

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

### Наставно- научном већу ФОН-а

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата **Милоша Вујновића**

Одлуком Научно- наставног већа ФОН-а од 20.04.2016, одлука бр. 3/51-6, именовани смо у Комисију за оцену завршене докторске дисертације кандидата **Милоша Вујновића**, под насловом:

#### “ВАЛИДАЦИЈА МОДЕЛА КРЕДИТНОГ РИЗИКА”

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, Комисија је сачинила следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. Основни подаци о кандидату и дисертацији:

Милош Вујновић је је рођен 16.09.1977. године у Земуну, где је завршио основну школу и гимназију природно-техничког смера. Дипломирао је на Економском факултету у Београду 2003. године на смеру „Финансије, банкарство и осигурање“. Исте године је на Економском факултету у Београду уписао последипломске студије на смеру „Актуарство“. До фебруара 2005. године је положио све планом предвиђене испите и одбранио два семинарска рада („Портфолио инвестиције“ и „Формирање тарифа у осигурању моторних возила“). Јуна месеца 2007. године одбранио је магистарску тезу под називом „VaR анализа кредитног порфолиа банака“ и, тиме, стекао академски назив магистра економских наука.

Своју професионалну афирмацију кандидат је започео 2003. године у ЈУБМЕС банци а.д. Београд на пословима картичарства и кредитирања становништва, да би од 2005. године био ангажован на половима мерења и управљања ризицима у банци. У периоду од 2006-2015. године обављао је функцију директора одељења за управљање ризицима у наведеној банци, а био је и члан управног одбора ЈУБМЕС банке. Од децембра 2015. године се налази на месту председника извршног одбора ЈУБМЕС банке.

Милош Вујновић је почетком 2008. године одржао једно гостујуће предавање на Факултету организационих наука у Београду на тему модела мерења и управљања појединим врстама ризика у банкарству. Током 2007-2008. године у више наврата био ангажован као гостујући предавач на последипломским и дипломским студијама на Београдској банкарској академији. Поред овога, кандидат је децембра 2007. године

био ангажован као предавач на „Pexim Business intelligence workshop-у“ са темом „Управљање кредитним ризиком“, а у априлу и децембру 2008. године је у Београду био предавач на специјалистичком семинару „Пословни ризици у управљање ризицима у складу са домаћом и међународним методологијама и стандардим“ са темом „Модел мерења и управљања кредитним и тржишним ризицима“.

Јула месеца 2007. године кандидат је објавио књигу под насловом „VaR анализа кредитног портфолија банака“ (Траг, Београд, 2007). у којој је систематски обрађена проблематика примене једног од најсавременијих модела процене и управљања ризицима, тзв. модел управљања вредношћу под ризиком, који се налази у основи споразума из Базела.

Поред овога, кандидат је објавио и следећи рад:

Вујновић М., Манојловић У., Николић Н., Вредновање уграђених валутних опција, XII Међународни симпозијум Факултета организационих наука – Организационе науке и менаџмент знања, SYMORG 2010.

Кандидат Милош Вујновић је докторску дисертацију под називом „Валидација модела кредитног ризика“ пријавио 1.06.2010. године. С тим у вези, научно-наставно веће Факултета организационих наука је на својој седници одржаној дана 6.07. 2010. године именovalo комисију за оцену научне заснованости пријављене докторске дисертације бр. 3/81-14. Извештај комисије о цени научне заснованости пријављене теме је усвојен на научно-наставном већу факултета организационих наука 27.10.2010. године бр.3/112-5. Наведени извештај је добио сагласност већа правно-економских наука Универзитета, те је наставно-научно веће Факултета организационих наука на својој седници одржаној 29.12.2010. године, одлука бр.3/146-6, одобрило кандидату израду докторске дисертације. Одлуком наставно-научног већа Факултета организационих наука од 23.09.2015. године, одлука бр. 3/106-11, кандидату је одобрено продужење рока од годину дана за одбрану докторске дисертације. Ментор, проф. др Весна Богојевић Арсић је 14.04.2016. године поднела извештај о завршеној докторској дисертацији, а Наставно-научно веће Факултета организационих наука именovalo је 20.04.2016. године, одлука бр. 3/510-6, Комисију за оцену завршене докторске дисертације у саставу:

1. **др Весна Богојевић Арсић**, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитет у Београду
2. **др Мирко Вујошевић**, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитет у Београду
3. **др Братислав Петровић**, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитет у Београду
4. **др Зоран Радојичић**, редовни професор Факултета организационих наука, Универзитет у Београду
5. **др Бошко Живковић**, редовни професор Економског факултета, Универзитет у Београду

Докторска дисертација кандидата Милоша Вујновића под насловом „Валидација модела кредитног ризика“ је написана на укупно 188 страна, не рачунајући увод и закључак, који су написани на укупно 4 стране. Дисертација се састоји од осам

