

Mokslinio straipsnio analizė

Arina Vysockaja, Marija Sergejeva, Ignas Virbalas

2025-12-09

Nagrinėjamo straipsnio aprašymas

Pavadinimas

“Impact of energy consumption and economic growth on CO2 emission using multivariate regression”

Nuoroda į straipsnį

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301208>

Straipsnio autoriai

Mostafa K. Ardakani, Seyed Mohsen Seyedaliakbar

Žurnalo pavadinimas

Energy Strategy Reviews, Volume 26, 2019. Nuoroda į žurnalą: <https://www.sciencedirect.com/journal/energy-strategy-reviews/vol/26/suppl/C>.

Tyrimo tikslai:

- Ištirti sąryšį tarp energijos suvartojimo, ekonominio augimo ir CO2 emisijos EKC kontekste naudojant multivariacinę regresijos metodiką.
- Tyrime analizuojamos septynios valstybės Vidurio Rytų ir Šiaurės Afrikos regione, kurios pasižymi gausiais naftos ištekliais.

Tyrimo uždaviniai:

- Panaudoti multivariacinę tiesinę regresijos metodiką tam, kad būtų patvirtinta EKC hipotezė atliekamo tyrimo kontekste.
- Pateikti atlikto tyrimo išvadas ir pasiūlymus remiantis gautais rezultatais.

Straipsnio tyrime naudoti duomenys:

- Duomenys surinkti iš World Bank Development Indicators, WDI. Filtruotas 1995 – 2014 metų laikotarpis, atrinktos 7 valstybės: Alžyras, Bahreinas, Iranas, Kuveitas, Omanas, Kataras ir Saudo Arabija. Pasirinkti valstybių kintamieji nurodytam periodui: CO₂ emisijos (metrinės tonos vienam gyventojui), elektros energijos suvartojimas EPC (kWh vienam gyventojui) ir BVP vienam gyventojui (US\$).

Mokslinio straipsnio autorių atliktos analizės metodai:

Modelio formulavimas ir diskriptyvinė analizė

Moksliniame straipsnyje, naudojant duomenis iš WDI duomenų bazės, CO₂ išmetimui taikoma tokia kvadratinė lygtis (kvadratinė regresija):

$$\ln(\text{CO}_{2,it}) = b_{0i} + b_{1i} \cdot \ln(\text{EPC}_{it}) + b_{2i} \cdot \ln(\text{GDP}_{it}) + b_{3i} \cdot [\ln(\text{GDP}_{it})]^2 + \varepsilon_{it}$$

EKC hipotezė tirta naudojant scenarijus, susijusius su BVP ir CO₂ išmetimu:

- (a) kai $b_{2i} \neq 0$ ir $b_{3i} < 0$
(gaunamas apverstas U formos ryšys tarp BVP ir CO₂ išmetimų)
- (b) kai $b_{2i} \neq 0$ ir $b_{3i} > 0$
(gaunamas U formos ryšys tarp BVP ir CO₂ išmetimų)

(a) atveju emisijos didėja iki tam tikro pajamų lygio (lūžio taško: $-\frac{0.5b_{2i}}{b_{3i}}$), o vėliau mažėja.

(b) atveju – atvirkščiai.

Diskriptyvinei analizei panaudota lentelė su duomenų padėties charakteristikomis (vidurkis, standartinis nuokrypis, maksimalios ir minimalios reikšmės), boxplot, scatter, time series grafikai ir histogramos.

Lentelės rodo didelius skirtumus tarp šalių energijos vartojimo ir CO₂ emisijų (pagal vidurkius išsiskiria Bahreinas ir Kataras dėl savo didelių EPC ir CO₂ lygių).

Analizuodami boxplot grafikus autoriai pastebi, kad didesni EPC ir BVP rodikliai paprastai lemia CO₂ padidėjimą.

Laiko eilučių grafikuose vaizduojami $\ln \text{CO}_2$, $\ln \text{EPC}$ ir $\ln \text{GDP}$ kiekvienoje šalyje 1995–2014 m. Pastebima 2008 m. recesija visose šalyse, tačiau bendros išvados, tenkinančios visas šalis, padaryti negalima dėl skirtingų CO₂ augimo tendencijų.

Daugiamatė regresinė analizė

Tiriant CO₂ emisijos ryšį su vienam gyventojui tenkančiu energijos suvartojimu, BVP ir BVP^2 , septynioms MENA šalims 1995–2014 m. taikoma daugiamačė tiesinė regresija.

Aiškinamieji kintamieji: $\ln \text{EPC}$, $\ln \text{GDP}$, $(\ln \text{GDP})^2$.

Modelio tinkamumas: $R^2 = 0.99$, $F = 545$, vidutinė santykinė paklaida 1.8–4.7 %.

Šalys suskirstytos: - U formos kategorija: Alžyras, Bahreinas.

- Apverstos U formos kategorija (patvirtinta EKC hipotezė): Omanas, Kataras, Saudo Arabija.

- Neapibrėžti rezultatai: Iranas, Kuveitas.

Daugiamatės regresijos prielaidos:

Autoriai tikrina daugiamatės linijinės regresijos prielaidas su tikslu išvengti klaidingų išvadų. Tikrinamos šios prielaidos: daugiamatis normalumas, autokoreliacija, homoskedastiškumas ir kolineariškumas. Visi testai yra atlikti grafiškai.

