

Odnos indeksa ljudskog razvoja i kvalitete okoliša

Brevulj, Lucija

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:194:473037>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-08**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Physics - PHYRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZA FIZIKU**

Lucija Brevulj

**ODNOS INDEKSA LJUDSKOG
RAZVOJA I KVALITETE OKOLIŠA**

Diplomski rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
FAKULTET ZA FIZIKU**

Diplomski studij Fizika i znanost o okolišu

Lucija Brevulj

**ODNOS INDEKSA LJUDSKOG
RAZVOJA I KVALITETE OKOLIŠA**

Diplomski rad

Mentorica: doc. dr. sc. Diana Mance

Rijeka, 2022.

Sažetak

Industrijalizacija jest važan korak u razvoju društva, ali ona za sobom ostavlja negativne posljedice na kvalitetu okoliša. Prekomjernim iskorištavanjem prirodnih resursa, prvenstveno sagorijevanjem fosilnih goriva te dohranjivanjem poljoprivrednog zemljišta, s ciljem ostvarenja što većeg prinosa, u okoliš se ispuštaju štetne tvari, koje mogu narušiti kvalitetu tla, vode i zraka. Ovisno o stupnju razvoja države, moguće su razlike u kvaliteti okoliša.

Kako bi se istražila povezanost razvoja društva i kvalitete okoliša, provedena je analiza panel podataka na uzorku od 127 zemalja u razdoblju između 1990. i 2014. godine. Indeks zaštićenih vrsta, količina emitiranog metana te količina upotrijebljenog dušičnog gnojiva odabrani su kao pokazatelji kvalitete okoliša, ujedno i zavisne varijable, dok su za nezavisne varijable odabrani pokazatelji ljudskog razvoja poput indeksa ljudskog razvoja i ukupne faktorske produktivnosti poljoprivrednog sektora te ostale varijable koje mogu utjecati na kvalitetu okoliša.

Primjenom modela s fiksnim efektima te modela generaliziranih momenata, utvrđeno je da postoje statistički značajne veze između pokazatelja ljudskog razvoja i kvalitete okoliša. Usporedbom dobivenih rezultata, proizašlih iz primjene navedenih modela, potvrđeno je da model s fiksnim efektima bolje opisuje izmjerene podatke. Osim toga, ispitano je može li se veza između onečišćenja okoliša i indeksa ljudskog razvoja opisati Kuznetsovom krivuljom za okoliš. Iako krivulja nije identična Kuznetsovoj krivulji, primijećeno je da zagađenje raste s porastom indeksa ljudskog razvoja sve dok se ne postigne vrlo visoka razvijenost društva.

Ključne riječi: Indeks ljudskog razvoja, kvaliteta okoliša, onečišćenje vode, onečišćenje tla, onečišćenje atmosfere, učinak staklenika, panel analiza, Kuznetsova krivulja za okoliš

Sadržaj

1	UVOD.....	1
2	PREGLED LITERATURE.....	2
2.1	Indeks ljudskog razvoja.....	2
2.2	Utjecaj dušika na okoliš.....	4
2.2.1	Ciklus dušika.....	4
2.2.2	Protjecanje podzemne vode.....	7
2.2.3	Širenje onečišćavala podzemnom vodom.....	9
2.3	Učinak staklenika.....	10
2.3.1	Sastav Zemljine atmosfere.....	10
2.3.2	Emisija stakleničkih plinova.....	13
2.4	Kuznetsova krivulja za okoliš.....	20
3	METODE I PODACI.....	22
3.1	Panel analiza.....	22
3.1.1	Vrste podataka.....	22
3.1.2	Modeli panel podataka.....	24
3.2	Opis varijabli.....	28
3.3	Obrada panel podataka u programskom jeziku <i>R</i>	31
4	REZULTATI I DISKUSIJA.....	33
4.1	Predobrada podataka.....	34
4.1.1	Deskriptivna statistika.....	34
4.1.2	Ispitivanje koreliranosti podataka.....	37
4.2	Hausmanov test.....	38
4.3	Ispitivanje jediničnog korijena.....	39
4.4	Kreiranje statističkog modela.....	40
4.4.1	PSPU.....	41
4.4.2	CH4.....	43
4.4.3	NF.....	45
4.4.4	Provjera hipoteze Kuznetsove krivulje za okoliš.....	48
5	ZAKLJUČAK.....	51
	LITERATURA.....	58

POPIS SLIKA	58
POPIS TABLICA	59
DODACI.....	60

1 UVOD

Od sredine dvadesetog stoljeća do danas, broj stanovnika u svijetu porastao je s približno 3 milijarde na 7,8 milijardi. Takvo znatno povećanje svjetskog stanovništva u relativno kratkom razdoblju zahtijevalo je, između ostalog, i povećanje proizvodnje energije te povećanu potrošnju prirodnih resursa poput vode, tla, šuma te fosilnih goriva.

Industrijalizacija jest proces uvođenja i razvoja industrijske proizvodnje, pri čemu se događaju promjene u društvu i ekonomiji. Ona je važan preduvjet gospodarskog razvoja zemalja jer njezin razvoj izravno utječe na razvoj poljoprivrede, građevinarstva, prometa i trgovine te energetike. Posljedično, dolazi do značajnih promjena u strukturi stanovništva: razvoj gradova uzrokovat će porast broja gradskog stanovništva. Osim toga, zbog povoljnijih životnih uvjeta dolazi i do općenitog porasta svjetskog stanovništva [1].

Ovisno o vremenu početka industrijalizacije, uočava se povećana razlika u stupnju razvijenosti između zemalja u kojima je ranije započela industrijalizacija te zemalja u kojima je industrijalizacija započela kasnije. Zbog toga se često industrijalizacija poistovjećivala s ekonomskim napretkom zemlje, a stupanj razvijenosti zemlje iskazivao se, između ostalog, udjelom industrije u bruto domaćem proizvodu (BDP-u) [1]. Znatan razvoj industrije nakon Drugog svjetskog rata, rezultirao je dodatnim opterećenjem okoliša uzrokovanim, na primjer, pretjeranom sječom šuma, degradacijom tla te pojačanom emisijom stakleničnih plinova.

Prolaskom društva kroz različite etape industrijalizacije, pogotovo u postindustrijskom društvu, postupno se razvija svijest o potrebi očuvanja okoliša i ističe se važnost održivog razvoja. No, društvo u slabije razvijenim zemljama, u kojima industrijalizacija nije provedena u potpunosti te nisu zadovoljeni uvjeti razvoja, najčešće se ne može posvetiti očuvanju okoliša. Zato se među različitim državama može pojaviti razlika u kvaliteti okoliša, koja se može mjeriti raznim parametrima, poput koncentracije onečišćujućih tvari u vodi, tlu i zraku.

Cilj ovoga rada bio je provjeriti hipotezu, koja pretpostavlja da postoji statistički značajna povezanost pokazatelja ljudskog razvoja i kvalitete okoliša te predstavljanje panel analize, statističke metode koja je upotrijebljena za analizu podataka. Uporaba ove metode karakteristična je za ekonometriju, epidemiologiju te društvene znanosti, no može se upotrijebiti i u istraživanju okoliša [2].

U drugom poglavlju ovog rada prikazan je pregled literature. U njemu se uvode osnovni pojmovi, koje je potrebno razumjeti prije provedbe analize podataka (npr. indeks ljudskog razvoja, indeks održivog upravljanja dušikom,...) Opisuju se utjecaji dušika na tlo i vodu, protjecanje vode kroz tlo te mehanizmi protjecanja onečišćavala podzemnom vodom. U ovom poglavlju opisuje se staklenički učinak kao i njegove posljedice za život na Zemlji.

U trećem se poglavlju opisuju statističke metode korištene za analizu podataka. Kvaliteta okoliša razmatrala se pomoću kvalitete vode, tla i atmosfere. Kao pokazatelj kvalitete vode i tla odabrana je količina primijenjenih dušičnih gnojiva, a kao pokazatelj kvalitete atmosfere odabrana je količina emitiranog stakleničkog plina metana. Važno je napomenuti kako su oba pokazatelja usko vezana uz poljoprivrednu aktivnost.

Četvrto poglavlje donosi detaljne korake provedbe statističke analize i kreiranja statističkih modela te su izneseni rezultati uz popratnu diskusiju. Analizom se provjerilo postoji li statistička veza pokazatelja ljudskog razvoja i kvalitete okoliša te može li se opisati Kuznetsovom krivuljom za okoliš veza indeksa ljudskog razvoja i zagađenja okoliša. Naposljetku se iznosi zaključak.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 Indeks ljudskog razvoja

Indeks ljudskog razvoja (engl. *human development index*), skraćeno HDI, statistički je indeks koji se koristi kao ekonomski i društveni pokazatelj razvoja pojedine države. Zahvaljujući Programu Ujedinjenih naroda za razvoj (engl. *United Nations Development Programme – UNDP*), indeks ljudskog razvoja računa se od 1990. godine, na godišnjoj razini, a rezultati se objavljuju u godišnjem Izvješću o ljudskom razvoju. Motivacija za izračun i uporabu indeksa ljudskog razvoja, kao pokazatelja kvalitete ljudskog života, proizašla je iz shvaćanja da sami ekonomski pokazatelji, poput BDP-a nisu dovoljno dobri pokazatelji kvalitete života te da je važno uključiti i druge aspekte kvalitete ljudskog života. Stoga se za izračun indeksa ljudskog razvoja koriste tri vrlo važne društvene i ekonomske dimenzije temeljene na kvalitetama ljudskog života, obrazovanja te životnog standarda [3]. Prema Izvješću o ljudskom razvoju iz 2020. godine (engl. *Human Development Report – HDR*) tri ključne dimenzije, na kojima se temelji računanje indeksa ljudskog razvoja, jesu dug i zdrav život, obrazovanje te pristojan životni standard. Za svaku se dimenziju koriste posebno odabrani pokazatelji. Kao pokazatelj dugog i zdravog života koristi se očekivani životni vijek pri rođenju. Pokazatelji dimenzije obrazovanja jesu očekivano

trajanje školovanja djece te prosječno trajanje školovanja za odrasle osobe starosti 25 ili više godina. Pristojan životni standard opisuje se bruto nacionalnim dohotkom po glavi stanovnika prilagođen paritetu kupovne moći [4, 5]. Nadalje, za svaku se dimenziju računa indeks prema općenitoj formuli 2.1 [4]:

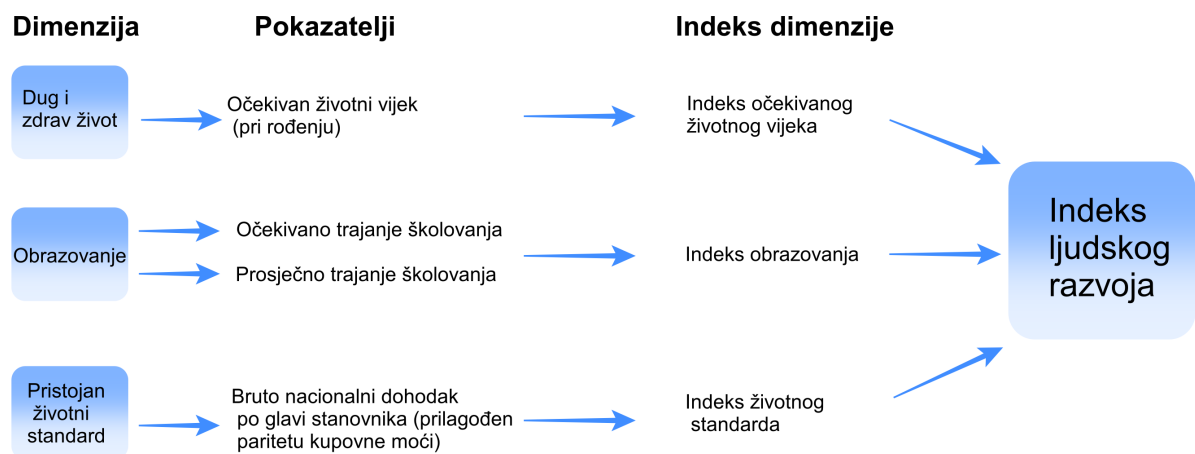
$$\text{Indeks dimenzije} = \frac{\text{stvarna vrijednost} - \text{najmanja vrijednost}}{\text{najveća vrijednost} - \text{najmanja vrijednost}} \quad (2.1)$$

Važno je napomenuti da se formulom 2.1 indeksi normiraju, odnosno da mogu poprimiti vrijednosti između 0 i 1. Također, kako se dimenzija obrazovanja opisuje pomoću dva indeksa, potrebno je prvo izračunati pojedinačne vrijednosti svakog indeksa i potom izračunati aritmetičku sredinu dobivenih rezultata, kako bi se dobila jedna vrijednost indeksa obrazovanja. Naposljetku se računa geometrijska sredina indeksa ljudskog zdravlja, obrazovanja te životnog standarda, odnosno indeks ljudskog razvoja (HDI) prema sljedećoj formuli:

$$\text{HDI} = \sqrt[3]{I_{\text{zdravlje}} \cdot I_{\text{obrazovanje}} \cdot I_{\text{standard}}} \quad (2.2)$$

gdje su I_{zdravlje} , $I_{\text{obrazovanje}}$ te I_{standard} sljedećom vrijednost indeksa ljudskog zdravlja, obrazovanja te životnog standarda [4].

Na slici 2.1 nalazi se shematski prikaz dimenzija te pripadnih pokazatelja i indeksa potrebnih za računanje indeksa ljudskog razvoja [5].



Slika 2.1: Shematski prikaz parametara potrebnih za računanje indeksa ljudskog razvoja (Izvor: [5])

Vrijednost indeksa ljudskog razvoja može se podijeliti u četiri kategorije prikazane u tablici 1.

Tablica 1: Kategorizacija indeksa ljudskog razvoja

(Izvor: [4])

Raspon indeksa	Kategorija
$\geq 0,800$	Vrlo visok
0,700 - 0,799	Visok
0,550 - 0,699	Srednji
$<0,550$	Nizak

Prema navedenim kategorijama, moguće je rangirati zemlje ili regije prema razvijenosti, odnosno prema indeksu ljudskog razvoja. Svake godine UNDP izrađuje listu zemalja rangiranih prema indeksu ljudskog razvoja, što omogućava lako praćenje razvoja zemlje ili određenog područja. U konačnici, indeks ljudskog razvoja jest jedan od najboljih pokazatelja ljudskog razvoja jer sadržava kombinaciju najvažnijih društvenih i ekonomskih pokazatelja odgovornih za gospodarski razvoj zemalja te većih ili manjih regija [3].

2.2 Utjecaj dušika na okoliš

Dušik (N) jedan je od biogenih elemenata, odnosno elemenata od kojih su izgrađena sva živa bića. Biogeni elementi javljaju se u živim bićima u organskom ili anorganskom obliku i neophodni su za normalno funkcioniranje svih organizama, a može ih se podijeliti u dvije skupine. Makroelementi su biogeni elementi koji čine gotovo 99 % ukupne mase živih tvari. U makroelemente ubrajaju se: ugljik (C), dušik (N), vodik (H), fosfor (P), kisik (O), sumpor (S), natrij (Na), kalcij (Ca) i kalij (K). S druge strane, mikroelementi čine 0,001 % ukupne mase živih tvari, a neki od mikroelemenata su: jod (I), selenij (Se), litij (Li), krom (Cr), mangan (Mn), željezo (Fe), bakar (Cu) te kobalt (Co) [6, 7]. Osim što je jedan od biogenih makroelemenata, dušik je i najzastupljeniji plin Zemljine atmosfere, pri čemu udio dušika u atmosferi iznosi približno 78 %.

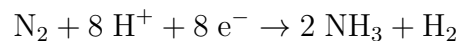
2.2.1 Ciklus dušika

Iako dušik prevladava u sastavu Zemljine atmosfere, većina živih organizama ne može upotrijebiti atmosferski dušik (N_2), već druge oblike dušika koji nastaju procesom kruženja dušika,

odnosno dušičnih spojeva, u prirodi. Taj se proces naziva ciklusom dušika. Ciklus dušika jest biogeokemijski ciklus u kojem dušik kruži između žive i nežive prirode, prolazeći kroz razne transformacije u kojima nastaju različiti dušični spojevi [8, 9]. Ciklus dušika sastoji se od sljedećih reakcija:

- fiksacija dušika
- asimilacija dušika
- amonifikacija
- nitrifikacija
- denitrifikacija.

Fiksacija dušika jest proces u kojem atmosferski dušik prelazi u anorganski oblik, koji je dostupan mikroorganizmima i biljkama, a u konačnici i životinjama te ljudima. Fiksacija dušika može biti abiotska ili biotska. U gotovo 90 % slučajeva fiksacija je biotska, odnosno odvija se djelovanjem određenih bakterija te modrozelenih algi. Rjeđe se vrši prirodna abiotska fiksacija, odnosno fiksacija u kojoj ne djeluju mikroorganizmi, već dolazi do stvaranja dušičnih spojeva iz atmosferskog dušika djelovanjem ultraljubičastog zračenja te atmosferskog električnog pražnjenja. Osim prirodne abiotske fiksacije, moguće je postići fiksaciju ugljika i na umjetan način Haber-Boschovim postupkom [9, 10] te probojem električnih uređaja. Fiksacijom dušika nastaju nitrati te amonijak koji se, u procesu asimilacije, ugrađuju u tkiva algi i biljaka, a potom i u tkiva životinja [8, 9]. Fiksacija dušika može se prikazati kemijskom jednadžbom:

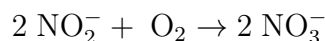


Otpadne produkte metabolizma živih bića te uginula bića razgrađuju mikroorganizmi u procesu amonifikacije. Amonifikacijom se razgrađuje dušik iz organskih spojeva (npr. aminokiselina, DNK i proteina) u anorganski oblik dušika, odnosno u amonijak (NH_3) ili amonijev ion (NH_4^+) vraćajući dušik u oblik pogodan za hranjenje mikroorganizama i biljaka [8]. Amonijak nastao u procesu amonifikacije, može napustiti tlo u procesu volatizacije ili može prijeći u druge dušične spojeve, ovisno o uvjetima u kojima se nalazi tlo [9].

Sljedeći važan korak ciklusa dušika jest nitrifikacija. Nitrifikacija je proces oksidacije amonijaka iz tla pri čemu nastaju nitrati (NO_3^-), koji su od iznimne važnosti za rast biljaka. Nitrifikacija se vrši pomoću nitrificirajućih bakterija u dva koraka. Prvi korak jest nitritacija, odnosno oksidacija amonijaka do nitrita. Kemijska jednadžba nitritacije jest:

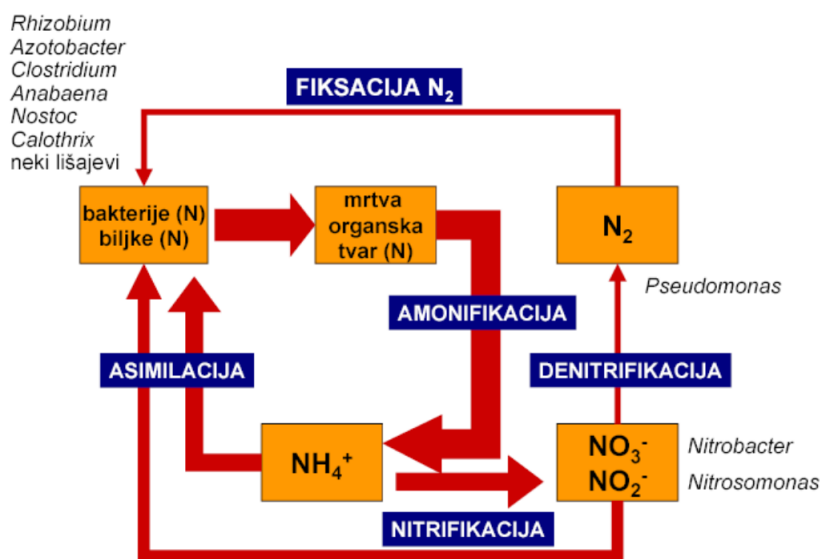


Drugi korak jest nitratacija, to jest oksidacija nitrita do nitrata. Nitratacija se prikazuje sljedećom kemijskom jednađbom [9]:



Denitrifikacija jest proces suprotan od nitrifikacije. Procesom denitrifikacije nitrati se reduciraju do plinovitog dušika. Ona se odvija u anaerobnim uvjetima, odnosno u tlima siromašnim kisikom te u vrlo vlažnim tlima ili u jezerskim i morskim sedimentima, uz pomoć mikroorganizama, prvenstveno denitrificirajućih bakterija. Denitrifikacija može uzrokovati negativne posljedice u poljoprivredi jer prevelik gubitak dušika iz tla može naštetiti usjevu, što može rezultirati novčanim gubicima. S druge strane, denitrifikacija jest izuzetno važna u procesu pročišćavanja otpadnih voda jer se njome uklanjaju neželjeni nitrati iz istjecaja, čime se smanjuje mogući nastanak neželjenih posljedica (npr. cvjetanja mora) uzrokovanih ispuštanjem vode iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda [8, 9].

Na slici 2.2 nalazi se shematski prikaz ciklusa dušika, pri čemu su navedeni organizmi koji aktivno sudjeluju u biokemijskim reakcijama ciklusa dušika [11].



Slika 2.2: Shematski prikaz ciklusa dušika i organizama koji sudjeluju u njemu
(Izvor: [11])

Dušik je najzastupljeniji plin u Zemljinoj atmosferi i neophodan je dio kopnenih i vodenih ekosustava jer je, uz fosfor, jedna od osnovnih hranjivih tvari za alge i bilje, kojima se hrane i

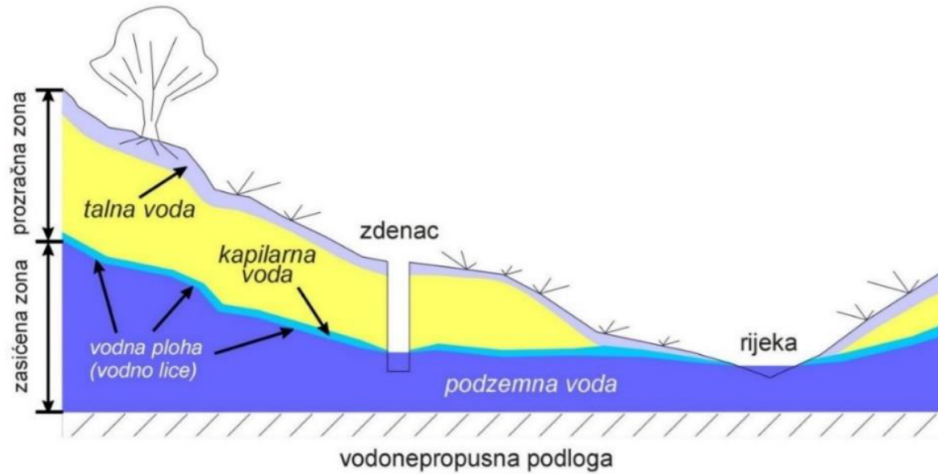
ostali organizmi ekosustava. Intenzivnom poljoprivredom mogu se iscrpiti hranjive tvari u tlu te je potrebno dodati gnojiva kako bi se nadomjestio gubitak hranjivih tvari. No, biljke često ne mogu apsorbirati sve hranjive tvari pa može doći do ispiranja hranjivih tvari u rijeke, jezera ili mora. Naglo povećanje količine hranjivih tvari (spojeva dušika i fosfora) u vodi, uzrokuje prekomjernu primarnu proizvodnju organskih tvari pri čemu se značajno smanjuje razina kisika u vodi, što može naštetiti biljnim i životinjskim vrstama tog ekosustava. Ovaj se proces naziva eutrofikacija, inače je proces prirodan i dugotrajan, bez štetnog utjecaja na ekosustav, no ljudskim djelovanjem, poput poljoprivrede i neispravnog gospodarenja otpadom, eutrofikacija se odvija vrlo brzo s negativnih posljedica na zahvaćene ekosustave [12].

