / Accepted for publishing: 30. lipnja 2021. / June 30th, 2021.

DOI: 10.15291/oec.3786

Sažetak: U potrazi za ekonomskim prosperitetom te radi postizanja veće stope ekonomskog rasta mnoge su zemlje „žrtvovale“ kvalitetu okoliša. Usmjeravajući se na ustaljene industrijske prakse koje dugoročno uništavaju okoliš, naštetile su svojem, a time i globalnom ekosustavu. U tom kontekstu, glavni izazov za dugoročno održivu ekonomsku politiku je isprepletana usredotočenost na dva cilja: ekonomskom rastu i očuvanju okoliša. Cilj ovoga rada je analizirati utjecaj razvoja tehnologija povezanih s okolišem, opskrbe obnovljivom energijom i ukupne opskrbe primarnom energijom na intenzitet emisije CO₂ zasnovane na proizvodnji za pet zemalja u razdoblju od 1990. do 2019. godine. Promatrane zemlje su: Italija, Njemačka, Hrvatska, Brazil i Finska. Kako bi se evaluirao odnos između

promatranih varijabli primijenjena je panel analiza, odnosno modeli slučajnih efekata (REM) i modeli fiksnih efekata (FEM). Empirijski rezultati pokazuju kako razvoj tehnologija povezanih s okolišem i opskrba obnovljivom energijom imaju negativan utjecaj na emisiju CO₂, dok ukupna opskrba primarnom energijom ima pozitivan utjecaj na emisiju CO₂. Rezultati istraživanja sugeriraju kako tehnologije povezane s okolišem i obnovljiva energija promiču pitanje zaštite okoliša, dok ukupna opskrba primarnom energijom zapravo ograničava perspektivu zelenog razvoja.

Ključne riječi: okoliš, održivi razvoj, zelena ekonomija, CO₂ emisija, panel analiza

JEL klasifikacija: O33, O44, Q40, Q51

Abstract: In the pursuit of economic prosperity, many countries have "sacrificed" the quality of their environment to achieve higher rates of economic growth. By focusing on established industrial practices that have destroyed the environment in the long run, they have harmed their own, as well as the global ecosystem. Within this context, the main challenge for a long-term sustainable economic policy is the intertwined focus on two goals - economic growth and environmental protection. The aim of this paper is to analyse the impact of the development of environmentally related technologies, renewable energy supplies, and the total primary energy supply on the intensity of CO₂ emissions based on the production within five countries in the period from 1990 to 2019. The observed countries are Italy, Germany, Croatia, Brazil, and Finland. To evaluate the relationship between the observed variables a panel analysis was used, more specifically random effect models (REM) and fixed effect models (FEM). Empirical results show that the development of environmental technologies and the supply of renewable energy have a negative impact on CO₂ emissions, while the total supply of primary energy has a positive impact on CO₂ emissions. The results of the research suggest that environment-related technologies and renewable energy promote the issue of environmental protection, while the overall supply of primary energy actually limits the perspective of green development.

Keywords: environment, sustainable development, green economy, CO₂ emissions, panel analysis

JEL classification: O33, O44, Q40, Q51

1 Uvod u problematiku zelene ekonomije

Neodrživa ekonomska rješenja koja stvaraju sve veći društveno-ekonomski jaz između razvijenih i ostalih zemalja, dovela su do neodgovornih potreba za novom sinergijom ekonomskih i ekoloških koncepata radi ostvarenja što preciznije i točnije procjene istinskog napretka i blagostanja u budućnosti. U vremenima u kojima je pitanje rasta stanovništva nekim zemljama presudno za rješavanje dugoročne perspektive rasta, mnoge se zemlje s druge strane intenzivnije industrijski razvijaju, smanjuju obradive površine i povećavaju potrošnju resursa. Time je ekonomsko-ekološka budućnost svijeta sve neizvjesnija.

S drastičnim promjenama u okolišu javlja se i bojazan kako ekonomski rast te konzumerizam i s njim povezani zahtjevi životnog stila narušavaju ekološku ravnotežu, ekonomsku stabilnost pa i sigurnost. Zagrijavanje atmosfere, ugroza biljnog i životinjskog svijeta, onečišćenost okoliša i klimatske promjene samo su neki od izazova koji prijete globalnoj egzistenciji. Iz tih razloga sve se više razvojnog, ali i medijskog fokusa stavlja na koncepte poput održivog razvoja, kružne ekonomije, zelene ekonomije, zelenog ekonomskog rasta pa i indikatore poput zelenog BDP-a.

S ciljevima Ujedinjenih naroda za održiv razvoj (npr. UN Agenda 2030) i Pariškim dogovorom, ideja održivog razvoja transformirana je u koncept politike s jasno definiranim ciljevima, pokazateljima za

mjerenje i postupak provedbe. Kako bi se smanjio negativni utjecaj na okoliš, donesena su dva ključna koncepta: učinkovitost i dostatnost.

Ekološka učinkovitost (manje utjecaja na okoliš po jedinici BDP-a) ima glavnu ulogu i potencijal za prekid veze između ekonomskog rasta i utjecaja na okoliš. Na taj se način rast nastavlja u funkciji tzv. zelenog rasta. No veći se naglasak stavlja na opciju dostatnosti (niži BDP), što podrazumijeva mijenjanje načina potrošnje i životnog stila. Navedeni ciljevi Ujedinjenih naroda imat će velik učinak na transformaciju ekonomije, društva i vladinih politika kojima je do sada dominirala politika rasta. Važno je napomenuti kako jedino s konceptima politike koji integriraju komponente učinkovitosti i dostatnosti postoji šansa da se postignu temeljne promjene u ekonomskom rastu (Kurz, 2019).

Zeleni rast odnosi se na proizvodnju zasnovanu na potražnju zelenih tehnoloških inovacija za čišću proizvodnju i lance opskrbe kao i na tehnologiju za zaštitu okoliša koja se tiče proizvodnje i prijenosa energije te je kao takva važna odrednica zelenog rasta. Zeleni rast je strategija za uštedu energije i smanjenje emisija ugljika te je široko prihvaćeno rješenje za kontrolu poboljšanja društveno-ekonomskog života. Zelena tehnologija učinkovita je metoda poticanja zelenoga ekonomskog rasta. Istraživanja su potvrdila kako čišća tehnološka provedba značajno smanjuje emisije ugljika, a zeleni rast postao je jedna od alternativnih strategija održivom razvoju (Danish i Ulucak, 2020). Istraživanja su dokazala i kako je za dosljedno i učinkovito smanjenje intenziteta emisije CO₂, ključno poboljšanje tehničke učinkovitosti i korištenje obnovljivih izvora energije vitalnih za stvaranje čišće energije, a time i manje onečišćenja okoliša. Mnoga su istraživanja potvrdila kako je ublažavanje emisija ugljika ključno za razumijevanje zelenog rasta. U mnogim se zemljama nastoji potaknuti porast zelene svijesti te uspostaviti infrastrukturu zelenoga ekonomskog rasta za resurse i zaštitu okoliša, posebno što se tiče transformacije energije (Danish i Ulucak, 2020).