Straipsnio tyrimo išvados:

Apibendrinus, straipsnio autoriai pastebi, jog Omanas, Kataras ir Saudo Arabija skaičiavimų eigoje įgauna apverstos U-formos kreives. Šioms valstybėms turint mažesnę GDP reikšmę, nei jų lūžio taškas, ekonominis augimas lemia didesnes Co2 emisijas, tačiau GDP reikšmei tapus aukštesnei nei lūžio taško reikšmei – aplinkos kokybė gerėja kartu su ekonominiu augimu. Alžyras ir Bahreinas tyrimo eigoje įgauna U-formos kreives. Tai reiškia, kad GDP reikšmei tapus aukštesnei, nei jos lūžio taškas, ekonominis augimas lemia didesnes Co2 emisijas. Atitinkamai, straipsnio autoriai siūlo tinkamos ekonomikos ir socialinės politikos taikymą šioms valstybėms tam, kad būtų sumažintos Co2 emisijos, tuo pačiu metu gerinant ekonomikos augimą. Taip pat, rezultatai Iranui ir Kuveitui yra neapibrėžti. Šiuo atveju, straipsnio autoriai rekomenduoja pakeisti taikomus statistinius metodus, arba itraukti papildomus nepriklausomus kintamuosius, kurie suteiktų galimybę gauti tikslesnį rezultatą.

Darbas:

Nagrinėti duomenys:

Šaltinis: World Bank Development Indicators, WDI. Duomenys iš WDI buvo tiesiogiai įkelti į R aplinką naudojant WDI paketą.

Struktūra: Surinkti duomenys apima 7 valstybes: Alžyrą, Bahreiną, Iraną, Kuveitą, Omaną, Katarą ir Saudo Arabiją. Filtruotas laikotarpis: 1995-2014 metai. Pasirinkti kintamieji: GDP per capita (current US), Carbon dioxide (CO2) emissions excluding LULUCF per capita (t CO2ecapita), Electric power consumption (kWh per capita). Kiekviena eilutė atitinka šalį ir konkretų laikotarpį.

Dažnis: Metiniai duomenys.

Reikšmių matavimai:

GDP per capita (current US\$) – matuojamas JAV doleriais viename žmogui.

Carbon dioxide (CO2) emissions excluding LULUCF (Land use, Land-use change and Forestry) per capita (t CO2e/capita) – CO2 emisijos, atskaičius žemės naudojimą, žemės naudojimo pokyčius ir miškininkystę, matuojamos tonomis viename žmogui. Pasirinkome šį rodiklį, todėl nes WDI nebeteikia galimybės naudoti paprasto CO2 per capita rodiklio.

Electric power consumption (kWh per capita) – Elektros energijos suvartojimas, matuojamas kilovatvalandėmis viename gyventojui.

Taikyti statistiniai metodai:

Duomenų reikšmių pavertimas į natūrinio logaritmo reikšmes, taikytos empirinės charakteristikos (standartinis nuokrypis, mediana, min, max), atlikta išskirčių analizė (nubraižyti boxplot grafikai), nubraižyti trend, scatterplot, qq-plot grafikai. Nubraižytas regresijos modelio grafikas, pateikta jo ataskaita. Taip pat įtraukta koreliacijos lentelė.

Table 1: MENA šalių Ln(CO2) aprašomoji statistika

country	mean_LnCO2	std_LnCO2	min_LnCO2	max_LnCO2
Algeria	1.13	0.11	0.99	1.37
Bahrain	3.26	0.06	3.16	3.35
Iran	1.82	0.19	1.52	2.06
Kuwait	3.35	0.12	3.13	3.54
Oman	2.65	0.26	2.25	2.97
Qatar	3.89	0.09	3.68	3.98
Saudi Arabia	2.87	0.09	2.78	3.03

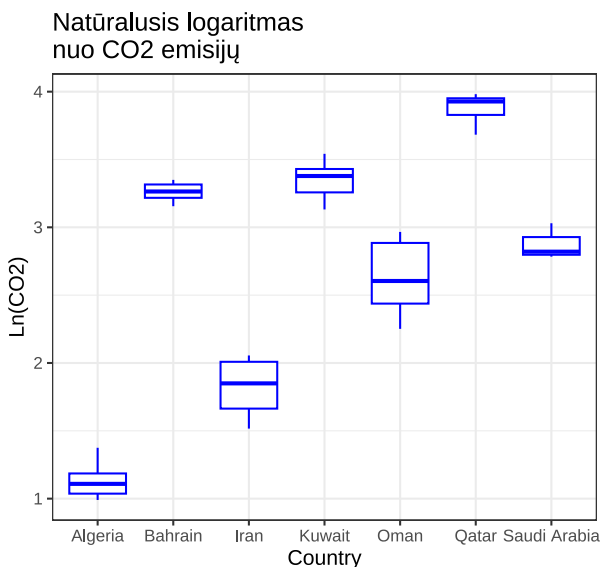
Table 2: MENA šalių Ln(EPC) aprašomoji statistika

country	mean_LnEPC	std_LnEPC	min_LnEPC	max_LnEPC
Algeria	6.72	0.27	6.34	7.21
Bahrain	9.91	0.06	9.77	9.98
Iran	7.56	0.28	7.06	7.96
Kuwait	9.66	0.10	9.44	9.80
Oman	8.33	0.31	7.89	8.78
Qatar	9.59	0.15	9.28	9.85
Saudi Arabia	8.99	0.14	8.83	9.32