Kako bi se smanjila eutrofikacija uzrokovana ljudskom djelatnošću, potrebno je odgovornije gospodariti otpadom te prijeći na održivu poljoprivredu. S druge strane, važno je poznavati i načine širenja onečišćujućih tvari u tlu, kako bi se mogle predvidjeti, spriječiti ili pratiti moguća onečišćenja.

2.2.2 Protjecanje podzemne vode

Podzemna voda jest voda koja se nalazi ispod površine Zemlje u porama tla i u stijinama. Prema načinu nastajanja razlikuju se tri vrste podzemnih voda. Većina podzemne vode jest vadozna voda, ona nastaje poniranjem oborina te kopnenih voda u tlo. Juvenilna voda nastaje kondenzacijom vodene pare iz magmatskih stijena te sintezom kisika i vodika, a konatna voda jest voda koja se nalazi zarobljena u sedimentnim stijinama tijekom procesa taloženja [13]. Prodiranje vode u tlo ovisi o zasićenosti tla vodom, propusnosti stijena, prekrivenosti tla vegetacijom te o nagibu površine i količini oborina [14]. Na slici 2.3 nalazi se shematski prikaz podzemne vode.

Atmosferska voda kreće se kroz tlo dok ne dođe do vodonepropusne podloge. Područje iznad vodonepropusne podloge može se podijeliti na prozračnu zonu (nezasićenu zonu) te na zasićenu zonu. Karakteristika zasićene zone jest potpuna ispunjenost pukotina u stijinama te pora u tlu vodom, a voda u zasićenoj zoni naziva se vodom temeljnicom ili podzemnom vodom u užem smislu. Granica zasićene i prozračne zone naziva se vodnom plohom ili vodnim licem. Položaj vodnog lica ovisi o karakteristikama propusnih i nepropusnih slojeva, poput dubine, sastava i debljine, te o intenzitetu isparavanja i istjecanja vode na površinu [13, 14]. Talna voda jest voda zadržana u tlu nakon procjeđivanja vode u tlo.



Slika 2.3: Podzemna voda
(Izvor: [13])

Talna se voda nalazi u prozračnoj zoni, a prozračna zona jest područje iznad vodne plohe, sve do površine Zemlje te nije u potpunosti ispunjena vodom. Prozračnom zonom, pod utjecajem gravitacijske sile, procjeđuje se površinska voda koja prihranjuje podzemnu vodu. Zbog djelovanja međumolekulskih sila, dolazi do zadržavanja vode u prozračnoj zoni. Također, dio vode može se zadržati neposredno iznad vodne plohe u prozračnoj zoni, pri čemu se ta voda naziva kapilarnom vodom [13].

Protjecanje podzemne vode matematički se može opisati pomoću Darcyjevog zakona. Koristeći pretpostavke:

- konstantna gustoća vode
- laminarni tok vode te
- heterogenost vodonosnika uz podudarnost smjerova anizotropije s koordinatnim osima

Darcyjev zakon, za opis trodimenzionalnog gibanja podzemne vode, poprima sljedeći oblik:

$$\mathbf{q} = -\mathbf{K}\nabla h = - \begin{pmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{pmatrix} \nabla h \quad (2.3)$$

gdje je: \mathbf{q} vektor protoka vode, \mathbf{K} tenzor hidrauličke vodljivosti, K_{xx} , K_{yy} , i K_{zz} vrijednosti hidrauličke vodljivosti duž koordinatnih osi x, y i z te ∇h gradijent hidrauličkih visina [15]. Koristeći izraz 2.3 dobiva se diferencijalna jednačba za izračun toka podzemne vode:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + q_s = 0 \quad (2.4)$$

pri čemu je K_{ii} tenzor hidrauličke vodljivosti, h razina podzemne vode i q_s volumetrijski tok, odnosno količina vode koja ulazi ili izlazi iz promatranog sistema u jedinici vremena [16].

2.2.3 Širenje onečišćavala podzemnom vodom

Hranjive tvari poput spojeva fosfora i dušika izrazito su topive u vodi, a nošenjem hranjivih tvari vodom kroz tlo, može doći do zagađenja podzemne vode, koja se najčešće koristi za piće. Prema [16], dušični se spojevi najčešće prenose vodom procesima advekcije i disperzije. Stoga se, uz pretpostavku da je onečišćujuća tvar kemijski inertna te da ne dolazi do razgradnje onečišćujuće tvari, za matematički opis širenja onečišćujućih tvari podzemnom vodom može koristiti advekcijsko-disperzijska jednačba dana izrazom 2.5,

$$\frac{\partial(nC)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(nD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (nv_i C) + q_s C_s \quad (2.5)$$

gdje je:

C - koncentracija onečišćujuće tvari (M/L^3),

n - poroznost tla,

t - vrijeme (T),

x_i - udaljenost duž odgovarajuće koordinatne osi u Kartezijevom koordinatnom sustavu (L),

D_{ij} - tenzor koeficijenta hidrodinamičke disperzije,

v_i - brzina toka podzemne vode (L/T),

q_s - tok po jediničnom volumenu vodonosnika, odnosno izvor ili ponor vode u vodonosniku ili iz vodonosnika (1/T) te

C_s - koncentracija izvora ili ponora onečišćujuće tvari [16].

Načini iskorištavanja zemlje razlikuju se ovisno o vrsti i stupnju razvoja gospodarstva na određenome području, pri čemu dolazi do ispuštanja različitih čestica, bilo hranjivih ili štetnih tvari, u tlo. Onečišćavajuće tvari ispuštene ljudskim aktivnostima mogu se lako prenositi zrakom ili vodom, a dolazeći u doticaj s tlom, mogu se prenijeti protjecanjem vode te onečistiti zahvaćene ekosustave i, u konačnici, onečistiti vodu i hranu namijenjenu za ljudsku potrošnju [12].

2.3 Učinak staklenika

2.3.1 Sastav Zemljine atmosfere

Zemljina atmosfera jest plinoviti sloj vezan uz Zemlju gravitacijskom silom [17]. Kemijski sastav Zemljine atmosfere prikazan je u tablici 2, pri čemu su zvjezdicom (*) označeni plinovi čiji udjeli u sastavu atmosfere variraju.

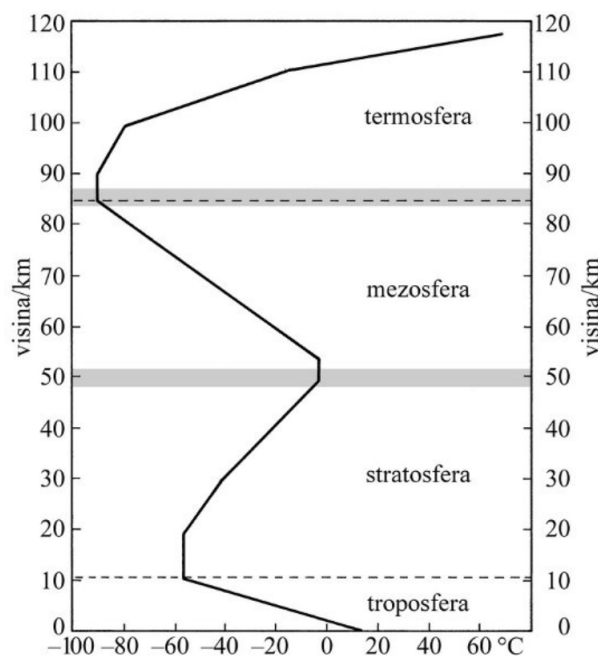
Tablica 2: Kemijski sastav Zemljine atmosfere

(Izvor: [18])

Plin	Udio
Dušik (N ₂)	78,08 %
Kisik (O ₂)	20,95 %
Argon (Ar)	0,93 %
Vodena para* (H ₂ O)	0-4 %
Ugljični dioksid* (CO ₂)	0,03 %
Neon (Ne)	0,0018 %
Helij (He)	0,0005 %
Metan* (CH ₄)	0,00017 %
Vodik (H ₂)	0,00005 %
Dušikov oksid* (N ₂ O)	0,00003 %
Ozon* (O ₃)	0,000004 %

Ovisno o promjeni temperature s porastom visine, razlikuje se nekoliko slojeva atmosfere, koji su prikazani na slici 2.4. Troposfera jest najniži sloj Zemljine atmosfere i u njemu se prosječno temperatura zraka smanjuje za 6,5 °C po kilometru visine. U troposferi se odvijaju svi meteorološki procesi. Visina troposfere varira u ovisnosti o geografskoj širini, na ekvatoru prosječna visina iznosi približno 16 km, dok se na umjerenim područjima granica troposfere nalazi između 7 i 11 km. U blizini ekvatora, temperatura na vrhu troposfere iznosi približno –80 °C, dok na polarnim i umjerenim područjima iznosi između –40 te –60 °C. Iznad troposfere nalazi se tropopauza, odnosno sloj debljine 1 do 2 km s približno konstantnom temperaturom.

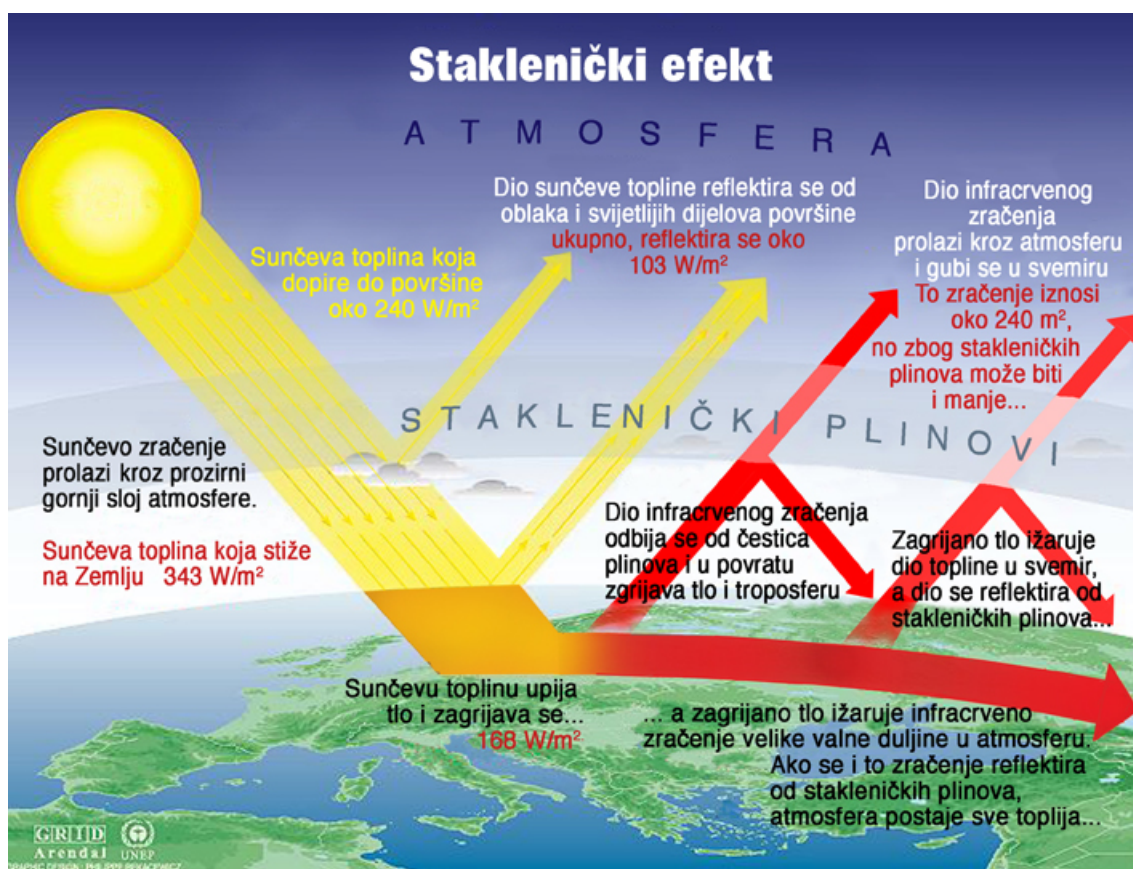
Tropopauza predstavlja granicu troposfere i stratosfere. Stratosfera je sloj koji se nalazi na visini do 50 km te u kojem temperatura raste s visinom. Najvažnije obilježje stratosfere jest da se u tom sloju nalazi ozonski omotač koji štiti Zemlju od negativnog utjecaja ultraljubičastog zračenja. Na kraju stratosfere nalazi se stratopauza te započinje mezosfera, atmosferski sloj koji se nalazi na visini između 50 i 80 km, u kojem temperatura zraka opada s visinom, pri čemu temperatura na vrhu mezosfere iznosi približno $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$. U mezosferi se odvija sagorijevanje meteorita. Iznad mezosfere nalazi se prijelazni sloj mezopauza, a nakon mezopauze nalazi se termosfera. Termosfera je atmosferski sloj koji se nalazi na visini od 80 do 500 km u kojem ponovno temperatura raste s visinom [17].



Slika 2.4: Podjela atmosfere na slojeve prema promjeni temperature s visinom
(Izvor: [17])

Sunčevo zračenje izvor je topline koji zagrijava Zemlju, a zahvaljujući svojstvima Zemljine atmosfere, prosječna temperatura pri površini Zemlje $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. No, do Zemljine površine dolazi samo mali dio upadnog Sunčevog zračenja. Količina Sunčeve energije, koja upadne okomito na jediničnu površinu na gornjoj granici Zemljine atmosfere u jedinici vremena, pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca, naziva se solarna konstanta. Iako vrijednost solarne konstante može varirati od 1365 do 1373 W/m^2 , najčešće se kao vrijednost solarne konstante uzima 1367 W/m^2 [17, 19]. Od ukupnog upadnog Sunčevog zračenja, koje padne na vrh Zemljine atmosfere, prosječno se godišnje 30% zračenja rasprši ili odbije natrag u svemir. Sunčevo se zračenje 20% odbija od oblake te 4% od površinu Zemlje, a 6% upadnog zračenja rasprši se u atmosferi. Zem-

ljina atmosfera i oblaci upijaju 19 % upadnog Sunčevog zračenja, dok 51 % upadnog zračenja dolazi do površine Zemlje, pri čemu se 23 % energije troši na isparavanje vodenih površina, 7 % energije troši se vođenjem topline i strujanjem zraka, a 21 % preostale energije emitira se u obliku dugovalnog infracrvenog zračenja natrag u atmosferu. Većinu reemitiranog zračenja sa Zemljine površine upijaju plinovi poput vodene pare, ugljikovog dioksida, dušikovog oksida i metana. Apsorbiranjem energije dolazi do porasta temperature atmosfere, a naposljetku se iz atmosfere dio dugovalnog infracrvenog zračenja emitira natrag prema Zemlji, a dio u svemir. Ovaj se prirodni proces zagrijavanja Zemljine površine i dijela atmosfere naziva učinkom staklenika, a plinovi koji upijaju dugovalno infracrveno zračenje nazivaju se stakleničkim plinovima [17, 20]. Staklenički učinak grafički je prikazan na slici 2.5. Vodena para, ugljikov dioksid, dušikov oksid i metan primjer su prirodnih stakleničkih plinova, dok su klorofluorouglici primjer umjetnih stakleničkih plinova, odnosno plinova koji se prirodno ne nalaze u Zemljinoj atmosferi.



Slika 2.5: Staklenički učinak
(Izvor: [21])

Osim sastavnih plinova, u atmosferi se nalaze lebdeće čestice, koje mogu biti prirodnog te

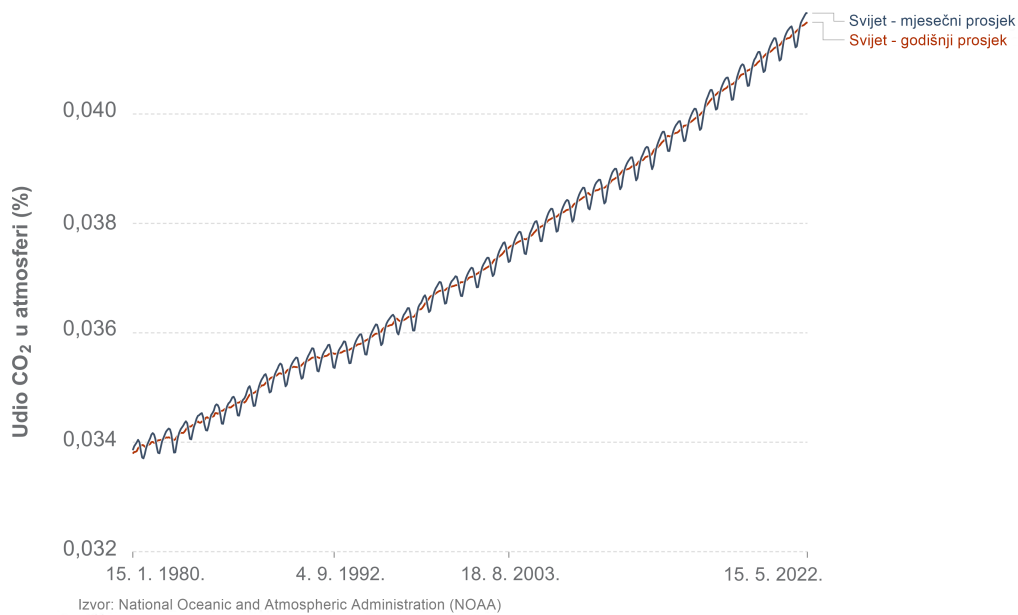
antropogenog podrijetla. Lebdeće čestice prirodnog podrijetla moguće je podijeliti na anorganske čestice (kristalići soli, pepeo i čestice nastale vulkanskim erupcijama) te organske čestice poput peludi i mikroorganizama. Ljudskim se djelovanjem, prvenstveno kao posljedica izgaranja fosilnih i biogoriva, spaljivanja šuma te emisija u industrijskim postrojenjima, u atmosferu oslobađaju čađa, olovni, sumporni i dušični spojevi te prirodni i umjetni staklenički plinovi. Antropogena emisija čestica i plinova može znatno naštetiti, ne samo Zemljinoj atmosferi, nego i kvaliteti života na Zemlji. Pojačanom emisijom dušičnih i sumpornih spojeva mogu nastati kisele kiše koje uništavaju okoliš te mogu naštetiti ljudskom zdravlju. Osim toga, emisijom klorofluorouglijka oštećuje se atmosferski ozonski sloj, koji služi kao zaštita od štetnog ultraljubičastog zračenja, što također može naštetiti ljudskom zdravlju [17]. Naposljetku, pojačana emisija stakleničkih plinova može uzrokovati porast globalne temperature, što posljedično uzrokuje klimatske promjene te intenzivnije i učestalije ekstremne vremenske pojave poput poplava, suša, toplinskih valova te šumskih požara [22, 23].

2.3.2 Emisija stakleničkih plinova

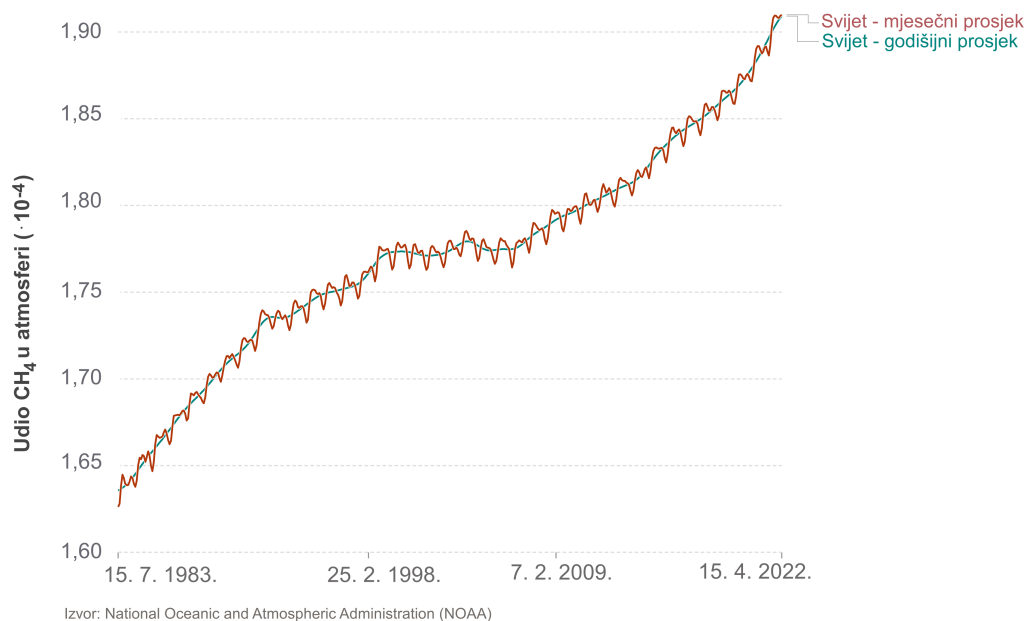
Razvoj industrije i globalizacija utjecali su na povećanje koncentracija stakleničkih plinova u Zemljinoj atmosferi. U usporedbi s predindustrijskim razdobljem, koncentracija dušikovog oksida porasla je 123 %, koncentracija ugljikovog dioksida porasla je 149 %, a koncentracija metana jest čak 262 % veća nego u predindustrijsko doba. Na slikama 2.6, 2.7 i 2.8 prikazane su promjene koncentracija, odnosno udjela u sastavu atmosfere, ugljikovog dioksida, metana i dušikovog oksida [22, 23].

Od svih stakleničkih plinova, ugljikov se dioksid najviše emitira ljudskim aktivnostima, prvenstveno spaljivanjem fosilnih goriva te proizvodnjom cementa. Čak 74,4 % ukupne količine emitiranih stakleničkih plinova čini CO_2 i on je staklenički plin koji najviše doprinosi porastu globalne temperature [22, 23].

17,3 % ukupnih emitiranih stakleničkih plinova čini metan. Otprilike 40 % emitiranog metana je uzrokovano prirodnim procesima, poput mikrobioloških aktivnosti na močvarnom području, dok je 60 % emitirano u atmosferu zbog ljudskog djelovanja kao što je uzgoj stoke te riže, odlaganje otpada, proizvodnja fosilnih goriva te spaljivanje biomase [22, 23].