Cilj ovoga rada je istražiti ulogu razvoja tehnologija povezanih s okolišem, opskrbe obnovljivom energijom i opskrbe primarnom energijom na intenzitet emisije CO₂ zasnovane na proizvodnji kako bi se odredili faktori koji ograničavaju, odnosno pridonose ekološko zasnovanom razvoju društva, u nekom širem kontekstu i stvaranju „zelenije“ ekonomije. Analizirano je pet zemalja za razdoblje od 1990. do 2019. godine.

Evaluacija promatranih varijabli temelji se na panel analizi, odnosno modelima slučajnih efekata (REM) i modelima fiksnih efekata (FEM). Svaka varijabla promatra se zasebno te su za istraživanje promatrana tri modela. Rezultati potvrđuju očekivane relacije tako da tehnologije povezane s okolišem i obnovljiva energija promiče zaštitu okoliša, dok ukupna opskrba primarnom energijom šteti okolišu i time ograničava zeleni rast i razvoj.

Rad se sastoji od pet dijelova. Prvi uvodni dio donosi teorijsko objašnjenje zelenog rasta i važnosti uloge ekološke osviještenosti za postizanje održive konkurentne ekonomije. U drugom dijelu sistematizirana su relevantna empirijska istraživanja. Varijable i primijenjena metodologija opisane su u trećem, metodološkom dijelu, dok je četvrti dio usredotočen na rezultate i implikacije istraživanja. Peti, završni dio nudi zaključna razmatranja o temi.

2 Empirijska pozadina

Saidi i Hammami (2015) ispitivali su utjecaj potrošnje energije i emisije CO₂ na ekonomski rast koristeći modele simultanih jednadžbi s panel podacima za 58 zemalja u razdoblju 1990–2012. Njihovi empirijski rezultati pokazuju da potrošnja energije pozitivno utječe na ekonomski rast. Time impliciraju kako je potrošnja energije imala važnu ulogu u postizanju ekonomskog rasta u promatranim ekonomijama, ali s posljedicom velikog onečišćenja. Budući da je energija važan sastojak ekonomskog rasta, za ostvarivanje rasta potrebne su snažne energetske politike. S druge strane, emisije CO₂ negativno utječu na ekonomski rast. Do sličnih nalaza došao je i Charfeddine (2017) koji je u svom istraživanju na slučaju Katara otkrio kako su potrošnja električne energije i

financijski razvoj pozitivno povezani s ekološkim otiskom, a negativno s ekološkim otiskom ugljika i emisijama CO₂. Ke i Boqiang (2015) našli su poveznicu između urbanizacije i industrijalizacije kao značajnog utjecaja na potrošnju energije i emisije CO₂, ali njihov odnos varira u različitim fazama ekonomskog razvoja. Glavni rezultati dobiveni su dinamičkim regresijskim modelima praga koji dijele uravnoteženi skup panela od 73 zemlje za razdoblje od 1971. do 2010. u četiri skupine prema njihovim godišnjim razinama prihoda. Ključni rezultati su: (1) u skupini s niskim приходima, urbanizacija smanjuje potrošnju energije, ali i povećava emisiju CO₂; (2) u skupinama sa srednjim / niskim i visokim dohotkom, industrijalizacija smanjuje potrošnju energije, ali povećava emisiju CO₂, dok urbanizacija značajno povećava i potrošnju energije i emisije CO₂; (3) za skupinu sa srednjim / visokim dohotkom urbanizacija ne utječe značajno na potrošnju energije, ali ometa rast emisija, dok je utvrđeno da industrijalizacija ima beznačajan utjecaj na potrošnju energije i emisije CO₂; (4) iz perspektive stanovništva, industrijalizacija proizvodi pozitivne učinke na potrošnju energije, a također povećava emisiju, osim za skupinu s visokim приходima. Ovi nalazi sugeriraju kako bi se trebale provoditi različite strategije razvoja urbanizacije i industrijalizacije, ovisno o visini dohotka u nastojanju da se ograniči pretjerana potrošnja energija i smanji emisija CO₂.

Povezanost ekonomskog razvoja, potrošnje energije i emisija CO₂ potvrdila je i studija iz Kine za razdoblje od 1990. do 2012. godine. Utvrđeno je da postoji Granger-ova veza između ekonomskog rasta, potrošnje energije i emisija CO₂; konkretno, identificiran je dvosmjerni uzročni odnos između ekonomskog rasta i potrošnje energije, a utvrđeno je da postoji jednosmjerni uzročni odnos od potrošnje energije do emisije CO₂. Nalazi imaju značajne implikacije kako za akademike, tako i za praktičare, upozoravajući na potrebu razvoja i primjene dugoročne energetske i ekonomske politike kako bi se učinkovito riješili efekti stakleničkih plinova u Kini, čime bi se država postavila na put s niskim udjelom ugljika (Wang et al., 2016). Dinda (2018) istražuje vezu između emisija ugljika, tehnološkog napretka i ekonomskog rasta. Fokusira se na tehnološki rast, koji se prati prema komunalnim patentima USPTO-a. Rezultati podupiru postojeće dokaze kako je tehnološki napredak pokretač ekonomskog rasta, a također i smanjuje emisiju CO₂ po jedinici proizvodnje. U radu se zapravo pružaju dokazi o dugoročnoj povezanosti kratkoročne dinamike intenziteta emisije ugljika, tehnološkog napretka i ekonomskog rasta za razdoblje 1963–2010 u SAD-u. Istraživanje Grossman-a i Krueger-a (1995) sugerira također kako će endogene promjene u tehnologijama minimizirati troškove postizanja ciljeva smanjenja emisije ugljika. Mnoge teorije rasta otkrile su ulogu usmjerenih tehnoloških promjena kroz patente, inovacije i poreze prema uspostavljanju održivog puta rasta (Acemoglu et al., 2012). Dakle, razina tehnoloških inovacija i korištenje obnovljivih izvora energije čini presudan korak koji utječe na emisiju CO₂ (Wang i Wei, 2019). Dok se pretpostavlja da će ostale opskrbe primarnom energijom, povećati razinu CO₂, i time usporavati zeleni rast.

Škare, Tomić i Stjepanović (2020) proveli su zanimljivo istraživanje dvama modelima kako bi promatrali učinak potrošnje energije na BDP i zeleni BDP u 36 zemalja (zemlje EU-a i potencijalne zemlje kandidatkinje). U jednom modelu promatran je odnos između ukupne potrošnje energije i rasta BDP-a, dakle zelenog BDP-a, dok je u drugom modelu naglasak stavljen na zasebne varijable povezane s različitim izvorima energije, od kojih su zatim analizirali njihove pojedinačne utjecaje na razliku između BDP-a i zelenog BDP-a. Rezultati potvrđuju teorijska očekivanja jer su autori pružili dokaze da porast potrošnje energije utječe na rast BDP-a i zelenog BDP-a. Drugi dio analize potvrdio je kako kruta goriva i nafta imaju puno veći utjecaj na razliku između zelenog BDP-a i BDP-a, nego što to imaju obnovljivi resursi i prirodni plin, koji su čišći oblici energije.

