

MILOŠ BOŽOVIĆ¹

E-mail: milos.bozovic@ekog.bg.ac.rs

SISTEMSKA KOMPONENTA KREDITNOG RIZIKA: METOD KOPULA²

SYSTEMIC COMPONENT OF CREDIT RISK: A COPULA-BASED METHOD

JEL KLASIFIKACIJA: G21, C22, M41

APSTRAKT:

Kreditna sposobnost dužnika značajno zavisi od makroekonomskih uslova. Većina modela kojima se ocenjuje kreditni kvalitet zasniva se na dugoročnim verovatnoćama neizmirenja, iako je tekuća kreditna sposobnost veoma osetljiva na poslovne cikluse. U ovom radu je primenjen pristup kopula da bismo ocenili verovatnoću neizmirenja za dati trenutak (point-in-time) dovodeći u vezu verovatnoću neizmirenja za čitav poslovni ciklus (through-the-cycle) sa skupom međusobno korelisanih sistemskih faktora rizika. Model je ilustrovan na kvartalnim podacima iz Sjedinjenih Američkih Država o stopama neizmirenja kredita odobrenih stanovništvu u periodu od prvog kvartala 1981. godine do četvrtog kvartala 2020. godine. Za konstruisanje promenljivih koje opisuju uticaj sistemskog faktora korišćene su ključne makroekonomske serije tokom istog perioda. Ocenjeni

1 Univerzitet u Beogradu, Ekonomski fakultet, Kamenička 6, 11000 Beograd, Srbija

2 Istraživanje je finansijski podržano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

su parametri modela i statistike njegovih performansi unutar i izvan uzorka. Pokazuje se da je sposobnost modela da predviđa buduće statuse neizmirenja obaveza izvan uzorka veoma zadovoljavajuća za različite horizonte predviđanja.

**KLJUČNE REČI:****KREDITNI RIZIK, STOPA NEIZMIRENJA, MAKROEKONOMSKE DETERMINANTE****ABSTRACT:**

The repayment ability for an obligor strongly depends on macroeconomic conditions. The majority of the models used to assess credit quality are based on long-term default probabilities, even though the repayment ability is susceptible to business cycles. In this paper, we apply the copula approach to obtain the Point-in-Time probability of default through a relationship between Through-the-Cycle probability and a set of mutually correlated systemic risk factors. We illustrate the model on quarterly data on U.S. retail loans between 1981 Q1 and 2020 Q4. We use key macroeconomic series over the same period to construct the variables that capture the systemic risk factor. We estimate the model parameters and conduct in- and out-of-the-sample performance assessment and validation. The model shows a convincing ability to predict future defaults out of the sample for different forecasting horizons.

**KEYWORDS:****CREDIT RISK, DEFAULT RATE, MACROECONOMIC DETERMINANTS**

1. UVOD

Tradicionalni pristup modeliranju kreditnog rizika koristi nivo pojedinačnih finansijskih instrumenata ili dužnika tokom dužeg perioda posmatranja. Takav pristup stavlja u fokus specifičnu komponentu kreditnog rizika, dok je uticaj sistemske komponente mahom uprosečen ili u najboljem slučaju posredan. Osetljivost kreditne sposobnosti dužnika na poslovne cikluse dobila je na značaju nakon globalne finansijske krize, koja je nedvosmisleno ukazala na negativne posledice sistemskog rizika. Sistemsku komponentu nije moguće diverzifikovati, tako da je neophodno uzeti je u razmatranje prilikom procene kreditnog rizika portfolija.

Ova doktrina je postala jedna od centralnih u Međunarodnom standardu finansijskog izveštavanja (MSFI) 9, koji se bavi kreditnim obezvređenjem finansijskih instrumenata. Standard insistira na posmatranju kreditne sposobnosti u datom trenutku, umesto uprosečeno po poslovnom ciklusu. Takav pristup omogućava da se za sve buduće trenutke u kojima dospevaju pojedinačni tokovi gotovine kreditno osetljivih instrumenata projektuju odgovarajuće kumulativne verovatnoće neizmirenja koje „gledaju unapred“.

Uticaj sistemske komponente kreditnog rizika, koji je odavno predmet izučavanja u akademskoj literaturi, postao je stoga višestruko važan. U praksi upravljanja rizicima manifestuje se kroz ocenu verovatnoće nastanka statusa neizmirenja (eng. *probability of default*, PD) u datom trenutku (eng. *Point-in-Time*, PiT), za razliku od verovatnoće kroz čitav poslovni ciklus (eng. *Through-the-Cycle*, TtC). Osnovni izazov kod modeliranja TtC PD je upravo identifikovanje statistički značajnih i ekonomski interpretabilnih faktora sistemskog rizika, kao i načina njihovog povezivanja sa specifičnom, idiosinkratskom komponentom.

