BEOGRADSKA BANKARSKA AKADEMIJA-
FAKULTET ZA BANKARSTVO, OSIGURANJE I FINANSIJE
Br. 474
21.09.2026 god.
BEOGRAD

*Образац бр. 12.*

НАСТАВНО – НАУЧНОМ ВЕЋУ
БЕОГРАДСКЕ БАНКАРСКЕ АКАДЕМИЈЕ
ФАКУЛТЕТА ЗА БАНКАРСТВО, ОСИГУРАЊЕ И ФИНАНСИЈЕ
УНИВЕРЗИТЕТА УНИОН

На основу Предлога одлуке Наставно-научног већа Београдске банкарске академије – Факултета за банкарство, осигурање и финансије бр. 419 од 2. септембра 2026. године и Одлуке Сената Универзитета Унион бр. А 316-01/26 од 16. септембра 2026. именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом *Моделирање динамике каматних стопа употребом дуалне криве приноса* кандидаткиње Сање Р. Ненадовић. Пошто смо проучили завршену докторску дисертацију подносимо следећи

# Р Е Ф Е Р А Т
# О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

## 1. Основни подаци о кандидату и дисертацији

Сања Р. Ненадовић рођена је 1980. године у Београду, где је завршила основну и средњу школу. Дипломирала је на Економском факултету Универзитета у Београду, на смеру статистика и информатика, где је стекла и звање мастера економских наука из области квантитативних финансија. Докторске студије уписала је на Економском факултету Универзитета у Београду, на смеру статистика, а потом их наставила на Београдској банкарској академији – Факултету за банкарство, осигурање и финансије Универзитета Унион у Београду, где је положила све испите предвиђене студијским програмом.

Професионалну каријеру започела је 2007. године у компанији La Fantana Serbia, у власништву инвестиционог фонда Innova Capital, на пословима финансијског контролинга, где је провела пет година. Од 2012. до 2024. године каријеру је градила у компанији Fidelity National Information Services, на пословима имплементације платформи за управљање трезорским и финансијским ризицима за водеће европске и азијске банке, напредујући од вишег пословног аналитичара до вишег менаџера професионалних услуга. Њен рад је обухватао увођење регулаторних оквира IRRBB, CSRBB, LCR и NSFR, валидацију модела и мапирање података за сложене финансијске инструменте. Током 2024. године била је ангажована као независни консултант на развоју система за финансијску аналитику и извештавање. Од 2024. године ради у компанији Endava као консултант за податке и вештачку интелигенцију, на пословима архитектуре података, предиктивног моделирања и пројектовања решења заснованих на великим језичким моделима.

Области научног интересовања кандидаткиње обухватају квантитативне финансије, моделирање рочне структуре каматних стопа и економетрију временских серија.

Резултате свог истраживачког рада објавила је у међународним и домаћим научним часописима, међу којима су Journal of Time Series Analysis (2024), Serbian Journal of Management (2021) и Economic Analysis (2022), као и у зборницима са међународних научних конференција. Рад објављен у часопису Journal of Time Series Analysis, који се односи на услове мапирања у случају интегрисаног CARMA (2,1) стохастичког процеса, представља непосредну научну подлогу централног теоријског дела ове дисертације.

На основу Предлога одлуке Наставно-научног Већа Београдске банкарске академије - Факултета за банкарство, осигурање и финансије бр. 419 од 2. септембра 2026. године и Одлуке Сената Универзитета "Унион" у Београду бр. А 316-01/26 од 16. септембра 2026. године одобрена је израда докторске дисертације кандидаткињи Сањи Р. Ненадовић под називом *Моделирање динамике каматних стопа употребом дуалне криве приноса*. Поред увода и закључних напомена, докторска дисертација садржи четири централна дела:

1. *Криза ликвидности и каматне стопе*
2. *Динамика каматних стопа и дуална крива приноса*
3. *Модел ризико-премије каматних стопа*
4. *Репо стопе као дисконтне стопе*

Списак коришћене литературе садржи 91 библиографску јединицу домаћих и страних аутора и обухвата чланке објављене у водећим међународним часописима, монографије, као и радне папире, методолошке материјале и статистичке базе кредибилних међународних институција (Bank for International Settlements, Европска централна банка, Банка Федералних резерви Њујорка, Банка Енглеске, Банка Јапана, ISDA, ICMA) и Народне банке Србије. Коришћена литература је релевантна и обухвата како фундаменталне радове из области моделирања рочне структуре каматних стопа, тако и најновије публикације, укључујући и радове објављене 2024. године. Дисертација садржи 47 табела и 33 слике, као и обиман прилог са детаљним резултатима економетријских оцена, и написана је на укупно 222 стране.

