

Uvod u ekonometriju — Vježba 1

Hrapavost terena: Blagoslov loše geografije u Africi

Prijevod rada Nunn & Puga (2012) s zadacima u R-u

Napomena: Ovaj dokument sadrži (I) potpun prijevod rada *Ruggedness: The Blessing of Bad Geography in Africa* (Nunn i Puga, 2012) na bosanski/srpski jezik, uključujući sve tablice i bilješke, te (II) set zadataka za empirijsku analizu u programskom jeziku R. Podaci su dostupni na <http://diegopuga.org/data/rugged/> (fajl rugged_data.dta).

Contents

1	Prijevod rada	3
1.1	I. Uvod	3
1.2	II. Hrapavost terena	4
1.3	III. Ekonometrijski okvir	5
1.4	IV. Diferencijalni učinak hrapavosti u Africi	6
1.4.1	A. Robusnost s obzirom na izostavljene geografske varijable	7
1.4.2	B. Robusnost s obzirom na alternativne mjere prihoda i hrapavosti	7
1.4.3	C. Robusnost s obzirom na utjecajne opservacije	7
1.4.4	D. Objašnjavaju li druge afričke karakteristike ili kolonijalna vladavina diferencijalni efekt?	7
1.4.5	E. Diferencijalni efekti hrapavosti po regijama unutar Afrike	8
1.5	V. Objašnjava li izvoz robova afrički diferencijalni efekt?	9
1.5.1	A. Ekonomska veličina efekata	9
1.5.2	B. Efekt izvoza robova na prihod putem vladavine prava	10
1.6	VI. Zaključci	11
2	Zadaci za vježbu u R-u	12
2.1	Zadatak 1 — Deskriptivna statistika	12
2.2	Zadatak 2 — Replikacija Tablice 1	13
2.3	Zadatak 3 — Diferencijalni učinci po kontinentima	14
2.4	Zadatak 4 — Jedna vs. dvije odvojene regresije	15
2.5	Zadatak 5 — Standardizirani koeficijenti	16
2.6	Zadatak 6 — Grafički prikaz (Slika 2)	17
2.7	Zadatak 7 — Normalnost reziduala i CLM pretpostavke	17
2.8	Zadatak 8 — Marginalni učinci s interakcijama	18

3 Napomene o interpretaciji	19
3.1 Uzročnost vs. korelacija	19
3.2 Robusne standardne greške	19
3.3 Interpretacija log-linearnog modela	20
Bibliografija	21

1. Prijevod rada

Nathan Nunn i Diego Puga

The Review of Economics and Statistics, februar 2012, sv. 94(1): str. 20–36

Sažetak — Pokazujemo da geografija, kroz svoj utjecaj na historiju, može imati značajne efekte na ekonomski razvoj danas. Analiza se fokusira na historijsku interakciju između hrapavosti terena i afričke trgovine robljem. Iako hrapav teren otežava trgovinu i većinu produktivnih aktivnosti — negativno utječući na prihode globalno — hrapav teren unutar Afrike pružao je zaštitu onima koji su bili napadani tokom trgovine robljem. Budući da je trgovina robljem usporila kasniji ekonomski razvoj, hrapavost terena unutar Afrike imala je i historijski indirektan pozitivan učinak na prihode. Proučavajući sve zemlje širom svijeta, procjenjujemo diferencijalni učinak hrapavosti na prihode za Afriku. Pokazujemo da je ovaj diferencijalni učinak statistički značajan i ekonomski smislen, pronalazi se samo u Africi, ne može se objasniti drugim faktorima poput Afrikina jedinstvenog geografskog okruženja, i u potpunosti ga objašnjava historija trgovine robljem.

1.1. I. Uvod

Hrapav teren je teško obradiv, skup za prelazak i često nepogodan za život; ipak, u Africi, zemlje s hrapavim pejzažem obično imaju bolje performanse od ravnijih. Ovaj rad otkriva taj paradoks i objašnjava ga vraćajući se više od dva vijeka unazad — do trgovine robljem.

U Africi, između 1400. i 1900. godine, četiri istovremene trgovine robljem — preko Atlantika, Sahare, Crvenog mora i Indijskog oceana — dovele su do prisilne migracije više od 18 miliona ljudi, pri čemu je mnogo više poginulo u procesu (ukupna populacija Afrike bila je relativno stabilna tokom tog perioda, između 50 i 70 miliona). Privrede koje su ostale iza njih bile su opustošene: političke institucije su se urušile, a društva su se fragmentirala. Za afričke ljude koji su bježali od trgovine robljem, hrapav teren bio je pozitivna prednost. Porobljavanjem se uglavnom bavilo putem prepada jedne grupe na drugu, a brda, pećine i litice pružali su osmatranačnice i skrivena mjesta za one koji su pokušavali pobjeći. Danas ta ista geografska hrapavost ekonomska je mana — otežava transport robe, povećava troškove navodnjavanja i obrade zemljišta, i prosto čini poslovanje skupljim.

Koristimo historijsku važnost hrapavosti terena unutar Afrike kako bismo informirali debatu koja se pojavila o važnosti geografije za ekonomski razvoj. Dok je opće prihvaćeno da geografija može imati važne posljedice za ekonomske ishode, postoji rastuća rasprava o kanalu uzročnosti. Tradicionalni fokus bio je na direktnim savremenim efektima geografije na ekonomske ishode (Kamarek, 1976; Mellinger, Sachs i Gallup, 2000; Sachs, 2001). Nedavno su drugi argumentirali za nijansiranije efekte geografije koji djeluju kroz prošle interakcije s ključnim historijskim događajima (Diamond, 1997; Engerman i Sokoloff, 1997, 2002; Acemoglu, Johnson i Robinson, 2001, 2002). Na primjer, Acemoglu i sar. (2001) tvrde da važnost okoline sklone bolestima za trenutne razine prihoda leži u efektu koji je imala na potencijalnu smrtnost doseljenika tokom kolonizacije. U područjima gdje je visoka smrtnost obeshrabrila Europljane od nase-

javanja, kolonizatori su implementirali loše institucije, što je negativno utjecalo na kasniji ekonomski razvoj.

Općenito je teško procijeniti historijske indirektno efekte geografije. Teškoća nastaje zato što su lokacije obično pogodjene ne samo historijskim efektom geografske karakteristike, već i svim direktnim efektima koji mogu postajati danas. Budući da su geografske karakteristike konstantne kroz vrijeme, razdvajanje ova dva kanala je teško. Naša analiza koristi činjenicu da je dugoročni pozitivni efekt hrapavosti, kroz odbijanje napadnihša robova, koncentriran u afričkim zemljama, gdje su se trgovine odvijale. Stoga smo u stanju identificirati indirektni historijski efekt hrapavosti terena koji djeluje putem trgovine robljem. Dalje testiramo ovaj kanal koristeći procjene, konstruirane od strane Nunna (2008), broja robova oduzetih iz svake afričke zemlje.