Imajući u vidu navedenu motivaciju, u radu se koristi pristup kopula da bi se dobila verovatnoća neizmirenja za dati trenutak (PiT PD) u funkciji poznatih vrednosti makroekonomskih faktora. Ovo se postiže pomoću glavnih komponenata ključnih makroekonomskih nosilaca poslovnih ciklusa. Uticaj idiosinkratske komponente kreditnog rizika uračunat je implicitno preko TtC PD. Model je ilustrovan na kvartalnim podacima iz Sjedinjenih Američkih Država. Korišćene su vremenske serije stopa neizmirenja kredita odobrenih stanovništvu u periodu od prvog kvartala 1981. godine do četvrtog kvartala 2020. godine. Validacija modela sprovedena na osnovu stopa neizmirenja izvan uzorka posmatranja pokazuje da nije moguće odbaciti hipotezu da je njeno odstupanje od modelskih verovatnoća neizmirenja statistički značajno.

Rad se sastoji od šest odeljaka. U narednom, drugom odeljku, dat je kratak pregled relevantne literature. U trećem odeljku je izložena postavka modela i opisana njegova intuicija. Četvrti odeljak opisuje korišćene podatke i izvore, kao i metodologiju empirijskog istraživanja, čiji su rezultati detaljno izloženi i diskutovani u petom odeljku. Poslednji, šesti odeljak sadrži zaključna razmatranja, obrazlaže doprinos rada i sugeriše moguće pravce daljeg istraživanja na teme povezane sa radom.

2. PREGLED LITERATURE

Kao što je navedeno u prethodnom odeljku, modeliranju kreditne sposobnosti se do skora mahom pristupalo na nivou dužnika, bez obzira da li se radi o strukturnim modelima (Merton, 1974; Leland, 1994; Longstaff & Schwartz, 1995) ili modelima u redukovanom obliku (Jarrow & Turnbull, 1995; Jarrow *et al.*, 1997; Duffie & Singleton, 1999; Madan & Unal, 1999; Das & Sundaram, 2000). Međuzavisnost nastanka kreditnih događaja u velikim portfolijima igra značajnu ulogu u kvantifikaciji kreditnog rizika iz mnoštva razloga. Globalizacija finansijskih tržišta i sve jača kreditna povezanost privrednih učesnika (posebno finansijskih institucija) tokom protekle tri decenije dovela je do visoke stope istovremenih bankrotstava. Iako je gubitak koji može nastati u pojedinačnim kreditnim događajima potencijalno zanemarljiv na nivou portfolija, to svakako nije slučaj ukoliko se mnoštvo takvih događaja desi istovremeno. U ovo smo se veoma jasno uverili tokom globalne finansijske krize.

Kao što su prethodno pokazali Gersbach & Lipponer (2003) i Das *et al.* (2006), verovatnoća nastanka pojedinačnih statusa neizmirenja i korelacije kreditnih događaja imaju uporedivo značajan uticaj na vrednost kreditnog portfolija. Stoga je, u cilju što efikasnijeg upravljanja kreditnim portfolijima, neophodno posmatrati model koji će pravilno uračunavati efekte korelacija. Kao što je navedeno u uvodnom odeljku, u ovom radu ćemo se usredsrediti na međuzavisnosti koje potiču od zajedničke sistemske komponente kreditnog rizika.

Sistemska komponenta je ključna za finansijsku stabilnost, na šta se obraća posebna pažnja u svim regulatornim okvirima nakon globalne finansijske krize (BCBS, 2011). Regulativa zahteva da banke i druge finansijske institucije moraju uračunavati efekte poslovnih ciklusa na sastav i kvalitet kreditnog portfolija (Jiménez & Saurina, 2006), dok MSFI 9 to propisuje i za kvantifikaciju verovatnoće neizmirenja. Novales & Chamizo (2019) pokazuju da različiti sektori privrede ispoljavaju različitu osetljivost na cikluse, što se takođe mora uzeti u obzir.

Literatura na temu sistemske komponente kreditnog rizika relativno je novijeg datuma. Duffie *et al.* (2009) su razmatrali značaj uključivanja egzogenih determinanti u modele kreditnog rizika. Niz autora je pokušao da uspostavi kvantifikabilnu i empirijski opservabilnu vezu između makroekonomskih indikatora i ostvarenih stopa neizmirenja (Simons & Rolwes, 2008; Bruche & González-Aguado, 2010; Bellotti & Crook, 2009; Figlewski *et al.*, 2012). Pored studija na podacima iz pojedinačnih zemalja, postoje i empirijska istraživanja na panel podacima sa većeg broja tržišta (recimo, Ali & Daly, 2010). Chamizo & Novales (2016) su koristili kreditne derivate za razdvajanje uticaja sistemske od idiosinkratske komponente kreditnog rizika velikih evropskih kompanija. Kao što pokazuju neki autori (Bhansali *et al.*, 2008; Novales & Chamizo, 2019), rezidualni doprinos nesistemskih komponenata nije uvek idiosinkratski, već se najverovatnije može pripisati kombinaciji sektorskog i specifičnog faktora rizika. Pošto se u radu usredsređujemo na sistemsku komponentu, ovom distinkcijom se nećemo baviti.