3 Metodologija i podaci

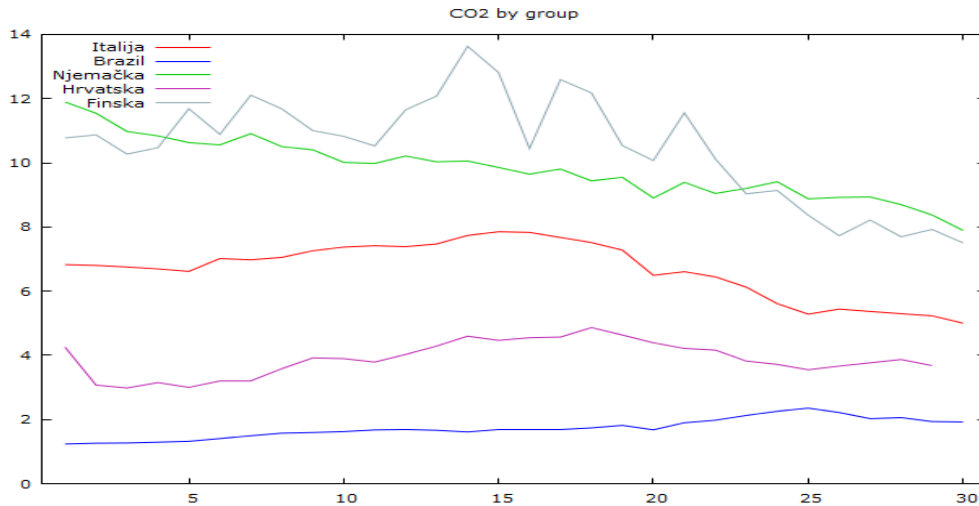
Cilj ovog istraživanja je utvrditi utjecaj razvoja tehnologija povezanih s okolišem, opskrbe obnovljivom energijom i ukupne opskrbe primarnom energijom na intenzitet emisije CO₂ zasnovanog

na proizvodnji. Za empirijsko istraživanje utjecaja promatranih varijabli odabrano je pet zemalja: Italija, Brazil, Njemačka, Hrvatska i Finska. Heterogenost uzorka rezultat je želje da se evaluiraju zemlje koje imaju različitu ekonomsku pozadinu i različite pristupe u rješavanju okolišnih problema. Navedeno ograničenje rada, nije rezultiralo problemima u modeliranju i interpretaciji rezultata. Godišnji podaci prikupljeni su za razdoblje od 1990. do 2019. godine iz statistike OECD-a. Suvremena literatura o ekonomskom rastu navela nas je na istraživanje učinaka tehnologija za zaštitu okoliša, opskrbe obnovljivom energijom i ukupne opskrbe primarnom energijom na intenzitet emisije CO₂ zasnovanog na proizvodnji. Dakle, analizirat će se odnos između četiri varijable, od koje su tri promatrane kao nezavisne: **tehnologija povezana s okolišem, opskrba obnovljivim izvorima energije, ukupna opskrba primarnom energijom**, dok zavisnu varijablu predstavlja **intenzitet emisije CO₂**. Varijable nisu logaritmirane jer se vrijednosti po zemljama relativno slično kreću i nisu značajnije varijabilne tj. ne fluktuiraju značajno. Suprotno popularnom vjerovanju, logaritamska transformacija često može povećati, a ne smanjiti varijabilnost podataka, pa time i konzistentnost zaključaka. Glavni nedostatak ovog pristupa u našem slučaju jest nemogućnost interpretacije rezultata u postocima, no zbog malih vrijednosti koeficijenata u modelima, to ne predstavlja problem za objašnjavanje rezultata. Podaci o emisiji CO₂ izmjereni su u proizvodnji po stanovniku. Varijabla tehnologije povezane s okolišem predstavlja razvoj tehnologija povezanih s okolišem kao udio u ukupnoj tehnologiji. Varijabla opskrba obnovljivom energijom predstavlja postotak ukupne opskrbe energijom. Na temelju prijašnjih istraživanja, postavljene su hipoteze: (1) tehnologije povezane sa zaštitom okoliša imaju negativan utjecaj na intenzitet emisije CO₂, (2) opskrba obnovljivom energijom ima negativan utjecaj na intenzitet emisije CO₂ i (3) ukupna opskrba primarnom energijom imaju pozitivan utjecaj na intenzitet emisije CO₂.

3.1 Intenzitet emisije CO₂ temeljenog na proizvodnji

Onečišćenja CO₂ izgaranjem fosilnih goriva primarni su uzrok globalnog zatopljenja (Davis, Caldeira, 2010). Problem globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena javlja se radi sve veće koncentracije ugljikovog dioksida u atmosferi. Time se atmosfera širi i zgušnjava što zaustavlja veliki dio infracrvenih zraka koje bi se inače otpustile i nastavile širiti u svemir. Stoga se temperatura Zemljine atmosfere, a samim time i mora i oceana, opasno podiže. To uzrokuje mnoge prirodne katastrofe kao što su tajfuni, uragani, poplave, otapanje ledenjaka, neravnoteža oborina, nestajanje jezera, povećavanje vlage i sl. Time se remeti prirodna atmosfera što dovodi do nestanka i ugrožavanja života mnogim biljnim i životinjskim vrstama, što biolozi nazivaju krizom masovnog izumiranja (Gore, 2007). Emisija CO₂ obično se mjeri na temelju 'proizvodnje'. Ova računovodstvena metoda - koja se ponekad naziva i „teritorijalnom” emisijom, koristi se kada države prijave svoje emisije i postavljaju ciljeve na domaćem i međunarodnom nivou (Ritchie, 2019).

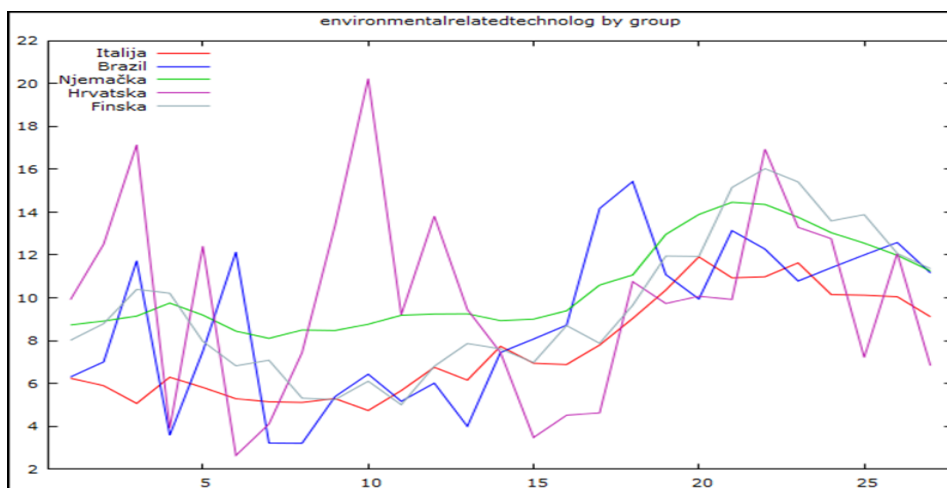
Grafikon 1. sugerira da Italija, Finska i Njemačka bilježe znatan pad intenziteta emisije CO₂ temeljenog na proizvodnji kroz promatrano razdoblje. Hrvatska bilježi slabiji pad, dok Brazil kroz promatrano razdoblje bilježi lagani rast intenziteta emisije CO₂. Finska bilježi najviše intenzitete emisije CO₂ od promatranih država jer prosječni intenzitet emisije CO₂ u Finskoj iznosi visokih 10,48. Potom slijedi, Njemačka s prosječnom emisijom CO₂ od 9,82. Najniža emisija CO₂ zabilježena je u Brazilu s prosječnom vrijednošću emisije CO₂ od 1,73. Hrvatska je potpisala Kyotski protokol 1999. godine, pa tim je Protokolom Hrvatskoj određeno smanjenje emisije stakleničkih plinova za 5 posto u razdoblju 2008.-2012. godine u odnosu na emisiju CO₂ iz 1990. godine (Franković, Blecich i Hustić, 2015).