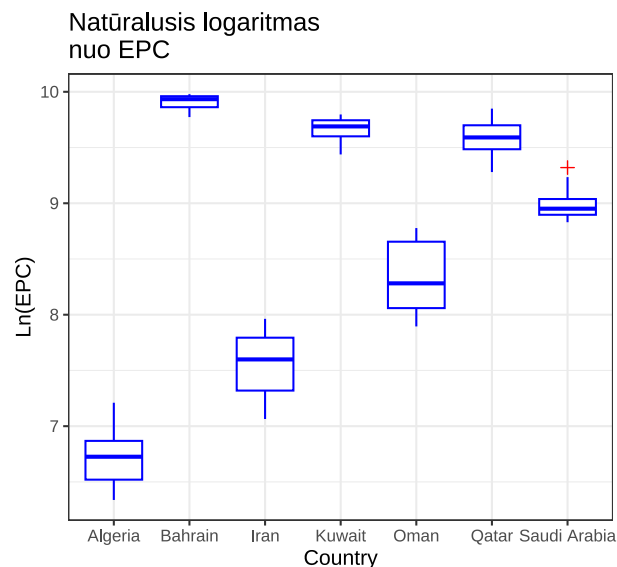
Table 3: MENA šalių Ln(GDP) aprašomoji statistika

country	mean_LnGDP	std_LnGDP	min_LnGDP	max_LnGDP
Algeria	8.00	0.54	7.29	8.72
Bahrain	9.75	0.30	9.36	10.20
Iran	8.07	0.59	7.35	9.00
Kuwait	10.26	0.49	9.55	10.93
Oman	9.53	0.48	8.88	10.19
Qatar	10.67	0.68	9.67	11.59
Saudi Arabia	9.66	0.39	9.19	10.27

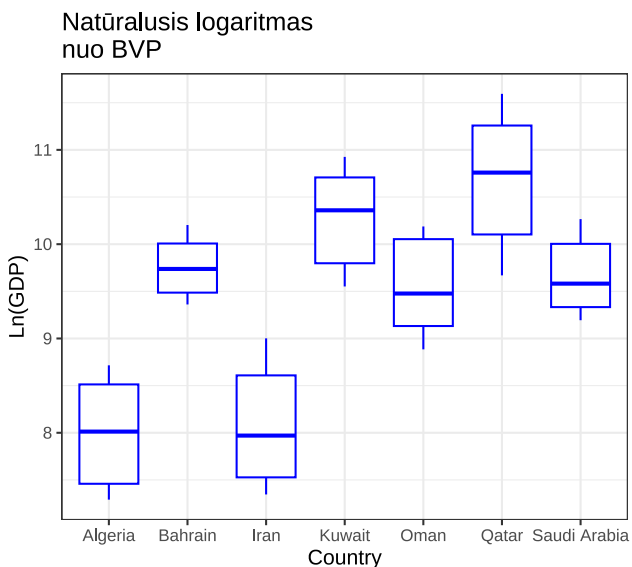
Pateiktose aprašomosios statistikos lentelėse galime matyti vidurkį, standartinį nuokrypį, kintamųjų minimumo ir maksimumo reikšmes. Stebiniai yra surinkti per 20 metų duomenų.