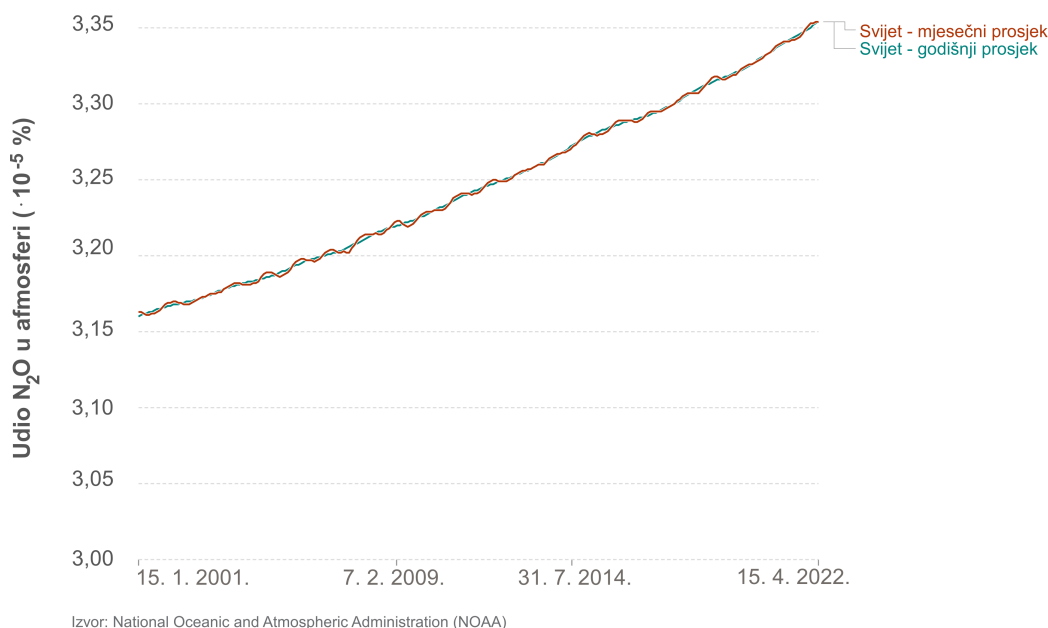


Slika 2.6: Udio CO₂ u atmosferi
(Izvor: [24])



Slika 2.7: Udio CH₄ u atmosferi
(Izvor: [25])

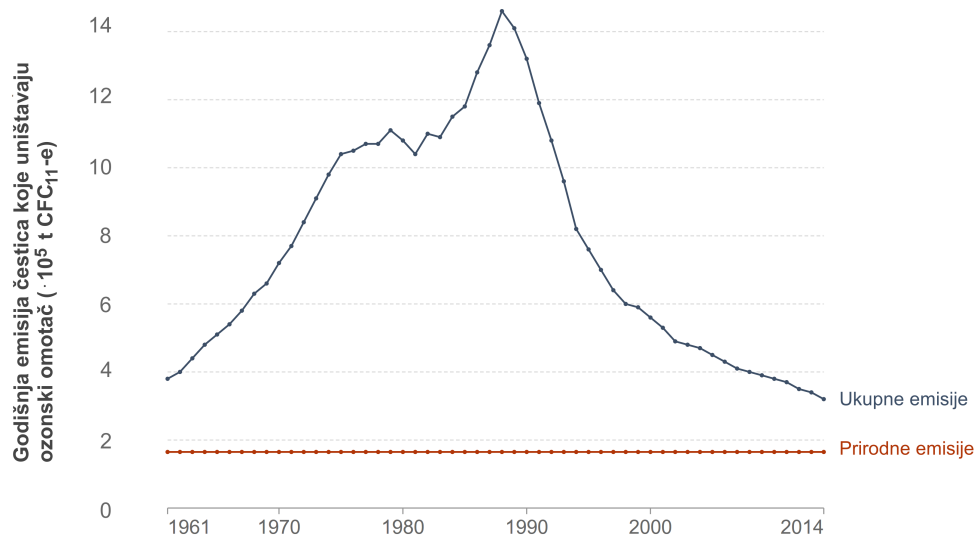
Dušikov oksid jest staklenički plin, ali ujedno i plin koji oštećuje ozonski omotač te čini otprilike 6,2 % ukupnih emitiranih stakleničkih plinova. Izvori dušikovog oksida mogu biti prirodni, uzrokovani mikrobiološkim aktivnostima u tlu i oceanima te antropogeni, poput uporabe gnojiva, raznih industrijskih procesa te spaljivanja biomase [22, 23].



Slika 2.8: Udio N_2O u atmosferi
(Izvor: [26])

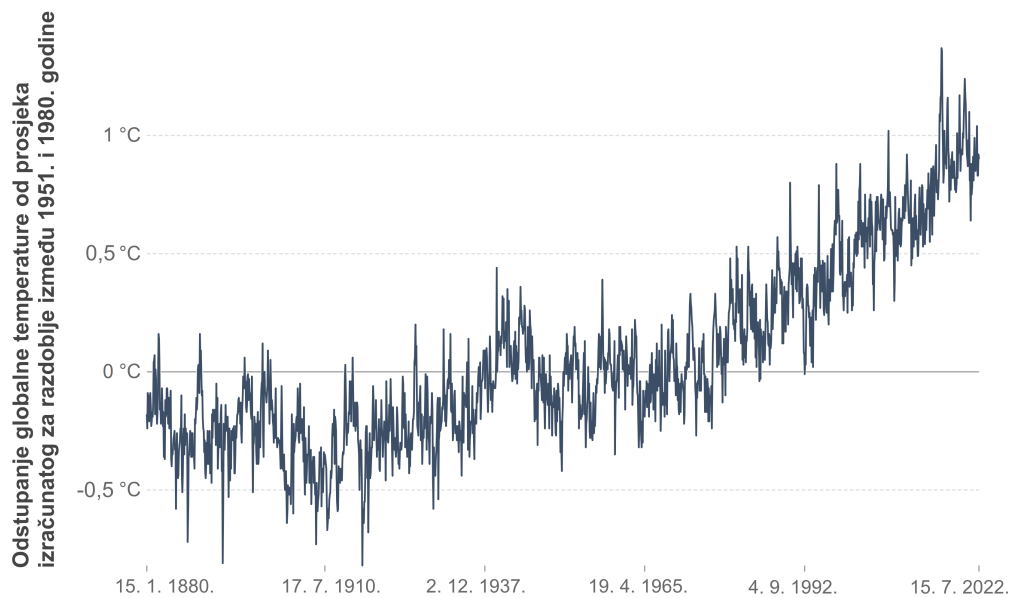
Iako čine samo 2,1 % ukupne količine emitiranih stakleničkih plinova, fluorirani staklenički plinovi ili F-plinovi, značajno pridonose porastu globalne temperature. U F-plinove ubrajaju se klorofluorougļjici (klasa spojeva CFC), hidroklorofluorougļjici (klasa spojeva HCFC), metilklorid i metil-bromid. Ovi plinovi, uz djelovanje ultraljubičastog zračenja, u stratosferi stvaraju radikale koji reagiraju s molekulama ozona i na taj način razaraju ozonski omotač. Klorofluorougļjici i hidroklorofluorougļjici umjetno su nastali plinovi povoljnih svojstava (bezbojni su, nisu otrovni niti zapaljivi), koji su se počeli sredinom 20. stoljeća masovno koristiti u industriji kao rashladni medij. No kada je primijećen negativan utjecaj tih spojeva na ozonski omotač, kako bi se ograničila njihova uporaba, potpisan je 1987. godine Montrealski protokol, a nekoliko godina kasnije ukupna količina tvari koje uništavaju ozonski omotač počela se smanjivati, kao što je prikazano na slici 2.9, pri čemu je količina emitiranih čestica izražena u tonama ekvivalenta kemijskog spoja CFC_{11} . Ova standardna mjera uzima u obzir potencijal tvari za oštećenje ozona [27].

Zbog povećanja koncentracije stakleničkih plinova na globalnoj razini te intenzivnijeg stakleničkog učinka, globalna temperatura također je u porastu.



Izvor: Hegglin et al. (2014). Twenty questions and answers about the ozone layer: 2014 update.

Slika 2.9: Količina emitiranih čestica koje uništavaju ozonski omotač (Izvor: [27])

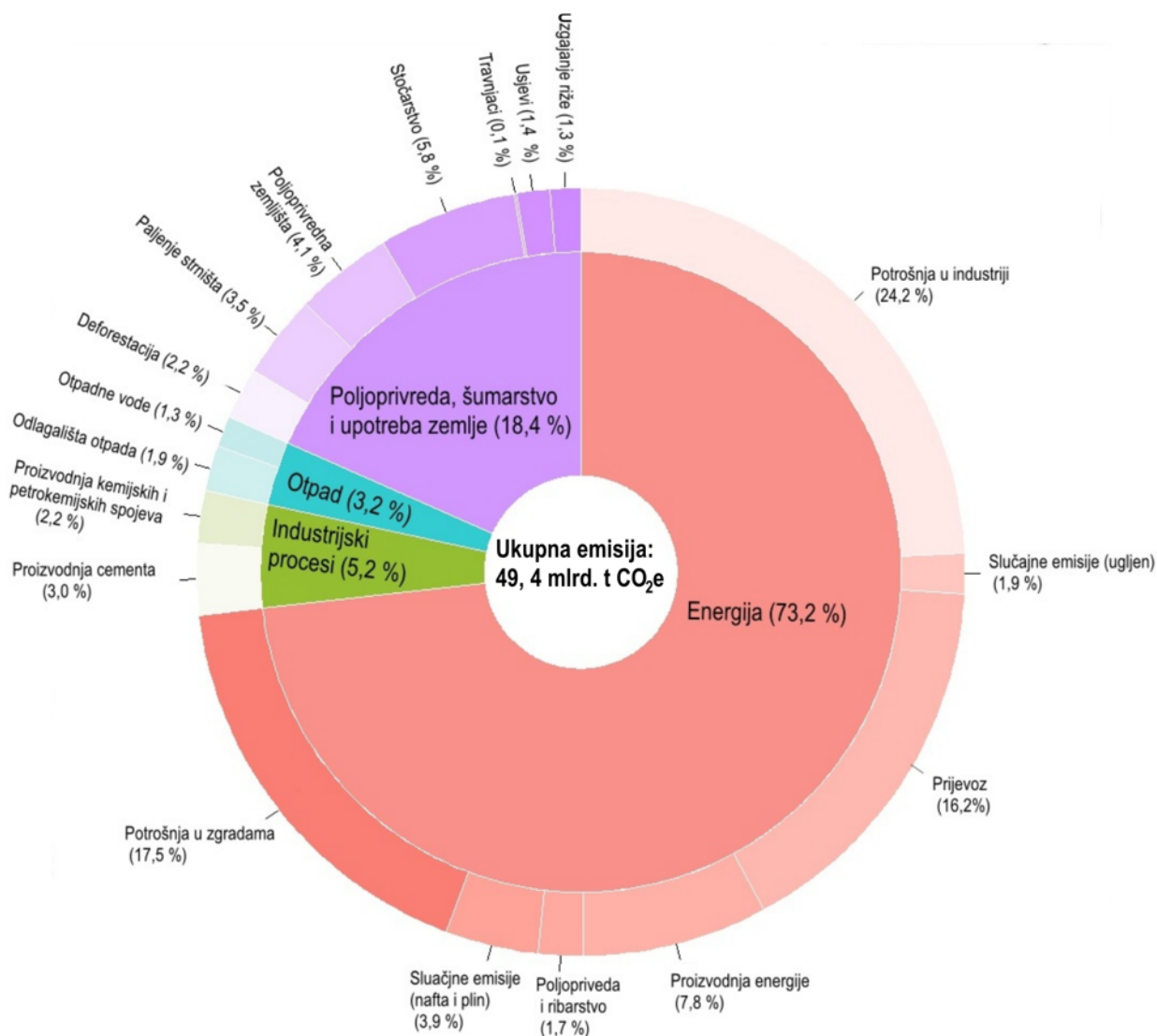


Izvor: National Aeronautics and Space Administration (NASA), Goddard Institute for Space Studies (GISS)

Slika 2.10: Odstupanje globalne temperature od prosjeka (Izvor: [28])

Na slici 2.10 prikazano je mjesečno odstupanje globalne temperature, pri čemu je uzeta u obzir temperatura zraka na površini Zemlje te temperatura iznad površine mora, od prosječne vrijednosti izračunate za razdoblje između 1951. i 1980. godine.

Količina i vrsta emitiranih stakleničkih plinova razlikuju se u ovisnosti o gospodarskom sektoru. Na slici 2.11 prikazan je doprinos pojedinog gospodarskog sektora ukupnoj globalnoj emisiji stakleničkih plinova prema podacima iz 2016. godine [29].



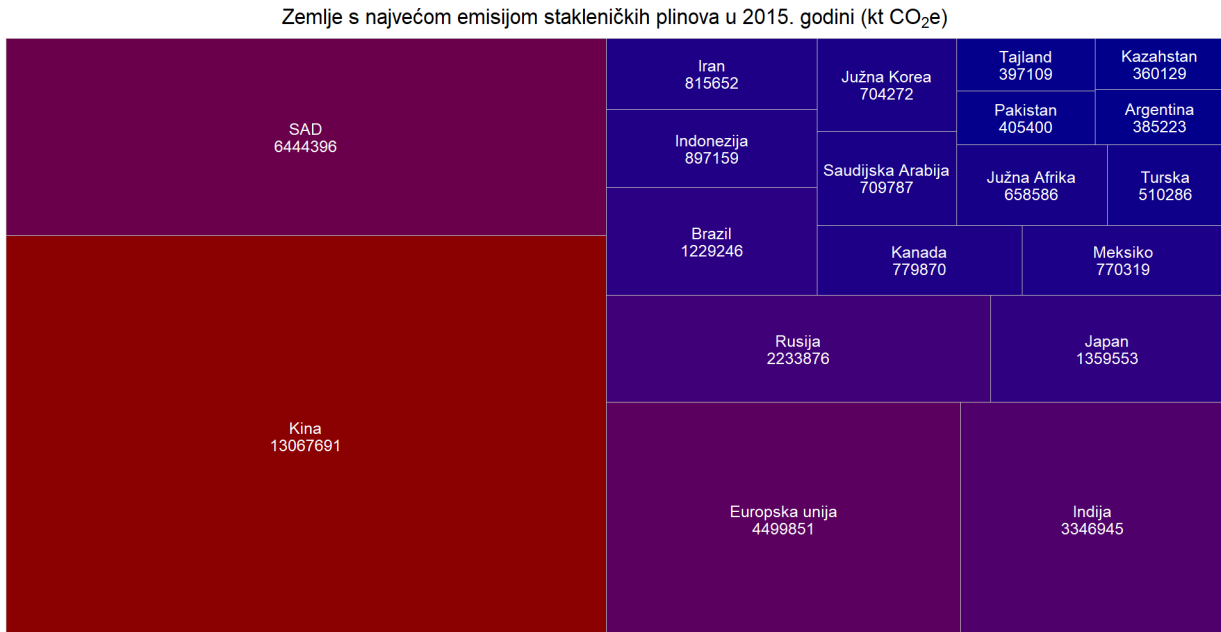
Slika 2.11: Emisija stakleničkih plinova po sektorima (podaci za 2016. godinu)
(Izvor: [29])

Od ukupne godišnje emisije globalnih plinova, koja iznosi približno 50 milijardi tona ekvivalenta ugljičnog dioksida (oznaka CO₂e), najviše stakleničkih plinova emitira se prilikom potrošnje energije dobivene iz neobnovljivih izvora (prvenstveno fosilnih goriva) u: zračnom, brodskom, željezničkom te cestovnom prijevozu i cijevnom transportu plina, nafte ili vode, stambenim i nestambenim zgradama te u industrijskim postrojenjima za proizvodnju i obradu

željeza, čelika te ostalih metala, proizvodnju prehrambenih proizvoda i duhana, papira, strojeva, tekstila itd. Industrijski procesi proizvodnje cementa i amonijaka stvaraju ugljikov dioksid kao nusprodukt u kemijskim reakcijama te na taj način pridonose globalnoj emisiji stakleničkih plinova. Osim toga, dio stakleničkih plinova otpušta se u atmosferu slučajno prilikom crpljenja i transporta nafte i plina, vađenja ugljena, te prilikom namjernog spaljivanja plina na naftnim bušotinama ukoliko ne postoji infrastruktura za efikasan transport plina ili ukoliko transport nije ekonomski isplativ. Također, do emisije stakleničkih plinova dolazi i prilikom proizvodnje energije iz drugih izvora, poput proizvodnje električne energije u hidroelektranama, nuklearnim elektranama te proizvodnje električne energije i topline iz biomase. Razgradnjom organske tvari na odlagalištima otpada te u otpadnim vodama nastaju metan i dušikov oksid. Uporaba zemlje te poljoprivreda i šumarstvo znatno doprinose globalnoj emisiji stakleničkih plinova jer se degradacijom travnjaka, tla te zemljišta pod usjevima gubi ugljik iz tla i biomase, odnosno emitira se ugljikov dioksid [29]. Kako bi se poljoprivredno zemljište pripremlilo na ponovnu sjetvu, često se spaljuje strnište, čime se u atmosferu emitiraju ugljikov dioksid, metan i dušikov oksid. Osim toga, uporabom umjetnih gnojiva na poljoprivrednim površinama za proizvodnju hrane za životinje, poljoprivredne prehrambene i neprehrambene proizvode za ljude te za proizvodnju biogoriva emitira se dušikov oksid, a uzgojem riže i stoke emitira se znatna količina metana [29].

Kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova, rast globalne temperature te negativan utjecaj na klimu, bilo bi potrebno pronaći rješenja za svaki gospodarski sektor, što nije jednostavno. Na primjer, umjesto uporabe fosilnih goriva, mogli bi se koristiti obnovljivi izvori energije ili nuklearna energija. No, jedan od najvećih problema predstavlja smanjenje emisija povezanih uz proizvodnju i potrošnju hrane jer zbog rasta ljudske populacije raste potreba za proizvodnjom hrane, a time i potreba za uporabom veće količine umjetnih gnojiva. Način na koji bi se mogla smanjiti količina stakleničkih plinova emitirana konzumacijom hrane jest promjena prehrane te smanjenje otpada od hrane. Također, rješenje se nalazi i u poboljšanju poljoprivredne učinkovitosti te razvoju tehnologija koje bi hranu manjeg ugljičnog otiska učinile pristupačnijom [29].

Nadalje, količina emitiranih stakleničkih plinova razlikuje se i između država. Na slici 2.12 prikazane su države s najvećom emisijom stakleničkih plinova s pripadnim emisijama stakleničkih plinova izraženih u kilotonama ekvivalenta dušikovog dioksida, prema podacima za 2015. godinu [30].



Slika 2.12: Prikaz količine emitiranih stakleničkih plinova te zemalja s najvećom emisijom (Izvor: [30])

Pojačana emisija stakleničkih plinova često se veže uz gospodarski rast i razvoj pojedine države. No, emitirani staklenički plinovi ne zadržavaju se unutar političkih granica, nego se miješaju na globalnoj razini. Istraživanje [31] pokazalo je da klimatska ranjivost pojedine države ne mora nužno biti proporcionalna doprinosu te države globalnoj emisiji stakleničkih plinova. Na primjer, Kina kao najveći emiter stakleničkih plinova manje je osjetljiva na klimatske promjene od zemalja zapadnog i središnjeg dijela Afrike, čiji je doprinos globalnoj emisiji stakleničkih plinova vrlo malen. Također, pokazana je pozitivna korelacija između količine emitiranih stakleničkih plinova i BDP-a te negativna korelacija između BDP-a i klimatske ranjivosti. Drugim riječima, pokazano je da se klimatska ranjivost područja smanjuje s porastom BDP-a [31].

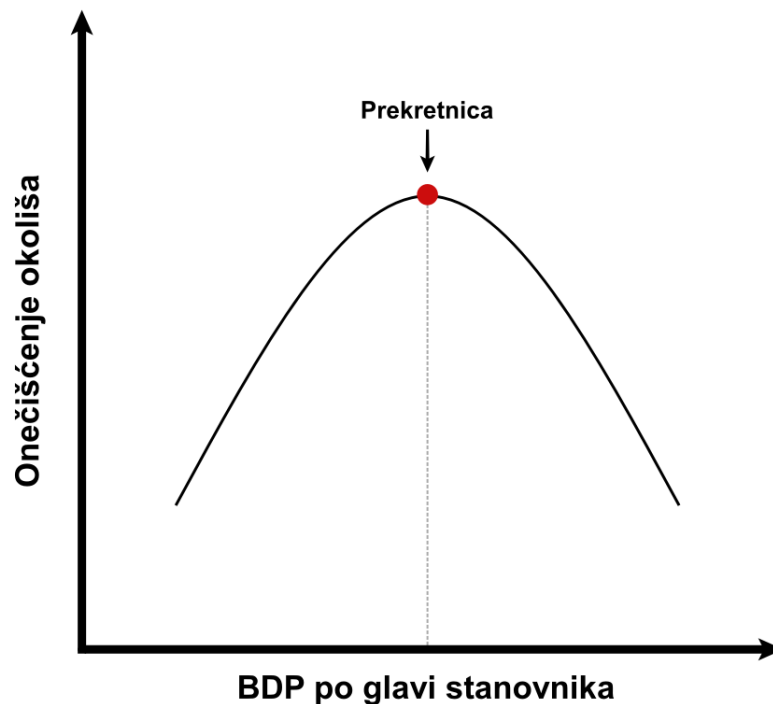
Iako se emisija stakleničkih plinova i njihov utjecaj na okoliš te kvalitetu ljudskog života razlikuje među državama, zajednički je cilj smanjiti porast globalne temperature, odnosno ograničiti promjenu globalne temperature ispod vrijednosti od 2 °C, koju znanstvenici smatraju graničnom vrijednosti iznad koje bi mogle nastati katastrofalne posljedice. Na primjer, Europska unija

nastoji smanjiti emisiju stakleničkih plinova te ublažiti negativne posljedice klimatskih promjena provođenjem sljedećih mjera. Za početak, preuzimanjem obaveza iz Pariškom sporazuma, Europska se unija obvezala smanjiti emisije stakleničkih plinova za 40 % ispod razina iz 1990. do 2030. godine. Europski Parlament usvojio je 2018. godine politiku čiste energije koja stavlja fokus na povećanje udjela potrošene obnovljive energije za 32 % do 2030. godine, usvajanja zakona o zgradama i kućanskim aparatima te poboljšanje energetske učinkovitosti za 32,5 % do 2030. godine. Nadalje, postavljanjem Sustava trgovine emisijama stakleničkih plinova (engl. *Emissions trading system* - ETS) nastoje se smanjiti industrijske emisije trgovinom dozvolama za svaku emitiranu tonu dušikovog dioksida. Odnosno, tvrtke koje više zagađuju, morat će više platiti. Također, kako bi se smanjile emisije proizašle iz ljudskih aktivnosti, donošenjem novih pravila nastoji se regulirati krčenje šuma, kako bi se mogao iskoristiti kapacitet šuma da pohrane ugljikov dioksid te smanje njegovu koncentraciju u atmosferi. No, zbog razlike u razvijenosti regija i zemalja, ne mogu sve zemlje jednako učinkovito provoditi mjere za borbu protiv klimatskih promjena. Kako bi se pomoglo u provedbi zelene tranzicije slabije razvijenih zemalja i regija, u kojima prevladava uporaba energije iz neobnovljivih izvora te čija je industrija iznimno ovisna o ugljenu, Europska komisija predstavila je početkom 2020. godine plan ulaganja za održivu Europu [32].

2.4 Kuznetsova krivulja za okoliš

Veza onečišćenja okoliša i BDP-a po glavi stanovnika može se grafički prikazati Kuznetsovom krivuljom za okoliš (engl. *Environmental Kuznets curve* - EKC). Koncept Kuznetsove krivulje za okoliš počeo se primjenjivati devedesetih godina prošloga stoljeća, a temelji se na Kuznetsovoj krivulji koja opisuje odnos između ekonomskog rasta i nejednakosti raspodjele dohotka. Kuznetsova krivulja karakterističnog je oblika naopakog slova U. Drugim riječima, početkom ekonomskog rasta nejednakost u raspodjeli dohotka nije velika, ali raste zajedno s ekonomskim razvojem sve do jedne točke nakon koje se razlika u dohotku počinje smanjivati. Sličan se koncept može primijeniti za promatranje kvalitete okoliša, uzimajući u obzir ovisnost BDP-a po glavi stanovnika te, na primjer, koncentracije onečišćujućih tvari štetnih po okoliš. U predindustrijskom i pretežno agrarnom društvu, niski su dohotci po glavi stanovnika, a štetan utjecaj na okoliš sveden je na minimum jer prevladava poljoprivredno gospodarstvo u kojem se primjenjuju primitivne tehnike obrade zbog nedostatka industrije. Razvojem industrije povećava se emisija štetnih tvari u okoliš, dolazi do promjena u okolišu (na primjer, gradnjom cesta, industrijskih postrojenja, gradova i sl.) te raste potreba za energijom. Kako bi se nastavio daljnji ekono-

mski razvoj, prvenstveno se koristi energija iz neobnovljivih izvora. Tek kada društvo dosegne određeni stupanj razvoja, može početi brinuti o okolišu i donošenjem zakona te primjenom novih tehnologija emitirati manje štetnih tvari u okoliš. U tom će slučaju daljnji rast i razvoj društva, odnosno povećanje BDP-a po glavi stanovnika, pratiti smanjenje emitiranih onečišćujućih tvari u okoliš [33].