Grafikon 1. Kretanje varijable intenziteta emisije CO₂ temeljenog na proizvodnji
Izvor: OECD statistika (2020)

3.2 Razvoj tehnologija povezanih s okolišem

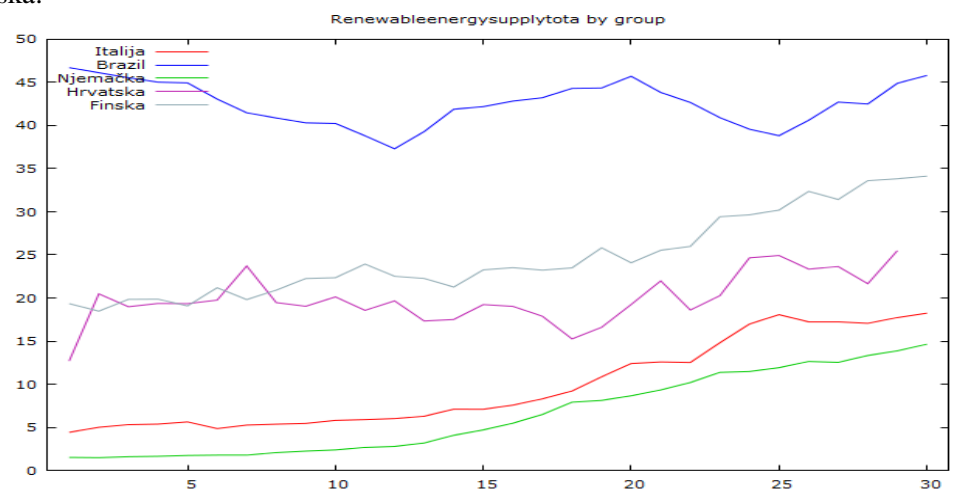
Razvoj tehnologija povezanih s okolišem predstavlja broj izuma povezanih s okolišem te je izražen kao postotak svih domaćih izuma (u svim tehnologijama). Promjene u 'ekološkim' tehnološkim inovacijama tada se mogu protumačiti u odnosu na inovacije općenito. Pokazatelji tehnološkog razvoja konstruirani su mjerenjem inventivne aktivnosti pomoću patentnih podataka u širokom rasponu tehnoloških područja povezanih s okolišem, uključujući upravljanje okolišem, prilagodbu povezanu s vodom i tehnologijama za ublažavanja klimatskih promjena. Brojevi koji se ovdje koriste uključuju samo izume veće vrijednosti. *Grafikon 2.* pokazuje kako Njemačka, Italija, Finska i Brazil bilježe trend rasta u tehnologijama povezanih s okolišem, dok podaci za Hrvatsku podosta fluktuiraju čime ne sugeriraju konzistentan zaključak.



Grafikon 2. Kretanje varijable tehnologije povezane s okolišem
Izvor: OECD statistika (2020)

3.3 Opskrba obnovljivom energijom

Obnovljiva energija definira se kao doprinos obnovljivih izvora ukupnoj opskrbi primarnom energijom. Obnovljivi izvori uključuju ekvivalent primarne energije hidro, geotermalne, solarne, vjetrene, plime i valove. Uključena je i energija dobivena iz krutih biogoriva, bio benzina, biodizela, ostalih tekućih biogoriva, bioplina i obnovljive frakcije komunalnog otpada. Biogoriva su definirana kao goriva dobivena izravno ili neizravno iz biomase. To uključuje drvo, biljni otpad, etanol, životinjski materijal / otpad i sulfatne lužine. Komunalni otpad obuhvaća otpad proizveden u stambenom, komercijalnom i javnom sektoru usluga koje lokalne vlasti prikupljaju radi odlaganja na središnjem mjestu za proizvodnju topline i / ili električne energije. Ovaj se pokazatelj mjeri u tisućama tona (tona ekvivalenta nafte), kao i u postotku ukupne opskrbe primarnom energijom. *Grafikon 3.* sugerira kako sve zemlje kroz promatrano razdoblje bilježe trend rasta u opskrbi obnovljivom energijom. Najviša stopa opskrbe obnovljive energije zabilježena je u Brazilu, potom slijede Finska i Hrvatska.

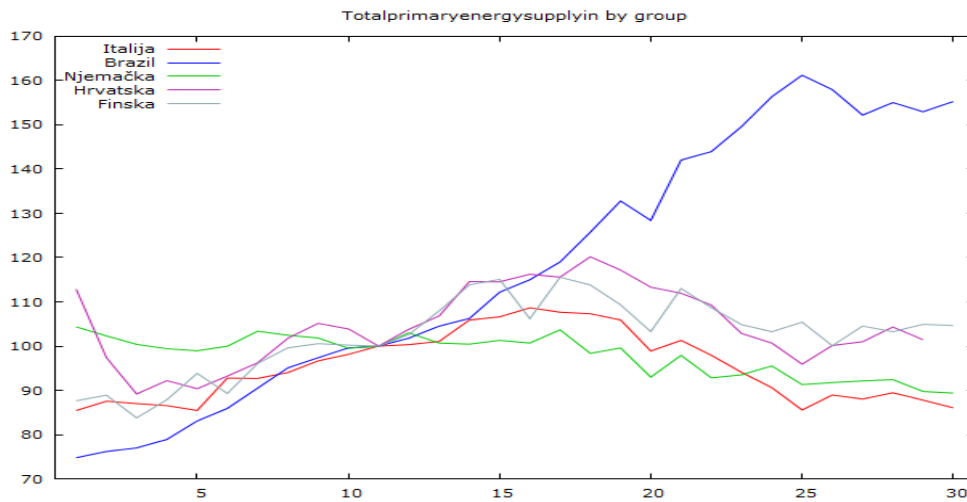


Grafikon 3. Kretanje varijable opskrbe obnovljivom energijom

Izvor: OECD statistika (2020)

3.4 Ukupna opskrba primarnom energijom

Primarna opskrba energijom definira se kao proizvodnja energije plus uvoz energije, minus izvoz energije, minus međunarodni bunkereri, zatim plus ili minus promjene zaliha. Metodologija energetske bilance Međunarodne agencije za energiju (IEA) temelji se na kaloričnom sadržaju energenata i zajedničkoj obračunskoj jedinici: toni ekvivalenta nafte. Iz *Grafikona 4.* može se iščitati kako ukupna opskrba primarnom energijom za Italiju, Hrvatsku, Njemačku i Finsku bilježi trend rasta do 2005. godine, nakon čega taj trend rasta počinje lagano opadati, za razliku od Brazila koji bilježi stalan rast kroz promatrano razdoblje.



