

UTJECAJ DIGITALIZACIJE PLATNIH SUSTAVA NA STRUKTURU SUVRREMENIH FINACIJSKIH TRŽIŠTA / THE IMPACT OF PAYMENT SYSTEM DIGITALIZATION ON THE STRUCTURE OF MODERN FINANCIAL MARKETS

Mr.sc. Zlatko Sviben¹

¹ Internacionalni univerzitet Travnik u Travniku, Aleja Konzula – Meljanac bb, Travnik, BiH
e-mail: zlatko.sviben@gmail.com

Izvorni naučni rad

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501640>

UDK / UDC 336.7:004.8

Sažetak

Motiv istraživanja bio je utvrditi utječe li digitalizacija platnih sustava samo na rast bezgotovinskih transakcija ili i na promjenu strukture suvremenih finacijskih tržišta. Cilj rada bio je empirijski ispitati odnos između ukupne vrijednosti bezgotovinskih transakcija, udjela kartičnih plaćanja, udjela e-money instrumenata i udjela kreditnih transfera u državama Europske unije. U radu je provedena panel-analiza više država kroz više godina, na temelju podataka iz baza ECB PAY i World Bank, koji su obrađeni u Python okruženju i organizirani u završni procjenski panel. Konstruiran je i kompozitni pokazatelj digitalne strukturiranosti platnog sustava (DPay_index). Glavni rezultati pokazuju da veći volumen bezgotovinskih transakcija značajno povećava razinu digitalne strukturiranosti sustava, dok gospodarska razvijenost osobito pozitivno djeluje na udio e-money instrumenata. Značaj rezultata jest u potvrdi da digitalizacija finacijskih tržišta nije samo kvantitativna ekspanzija bezgotovinskog prometa, nego i kvalitativna promjena njegove unutarnje strukture.

Ključne riječi: digitalizacija platnih sustava; bezgotovinske transakcije; finacijska tržišta; panel-analiza; e-money

JEL klasifikacija: G21, E42, O33, C23

Abstract

The motivation for this research was to determine whether payment system digitalization affects only the growth of cashless transactions or also the structural transformation of modern financial markets. The aim of the paper was to empirically examine the relationship between the total value of cashless transactions, the share of card payments, the share of e-money instruments, and the share of credit transfers in European Union countries. The study applies panel analysis to multiple countries over multiple years, using data from the ECB PAY and World Bank databases, processed in Python and organized into a final estimation panel. A composite indicator of digital payment system structuring (DPay_index) was also constructed. The main results show that a higher volume of cashless transactions significantly increases the level of digital system structuring, while economic development has a particularly positive effect on the share of e-money instruments. The significance of the findings lies in confirming that the digitalization of financial markets is not only a quantitative expansion of cashless transactions, but also a qualitative transformation of their internal structure.

Keywords: payment system digitalization; cashless transactions; financial markets; panel analysis; e-money

JEL classification: G21, E42, O33, C23

UVOD

Digitalizacija platnih sustava jedna je od ključnih sastavnica suvremene transformacije financijskih tržišta. Rast bezgotovinskog prometa, razvoj kartičnih plaćanja, širenje instrumenata elektroničkog novca (e-novca, npr. PayPal, Revolut, Wise, Skrill, Neteller i Aircash) i promjene u ulozi kreditnih transfera pokazuju da platni sustav treba promatrati kao dinamičnu strukturu u kojoj se istodobno odvijaju kvantitativne i kvalitativne promjene. Zato nije dovoljno analizirati samo ukupnu vrijednost bezgotovinskih transakcija, nego i unutarnju strukturu instrumenata kojima se taj promet ostvaruje (European Central Bank, 2024).

U radu se polazi od pretpostavke da suvremena digitalizacija financijskih tržišta, osim rasta volumena, uključuje i promjenu unutarnje strukture instrumenata plaćanja. Stoga istraživačko pitanje nije samo raste li bezgotovinski promet, nego prati li taj rast i promjena digitalne strukturiranosti platnog sustava. U tu svrhu uvodi se kompozitni pokazatelj digitalne strukturiranosti i parcijalni modeli pojedinih segmenata platnog sustava. Međunarodni institucionalni izvori također upućuju na ubrzano širenje digitalnih oblika plaćanja uz zadržavanje razlika u unutarnjoj strukturi instrumenata među državama, pa agregatni volumen i kompoziciju instrumenata treba promatrati zajedno.