1.2. II. Hrapavost terena

Hrapavost terena ima niz efekata na prihode koje doživljavaju sve regije svijeta. Najutemeljeniji su savremeni negativni efekti hrapavosti. Nepravilan teren otežava obradu. Na strmim padinama erozija postaje potencijalna opasnost, a kontrola vode, poput navodnjavanja, postaje mnogo teža. Prema Organizaciji za hranu i poljoprivredu (FAO, 1993), kada su nagibi veći od 2 stepena, koristi od uzgoja često ne pokrivaju neophodne troškove, a kada su nagibi veći od 6 stepeni, uzgoj postaje nemoguć. Pored toga, zbog vrlo visokih troškova zemljanih radova, građevinski troškovi su daleko veći kada je teren nepravilan (Rapaport i Snickars, 1999; Nogales, Archondo-Callao i Bhandari, 2002). Također, transport po nepravilnom terenu je sporiji i skuplji.¹

Naša hipoteza je da je unutar Afrike hrapavost imala i dodatni historijski efekt zbog afričke historije trgovine robljem. U Africi, očekujemo da će hrapavost terena imati i korisne efekte budući da je pomogla područjima da izbjegnu negativne dugoročne posljedice trgovine robljem. Najuobičajeniji metod porobljavanja bio je putem prepada i otmica od strane članova jedne etničke grupe na drugu ili čak između članova iste etničke grupe (Northrup, 1978; Lovejoy, 2000). Hrapav teren pružao je zaštitu napadnutima. Davao je pećine za skrivanje i mogućnost praćenja nizina i putova koji su vodili do napadnihša. Afrički historičari dokumentirali su mnoge primjere ovoga. Na primjer, Bah (1976) opisuje kako su “*kroz sva vremena, pećine i litice služile kao mjesta utočišta za ljude. ...Ima mnogo primjera ovog odbrambenog sistema u Africi. U Ebaraku (jugostočni Senegal), još uvijek postoje tragovi tata zida blizu pećine u kojoj su se Bassari, bježeći od Fulanskih napada, skrivali.*”² Pišući o današnjem Maliju, Brasseur (1968) objašnjava da su “*skriveni u neravnom terenu, oni [Dogoni] bili u stanju koristiti vojne grebene i, što se tiče tehnika ratovanja u to vrijeme, bili su nepobjedivi.*”

Pri mjerenju hrapavosti terena, naš cilj je imati mjeru koja hvata hrapavost terena u malim razmjerama, poput pećina i litica, koje su pružale zaštitu onima koji su bili napadani tokom trgovine robljem. To činimo izračunavanjem *indeksa hrapavosti terena* (engl. *Terrain Ruggedness Index*, TRI), koji su izvorno osmislili Riley, DeGloria i Elliot (1999) kako bi kvantificirali topografsku heterogenost u staništima divljaci koja pružaju

¹Studija Allena, Bourkea i Gibsona (2005) ističe ove negativne efekte nepravilnog terena unutar Papue Nove Gvineje. Autori pokazuju da strmi teren ne samo da otežava proizvodnju tržišnih kultura, već također čini transport tih kultura do tržišta znatno skupljim ili čak nemogućim.

²Za dodatne dokaze vidjeti Marchesseau (1945), Podlewski (1961), Gleave i Prothero (1971), Bah (1985, 2003), Cordell (2003) i Kusimba (2004).

skrovita mjesta za plijen i osmatranačnice.³

Naša polazna tačka je GTOPO30 (US Geological Survey, 1996), globalni skup podataka o nadmorskim visinama razvijen kroz međunarodnu suradnju. Nadmorske visine u GTOPO30 ravnomjerno su raspoređene na 30 lučnih sekundi diljem cijele površine Zemlje. Površinska udaljenost između dviju susjednih tačaka na meridijanu iznosi pola nautike, ili ekvivalentno, 926 metara.

Izračunavanje hrapavosti uzima tačku na površini Zemlje i izračunava razliku nadmorske visine između te tačke i tačke na mreži 30 lučnih sekundi sjeverno od nje, za svaki od osam glavnih pravaca kompasa. Formalno, neka $e_{r,c}$ označava nadmorsku visinu u tački u redu r i koloni c mreže tačaka visine. Tada je TRI Rileya i sar. (1999):

$$\text{TRI}_{r,c} = \sqrt{\sum_{i=r-1}^{r+1} \sum_{j=c-1}^{c+1} (e_{i,j} - e_{r,c})^2} \quad (1)$$

Zatim usrednjujemo po svim ćelijama u zemlji koje nisu pokrivene vodom, ponderirajući svaku ćeliju njenom površinom koja varira s geografskom širinom.

Jedinice indeksa hrapavosti terena odgovaraju onima koje se koriste za mjerenje razlika nadmorske visine. Primjeri zemalja: Holandija (TRI = 0,037; gotovo ravno), Mauritanija (0,115). Rumunjska (1,267) i Zimbabve (1,194) imaju blago hrapav teren. Umjereno hrapave su Italija (2,458) i Džibuti (2,432). Izrazito hrapave: Nepal (5,043) i Lesoto (6,202).

1.3. III. Ekonometrijski okvir

Naša polazna hipoteza je da hrapavost ima efekt na tekuci prihod koji je jednak za sve dijelove svijeta. Ova veza se može iskazati kao:

$$y_i = \kappa_1 - \alpha r_i + \beta q_i + e_i \quad (2)$$

gdje i indeksira zemlje; y_i je prihod po glavi stanovnika; r_i je naša mjera hrapavosti; q_i je mjera efikasnosti ili kvaliteta organizacije društva; κ_1 , α i β su konstante ($\alpha > 0$ i $\beta > 0$); a e_i je klasičan term greške (IID, iz normalne distribucije s uvjetnim očekivanjem 0).

U jednadžbi (2) pretpostavljamo da je zajednički utjecaj hrapavosti na prihod negativan. Važan dio $-\alpha$ je efekt hrapavosti na prihod kroz povećane troškove uzgoja, gradnje i trgovine. Međutim, $-\alpha$ može sadržavati i persistentne historijske efekte hrapavosti slične svim regijama.

Historijska istraživanja i empirijski rad Nunna (2008) dokumentirali su da su afričke trgovine robljem negativno utjecale na političke i socijalne strukture društava. Ovakav efekt afričke trgovine robljem hvaćamo s:

$$q_i = \begin{cases} \kappa_2 - \gamma x_i + u_i & \text{ako je } i \text{ u Africi,} \\ u_i & \text{inače,} \end{cases} \quad (3)$$

³Npr., Gerrard (2000) konstruira mjeru postotka svake zemlje pokrivene planinama, koju koriste Fearon i Laitin (2003), Collier i Hoeffler (2004) i drugi. Burchfield i sar. (2006) konstruiraju mjere i malih i velikih nepravilnosti i pokazuju da imaju suprotne efekte na rasučenost stambene izgradnje u američkim metropolitanskim područjima, koristeći isti TRI Rileya i sar.

gdje x_i označava izvoz robova, κ_2 i γ su konstante ($\gamma > 0$), a u_i je klasičan term greške.

Historijski izvještaji tvrde da je broj robova uzetih iz nekog područja bio smanjen hrapavošću terena:

$$x_i = \kappa_3 - \lambda r_i + v_i \quad (4)$$

gdje su κ_3 i λ konstante ($\lambda > 0$) i v_i je klasičan term greške.