Grafikon 4. Kretanje varijable ukupna opskrba primarnom energijom

Izvor: OECD statistika (2020)

Kako bi se procijenio adekvatni model temeljen na panel podacima, provjerit ćemo stacionarnost podataka primjenom KPSS testa. Test Kwiatkowski – Phillips – Schmidt – Shin (KPSS) utvrđuje je li vremenska serija stacionarna oko srednjeg ili linearnog trenda ili je nestacionarna zbog jediničnog korijenja. Iz KPSS testa zaključujemo da su sve varijable stacionarne u prvoj diferenciji (rezultati u *Priilogu*). Grafički prikaz također sugerira da su varijable u razinama, zapravo nestacionarne. Budući da su serije istog reda integriranosti (u kojoj vremenska serija nije previše duga da bi nestacionarnost stvorila probleme u interpretaciji rezultata), postoji opravdanost za evaluaciju panel analizom. Svakako, ostaje i mogućnost da se zbog navedene karakteristike, promatra i panel kointegracijski model za sve varijable zasebno. Navedenu mogućnost ostavljamo za buduća istraživanja koja se mogu temeljiti na jednom modelu koji analizira povezanost između promatranih varijabli.

Modeliranje relacija u našem radu temeljeno je na standardnom panel pristupu Hsiao (2003):

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1,it}x_{1,it} + \beta_{2,it}x_{2,it} + \dots + \beta_{k,it}x_{k,it} + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

tako da je y_{it} vrijednost zavisne varijable y , zatim $x_{k,it}$ vrijednost nezavisne varijable x_k , α_{it} vrijednost slobodnog člana, $\beta_{k,it}$ regresijski parametar k -te nezavisne varijable, ε_{it} slučajna greška za sve jedinice promatranja i i za svaki vremenski trenutak t , te N je broj jedinica promatranja, a T broj vremenskih točaka. Podaci s kojima raspoložemo kako bi izračunali uzročnost između odabranih varijabli su združeni podaci (panel). Združeni podaci predstavljaju kombinaciju vremenskih presjeka i vremenskih nizova. Panel ili uzdužni podaci su vrsta združenih podataka u kojima se kroz različite vremenske točke pojavljuju iste vremenski prosječne jedinice. Raspoložemo s uravnoteženim panelom koji ima isti broj vremenskih pomaka za svaku vremensko-prosječnu jedinicu. Procjena regresijskog modela s panel podacima može se dobiti pomoću jednog od dva modela (Mundlak, 1978): pristup fiksnog efekta (FEM model) ili pristup slučajnog efekta (REM model). FEM model – pristup fiksnog utjecaja (*Fixed Effect Model*) je model fiksnih učinaka u kojem su parametri modela fiksne ili ne slučajne veličine. To je za razliku od modela slučajnih efekata i mješovitih modela u kojima su svi ili neki od parametara modela slučajne varijable. REM model – pristup slučajnog utjecaja (*Random Effect Model*) je model u kojemu parametri nisu tretirani kao fiksni koeficijenti već kao slučajna greška izvučena iz zadane distribucije vjerojatnosti.

Model fiksnih efekata, polazi od pretpostavke da su zavisne i nezavisne varijable korelirane, ali se u modelu slučajnih efekata ta povezanost smatra slučajnom. Zatim se primjenjuje *dummy* varijabla

najmanjih kvadrata (LSDV) za procjenu modela fiksnih učinaka. U slučaju modela slučajnih efekata, reziduali iz OLS-a koriste se za procjenu varijance i parametara modela metodom generaliziranih najmanjih kvadrata (GLS). Ako se korelacija između varijabli pronade, model slučajnih učinaka nije dobar izbor i samo model fiksnih efekata može dosljedno procijeniti relaciju (Hsiao, 2003). Hausmanov test (1978) korišten je za provođenje izbora između modela fiksnih efekata i slučajnih efekata radi mjerenja dosljednosti. U ovom istraživanju, radi jednostavnosti prikaza odnosa između izabranih varijabli, za svaku vezu napravljen je zaseban model koji prikazuje bilateralnu uzročno-posljedičnu relaciju između zavisne i jedne od nezavisnih varijabli. Modeliranje jedinstvenog modela koji uključuje sve varijable od interesa onemogućen je zbog loših konačnih pokazatelja kvalitete modela i slabe koreliranosti između pojedinih varijabli.

4 Rezultati i implikacije istraživanja

Korelacijska matrica otkriva relativno slabu korelaciju između izabranih varijabli. Naime, koeficijent korelacije između varijabli CO₂ i tehnologija povezanih s okolišem iznosi 0,04, što upućuje na nepostojanje korelacije između varijabli. Koeficijent korelacije između varijabli CO₂ i obnovljivi izvori energije iznosi 0,25, što upućuje na slabu korelacijsku vezu između varijabli. Koeficijent korelacije između varijabli CO₂ i ukupna opskrba primarnom energijom iznosi 0,64, što sugerira na umjereno pozitivan odnos. Kako nije pronađena jaka korelacijska veza između varijabli, pretpostavlja se (Hsiao, 2003) da je za izračunavanje uzročnosti varijabli bolji REM model, što je dodatno provjereno Hausmanovim testovima za svaku relaciju, koji su potvrdili relevantnost primjene REM modela za slučajeve sa slabijom korelacijom, odnosno FEM modela za slučaj s umjerenom korelacijom. Za odnos CO₂ i tehnologiju povezanu s okolišem vrijednost hi-kvadrata ($\chi^2 = 0,38$) je mala, p-vrijednost je veća od 0,05 ($p = 0,54$), što znači da se ne može odbaciti hipoteza o konzistentnosti GLS procjenitelja, stoga je bolje primjenjivati REM model. Za odnos CO₂ i obnovljive izvore energije vrijednost hi-kvadrata ($\chi^2 = 0,013$) je mala, p-vrijednost je veća od 0,05 ($p = 0,91$) iz čega se može iščitati da se ne može odbaciti hipoteza kako su GLS procjenitelji konzistentni te da je za promatrani problem bolji REM model. Nadalje, za odnos CO₂ i ukupnu opskrbu primarnom energijom vrijednost hi-kvadrata ($\chi^2 = 3,97$) je mala, odnosno p-vrijednost je manja od 0,05 ($p = 0,46$), što znači da se može odbaciti hipotezu o konzistentnosti GLS procjenitelja, pa je FEM model primjereniji.