Graf. 1

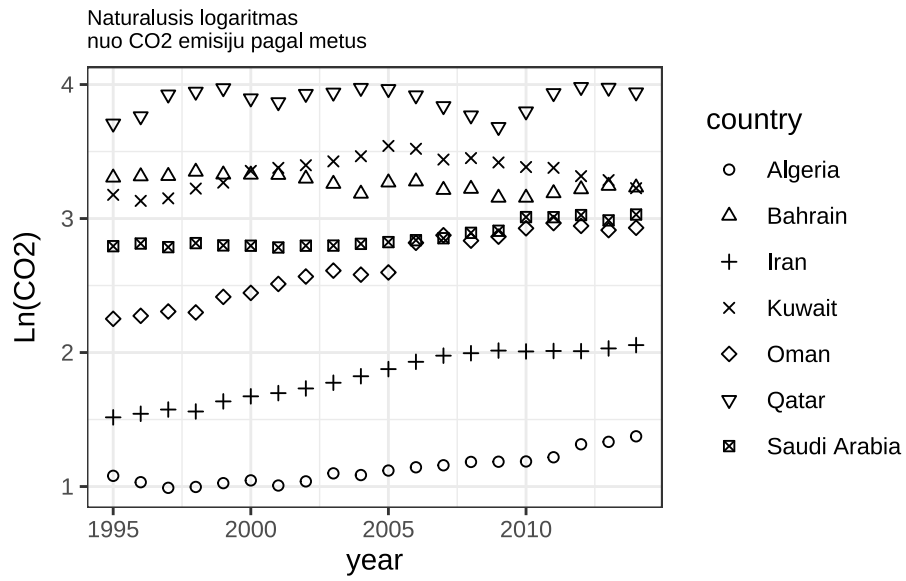


Graf. 2

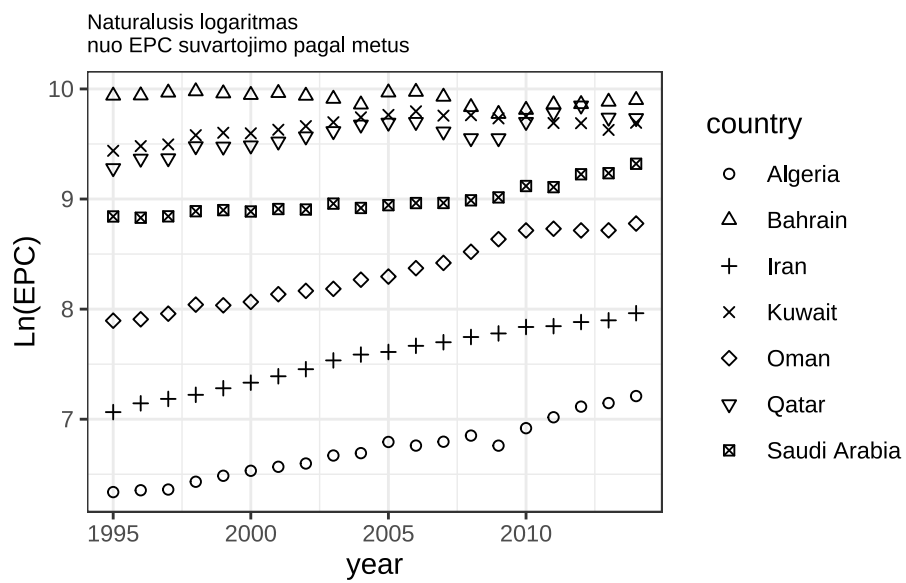


Graf. 3

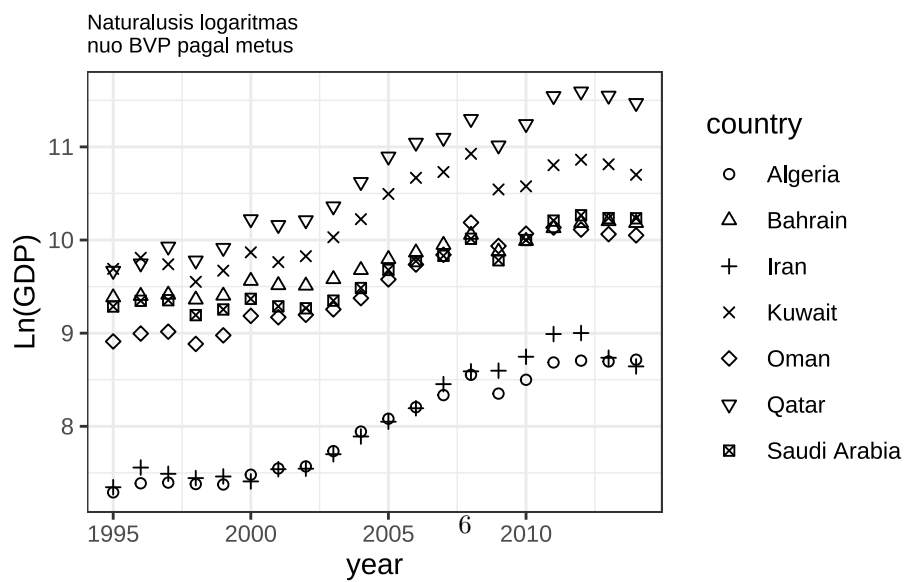
Viršuje vaizduojami grafikai atitinkamai vaizduoja LnCO_2 , LnEPC , LnGDP boxplot'us sugrupuotus pagal valstybes. Graf. 2 pastebime išskirtį ties Saudo Arabijos reikšme. Grafikai tik vizualiai parodo kintamųjų skirstinius, tačiau drąsesnių teiginių apie priežastingumą tarp kintamųjų daryti negalime. Ką tik minėtus kategoriškus teiginius apie dviejų kintamųjų priežastingumą pastebime straipsnio autorių atlikto tyrimo rezultatuose. Autoriai pateikia tris LnCO_2 , LnEPC , LnGDP grafikus, kuriuose boxplot'ai yra sugrupuoti pagal valstybes. Apžvelgę savo grafikų rezultatus, jie teigia, kad "Pirmame ir antrame grafike galime matyti, jog aukštesnė EPC reikšmė dažniausiai nulemia CO_2 augimą, tačiau toks teiginys yra priešingas Bahreino ir Kataro atvejams. Pirmame ir trečiame grafike galime pastebėti, jog CO_2 augimas yra nulemtas BVP augimo". Toks teiginys nėra metodiškai tikslus, nes boxplot grafikai neparodo priežastingumo tarp dviejų kintamųjų, tą įrodyti reiktų pasitelkiant regresinę analizę.