Na toj osnovi formulirane su dvije istraživačke hipoteze. Prva glasi da je veća ukupna vrijednost bezgotovinskih transakcija povezana s višom razinom digitalne strukturiranosti platnog sustava, a druga da je viša razina gospodarskog razvoja povezana s većim udjelom tehnološki naprednijih instrumenata plaćanja, osobito instrumenata e-novca. Istraživački dizajn zato povezuje glavni kompozitni model i parcijalni model instrumenata e-novca, dok se ostali parcijalni modeli koriste kao dopunski nalaz za tumačenje unutarnje strukture platnog sustava.

1. PODACI I KONSTRUKCIJA VARIJABLI

Empirijska analiza temelji se na panelu država Europske unije kroz više godina, a konačni regresijski izračun, zbog izostanka pojedinih serija u dijelu država, proveden je na 22 države i 62 opažanja. Za svaku kombinaciju država–godina promatraju se podaci o broju kartičnih transakcija, broju transakcija e-novca, broju kreditnih transfera, ukupnoj vrijednosti bezgotovinskih transakcija i BDP-u po stanovniku. Sirove varijable preuzete su iz ECB PAY baze i World Bank baze (European Central Bank, 2024; World Bank, 2024), a završni procjenski panel formira se programskom obradom i konstrukcijom izvedenih varijabli.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	country	country_name	year	pay_total_value_eur	pay_card_number_raw	million_pay_emoney_number_raw	million_pay_credit_transfer_number_raw	million_gdp_pc_current_usd										
2	AT	Austria	2022	6545162.55	108605.1463	067571.4	680087.744	73556800000001.52336	7725223758									
3	AT	Austria	2023	8125872.43	111973.1673	099839.4	951012.828	395571.56579	504175468									
4	AT	Austria	2024	7502704.63	200843.1891	261368.4	878114000000002.870	474468.58268	8787651601									
5	BE	Belgium	2022	9255199.49	7247001.3204	805579.43	251124.1823	788282.50605	7496677086									
6	BE	Belgium	2023	9172964.26	5532.3595	566202.38	349809.1948	550501.55291	4754541329									
7	BE	Belgium	2024	9432997.53	96.3971	223698.42	869698.2090	339495.56614	5679499036									
8	BG	Bulgaria	2023	714521.69	08569303.478	854591.30	667175.248	86859.15853	208636704									
9	BG	Bulgaria	2024	766899.99	03918182.570	5454589999999.26	562222.288	5950770000001.17596	0173663521									
10	CY	Cyprus	2022	230437.58	966085.174	28112.7	844694.38	06337499999999.33231	04296875									
11	CY	Cyprus	2023	245321.06	096377.211	221385.9	425601.43	818382.36623	69140625									
12	CY	Cyprus	2024	261271.72	834624.230	529955.11	462156.49	49767.38674	29296875									
13	CZ	Czechia	2022	5088999.24	7264174.2224	914624.6	914337.1313	875777.28282	2236715857									
14	CZ	Czechia	2023	6090241.07	7483225.2588	271864.6	240441.1424	36265.31761	5944102491									

Slika 1. Izvadak validiranog skupa podataka (Izvor: European Central Bank, 2024; World Bank, 2024.)

Kako bi se iz apsolutnih serija prešlo na strukturu platnog sustava, najprije se definira ukupni broj promatranih bezgotovinskih instrumenata:

$$pay_total_selected_number = pay_card_number + pay_emoney_number + pay_credit_transfer_number$$

Na toj osnovi računaju se relativni udjeli pojedinih instrumenata:

$$pay_card_share = \frac{pay_card_number}{pay_total_selected_number} : \text{udio kartičnih transakcija}$$

$$pay_emoney_share = \frac{pay_emoney_number}{pay_total_selected_number} : \text{udio transakcija e – novca}$$

$$pay_credit_transfer_share = \frac{pay_credit_transfer_number}{pay_total_selected_number} : \text{udio kreditnih transfera}$$

Time se dobivaju tri parcijalna pokazatelja strukture platnog sustava: udio kartičnih plaćanja, udio instrumenata e-novca i udio kreditnih transfera. Time se digitalizacija promatra ne samo kao apsolutni volumen transakcija, nego i kao relativni raspored instrumenata unutar istog sustava.