## 2. Предмет и циљ дисертације

Предмет докторске дисертације јесте идентификовање и математичко моделирање фактора који детерминишу кретање каматних стопа, уз посебан осврт на дуалну криву приноса која истовремено обухвата нивое двеју каматних стопа и распон (спред) између њих. Каматна стопа представља цену новца и један је од најзначајнијих финансијских показатеља, јер непосредно утиче на трошкове задуживања, динамику инфлације, девизне курсеве, понашање потрошача и стабилност финансијског система, а истовремено служи и као основа за вредновање обвезница, кредита, свопова и других финансијских инструмената.

Актуелност предмета истраживања произлази из две међусобно повезане околности.

Прва је глобална финансијска криза из 2007. године, која је показала да IBOR стопе, због инхерентног ризика неиспуњења обавеза, не представљају адекватан показатељ безризичних каматних стопа, што је документовано наглим скоком LIBOR-OIS и TED распона.

Друга је потоња регулаторна транзиција са IBOR на нове безризичне референтне стопе (RFR) – SOFR, ESTR, SONIA, SARON и TONA – која је финансијске институције обавезала да уговоре засноване на IBOR-u прилагоде за распон између IBOR и нових референтних стопа. Будући да су RFR стопе искључиво преконоћне, њихова примена отвара и питање извођења комплетне терминске структуре, чиме моделирање динамике каматних стопа и њихових распона добија непосредан практични значај.

Предмет истраживања разрађен је кроз три истраживачка питања. Прво се односи на развој модела који обухвата динамику нивоа каматних стопа полазећи од претпоставке да оне нису стационарни процеси, при чему је модел биваријантан како би истовремено обухватио и спред између двеју стопа. Друго се односи на постављање математичког модела ризико-премија каматних стопа и декомпозицију укупног спреда на кредитну компоненту, премију за ликвидност и терминску премију. Треће се односи на испитивање могућности употребе репо каматних стопа при конструкцији кривих дисконтних фактора и процени новчаних токова код уговора са променљивом каматном стопом.

Посебан сегмент предмета истраживања чини анализа тржишта Републике Србије, која уважава специфичну улогу Народне банке Србије у регулисању вишкова ликвидности путем реверзних репо аукција, имајући у виду да домаће међубанкарско репо тржиште није развијено у мери у којој су то водећа светска тржишта.

Основни циљеви дисертације усмерени су на свеобухватно разумевање и математичко дефинисање кључних фактора који обликују кретање каматних стопа у савременом финансијском окружењу. Први циљ јесте прецизно описивање динамике краткорочних каматних стопа у условима у којима се оне третирају као нестационарни стохастички процеси реда интегрисаности један, чиме се адекватније обухвата њихова изражена перзистентност у односу на традиционалне моделе реверзибилности ka средњој вредности. Други циљ јесте моделирање фактора ризико-премија каматних стопа истог рока доспећа, чиме се омогућава прецизна идентификација и декомпозиција утицаја ликвидносног и кредитног ризика на каматне спредове. Трећи циљ јесте испитивање могућности употребе репо каматних стопа у конструкцији криве дисконтних фактора, тестирањем њихове методолошке погодности као безризичне основе за процену садашње вредности будућих новчаних токова.