Graf. 4

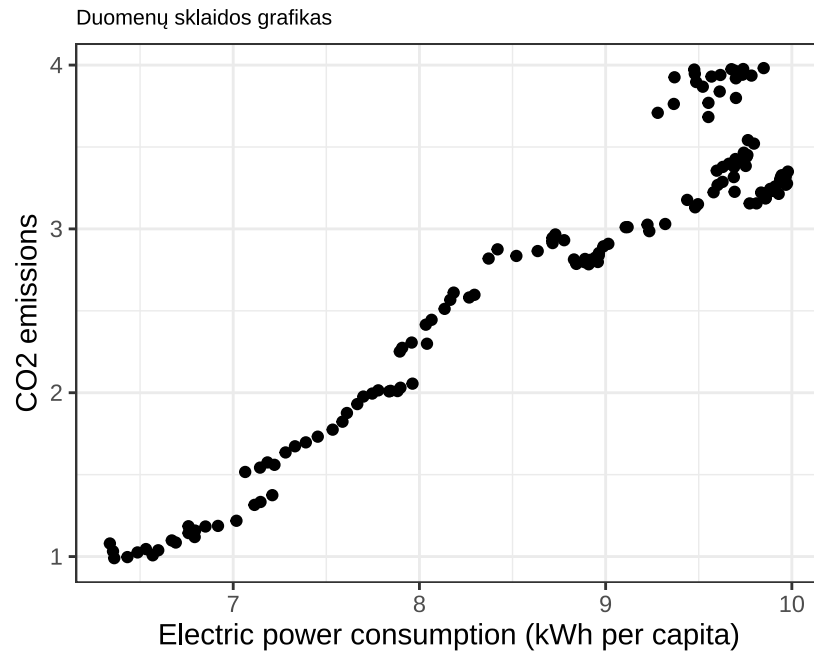


Graf. 5

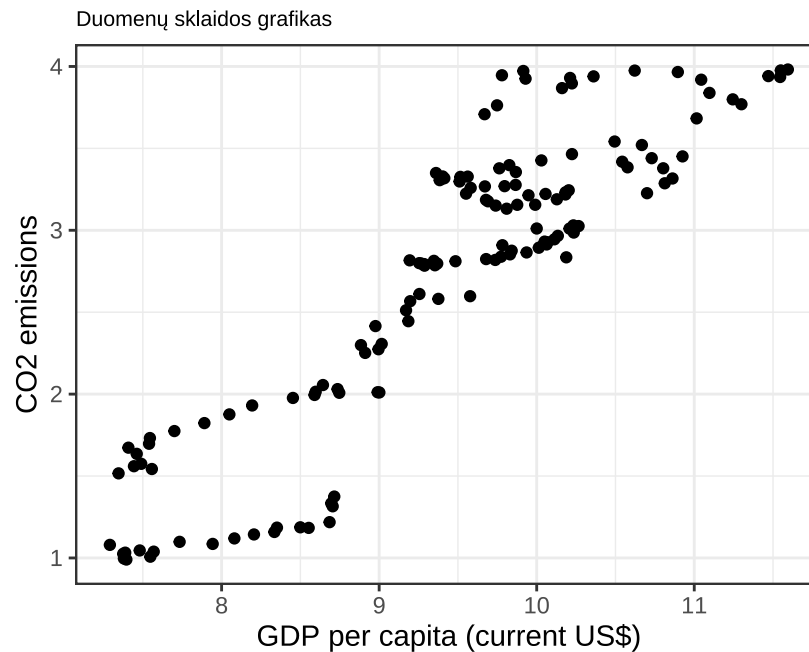


Graf. 6

Grafikuose 4-6 matome EPC, GDP IR CO2 natūrinio logaritmo reikšmes pagal valstybes. Duomenys atrinkti nuo 1995 iki 2014. Pastebime, kad Kataro bei, valstybės, kurios nepamini autoriai, Kuveito CO2 reikšmės nėra tolygiai augančios filtruotu laikotarpiu: jos iš esmės lieka tolygios.