Ukupna vrijednost bezgotovinskih transakcija i BDP po stanovniku u modele ulaze u logaritmiranom obliku:

$$\ln_pay_total_value = \ln(pay_total_value_eur)$$

$$\ln_gdp_pc = \ln(gdp_pc_current_usd)$$

Razlog za logaritmiranje jest stabilizacija velikih razlika među državama i lakša interpretacija koeficijenata. Iako su neke sirove serije izražene u milijunima, to ne utječe na relativne udjele, dok kod logaritmirane ukupne vrijednosti transakcija promjena jedinice mijenja samo konstantu, a ne procijenjeni nagib koeficijenta (Gujarati i Porter, 2009).

DPay_index uvodi se kao kompozitni pokazatelj digitalne strukturiranosti platnog sustava u kojem su objedinjeni volumen, kartična struktura i struktura e-novca, kako bi se digitalizacija mjerila kao višedimenzionalna pojava. Ukupna vrijednost bezgotovinskih transakcija pokazuje razmjjer sustava, ali ne i njegovu unutarnju arhitekturu, dok bi promatranje samo kartičnog udjela ili udjela e-novca obuhvatilo samo jedan segment strukture.

2. METODOLOGIJA I MATEMATIČKI OKVIR

2.1. STANDARDIZACIJA I KONSTRUKCIJA DPAY_INDEX

Kako bi se više različitih komponenti spojilo u jednu kompozitnu mjeru, svaka komponenta najprije se standardizira. Aritmetička sredina varijable računa se kao:

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j$$

gdje je N broj opažanja, a X_j vrijednost varijable za opažanje j .

Standardna devijacija računa se kao:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (X_j - \mu_x)^2}$$

Na temelju sredine i standardne devijacije standardizirana vrijednost, odnosno z-score, dobiva se formulom:

$$z(X) = \frac{X - \mu_X}{\sigma_X}$$

Z-score pokazuje za koliko standardnih devijacija pojedino opažanje odstupa od prosječne vrijednosti promatrane varijable. Ako je z-score pozitivan, opažanje je iznad prosjeka; ako je negativan, opažanje je ispod prosjeka; ako je jednak nuli, opažanje se nalazi na prosječnoj vrijednosti. Standardizacija je nužna zato što komponente od kojih se gradi DPay_index nisu izražene u istoj metričkoj skali, pa ih prije zbrajanja treba svesti na usporedivu osnovu.

U ovom radu kompozitni pokazatelj digitalne strukturiranosti definiran je kao:

$$DPay_index = z(\ln_pay_total_value) + z(pay_card_share) + z(pay_emoney_share)$$

Takva konstrukcija znači da DPay_index istodobno obuhvaća razmjer bezgotovinskog sustava, kartičnu komponentu i komponentu e-novca. Što je njegova vrijednost viša, to je sustav digitalno strukturiraniji prema ovoj kompozitnoj mjeri.

2.2. PANEL-MODEL S FIKSNIM UČINCIMA

Za empirijsku procjenu odnosa među varijablama koristi se panel-model s fiksnim učincima države i godine (Baltagi, 2021; Wooldridge, 2010):

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 \ln_pay_total_value_{it} + \beta_2 \ln_gdp_pc_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

Y_{it} – zavisna varijabla za državu i u godini t ,

α – konstanta,

β_1 i β_2 – regresijski koeficijenti,

μ_i – fiksni učinak države,

λ_t – fiksni učinak godine,

ε_{it} – slučajna pogreška.

Panel-model se koristi zato što se promatra više država kroz više godina, pa se istodobno mogu analizirati razlike među državama i promjene unutar iste države kroz vrijeme. Takav je pristup posebno važan kod digitalizacije platnih sustava, jer je riječ o procesu koji nije statičan.

Fiksni učinak države predstavlja dio vrijednosti zavisne varijable koji je specifičan za pojedinu državu i stabilan kroz vrijeme. Najjednostavnije se može prikazati kao odstupanje prosjeka pojedine države od ukupnog prosjeka:

$$\mu_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_{..}$$

Fiksni učinak godine predstavlja zajednički vremenski pomak koji u istoj godini djeluje na sve države. Može se prikazati kao odstupanje prosjeka određene godine od ukupnog prosjeka:

$$\lambda_t = \bar{Y}_{.t} - \bar{Y}_{..}$$

Slučajna pogreška predstavlja dio vrijednosti koji model nije objasnio:

$$\varepsilon_{it} = Y_{it} - \hat{Y}_{it}$$

odnosno:

$$\varepsilon_{it} = Y_{it} - (\alpha + \beta_1 \ln_pay_total_value_{it} + \beta_2 \ln_gdp_pc_{it} + \mu_i + \lambda_t)$$

Smisao ovog modela jest procijeniti kako ukupna vrijednost bezgotovinskih transakcija i gospodarska razvijenost djeluju na digitalnu strukturu sustava nakon uklanjanja stalnih posebnosti pojedinih država i zajedničkih vremenskih pomaka.