## 3. Основне хипотезе од којих се полазило у истраживању

Полазећи од специфичности процеса транзиције са IBOR на нове референтне стопе, као и од уочене нестационарности и перзистентности каматних приноса, у дисертацији су формулисане следећа главна и пет помоћних хипотеза:

> *Главна хипотеза: Динамика краткорочних каматних стопа може се прецизније описати дуалним моделом криве приноса него постојећим моделима;*

*Помоћна хипотеза 01 (H01): У условима кризе ликвидности, дисконтни фактори на основу LIBOR стопа доводе до виших вредности инструмената у односу на оне засноване на референтним стопама;*

*Помоћна хипотеза 02 (H02): Постоји коинтеграциона веза између процеса који описују кретање LIBOR и референтних каматних стопа;*

*Помоћна хипотеза 03 (H03): Утицај фактора ликвидности на раст ризико-премија у кратком року је значајнији од утицаја кредитних фактора;*

*Помоћна хипотеза 04 (H04): Терминска структура репо каматних стопа може се објаснити хипотезом о рационалним очекивањима;*

*Помоћна хипотеза 05 (H05): Репо стопе ближе општој репо стопи адекватније апроксимирају безризичне стопе од оних ближих специјалним репо стопама.*

## 4. Методе које су примењене у истраживању

Истраживање је засновано на примени ригорозних квантитативних метода које омогућавају свеобухватну анализу и моделирање динамике каматних стопа. У истраживању су коришћене следеће методе:

- метод анализе постојеће научне и стручне литературе примењен је у поглављима која обрађују теоријске основе моделирања рочне структуре каматних стопа, функционисање репо тржишта и процес транзиције са IBOR на нове референтне стопе, као и у систематизацији постојећих емпиријских налаза;
- метод математичког моделирања и извођења примењен је у конструкцији дуалног модела, у мапирању параметара из дискретног у континуелни временски оквир, у извођењу аналитичког решења за терминску структуру и у репрезентацији простора стања, уз анализу особина MA компоненте модела;
- метод дескриптивне и компаративне анализе примењен је у приказу кретања референтних каматних стопа за пет водећих валута (USD, EUR, GBP, CHF и JPY), LIBOR и EURIBOR стопа различитих рочности, репо стопа, као и BELIBOR и BEONIA стопа на домаћем тржишту;
- тестови присуства јединичног корена, укључујући и Zivot-Andrews тест који уважава могућност структурног лома, примењени су ради провере полазне претпоставке о нестационарности серија каматних стопа у нивоу и стационарности њихових првих диференци;
- метод ARIMA моделирања и оцењивање методом максималне веродостојности примењени су за калибрацију параметара модела у дискретном времену и за упоредну анализу алтернативних спецификација, са фокусом на поређење интегрисаних модела ARIMA (2,1,1) и ARIMA (2,1,0) са стационарним моделом првог реда, уз коришћење Шварцовог информационог критеријума (BIC) као мере квалитета модела;

– Johansenov тест коинтеграције примењен је за идентификацију дугорочних равнотежних односа између серија каматних стопа и за нормализацију коинтеграционих вектора, што је омогућило декомпозицију укупне премије за ризик на кредитни распон, премију за ликвидност и терминску премију;

– Campbell-Shiller регресиони тестови примењени су за проверу хипотезе очекивања о рочној структури каматних стопа на дневним подацима, уз Newey-West корекцију стандардних грешака, у циљу поређења перформанси колатерализованих и неколатерализованих каматних стопа;

– метод Monte Carlo стохастичких симулација примењен је ради верификације предиктивне моћи предложеног дуалног модела, генерисањем великог броја могућих будућих путања каматних стопа и поређењем симулираних са оствареним тржишним вредностима;

– упоредна анализа перформанси модела спроведена је у односу на етаблиране моделе из литературе – Vasiček, Merton, Hull-White и Ho-Lee модел, као и у односу на предвиђања добијена VAR моделом.

Сви подаци коришћени у анализи процесуирани су као континуелно укамаћене, безкупонске каматне стопе, уз доследну примену конвенције бројања дана 30/360, при чему су своп стопе изведене применом бутстрап методе. Целокупна економетријска обрада, тестирање и симулациони прорачуни реализовани су употребом статистичког програмског пакета Stata/IC 15.1.

## 5. Кратак опис садржаја дисертације

Дисертација је структурирана кроз уводни део, четири тематска поглавља и закључне напомене, којима су додати списак литературе, прилог, биографија кандидаткиње и преглед објављених научних радова.

У уводном делу рада представљени су предмет и циљеви истраживања, а затим су формулисане главна и помоћне хипотезе. Такође је представљен скуп истраживачких метода који конституишу методологију релевантну за тестирање постављених хипотеза, сумиран је остварени научни допринос и дат преглед структуре дисертације.