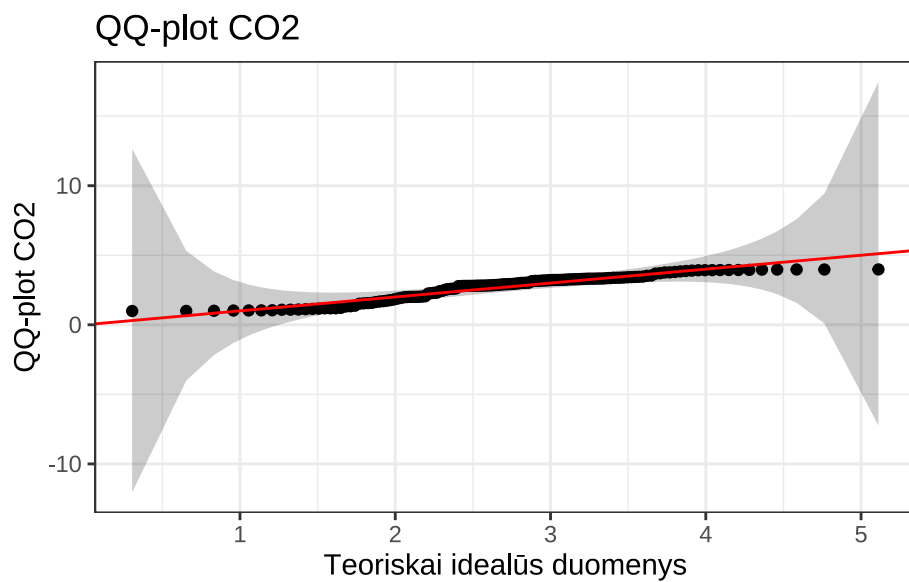


Graf. 7

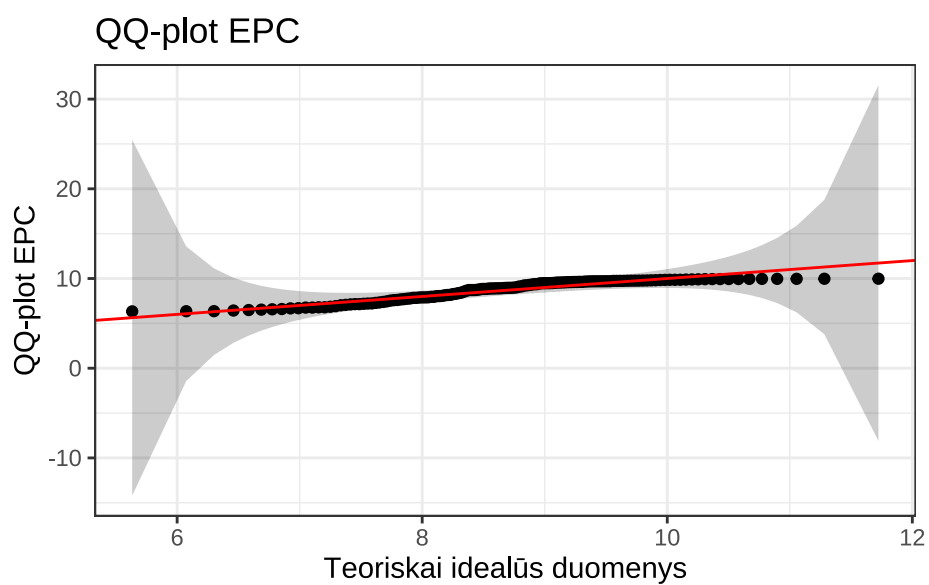


Graf. 8

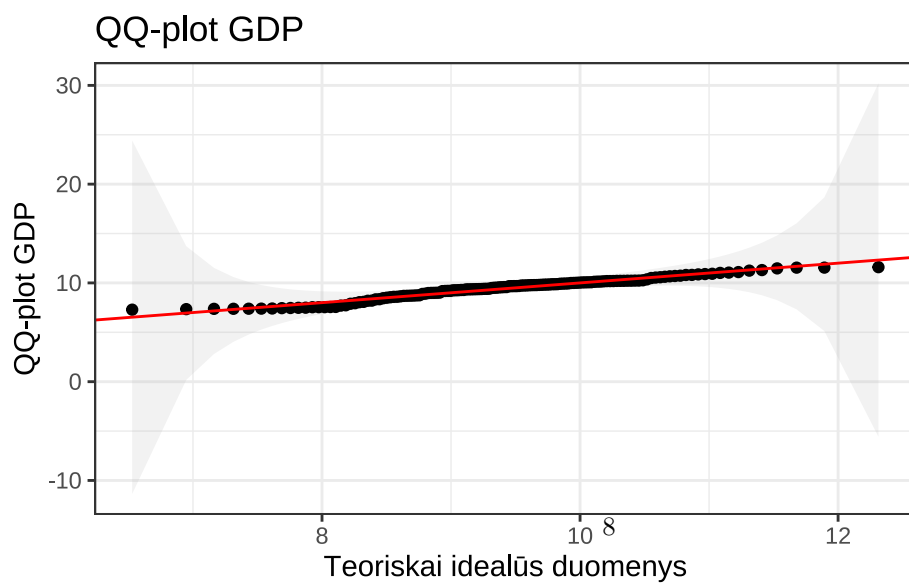
Grafikai 7-8 vaizduoja duomenų sklaidą. Duomenys atrinkti per 20 metų. Grafikas 7 vaizduoja CO2 emisijų nuo EPC priklausomybę, pastebime, kad EPC didėjant - didėja ir CO2 reikšmės. O grafikas 8 - CO2 nuo BVP, išvelgiame, kad bendrai CO2 emisijos didina BVP reikšmes.