2.3. KOEFICIJENTI, T-STATISTIKA I P-VRIJEDNOSTI

Koeficijenti β_1 i β_2 procjenjuju se metodom najmanjih kvadrata, odnosno minimizacijom sume kvadrata reziduala (Gujarati i Porter, 2009):

$$\min_{\alpha, \beta_1, \beta_2, \mu_i, \lambda_t} \sum_i \sum_t \varepsilon_{it}^2$$

gdje su α , β_1 i β_2 procjenjivani parametri, μ_i fiksni učinci država, λ_t fiksni učinci godina, a ε_{it} slučajne pogreške. Nakon uklanjanja fiksnih učinaka države i godine odgovarajućom transformacijom, procjena koeficijenata β_1 i β_2 može se prikazati u pojednostavljenom matričnom obliku kao procjena pomoću metoda običnih najmanjih kvadrata nad transformiranim varijablama. Tada se minimizira suma kvadrata reziduala u obliku:

$$\min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

pri čemu oznaka y_i predstavlja vrijednost zavisne varijable za i-to opažanje, a svako opažanje odgovara jednoj kombinaciji države i godine nakon transformacije podataka za model s fiksnim učincima. Oznake x_{1i} i x_{2i} predstavljaju vrijednosti prve i druge objašnjavajuće varijable za isto i-to opažanje, također nakon provedene transformacije. U ovom radu x_{1i} označava transformiranu vrijednost logaritma ukupne vrijednosti bezgotovinskih transakcija, a x_{2i} transformiranu vrijednost logaritma BDP-a po stanovniku.

U matričnom obliku procjena se zapisuje kao:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$$

Za matricu dimenzije 2×2 :

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$$

Inverzna matrica računa se kao:

$$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^{-1} = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}$$

Nakon procjene koeficijenata izračunavaju se procijenjene vrijednosti zavisne varijable:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_1 x_{1i} + \hat{\beta}_2 x_{2i}$$

Reziduali modela dobivaju se kao razlika stvarnih i procijenjenih vrijednosti:

$$\hat{\varepsilon}_i = y_i - \hat{y}_i$$

Na temelju reziduala računa se zbroj kvadrata reziduala:

$$SSR = \sum \hat{\varepsilon}_i^2$$

A zatim rezidualna varijanca:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{SSR}{n - k}$$

n – broj opažanja, pa je u ovom slučaju $n = 62$,

k – broj procjenjivanih regresijskih koeficijenata.

Budući da se u ovom matičnom prikazu procjenjuju dva koeficijenta, β_1 i β_2 , ovdje je $k = 2$.

Stoga je: $df = n - k = 62 - 2 = 60$

Na temelju toga računa se kovarijacijska matrica procijenjenih koeficijenata:

$$\widehat{Var}(\hat{\beta}) = \hat{\sigma}^2 (X'X)^{-1}$$

Standardna pogreška pojedinog koeficijenta dobiva se kao kvadratni korijen odgovarajućeg dijagonalnog elementa te matrice:

$$SE(\hat{\beta}_k) = \sqrt{\widehat{Var}(\hat{\beta})_{kk}}$$

Statistička značajnost procjenjuje se pomoću t-statistike:

$$t = \frac{\hat{\beta}_k}{SE(\hat{\beta}_k)}$$

T-statistika pokazuje koliko je procijenjeni koeficijent udaljen od nule u jedinicama svoje standardne pogreške. Što je njezina apsolutna vrijednost veća, to je veća vjerojatnost da procijenjeni učinak nije slučajan, a na temelju nje računa se p-vrijednost:

$$p = 2 \cdot P(T_v \geq |t|)$$

P-vrijednost pokazuje kolika bi bila vjerojatnost dobivanja barem tako ekstremnog rezultata kada bi stvarni učinak u populaciji bio jednak nuli. Ako je mala, koeficijent se smatra statistički značajnim.