Jednadžbe (2), (3) i (4) su središnje veze u našoj analizi. Naš prvi pristup je kombinirati sve tri supstitucijom jednadžbi (3) i (4) u (2):

$$y_i = \begin{cases} \kappa_1 - \alpha r_i + \beta \gamma \lambda r_i + \kappa_4 + \zeta_i + \xi_i & \text{ako je } i \text{ u Africi,} \\ \kappa_1 - \alpha r_i + \zeta_i & \text{inače,} \end{cases} \quad (5)$$

gdje $\kappa_4 \equiv \beta(\kappa_2 - \gamma\kappa_3)$, $\zeta_i \equiv e_i + \beta u_i$ i $\xi_i \equiv -\beta \gamma v_i$. Jednadžba (5) ilustrira središnju hipotezu ovog rada: da za afričke zemlje postoji dodatni pozitivni historijski efekt hrapavosti na prihod koji djeluje putem trgovine robljem ($\beta \gamma \lambda$).

Vodi se jednadžbom (5), procjenjujemo sljedeću vezu između hrapavosti i prihoda:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 r_i + \beta_2 r_i \mathbf{I}_i^{\text{Afrika}} + \beta_3 \mathbf{I}_i^{\text{Afrika}} + \varepsilon_i \quad (6)$$

gdje je $\mathbf{I}_i^{\text{Afrika}}$ indikatorska varijabla koja iznosi 1 ako je zemlja i u Africi i 0 inače.

Hipoteza 1. $\beta_2 > 0$: u Africi, hrapavost ima dodatni pozitivni efekt na prihod.

Za procjenu konzistentnih procjenitelja iz jednadžbe (6) pretpostavljamo da nema izostavljenih varijabli koje bi karakterizirale odnos između hrapavosti/prihoda različito unutar i izvan Afrike.

U odjeljku V. dovodimo izvoz robova u prvi plan supstitucijom samo jednadžbe (3) u (2) i zasebnom procjenom jednadžbe (4):

$$y_i = \beta_6 + \beta_7 r_i + \beta_8 r_i \mathbf{I}_i^{\text{Afrika}} + \beta_9 \mathbf{I}_i^{\text{Afrika}} + \beta_{10} x_i + \varepsilon_i \quad (7)$$

$$x_i = \beta_{11} + \beta_{12} r_i + \epsilon_i \quad (8)$$

Procjena jednadžbi (7) i (8) nam omogućava testiranje četiri dodatne hipoteze:

- **H2:** $\beta_{12} < 0$ — hrapavost negativno utječe na izvoz robova.
- **H3:** $\beta_{10} < 0$ — izvoz robova negativno utječe na prihod.
- **H4:** $\beta_8 = 0$ — kada se kontrolira za izvoz robova, efekt hrapavosti nije različit u Africi.
- **H5:** $\beta_7 = -\alpha$ — kontroliranjem za efekte trgovine robljem dobiva se konzistentna procjena zajedničkog efekta hrapavosti.

1.4. IV. Diferencijalni učinak hrapavosti u Africi

Kao prvi korak u empirijskoj analizi procjenjujemo zajednički efekt hrapavosti na prihod po osobi i njen diferencijalni efekt za Afriku. Polazne procjene jednadžbe (6) dati su u Tablici 1. Gledajući prvu kolonu, kad procjenjujemo jednadžbu (6), nalazimo da je koeficijent za hrapavost negativan i statistički značajan: $\hat{\beta}_1 < 0$. Ovo indicira negativan zajednički efekt hrapavosti za cijeli svijet, konzistentan s povećanim troškovima trgovine, gradnje i poljoprivrede.

Koeficijent za hrapavost interagiranu s indikatorom za Afriku je pozitivan i statistički značajan: $\hat{\beta}_2 > 0$. Ovaj diferencijalni efekt za Afriku konzistentan je s Hipotezom 1. Unutar Afrike postoji dodatni pozitivni efekt hrapavosti na prihod.

1.4.1. A. Robusnost s obzirom na izostavljene geografske varijable

Potencijalno zbunjujući faktor je prokletstvo mineralnih resursa (Sachs i Warner, 2001). Kolona 2 dodaje kontrolnu varijablu za karate dijamanta ekstrahirane po kvadratnom kilometru između 1958. i 2000. i njenu interakciju s afričkim indikatorom. Naši rezultati ostaju robusni.

Kolona 3 dodaje postotak plodnog tla i njenu interakciju s Afrikinom indikatorom. Kolona 4 dodaje postotak tropske klime (Köppen-Geiger klasifikacija). Kolona 5 kontrolira za prosječnu udaljenost do najbliže obale koja nije pokrivena ledom (u hiljadama km). Kolona 6 uključuje sve geografske kontrole i njihove interakcije s afričkim indikatorom. U svim specifikacijama diferencijalni efekt hrapavosti ostaje pozitivan i statistički značajan.⁴

1.4.2. B. Robusnost s obzirom na alternativne mjere prihoda i hrapavosti

Razmatramo niz provjera robusnosti. Alternativne mjere hrapavosti uključuju: (1) prosječnu apsolutnu vrijednost nagiba terena; (2) prosječnu standardnu devijaciju visine unutar susjednih ćelija; (3) postotak površine zemlje koja je izrazito hrapava; (4) mjeru hrapavosti ponderiranu populacijom. Robusnost se testira i za prihod iz različitih godina (1950–2000, podaci Maddisona, 2007). U svim regresijama diferencijalni efekt hrapavosti unutar Afrike ostaje pozitivan i statistički značajan.

1.4.3. C. Robusnost s obzirom na utjecajne opservacije

Slika 2 originalne studije prikazuje scatter plot prihoda po glavi naspram hrapavosti za afričke i neafričke zemlje. Vidljivi su pozitivan nagib za Afriku i negativan za ostatak svijeta. Provjere robusnosti uključuju: izostavljanje 10 najhrapavijih zemalja (Tablica 2, kol. 1); izostavljanje 10 najmanjih zemalja (kol. 2); izostavljanje opservacija s $|DFBETA_i| > 2/\sqrt{N}$ (kol. 3); transformaciju $\ln(\text{hrapavost})$ (kol. 4); Box-Cox transformaciju nulte asimetrije (kol. 5).

1.4.4. D. Objašnjavaju li druge afričke karakteristike ili kolonijalna vladavina diferencijalni efekt?

Mogućnost je da diferencijalni efekt hrapavosti za Afriku nije zapravo afrički efekt, već da nastaje jer se efekt hrapavosti na prihod razlikuje za područja s nekom geografskom karakteristikom posebno zastupljenom u Africi (tropska klima karakterizira 34,0% afričkog zemljišta prema 19,3% ostatka svijeta; plodno tlo čini 22,5% Afrike prema 25,3% ostatka).

Tablica 3 testira ove mogućnosti dodavanjem interakcija hrapavosti s tropskom klimom i plodnim tlom (kol. 1–3), te s indikatorima kolonizatora (kol. 4) i pravnog porijekla

⁴Nezavisno interesantna je veza između hrapavosti i našeg skupa kontrolnih varijabli. Ne nalazimo značajnu vezu između hrapavosti i produkcije dijamanta, plodnosti tla ili udaljenosti od obale. Nalazimo negativnu vezu između hrapavosti i postotka tropske klime. Također, ne nalazimo da je Afrika značajno više ili manje hrapava od ostatka svijeta.