У првом поглављу анализира се утицај глобалне финансијске кризе на кретање каматних стопа у свету. Кандидаткиња објашњава механизам настанка кризе ликвидности и документује понашање LIBOR-OIS и TED распона у периоду кризе, показујући да прецењене LIBOR стопе доводе до потцењивања вредности финансијских инструмената. Потом се детаљно приказује процес транзиције са IBOR на нове безризичне референтне стопе, укључујући преглед RFR стопа по валутама, фундаменталне разлике између IBOR и RFR стопа, методологије прилагођавања распона предложене у ISDA консултацијама, као и показатеље динамике усвајања нових стопа на тржишту деривата.

Друго поглавље садржи централни теоријски допринос рада. Након критичког прегледа најпознатијих модела рочне структуре у литератури, кандидаткиња поставља дуални модел најпре у дискретном облику, полазећи од класе ARIMA модела у којој је ауторегресивна компонента другог реда, при чему је само један корен јединични, чиме се истовремено обухватају и нестационарно и стационарно понашање каматних стопа. Затим се изводи мапирање дискретног у континуелни модел и представља репрезентација простора стања у континуелном облику, уз посебну анализу особина MA компоненте.

Емпиријски део поглавља обухвата опис података и методологије обрачуна, тестирање присуства јединичног корена, оцену модела у дискретном времену, анализу квалитета предвиђања у поређењу са конкурентским моделима, као и засебну емпиријску анализу за тржиште Републике Србије.

Треће поглавље посвећено је анализи детерминанти ризико-премија каматних стопа. Након систематизације извора каматног ризика према класификацији Базелског комитета за супервизију банака, кандидаткиња изводи модел декомпозиције укупног распона на компоненте кредитног ризика, ризика ликвидности и терминске премије у оквиру биваријантног стохастичког оквира. Емпиријски део обухвата опис података, тестове коинтеграције и нормализацију коинтеграционих вектора, те симулацију каматних распона и поређење квалитета предвиђања са VAR моделом.

У четвртом поглављу испитује се улога репо тржишта и методолошка подобност репо стопа као дисконтних фактора. Приказано је функционисање репо тржишта и његових инструмената, однос репо стопа и криве приноса, те теоријске поставке хипотезе очекивања о рочној структури каматних стопа у формулацији коју су предложили Campbell и Shiller (1991). Емпиријски део обухвата резултате регресионих тестова спроведених на дневним подацима, на краћем и дужем узорку, уз поређење колатерализованих и неколатерализованих преконоћних стопа.

У закључним напоменама сумирани су најважнији резултати истраживања и изведени закључци, структурирани у односу на постављене хипотезе. Посебна пажња дата је импликацијама налаза на праксу финансијских институција и на вођење монетарне политике, а на крају су представљена ограничења истраживања и препоруке за даља истраживања.

Завршни део дисертације чине списак литературе и прилог са детаљним резултатима економетријских оцена, тестова и симулација.

## 6. Остварени резултати и научни допринос

Резултати до којих је кандидаткиња Сања Р. Ненадовић дошла представљају значајан научни допринос проучавању динамике каматних стопа и моделирању рочне структуре у условима транзиције са IBOR на нове безризичне референтне стопе. Научни допринос рада огледа се у верификацији дуалног модела који истовремено обухвата нивое стопа и њихове спредове, уз декомпозицију премија на факторе ликвидности и кредитног ризика, чиме се омогућава прецизније вредновање финансијских инструмената и адекватније управљање ризицима у условима тржишних турбуленција. Анализа резултата систематизована је на основу постављених хипотеза и представљена у наставку.

### 1. Прецизност дуалног модела у описивању динамике краткорочних каматних стопа

Полазна претпоставка истраживања јесте да ниво каматних стопа не задовољава услов стационарности. Ова претпоставка испитана је на широком спектру серија каматних стопа за пет водећих валута, укључујући референтне стопе SOFR, ESTR, SONIA, SARON и TONA, као и LIBOR и EURIBOR стопе различитих рочности. Резултати тестова присуства јединичног корена потврдили су нестационарност серија у нивоу и стационарност њихових првих диференци, чиме је оправдано напуштање традиционалних модела повратка на средњу вредност.