U radu smo pokušali da prevaziđemo nekoliko poznatih problema kod modeliranja interakcije sistemske i idiosinkratske komponente koji su ranije identifikovani u literaturi. Prvi je nelinearan uticaj faktora na opservabilne veličine (Rosen & Saunders, 2010), koji se

ovde eksplicitno modelira kopolama i višefaktorskim modelom za sistemsku komponentu. Drugi je efikasna dekompozicija, za koju je neophodna ortogonalnost komponenata rizika. Ovde smo usvojili pristup analize glavnih komponenata koji su predložili Ericsson *et al.* (2009). Ovakav pristup nam ujedno omogućava prevazilaženje trećeg problema, a to je potreba za postojanjem modela sa relativno malim brojem faktora koji bi olakšali njihovo praćenje i interpretaciju (de Graaf *et al.*, 2018).

3. MODEL

Za opisivanje dinamike kreditne sposobnosti dužnika korišćićemo dve vrste promenljivih: skup koji se sastoji od K sistemskih faktora rizika $\mathbf{Z}_t = \{Z_{k,t}\}_{k=1}^K$, kao i idiosinkratski faktor ε_t . Kreditnu sposobnost ćemo modelirati latentnim indeksom Y_t , koji predstavlja linearnu kombinaciju svih faktora:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k Z_{k,t} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

gde su $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_K$ realni koeficijenti. Pretpostavićemo da su $Z_{k,t}$ nezavisne normalno raspodeljene slučajne promenljive za svako k , srednje vrednosti 0 i varijanse σ_k^2 . Slično, ε_t je vremenska serija nezavisnih realizacija normalne slučajne promenljive srednje vrednosti 0 i varijanse σ_ε^2 . Dodatno, pretpostavićemo da je idiosinkratski faktor ε_t ortogonalan na sve sistemske faktore $Z_{k,t}$ pojedinačno.

Veza indeksa kreditne sposobnosti i verovatnoće neizmirenja p je sledeća:

$$p = \mathbb{P}(Y_t < 0), \quad (2)$$

gde je \mathbb{P} mera verovatnoće. Verovatnoća p je безусловna i stoga odgovara verovatnoći koja se odnosi na čitav poslovni ciklus, tj. TtC PD. Sa druge strane, uslovna verovatnoća

$$p_t^* = \mathbb{P}(Y_t < 0 | \mathbf{Z}_t = \mathbf{z}_t) \quad (3)$$

ima interpretaciju verovatnoće neizmirenja za dati trenutak t , tj. PiT PD. U trenutku t skup sistemskih faktora \mathbf{Z}_t ima konkretne opservabilne vrednosti \mathbf{z}_t . Koristeći pretpostavke o osobinama sistemskih faktora $Z_{k,t}$ i idiosinkratskog faktora ε_t , lako je pokazati da iz jednakosti (1) i (2) sledi:

$$p = \Phi \left(- \frac{\beta_0}{\sqrt{\sum_{k=1}^K \beta_k^2 \sigma_k^2 + \sigma_\varepsilon^2}} \right), \quad (4)$$

gde je $\Phi(\cdot)$ standardna normalna funkcija raspodele. Jednakost (4) nam omogućava da izolujemo slobodni koeficijent β_0 na sledeći način:

$$\beta_0 = -\Phi^{-1}(p) \sigma_\varepsilon \sqrt{\sum_{k=1}^K \beta_k^2 \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_\varepsilon} \right)^2} + 1. \quad (5)$$

Slično, jednakosti (1) i (3) daju:

$$\begin{aligned}
 p_t^* &= \mathbb{P}\left(\beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k Z_{k,t} + \varepsilon_t < 0 \mid \mathbf{Z}_t = \mathbf{z}_t\right) \\
 &= \mathbb{P}\left(\varepsilon_t < -\beta_0 - \sum_{k=1}^K \beta_k z_{k,t}\right) \\
 &= \Phi\left(-\frac{\beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k z_{k,t}}{\sigma_\varepsilon}\right) \\
 &= \Phi\left(\Phi^{-1}(p) \sqrt{\sum_{k=1}^K \beta_k^2 \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_\varepsilon}\right)^2} + 1 - \frac{1}{\sigma_\varepsilon} \sum_{k=1}^K \beta_k z_{k,t}\right). \tag{6}
 \end{aligned}$$

Jednakost (6) ima oblik Gaussove kopule i predstavlja centralnu vezu između ocene verovatnoće neizmirenja obaveza kroz čitav poslovni ciklus i verovatnoće neizmirenja u trenutku t . Za vrednosti ortogonalnih sistemskih faktora $z_{k,t}$ koristićemo svojstvene vektore egzogenih determinanti kreditnog rizika koje obuhvataju efekte poslovnih ciklusa. Izbor uzorka, egzogenih determinanti, kao i metodologiju njihove dekompozicije na svojstvene vektore opisaćemo u sledećem odeljku.