Table 1: Diferencijalni efekt hrapavosti u Africi
 Zavisna varijabla: Log realnog BDP-a po glavi stanovnika, 2000.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Hrapavost	-0,203** (0,093)	-0,196** (0,094)	-0,203** (0,094)	-0,243*** (0,092)	-0,193** (0,081)	-0,231*** (0,077)
Hrapavost $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$	0,393*** (0,144)	0,404*** (0,146)	0,406*** (0,138)	0,414*** (0,157)	0,302** (0,130)	0,321** (0,127)
$\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$	-1,948*** (0,220)	-2,014*** (0,222)	-1,707*** (0,325)	-2,066*** (0,324)	-1,615*** (0,295)	-1,562*** (0,415)
Dijamanti		0,017 (0,012)				0,028*** (0,010)
Dij. $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$		-0,014 (0,012)				-0,026** (0,011)
% Plodnog tla			0,000 (0,003)			-0,002 (0,003)
Plod. $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$			-0,008 (0,006)			-0,009 (0,007)
% Tropska klima				-0,007*** (0,002)		-0,009*** (0,002)
Trop. $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$				0,004 (0,004)		0,006 (0,004)
Udal. do obale					-0,657*** (0,177)	-1,039*** (0,193)
Udal. $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$					-0,291 (0,360)	-0,194 (0,386)
Konstanta	9,223*** (0,143)	9,204*** (0,148)	9,221*** (0,200)	9,514*** (0,164)	9,388*** (0,134)	9,959*** (0,195)
N	170	170	170	170	170	170
R^2	0,357	0,367	0,363	0,405	0,421	0,537

Koeficijenti s robusnim standardnim greškama u zagradama. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$;
 * $p < 0,10$.

(kol. 5). Diferencijalni efekt hrapavosti ostaje pozitivan i značajan kroz sve specifikacije.

1.4.5. E. Diferencijalni efekti hrapavosti po regijama unutar Afrike

Ispitujemo razlikuje li se jačina efekta po regijama unutar Afrike na način konzistentan s poznatom historijom trgovine robljem. Zapadna Afrika bila je najviše pogodena trgovinom robljem, dok je Sjeverna Afrika jedva bila pogodjena.⁵ Rezultati u Tablici 4 pokazuju da za Zapadnu Afriku pozitivan efekt hrapavosti značajno povećan (+0,532***), dok za Sjevernu Afriku nema pozitivnog efekta (0,406 – 0,404 \approx 0). Tri preostale regije leže između ovih ekstrema.

⁵Korelacija između naše mjere izvoza robova i indikatora za Zapadnu Afriku iznosi 0,53 (značajno). Za Sjevernu Afriku korelacija je -0,30 (značajno). Za ostale afričke regije korelacija nije statistički različita od 0.

Table 2: Robusnost s obzirom na utjecajne opservacije
Zavisna varijabla: Log realnog BDP-a po glavi stanovnika, 2000.

	Izostavljanje opservacija			Transformacija	
	Izost. 10 najhrap. (1)	Izost. 10 najmanjih (2)	Izost. ako $ DFBT > 2/\sqrt{N}$ (3)	Korištenje $\ln(\text{hrap.})$ (4)	Box-Cox hrapavosti (5)
Hrapavost	-0,202** (0,083)	-0,221*** (0,083)	-0,261*** (0,068)	-0,171*** (0,051)	-0,249*** (0,075)
Hrap. $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$	0,286** (0,133)	0,188* (0,099)	0,223* (0,116)	0,234** (0,119)	0,333** (0,142)
$\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$	-1,448*** (0,454)	-1,465*** (0,405)	-1,510*** (0,406)	-1,083*** (0,394)	-1,139*** (0,391)
Sve kontrole	Da	Da	Da	Da	Da
N	160	160	164	170	170
R^2	0,520	0,545	0,564	0,527	0,533

Koeficijenti s robusnim SE u zagradama. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$. Sve regresije uključuju konstantu i puni skup kontrolnih varijabli: dijamanti, dijamanti $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$, % plodnog tla, % plodnog tla $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$, % tropske klime, % tropske klime $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$, udaljenost do obale, udaljenost do obale $\times \mathbf{I}^{\text{Afr}}$.

1.5. V. Objašnjava li izvoz robova afrički diferencijalni efekt?

Sada ispitujemo mogu li trgovine robljem objasniti diferencijalni efekt hrapavosti unutar Afrike. Koristimo podatke iz Nunna (2008) o broju robova oduzetih iz svake afričke zemlje između 1400. i 1900. Budući da je varijabla jako lijevo asimetrična, uzimamo prirodni logaritam $1 +$ mjere: $\ln(1 + \text{izvoz robova/površina})$.

Kolona 5 Tablice 5 prikazuje bezuvjetnu vezu između hrapavosti i izvoza robova među 49 afričkih zemalja. Procjena pokazuje negativnu i statistički značajnu vezu — hrapavost sama objašnjava skoro 30% varijacije u izvozu robova. Ovo potvrđuje **H2**. Kolone 6 i 7 dodaju kontrolne varijable i gustinu populacije 1400., kao i udaljenosti do odredišta robova; koeficijent za hrapavost ostaje negativan i značajan na razini 1%.

Kolona 1 Tablice 5 procjenjuje jednadžbu (7) s kontrolom za izvoz robova. S kontrolama ili bez, kada se kontrolira za izvoz robova, diferencijalni efekt hrapavosti unutar Afrike nestaje — koeficijent uz hrapavost $\times \mathbf{I}^{\text{Afrika}}$ je blizak 0 i više nije značajan. Ovo potvrđuje **H4**. Kolone 2 i 4 potvrđuju **H3**: ekonomski ishodi u Africi lošiji su u mjestima više pogodjenim trgovinom robljem ($\hat{\beta}_{10} < 0$). Potvrđuje se i **H5**.

1.5.1. A. Ekonomska veličina efekata

Korištenjem procjena iz Tablice 5 provodimo niz kontrafaktičkih izračuna. Hipotetska afrička zemlja s prosječnim izvozom robova i prosječnim log realnim BDP-om po glavi, da je bila potpuno netaknuta trgovinom robljem, imala bi prihod od **4.149\$** umjesto 1.784\$ — povećanje od 133%.⁶

⁶Izračunato iz: $\ln \hat{y} = \ln 1784 - 0,206 \times (-4,09)$, gdje je 4,09 prosječni intenzitet izvoza robova među afričkim zemljama. Rješavanje za \hat{y} daje 4.149\$.