Graf. 9

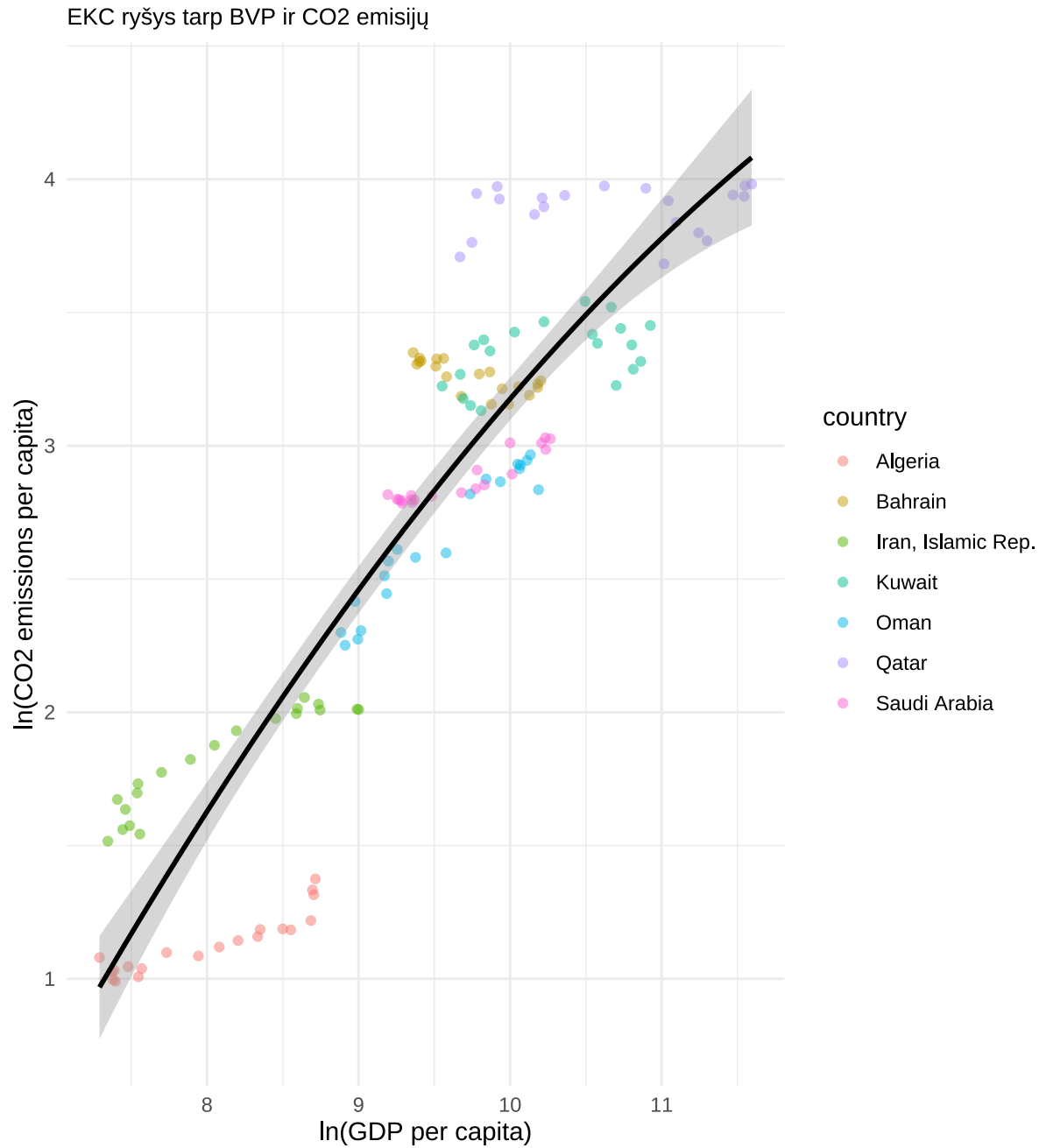


Graf. 10



Graf. 11

Grafikai 9-11 vaizduoja $\ln\text{CO}_2$, $\ln\text{EPC}$ ir $\ln\text{GDP}$ kintamųjų QQ-Plot grafikus. Matome, kad duomenys yra normaliai pasiskirstę visuose grafikuose, tačiau dėl per didelio duomenų kiekio negalime kategoriškai teigti, jog empiriniai duomenys yra tikslūs.



Graf. 12

Graf. 12 pateiktas $\ln\text{CO}_2 \sim \ln\text{GDP} + \ln\text{GDP}^2 + \ln\text{EPC}$ regresijos modelio grafikas. Analizuojant grafiką svarbu paminėti, jog EKC hipotezė čia nėra įrodoma, ar paneigiama. Grafikas parodo nagrinėjamų MENA valstybių taškų išsidėstymą aplink teorinę regresijos liniją. Kaip ir Graf 8. sklaidos grafike pastebime, kad bendrai, negrupuojant taškų pagal valstybes, CO2 emisijos didina BVP reikšmes, tačiau prie išvadų susijusių su minėtos EKC hipotezės paneigimu ar patvirtinimu, vertinant specifines valstybes - neprieiname.

Table 4: EKC modelio koeficientai

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-1.913	1.296	-1.476	0.142
ln_GDP	-0.326	0.296	-1.102	0.272
ln_GDP ²	0.029	0.015	1.932	0.055
ln_EPC	0.581	0.036	16.172	0.000

Viršuje matome Graf. 12 regresinio modelio ataskaitą, sukurtą pasitelkiant stargazer funkciją RStudio. Galime įžvelgti, jog F-statistika yra reikšminga, aukštas R kvadratas reiškia, kad modelis prognozuoja tiksliai. Taip pat matome, jog lnEPC kintamasis yra labai reikšmingas, tačiau remiantis atliktos ataskaitos rezultatais negalime teigti, jog lnGDP² ir lnGDP kintamieji yra reikšmingi. Tačiau norint tisliau įvertinti ar modelis prognozuoja tisliai, vertėtų įtraukti daugiau paklaidų vertinimo testų pvz.: Durbin - Wattson.

Table 5: Koreliacijų lentelė pagal šalį

country	CO2_GDP	CO2_EPC	GDP_EPC
Algeria	0.916	0.940	0.955
Bahrain	-0.755	0.887	-0.617
Iran, Islamic Rep.	0.940	0.988	0.932
Kuwait	0.487	0.879	0.724
Oman	0.965	0.966	0.963
Qatar	0.147	0.503	0.875
Saudi Arabia	0.928	0.934	0.894

Table 4 vaizduojama valstybių ir LnGDP, LnCO2 ir LnEPC kintamųjų tarpusavio koreliacijų lentelė. Vertindami CO2 ir GDP kintamųjų tarpusavio koreliaciją galime įžvelgti, kad Alžyras, Iranas, Omanas, Saudo Arabija pasižymi aukšta koreliacija, tai rodo, kad bendru atveju GDP augimas lemia ir CO2 augimą. Kuveitas, Kataras pasižymi žemesne koreliacija, o Bahreinas - neigiama. Stebėdami CO2 - EPC kintamųjų tarpusavio koreliacija matome, kad Alžyras, Bahreinas, Iranas, Kuveitas, Omanas ir Saudo Arabija pasižymi aukštesne reikšme, o Kataras žemesne. GDP - EPC kintamųjų aukšta tarpusavio koreliacija pasižymi Alžyras, Iranas, Omanas, Kataras, Saudo Arabija. Žemesnė koreliacija yra pastebima ties Kuveito reikšme, o neigiama - Bahreino. Koreliacijos lentelė tik leidžia suskirstyti valstybes į grupes, bet priežastingumo tarp kintamųjų neparodo.