4. PODACI I METODOLOGIJA

Model je ilustrovan na kvartalnim podacima o stopama neizmirenja kredita odobrenih stanovništvu od strane poslovnih banaka u Sjedinjenim Američkim Državama. Podaci su kvartalni i obuhvataju period od prvog kvartala 1981. godine do četvrtog kvartala 2020. godine. Ovu vremensku seriju ćemo označiti sa DR_t , po engleskoj skraćenici za stopu neizmirenja (*default rate* ili *delinquency rate*). Za konstruisanje sistemskih faktora korišćene su sledeće makroekonomske serije tokom istog perioda posmatranja: stopa rasta bruto domaćeg proizvoda (BDP), stopa nezaposlenosti, stopa inflacije izračunata na osnovu indeksa potrošačkih cena, monetarni agregat M3 i referentna stopa Federalnih rezervi Sjedinjenih Američkih Država. Svi podaci su javno dostupni preko FRED baze Federalnih rezervi u Sent Luisu. Sve stope su računate po principu godina-na-godinu i iskazane u procentima. Deskriptivne statistike svih serija prikazane su u Tabeli 1.

TABELA 1. DESKRIPTIVNE STATISTIKE KORIŠĆENIH VREMENSKIH SERIJA

NAZIV VREMENSKE SERIJE	PROSEČNA VREDNOST	STANDARDNA DEVIJACIJA	MINIMUM	MAKSIMUM
Stopa neizmirenja (%)	3.17	0.68	1.84	4.85
Stopa rasta BDP (%)	1.47	1.92	-9.48	4.13
Stopa nezaposlenosti (%)	5.89	1.65	3.60	13.07
Stopa inflacije (%)	2.56	1.01	0.65	5.50
M3 (hiljade milijardi USD)	7.22	4.05	2.75	18.95
Referentna stopa Fed (%)	3.26	2.69	0.06	9.73

Izvor: FRED baza podataka Federalnih rezervi u Sent Luisu

Za ocenu verovatnoće neizmirenja u trenutku t , koja je data u jednačini (6), primenili smo sledeći postupak. Najpre smo za svako t formirali matricu makroekonomskih promenljivih i njihovih docnji (do reda L):

$$\mathbf{X}_t = (x_{m,t} \quad x_{m,t-1} \cdots x_{m,t-L}) \quad (7)$$

gde $m = 1, 2, \dots, 5$ prebraja egzogene promenljive. Za svako t , dimenzije matrice date izrazom (7) su stoga $5 \times (L + 1)$. Neka je \mathbf{z}_t skup svojstvenih vektora matrice \mathbf{X}_t , za svako t , koji odgovaraju prvih K najvećih svojstvenih vrednosti, tj. K glavnih komponenta. Podelimo zatim sve serije duž vremenske dimenzije na uzorak za kalibraciju ($t = 1, 2, \dots, T$) i validaciju ($t = T + 1, T + 2, \dots, T + W$). Radi jednostavnosti, verovatnoću neizmirenja kroz poslovni ciklus (TtC PD) izjednačićemo sa prosečnom stopom neizmirenja unutar uzorka za kalibraciju:

$$p = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T DR_t. \quad (8)$$

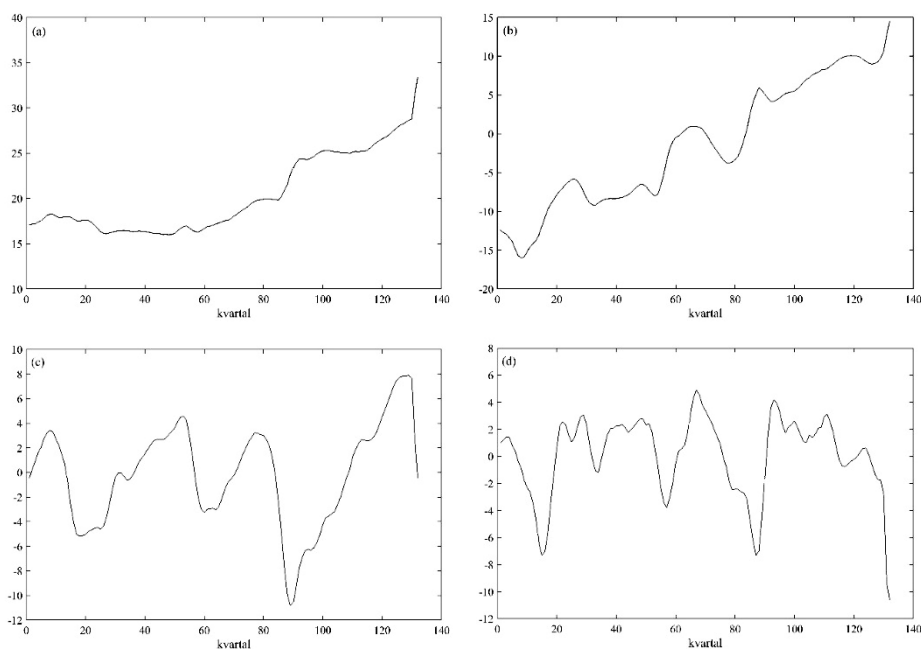
U sledećem koraku, regresiramo $Y_t \equiv \Phi^{-1}(DR_t)$ na svojstvene vektore \mathbf{z}_t koristeći jednačinu (1). Iz ove regresije dobijamo ocene parametara $\hat{\beta}_k$ i $\hat{\sigma}_k$, za $k = 1, 2, \dots, K$, kao i ocenu $\hat{\sigma}_\varepsilon$. Zamenom ovih ocena i vrednosti iz jednakosti (8) u poslednji izraz u jednačini (6) nalazimo ocene vrednosti stope neizmirenja \hat{p}_t^* za svaki trenutak unutar uzorka za kalibraciju, $t = 1, 2, \dots, T$.

Za ocene vrednosti stopa neizmirenja izvan uzorka koristimo iste ocene parametara u regresiji (1), s tim da u jednačinu (6) zamenjujemo vrednosti sistemskih faktora \mathbf{z}_t van uzorka posmatranja, tj. za $t = T + 1, T + 2, \dots, T + W$. Sposobnost modela da predvidi vrednosti stope neizmirenja u vremenskim periodima van uzorka posmatranja merićemo tako što za svaki trenutak t van uzorka poredimo modelske i stvarne verovatnoće neizmirenja, \hat{p}_t^* i p_t^* . Koristićemo standardnu Pearsonovu test statistiku, koja ima asimptotsku raspodelu χ^2 sa $W - 1$ stepeni slobode. Empirijski rezultati su sumirani u sledećem odeljku.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Kao prvi korak, konstruisaćemo vrednosti ortogonalnih sistemskih faktora $z_{k,t}$ kao svojstvene vektore matrice \mathbf{X}_t definisane jednačinom (7). Slika 1 prikazuje prve četiri glavne komponente dobijene na čitavom uzorku makroekonomskih podataka ($W = 0$), gde su korišćeni nivoi svake promenljive i njihove prve četiri docnje ($L = 4$). U datom uzorku, prve četiri glavne komponente objašnjavaju 99.1% varijacija u makroekonomskim faktorima.