Table 3: Razmatranje diferencijalnih efekata hrapavosti prema karakteristikama zastupljenim u Africi

Zavisna varijabla: Log realnog BDP-a po glavi stanovnika, 2000.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Hrapavost	-0,259** (0,101)	-0,322** (0,160)	-0,374** (0,161)	-0,386** (0,176)	-0,543*** (0,179)
Hrap. \times \mathbf{I}^{Afr}	0,357*** (0,130)	0,400*** (0,155)	0,360** (0,140)	0,399** (0,203)	0,435*** (0,135)
$\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$	-1,814*** (0,213)	-1,977*** (0,223)	-1,818*** (0,218)	-1,740*** (0,337)	-1,994*** (0,216)
Hrap. \times % trop. klima	Da	Ne	Da	Da	Da
% Tropska klima	Da	Ne	Da	Da	Da
Hrap. \times % plodnog tla	Ne	Da	Da	Da	Da
% Plodnog tla	Ne	Da	Da	Da	Da
Hrap. \times kolonizator FE	Ne	Ne	Ne	Da	Ne
Kolonizator FE	Ne	Ne	Ne	Da	Ne
Hrap. \times pravno porijeklo FE	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
Pravno porijeklo FE	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
N	170	170	170	170	170
R^2	0,404	0,363	0,408	0,430	0,559

Koeficijenti s robusnim SE u zagradama. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

Povećanje hrapavosti za jednu standardnu devijaciju (sa 1,110 na 2,389) smanjilo bi izvoz robova za $1,326 \times 1,279 = 1,70$ (0,54 SD pada u intenzitetu izvoza robova). Ovo bi pak povećalo log realni BDP za **747\$**, s prosječnih 1.784\$ na 2.531\$.⁷

Indirektna procjena: $\hat{\beta}\hat{\gamma} \times \hat{\lambda} = (-0,206) \times (-1,326) = 0,273$, što je gotovo identično reduciranoj formi ($\hat{\beta}_2 = 0,321$ iz kol. 6 Tablice 1).

1.5.2. B. Efekt izvoza robova na prihod putem vladavine prava

Kao djelomični korak prema procjeni pojedinih koeficijenata $\hat{\lambda}$, $\hat{\beta}$ i $\hat{\gamma}$ posebno, koristimo varijablu vladavine prava iz baze Svjetske banke (Kaufmann i sar., 2008). Tablica 6 prikazuje procjene jednadžbi (2) i (3).

Kolone 1–2 pokazuju snažnu pozitivnu vezu između vladavine prava i prihoda po glavi, što potvrđuje nalaze prethodnih studija (Acemoglu i sar., 2001). Kolone 3–5 pokazuju da je efekt izvoza robova na institucionalni kvalitet negativan i značajan.

Kombiniranjem procijenjenih koeficijenata dobijamo: $\hat{\lambda} \times \hat{\beta} \times \hat{\gamma} = (-1,326) \times 0,813 \times (-0,065) = 0,070$. Iako je indirektni efekt pozitivan, njegova veličina (0,070) znatno je manja od veličine implicirane reduciranom formom (0,321), jer strukturni prisup pretpostavlja da je jedini kanal djelovanja vladavina prava. Svaki efekt trgovine robljem na prihod koji ne prolazi kroz vladavinu prava neće biti zahvaćen. Nedavni rezultati Nunna i Wantchekona (u tijeku), koji pokazuju da su trgovine robljem imale negativni efekt na razine povjerenja 100 godina nakon kraja trgovine, pružaju dokaze da postoje

⁷Izračunato iz $\ln \hat{y} = \ln 1784 - 0,206 \times (-1,326 \times 1,279)$, gdje je 1,279 SD hrapavosti među afričkim zemljama. Rješavanje za \hat{y} daje 2.531\$.

i drugi kanali.

1.6. VI. Zaključci

Studija pruža dokaze da geografija može imati važne efekte na prihod kroz svoju interakciju s historijskim događajima. Fokusirajući se na dimenziju geografije — hrapavost terena — koja varira širom svijeta i na historijski događaj — trgovine robljem od 1400. do 1900. — koji je geografski ograničen na Afriku, u mogućnosti smo procijeniti indirektni historijski efekt hrapavosti na prihod.

Za cijeli svijet nalazimo negativnu vezu između hrapavosti i prihoda. Također nalazimo da je hrapav teren imao dodatni efekt u Africi tokom 15.–19. stoljeća: pružao je zaštitu onima koji su bili napadani tokom afričkih trgovina robljem. Dopuštajući područjima da izbjegnu štetne efekte koje su trgovine robljem imale na kasniji ekonomski razvoj, hrapavost je stvorila i dugoročne koristi u Africi putem indirektnog historijskog kanala. Pokazujemo da je taj diferencijalni efekt jedinstven za Afriku, ne može se objasniti Afrikinim jedinstvenim geografskim okruženjem, i u potpunosti je objasnjen historijom afričkih trgovina robljem. U cjelini, rezultati pružaju primjer važnosti geografije putem historijskih kanala.

2. Zadaci za vježbu u R-u

Priprema radnog okruženja u R-u

Preuzmite podatke s <http://diegopuga.org/data/rugged/>. Koristite fajl `rugged_data.dta`. Za učitavanje u R instalirajte paket `haven`.

```

1 install.packages(c("haven","dplyr","ggplot2",
2                   "lmtest","sandwich","car","moments"))
3
4 library(haven)    # read_dta()
5 library(dplyr)    # mutate(), filter()
6 library(ggplot2)  # grafici
7 library(lmtest)   # coeftest() - robusni SE
8 library(sandwich) # vcovHC()
9 library(car)      # linearHypothesis()
10 library(moments) # skewness(), kurtosis()
11
12 df <- read_dta("rugged_data.dta")
13
14 # Kreiranje svih potrebnih varijabli
15 df <- df %>% mutate(
16   lrgdppc_2000 = log(rgdppc_2000),
17   rugged_africa = rugged * cont_africa,
18   gem          = gemstones / land_area * 100,
19   g_africa     = gem * cont_africa,
20   soil_africa  = soil * cont_africa,
21   trop_africa  = tropical * cont_africa,
22   dc_africa    = dist_coast * cont_africa
23 )
24
25 # Radni uzorak: 170 zemalja (Tablica 1)
26 df_t1 <- df %>%
27   filter(!is.na(lrgdppc_2000), !is.na(rugged),
28           !is.na(cont_africa))

```

2.1. Zadatak 1 — Deskriptivna statistika

Zadatak 1

Opišite skup podataka. Izračunajte deskriptivnu statistiku varijabli korištenih u Tablici 1 (**srednju vrijednost, medijan i standardnu devijaciju**). Koliko zemalja imamo? Pobrinite se da su vrijednosti izračunate na uzorku korištenom u Tablici 1 (isključite opservacije s nedostajućim vrijednostima za varijable relevantne za specifikaciju u koloni 1).

Kontekst. Tablica 1 procjenjuje efekte hrapavosti terena na log realnog BDP-a po glavi stanovnika za 2000. Ključne varijable:

Varijabla	Opis	Uloga
rgdppc_2000	Realni BDP p.c. 2000 (\$)	Zavisna (prije loga)
rugged	TRI indeks hrapavosti	Ključna obj. var.
cont_africa	=1 ako zemlja je u Africi	Indikator
gemstones	Karati dijamanta / km ²	Kontrola (kol. 2)
soil	% plodnog tla	Kontrola (kol. 3)
tropical	% tropske klime	Kontrola (kol. 4)
dist_coast	Prosjec. udalj. do obale	Kontrola (kol. 5)

Hint za Zadatak 1

```

1 vars <- c("rgdppc_2000", "rugged", "cont_africa",
2           "gem", "soil", "tropical", "dist_coast")
3
4 df_t1 %>%
5   select(all_of(vars)) %>%
6   summarise(across(everything(), list(
7     N = ~sum(!is.na(.)),
8     Mean = ~mean(., na.rm = TRUE),
9     SD = ~sd(., na.rm = TRUE),
10    Med = ~median(., na.rm = TRUE),
11    Min = ~min(., na.rm = TRUE),
12    Max = ~max(., na.rm = TRUE)
13  )))
14
15 cat("Broj zemalja N =", nrow(df_t1), "\n")
16 # Ocekivano: N = 170

```

2.2. Zadatak 2 — Replikacija Tablice 1

Zadatak 2

Replirajte rezultate iz Tablice 1 (kolone 1–6) s robusnim standardnim greškama (HC1). Uporedite vaše rezultate s onima u tablici prijevoda.