Tablica 1. Panel modeli

Zavisna varijabla (CO ₂)	REM ¹ (Tehnologija povezana s okolišem)	REM ² (Obnovljivi izvori energije)	FEM ³ (Opskrba primarnom energijom)
Konstanta	7,36 *** (st. dev. = 1,80)	10,24 *** (st. dev. = 1,52)	4,24 *** (st. dev. = 0,54)
Nezavisna varijabla	-0,09 *** (st. dev. = 0,03)	-0,18 *** (st. dev. = 0,01)	0,02 *** (st. dev. = 0,01)
Korelacija (y,ythat) ₂	corr. = 0,00	corr. = 0,41	/
Zajednički test regresora	$\chi^2 = 12,36 ***$	$\chi^2 = 198,69 ***$	F = 18,19 ***
Breuch - Pagan test	$\chi^2 = 1820,46 ***$	$\chi^2 = 1907,44 ***$	/
Hausman test	$\chi^2 = 0,63$	$\chi^2 = 0,01$	$\chi^2 = 3,97 **$

- oznake ***, **, * predstavljaju 1%, 5%, odnosno 10% razine značajnosti.

Izvor: Izračun autora (2020)

Iz REM¹ modela u *Tablici 1.* (ostali pokazatelji kvalitete modela su dostupni po zahtjevu) može se zaključiti da kada se varijabla tehnologija povezana s okolišem poveća za jednu jedinicu intenzitet emisije CO₂ se smanjuje za 0,09 jedinica. Tehnologije povezane s okolišem pokazale su se statistički značajnima, ali istovremeno ograničene jakosti, u smanjenju intenziteta emisije CO₂ ($p < 0,05$). Nadalje, REM² model sugerira da kada se varijabla obnovljivi izvori energije poveća za jednu jedinicu, intenzitet emisije CO₂ se smanjuje za 0,18 jedinica. I obnovljivi izvori energije pokazali su se ograničenog utjecaja u smanjenju intenziteta emisije CO₂. Konačno, FEM³ model pokazuje da kada se varijabla ukupna opskrba primarnom energijom povećanja za jednu jedinicu, intenzitet emisije CO₂ će se povećati 0,02 jedinica. Ova varijabla pokazala se također statistički značajnom, ali ograničenog utjecaja u povećanju intenziteta emisije CO₂.

Istraživanje učinaka ekološke tehnologije, upotreba obnovljive i ukupne opskrbe primarnom energijom, u diskusijama se često navodi kao žarište analize u procesu zelenog rasta (Danish i Ulucak, 2020). Na temelju modela slučajnog (REM) i fiksnog utjecaja (FEM) koji su korišteni u radu, potvrđeni su očekivani odnosi između varijabli koje su direktno ili indirektno ekološki i okolišno uvjetovane. Napredak u energetske tehnologijama vezanim uz okoliš povećava udio čiste energije i smanjuje intenzitet upotrebe ostalih izvora energije. U međuvremenu, učinak energetske i tehnološke napretka na emisije CO₂ je posljedica koja se postupno manifestira. Budući da učinkovitost proizvedene opreme uvelike povećava učinkovitost proizvodnje, nova energetska tehnologija potiče energetske, a time i ekonomsku održivost. U procesu razvoja okoliša tehnologije koje koriste izgaranje fosilnih goriva donekle su zamijenjene novim izvorima energije čime se kao rezultat emisija ugljika smanjuje. Rezultati istraživanja također pokazuju kako su obnovljivi izvori energije povezani s negativnim koeficijentom, sugerirajući da obnovljiva energija igra zanimljivu, ali ipak ograničenu, ulogu u promicanju zelene ekonomije.

Obnovljiva energija se pokazala kao jedan od najboljih alternativa za čišću proizvodnju, a time i za smanjenje zagađenja. Razvoj obnovljive energije može osigurati energetske sigurnost, promovirati ekonomski rast i ublažiti siromaštvo. Obnovljiva energija u proizvodnji dovodi i do smanjenja troškova, što znači da manje onečišćuje okoliš. Svakako treba naglasiti da su se u europskim zemljama pozitivni utjecaji obnovljive energije smanjili, pogotovo nakon Globalne krize. Stoga bi se smanjenje učinkovitosti obnovljive energije (a time i relativno mali utjecaj te varijable u našem modelu) moglo objasniti smanjenjem stope rasta uvođenja obnovljive energije (Abolhosseini, Heshmati i Altmann, 2014).

Naposljetku, provedeno istraživanje ukazuje da ukupna opskrba primarnom energijom povećava intenzitet emisije CO₂, što ograničava zeleni rast. Indirektno gledano, ekonomske odluke koji potiču energetske intenzivnu proizvodnju 'koče' zeleni rast. Danish i Ulucak (2020) navode da rast dohotka u zemljama, u stilu Kuznetsove invertirane U-krivulje, ne može ublažiti onečišćenje, ali ga može smanjiti zajedno s napretkom u tehnologiji i povećanim korištenjem obnovljivih izvora energije. Stvaranje i poboljšavanje tehničkih i tehnoloških kapaciteta u području energetske učinkovitosti može se poticati i promocijom kompanija čiji se prihodi temelje na učinkovitoj energetskej politici, posebice u području industrije. U konačnici, makro koncept upravljanja energijom jako je vezan uz kontekst djelovanja međunarodnih institucija, koordiniranih sporazuma i domaćih institucionalnih pretpostavki što bi trebalo pomiriti ciljeve različitih dionika u ovoj političko – društveno – ekonomskoj konotaciji problema. Iz rezultata se može zaključiti da će utjecaj na okoliš (u ovom kontekstu CO₂ emisija) prije biti određen odlukama vlada i institucija, negoli razinom društveno-ekonomskog razvoja, što daje signal zemljama u razvoju te slabije razvijenim zemljama da ne moraju žrtvovati svoj okoliš za ekonomski napredak, i vice versa.

5 Zaključak

Razvoj društva, industrijalizacija, urbanizacija i veliki tehnološki napredak u svijetu donose nagle promjene s pozitivnim i negativnim posljedicama. Najveće negativne posljedice očituju se kroz onečišćenje okoliša i „nemoralno“ i neodrživo iskorištavanje prirodnih resursa. Tako sve veću popularnost dobivaju teme koje se tiču obnovljivih izvora energije i težnji prema zelenom rastu i zelenom BDP-u. Budući da ne postoji konzistentna teorija iza izračuna zelenog rasta, mogu se analizirati pojedini aspekti koji zasigurno utječu na održiv rast i razvoj zelene ekonomije. Tako je u ovom radu analiziran intenzitet emisije CO₂ zasnovanog na proizvodnji, razvoj tehnologija povezanih s okolišem, opskrba obnovljivom energijom i ukupna opskrba primarnom energijom. U promatranom razdoblju za promatrane zemlje donose su sljedeći zaključci: najveći pad intenziteta emisije CO₂ zasnovanog na proizvodnji bilježe Italija, Finska i Njemačka; Njemačka, Italija, Finska i Brazil bilježe trend rasta u tehnologijama povezanim s okolišem; u promatranom razdoblju sve države bilježe trend rasta u opskrbi obnovljivom energijom; ukupna opskrba primarnom energijom za Italiju, Hrvatsku, Njemačku i Finsku bilježi trend rasta do 2005. godine, nakon čega počinje lagano opadati, za razliku od Brazila koji bilježi stalan rast kroz promatrano razdoblje. Empirijski rezultati pokazuju kako razvoj tehnologija povezanih s okolišem i opskrba obnovljivom energijom imaju negativan utjecaj na emisije CO₂, dok ukupna opskrba primarnom energijom ima pozitivan utjecaj na emisije CO₂. Rezultati potvrđuju kako tehnologije povezane s okolišem i obnovljiva energija promiču zelenu ekonomiju, dok ukupna opskrba primarnom energijom šteti zelenoj perspektivi. Buduća istraživanja istoga ili sličnoga karaktera trebala bi se usmjeriti na homogeniji izbor zemalja za značajniju međunarodnu usporedbu čime bi se dobio komplementaran prikaz problematike emisije CO₂, problematike koja postaje razvojni izazov za svaku zemlju. Jednako tako, primjena panel kointegracijskog pristupa mogla bi dati uvid u dugoročne i kratkoročne implikacije promatranih veza između varijabli.