U ovom radu kao osnovna razina statističke značajnosti korišten je prag od 5%, odnosno $p < 0,05$. To znači da su koeficijenti s p-vrijednošću manjom od 0,05 tretirani kao statistički značajni, što odgovara uobičajenoj praksi u empirijskim ekonomskim i ekonometrijskim istraživanjima.

3. REZULTATI I VREDNOVANJE HIPOTEZA

Iako širi validirani skup podataka obuhvaća veći broj država, konačni regresijski izračun proveden je samo za zemlje i godine za koje postoje potpuni podaci za sve ključne varijable modela, pa analitički uzorak obuhvaća 22 države i 62 opažanja.

Rezultati se prikazuju dvostruko: najprije kroz formalni panel-model s fiksnim učincima, a zatim kroz pojednostavljeni matricni prikaz procjene koeficijenata, kako bi postupak bio transparentan od matrica do procijenjenih koeficijenata, standardnih pogrešaka, t-statistika i p-vrijednosti.

3.1. HIPOTEZA 1 (H1): UKUPNA VRIJEDNOST BEZGOTOVINSKIH TRANSAKCIJA I DPAY_INDEX

Za H1 zavisna varijabla je *DPay_index*, pa model glasi:

$$DPay_{index_{it}} = \alpha + \beta_1 \ln_{pay_total_value_{it}} + \beta_2 \ln_{gdp_pc_{it}} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

U ovom slučaju dobiveno je:

$$X'X = \begin{bmatrix} \sum \tilde{x}_1^2 & \sum \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 \\ \sum \tilde{x}_1 \tilde{x}_2 & \sum \tilde{x}_2^2 \end{bmatrix}$$

$\sum \tilde{x}_1^2$ – zbroj kvadrata varijable *ln_pay_total_value*, odnosno količina varijacije prve objašnjavajuće varijable nakon transformacije za fiksne učinke;

$\sum \tilde{x}_1 \tilde{x}_2$ – zbroj umnožaka varijabli *ln_pay_total_value* · *ln_gdp_pc*, odnosno mjera njihova zajedničkog kretanja;

$\sum \tilde{x}_2^2$ – zbroj kvadrata varijable *ln_gdp_pc*, odnosno količina varijacije druge objašnjavajuće varijable nakon transformacije za fiksne učinke.

Dakle:

$$X'X = \begin{bmatrix} \sum (\ln_{pay_total_value})^2 & \sum (\ln_{pay_total_value} \cdot \ln_{gdp_pc}) \\ \sum (\ln_{gdp_pc} \cdot \ln_{pay_total_value}) & \sum (\ln_{gdp_pc})^2 \end{bmatrix}$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 1,38459460 & 0,05383345 \\ 0,05383345 & 0,07788143 \end{bmatrix} \quad X'Y = \begin{bmatrix} 0,49033185 \\ 0,09152210 \end{bmatrix}$$

Determinanta matrice $X'X$ iznosi 0,10493616. Budući da je različita od nule, matrica $X'X$ je invertibilna, pa je procjenu koeficijenata moguće provesti pomoću izraza $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$. Ujedno, činjenica da determinanta nije jednaka nuli potvrđuje da među objašnjavajućim varijablama ne postoji savršena linearna zavisnost.

Inverzna matrica je:

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,74217910 & -0,51301145 \\ -0,51301145 & 13,19463734 \end{bmatrix}$$

Ako označimo:

$$x_1 = \ln_{pay_total_valu} \quad x_2 = \ln_{gdp_pc} \quad y = DPay_index$$

onda vrijedi:

$$X'Y = \begin{bmatrix} \sum x_1 y \\ \sum x_2 y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum (\ln_{pay_total_value} \cdot DPay_index) \\ \sum (\ln_{gdp_pc} \cdot DPay_index) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,49033185 \\ 0,09152210 \end{bmatrix}$$

Prvi element vektora $X'Y$, tj. $\sum x_1y$, pokazuje ukupnu povezanost između logaritma ukupne vrijednosti bezgotovinskih transakcija i kompozitnog pokazatelja $DPay_index$, a drugi element, $\sum x_2y$, povezanost između logaritma BDP-a po stanovniku i $DPay_index$.