- Koji bi bio problem **izostavljanja** $\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$ iz procjene (zadržavanje interakcije)?
- U koloni (1), kakav je ukupni učinak hrapavosti za afričke zemlje? Je li statistički različit od nule?

Kontekst. Jednadžba za kolonu (1):

$$\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 \underbrace{r_i}_{\text{rugged}} + \beta_2 \underbrace{r_i \cdot \mathbf{I}_i^{\text{Afr}}}_{\text{rugged_africa}} + \beta_3 \underbrace{\mathbf{I}_i^{\text{Afr}}}_{\text{cont_africa}} + \varepsilon_i$$

Ukupni učinak hrapavosti za afričke zemlje = $\beta_1 + \beta_2$. **Problem izostavljanja $\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$:** model bi prisiljavao afričke i neafričke zemlje da imaju isti intercept, što je netocna i restriktivna pretpostavka — uzrokuje pristranost procjene $\hat{\beta}_2$.

Hint za Zadatak 2

```

1 # Kolona 1
2 m1 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + rugged_africa + cont_africa,
3         data = df_t1)
4 coeftest(m1, vcov = vcovHC(m1, type = "HC1"))
5
6 # Kolone 2-6
7 m2 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + rugged_africa + cont_africa
8         + gem + g_africa, data = df_t1)
9 m3 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + rugged_africa + cont_africa
10        + soil + soil_africa, data = df_t1)
11 m4 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + rugged_africa + cont_africa
12        + tropical + trop_africa, data = df_t1)
13 m5 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + rugged_africa + cont_africa
14        + dist_coast + dc_africa, data = df_t1)
15 m6 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + rugged_africa + cont_africa
16        + gem + g_africa + soil + soil_africa
17        + tropical + trop_africa
18        + dist_coast + dc_africa, data = df_t1)
19
20 # Test ukupnog efekta za Afriku: beta1 + beta2 = 0
21 linearHypothesis(m1, "rugged + rugged_africa = 0",
22                 vcov = vcovHC(m1, type = "HC1"))
23 cat("Ukupni efekat za Afriku:",
24     coef(m1)["rugged"] + coef(m1)["rugged_africa"], "\n")
25 # Ocekivano: -0.203 + 0.393 = +0.190 (znacajno na 10%)

```

2.3. Zadatak 3 — Diferencijalni učinci po kontinentima

Zadatak 3

Razmotrite kolonu (1) Tablice 1. Procijenite učinak hrapavosti zasebno za **svaki kontinent** (Azija, Evropa, Okeanija, Sjeverna Amerika, Južna Amerika). Koji kontinent — ako ikoji — ima statistički značajan pozitivni diferencijalni učinak?

Kontekst. Za svaki kontinent k procjenjujemo: $\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 r_i + \delta_k (r_i \cdot \mathbf{I}_i^k) + \gamma_k \mathbf{I}_i^k + \varepsilon_i$. Hipoteza autora je da je pozitivni diferencijalni učinak hrapavosti jedinstven za Afriku jer je jedino tamo bila prisutna razorna sustavna trgovina robljem u toliko velikim razmjerama.

Hint za Zadatak 3

```

1 df_t1 <- df_t1 %>% mutate(
2   rugged_asia    = rugged * cont_asia,
3   rugged_europe  = rugged * cont_europe,
4   rugged_oceania = rugged * cont_oceania,
5   rugged_n_ame   = rugged * cont_north_america,
6   rugged_s_ame   = rugged * cont_south_america
7 )

```

```

8
9 conts <- list(
10   Asia   = c("rugged_asia",   "cont_asia"),
11   Europe = c("rugged_europe", "cont_europe"),
12   Oceania = c("rugged_oceania", "cont_oceania"),
13   N_Ame  = c("rugged_n_ame",   "cont_north_america"),
14   S_Ame  = c("rugged_s_ame",   "cont_south_america")
15 )
16 for (nm in names(conts)) {
17   fm <- as.formula(paste("lrgdppc_2000 ~ rugged +",
18                         conts[[nm]][1], "+", conts[[nm]][2]))
19   m <- lm(fm, data = df_t1)
20   cat("\n===", nm, "===\n")
21   print(coeftest(m, vcov = vcovHC(m, type = "HC1")))
22 }
23 # Ocekivano: ni za jedan kontinent nema pozitivnog
24 # i znacajnog diferencijalnog efekta hrapavosti

```

2.4. Zadatak 4 — Jedna vs. dvije odvojene regresije

Zadatak 4

Koja je razlika između: (a) procjene log BDP-a na uzorku afričkih zemalja i (b) na uzorku neafričkih zemalja odvojeno; naspram (c) jedne regresije s interakcijama? Zašto su autori odabrali pristup (c)?

Kontekst. Pristupi (a) i (b) procjenjuju različite intercept i nagib za svaku grupu, ali pretpostavljaju različitu varijancu greške (heteroskedastičnost između grupa). Interakcijska regresija (c) ograničava varijancu greške na istu vrijednost, direktno testira $H_0 : \beta_2 = 0$, i koristi informacije iz oba poduzorka za procjenu zajedničkih parametara.

Hint za Zadatak 4

```

1 # (a) Samo africke zemlje
2 m_a <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged,
3          data = df_t1 %>% filter(cont_africa == 1))
4 coeftest(m_a, vcov = vcovHC(m_a, type = "HC1"))
5
6 # (b) Samo neafricke zemlje
7 m_b <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged,
8          data = df_t1 %>% filter(cont_africa == 0))
9 coeftest(m_b, vcov = vcovHC(m_b, type = "HC1"))
10
11 # (c) Jedna regresija s interakcijama = m1
12 coeftest(m1, vcov = vcovHC(m1, type = "HC1"))
13
14 # Provjera:
15 # Nagib u (a) treba = beta1 + beta2 iz (c)
16 # Nagib u (b) treba = beta1 iz (c)

```

2.5. Zadatak 5 — Standardizirani koeficijenti

Zadatak 5

Razmotrite samo **neafričke** zemlje. Regresirajte log BDP-a na hrapavost i udaljenost do obale.

- (i) Je li učinak hrapavosti statistički različit od učinka udaljenosti do obale?
- (ii) Zašto je direktno usporedba nestandardiziranih koeficijenata pogrešna? Izračunajte **beta koeficijente** i komentirajte rezultate.

Kontekst. Standardizirani (beta) koeficijent mjeri za koliko standardnih devijacija y promjeni kada x_j promjeni za jednu vlastitu SD: $\hat{\beta}_j^* = \hat{\beta}_j \cdot s_{x_j} / s_y$. Ovo eliminira problem različitih mjernih jedinica (hrapavost je u stotinama metara, udaljenost do obale u hiljadama km) i omogućava usporedbu relativne važnosti prediktora.