Svaka država svijeta nastoji svojim nacionalnim okvirima i strategijama uvesti određene planove i ciljeve kojima bi postigla željene rezultate koji se odnose na održiv razvoj i uvođenje socijalne kohezije te blagostanja. No nije dovoljno promišljati samo na nacionalnoj razini. Kako bi se uvele željene promjene i polučili očekivani rezultati, nužno je promišljati na regionalnoj, urbanoj i osobnoj razini. Ekološka kriza ponajprije je kriza morala i ne samo problem ekonomije ili politike, već i problem društva. Prilike koje se javljaju kao i nedavna globalna kriza moralni su, etički i duhovni izazov za svakog čovjeka. Rješenje današnjih, sve većih negativnih klimatskih promjena i onečišćenja okoliša leži u promjeni ljudske svijesti. Gore (2007) navodi mnoge pozitivne promjene koje bi se dogodile u ekonomiji kada bi se počelo utjecati na ublažavanje klimatskih promjena. Pa tako navodi otvaranje novih radnih mjesta, iskorištavanje obnovljivih izvora energije i prilika za ispunjenjem moralne zadaće i zajedničke svrhe. Kao odgovor na pitanje zašto ljudi ništa ne poduzimaju usprkos mnogim dokazima planetarne krize, Gore kaže: „*Istina o klimatskoj krizi neugodna je jer znači da ćemo morati promijeniti način života*“ (Gore, 2007, str. 286).

Priznanja

"Rad je izrađen u okviru znanstvenog projekta 'Determinante i izazovi konkurentnosti gospodarstva' i znanstvenog projekta 'Računovodstvo za budućnost, Big Data i procjena ekonomskih parametara' pri Fakultetu ekonomije i turizma "Dr. Mijo Mirković", Sveučilište Jurja Dobrile u Puli. Mišljenja, nalazi i zaključci ili preporuke navedene u ovom radu odnose se na autora i ne odražavaju nužno stajališta Fakulteta ekonomije i turizma "Dr. Mijo Mirković" Pula."

Literatura

Abolhosseini, S., Heshmati, A., Altmann, J. (2014) The Effect of Renewable Energy Development on Carbon Emission Reduction: An Empirical Analysis for the EU-15 Countries, *IZA DP. No. 7989*, Forschungsinstitut zur Zukunft der Arbeit, Institute for the Study of Labor.

Acemoglu, D., Aghion, P., Bursztyn, L., Hemous, D. (2012) The Environment and Directed Technical Change, *American Economic Review*, 102(1), str. 131–166.

Charfeddine, L. (2017) The impact of energy consumption and economic development on Ecological Footprint and CO₂ emissions: Evidence from a Markov Switching Equilibrium Correction Model, *Energy Economics*, [Online], 65, str. 355-374., < raspoloživo na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988317301524>>, [pristupljeno 21.3.2021.].

Danish, K., Ulucak, R. (2020) How do environmental technologies affect green growth? Evidence from BRICS economies, *Science of The Total Environment*, [Online], 712, str. 1-7., < raspoloživo na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720300127> >, [pristupljeno 01.03.2021.].

Davis, S., Caldeira, K. (2010) Consumption-based accounting of CO₂ emissions, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(12), str. 5687-5692.

Dinda, S. (2018) Production technology and carbon emission: long-run relation with short-run dynamics, *Journal of Applied Economics*, 21(1), str. 106- 121.

Franković, B., Blečić, P., Hustić, A. (2015) Utjecaj uvođenja obnovljivih izvora energije na održivi razvoj energetske sustava Republike Hrvatske s osvrtom na emisije stakleničkih plinova, *Energetska politika EU-a nakon 21. konferencije stranaka okvirne konvencije UN-a o klimatskim promjenama (COP21)/ B. Jelavić – Hrvatsko energetske društvo*, [Online], < raspoloživo na: http://www.hed.hr/stari_hed/pdf/24Forum/referati/Frankovic,%20Blecich,%20Hustic.pdf >, [pristupljeno 25.3.2021.].

Gore, A. (2007) *Neugodna istina: Planetarna pojava globalnog zagrijavanja i što u vezi s njom možemo poduzeti*, Zagreb: Algoritam.

Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1995) Economic Growth and the Environment, *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), str. 353–377.

Hsiao, C. (2003). *Analysis of panel data*, 2nd ed., Cambridge University Press.

Ke, L., Boqiang, L. (2015) Impacts of urbanization and industrialization on energy consumption/CO₂ emissions: Does the level of development matter?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [Online], 52, str. 1107-1122., < raspoloživo na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115008321>>, [pristupljeno 20.3.2021.].

Kurz, R. (2019) Post-growth perspectives: Sustainable development based on efficiency and on sufficiency, *Public Sector Economics*, 43(4), str. 401-422.

Mundlak, Y. (1978) On the pooling of time series and cross section data, *Econometrica*, 46(1), str. 69-85.

Ritchie, H. (2019) How do CO₂ emissions compare when we adjust for trade?, < raspoloživo na: <https://ourworldindata.org/consumption-based-co2>>, [pristupljeno 8.3.2021.].

Saidi, K., Hammami, S. (2015) The impact of energy consumption and CO₂ emissions on economic growth: Fresh evidence from dynamic simultaneous-equations models, *Sustainable Cities and Society*, [Online], 14, str. 178- 186., < raspoloživo na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670714000511>>, [pristupljeno 14.3.2021.].

Škare, M., Tomić, D., Stjepanović, S. (2020) Energy Consumption and Green GDP in Europe: A Panel Cointegration Analysis 2008 – 2016, *Acta Montanistica Slovaca*, 25(1), str. 46-56.

Wang, S., Li, Q., Fang, C., Zhou, C. (2016) The relationship between economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions: Empirical evidence from China, *Science of The Total Environment*, 542(Part A), str. 360-371.