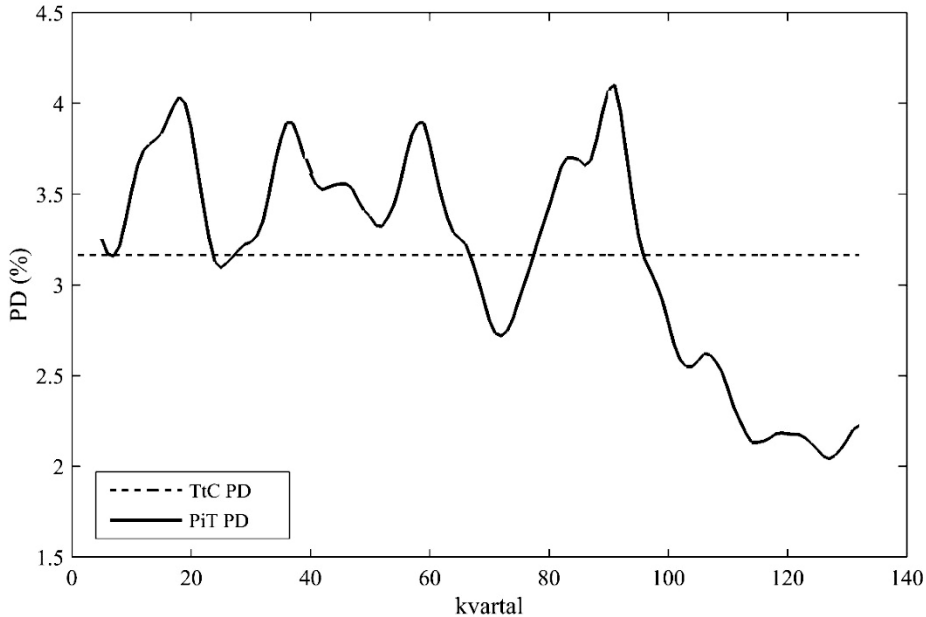
► SLIKA 1. PRVE ČETIRI GLAVNE KOMPONENTE EGZOGENIH FAKTORA KREDITNOG RIZIKA



Izvor: Autor

Možemo uočiti da prva glavna komponenta, $z_{1,t}$, prikazana na panelu (a) na Slici 1, ispoljava gotovo monotonu zavisnost od vremena. Intuitivno, ona predstavlja zajednički vremenski trend u kretanju svih makroekonomskih promenljivih. Ovaj trend može biti pozitivan ili negativan, u zavisnosti od koeficijenata u linearnoj kombinaciji koja predstavlja vezu prve glavne komponente i pojedinačnih promenljivih u dekompoziciji svojstvenih vrednosti. Ostale tri glavne komponente imaju nemonotone, gotovo periodične promene, i možemo ih interpretirati kao zajedničke ciklične komponente. Druga i treća glavna komponenta, $z_{2,t}$ i $z_{3,t}$, prikazane na panelima (b) i (c) na Slici 1, imaju rastojanja između lokalnih minimuma od oko pet do osam godina, što odgovara tipičnoj periodici poslovnih ciklusa. Četvrta glavna komponenta, $z_{4,t}$ (panel d), sadrži kretanja nešto veće učestalosti i možemo je povezati sa cikličnim pojavama drugog reda.

► SLIKA 2. POREĐENJE OCENJENIH VEROVATNOĆA NEIZMIRENJA KROZ POSLOVNI CIKLUS (TtC PD) I ZA DATI TRENUTAK (PiT PD)



Izvor: Autor

Ova intuicija se potvrđuje kao ispravna, što možemo videti iz Tabele 2 koja prikazuje rezultate regresije indeksa kreditne sposobnosti Y_t na prvih deset glavnih komponenta egzogenih faktora kreditnog rizika $z_{k,t}$ ($k = 1, 2, \dots, 10$) za čitav raspoloživ uzorak ($W = 0$). Ocene su dobijene običnim metodom najmanjeg kvadrata. Prve četiri komponente su pozitivne i visoko značajne, a regresija ima korigovani koeficijent determinacije od preko 82 procenta. Na osnovu F testa vidimo i da model ima visoku objašnjavajuću moć.

U sposobnost modela da zadovoljavajuće predviđa verovatnoću neizmirenja u datom trenutku van uzorka posmatranja možemo se uveriti na osnovu rezultata validacije, prikazanih u Tabeli 3. Unosi u tabeli predstavljaju vrednosti standardnih χ^2 statistika, gde smo varirali broj docnji glavnih komponenta L i veličine validacionog uzorka W . Docnje variraju od 1 do 20 kvartala, a veličina validacionog uzorka uzima tri različite vrednosti: 20, 40 i 60 kvartala unapred. Za svaku od kombinacija je nezavisno konstruisana matrica \mathbf{X}_t na osnovu jednačine (7) i broja docnji L , zatim su izračunate njene glavne komponente $z_{k,t}$ ($k = 1, 2, \dots, 10$), i potom su ocenjeni koeficijenti u regresiji (1) za $t = 1, 2, \dots, T$, gde T predstavlja razliku između ukupne veličine uzorka i poduzorka za validaciju W .

► TABELA 2. REZULTATI REGRESIJE INDEKSA KREDITNE SPOSOBNOSTI NA DESET GLAVNIH KOMPONENATA EGZOGENIH FAKTORA KREDITNOG RIZIKA

KOEFICIJENT	OCENJENA VREDNOST	STANDARDNA GREŠKA	t STATISTIKA	p VREDNOST
β_0	1.6804	0.0431	39.03	0.000
β_1	0.0095	0.0020	4.65	0.000
β_2	0.0041	0.0011	3.89	0.000
β_3	0.0078	0.0010	8.11	0.000
β_4	0.0107	0.0013	7.98	0.000
β_5	-0.0030	0.0027	-1.10	0.136
β_6	0.0170	0.0037	4.62	0.000
β_7	0.0322	0.0040	7.96	0.000
β_8	0.0104	0.0060	1.73	0.043
β_9	-0.0210	0.0069	-3.04	0.001
β_{10}	0.0108	0.0102	1.06	0.147
Korigovani R^2	0.8227			
F statistika	62.395			0.000

Izvor: Autor

Iz Tabele 3 možemo videti da je samo jedna vrednost validacione statistike značajna, dok sve ostale nemaju statistički značaj. Drugim rečima, vrednosti verovatnoća neizmirenja p_i^* dobijene na osnovu stvarnih podataka i vrednosti \hat{p}_i^* dobijene na osnovu predviđanja modela neznatno se razlikuju gotovo u svim slučajevima. Iz svega ovoga možemo zaključiti da model ima zadovoljavajuću moć kako opisivanja tako i predviđanja sistemske komponente kreditnog rizika.