Hint za Zadatak 5

```

1 df_non <- df_t1 %>% filter(cont_africa == 0)
2
3 m_5 <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + dist_coast, data = df_non)
4 coeftest(m_5, vcov = vcovHC(m_5, type = "HC1"))
5
6 # (i) Test jednakosti: H0: beta_rugged = beta_dist_coast
7 linearHypothesis(m_5, "rugged = dist_coast",
8                   vcov = vcovHC(m_5, type = "HC1"))
9
10 # (ii) Beta koeficijenti
11 df_std <- df_non %>% mutate(
12   y_s = scale(lrgdppc_2000),
13   r_s = scale(rugged),
14   d_s = scale(dist_coast)
15 )
16 m_std <- lm(y_s ~ r_s + d_s, data = df_std)
17 coeftest(m_std, vcov = vcovHC(m_std, type = "HC1"))
18
19 # Rucni izracun
20 b <- coef(m_5)
21 s_y <- sd(df_non$lrgdppc_2000, na.rm = TRUE)
22 cat("Beta* rugged:      ",
23     b["rugged"] * sd(df_non$rugged, na.rm=T) / s_y, "\n")
24 cat("Beta* dist_coast:",
25     b["dist_coast"] * sd(df_non$dist_coast, na.rm=T) / s_y, "\n")

```

2.6. Zadatak 6 — Grafički prikaz (Slika 2)

Zadatak 6

Nacrtajte grafikone slične Slici 2 za afričke i neafričke zemlje: (i) s BDP-om u nivou na osi y , (ii) s log BDP-a. Komentirajte razliku.

Kontekst. Slika 2 originalne studije prikazuje scatter plot hrapavosti i log prihoda s linijom trenda posebno za svaku grupu. Ključna poruka: pozitivan nagib za Afriku, negativan za ostatak svijeta. BDP u nivou je izrazito desno asimetričan — log transformacija normalizira distribuciju i linearizira trend.

Hint za Zadatak 6

```

1 df_plot <- df_t1 %>%
2   mutate(Group = ifelse(cont_africa == 1,
3                         "Africke zemlje",
4                         "Neafricke zemlje"))
5
6 # (i) Nivo BDP-a
7 ggplot(df_plot, aes(x = rugged, y = rgdppc_2000)) +
8   geom_point(alpha = 0.5, colour = "steelblue") +
9   geom_smooth(method = "lm", se = TRUE,
10              colour = "darkred", fill = "pink", alpha = 0.25) +
11   facet_wrap(~ Group, scales = "free_y") +
12   labs(title = "BDP p.c. (nivo) i hrapavost terena",
13        x = "Indeks hrapavosti (TRI)",
14        y = "Realni BDP p.c. 2000 ($)") +
15   theme_minimal(base_size = 12)
16
17 # (ii) Log BDP-a
18 ggplot(df_plot, aes(x = rugged, y = lrgdppc_2000)) +
19   geom_point(alpha = 0.5, colour = "steelblue") +
20   geom_smooth(method = "lm", se = TRUE,
21              colour = "darkred", fill = "pink", alpha = 0.25) +
22   facet_wrap(~ Group, scales = "free_y") +
23   labs(title = "Log BDP p.c. i hrapavost terena",
24        x = "Indeks hrapavosti (TRI)",
25        y = "Log realnog BDP p.c. 2000") +
26   theme_minimal(base_size = 12)

```

2.7. Zadatak 7 — Normalnost reziduala i CLM pretpostavke

Zadatak 7

- Ispitajte pretpostavku normalnosti za specifikaciju iz kolone (1) Tablice 1.
- (i) Vizualizujte rezidualne (Q-Q plot, histogram, KDE).
 - (ii) Provedite Shapiro-Wilk test.
 - (iii) Koje CLM pretpostavke vjerovatno ne važe ovdje?

CLM pretpostavke: (I) linearnost; (II) slučajni uzorak; (III) nema savršene multiko-

linearnosti; (IV) $E(\varepsilon|X) = 0$; (V) homoskedastičnost; (VI) normalnost $\varepsilon|X \sim N(0, \sigma^2)$. Normalnost je *manje kritična* za konzistentnost MNK — u uzorku $n = 170$ CLT garantira asimptotsku normalnost procjenitelja.

Hint za Zadatak 7

```

1 resid_m1 <- residuals(m1)
2
3 par(mfrow = c(1, 3))
4 hist(resid_m1, freq = FALSE, breaks = 20,
5       main = "Histogram reziduala", col = "lightblue",
6       border = "white", xlab = "Reziduali")
7 curve(dnorm(x, mean(resid_m1), sd(resid_m1)),
8       col = "darkred", lwd = 2, add = TRUE)
9 qqnorm(resid_m1, main = "Q-Q plot",
10        pch = 19, col = "steelblue", cex = 0.6)
11 qqline(resid_m1, col = "darkred", lwd = 2)
12 plot(density(resid_m1), main = "KDE reziduala",
13       col = "steelblue", lwd = 2)
14 curve(dnorm(x, mean(resid_m1), sd(resid_m1)),
15       col = "darkred", lwd = 2, lty = 2, add = TRUE)
16 par(mfrow = c(1, 1))
17
18 shapiro.test(resid_m1) # H0: normalna dist.
19
20 cat("Asimetričnost:", moments::skewness(resid_m1), "\n")
21 cat("Spljustenost: ", moments::kurtosis(resid_m1), "\n")
22 # Za N(0,1): skewness = 0, kurtosis = 3
23
24 # Koje CLM pretpostavke ne vase?
25 # (II) Podaci = gotovo sve nacije (nije slucajni uzorak)
26 # (V) Varijanca greske se razlikuje po bogatim/siromasnim z.
27 # --> zato koristimo robusne SE
28 # (VI) Test ce odbiti normalnost (outlieri)

```

2.8. Zadatak 8 — Marginalni učinci s interakcijama

Zadatak 8

Regresirajte log BDP-a na hrapavost, postotak tropske klime, udaljenost do obale i **interakciju** između tropske klime i udaljenosti.

- (i) Izrazite marginalni učinak udaljenosti do obale kao funkciju postotka tropske klime.
- (ii) Za koje vrijednosti % tropske klime je taj učinak negativan / pozitivan?
- (iii) Nacrtajte “marginsplot” grafik.

Kontekst. Model s interakcijom: $\ln y_i = \beta_0 + \beta_1 r_i + \beta_2 \text{trop}_i + \beta_3 \text{dc}_i + \beta_4 (\text{trop}_i \cdot \text{dc}_i) + \varepsilon_i$. Marginalni učinak udaljenosti do obale: $\partial \ln y / \partial \text{dc} = \beta_3 + \beta_4 \cdot \text{trop}$, nije konstantan, već ovisi o postotku tropske klime.