Množenjem se dobivaju procijenjeni koeficijenti:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y = \begin{bmatrix} 0,74217910 & -0,51301145 \\ -0,51301145 & 13,19463734 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,49033185 \\ 0,09152210 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta}_1 = 0,74217910 \cdot 0,49033185 + (-0,51301145) \cdot 0,09152210 = 0,316962$$

$$\hat{\beta}_2 = (-0,51301145) \cdot 0,49033185 + 13,19463734 \cdot 0,09152210 = 0,956060$$

Za prvi koeficijent standardna pogreška iznosi:

$$SE(\hat{\beta}_1) = 0,053491SE \quad (\hat{\beta}_2) = 0,225542$$

T-statistika:

$$t_1 = \frac{0,316962}{0,053491} \approx 5,925 \quad t_2 = \frac{0,956055}{0,225542} \approx 4,239$$

P-vrijednost dobiva se iz t-distribucije sa 60 stupnjeva slobode:

$$p_1 = 2 \cdot P(T_{60} \geq 5,925) \approx 1,64 \times 10^{-7} \quad p_2 = 2 \cdot P(T_{60} \geq 4,239) \approx 7,87 \times 10^{-5}$$

Iz rezultata proizlazi da je $\beta_1 = 0,316962$ pozitivan koeficijent, pri čemu je $p_1 \approx 1,64 \times 10^{-7}$, pa je učinak statistički značajan na razini od 5%. Istodobno je $\beta_2 = 0,956055$ pozitivan koeficijent, a $p_2 \approx 7,87 \times 10^{-5}$, pa je i taj učinak statistički značajan. Budući da su oba koeficijenta pozitivna i statistički značajna prema kriteriju od 5%, H1 je potvrđena.

3.2. HIPOTEZA 2 (H2): GOSPODARSKA RAZVIJENOST I UDIO INSTRUMENATA E-NOVCA

Za H2 zavisna varijabla je pay_emoney_share , dok objašnjavajuće varijable ostaju:

$$x_1 = \ln_pay_total_value \quad x_2 = \ln_gdp_pc$$

pa model glasi:

$$pay_emoney_share_{it} = \alpha + \beta_1 \ln_pay_total_value_{it} + \beta_2 \ln_gdp_pc_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it}$$

pri čemu je sada:

$$y = pay_emoney_share$$

Dobiven je vektor:

$$X'Y = \begin{bmatrix} \sum x_1y \\ \sum x_2y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum (\ln_pay_total_value \cdot pay_emoney_share) \\ \sum (\ln_gdp_pc \cdot pay_emoney_share) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,01799398 \\ 0,00765725 \end{bmatrix}$$

Prvi element vektora, $\sum x_1 y$, predstavlja ukupni zbroj umnožaka logaritma ukupne vrijednosti bezgotovinskih transakcija i udjela instrumenata elektroničkog novca; njegova negativna vrijednost upućuje na negativnu povezanost tih dviju varijabli u transformiranim podacima.

Drugi element, $\sum x_2 y$, predstavlja ukupni zbroj umnožaka logaritma BDP-a po stanovniku i udjela instrumenata e-novca; njegova pozitivna vrijednost upućuje na pozitivnu povezanost gospodarske razvijenosti i udjela e-novca.

Budući da su objašnjavajuće varijable iste, matrica $X'X$ i njezin inverz ostaju isti kao u H1, ali ih sada množimo s novim vektorom:

$$\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$$

$$\hat{\beta}_1 = 0,74217910 \cdot (-0,01799398) + (-0,51301145) \cdot 0,00765725 = -0,01728312$$

$$\hat{\beta}_2 = (-0,51301145) \cdot (-0,01799398) + 13,19463734 \cdot 0,00765725 = 0,11026635$$

$$\hat{\beta}_1 \approx -0,017283 \quad \hat{\beta}_2 \approx 0,110266$$

Kao i kod H1, nakon procjene koeficijenata izračunavaju se procijenjene vrijednosti $\hat{y}_i$, reziduali $\hat{\epsilon}_i$, zbroj kvadrata reziduala SSR, rezidualna varijanca σ^2 , kovarijacijska matrica $\text{Var}(\hat{\beta})$, standardne pogreške, t-statistike i p-vrijednosti. Budući da je broj opažanja isti, ponovno vrijedi $n = 62$, $k = 2$ i $n - k = 60$.

$$SE(\hat{\beta}_1) = 0,008611 \quad SE(\hat{\beta}_2) = 0,036306$$

$$t_1 = \frac{-0,017283}{0,008611} \approx -2,007 \quad t_2 = \frac{0,110266}{0,036306} \approx 3,037$$

$$p_1 = 2 \cdot P(T_{60} \geq 2,007) \approx 0,0492 \quad p_2 = 2 \cdot P(T_{60} \geq 3,037) \approx 0,0035$$