На тако постављеној основи изведен је дуални модел, најпре у дискретном облику заснованом на класи ARIMA модела са ауторегресивном компонентом другог реда од чега је само један корен јединични, а затим је мапиран у континуелну форму која омогућава лакше извођење терминске структуре и поређење са конкурентским моделима исте класе. На основу добијених BIC вредности и упоредне анализе перформанси, нулта хипотеза о супериорности коју поставља главна хипотеза, а која се односи на то да се динамика краткорочних каматних стопа може прецизније описати дуалним моделом у односу на Vasiček, Merton, Hull-White и Ho-Lee модел, не може се одбацити. Интегрисани ARIMA (2,1,1) модели конзистентно показују већу прецизност предвиђања, нарочито у краткорочном делу криве, чиме је документована адекватност моделирања динамике каматних стопа као процеса са јединичним кореном. Добијање аналитичког решења модела и његово мапирање између дискретне и континуелне репрезентације представља самосталан теоријско-методолошки допринос дисертације.

**2. Понашање дисконтних фактора у условима кризе ликвидности**

Анализа понашања тржишта током периода стреса указује на то да се не може одбацити помоћна хипотеза 01 (H01), према којој у условима кризе ликвидности дисконтни фактори засновани на LIBOR стопама доводе до виших вредности инструмената у односу на оне засноване на референтним стопама. Ови налази потврђују да IBOR стопе, услед инхерентног ризика неиспуњења обавеза, не представљају адекватан показатељ нискоризичних стопа, што је и био један од главних узрочника губитака финансијских институција током глобалне финансијске кризе. Налаз има непосредну импликацију на праксу вредновања финансијских инструмената и на управљање базним ризиком у периодима тржишног стреса.

**3. Коинтеграциона веза између LIBOR и нових референтних каматних стопа**

Применом Johansenovog теста коинтеграције на широком спектру валута, нулта хипотеза о одсуству коинтеграције, чиме је тестирана помоћна хипотеза 02 (H02) о постојању коинтеграционе везе између LIBOR и нових референтних стопа, одбацује се на високом нивоу статистичке значајности. Резултати документују постојање стабилних дугорочних равнотежних веза између неосигураних и осигураних каматних стопа, које су неопходан предуслов за прецизну декомпозицију укупне премије за ризик унутар биваријантног дуалног оквира. Нормализацијом коинтеграционих вектора омогућено је раздвајање кредитне компоненте, премије за ликвидност и терминске премије, а квалитет симулираних распона потврђен је поређењем са предвиђањима добијеним VAR моделом.

**4. Доминантан утицај фактора ликвидности на краткорочни раст ризико-премија и налази за тржиште Републике Србије**

Емпиријски налази указују на то да се помоћна хипотеза 03 (H03), према којој је утицај фактора ликвидности на раст премија у кратком року значајнији од утицаја кредитних фактора, не може одбацити. Посебан фокус истраживања на тржишту Републике Србије потврдио је универзалну применљивост дуалног модела и истовремено идентификовао специфичне детерминанте локалних ризико-премија. Применом Zivot-Andrews теста одбацује се хипотеза о стационарности BELIBOR и BEONIA стопа у нивоу, при чему спецификација ARIMA (2,1,1) конзистентно продукује најпрецизнија предвиђања, што је у потпуности конзистентно са резултатима добијеним за USD, EUR и GBP тржишта.

Утврђено је да услед специфичности српског финансијског система и недовољне развијености секундарног трговања премија за ликвидност представља доминантну компоненту укупног спреда у односу на чист кредитни ризик. Овакав налаз документује пресудну улогу операција на отвореном тржишту Народне банке Србије, где су се реверзне репо аукције наметнуле као примарни механизам за регулисање вишкова ликвидности и стабилизацију стопа унутар дефинисаног коридора, посебно у условима тржишног стреса изазваног пандемијом COVID-19. Сходно томе, економетријска анализа потврђује да се репо стопа Народне банке Србије може успешно третирати као релевантан методолошки показатељ безризичне стопе на домаћем тржишту, пружајући стабилнију основу за конструкцију криве дисконтних фактора у поређењу са необезбеђеним BELIBOR стопама. Овај налаз представља посебан допринос рада домаћој литератури и има непосредну примену у анализи механизама трансмисије монетарне политике у Републици Србији.