Hint za Zadatak 8

```

1 df_t1 <- df_t1 %>% mutate(trop_dc = tropical * dist_coast)
2
3 m_int <- lm(lrgdppc_2000 ~ rugged + tropical +
4           dist_coast + trop_dc, data = df_t1)
5 coeftest(m_int, vcov = vcovHC(m_int, type = "HC1"))
6
7 b3 <- coef(m_int)["dist_coast"]
8 b4 <- coef(m_int)["trop_dc"]
9 cat("ME = ", b3, "+", b4, "* tropical\n")
10 cat("ME = 0 kada tropical = ", -b3/b4, "%\n")
11
12 # Marginsplot
13 trop_seq <- seq(0, 100, by = 1)
14 df_me <- data.frame(tropical = trop_seq,
15                   me = b3 + b4 * trop_seq)
16 ggplot(df_me, aes(x = tropical, y = me)) +
17   geom_line(colour = "steelblue", linewidth = 1.2) +
18   geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed",
19             colour = "darkred") +
20   labs(title = "Marginalni efekt udaljenosti do obale",
21        subtitle = "Kao funkcija % tropske klime",
22        x = "Postotak tropske klime (%)",
23        y = "d(ln BDP) / d(udaljenost do obale)") +
24   theme_minimal(base_size = 12)
25
26 # Test specifičnih vrijednosti
27 linearHypothesis(m_int,
28                 "dist_coast + 100*trop_dc = 0",
29                 vcov = vcovHC(m_int, type = "HC1"))

```

3. Napomene o interpretaciji

3.1. Uzročnost vs. korelacija

Ključni metodološki doprinos rada je identifikacija *uzročnog* efekta. Za pristranost interakcijskog koeficijenta $\hat{\beta}_2$ mora postojati izostavljena varijabla koja je korelirana s prihodom *različito* unutar i izvan Afrike I korelirana s hrapavošću *različito* unutar i izvan Afrike — to je strogo dvostruki uvjet. Historijski kanal (zaštita od robovladačkih upada) geografski je ograničen na Afriku.

3.2. Robusne standardne greške

U svim regresijama koristite robusne SE (Huber-White HC1):

```
1 coeftest(model, vcov = vcovHC(model, type = "HC1"))
```

HC1 je ekvivalent Stata-ine opcije `robust` i konzistentan je pri heteroskedastičnosti.

3.3. Interpretacija log-linearnog modela

Budući da je zavisna varijabla log BDP, koeficijenti se interpretiraju kao aproksimativne postotne promjene (za male vrijednosti):

$$\hat{\beta}_1 = -0,203 \Rightarrow \text{porast hrapavosti za 1 jed.} \Rightarrow \text{pad prihoda za } 100 \cdot (e^{-0,203} - 1) \approx -18,4\%$$

Bibliografija

- Nunn, N. i Puga, D. (2012). Ruggedness: The Blessing of Bad Geography in Africa. *Review of Economics and Statistics*, 94(1): 20–36.
- Nunn, N. (2008). The Long-Term Effects of Africa's Slave Trades. *Quarterly Journal of Economics*, 123(1): 139–176.
- Acemoglu, D., Johnson, S. i Robinson, J.A. (2001). The Colonial Origins of Comparative Development. *American Economic Review*, 91(5): 1369–1401.
- Riley, S.J., DeGloria, S.D. i Elliot, R. (1999). A Terrain Ruggedness Index. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4): 23–27.
- Rappaport, J. i Sachs, J.D. (2003). The United States as a Coastal Nation. *Journal of Economic Growth*, 8(1): 5–46.
- Kaufmann, D., Kraay, A. i Mastruzzi, M. (2008). Governance Matters VII. World Bank Policy Research Working Paper No. 4654.

Table 4: Diferencijalni efekti hrapavosti po regijama unutar Afrike
 Zavisna varijabla: Log realnog BDP-a po glavi stanovnika, 2000.

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Hrapavost	-0,203** (0,093)	-0,203** (0,093)	-0,203** (0,093)	-0,203** (0,093)	-0,203** (0,093)
Hrap. \times \mathbf{I}^{Afr}	0,312** (0,159)	0,408** (0,161)	0,409*** (0,147)	0,406*** (0,147)	0,448** (0,179)
$\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$	-1,735*** (0,291)	-1,844*** (0,229)	-2,008*** (0,230)	-2,046*** (0,222)	-2,054*** (0,232)
Hrap. \times $\mathbf{I}^{\text{Zap.Afr}}$	0,532*** (0,154)				
$\mathbf{I}^{\text{Zap.Afrika}}$	-0,635** (0,283)				
Hrap. \times $\mathbf{I}^{\text{Ist.Afr}}$		0,162 (0,274)			
$\mathbf{I}^{\text{Ist.Afrika}}$		-0,760 (0,532)			
Hrap. \times $\mathbf{I}^{\text{Centr.Afr}}$			0,575 (1,197)		
$\mathbf{I}^{\text{Centr.Afrika}}$			0,020 (0,597)		
Hrap. \times $\mathbf{I}^{\text{Sj.Afr}}$				-0,404*** (0,131)	
$\mathbf{I}^{\text{Sj.Afrika}}$				1,465*** (0,241)	
Hrap. \times $\mathbf{I}^{\text{J.Afr}}$					-0,200 (0,195)
$\mathbf{I}^{\text{J.Afrika}}$					0,592 (0,519)
Konstanta	9,223*** (0,144)	9,223*** (0,144)	9,223*** (0,144)	9,223*** (0,144)	9,223*** (0,144)
N	170	170	170	170	170
R^2	0,367	0,368	0,359	0,375	0,363

Koeficijenti s robusnim SE u zagradama. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

Table 5: Utjecaj i determinante izvoza robova

Kolone (1)–(4): zavisna varijabla je Log realnog BDP-a p.c.; Kolone (5)–(7): zavisna varijabla je intenzitet izvoza robova.

	Log BDP p.c.				Izvoz robova	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Intenz. izvoza rob.	−0,203*** (0,037)	−0,222*** (0,035)	−0,206*** (0,036)	−0,214*** (0,034)		
Hrapavost	−0,203** (0,093)	−0,169** (0,077)	−0,231*** (0,077)	−0,220*** (0,066)	−1,330*** (0,262)	−1,326*** (0,274)
Hrap. × \mathbf{I}^{Afr}	0,124 (0,152)		0,047 (0,143)			
$\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$	−0,819*** (0,317)	−0,591*** (0,222)	−0,825** (0,356)	−0,728** (0,354)		
Sve kontrole	Ne	Ne	Da	Da	Ne	Da
Log gustine pop. 1400						
Udaljenost do tržišta robova						
N	170	170	170	170	49	49
R^2	0,418	0,415	0,586	0,585	0,289	0,448

Koeficijenti s robusnim SE u zagradama. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.

Table 6: Efekt izvoza robova na prihod putem vladavine prava

Kolone (1)–(2): zavisna varijabla je Log realnog BDP-a p.c.; Kolone (3)–(5): zavisna varijabla je vladavina prava.

	Log BDP p.c.		Vladavina prava		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Vladavina prava, 1996–2000	0,871*** (0,044)	0,813*** (0,059)			
Hrapavost	−0,034 (0,041)	−0,051 (0,039)		−0,147** (0,067)	−0,156*** (0,049)
$\mathbf{I}^{\text{Afrika}}$	−0,699*** (0,131)	−0,109 (0,352)	−0,509*** (0,188)	−0,885*** (0,306)	−0,935*** (0,344)
Intenz. izvoza rob.			−0,086*** (0,031)	−0,098*** (0,034)	−0,100*** (0,033)
Sve kontrole	Ne	Da	Ne	Da	Da
Pravno porijeklo FE	Ne	Ne	Ne	Ne	Da
N	169	169	169	169	169
R^2	0,746	0,776	0,191	0,449	0,644

Koeficijenti s robusnim SE u zagradama. *** $p < 0,01$; ** $p < 0,05$; * $p < 0,10$.