Wang, H., Wei, W. (2019) Coordinating technological progress and environmental regulation in CO₂ mitigation: The optimal levels for OECD countries & emerging economies, *Energy Economics*, 87(C).

Prilozi

KPSS test za varijablu CO₂ emisiju

```
KPSS test for CO2 (without trend)
Lag truncation parameter = 0

Unit 1, T = 30
test = 1,65101, p-value < .01

Unit 2, T = 30
test = 2,57611, p-value < .01

Unit 3, T = 30
test = 2,70686, p-value < .01

Unit 4, T = 30
test = 0,843353, p-value < .01

Unit 5, T = 30
test = 1,52688, p-value < .01

H0: all groups are stationary

Choi meta-tests:
Inverse chi-square(10) = 46,0517 [0,0000]
Inverse normal test = -5,20187 [0,0000]
Logit test: t(29) = -5,87097 [0,0000]
Note: these are UPPER BOUNDS on the true p-values
(Individual p-values < .01, and recorded as .01: 5)
```

KPSS test za varijablu tehnologija povezana sa okolišem

```
KPSS test for environmentalrelatedtechnolog (including trend)
Lag truncation parameter = 2

Unit 1, T = 30
test = 0,13762, interpolated p-value 0,072

Unit 2, T = 30
test = 0,117065, p-value > .10

Unit 3, T = 30
test = 0,120694, p-value > .10

Unit 4, T = 30
test = 0,0676362, p-value > .10

Unit 5, T = 30
test = 0,127562, interpolated p-value 0,091

H0: all groups are stationary

Choi meta-tests:
  Inverse chi-square(10) = 23,8867 [0,0079]
  Inverse normal test = -2,97148 [0,0015]
  Logit test: t(29) = -2,92782 [0,0033]
  Note: these are LOWER BOUNDS on the true p-values
  (Individual p-values > .10, and recorded as .10: 3)
```

KPSS test za varijablu ukupna opskrba primarnom energijom

```
KPSS test for Totalprimaryenergysupplyin (including trend)
Lag truncation parameter = 0

Unit 1, T = 30
test = 0,708569, p-value < .01

Unit 2, T = 30
test = 0,221204, p-value < .01

Unit 3, T = 30
test = 0,393483, p-value < .01

Unit 4, T = 29
test = 0,443293, p-value < .01

Unit 5, T = 30
test = 0,602231, p-value < .01

H0: all groups are stationary

Choi meta-tests:
  Inverse chi-square(10) = 46,0517 [0,0000]
  Inverse normal test = -5,20187 [0,0000]
  Logit test: t(29) = -5,87097 [0,0000]
  Note: these are UPPER BOUNDS on the true p-values
  (Individual p-values < .01, and recorded as .01: 5)
```

KPSS test za varijablu opskrba obnovljivim izvorima energije

```

KPSS test for Renewableenergysupplytota (including trend)
Lag truncation parameter = 0

Unit 1, T = 30
test = 0,615027, p-value < .01

Unit 2, T = 30
test = 0,294223, p-value < .01

Unit 3, T = 30
test = 0,611108, p-value < .01

Unit 4, T = 29
test = 0,269346, p-value < .01

Unit 5, T = 30
test = 0,521436, p-value < .01

H0: all groups are stationary

Choi meta-tests:
  Inverse chi-square(10) = 46,0517 [0,0000]
  Inverse normal test = -5,20187 [0,0000]
  Logit test: t(29) = -5,87097 [0,0000]
  Note: these are UPPER BOUNDS on the true p-values
  (Individual p-values < .01, and recorded as .01: 5)
    
```

REM¹ model

```

Model 12: Random-effects (GLS), using 150 observations
Included 5 cross-sectional units
Time-series length = 30
Dependent variable: CO2

-----
                coefficient    std. error    z        p-value
-----
const           7,36245         1,79946     4,091    4,29e-05 ***
environmentalrel~ -0,0916922         0,0260844   -3,515    0,0004 ***

Mean dependent var  6,517652    S.D. dependent var  3,505341
Sum squared resid  1854,522    S.E. of regression  3,527954
Log-likelihood     -401,4468    Akaike criterion    806,8936
Schwarz criterion  812,9149    Hannan-Quinn        809,3399
rho                0,827210    Durbin-Watson        0,354644

'Between' variance = 15,9138
'Within' variance = 0,875719
theta used for quasi-demeaning = 0,957211
corr(y,yhat)^2 = 0,00160841

Joint test on named regressors -
  Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 12,3567
  with p-value = 0,00043941

Breusch-Pagan test -
  Null hypothesis: Variance of the unit-specific error = 0
  Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 1820,46
  with p-value = 0

Hausman test -
  Null hypothesis: GLS estimates are consistent
  Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 0,62638
  with p-value = 0,428686
    
```


REM² model

```

Model 37: Random-effects (GLS), using 149 observations
Included 5 cross-sectional units
Time-series length: minimum 29, maximum 30
Dependent variable: CO2

      coefficient  std. error    z    p-value
-----
const          10,2354    1,52238    6,723  1,78e-011 ***
Renewableenergys~ -0,179493  0,0127337  -14,10  4,03e-045 ***

Mean dependent var  6,536562  S.D. dependent var  3,509478
Sum squared resid  1073,121  S.E. of regression  2,692734
Log-likelihood      -358,5132  Akaike criterion    721,0263
Schwarz criterion   727,0342  Hannan-Quinn       723,4672
rho                 0,703263  Durbin-Watson      0,532182

'Between' variance = 11,303
'Within' variance = 0,404636
mean theta = 0,965359
corr(y,yhat)^2 = 0,413484

Joint test on named regressors -
Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 198,694
with p-value = 4,02574e-045

Breusch-Pagan test -
Null hypothesis: Variance of the unit-specific error = 0
Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 1907,44
with p-value = 0

Hausman test -
Null hypothesis: GLS estimates are consistent
Asymptotic test statistic: Chi-square(1) = 0,013428
with p-value = 0,907748
    
```

FEM³ model

```

Model 46: Fixed-effects, using 149 observations
Included 5 cross-sectional units
Time-series length: minimum 29, maximum 30
Dependent variable: CO2

      coefficient  std. error  t-ratio  p-value
-----
const          4,23996    0,543725    7,798  1,19e-012 ***
Totalprimaryener~ 0,0221805  0,00520040    4,265  3,61e-05 ***

Mean dependent var  6,536562  S.D. dependent var  3,509478
Sum squared resid  121,4707  S.E. of regression  0,921654
LSDV R-squared      0,933362  Within R-squared    0,112857
LSDV F(5, 143)     400,5817  P-value(F)          3,32e-82
Log-likelihood      -196,2035  Akaike criterion    404,4070
Schwarz criterion   422,4306  Hannan-Quinn       411,7297
rho                 0,894099  Durbin-Watson      0,239453

Joint test on named regressors -
Test statistic: F(1, 143) = 18,1916
with p-value = P(F(1, 143) > 18,1916) = 3,61232e-005

Test for differing group intercepts -
Null hypothesis: The groups have a common intercept
Test statistic: F(4, 143) = 467,002
with p-value = P(F(4, 143) > 467,002) = 5,51048e-081
    
```