Slika 2.13: Kuznetsova krivulja za okoliš

Iako bi i Kuznetsova krivulja za okoliš trebala biti oblika okrenutog slova U, kao što je prikazano na slici 2.13, brojna su istraživanja pokazala da se hipoteza Kuznetsove krivulje za okoliš ne može poopćiti za sva onečišćavala. Također, pokazalo se da Kuznetsova krivulja za okoliš najbliže opisuje koncentraciju onečišćujućih tvari u zraku, čije su koncentracije kratkoročne i lokalne. Onečišćujuće tvari, za koje vrijedi hipoteza Kuznetsove krivulje za okoliš jesu lebdeće čestice, dušikovi oksidi, sumporov dioksid te ugljični monoksid. No, odnos ostalih pokazatelja kvalitete okoliša, poput količine komunalnog otpada, ugljikovog dioksida, potrošnje energije i

sl. o BDP-u ne podupire hipotezu Kuznetsove krivulje za okoliš. Često se u razmatranjima odnosa kvalitete okoliša i BDP-a može javiti krivulja u obliku slova N, koja u početku izgleda poput Kuznetsove krivulje, ali u njoj se javlja druga prekretnica koja ukazuje na ponovni rast zagađenja s porastom BDP-a [33].

3 METODE I PODACI

Za istraživanje odnosa indeksa ljudskog razvoja te pokazatelja kvalitete okoliša korištena je statistička metoda analize panel podataka. Programski jezik **R** (verzija 4.2.1) korišten je za statističku obradu podataka [34]. Od metoda deskriptivne statistike korištene su aritmetička sredina i standardna devijacija, medijan te minimum i maksimum. U predobradi podataka provedeno je testiranje normalnosti distribucije podataka pomoću Shapiro-Wilkov testa. Kako se pokazalo da se podaci ne raspodjeljuju u skladu s normalnom distribucijom, za ispitivanje koreliranosti podataka korišten je Spearmanov koeficijent korelacije. Provedena je jednosmjerna analiza varijance kako bi se provjerilo razlikuju li se aritmetičke sredine promatrane varijable u različitim kategorijama indeksa ljudskog razvoja. Svi rezultati statističkog testiranja interpretirani su na razini statističke značajnosti od 5 %.

3.1 Panel analiza

Panel analiza statistička je metoda često korištena u mikroekonomiji, makroekonomiji, epidemiologiji, zdravstvenoj statistici te financijama [2]. U panel analizi jedinice promatranja većinom su prostorne jedinice poput država, gradova, kućanstava itd., koje je potrebno označiti indetifikatorom poput imena države, troslovne kratice države ili broja $i = 1, 2, \dots, N$. Identifikacija jedinica ključna je za računalnu obradu podataka, odnosno kako bi program prepoznao da se radi o panel podacima. Osim jedinica promatranja, u panel analizi koriste se i jedinice vremena, odnosno međusobno jednako udaljene vremenske točke ili intervali $t = 1, 2, \dots, T$ (npr. godine). U panel analizi svaka se varijabla prikazuje stupcem, pri čemu se svaka jedinica promatranja i kronološki ponavlja t puta. Također, u panel analizi može se pojaviti više nezavisnih varijabli [35].

3.1.1 Vrste podataka

Najčešći oblik podataka korištenih u empirijskim analizama jesu podaci vremenskog presjeka, podaci vremenskog niza te panel podaci. Podaci vremenskog presjeka (engl. *cross-sectional*

data) jesu podaci jedne ili više varijabli prikupljeni u određenoj vremenskoj točki [36]. U tablici 3 prikazane su vrijednosti indeksa ljudskog razvoja Austrije, Češke i Hrvatske izračunate za 2010. godinu. Tablica 3 primjer je podataka vremenskog presjeka.

Tablica 3: Podaci vremenskog presjeka (HDI u 2010. god.)

(Izvor: [37])

Država	HDI
Austrija	0,904
Češka	0,870
Hrvatska	0,815

Podaci vremenskog niza (engl. *time series*) jesu podaci jedne ili više varijabli prikupljeni tijekom vremena. Na primjer, podaci vremenskog niza mogu se prikupljati svakoga dana, mjeseca, godine ili desetljeća [36]. Tablica 4 prikazuje indeks ljudskog razvoja izračunatog za Hrvatsku u razdoblju između 2009. i 2011. godine. Tablica 4 primjer je podataka vremenskog niza.

Tablica 4: Vremenski niz (HDI za Hrvatsku u periodu 2009.-2011.)

(Izvor: [37])

Godina	HDI
2009	0,812
2010	0,815
2011	0,823

Kombiniranjem podataka vremenskog presjeka i vremenskog niza nastaju združeni podaci. Panel podaci predstavljaju poseban oblik združenih podataka čija je karakteristika da se u različitim vremenskim točkama pojavljuju iste vremenski presječene jedinice (npr. države) [36]. U tablici 5 prikazani su iznosi indeksa ljudskog razvoja izračunati u periodu od 2009. do 2011. godine za Austriju, Češku i Hrvatsku. Tablica 5 primjer je panel podataka.

Prema kriteriju dostupnosti podataka, panel podaci mogu se podijeliti na balansirane i nebalansirane podatke. Balansirani panel podaci imaju za svaku jedinicu promatranja (npr. državu), tijekom cijelog promatranog razdoblja te za sve varijable dostupne podatke. Tablica 5 primjer je balansiranih panel podataka. S druge strane, nebalansirani panel podaci su panel podaci u kojima nedostaju podaci za bilo koju varijablu u pojedinom razdoblju [38, 39].

Tablica 5: Panel podaci (HDI za Austriju, Češku i Hrvatsku u periodu 2009.-2011.)

(Izvor: [37])

Godina	Identifikator	Država	HDI
2009	AUT	Austrija	0,895
2010	AUT	Austrija	0,904
2011	AUT	Austrija	0,906
2009	CZE	Češka	0,866
2010	CZE	Češka	0,870
2011	CZE	Češka	0,874
2009	HRV	Hrvatska	0,812
2010	HRV	Hrvatska	0,815
2011	HRV	Hrvatska	0,823

3.1.2 Modeli panel podataka

Općenito, modeli (tj. metode obrade) panel podataka mogu se podijeliti na heterogene i homogene modele. Glavna je pretpostavka homogenih ili združenih (engl. *pooled*) modela da su za svaku promatranu jedinicu vrijednosti određenih parametara jednake. Heterogeni modeli dozvoljavaju variranje nekih ili svih parametara promatranih jedinica [2]. Nadalje, ovisno o zavisnoj varijabli, razlikuju se statički i dinamički modeli panel podataka. Glavna je karakteristika dinamičkih panel modela postojanje zavisne varijable koja je, ovisno o njenim svojstvima, pomaknuta unazad za jedan ili više vremenskih perioda. Drugim riječima, trenutna vrijednost zavisne varijable ovisi o prethodnim vrijednostima te varijable, dok kod statičkih modela to nije slučaj [38].

Neki od najčešće korištenih modela panel podataka su združeni model, model fiksnih efekata, model slučajnih efekata te generalizirana metoda momenata [2, 36, 38]. Združeni model primjer je homogenog modela, dok heterogenim modelima pripadaju model fiksnih te model slučajnih efekata [2]. Osim toga, generalizirana metoda momenata jest dinamički model, dok su združeni model, model fiksnih efekata te model slučajnih efekata primjeri statičkih modela [38]. Pomoću općenitog oblika linearnog modela, sažeto će se prikazati združeni model, model fiksnih efekata te generalizirana metoda momenata [36]. Opći oblik linearnog modela dan je izrazom 3.1:

$$y_{it} = \alpha_{it} + \beta_{1,it}x_{1,it} + \beta_{2,it}x_{2,it} + \dots + \beta_{K,it}x_{K,it} + \epsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (3.1)$$

pri čemu je:

N - broj jedinica promatranja i t broj vremenskih točaka,

y_{it} - vrijednosti zavisne varijable y za i -tu jedinicu promatranja u trenutku t ,

α_{it} - slobodni član za i -tu jedinicu promatranja u trenutku t ,

$x_{k,it}$ - vrijednost nezavisne varijable x_k za i -tu jedinicu promatranja u trenutku t ,

$\beta_{k,it}$ - nepoznati regresijski parametar k -te nezavisne varijable za i -tu jedinicu promatranja u trenutku t ,

ϵ_{it} - slučajna pogreška očekivane vrijednosti 0 i varijancom σ_e^2 za sve jedinice promatranja i u trenutku t [36].

U ovom se modelu pretpostavlja da, za svaku promatranu jedinicu te u svakom trenutku, zavisna varijabla drukčije reagira na promjene nezavisnih varijabli, što znači da je regresijski parametar svake jedinice promatranja specifičan za svaku vremensku točku. Zbog toga ovaj model nije moguće procijeniti jer je broj nepoznatih parametara $NT \cdot (K + 1)$ veći od broja dostupnih podataka u uzorku NT . Kako bi se riješio ovaj problem, potrebno je uvesti sljedeće pretpostavke. Najprije je potrebno pretpostaviti, za svaku jedinicu promatranja te u svakom trenutku, konstantnost regresijskih parametara uz nezavisne varijable, odnosno da vrijedi $\beta_{k,it} = \beta_k, \quad \forall i, t$ te da slobodni članovi mogu varirati. Preko slobodnih članova (α_{it}), koji su vremenski nepromjenjive varijable ili nepromjenjive po jedinicama promatranja, u model je uključena heterogenost između vremenskih točaka i jedinica promatranja [36]. Zatim, uz pretpostavku da se slobodni članovi razlikuju samo po jedinici promatranja α_i , model 3.1 poprima sljedeći oblik:

$$y_{it} = (\alpha + \alpha_i) + \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \dots + \beta_K x_{K,it} + \epsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (3.2)$$

pri čemu je α prosječna vrijednost slobodnog člana, α_i odstupanje slobodnog člana od prosječne vrijednosti te $(\alpha + \alpha_i)$ slobodni član i -te jedinice promatranja. Član α_i naziva se neuočena heterogenost ili individualni efekt i pomoću njega se u model uključuje heterogenost između jedinica promatranja. Način na koji promjena nezavisnih varijabli utječe na zavisnu varijablu procijenit će se pomoću združenog modela, modela fiksnih efekata te generalizirane metode momenata.

Združeni panel model (engl. *Pooled OLS model*) najjednostavniji je model panel podataka. Ovaj se model dobije uvrštavanjem $\alpha_i = 0$ u izraz 3.2 jer ovaj model pretpostavlja da za svaku promatranu jedinicu, sve zavisne varijable reagiraju jednako na promjenu nezavisnih varijabli [36], odnosno model ne uzima u obzir heterogenost između jedinica promatranja. Združeni panel model dan je izrazom:

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \dots + \beta_K x_{K,it} + \epsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (3.3)$$

Slobodan član α konstantan je i jednak za sve jedinice promatranja [38]. Uz pretpostavku da nema heterogenosti među jedinicama promatranja te da su $x_{K,it}$ i ϵ_{it} međusobno neovisne varijable, za pronalaženje nepristranog, konzistentnog i efikasnog *poolOLS* procjenitelja, sljedeće pretpostavke moraju biti nužno zadovoljene [36, 38]:

- ϵ_{it} jesu nezavisno i identično raspodijeljene nasumične varijable s $\mathbb{E}(\epsilon_{it}) = 0$ te $Var(\epsilon_{it}) = \sigma_\epsilon^2$
- $Cov(x_{K,it}, \epsilon_{it}) = \mathbb{E}(x_{K,it}\epsilon_{it}) = 0$
- $Cov(y_{it}, y_{js}) = \mathbb{E}(y_{it}y_{js}) = 0$
- $Cov(\epsilon_{it}, \epsilon_{js}) = \mathbb{E}(\epsilon_{it}\epsilon_{js}) = 0$
 $\forall i, j = 1, \dots, N, \forall s, t = 1, \dots, T.$

No, zbog specifičnosti panel podatka, podaci o promatranoj jedinici mjere se u više vremenskih točaka te nije moguće očekivati međusobnu nekoreliranost grešaka te nekoreliranost grešaka i nezavisnih varijabli u različitim vremenskim točkama. Stoga, nužne pretpostavke nisu zadovoljene i primjena ovog modela rezultirala bi pristranim i nekonzistentnim procjenama parametara [38].

Prilikom provođenja analize panel podataka, važno je u model uključiti karakteristike promatranih jedinica. Model fiksnih efekata jednostavan je model koji direktno, preko slobodnih članova konstantnih u vremenu α_i , uključuje individualne efekte promatranih jedinica [36, 38]. Model fiksnih efekata dan je sljedećim izrazom [38]:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{1,it} + \beta_2 x_{2,it} + \dots + \beta_K x_{K,it} + \epsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (3.4)$$

Ovaj model pretpostavlja: da su ϵ_{it} nezavisno i identično raspodijeljene varijable s očekivanom vrijednosti 0 i varijancom σ_ϵ^2 , međusobnu nekoreliranost slučajnih grešaka grešaka te nekoreliranost nezavisnih varijabli i slučajnih grešaka za sve jedinice promatranja i sve vremenske točke. Model fiksnih efekata može se procijeniti na više načina, a jedan od njih je procjena uvođenjem pomoćnih (engl. *dummy*) varijabli [36, 38], pri čemu izraz 3.4 poprima sljedeći oblik [36]:

$$y_{it} = \alpha + \alpha_1 D_{1i} + \dots + \alpha_{(N-1)} D_{(N-1)i} + \beta_1 x_{1,it} + \dots + \beta_K x_{K,it} + \epsilon_{it} \quad i = 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T \quad (3.5)$$

D_{ij} pomoćne su varijable za koje vrijedi:

$$D_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{za } i = j, \quad j = 1, \dots, N - 1 \\ 0, & \text{inače} \end{cases}$$

Model 3.5 naziva se LSDV model (engl. *least squares dummy variable*). U ovom se modelu, s ciljem smanjenja multikolinearnosti, od ukupno $N - 1$ pomoćnih varijabli, eliminira jedna pomoćna varijabla te se koristi kao referentna jedinica s kojom se preostale jedinice promatranja uspoređuju. Svojstva procjenitelja ovise o veličini uzorka, odnosno o broju vremenskih točaka te broju jedinica promatranja dostupnih u uzorku. U slučaju kada je broj vremenskih točaka T fiksiran, a broj jedinica se povećava, odnosno $N \rightarrow \infty$, tada broj koeficijenata uz pomoćne varijable α_j također teži u beskonačnost, čime procjene postaju nekonzistentne. Drugim riječima, povećavanje broja promatranih jedinica uz fiksiran broj vremenskih točaka, neće rezultirati boljom procjenom modela fiksnih efekata. S druge strane, kada broj vremenskih točaka $T \rightarrow \infty$, uz fiksiran broj jedinica promatranja N , procjenitelj modela fiksnih efekata jest konzistentan [36, 38].

Združeni model bio bi pogodan za procjenu u slučaju kada podaci jedne promatrane jedinice u vremenu nisu korelirani, što je rijetkost. No, združeni model predstavlja osnovu za izvođenje naprednijih modela. Potreba za korištenjem modela fiksnih efekata ispituje se pomoću uobičajenog F-testa. Potrebno je ispitati nultu hipotezu o jednakosti konstantnih članova za svaku jedinicu promatranja. Ako rezultati testa pokazuju da se nulta hipoteza odbacuje, tada je opravdana uporaba ovog modela, ali ako rezultati testa pokažu da se nulta hipoteza ne odbacuje, model fiksnih efekata ne može se primijeniti jer neće dati dobru procjenu te je potrebno koristiti jednostavni združeni model [38].

Dinamički panel modeli koriste se kada trenutna vrijednost zavisne varijable ovisi o prethodnim vrijednostima te varijable, što je vrlo čest slučaj u empirijskim istraživanjima. Dinamički panel model u kojem je zavisna varijabla pomaknuta za jednu vremensku točku dan je sljedećim izrazom [38]:

$$\begin{aligned}
 y_{it} &= \mu + \gamma y_{i,t-1} + \beta_1 x_{it1} + \beta_2 x_{it2} + \dots + \beta_K x_{itK} + \alpha_i + \epsilon_{it} \\
 i &= 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T, \quad k = 1, \dots, K
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

pri čemu N , T i K predstavljaju ukupne brojeve promatranih jedinica, vremenskih točaka i nezavisnih varijabli, respektivno. Odnosno, x_{itk} predstavlja vrijednost k -te nezavisne varijable i -te promatrane jedinice u vremenskoj točki t . Nadalje, y_{it} jest zavisna varijabla koja ovisi o vlastitoj prethodnoj vrijednosti $y_{i,t-1}$, α_i jest slučajni ili fiksni efekt, a β_k su parametri nezavisnih varijabli koje je potrebno procijeniti. Kao i u prethodnim modelima, pretpostavlja se da su greške relacije ϵ_{it} nezavisno i identično distribuirane sa srednjom vrijednosti 0 te varijancom σ_ϵ^2 . Zbog ovisnosti trenutačne vrijednosti zavisne varijable $y_{i,t}$ o vrijednosti zavisne varijable

pomaknute u vremenu $y_{i,t-1}$ javlja se koreliranost varijabli $y_{i,t-1}$ te α_i . Kada bi se ovaj model procijenio *pooled OLS* metodom, procjena parametara bila bi pristrana i nekonzistentna. Stoga je potrebno pronaći drugu metodu procjene parametara u dinamičkom panel modelu. Jedan od načina procjene parametara ovoga modela jest primjena generalizirane metode momenata (engl. *generalized method of moments* - GMM) [38, 39, 40]. Generalizirana metoda momenata pogodna je za primjenu kada panel podaci prikazuju velik broj promatranih jedinica u relativnom kratkom razdoblju, odnosno kada je N velik, a T mali. Za početak, kako bi se eliminirali slučajni efekti, računa se prva diferencija na sljedeći način:

$$\begin{aligned}
 y_{it} - y_{i,t-1} &= \gamma(y_{i,t-1} - y_{i,t-2}) + \beta_1(x_{it1} - x_{i,t-1,1}) + \beta_2(x_{it2} - x_{i,t-1,2}) + \\
 &\quad \dots + \beta_K(x_{itK} - x_{i,t-1,K}) + (\epsilon_{it} - \epsilon_{i,t-1}) \\
 i &= 1, \dots, N, \quad t = 1, \dots, T
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Da bi se izbjegla nekonzistentna procjena parametra γ , potrebno je uvesti instrumentalne varijable u dinamički model. Odgovarajuće instrumentalne varijable za vrijednosti $(y_{i,t-1} - y_{i,t-2})$ jesu zavisne varijable pomaknute u vremenu $(y_{i,1}, y_{i,1}, \dots, y_{i,t-2})$, a instrumentalne varijable za vrijednosti diferencija nezavisnih varijabli jesu $(x_{i1k}, x_{i2k}, \dots, x_{i,t-2,k})$. Uvođenjem instrumentalnih varijabli omogućuje se iskorištavanje dodatnih uvjeta prilikom procjene parametara. Jedan od načina ispitivanja valjanosti instrumentalnih varijabli odabranih za procjenu dinamičkog panel modela jest primjena Sarganovog testa. Nulta hipoteza ovog testa pretpostavlja nekoreliranost odabrane instrumentalne varijable s rezidualima. Ako se nulta hipoteza ne odbacuje, znači da su uvjeti na momente zadovoljeni i da se odabrane instrumentalne varijable prihvaćaju te je, u konačnici, dinamički model određen [40].

3.2 Opis varijabli

Kako bi se provjerila hipoteza koja pretpostavlja da postoji statistička povezanost pokazatelja kvalitete okoliša i ljudskog razvoja, odabran je uzorak od 127 države u razdoblju od 1990. do 2014. godine. U tablici 6 prikazane su odabrane varijable i njihove oznake korištene prilikom obrade podataka. Odabrane varijable predstavljaju pokazatelje ljudskog razvoja, kvalitete okoliša te ostale pokazatelje za koje je ispitivan utjecaj na zavisne varijable.

Indeks ljudskog razvoja (HDI) jedan je od najvažnijih pokazatelja kvalitete ljudskog razvoja, a podaci o vrijednostima indeksa ljudskog razvoja upotrijebljeni u analizi, preuzeti su sa službene stranice Programa Ujedinjenih naroda za razvoj [41].

Tablica 6: Prikaz varijabli

Pokazatelj	Vrsta varijable	Varijabla	Oznaka
Ljudski razvoj	Nezavisna	Indeks ljudskog razvoja	HDI
	Nezavisna	Ukupna faktorska produktivnost poljoprivrednog sektora (%)	ATFP
Kvaliteta okoliša	Zavisna	Indeks zaštićenih vrsta	PSPU
	Zavisna	Metan (Gg)	CH4
	Zavisna	Količina upotrijebljenog N gnojiva (kt)	NF
Ostali	Nezavisna	Broj stanovnika (mil.)	POmil
	Nezavisna	Količina proizvedenog goveđeg mesa (kt)	MP
	Nezavisna	Indeks održivog upravljanja dušikom	SNMI
	Nezavisna	Udio poljoprivredne površine (%)	AgPOV
	Nezavisna	Količina pesticida primijenjena u poljoprivredi (kt)	PE

Osim indeksa ljudskog razvoja, kao pokazatelj kvalitete ljudskog života odabrana je ukupna faktorska produktivnosti poljoprivrednoga sektora (engl. *Agricultural total factor productivity* - ATFP). Općenito, ukupna faktorska produktivnost u određenom gospodarskom sektoru jest omjer ulaznih i izlaznih elemenata u proizvodnji, takozvanih *inputa* i *outputa*. Uzimajući kao primjer poljoprivredni sektor, u *input* se ubrajaju elementi poput korištene poljoprivredne površine, uloženog ljudskog rada, kapitala te materijala, dok se u *output* ubrajaju dobiveni poljoprivredni proizvodi i prihod. Vrijednosti ukupne faktorske produktivnosti u poljoprivrednom sektoru preuzete su sa službene stranice Ministarstva poljoprivrede Sjedinjenih Američkih Država (engl. *U.S. Department of Agriculture* - USDA), pri čemu je važno istaknuti da su vrijednosti izražene relativno, to jest u odnosu na 2015. godinu. Preciznije, vrijednost ATFP-a za pojedinu državu iz 2015. godine označena je sa 100 % [42].

Varijable metan, količina dušičnog gnojiva i indeks zaštićenih vrsta, zavisne su varijable odabrane za pokazatelje kvalitete okoliša prilikom analiziranja postavljene hipoteze [43]. Osim toga, varijable metan, indeks zaštićenih vrsta te indeks održivog upravljanja dušikom korištene su za izračun indeksa skrbi za okoliš (engl. *Environmental performance index* - EPI), indeksa koji se svake godine računa te služi za uspoređivanje država uzimajući u obzir njihovu brigu o zdravlju okoliša, vitalnosti ekosustava, klimatskom djelovanju itd. Osim što je važan poka-

zatelj kvalitete okoliša, indeks skrbi za okoliš može istaknuti potencijalne mane države u skrbi prema okolišu te poslužiti kao vodič prema ostvarenju održivog razvoja [44]. Varijabla metan predstavlja količinu emitiranog metana iskazanu u gigagramima na razini države, pri čemu nije uključen metan ispušten prilikom uporabe u šumarstvu te uporabom ili promjenom zemlje [44, 45]. Nadalje, indeks zaštite vrsta (engl. *protected species index* - PSPU) odabran je kao pokazatelj kvalitete okoliša jer se pomoću njega može kvantificirati bioraznolikost te očuvanje staništa i ekosustava. Računa se kao udio zaštićenog područja u ukupnom biomu pojedine zemlje [46], a dogovoreno je da najveća vrijednost PSPU-a može biti 17 %. Podaci o indeksu zaštite životinja preuzeti su iz NASA-ine arhive društveno-ekonomskih podataka, koja je dostupna na stranicama Sveučilišta Columbia [47]. Prema istraživanju [48], u kojem je provedena meta-analiza na temelju podataka iz 86 znanstvenih radova kako bi se provjerila hipoteza koja pretpostavlja nelinearnu povezanost ispiranja dušika i primijenjene količine dušičnog gnojiva, pokazano je da u siromašnijim i nerazvijenim zemljama ne dolazi do prevelikog ispiranja dušika, koje može uzrokovati zagađenje okoliša. S druge strane, uočeno je da se u razvijenim zemljama te zemljama koje se brzo razvijaju koristi prekomjerna količina dušičnog gnojiva, što negativno utječe na kvalitetu okoliša. Također, pokazano je da odgovarajuće smanjenje količine dušičnog gnojiva neće loše utjecati na količinu usjeva. Zbog potencijalno negativnog utjecaja dušičnog gnojiva na kvalitetu okoliša, upravo je ova varijabla odabrana kao zavisna, odnosno kao pokazatelj kvalitete okoliša u daljnjoj analizi.