Potencialūs ateities tyrimai

Šiame skyrelyje apžvelgsime ką būtų galima tyrinėti toliau/plačiau/ateityje, pritaikius galbūt kitą, sudėtingesnę metodiką:

- 1) Vertėtų atsižvelgti į kitus veiksnius, kurie gali padaryti įtakos emisijoms, pvz. prekybos atvirumas, politinė situacija, nes galimai gavome tokius skirtingus rezultatus dėl šalių vidinių reikalų.
- 2) Paimti didesnį kiekį šalių ir palyginti, pvz. to regiono skurdžias šalis su mūsų nagrinėtomis.
- 3) Panašus į praeitą, bet įdomu būtų palyginti šio tyrimo rezultatus apie MENA šalis ir ES šalis.
- 4) Pakartoti tyrimą pasirinkus kitą laikotarpį pvz.: nuo 2015 iki 2025. Taip pat turėti galvoje kitus veiksnius, kurie galėjo padaryti įtakos valstybių rezultatams.

- 5) Pritaikyti kitą metodiką straipsnyje. Literatūroje randame taikomą STIRPAT metodiką (regresinė metodika, leidžianti statistiškai įvertinti, kaip gyventojų skaičius, ekonominė gerovė ir technologijos daro poveikį aplinkos degradacijai), būtų idomu panagrinėti rezultatus taikant ją.
 - 6) Atlikti daugiau paklaidų vertinimo testų. Panagrinėti Durbin - Wattson testus. Tai leistų tiksliau įvertinti ar regresijos modelis prognozuoja tiksliai.
 - 7) Įtraukti į analizę papildomų kintamųjų. Autorių apžvelgtoje literatūroje pastebime, jog atitinkamuose tyrimuose yra atliekama analizė įtraukiant atsinaujinančios energijos suvartojimo ir neatsinaujinančios energijos suvartojimo kintamuosius. Gauti rezultatai rodo, kad neatsinaujinančios energijos suvartojimas kartu su ekonominiu augimu padidina CO2 emisijų lygį, priešingai, nei atsinaujinančios energijos suvartojimas.
 - 8) Pratęsti tyrimą su tolimesne regresijos analize (analizuojamo straipsnio autoriai naudoja mvregress funkciją MatLab ir pateikia daugiakintamės tiesinės regresijos rezultatus, kuriais remdamiesi vėliau patvirtina, arba paneigia EKC) analizuojant EKC hipotezę.
-

Išvados:

Pastebime, jog gauti atlikto darbo rezultatai turi panašumų su straipsnio autorių diskriptyvinės analizės metu gautais rezultatais: standartinio nuokrypio, vidurkio, min, max reikšmės daugelyje vietų sutampa, boxplot, time series, duomenų sklaidos grafikai daugelyje vietų atitinka straipsnio autorių grafikus. Taip pat pridedame papildomus QQ-Plot grafikus su tikslu patikrinti normalumą duomenyse. Pastebime, jog duomenys yra normaliai pasiskirstę, tačiau dėl didelio duomenų kiekio prieš kategoriškos išvados neprieiname. Taip pat pridedame regresijos modelio grafiką ir ataskaitą, kuri daugelyje vietų pasako, jog modelis yra reikšmingas: F-statistika reikšminga, R kvadratas - aukštas, todėl modelis prognozuoja tiksliai, lnEPC kintamasis labai reikšmingas, ko negalime teigti apie likusius: $\ln GDP^2$ ir $\ln GDP$ kintamuosius. Koreliacijos lentelėje pastebime, jog labai aukšta koreliacija tarp visų kintamųjų yra Alžyre, Irane, Omane, Saudo Arabijoje. Aukšta koreliacija nepasižymi Kataras ir Kuveitas. Bahreinas yra vienintelė šalis, kuri turi neigiamą koreliaciją tarp kintamųjų. Norint dar tiksliau patikrinti ar modelis prognozuoja tiksliai ir yra reikšmingas, vertėtų atlikti daugiau paklaidų vertinimo testų pvz.: Durbin-Wattson. Savo analizėje mes netikriname EKC hipotezės, tik atliekame regresinio modelio metodiką ir patikriname ar sukurtas regresijos modelis prognozuoja tiksliai. Norint patikrinti EKC hipotezę, reiktų atlikti sudetingesnę regresijos analizę (autoriai naudoja daugiakintę tiesinės regresijos metodiką) patikrinti. Taip pat verta paminėti, jog palyginę savo rezultatus su straipsnio autoriu gautais pastebime, jog mūsų R kvadratas yra žemesnis (0.935) nei autorių (0.99), tačiau F-statistika yra aukštesnė ~ 653, autorių - 545.