► TABELA 3. REZULTATI VALIDACIJE VAN UZORKA (χ^2 STATISTIKA)

BROJ DOCNJI L (KVARTALI)	VELIČINA VALIDACIONOG UZORKA W (KVARTALI)		
	20	40	60
1	4.08	9.81	12.33
2	15.95	20.24	13.75
4	9.27	12.48	12.24
8	4.13	5.68	12.90
12	1.59	8.20	11.67
16	1.38	28.84	12.57
20	1.13	118.28***	8.73
kritične vrednosti χ^2_{W-1} za:			
$p = 0.10$	27.21	50.66	73.28
$p = 0.05$	30.14	54.57	77.93
$p = 0.01$	36.19	62.43	87.17

Izvor: Autor

* – p vrednost < 0.10; ** – p vrednost < 0.05; *** – p vrednost < 0.01.

6. ZAKLJUČAK

Ideja da se verovatnoća neizmirenja za dati trenutak može povezati sa verovatnoćom neizmirenja za čitav poslovni ciklus i ključnim makroekonomskim faktorima koji opisuju dinamiku poslovnih ciklusa je u ovom radu konkretizovana kroz pristup kopula. Prikazan je model u kome su kao determinante ciklusa korišćene glavne komponente makroekonomskih faktora. Jednostavnost modela ogleda se u tome što su glavne komponente makroekonomskih faktora međusobno ortogonalne, što omogućava direktnu primenu Gaussove kopule u kombinaciji sa višefaktorskim modelom. Glavne komponente igraju ulogu sistemskih faktora kreditnog rizika, dok je uticaj idiosinkratske komponente uračunat implicitno preko bezuslovne verovatnoće neizmirenja kroz poslovni ciklus (TtC PD). Uslovna verovatnoća neizmirenja sa poznatim vrednostima glavnih komponentata i verovatnoće neizmirenja kroz poslovni ciklus predstavlja verovatnoću neizmirenja u datom trenutku (PiT PD).

Primena modela je ilustrovana na kvartalnim podacima o stopama neizmirenja kredita odobrenih stanovništvu u Sjedinjenim Američkim Državama i ključnih makroekonomskih varijabli. Ocenjeni su parametri modela i statistike njegovih performansi unutar i izvan uzorka. Prve četiri glavne komponente su ključni nosioci sistemskog rizika jer objašnjavaju preko 99 procenata njihovih varijacija. Pored toga, imaju jasnu ekonomsku interpretaciju – prva komponenta opisuje vremenski trend u stopama neizmirenja, dok naredne tri igraju ulogu cikličnih determinanti. U regresijama su visoko značajne.

Model je validiran na poduzorcima koji obuhvataju tri različita horizonta predviđanja i raspon od prve do dvadesete doznje makroekonomskih varijabli prilikom konstrukcije glavnih komponentata. Validacione statistike, koje mere odstupanje modelskih verovatnoća neizmirenja od uzoračkih, statistički su značajne samo u jednom slučaju, dok se u svim ostalim kombinacijama parametara ne može odbaciti nulta hipoteza da je odstupanje jednako nuli.

Rad predstavlja doprinos sve relevantnijoj literaturi na temu dekompozicije kreditnog rizika i posebnog značaja sistemske komponente. Sa teorijskog aspekta, ukazuje na moguć pristup sagledavanju načina na koje makroekonomski faktori utiču na ciklično ponašanje u posmatranim stopama neizmirenja. Rezultati validacije ukazuju na visoku upotrebnu vrednost modela i široku primenljivost u praksi modeliranja kreditne sposobnosti i upravljanja rizicima. Model je jednostavan za primenu, te ga je moguće dalje unapređivati na više načina. Sa jedne strane, u budućnosti bi bilo i zanimljivo videti primene na podacima u Srbiji i regionu kada se akumulira dovoljno podataka koji omogućava pouzdane statističke testove. Sa druge strane, umesto validacije van uzorka, moguće je koristiti i projekcije makroekonomskih varijabli koje su dobijene iz nezavisnog modela, ili primenjivati različite scenarije njihovog kretanja u bliskoj budućnosti. Ovaj aspekt je značajan i sa stanovišta stres testova i praćenja finansijske stabilnosti.