Osim navedenih pokazatelja ljudskog razvoja te kvalitete okoliša, odabrani su dodatni pokazatelji koji mogu utjecati na zavisne varijable. Veća ljudska populacija može intenzivnije utjecati na kvalitetu okoliša, stoga je broj stanovnika pojedine države izražen u milijunima odabran kao nezavisna varijabla [49]. Kako povećanje broja stanovnika zahtijeva i povećanje proizvodnje hrane, kao dodatne varijable odabrane su količina proizvedenog goveđeg mesa [50] te količina primijenjenih pesticida [51] na poljoprivrednim površinama, pri čemu su navedene veličine izražene u kilotonama. Također, kao dodatna nezavisna varijabla odabran je indeks održivog upravljanja dušikom jer je povezan s poljoprivrednom proizvodnjom, ali i ljudskim razvojem. Indeks održivog upravljanja dušikom (engl. *Sustainable Nitrogen Management Index* - SNMI) mjera je brige o okolišu, s fokusom na područje poljoprivredne proizvodnje, a računa se pomoću efikasnosti korištenja dušika (engl. *nitrogen use efficiency* - NUE) te efikasnosti korištenja zemlje, odnosno prinosa usjeva. Matematička definicija indeksa održivog upravljanja dušikom proizlazi iz Pitagorinog teorema [52], a formula za računanje indeksa dana je sljedećim izrazom 3.8:

$$\text{SNMI}_d = \sqrt{(1 - \text{Prinos}_d^*)^2 + (1 - \text{NUE}_d^*)^2} \quad (3.8)$$

pri čemu izrazi:

$$\text{Prinos}_d^* = \begin{cases} \text{Prinos}_d / \text{Prinos}_{ref} & (\text{Prinos}_d \leq \text{Prinos}_{ref}) \\ 1 & (\text{Prinos}_d > \text{Prinos}_{ref}) \end{cases}$$

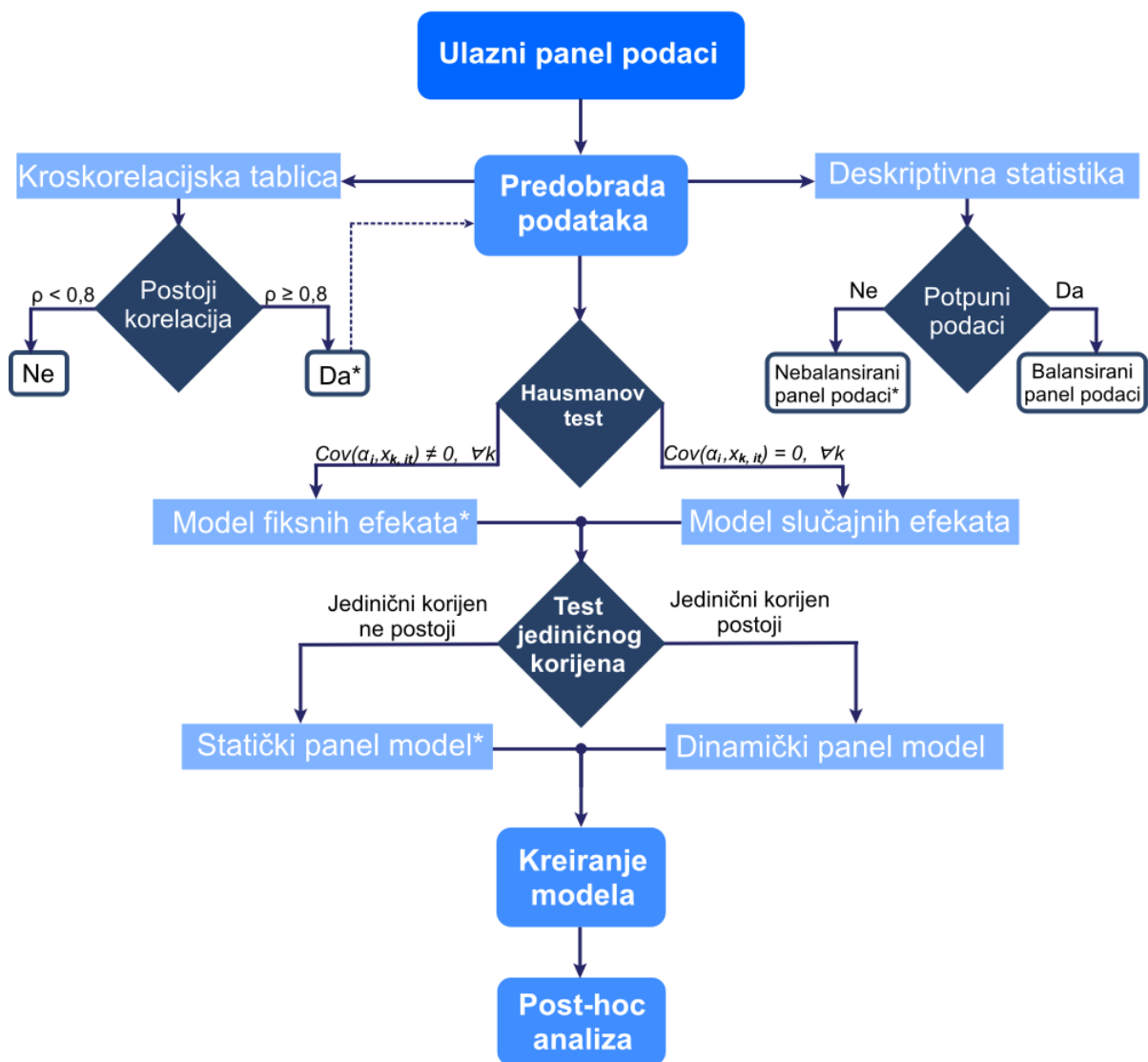
$$\text{NUE}_d^* = \begin{cases} \text{NUE}_d & (\text{NUE}_d \leq 1) \\ 1 - (\text{NUE}_d - 1) & 1 < \text{NUE}_d \leq 2 \\ 0 & \text{NUE}_d > 2 \end{cases}$$

predstavljaju normalizirane vrijednosti prinosa usjeva te efikasnosti korištenja dušika, dok indeks d označava vrijednosti pojedine države, a indeks ref referentnu vrijednost, s obzirom na koju se podaci normaliziraju. Optimalna vrijednost indeksa održivog upravljanja dušikom jest 0 [52].

Ove su veličine izabrane s posebnom pažnjom jer se uz proizvodnju goveđeg mesa veže značajna emisija stakleničkih plinova, dok upotreba umjetnih gnojiva na dušičnoj bazi može utjecati na održivo korištenje dušika. Također, primjena gnojiva i pesticida veže se uz poljoprivrednu proizvodnju jer njihovom uporabom može doći do povećanja produktivnosti, no prevelika i neodrživa potrošnja gnojiva i pesticida može imati iznimno štetan utjecaj na kvalitetu okoliša. Podaci o količini gnojiva [43], pesticida [51] te proizvedenog goveđeg mesa [50] preuzeti su sa službene stranice Organizacije za prehranu i poljoprivredu Ujedinjenih naroda (engl. *Food and Agriculture Organization* - FAO), podaci o broju stanovnika preuzeti su sa stranice *The World Bank* [49], a podaci o indeksu održivog korištenja dušika preuzeti su sa službene stranice Sveučilišta Yale [53].

3.3 Obrada panel podataka u programskom jeziku **R**

U ovom se radu za obradu podataka koristio popularan programski jezik **R**, koji se često koristi u statističkoj analizi te analizi podataka. Općeniti postupak provođenja analize panel podataka prikazan je na slici 3.1, pri čemu su zvjezdicom označeni slučajevi korišteni u ovome radu.



Slika 3.1: Dijagram toka: općeniti koraci u analizi panel podataka

Za početak, preuzeti podaci o zavisnim i nezavisnim varijablama bili su u različitim formatima (.csv ili .xlsx), stoga ih je bilo prvo potrebno spremati u jedinstvenom formatu, pri čemu je odabran .xlsx format, što se može učiniti koristeći funkciju `write_xlsx()` iz paketa `writexl`. Nakon spremanja podataka u isti format, bilo je potrebno očistiti podatke, odnosno odabrati podatke za promatrani period (od 1990. do 2014. godine) odabranih 127 država. Zatim je uslijedila predobrada podataka koja se izvela u nekoliko koraka. Prvo su iz razmatranja uklonjene države u kojima se pojavila znatna količina nedostajućih vrijednosti. Zatim je provjereno raspodjeljuju li se varijable po normalnoj raspodjeli koristeći funkciju `shapiro.test()` iz osnovnog

paketa u **R**-u. Ovaj je test odabran jer nije osjetljiv na ponavljajuće vrijednosti kao, na primjer, Kolmogorov-Smirnov Test (KS-test) [54]. Rezultati Shapiro-Wilkovog testa priloženi su u dodacima na slici A.1. Ustanovljeno je da varijable nisu raspodijeljene po normalnoj raspodjeli. Stoga je odabran Spearmanov koeficijent korelacije (oznaka ρ) kako bi se ispitala koreliranost promatranih varijabli. Za izračun Spearmanovih koeficijenata korištena je funkcija `cor()` uz specificiranje metode pomoću naredbe `method = "spearman"`. Vrijednost Spearmanovog koeficijenta $\rho = 0,80$ odabrana je kao granična, odnosno ako je $\rho \geq 0,80$ smatra se da su varijable znatno korelirane te je potrebno odbaciti jednu varijablu u daljnjoj analizi. Predobrada podataka uključuje i računanje vrijednosti deskriptivne statistike, koje se jednostavno računaju primjenom funkcija `summary()` za računanje minimalne i maksimalne vrijednosti te medijana i aritmetičke sredine, `sd()` za računanje standardne devijacije te `colSums(!is.na())` za brojanje izmjerenih veličina. Ove tri funkcije sastavni su dio osnovnog paketa **R**-a. Zatim je učinjen Hausmanov test kako bi se ispitalo mogu li se panel podaci opisati modelom fiksnih ili slučajnih efekata. Za provođenje Hausmanovog testa korištena je funkcija `phptest`, koja se ne nalazi u standardnom paketu programa **R**, nego u paketu `plm` (od engl. *linear models for panel data*) kojeg je potrebno prethodno instalirati. Nadalje, funkcija `purtest()`, koja se također nalazi u paketu `plm`, korištena je za ispitivanje jediničnog korijena. Zatim je slijedilo kreiranje GMM FD modela te modela s fiksnim efektima kako bi se opisao odnos pokazatelja kvalitete okoliša te ljudskog razvoja. Za svaku su zavisnu varijablu kreirana dva modela kako bi se provjerila njihova kvaliteta, odnosno koji model bolje opisuje izmjerene veličine. Funkcija `lm()`, iz standardnog paketa, korištena je za izradu modela s fiksnim efektima, a za izradu GMM FD modela korištena je funkcija `pgmm()` iz paketa `plm`. Na kraju je provedena post-hoc analiza koristeći rezultate dobivene primjenom funkcija `lm()` i `pgmm()`.

4 REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju prikazan je postupak provedbe statističkih testova te su predstavljeni rezultati dobiveni statističkim testiranjem i modeliranjem podataka. Poseban naglasak dan je na korake statističkog postupka prilagođenog programu **R**. Prva tri dijela ovoga poglavlja odnose se na prva tri koraka prikazana na slici 3.1, a zadnji dio odnosi se na statističke modele za opis varijabli PSPU, CH4 te NF. Za svaku varijablu napravljena su dva modela, model s fiksnim efektima te GMM FD model kako bi se usporedili dobiveni rezultati te su iznesene interpretacije koeficijenata dobivenih pomoću modela.

4.1 Predobrada podataka

4.1.1 Deskriptivna statistika

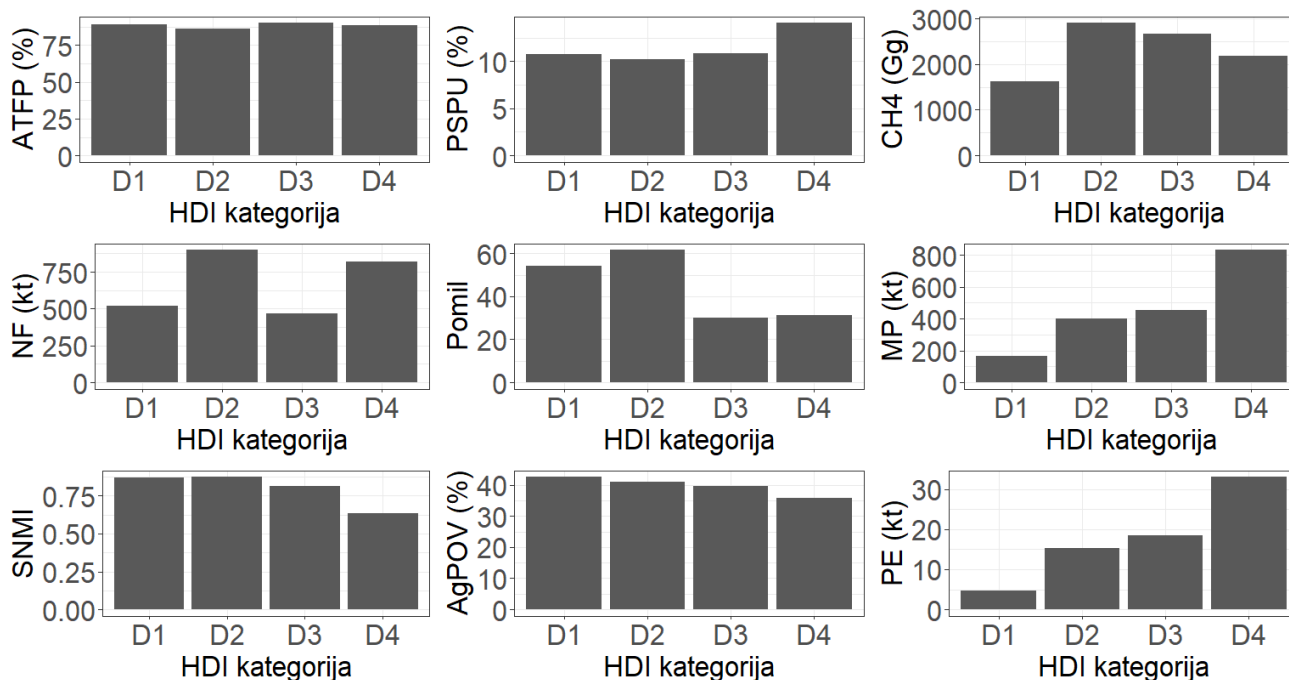
Primijenjivanjem funkcija `summary()` za računanje minimalne i maksimalne vrijednosti te medijana i aritmetičke sredine, `sd()` za računanje standardne devijacije te `colSums(!is.na())` za brojanje izmjerenih veličina, koje su sastavni dio osnovnog paketa **R**-a, na podatkovnu tablicu dobije se deskriptivna statistika prikazana u tablici 7.

Također, iz tablice 7 može se primijetiti da se radi o nebalansiranim panel podacima jer se brojevi opažanja razlikuju među varijablama.

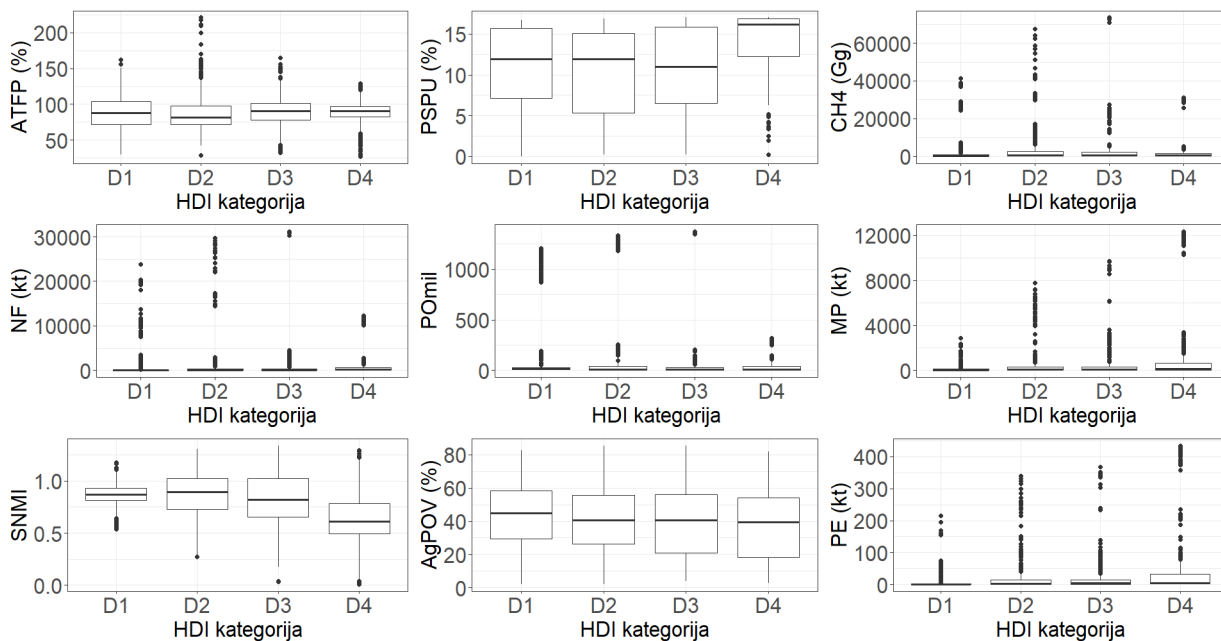
Tablica 7: Deskriptivna statistika svih zavisnih i nezavisnih varijabli

Varijabla	Broj opažanja	Minimum	Maksimum	Medijan	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
HDI	3165	0,192	0,946	0,684	0,660	0,167
ATFP	3165	19,237	220,836	88,258	88,443	21,000
PSPU	3175	0,000	17,000	12,700	11,365	5,180
CH4	3175	3,484	73468,210	488,512	2330,135	6402,681
NF	3121	0	31139,464	65,000	676,924	2724,436
PO	3172	0,188	1371,860	10,328	45,179	151,052
SNMI	3141	0,007	1,338	0,827	0,803	0,219
MP	3143	0,100	12334,552	79,559	447,473	1341,370
AgPOV	3141	1,937	85,487	40,997	39,918	21,133
PE	2966	0,00004	434,541	2,503	17,656	51,735

Kako bi se, na jednostavan način, prikazala ovisnost pojedine zavisne ili nezavisne varijable o indeksu ljudskog razvoja, izračunati su prosjeci svake promatrane veličine u ovisnosti o kategorijama indeksa ljudskog razvoja navedenima u tablici 1, gdje kategorije D1, D2, D3 i D4 slijedom označavaju zemlje s niskim, srednjim, visokim i vrlo visokim indeksom ljudskog razvoja. Potrebno je napomenuti da vremenske točke i promatrane jedinice kojima nedostaje informacija o indeksu ljudskog razvoja, nisu uzete u obzir za izradu grafičkih prikaza na slici 4.1. Osim toga, za svaku su varijablu, prema HDI kategorijama, prikazani kutijasti dijagrami na slici 4.2.



Slika 4.1: Srednja vrijednost varijabli s obzirom na kategoriju indeksa ljudskog razvoja



Slika 4.2: Kutijasti dijagrami

Nadalje, osim općenite deskriptivne statistike za sve varijable, napravljena je i deskriptivna statistika za indeks zaštićenih vrsta u odnosu na četiri kategorije indeksa ljudskog razvoja, a dobiveni rezultati prikazani su u tablici 8.

Tablica 8: Deskriptivna statistika: Indeks zaštićenih vrsta prema kategoriji indeksa ljudskog razvoja

HDI kategorija	Broj opažanja	Minimum	Maksimum	Medijan	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
D1	812	0,000	16,700	11,930	10,792	5,150
D2	891	0,210	16,870	11,340	10,092	5,425
D3	744	0,640	17,000	11,255	10,889	5,139
D4	718	1,920	17,000	16,200	14,121	3,766

Iz tablice 8 može se primijetiti da većinom s porastom indeksa ljudskog razvoja raste i briga o zaštićenim vrstama, odnosno sve je veći minimum, maksimum, medijan i aritmetička sredina, uz iznimku za vrijednosti medijana i aritmetičke sredine za kategoriju D1, no povezanost ovih varijabli potrebno je dodatno ispitati, što će se napraviti u sljedećim koracima analize.

Iako se podaci ne raspodjeljuju po normalnoj raspodjeli, izračunata je aritmetička sredina kao veličina deskriptivne statistike jer se radi o relativno velikom uzorku podataka. Također, obavljena je jednosmjerna analiza varijance (ANOVA) kako bi se provjerilo postoji li statistički značajna razlika među aritmetičkim sredinama promatranih varijabli prema kategorijama indeksa ljudskog razvoja. Za testiranje koristila se funkcija `aov()` iz standardnog paketa. Rezultati testa interpretiraju se pomoću p-vrijednosti. Za p-vrijednosti manje od 0,05 može se zaključiti da su korelacije statistički značajne. Dobiveni rezultati analize varijance prikazani su u tablici T.1 priloženoj u dodacima. Prema dobivenim p-vrijednostima, može se zaključiti da se aritmetička sredina razlikuje za svaku varijablu po kategorijama indeksa ljudskog razvoja.

Nakon računanja veličina deskriptivne statistike, bilo je potrebno provjeriti raspodjeljuju li se varijable po normalnoj raspodjeli, kako bi se moglo odabrati način na koji će se testirati korelacija nezavisnih varijabli. Za testiranje normalnosti distribucije odabran je Shapiro-Wilk test jer on nije osjetljiv na ponavljajuće vrijednosti kao, na primjer, Kolmogorov-Smirnov Test (KS-test) [54]. Funkcija `shapiro.test()` dostupna je u osnovnom paketu **R**-a.

Nakon što je Shapiro-Wilkovim testom potvrđeno da se nijedna varijabla ne raspodjeljuje po normalnoj raspodjeli (slika A.1), odnosno odbačena je nul hipoteza koja pretpostavlja da nema statistički značajne razlike između raspodjela varijabli te normalne raspodjele. Stoga je

odabran Spearmanov koeficijent korelacije kao metoda ispitivanja korelacije među varijablama.

4.1.2 Ispitivanje koreliranosti podataka

Proizvoljno je odabran sljedeći kriterij odbacivanja koreliranih varijabli. Ako je vrijednost Spearmanovog koeficijenta korelacije $\rho \geq 0,8$, tada se varijable smatraju koreliranima, te je potrebno odbaciti jednu od koreliranih varijabli. Korelacija se provjerava pomoću funkcije `cor()` iz standardnog paketa **R**-a. Dobivena kroskorelacijska tablica prikazana je u tablici 9. Odgovarajuće p-vrijednosti priložene su u dodacima na slici A.2. Prema dobivenim p-vrijednostima, može se zaključiti da su sve korelacije statistički značajne jer je odbačena nul hipoteza koja pretpostavlja da varijable nisu korelirane.