Iz rezultata proizlazi da je $\beta_1 = -0,017283$ negativan koeficijent, pri čemu je $p_1 \approx 0,0492$, pa je učinak granično statistički značajan na razini od 5%. Istodobno je $\beta_2 = 0,110266$ pozitivan koeficijent, a $p_2 \approx 0,0035$, pa je taj učinak statistički značajan. Kako se H2 odnosi na pozitivan i značajan učinak gospodarske razvijenosti na udio instrumenata e-novca, H2 je potvrđena.

3.3. DOPUNSKI NALAZ: HETEROGENOST PARCIJALNIH MODELA

Iako u radu formalno nisu postavljene dodatne hipoteze izvan H1 i H2, procjena parcijalnih modela za kartični udio, udio e-novca i udio kreditnih transfera pokazuje da različiti instrumenti plaćanja ne reagiraju jednako na iste objašnjavajuće varijable. U modelu kartičnog udjela koeficijent uz ukupnu vrijednost bezgotovinskih transakcija iznosi približno $-0,015990$ i statistički je značajan na razini od 5%, dok koeficijent uz BDP po stanovniku iznosi približno $0,055440$ i nije statistički značajan. U modelu udjela e-novca statistički je značajan koeficijent uz BDP po stanovniku, dok je koeficijent uz ukupnu vrijednost bezgotovinskih transakcija negativan i granično značajan. U modelu kreditnih transfera koeficijent uz ukupnu vrijednost bezgotovinskih transakcija iznosi približno $0,033273$ i statistički je značajan, dok koeficijent uz BDP po stanovniku iznosi približno $-0,165706$ i također je statistički značajan.

Ovaj dopunski nalaz potvrđuje da agregatni volumen bezgotovinskog prometa i unutarnja struktura instrumenata plaćanja ne nose istu informaciju te da digitalnu transformaciju platnog sustava treba promatrati istodobno kroz razinu prometa i kompoziciju instrumenata.

ZAKLJUČAK

Rezultati potvrđuju da digitalizaciju platnih sustava treba promatrati kao istodobno kvantitativan i strukturni proces. U glavnom modelu ukupna vrijednost bezgotovinskih transakcija pozitivno i statistički značajno djeluje na DPay_index, dok u parcijalnom modelu udjela e-novca BDP po stanovniku djeluje pozitivno i statistički značajno. Time su potvrđene obje istraživačke hipoteze. Dopunski parcijalni modeli dodatno pokazuju da različiti instrumenti plaćanja reagiraju heterogeno, pa za razumijevanje digitalne transformacije nije dovoljno promatrati samo rast bezgotovinskog prometa, nego i promjenu njegove unutarnje strukture. Buduća istraživanja mogu proširiti uzorak država i vremenski horizont te uključiti dodatne institucionalne i tehnološke varijable.

LITERATURA

- [1] Baltagi, B. H. (2021), *Econometric Analysis of Panel Data*, Cham: Springer.
- [2] European Central Bank (2024), *Payment statistics*, <https://data.ecb.europa.eu> (datum pristupa: 18. 4. 2026.).
- [3] Gujarati, D. N. i Porter, D. C. (2009), *Basic Econometrics*, New York: McGraw-Hill.
- [4] Wooldridge, J. M. (2010), *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, Cambridge, MA: MIT Press.
- [5] World Bank (2024), *World Development Indicators*, <https://data.worldbank.org> (datum pristupa: 18. 4. 2026.).
- [6] Bank for International Settlements, Committee on Payments and Market Infrastructures, (2024), *Tap, click and pay: how digital payments seize the day*, CPMI Briefs No. 3, Basel: BIS.
- [7] Bank for International Settlements, Committee on Payments and Market Infrastructures, (2025), *And so we pay: more digital and faster, with cash still in play*, CPMI Briefs, Basel: BIS.
- [8] Copestake, A., Kirti, D. i Martinez Peria, M. S. (2025), *Growing Retail Digital Payments: The Value of Interoperability*, IMF Fintech Note 2025/004, Washington, DC: International Monetary Fund.
- [9] European Central Bank (2024), *Study on the payment attitudes of consumers in the euro area (SPACE 2024)*, Frankfurt am Main: ECB.