REFERENCE LITERATURE

Ali, A. & Daly, K. (2010). "Macroeconomic determinants of credit risk: Recent evidence from a cross country study", *International Review of Financial Analysis*, 19(3), 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2010.03.001>

BCBS (2011). *Basel III: A Global Regulatory Framework for More Resilient Banks and Banking Systems*. Basel: Basel Committee on Banking Supervision. <https://www.bis.org/publ/bcbs189.pdf>

Bellotti, T. & Crook, J. (2009). "Credit scoring with macroeconomic variables using survival analysis", *Journal of the Operational Research Society*, 60(12), 1699–1707. <https://doi.org/10.1057/jors.2008.130>

Bhansali, V. Gingrich, R. & Longstaff, F. A. (2008). "Systemic credit risk: what is the market telling us?" *Financial Analysts Journal*, 64(4), 16–24. <https://doi.org/10.2469/faj.v64.n4.2>

Bruche, M. & González-Aguado, C. (2010). "Recovery rates, default probabilities, and the credit cycle", *Journal of Banking and Finance*, 34(4), 754–764. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.04.009>

Chamizo, Á. & Novales, A. (2016). "Credit Risk Decomposition for Asset Allocation", *Journal of Financial Transformation*, Capco Institute, 43, 117–123. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2785535>

Das, S. & Sundaram, S. (2000). "A Discrete-Time Approach to Arbitrage-Free Pricing of Credit Derivatives", *Management Science*, 46(1), 46–62. https://doi.org/10.1142/9789812778451_0004

Das, S., Freed, L. Geng, G. & Kapadia, N. (2006). "Correlated Default Risk", *Journal of Fixed Income*, 16 (2) 7–32. <https://doi.org/10.3905/jfi.2006.656006>

de Graaf, C. S. L., Kandhai, D. & Reisinger, C. (2018). "Efficient exposure computation by risk factor decomposition", *Quantitative Finance*, 18(10), 1657–1678. <https://doi.org/10.1080/14697688.2018.1435902>

Duffie, D. J. & Singleton, K. J. (1999). "Simulating Correlated Defaults", working paper, Stanford University, Graduate School of Business. <https://keneths.people.stanford.edu/sites/g/files/sbiybj3396/f/duffiesingleton1999.pdf>

Duffie, D., Eckner, A., Horel, G. & Saita, L. (2009). "Frailty Correlated Default", *Journal of Finance*, 64(5), 2089–2123. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2009.01495.x>

Ericsson, J. Jacobs, K. & Oviedo, R. (2009). "The determinants of credit default swap premia", *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 44(1), 109–132. <https://doi.org/10.1017/s0022109009090061>

Figlewski, S. Frydman, H. & Liang, W. (2012). "Modeling the effect of macroeconomic factors on corporate default and credit rating transitions", *International Review of Economics and Finance*, 21(1), 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2011.05.004>

Gersbach, H. & Lipponer, A. (2003). "Firm Defaults and the Correlation Effect", *European Financial Management*, 9(3), 361–378. <https://doi.org/10.1111/1468-036X.00225>

Jarrow, R. A. & Turnbull, S. M. (1995). "Pricing Derivatives on Financial Securities Subject to Credit Risk", *Journal of Finance*, 50(1), 53–85. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1995.tb05167.x>

Jarrow, R. A., Lando, D. & Turnbull, S. M. (1997). "A Markov Model for the Term Structure of Credit Spreads", *Review of Financial Studies*, 10, 481–523. <https://doi.org/10.1093/rfs/10.2.481>

Jiménez, G. & Saurina, J. (2006). "Credit Cycles, Credit Risk, and Prudential Regulation", *International Journal of Central Banking*, 2(2), 66–98. <https://www.ijcb.org/journal/ijcb06q2a3.pdf>

Leland, H. E. (1994). "Corporate Debt Value, Bond Covenants and Optimal Capital Structure", *Journal of Finance*, 49(4), 1213–1252. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1994.tb02452.x>

Longstaff, F. A. & Schwartz, E. S. (1995). "A Simple Approach to Valuing Risky Fixed and Floating Rate Debt", *Journal of Finance*, 50(3), 789–819. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1995.tb04037.x>

Madan, D. & Unal, H. (1999). "Pricing the Risks of Default", *Review of Derivatives Research*, 2(2/3), 121–160. <https://doi.org/10.1007/BF01531333>

Merton, R. (1974). "On the Pricing of Corporate Debt: The Risk Structure of Interest Rates", *Journal of Finance*, 29, 449–470. <https://doi.org/10.2307/2978814>

Novalés, A. & Chamizo, Á. (2019). "Splitting Credit Risk into Systemic, Sectorial and Idiosyncratic Components", *Journal of Risk and Financial Management*, 12(3), 129. <https://doi.org/10.3390/jrfm12030129>

Rosen, D. & Saunders, D. (2010). "Risk factor contributions in portfolio credit risk models", *Journal of Banking and Finance*, 34(2), 336–349. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2009.08.002>

Simons, D. & Rolwes, F. (2008). "Macroeconomic Default Modeling and Stress Testing", working paper, De Nederlandsche Bank. <https://www.ijcb.org/journal/ijcb09q3a6.pdf>