Tablica 9: Kroskorelacijska tablica

	PSPU	CH4	NF	HDI	ATFP	POmil	AgPOV	SNMI	MP	PE
PSPU	1,00	-0,02	-0,01	0,21	-0,13	-0,04	0,01	0,09	0,04	0,07
CH4	-0,02	1,00	0,92	-0,05	-0,07	0,87	0,05	-0,13	0,72	0,74
NF	-0,01	0,92	1,00	0,03	-0,06	0,93	0,10	-0,13	0,62	0,70
HDI	0,21	0,05	0,03	1,00	-0,03	-0,05	-0,14	0,39	0,18	0,19
ATFP	0,13	-0,07	-0,06	-0,03	1,00	-0,09	0,04	0,11	-0,05	-0,04
POmil	-0,04	0,87	0,93	-0,05	-0,09	1,00	0,10	-0,06	0,48	0,53
AgPOV	0,01	0,05	0,10	-0,14	0,04	0,10	1,00	-0,12	0,06	0,06
SNMI	-0,09	-0,13	-0,13	-0,39	0,11	-0,06	-0,12	1,00	-0,30	-0,29
MP	0,04	0,72	0,62	0,18	-0,05	0,48	0,06	-0,30	1,00	0,93
PE	0,07	0,74	0,70	0,19	-0,04	0,53	0,06	-0,29	0,93	1,00

Iako nije uobičajeno računati koeficijente korelacije zavisnih varijabli s nezavisnima te ih prikazati u kroskorelacijskoj tablici [36, 38, 39], nego samo korelacije nezavisnih varijabli, svejedno je to učinjeno kako bi se mogle unaprijed uočiti moguće povezanosti varijabli. Na primjer, u tablici 9 uočava se koreliranost zavisne varijable CH4 sa zavisnom varijablom NF ($\rho = 0,92$) što ne predstavlja problem jer se ove varijable razmatraju odvojeno te njihova koreliranost neće utjecati na rezultate modela. Također, javljaju se pozitivne korelacije broja stanovnika i količine emitiranog metana ($\rho = 0,87$) te broja stanovnika i primijenjenih dušičnih gnojiva ($\rho = 0,93$). Može se pretpostaviti da ove koreliranosti proizlaze iz veće potrebe za hranom (biljnog ili životinjskog podrijetla) s porastom broja ljudi, a time se povećava i količina upotrijebljenog dušičnog gnojiva. Za razliku od koreliranosti zavisne varijable sa zavisnom varijablom

te nezavisne varijable sa zavisnom, ako su dvije nezavisne varijable međusobno korelirane, jednu je potrebno ukloniti iz daljnjeg razmatranja. U tablici 9 uočava se vrijednost Spearmanovog koeficijenta korelacije varijabli primijenjene količine pesticida (oznaka PE) te proizvedene količine goveđeg mesa (oznaka MP) iznosa $\rho = 0,93$, što ukazuje na vrlo jaku pozitivnu korelaciju među nezavisnim varijablama. Stoga je potrebno izbaciti jednu od koreliranih nezavisnih varijabli kako bi se spriječilo njihovo utjecanje na krajnji rezultat modela. Iz daljnje analize, zbog korelacije varijabli MP i PE, izostavit će se varijabla PE jer je, prema tablici 7, broj opažanja varijable PE manji od broja opažanja varijable MP.

4.2 Hausmanov test

Nakon početnih analiza i predobrade podataka, potrebno je provjeriti mogu li se odabrani panel podaci bolje opisati modelom fiksnih ili slučajnih efekata, odnosno potrebno je provesti Hausmanov test. Postupak provođenja Hausmanovog testa pomoću programskog jezika **R** prikazan je na slici 4.3.

```
library(plm)
Y <- cbind(PSPU) #Zavisna varijabla
X <- cbind(HDI, ATFP) #Nezavisna varijabla
panel.podaci <- pdata.frame(podaci, index=c("iso","Godina"))
fiksno <- plm(Y ~ X, data = panel.podaci, model = "within") #Fiksni efekti
slucajno <- plm(Y ~ X, data = panel.podaci, model = "random") #Slučajni efekti

phtest(fiksno,slucajno)
#p = 3.055e-06 -> Odbacuje se nul-hipoteza
```

Slika 4.3: Hausmanov test u **R**-u za PSPU

Prije provođenja samog testa, potrebno je učitati podatke te definirati zavisnu i nezavisnu varijablu, pri čemu se nezavisna varijabla može sastojati od više varijabli. Također, potrebno je pozvati paket **plm** (skraćeno od engl. *Linear Models for Panel Data*) u kojemu se nalaze razne funkcije za panel analizu, poput funkcije **pdata.frame()**, **plm()** te **phtest()**. Primjenom funkcije **pdata.frame()** na početnu podatkovnu tablicu, stvara se dodatni indeks koji opisuje jedinicu promatranja u nekom trenutku te signalizira da se radi o panel podacima. Funkcija **plm()** jest općenita funkcija koja služi za opisivanje linearnih panel modela, a funkcija **phtest()** koristi se za provođenje Hausmanovog testa, odnosno za odabir pogodnijeg panel modela. U

ovom slučaju razmatra se odgovara li više model slučajnih ili fiksnih efekata za opis panel podataka [55, 56]. Nul hipoteza Hausmanovog testa pretpostavlja da je bolji odabir model slučajnih efekata, to jest da ne postoji korelacija između individualnih α_i i nezavisnih varijabli $x_{k,it}$, odnosno da vrijedi:

$$H_0 : Cov(\alpha_i, x_{k,it}) = 0, \quad \forall k = 1, \dots, K$$

dok alternativna hipoteza pretpostavlja da je bolji odabir model fiksnih efekata, odnosno da postoji k za koje gornja jednakost ne vrijedi [36]. Na slici 4.3 prikazan je postupak primjene Hausmanovog testa u slučaju kada se promatra ovisnost varijable PSPU o varijablama HDI i ATFP. Kao rezultat testa, dobivena je p-vrijednost manja od 0,05 što znači da je potrebno odbaciti nul hipotezu, odnosno da se može zaključiti kako će model fiksnih efekata bolje opisati odabrane panel podatke [55].

Slično se pokazalo i za slučajeve kada se promatrala ovisnost zavisne varijable CH4 o nezavisnim varijablama HDI, ATFP, AgPOV, POmil, MP te zavisne varijable NF o nezavisnim varijablama HDI, ATFP, AgPOV, POmil, SNMI Rezultati za varijable CH4 i NF prikazani su na slici A.3 te A.4 u dodacima.

4.3 Ispitivanje jediničnog korijena

U sljedećem se koraku ispitalo postojanje jediničnog korijena, odnosno radi li se o statičnim ili dinamičkim panel modelima. Za tu je svrhu korištena funkcija `purtest()` iz paketa `plm`, a kako se radi o nebalansiranim panel podacima, odabran je Im Pesara i Shin („`ips`”) test. Nul hipoteza ovog testa pretpostavlja postojanje jediničnog korijena, odnosno da se radi o dinamičkom modelu. Testiranjem jediničnog korijena dobivene su vrijednosti prikazane u tablici 10.

Tablica 10: Rezultati ispitivanja jediničnog korijena

Varijabla	p-vrijednost
PSPU	0
CH4	0,001
NF	0

U sva tri slučaja nul hipoteza je odbačena te je zaključeno da se radi o statičkim panel modelima [56].

Zbog rezultata prethodne analize, zaključeno je da se može primijeniti statički model s fiksnim efektima (FE model) i očekuje se da će opis pomoću ovog modela biti dovoljan. No, provest će se i analiza pomoću GMM FD modela za potrebe prikaza modela te usporedbu dobivenih rezultata.

4.4 Kreiranje statističkog modela

Nakon izvršavanja navedenih testova, pretpostavljeno je da će se podaci moći najbolje opisati procjenjivanjem statičkih panel modela s fiksnim efektima. Daljnja analiza vrši se u dva koraka, pri čemu se u prvom koraku gradi CSFD model (engl. *cross sectional fixed effects model*) uvođenjem pomoćnih varijabli. Pomoćne varijable uvode se kako bi se isključili efekti karakteristični za pojedinu državu, koji se ne mogu primijetiti provođenjem jednostavne linearne regresije, što može znatno utjecati na konačne rezultate i ispravnost modela. Pomoćne varijable definiraju se funkcijom **factor()** i uvrštavaju u funkciju za linearnu regresiju **lm()**, a za ispis rezultata koristi se funkcija **summary()**. Sve tri funkcije sastavni su dio programa **R** [57]. Iako se generalizirana metoda momenata češće primjenjuje na dinamičkim panel podacima, može se iskoristiti i za procjenu statičkih panel modela, što je učinjeno u drugom koraku analize, gdje je promatran utjecaj promjene nezavisnih varijabli na promjenu vrijednosti zavisnih varijabli. GMM FD model dobiva se primjenom funkcije **pgmm()** iz paketa **plm** na definiranu relaciju, uz specificiranje argumenta **transformation = "d"**. Primjenom funkcije **summary()** na rezultate GMM FD modela, dobiva se, između ostalog i rezultat post-hoc analize [56].

Dobiveni rezultati post-hoc analize odnose se na rezultate Arellando-Bond testa [56]. Ovaj test često se koristi za provjeru valjanosti modela, a temelji se na provjeri autokorelacije diferencija rezidualnih odstupanja, pri čemu postojanje autokorelacije drugog ili višeg reda ukazuje na probleme s modelom, odnosno da nisu zadovoljeni svi potrebni uvjeti na momente, što čini model nekonzistentnim [40]. Rezultat prvog dijela ovog testa AR(1) odnosi se na autokorelaciju prvog reda, a rezultat drugog dijela testa AR(2) odnosi se na autokorelaciju drugog reda. U oba slučaja nul hipoteza pretpostavlja da ne postoji autokorelacija u rezidualima [46, 58].

Dobiveni rezultati podijeljeni su u tri dijela, prema promatranim zavisnim varijablama. Osim konačnih rezultata, prikazat će se i postupak odabiranja statistički značajnih varijabli u modelu

s fiksnim efektima. Nakon mogućeg odbacivanja varijabli koje nisu statistički značajne, za svaku će se zavisnu varijablu konstruirati GMM FD model i napraviti post-hoc analiza.

4.4.1 PSPU

Polazni model fiksnih efekata za opisivanje statističke veze indeksa zaštićenih vrsta (PSPU) o varijablama HDI te ATFP, koje su izabrane za pokazatelje ljudskog razvoja, dan je sljedećim izrazom:

$$PSPU_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 \cdot HDI_{it} + \beta_2 \cdot ATFP_{i,t} \quad i = 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25 \quad (4.1)$$

Indeks i označava pojedinu državu, t godinu, a α_i je konstantan član karakterističan za svaku državu. Parametre β_1 i β_2 uz nezavisne varijable $HDI_{i,t}$ te $ATFP_{i,t}$ potrebno je procijeniti uvođenjem pomoćnih varijabli. Dobiveni rezultati, bez prikaza procjena pomoćnih varijabli, prikazani su na slici 4.4.

```
Call:
lm(formula = PSPU ~ HDI + ATFP + factor(iso), data = PP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-11.8138  -0.8384   0.1199   0.9138  10.1216

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -10.112365   0.477180  -21.192 < 2e-16 ***
HDI           24.998118   0.849657   29.421 < 2e-16 ***
ATFP           0.013728   0.003175    4.324 1.58e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.813 on 3026 degrees of freedom
(20 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.8827,    Adjusted R-squared:  0.8777
F-statistic: 177.9 on 128 and 3026 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Slika 4.4: Rezultat: model s fiksnim efektima (PSPU)

Na primjeru slike 4.4 objasniti će se dijelovi dobivenog rezultata. Važno je napomenuti da na ovoj slici, ali i sljedećim slikama koje prikazuju rezultate modela s fiksnim efektima, nisu uključeni koeficijenti pomoćnih varijabli. Na slikama A.5, A.6 te A.7, priloženima u dodacima, prikazani su dobiveni koeficijenti pomoćnih varijabli korištenih u modelima s fiksnim efektima. *Call* prikazuje formulu korištenu za prilagodbu podataka. *Residuals*, odnosno reziduali predstavljaju razliku stvarne vrijednosti varijable te vrijednosti varijable predviđene modelom. U dijelu rezultata s rezidualima nalazi se pet veličina deskriptivne statistike (minimum, prvi kvartil, medijan, treći kvartil te maksimum). U dijelu *Coefficients* prikazani su procijenjene vrijednosti

koeficijenata uz nezavisne varijable te odsječak, uz pripadnu standardnu pogrešku. Koeficijenti t value prikazuju koliko su procijenjene veličine udaljene od 0. Ako je ta udaljenost relativno velika, može se odbaciti nul hipoteza koja pretpostavlja da ne postoji statistička veza između promatranih varijabli. Koeficijent $Pr(> |t|)$ odnosi se na vjerojatnost da se, prilikom mjerenja varijable, dobije vrijednost koja je veća od t vrijednosti. *Signif.codes* predstavlja razine statističke značajnosti. Ako je p-vrijednost manja od 0,05 zaključuje se da postoji statistička veza među varijablama. *Residual standard error*, odnosno standardna pogreška reziduala mjeri kvalitetu linearnog regresijskog modela, dok *R-squared* (R^2) prikazuje koliko dobro model opisuje početne podatke. R^2 naziva se još i koeficijent determinacije, a poprima vrijednosti između 0 i 1. Što je njegova vrijednost bliže 1, to je model reprezentativniji, odnosno bolje opisuje stvarne vrijednosti. Veličina *F-statistic* pokazuje postoji li statistička veza između zavisne varijable i nezavisnih varijabli. Ako je ova vrijednost veća od 1, odbija se nul hipoteza koja pretpostavlja da ne postoji veza između nezavisnih varijabli i zavisne varijable [59].

Imajući u vidu značenje pojedinih dijelova rezultata, može se zaključiti da su HDI i ATFP statistički značajne varijable te da postoji pozitivna statistička veza između njih i varijable PSPU. Kako su sve varijable statistički značajne, procijenjen je GMM FD model, a dobiveni rezultati prikazani su na slici 4.5.

```
Oneway (individual) effect One-step model Difference GMM

Call:
pgmm(formula = PSPU ~ HDI + ATFP | lag(PSPU, 2), data = PP, effect = "individual",
      model = "onestep", transformation = "d", index = c("iso",
      "Godina"))

Balanced Panel: n = 127, T = 25, N = 3175

Number of Observations Used: 2907
Residuals:
  Min.  1st Qu.  Median    Mean  3rd Qu.    Max.
-0.91733 -0.15713 -0.08506  0.05546  0.01734  15.51118

Coefficients:
      Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
HDI  22.1513333  2.1756744  10.1814  <2e-16 ***
ATFP  0.0023764  0.0036148  0.6574  0.5109
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Sargan test: chisq(23) = 81.22286 (p-value = 2.0103e-08)
Autocorrelation test (1): normal = 3.119449 (p-value = 0.0018119)
Autocorrelation test (2): normal = 2.935083 (p-value = 0.0033346)
```

Slika 4.5: Rezultat: GMM FD model (PSPU)

Na slici 4.5 može se uočiti da varijabla *ATFP* nije statistički značajna u ovom slučaju te se

mora odbaciti, a u autokorelacijskim testovima AR(1) i AR(2) u oba je slučaja $p\text{-value} < 0,05$ što ukazuje na neispravnost GMM FD modela. Stoga je bolje koeficijente dobivene pomoću modela s fiksnim efektima uvrstiti u jednadžbu 4.1, kako bi se dobio statistički model kojim se može opisati zavisna varijabla (izraz 4.2):

$$\begin{aligned} PSPU_{i,t} &= -10,112365 + 24,998188 \cdot HDI_{it} + 0,013728 \cdot ATFP_{i,t} \\ i &= 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Zaključuje se da je HDI statistički značajna varijabla i da pozitivno utječe na PSPU, odnosno što je veći HDI to se više pažnje posvećuje zaštiti ugroženih vrsta na razini države, ali i van granica.

4.4.2 CH4

U drugom dijelu analize promatratrala se povezanost količine emitiranog metana, odnosno zavisne varijable CH4 o nezavisnim varijablama HDI, POmil, ATFP, AgPOV i MP. Ovaj je model opisan sljedećom jednadžbom:

$$\begin{aligned} CH4_{i,t} &= \alpha_i + \beta_1 \cdot HDI_{it} + \beta_2 \cdot ATFP_{i,t} + \beta_3 \cdot AgPOV_{i,t} + \beta_4 \cdot POmil_{i,t} + \beta_5 \cdot MP_{i,t} \\ i &= 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Na slici 4.6 prikazani su dobiveni rezultati procjene modela s fiksnim efektima. Primjećuje se da varijable AgPOV i ATFP nisu statistički značajne te se izostavljaju iz daljnje analize.

Uklanjanjem varijabli AgPOV i ATFP iz izraza 4.3 te ponovnim provođenjem procjene modela s fiksnim efektima, dobiveni su rezultati prikazani na slici 4.7. Prema rezultatima sa slike 4.7 može se zaključiti da su sve preostale nezavisne varijable (HDI, POmil, MP) statistički značajne te da postoji statistički značajna veza između njih i zavisne varijable CH4. Dobivena jednadžba modela prikazana je u izrazu 4.4.

$$\begin{aligned} CH4_{i,t} &= -1,001 \cdot 10^3 + 1,518 \cdot 10^3 \cdot HDI_{it} + 34,75 \cdot POmil_{i,t} + 2,079 \cdot MP_{i,t} \\ i &= 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25 \end{aligned} \quad (4.4)$$

```

Call:
lm(formula = CH4 ~ HDI + POmil + ATPF + AgPOV + MP + factor(iso),
    data = PP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10612.3   -85.4    -0.6    86.9  15930.0

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.453e+03  4.211e+02  -3.451 0.000567 ***
HDI          1.901e+03  4.494e+02   4.230 2.40e-05 ***
POmil       3.472e+01  1.359e+00  25.539 < 2e-16 ***
ATPF       -2.892e+00  1.657e+00  -1.745 0.081064 .
AgPOV       9.730e+00  5.941e+00   1.638 0.101572
MP          2.092e+00  7.484e-02  27.956 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 916.9 on 3000 degrees of freedom
(43 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9803,    Adjusted R-squared:  0.9794
F-statistic: 1140 on 131 and 3000 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Slika 4.6: Rezultat: model s fiksnim efektima (*CH4*)

```

Call:
lm(formula = CH4 ~ HDI + POmil + MP + factor(iso), data = PP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-10611.4   -82.2     0.4    82.8  15936.5

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.001e+03  2.353e+02  -4.253 2.18e-05 ***
HDI          1.518e+03  3.944e+02   3.850 0.000120 ***
POmil       3.475e+01  1.359e+00  25.566 < 2e-16 ***
MP          2.079e+00  7.443e-02  27.938 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 917.4 on 3002 degrees of freedom
(43 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9803,    Adjusted R-squared:  0.9794
F-statistic: 1156 on 129 and 3002 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Slika 4.7: Rezultat: model fiksnih efekata (*CH4*) sa statistički značajnim varijablama

Koristeći statistički značajne varijable, konstruiran je GMM FD model kako bi se opisao način na koji promjena nezavisnih varijabli utječe na promjenu zavisne varijable. Rezultati su prikazani na slici 4.8 te u izrazu 4.5.

```

Oneway (individual) effect One-step model Difference GMM

Call:
pgmm(formula = CH4 ~ HDI + POmil + MP | lag(CH4, 2), data = PP,
      effect = "individual", model = "onestep", transformation = "d",
      index = c("iso", "Godina"))

Balanced Panel: n = 127, T = 25, N = 3175

Number of Observations Used: 2893
Residuals:
    Min. 1st Qu.  Median    Mean 3rd Qu.    Max.
-1424.59 -171.17  -111.82  -103.63  -45.12   3935.43

Coefficients:
              Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
HDI   1.9605e+04 1.7779e+03  11.027 < 2e-16 ***
POmil 4.4558e+01 3.2388e+00  13.758 < 2e-16 ***
MP    2.7512e-01 1.1884e-01   2.315 0.02061 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Sargan test: chisq(23) = 98.11161 (p-value = 2.977e-11)
Autocorrelation test (1): normal = 1.426383 (p-value = 0.15376)
Autocorrelation test (2): normal = 1.498162 (p-value = 0.13409)

```

Slika 4.8: Rezultat: GMM FD model (CH4)

$$\Delta CH4_{i,t} = 1,9605 \cdot 10^4 \cdot \Delta HDI_{it} + 44,558 \cdot \Delta POmil_{i,t} + 0,27512 \cdot \Delta MP_{i,t} \quad (4.5)$$

$$i = 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25$$

Kada se promatra ovisnost promjene količine emitiranog metana o promjeni indeksa ljudskog razvoja, broja stanovnika te proizvedene količine goveđeg mesa, primjećuje se da su sve varijable statistički značajne te da postoji pozitivna statistička veza između nezavisnih varijabli i zavisne varijable. Drugim riječima, povećanje proizvedene količine goveđeg mesa, broja ljudi ili indeksa ljudskog razvoja imat će za posljedicu povećane emisije metana. Post-hoc analizom utvrđeno je da se ne mogu odbaciti nul hipoteze Arellando-Bond testa, to jest, da ne postoji autokorelacija prvog i drugog reda u rezidualima, što znači da je model ispravan.

4.4.3 NF

U trećem dijelu analize istražuje se povezanost zavisne varijable NF, koja predstavlja primijenjenu količinu dušičnih gnojiva o nezavisnim varijablama HDI, POmil, AgPOV, ATPF i SNMI, a početna jednadžba ovog modela dana je sljedećim izrazom:

$$NF_{i,t} = \alpha_i + \beta_1 \cdot HDI_{it} + \beta_2 \cdot ATFP_{i,t} + \beta_3 \cdot AgPOV_{i,t} + \beta_4 \cdot POMil_{i,t} + \beta_5 \cdot SNMI_{i,t}$$

$$i = 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25$$
(4.6)

Procjenom modela dobili su se rezultati prikazani na slici 4.9.