**5. Терминска структура репо каматних стопа и хипотеза очекивања**

Резултати Campbell-Shiller регресија на дневним подацима указују на то да се не може одбацити помоћна хипотеза 04 (H04), према којој се терминска структура репо каматних стопа може објаснити хипотезом о рационалним очекивањима. Тестирање је спроведено на два узорка, краћем и дужем, уз поређење са резултатима добијеним на прекоиоћним стопама које нису покривене средствима обезбеђења. Овим се документује да су колатерализоване стопе подједнако квалитетни, а у појединим сценаријима и прецизнији предиктори кретања приноса од необезбеђених стопа, што представља емпиријску потврду методолошке оправданости замене IBOR стопа репо заснованим референтним стопама.

**6. Подобност опште репо стопе као апроксимације безризичне стопе**

Микроструктурна анализа потврђује да се не може одбацити ни помоћна хипотеза 05 (H05), која тврди да репо стопе које су ближе општој репо стопи пружају адекватнију апроксимацију безризичних стопа од оних ближих специјалним репо трансакцијама. Овакав налаз утемељен је на чињеници да присуство висококвалитетног колатерала минимизира кредитни ризик, чинећи ове стопе стабилнијим показатељем за конструкцију криве дисконтних фактора у савременом регулаторном окружењу.

Доказана теоријска ваљаност и снажне емпиријске перформансе дуалног модела чине га корисним аналитичким инструментом за финансијске институције у процесима доношења одлука и ефикасног управљања каматним ризиком, посебно у контексту прилагођавања уговорних распона након престанка објављивања LIBOR стопа.

Кандидаткиња је у закључном делу рада коректно и критички указала и на ограничења спроведеног истраживања. Емпиријска анализа нових референтних стопа условљена је расположивошћу података, будући да је SOFR доступан од априла 2018, а ESTR тек од октобра 2019. године, што ограничава поузданост оцена на дужим временским хоризонтима. За швајцарски франак нису биле доступне прекоиоћне стопе које претходе увођењу SARON-a, недовољна развијеност домаћег међубанкарског репо тржишта ограничава непосредну упоредивост резултата за Републику Србију са налазима за развијена тржишта, а сам дуални модел почива на претпоставци константне волатилности. Као правце даљих истраживања кандидаткиња наводи проширење модела увођењем стохастичке

волатилности и скокова, понављање анализе на дужим серијама нових референтних стопа, примену дуалног оквира на тржишта у развоју и на дуже теноре криве приноса. Комисија сматра да оваква експлицитна артикулација ограничења додатно потврђује научну зрелост кандидаткиње.

## 7. Закључак и предлог Комисије

Након спроведене анализе докторске дисертације Сање Р. Ненадовић, под називом *Моделирање динамике каматних стопа употребом дуалне криве приноса*, Комисија оцењује да је кандидаткиња, користећи релевантну научну методологију и обимну литературу, успешно обрадила проучавану тему. Докторска дисертација је урађена у складу са пријавом која је одобрена од стране Наставно-научног већа Београдске банкарске академије – Факултета за банкарство, осигурање и финансије и Сената Универзитета Унион у Београду, како у погледу предмета, циља и постављених хипотеза и метода истраживања, тако и у погледу садржаја. Резултати до којих је кандидаткиња Сања Р. Ненадовић дошла представљају значајан научни допринос проучавању динамике каматних стопа и моделирању рочне структуре у условима транзиције са IBOR на нове безризичне референтне стопе. Комисија са задовољством констатује да је остварен циљ истраживања и да је докторска дисертација резултат оригиналног и самосталног научног рада кандидаткиње.

На основу свега изложеног, имајући у виду квалитет рада, актуелност и значај теме, добијене резултате и оригинални научни допринос докторске дисертације кандидаткиње Сање Р. Ненадовић, под називом *Моделирање динамике каматних стопа употребом дуалне криве приноса*, Комисија предлаже Наставно-научном већу Београдске банкарске академије – Факултета за банкарство, осигурање и финансије Универзитета Унион у Београду да прихвати докторску дисертацију и одобри њену јавну одбрану.

Београд, 21. септембар 2026. године

**Комисија**

Проф. др Дејан Ерић, председник

Проф. др Зоран Грубишић, ментор

др Душко Бодрожа, виши научни сарадник,
Институт економских наука у Београду, коментор