```
Call:
lm(formula = NF ~ HDI + POMil + ATFP + AgPOV + SNMI + factor(iso),
    data = PP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4658.1  -34.8     0.1    36.7   3178.9

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -6.395e+02  1.438e+02  -4.447  9.02e-06 ***
HDI          -3.298e+02  1.366e+02  -2.414  0.015830 *
POMil        2.832e+01  3.622e-01  78.205 < 2e-16 ***
ATFP         1.369e+00  4.913e-01   2.786  0.005363 **
AgPOV       -3.181e+00  1.738e+00  -1.830  0.067311 .
SNMI         2.592e+02  6.682e+01   3.879  0.000107 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 266.7 on 2980 degrees of freedom
(63 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9908,    Adjusted R-squared:  0.9904
F-statistic: 2463 on 131 and 2980 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Slika 4.9: Rezultat: model fiksnih efekata (NF)

U rezultatima prikazanim na slici 4.9, uočava se da AgPOV nije statistički značajna varijabla te se ova varijabla izostavlja u daljnjem razmatranju. Ponovnim postupkom, ali uzimajući u obzir samo statistički značajne varijable, dobiveni su rezultati procjene modela s fiksnim efektima prikazani na slici 4.10 te u jednadžbi 4.7.

$$NF_{i,t} = -8,234 \cdot 10^2 - 3,234 \cdot 10^2 \cdot HDI_{it} + 1,347 \cdot ATFP_{i,t}$$

$$+ 28,30 \cdot POMil_{i,t} + 2,584 \cdot 10^2 \cdot SNMI_{i,t} \quad i = 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25$$
(4.7)

Na slici 4.10 uočava se statistička značajnost svih nezavisnih varijabli, pri čemu između varijabli HDI te NF postoji negativna statistička veza, dok je veza zavisne varijable NF s preostalim značajnim nezavisnim varijablama pozitivna. Primjećuje se da vrijednost varijable SNMI raste s upotrijebljenom količinom dušika što se čini kontradiktornim.

```

Call:
lm(formula = NF ~ HDI + POmil + ATPF + SNMI + factor(iso), data = PP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4658.8  -35.6     0.5    36.6  3179.5

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -8.234e+02  1.029e+02  -7.999 1.79e-15 ***
HDI          -3.234e+02  1.366e+02  -2.367 0.017982 *
POmil        2.830e+01  3.620e-01  78.168 < 2e-16 ***
ATPF         1.347e+00  4.914e-01   2.741 0.006166 **
SNMI         2.584e+02  6.685e+01   3.866 0.000113 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 266.8 on 2981 degrees of freedom
(63 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9908,    Adjusted R-squared:  0.9904
F-statistic: 2480 on 130 and 2981 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Slika 4.10: Rezultat: model fiksnih efekata (NF) sa statistički značajnim varijablama

No, važno je zapamtiti da je indeks održivog upravljanja dušikom (SNMI) definiran tako da je optimalan iznos indeksa jednak nuli. Drugim riječima, što je razvijenija zemlja to će koristiti manje količine dušičnih gnojiva, ali će ih koristiti efikasnije, odnosno vrijednost varijable SNMI približavat će se nuli. Rezultati procjene GMM FD modela za promatranje ovisnosti promjene upotrijebljene količine dušičnih gnojiva u poljoprivredne svrhe o promjenama indeksa ljudskog razvoja, broja stanovnika, indeksa održivog upravljanja dušikom te ukupne faktorske produktivnosti poljoprivrednog sektora, prikazani su na slici 4.11 te izrazom 4.8. Iz dobivenih rezultata zaključuje se da se radi o ispravnom modelu, u kojem su sve nezavisne varijable statistički značajne te pozitivno povezane sa zavisnom varijablom.

$$\begin{aligned}
\Delta NF_{i,t} = & 1773,08734 \cdot \Delta HDI_{it} + 2,04061 \cdot \Delta ATPF_{i,t} \\
& + 31,16592 \cdot \Delta POmil_{i,t} + 212,80654 \cdot \Delta SNMI_{i,t} \quad (4.8) \\
i = & 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25
\end{aligned}$$

```

Call:
pgmm(formula = NF ~ HDI + POmil + ATFP + SNMI | lag(NF, 2), data = PP,
      effect = "individual", model = "onestep", transformation = "d",
      index = c("iso", "Godina"))

Balanced Panel: n = 127, T = 25, N = 3175

Number of Observations Used: 2867
Residuals:
      Min.      1st Qu.      Median      Mean      3rd Qu.      Max.
-2766.094   -33.545    -14.574    -15.571     3.332    4181.926

Coefficients:
              Estimate Std. Error z-value Pr(>|z|)
HDI    1773.08734    215.31493   8.2349 < 2.2e-16 ***
POmil    31.16592     0.24304 128.2321 < 2.2e-16 ***
ATFP     2.04061     0.30666   6.6543 2.847e-11 ***
SNMI    212.80654     29.39058   7.2406 4.466e-13 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Sargan test: chisq(23) = 95.52057 (p-value = 8.268e-11)
Autocorrelation test (1): normal = 0.4749944 (p-value = 0.63479)
Autocorrelation test (2): normal = -1.075893 (p-value = 0.28198)

```

Slika 4.11: Rezultat: GMM FD model (NF)

4.4.4 Provjera hipoteze Kuznetsove krivulje za okoliš

Kako bi se provjerilo može li se ovisnost pokazatelja kvalitete okoliša o pokazateljima ljudskog razvoja prikazati Kuznetsovom krivuljom za okoliš, kao zavisne varijable, odnosno pokazatelje zagađenja okoliša odabrane su logaritmirane vrijednosti količine primijenjenog dušičnog gnojiva (oznaka $\log NF$) te logaritmirane vrijednosti količine emitiranog metana ($\log CH_4$). Ove su veličine logaritmirane iz razloga što varijable NF i CH_4 poprimaju vrijednosti iz širokog raspona. Kako bi se procijenila zavisna varijabla $\log NF$, odabrane su nezavisne varijable HDI , HDI_2 , $ATFP$ te $SNMI$, pri čemu HDI_2 predstavlja kvadriranu vrijednost varijable HDI . Zatim je obavljena procjena varijabli koristeći model s fiksnim efektima te GMM FD model, slično kao u prethodnim slučajevima. Dobivene jednadžbe modela prikazane su sljedećim izrazom:

$$\begin{aligned}
 \log NF_{CSFE} &= 2,2177931 + 5,8165403 \cdot HDI_{it} - 2,8827229 \cdot HDI_2_{it} - 0,0011022 \cdot ATFP_{it} \\
 &\quad + 0,3902473 \cdot SNMI_{it} \\
 \log NF_{GMM} &= 7,54204639 \cdot HDI_{it} - 4,43780314 \cdot HDI_2_{it} - 0,00159502 \cdot ATFP_{it} \\
 &\quad + 0,30732545 \cdot SNMI_{it} \\
 i &= 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25
 \end{aligned}
 \tag{4.9}$$

pri čemu $\log nNF_{CSFE}$ označava rezultat modela s fiksnim efektima, a $\log nNF_{GMM}$ rezultat GMM FD modela. Nadalje, koristeći jednadžbe 4.9 dobivene su procijenjene vrijednosti zavisne varijable, koje su kasnije korištene za prilagodbu modela.

U sljedećem koraku razmatrat će se ovisnost pokazatelja razvijenosti društva (umjesto BDP-a po glavi stanovnika, koristit će se indeks ljudskog razvoja zbog njegove sveobuhvatnosti) i pokazatelja zagađenja okoliša. Kako bi se vidjelo koji model bolje opisuje stvarne podatke, koristeći dijagram raspršenja prikazana je ovisnost logaritma upotrijebljene količine gnojiva o indeksu ljudskog razvoja. Na ovaj su graf dodane prilagodbe dobivene primjenom GMM FD modela te modela s fiksnim efektima (oznaka CSFE). Rezultat prilagodbe dvaju modela na početne podatke prikazan je na slici 4.12. Kako bi se ispitala kvaliteta prilagodbe, izračunat je koeficijent determinacije R^2 . Promatrajući dobivene prilagodbe, u oba se slučaja može uočiti kako dolazi do porasta zagađenja okoliša, odnosno povećanja logaritmirane vrijednosti primijenjene količine gnojiva, s porastom vrijednosti indeksa ljudskog razvoja. Također, u prilagodbama može se primijetiti da zagađenje raste s porastom ljudskog razvoja, sve dok indeks ljudskog razvoja ne postane vrlo visok, tek se tada uočava smanjenje zagađenja s daljnjim rastom ljudskog razvoja (prema prilagodbi GMM FD modela), odnosno rast zagađenja stagnira s daljnjim ljudskim razvojem (prema prilagodbi CSFE modela).

Iako prilagodbama nije dobivena krivulja, čiji oblik potpunosti odgovara okrenutom slovu U, svejedno se može uočiti da porast zagađenja raste s ljudskim razvojem, sve dok se ne postigne određeni stupanj razvoja društva, kada se zagađenje smanjuje ili prestaje rasti s daljnjim razvojem.

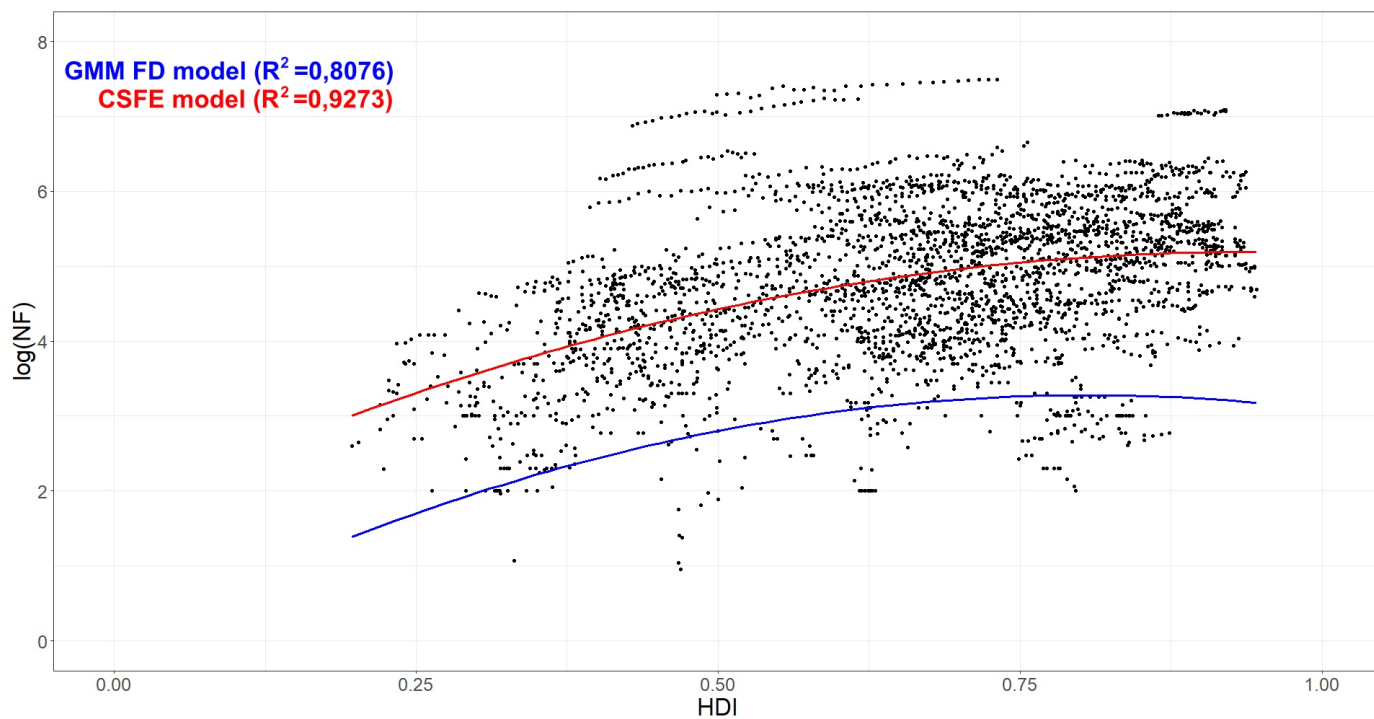
Na sličan se način provjerila hipoteza Kuznetsove krivulje, pri čemu je kao pokazatelj kvalitete okoliša odabrana logaritmirana količina metana. Za opis modela, dobivene su sljedeće jednadžbe:

$$\begin{aligned} \log CH4_{CSFE} &= -3439,96 + 4724,43 \cdot HDI2_{it} + 1596,42 \cdot \log POmil_{it} \\ \log CH4_{GMM} &= 46380,8 \cdot HDI2_{it} + 2318,1 \cdot \log POmil_{it} \end{aligned} \quad (4.10)$$

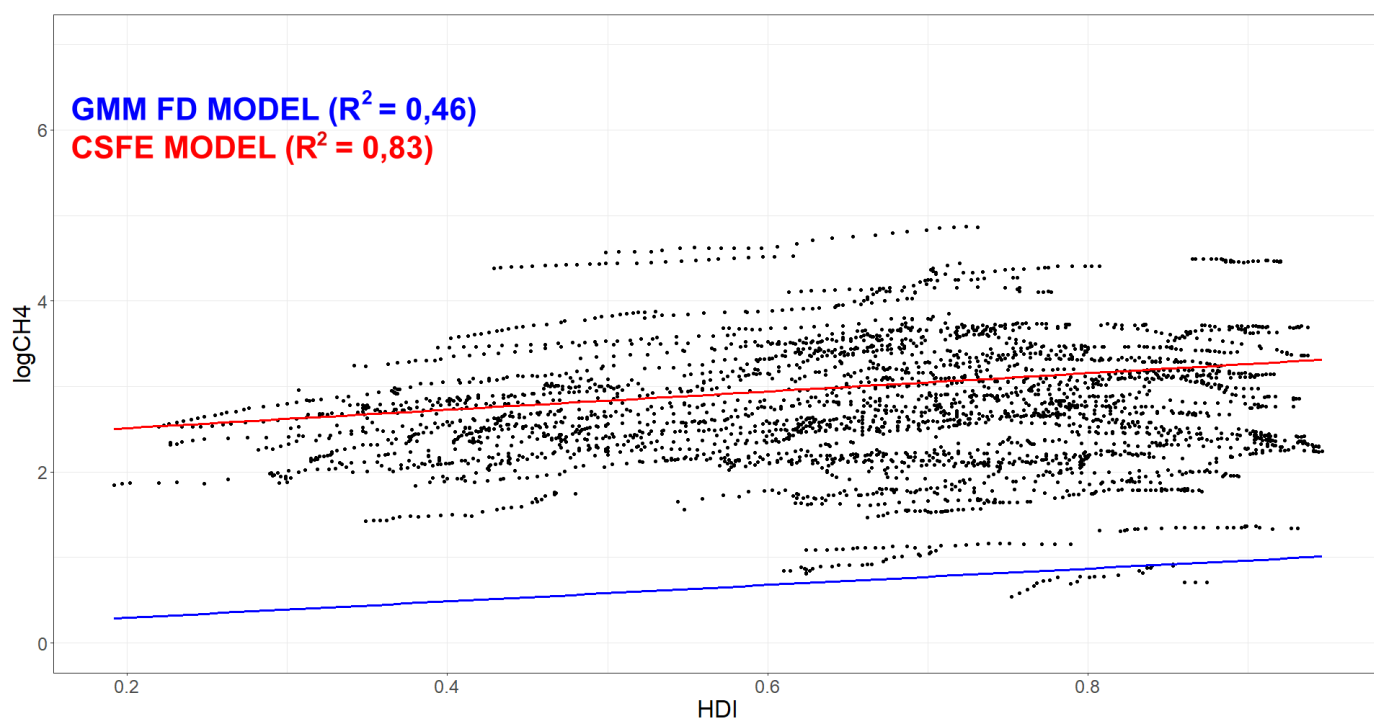
$$i = 1, 2, \dots, 127, \quad t = 1, 2, \dots, 25$$

Na slici 4.13 prikazana je konačna prilagodba podataka koristeći modele 4.10. Može se primijetiti da su koeficijenti R^2 još manji nego u prethodnom slučaju, što se može pripisati vrijednostima varijable CH4, koje su većeg raspona od vrijednosti varijable NF.

Promatrajući slike 4.12 te 4.13, može se primijetiti da u oba slučaja statički model panel podataka s fiksnim efektima (CSFE model) kvalitetnije opisuje podatke, što se moglo i očekivati imajući u vidu donesene zaključke iz prethodne analize.



Slika 4.12: Analiziranje Kuznetsove krivulje za okoliš za logNF



Slika 4.13: Analiziranje Kuznetsove krivulje za okoliš za logNF

5 ZAKLJUČAK

Analiziranjem odabranog uzorka sastavljenog od 10 varijabli promatranih u razdoblju od 1990. do 2014. godine u 127 zemalja, potvrđena je hipoteza da postoji statistička povezanost pokazatelja ljudskog razvoja i kvalitete okoliša.

Primjenom modela s fiksnim efektima te uvođenjem pomoćnih varijabli, utvrđena je statistički značajna povezanost indeksa zaštićenih životinja (PSPU) te indeksa ljudskog razvoja i ukupne faktorske produktivnosti u poljoprivrednom sektoru. Nadalje, količina metana odabrana je kao pokazatelj kvalitete zraka te je utvrđena statistička povezanost između količine emitiranog metana te indeksa ljudskog razvoja, broja stanovnika te količine proizvedenog govedeg mesa, kao što se moglo očekivati zbog znatnog utjecaja uzgoja goveda na globalnu emisiju stakleničkog plina metana. Količina upotrijebljenog dušičnog gnojiva važan je pokazatelj kvalitete okoliša jer se njime može ujedno opisati kvaliteta tla te kvaliteta vode, zbog mogućeg ispiranja i protjecanja dušičnih spojeva te potencijalnog negativnog utjecaja na okoliš. Utvrđeno je da količina upotrijebljenog dušičnog gnojiva ovisi o indeksu ljudskog razvoja, broju stanovnika, ukupnoj faktorskoj produktivnosti poljoprivrednog sektora te o indeksu održivog upravljanja dušikom.

U posljednjem dijelu analize, pokazano je da grafički prikaz ovisnosti količine upotrijebljenog dušičnog gnojiva te emitiranog metana o indeksu ljudskog razvoja ne odgovara u potpunosti karakterističnom obliku Kuznetsove krivulje za okoliš. Za dušično gnojivo uočeno je da zagađenje prvo raste s porastom indeksa ljudskog razvoja sve dok ne dođe do točke razvoja nakon koje, s daljnjim rastom indeksa ljudskog razvoja, ne dolazi do većeg zagađenja, što se djelomično slaže s pretpostavkom Kuznetsove krivulje za okoliš. S druge strane, kod promatranja metana i indeksa ljudskog razvoja nije uočena točka prekretnica nakon koje rast indeksa ljudskog razvoja uzrokuje smanjenje zagađenja, nego se primjećuje daljnji rast zagađenja s porastom indeksa ljudskog okoliša. Uspoređivanjem prilagodbi dobivenih primjenom modela s fiksnim efektima te GMM FD modela, zaključeno je da model s fiksnim efektima bolje opisuje izmjerene podatke.

Konačno, zbog različitih mogućnosti brige o okolišu u zemljama s različitim stupnjem razvoja, važna je suradnja na globalnoj razini te postizanje dogovora, postavljanje zajedničkih ciljeva te međusobno pomaganje u ostvarenju istih, kako bi se što prije i što više smanjio čovjekov negativan utjecaj na kvalitetu okoliša.

Literatura

- [1] „industrijalizacija” u *Hrvatska enciklopedija*, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na:
<http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27358>. [Pristupljeno 25. 7. 2022.]
- [2] APTECH, „Introduction to the Fundamentals of Panel Data”. 2019. Dostupno na: <https://www.aptech.com/blog/introduction-to-the-fundamentals-of-panel-data/> [Pristupljeno 23. 8. 2022.]
- [3] „What is Human Development Index”, *The Economic Times*. Dostupno na:
<https://economictimes.indiatimes.com/definition/human-development-index>.
[Pristupljeno 26. 7. 2022.]
- [4] UNDP, „Technical notes”, *Human Development Report*, 2020.
Dostupno na: <https://hdr.undp.org/system/files/documents//technical-notes-calculating-human-development-indices.pdf>. [Pristupljeno 26. 7. 2022.]
- [5] A. Burić, „Uloga turizma u realizaciji milenijjskih razvojnih ciljeva u zemljama u razvoju; Primjer: Odabrane zemlje južne i jugoistočne Azije”, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2018. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:124:858034>.
[Pristupljeno 26. 7. 2022.]
- [6] K. Tajchman, A. Ukalska-Jaruga, M. Bogdaszewski i sur. „Comparison of the accumulation of macro- and microelements in the bone marrow and bone of wild and farmed red deer (*Cervus elaphus*)”. *BMC Vet Res* 17, 324, 2021. Dostupno na: <https://doi.org/10.1186/s12917-021-03041-2>. [Pristupljeno 26. 7. 2022.]
- [7] „bioelementi” u *Hrvatska enciklopedija*, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=7727>. [Pristupljeno 26. 7. 2022.]
- [8] A. Bernhard, „The Nitrogen Cycle: Processes, Players, and Human Impact”. *Nature Education Knowledge* 3(10):25 2010. Dostupno na: <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-nitrogen-cycle-processes-players-and-human-15644632/>. [Pristupljeno 26. 7. 2022.]

- [9] J. Zovkić, „Procjena potrebe dušika primjenom Empirical Bayesian kriging metode na području Osječko-baranjske županije”, Diplomski rad, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Osijek, 2019. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:151:345538>.
- [10] „nitrogen cycle” u *Encyclopedia Britannica*. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/nitrogen-cycle>. [Pristupljeno 28. 7. 2022.]
- [11] Ciklus dušika. Preuzeto sa: https://www.vuka.hr/fileadmin/user_upload/lovstvo/korisnik_sadrzaj/Opca_bilogija/biogeokemijski_ciklusi.pdf [Pristupljeno 28. 7. 2022.]
- [12] Europska agencija za okoliš, „Onečišćenje zemljišta i tla –rasprostranjeno, štetno i u porastu”, veljača, 2021. Dostupno na: <https://www.eea.europa.eu/hr/signals/signali-2020/articles/oneciscenje-zemljista-i-tla-2014> [Pristupljeno 28. 7. 2022.]
- [13] D. Rec, „Utjecaj poljoprivredne proizvodnje na kakvoću podzemnih voda na području Biđbosutskog polja u razdoblju 2016.-2018.”, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Agronomski fakultet, Zagreb, 2020. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:204:782525>
- [14] „podzemna voda” u *Hrvatska enciklopedija*, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=48970> [Pristupljeno 29. 7. 2022.]
- [15] C. D. Langevin, J. D. Hughes, E. R. Banta, R. G. Niswonger, S. Panday i A. M. Provost, 2017, „Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model”, Američki geološki zavod, Reston, VA, SAD, 2017. Dostupno na: <https://doi.org/10.3133/tm6A55> [Pristupljeno 29. 7. 2022.]
- [16] M. Šrajbek, L. Kranjčević, I. Kovač, i R. Biondić, „Groundwater Nitrate Pollution Sources Assessment for Contaminated Wellfield,” *Water*, vol. 14, no. 2, p. 255, siječanj 2022. Dostupno na <https://doi.org/10.3390/w14020255>. [Pristupljeno 29. 7. 2022.]
- [17] „atmosfera” u *Hrvatska enciklopedija*, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. Dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=4464>. [Pristupljeno 30. 7. 2022.]
- [18] Department of Earth and Climate Sciences (San Francisco State University), „Atmospheric Composition”. Dostupno na: <http://tornado.sfsu.edu/geosciences/classes/m201/Atmosphere/AtmosphericComposition.html> [Pristupljeno 30. 7. 2022.]

- [19] „solarna konstanta” u *Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža*, 2021. Dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=57039>. [Pristupljeno 17. 8. 2022.]
- [20] „greenhouse effect” u *Encyclopedia Britannica*. Dostupno na: <https://www.britannica.com/science/greenhouse-effect>. [Pristupljeno 17. 8. 2022.]
- [21] Staklenički efekt. Preuzeto sa: http://www.os-supetar.skole.hr/upload/os-supetar/images/newsimg/704/Image/22-Staklenicki_Efekt.jpg. [Pristupljeno 14. 9. 2022.]
- [22] Svjetska meteorološka organizacija (engl. *World Meteorological Organization - WMO*), „Greenhouse Gas Bulletin: Another Year Another Record”. listopad, 2021. Dostupno na: <https://public.wmo.int/en/media/press-release/greenhouse-gas-bulletin-another-year-another-record>. [Pristupljeno 17. 8. 2022.]
- [23] H. Ritchie, M. Roser i Pablo Rosado, „CO₂ and Greenhouse Gas Emissions”. Objavljeno *online* na OurWorldInData.org. 2020. Dostupno na: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [24] Global atmospheric CO₂ concentration. Preuzeto sa: https://ourworldindata.org/explorers/climate-change?facet=none&Metric=CO%E2%82%82+concentrations&Long-run+series%3F=false&country=OWID_WRL~ATA~Gulkana+Glacier~Lemon+Creek+Glacier~North+America~South+Cascade+Glacier~Wolverine+Glacier. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [25] Global atmospheric methane concentration. Preuzeto sa: https://ourworldindata.org/explorers/climate-change?facet=none&Metric=CH%E2%82%84+concentrations&Long-run+series%3F=false&country=OWID_WRL~ATA~Gulkana+Glacier~Lemon+Creek+Glacier~North+America~South+Cascade+Glacier~Wolverine+Glacier. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [26] Global atmospheric nitrous oxide concentration. Preuzeto sa: https://ourworldindata.org/explorers/climate-change?facet=none&Metric=N%E2%82%82O+concentrations&Long-run+series%3F=false&country=OWID_WRL~ATA~Gulkana+Glacier~Lemon+Creek+Glacier~North+America~South+Cascade+Glacier~Wolverine+Glacier. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [27] H. Ritchie i M. Roser, „Ozone Layer”. Objavljeno *online* na OurWorldInData.org. 2018. Dostupno na: <https://ourworldindata.org/ozone-layer>. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]

- [28] Global warming: monthly temperature anomaly. Preuzeto sa: <https://ourworldindata.org/explorers/climate-change>. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [29] H. Ritchie i M. Roser, „Emissions by sector”. Objavljeno *online* na OurWorldInData.org. 2018. Dostupno na: <https://ourworldindata.org/emissions-by-sector>. [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [30] Europski parlament, „Infografika: Emisije stakleničkih plinova po zemlji i sektoru”. ožujak, 2018. Dostupno na: <https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/society/20180301STO98928/infografika-emisije-staklenickih-plinova-po-zemlji-i-sektoru> [Pristupljeno 20. 8. 2022.]
- [31] G. Althor, J. Watson i R. Fuller, „Global mismatch between greenhouse gas emissions and the burden of climate change”. *Scientific Reports* 6, 20281, 2016. Dostupno na: <https://doi.org/10.1038/srep20281>.
- [32] Europski parlament, „Odgovor Europske unije na klimatske promjene”. ožujak, 2018. Dostupno na: [https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/priorities/klimatske-promjene/20180703STO07129/odgovor-europske-unije-na-klimatske-promjene?xtor=SEC-169-GOO-\[Climate_Change\]-\[Responsive\]-S-\[efekt%20staklenika\]](https://www.europarl.europa.eu/news/hr/headlines/priorities/klimatske-promjene/20180703STO07129/odgovor-europske-unije-na-klimatske-promjene?xtor=SEC-169-GOO-[Climate_Change]-[Responsive]-S-[efekt%20staklenika]). [Pristupljeno 21. 8. 2022.]
- [33] J. Šimurina i A. Dobrović, „Analiza Kuznetsove krivulje za okoliš”, Zbornik Ekonomskog fakulteta u Zagrebu, vol.9, br. 2, str. 123-143, 2011. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/74505>. [Pristupljeno 12. 9. 2022.]
- [34] R Core Team, „R: A Language and Environment for Statistical Computing”, R Foundation for Statistical Computing, Beč, Austrija. 2022. Dostupno na: [Austria.https://www.R-project.org/](https://www.R-project.org/). [Pristupljeno 14. 9. 2022.]
- [35] J. Arnerić, „Statističke metode za ekonomske analize”. Dostupno na: https://bookdown.org/jarneric/predavanja_smea/ [Pristupljeno 23. 8. 2022.]
- [36] M. Pavić, „Analiza panel podataka”, Diplomski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2019. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:399336> [Pristupljeno 23. 8. 2022.]
- [37] UNDP, „Human Development Index (HDI)”. Dostupno na: <https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI> [Pristupljeno 23. 8. 2022.]

- [38] H. Mamić, „Panel analiza značaja visokog obrazovanja u zemljama srednje i istočne Europe”, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Ekonomski fakultet, Split, 2015. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:124:379851>
- [39] I. Klinac, „Analiza reaktivnog djelovanja bankovnog sustava EU-a kroz najavu izmjene prudencijalnog regulatornog okvira u funkciji očuvanja financijske stabilnosti”, *Oeconomica Jadertina*, vol.9, br. 1, str. 3-23, 2019. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/220758>
- [40] V. Mačkić, „Političko-proračunski ciklusi na uzorku hrvatskih gradova”, Odabrani prijevodi, vol. 5, br. 21, str. 1-28, ožujak 2014. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:242:413564>.
- [41] UNDP, „Data downloads”, *Human Development Reports*. Dostupno na: <https://hdr.undp.org/data-center/documentation-and-downloads>. [Pristupljeno 8. 9. 2022.]
- [42] USDA, „International Agricultural Productivity”, veljača, 2022. Dostupno na: [InternationalAgriculturalProductivity](https://www.usda.gov/international-agricultural-productivity). [Pristupljeno 8. 9. 2022.]
- [43] Food and Agriculture Organization, „Fertilizers by Nutrient”, Dostupno na: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [44] M. J. Wolf, J. W. Emerson, D. C. Esty, A. de Sherbinin, Z. A. Wendling i dr. „2022 Environmental Performance Index”. 2022. New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Dostupno na: <https://epi.yale.edu/about-epi>. [Pristupljeno 8. 9. 2022.]
- [45] J. Gütschow, L. Jeffery, R. Gieseke, A. Günther, „The PRIMAP-hist national historical emissions time series v2.1 (1850-2017)”, GFZ Data Services. 2019. Dostupno na: <https://doi.org/10.5880/pik.2019.018>. [Pristupljeno 8. 9. 2022.]
- [46] D. Mance, K. Krunić i D. Mance, „Protecting Species by Promoting Protected Areas and Human Development—A Panel Analysis”, *Sustainability*, sv. 13, lis. 2021. Dostupno na: <https://doi.org/10.3390/su132111970>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [47] Center for International Earth Science Information Network, Earth Institute, Columbia University, „Environmental Performance Index (EPI)”, 2016. Dostupno na: <https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/epi-environmental-performance-index-2016/data-download>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]

- [48] Y. Wang i dr. „Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis”, *Science of the Total Environment*, 657, 96-102, 2019. Dostupno na: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.029>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [49] The World Bank, „Population, total”, Dostupno na: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2013&start=1960>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [50] Food and Agriculture Organization, „Crops and livestock products”, Dostupno na: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [51] Food and Agriculture Organization, „Pesticides Use”, Dostupno na: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [52] X. Zhang, i E. Davidson, „Sustainable Nitrogen Management Index”. *Soil Science*. 2019. Dostupno na: <https://doi.org/10.1002/essoar.10501111.1>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [53] Yale Center for Environmental Law & Policy, Center for International Earth Science Information Network Earth Institute, Columbia University, „EPI Downloads”. 2022. Dostupno na: <https://epi.yale.edu/downloads>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [54] ProgrammingR, „How To Run A Normality Test in R”, Dostupno na: <https://www.programmingr.com/statistics/normality-test/>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [55] econometricsacademy, „Panel Data Models in R”, (4. 2. 2013.) *Youtube*, [Video datoteka]. Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=1pST2iUx6QM>. [Pristupljeno 9. 9. 2022.]
- [56] CRAN, „plm: Linear Models for Panel Data”, Dostupno na: <https://CRAN.R-project.org/package=plm>. [Pristupljeno 10. 9. 2022.]
- [57] SebastianWaiEcon, „Panel Data and Fixed Effects in R”. (8. 4. 2020.) *Youtube*, [Video datoteka]. Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=ghNSChAymF4>. [Pristupljeno 10. 9. 2022.]
- [58] E. Mileva, „Using Arellano – Bond Dynamic Panel GMM Estimators in Stata”, Economics Department, Fordham University, 2007. Dostupno na: https://www.academia.edu/7518283/Elitz_Using_Arellano_Bond_GMMEstimators?auto=download. [Pristupljeno 11. 9. 2022.]

- [59] F. Rego, „Quick Guide: Interpreting Simple Linear Model Output in R”, 23. 10. 2015. Dostupno na: <https://feliperego.github.io/blog/2015/10/23/Interpreting-Model-Output-In-R>. [Pristupljeno 11. 9. 2022.]

Popis slika

2.1	Shematski prikaz parametara potrebnih za računanje indeksa ljudskog razvoja	3
2.2	Shematski prikaz ciklusa dušika i organizama koji sudjeluju u njemu	6
2.3	Podzemna voda.....	8
2.4	Podjela atmosfere na slojeve prema promjeni temperature s visinom	11
2.5	Staklenički učinak	12
2.6	Udio CO ₂ u atmosferi	14
2.7	Udio CH ₄ u atmosferi	14
2.8	Udio N ₂ O u atmosferi	15
2.9	Količina emitiranih čestica koje uništavaju ozonski omotač	16
2.10	Odstupanje globalne temperature od prosjeka.....	16
2.11	Emisija stakleničkih plinova po sektorima (podaci za 2016. godinu).....	17
2.12	Prikaz količine emitiranih stakleničkih plinova te zemalja s najvećom emisijom	19
2.13	Kuznetsova krivulja za okoliš.....	21
3.1	Dijagram toka: općeniti koraci u analizi panel podataka.....	32
4.1	Srednja vrijednost varijabli s obzirom na kategoriju indeksa ljudskog razvoja	35
4.2	Kutijasti dijagrami.....	35
4.3	Hausmanov test u R -u za PSPU	38
4.4	Rezultat: model s fiksnim efektima (PSPU).....	41
4.5	Rezultat: GMM FD model (PSPU).....	42
4.6	Rezultat: model s fiksnim efektima (CH ₄).....	44
4.7	Rezultat: model fiksnih efekata (CH ₄) sa statistički značajnim varijablama.....	44
4.8	Rezultat: GMM FD model (CH ₄)	45
4.9	Rezultat: model fiksnih efekata (NF).....	46
4.10	Rezultat: model fiksnih efekata (NF) sa statistički značajnim varijablama.....	47
4.11	Rezultat: GMM FD model (NF)	48
4.12	Analiziranje Kuznetsove krivulje za okoliš za logNF.....	50
4.13	Analiziranje Kuznetsove krivulje za okoliš za logNF.....	50

Popis tablica

1	Kategorizacija indeksa ljudskog razvoja.....	4
2	Kemijski sastav Zemljine atmosfere	10
3	Podaci vremenskog presjeka (HDI u 2010. god.)	23
4	Vremenski niz (HDI za Hrvatsku u periodu 2009.-2011.).....	23
5	Panel podaci (HDI za Austriju, Češku i Hrvatsku u periodu 2009.-2011.)	24
6	Prikaz varijabli.....	29
7	Deskriptivna statistika svih zavisnih i nezavisnih varijabli	34
8	Deskriptivna statistika: Indeks zaštićenih vrsta prema kategoriji indeksa ljudskog razvoja	36
9	Kroskorelacijska tablica.....	37
10	Rezultati ispitivanja jediničnog korijena	39

Dodaci

```

> lapply(varijable, shapiro.test)
$HDI
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.96472, p-value < 2.2e-16

$ATFP
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.96913, p-value < 2.2e-16

$AgPOV
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.97462, p-value < 2.2e-16

$SNMI
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.9863, p-value < 2.2e-16

$POmil
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.25515, p-value < 2.2e-16

$NF
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.23168, p-value < 2.2e-16

$CH4
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.35185, p-value < 2.2e-16

$PSPU
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.88576, p-value < 2.2e-16

$MP
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.32389, p-value < 2.2e-16

$PE
      Shapiro-wilk normality test
data:  X[[i]]
W = 0.34395, p-value < 2.2e-16

```

Slika A.1: Rezultati Shapiro-Wilkovog testa

	PSPU	CH4	NF	HDI	ATFP	Pomil	AgPOV	SNMI	MP	PE
PSPU	NA	2.167202e-01	6.153972e-01	0.000000e+00	8.770762e-14	3.452226e-02	9.749953e-01	5.122233e-06	0.0218468604	0.0001394645
CH4	2.167202e-01	NA	0.000000e+00	6.105930e-04	4.034976e-05	0.000000e+00	4.535049e-03	1.421085e-14	0.0000000000	0.0000000000
NF	6.153972e-01	0.000000e+00	NA	2.301401e-02	1.370707e-03	0.000000e+00	3.434876e-09	2.793321e-13	0.0000000000	0.0000000000
HDI	0.000000e+00	6.105930e-04	2.301401e-02	NA	9.453051e-01	1.040838e-02	1.169460e-10	0.000000e+00	0.0000000000	0.0000000000
ATFP	8.770762e-14	4.034976e-05	1.370707e-03	9.453051e-01	NA	7.107110e-07	1.516189e-03	8.024426e-11	0.0094224215	0.0280419333
Pomil	3.452226e-02	0.000000e+00	0.000000e+00	1.040838e-02	7.107110e-07	NA	5.665899e-09	2.562334e-04	0.0000000000	0.0000000000
AgPOV	9.749953e-01	4.535049e-03	3.434876e-09	1.169460e-10	1.516189e-03	5.665899e-09	NA	1.021405e-14	0.0003886145	0.0014108287
SNMI	5.122233e-06	1.421085e-14	2.793321e-13	0.000000e+00	8.024426e-11	2.562334e-04	1.021405e-14	NA	0.0000000000	0.0000000000
MP	2.184686e-02	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	9.422422e-03	0.000000e+00	3.886145e-04	0.000000e+00	NA	0.0000000000
PE	1.394645e-04	0.000000e+00	0.000000e+00	0.000000e+00	2.804193e-02	0.000000e+00	1.410829e-03	0.000000e+00	0.0000000000	NA

Slika A.2: P-vrijednosti dobivene provjerom korelacije varijabli

Tablica T.1: Deskriptivna statistika: P-vrijednosti dobivene analizom varijance

Varijabla	p-vrijednost
PSPU	$< 2 \cdot 10^{-16}$
ATFP	0,000735
CH4	0,000295
NF	0,00219
POmil	$6,15 \cdot 10^{-6}$
MP	$< 2 \cdot 10^{-16}$
SNMI	$< 2 \cdot 10^{-16}$
AgPOV	$1,84 \cdot 10^{-9}$
PSPU	$< 2 \cdot 10^{-16}$

```

> Y <- cbind(CH4)
> X <- cbind(HDI, ATFP, AgPOV,POmil, MP)
> DF1 <- data.frame(iso, Godina, HDI,CH4, ATFP, AgPOV,POmil, MP)
>
>
> panel.podaci <- pdata.frame(DF1, index=c("iso","Godina"))
> fiksno <- plm(Y ~ X, data = panel.podaci, model = "within")
> slucajno <- plm(Y ~ X, data = panel.podaci, model = "random")
>
> #HAUSMAN TEST:
> phtest(fiksno,slucajno) #p-value = 7.23e-05

Hausman Test

data: Y ~ X
chisq = 26.471, df = 5, p-value = 7.23e-05
alternative hypothesis: one model is inconsistent

```

Slika A.3: Hausmanov test u *R*-u za CH4

```

> Y <- cbind(NF)
> X <- cbind(HDI, ATFP, AgPOV,POmil, MP)
> DF1 <- data.frame(iso, Godina, HDI,CH4, ATFP, AgPOV,POmil, SNMI)
>
>
> panel.podaci <- pdata.frame(DF1, index=c("iso","Godina"))
> fiksno <- plm(Y ~ X, data = panel.podaci, model = "within")
> slucajno <- plm(Y ~ X, data = panel.podaci, model = "random")
>
> #HAUSMAN TEST:
> phtest(fiksno,slucajno)

Hausman Test

data: Y ~ X
chisq = 791.38, df = 5, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: one model is inconsistent

```

Slika A.4: Hausmanov test u *R*-u za NF

```

Call:
lm(formula = PSPU ~ HDI + ATFP + factor(iso), data = PP)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-11.8138  -0.8384   0.1199   0.9138  10.1216

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -10.112365  0.477180  -21.192 < 2e-16 ***
HDI          24.998118  0.849657   29.421 < 2e-16 ***
ATFP         0.013728  0.003175   4.324 1.58e-05 ***
factor(iso)ALB -5.985645  0.584396  -10.242 < 2e-16 ***
factor(iso)ARE -0.403415  0.605976  -0.666 0.505636
factor(iso)ARG -1.565511  0.613805  -2.551 0.010806 *
factor(iso)ARM  5.947997  0.600600   9.903 < 2e-16 ***
factor(iso)AUS -0.983032  0.676807  -1.452 0.146479
factor(iso)AUT  4.121951  0.643839   6.402 1.77e-10 ***
factor(iso)AZE  3.014621  0.590337   5.107 3.48e-07 ***
factor(iso)BDI  7.284826  0.525144  13.872 < 2e-16 ***
factor(iso)BEN 13.028033  0.514831  25.305 < 2e-16 ***
factor(iso)BGD  0.016457  0.523267   0.031 0.974912
factor(iso)BGR  2.090195  0.595578   3.510 0.000455 ***
factor(iso)BHR -5.824726  0.668703  -8.710 < 2e-16 ***
factor(iso)BLR  1.757845  0.624666   2.814 0.004924 **
factor(iso)BLZ  8.759022  0.549337  15.945 < 2e-16 ***
factor(iso)BOL  7.659632  0.557381  13.742 < 2e-16 ***
factor(iso)BRA  5.478013  0.592809   9.241 < 2e-16 ***
factor(iso)BWA  7.807811  0.545961  14.301 < 2e-16 ***
factor(iso)CAF 15.239618  0.514280  29.633 < 2e-16 ***
factor(iso)CAN -2.810071  0.672059  -4.181 2.98e-05 ***
factor(iso)CHE  0.374006  0.667423   0.560 0.575266
factor(iso)CHL  0.196496  0.618961   0.317 0.750916
factor(iso)CHN  4.679081  0.556505   8.408 < 2e-16 ***
factor(iso)CIV 14.596806  0.514198  28.388 < 2e-16 ***
factor(iso)CMR  6.753452  0.519828  12.992 < 2e-16 ***
factor(iso)COD 11.116061  0.516711  21.513 < 2e-16 ***
factor(iso)COG  7.304521  0.522867  13.970 < 2e-16 ***
factor(iso)COL  5.779089  0.566774  10.196 < 2e-16 ***
factor(iso)CRI  7.203294  0.580429  12.410 < 2e-16 ***
factor(iso)CUB  1.545673  0.578223   2.673 0.007555 **
factor(iso)CYP -0.509929  0.611002  -0.835 0.404021
factor(iso)CZE  4.842727  0.638976   7.579 4.60e-14 ***
factor(iso)DEU  3.768498  0.663683   5.678 1.49e-08 ***
factor(iso)DNK  3.767393  0.661601   5.694 1.36e-08 ***
factor(iso)DOM  8.880327  0.576639  15.400 < 2e-16 ***
factor(iso)DZA -0.928562  0.566865  -1.638 0.101512
factor(iso)ECU  7.214912  0.580095  12.437 < 2e-16 ***
factor(iso)EGY  0.539715  0.550016   0.981 0.326537
factor(iso)ESP  3.191882  0.645838   4.942 8.14e-07 ***
factor(iso)EST  5.564087  0.620290   8.970 < 2e-16 ***
factor(iso)FIN  1.902685  0.651788   2.919 0.003535 **
factor(iso)FJI -3.825094  0.566541  -6.752 1.75e-11 ***
factor(iso)FRA  3.789074  0.646394   5.862 5.07e-09 ***
factor(iso)GAB  3.840042  0.550957   6.970 3.88e-12 ***
factor(iso)GHA 11.834898  0.533452  22.185 < 2e-16 ***
factor(iso)GIN 12.925444  0.517425  24.980 < 2e-16 ***
factor(iso)GMB  2.404545  0.517524   4.646 3.52e-06 ***
factor(iso)GRC  4.934689  0.634603   7.776 1.02e-14 ***
factor(iso)GTM  9.394664  0.548607  17.125 < 2e-16 ***
factor(iso)GUY -2.747141  0.556054  -4.940 8.22e-07 ***
factor(iso)HND 10.107975  0.536980  18.824 < 2e-16 ***
factor(iso)HRV  4.107348  0.637827   6.440 1.39e-10 ***
factor(iso)HUN  4.675119  0.612047   7.638 2.93e-14 ***
factor(iso)IDN  6.726718  0.556872  12.079 < 2e-16 ***
factor(iso)IND  4.228688  0.529555   7.985 1.97e-15 ***
factor(iso)IRL  0.085878  0.653493   0.131 0.895456
factor(iso)IRN -0.699850  0.574405  -1.218 0.223170
factor(iso)IRQ -6.430297  0.547065  -11.754 < 2e-16 ***
factor(iso)ISL -4.976914  0.672517  -7.400 1.75e-13 ***
factor(iso)ISR  2.216356  0.656748   3.375 0.000748 ***
factor(iso)ITA  3.693429  0.640819   5.764 9.06e-09 ***
factor(iso)JAM  7.550555  0.566773  13.322 < 2e-16 ***
factor(iso)JOR -5.475516  0.592943  -9.234 < 2e-16 ***
factor(iso)JPN  4.302400  0.662069   6.498 9.46e-11 ***
factor(iso)KAZ -3.270967  0.606258  -5.395 7.37e-08 ***
factor(iso)KEN 10.383268  0.520223  19.959 < 2e-16 ***
factor(iso)KGZ  3.267536  0.565613   5.777 8.38e-09 ***
factor(iso)KHM 12.490541  0.529898  23.572 < 2e-16 ***
factor(iso)KOR -3.670126  0.643789  -5.701 1.31e-08 ***
factor(iso)KWT -5.657987  0.612710  -9.234 < 2e-16 ***
factor(iso)LBY -8.693388  0.602415 -14.431 < 2e-16 ***
factor(iso)LKA  6.637105  0.583251  11.380 < 2e-16 ***
factor(iso)LTU  5.499966  0.622947   8.829 < 2e-16 ***
factor(iso)LVA  5.877793  0.619429   9.489 < 2e-16 ***
factor(iso)MEX -0.258225  0.588802  -0.439 0.661012
factor(iso)MLI  8.211519  0.519077  15.819 < 2e-16 ***
factor(iso)MLT  3.863067  0.610412   6.329 2.84e-10 ***
factor(iso)MMR  3.388506  0.518510   6.535 7.43e-11 ***
factor(iso)MNG  4.595133  0.562181   8.174 4.35e-16 ***
factor(iso)MOZ 12.216787  0.528903  23.098 < 2e-16 ***
factor(iso)MUS -0.521210  0.566388  -0.920 0.357524
factor(iso)MWI 15.331473  0.514776  29.783 < 2e-16 ***
factor(iso)MYS  7.025709  0.587430  11.960 < 2e-16 ***
factor(iso)NER 12.366449  0.519481  23.805 < 2e-16 ***
factor(iso)NIC 10.984692  0.543619  20.207 < 2e-16 ***
factor(iso)NLD  0.446599  0.660433   0.676 0.498952
factor(iso)NOR -3.217531  0.723618  -4.446 9.04e-06 ***
factor(iso)NPL  8.619499  0.520609  16.557 < 2e-16 ***
factor(iso)NZL  2.887557  0.671326   4.301 1.75e-05 ***
factor(iso)PAK  6.547955  0.517360  12.656 < 2e-16 ***
factor(iso)PAN  5.687548  0.577026   9.857 < 2e-16 ***
factor(iso)PER  2.968897  0.575451   5.159 2.64e-07 ***
factor(iso)PHL  4.963305  0.557861   8.897 < 2e-16 ***
factor(iso)PNG  0.381138  0.515674   0.739 0.459900
factor(iso)POL  5.799218  0.618552   9.375 < 2e-16 ***
factor(iso)PRT  4.483983  0.635494   7.056 2.12e-12 ***
factor(iso)PRY  0.078458  0.570382   0.138 0.890602
factor(iso)QAT -7.180107  0.626424 -11.462 < 2e-16 ***
factor(iso)ROU  1.830629  0.591377   3.096 0.001983 **
factor(iso)RUS  0.615534  0.602035   1.022 0.306663
factor(iso)RWA 10.145444  0.531555  19.086 < 2e-16 ***
factor(iso)SAU -2.135850  0.591809  -3.609 0.000312 ***
factor(iso)SEN 14.565747  0.516290  28.212 < 2e-16 ***
factor(iso)SLV -2.483225  0.542436  -4.578 4.89e-06 ***
factor(iso)SVK  5.633336  0.618304   9.111 < 2e-16 ***
factor(iso)SVN  3.239670  0.646682   5.010 5.77e-07 ***
factor(iso)SWE -0.229575  0.664143  -0.346 0.729614
factor(iso)SYR -5.471201  0.576181  -9.496 < 2e-16 ***
factor(iso)TGO 11.268222  0.514028  21.921 < 2e-16 ***
factor(iso)THA  7.923740  0.569357  13.917 < 2e-16 ***
factor(iso)TJK  2.639542  0.564166   4.679 3.01e-06 ***
factor(iso)TTO  6.797936  0.569905  11.928 < 2e-16 ***
factor(iso)TUN -3.706778  0.572330  -6.477 1.09e-10 ***
factor(iso)TUR -7.279899  0.573305 -12.698 < 2e-16 ***
factor(iso)TZA 14.374161  0.513506  27.992 < 2e-16 ***
factor(iso)UGA 14.234133  0.522999  27.216 < 2e-16 ***
factor(iso)UKR -0.580930  0.609105  -0.954 0.340289
factor(iso)URY -6.341242  0.582394 -10.888 < 2e-16 ***
factor(iso)USA -1.252301  0.664187  -1.885 0.059463
factor(iso)VEN  7.878925  0.572977  13.751 < 2e-16 ***
factor(iso)VNM  7.652259  0.549276  13.932 < 2e-16 ***
factor(iso)YEM -1.327856  0.518761  -2.560 0.010525 *
factor(iso>ZAF  4.764635  0.561827   8.481 < 2e-16 ***
factor(iso>ZMB 13.817766  0.519383  26.604 < 2e-16 ***
factor(iso>ZWE 13.026297  0.515686  25.260 < 2e-16 ***

```

Slika A.5: Koeficijenti pomoćnih varijabli za FE model (PSPU)