поглавља, које су међусобно повезана и чине складну и логичну целину. Рад садржи укупно 12 прилога која су дата на укупно 58 страна, 66 табела и 43 графикана, који омогућавају сагледавање података, избор узорка и анализе и тестирања која су вршена како би се провериле тврдње и пружили аргументи који подржавају хипотезе које су терстиране у дисертацији. При изради дисертације коришћена је обима и референтна литература, и то: 79 књига, 104 научна чланка из уже научне области, 10 стручних чланака који непосредно разматрају поједине аспекте предмета истраживања, 5 радова са угледних међународних конференција, 14 званичних докумената комитета из Базела и 11 техничких документа и чланака реномираних рејтинг агенција.

## **2. Предмет и циљ дисертације:**

Предмет докторске дисертације је приказ могућих решења на плану развоја метода валидације модела кредитног ризика у циљу дизајнирања конзистентног и комплетног процеса валидације који узима у обзир сва ограничења која постоје на тржишту у развоју. Банке имају потребу за развојем свеобухватних метода валидације модела кредитног ризика како би разумеле и квантификовале ризик кредитног портфолија. Истраживање је било усмерено на изналажење начина за креирање адекватног модела кредитног ризика, како би се омогућило банкама да у складу са захтевом Базела II интерне моделе кредитног ризика засноване на рангирању могу да користе за процену минимално потребног капитал за покриће изложености кредитном ризику, али и валидирање модела кроз развој статистичких алата за оцену интерних система рангирања. Ово, тим пре, што не постоји опште прихваћена методологија валидације. Како је у претходној деценији банкарски сектор претрпео огромне губитке, јавила се потреба за бољим мерењем и ефикаснијим управљањем кредитним ризиком, који је основни ризик коме су банке изложене у пословању. Иако су у међувремену развијени мање или више софистицирани системи који омогућавају моделовање кредитног ризика, тек током последњих неколико година долази до спознаје потребе процене квалитета система рангирања који се налазе у основи модела мерења кредитног ризика. Примена стандарда Базела II је пружила банкама могућност да, не само креирају, већ и користе интерне моделе кредитног ризика за процену потребног капитала за покриће изложености кредитном ризику. Са друге стране, Базела II наглашава значај валидације модела кредитног ризика, што је додатно подстакнуто захтевом да банке у процесу интерне процене адекватности капитала имају обавезу да преиспитују основне претпоставке од којих се пошло приликом утврђивања минимално потребног регулаторног капитала, али и захтевом за ревизијом таквих модела од стране супервизора. Банкама је потребна методологија за валидацију како би могле да потврде да користе адекватне моделе за обрачун капитала и управљање ризицима. Непостојање једне конзистентно примењене и прихваћене методологије валидације је отворило простор да се кроз докторску дисертацију покуша дефинисати и развити свеобухватна и конзистентна методологија валидације модела кредитног ризика у банкама уз уважавање свих ограничења која могу постојати на тржишту у развоју.

**Основни циљ** дисертације је био развијање емпиријски прикладног савременог методолошког оквира процеса валидације модела кредитног ризика, као основног сегмента управљања кредитним ризиком у банкама, на основу примене квантитативних модела заснованих на реалним подацима из распложиве базе података.

Од спроведеног истраживања теме докторске дисертације се очекивало и да докаже да је валидација модела кредитног ризика који се користе у савременом банкарству неопходна, да оцени трендове развоја анализе модела управљања кредитним ризицима у банкарству, да пронађе решење за специфичне проблеме на које се наилази у

примени модела кредитног ризика, али и да укаже на ограничења у њиховој примени. Дисертација је имала за циљ да предложи једноставан и практично применљив приступ валидацији модела кредитног ризика заснованих на системима рангирања према кредитном рејтингу дужника. С обзиром да је при креирању и примени квалитетних интерних модела кредитног ризика присутан проблем недостатка података, то је истраживање било усмерено на истраживање овог проблема и формулисање решења за његово превазилажење. Очекивало се да ће истраживање сугерисати начин на који се може радити са малим базама података коришћењем непараметарских модела приликом дефинисања узорка кроз процес понављања како би се обезбедила релевантност података који би били анализирани како би се креирао и валидирао модел.

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

Основна хипотеза докторске дисертације је да валидација представља основни сегмент процеса моделирања кредитног ризика који омогућава адекватно израчунавање очекиваног губитка на индивидуалном нивоу или на нивоу портфолија, као и оптималну алокацију капитала.

Како валидација модела кредитног ризика представља велики изазов, како за оне који је примењују, тако и за оне који врше супервизију ових модела, докторска дисертација је поставила још неколико посебних хипотеза.

Прва посебна хипотеза је била да постојање адекватних модела кредитног ризика омогућава портфолио менаџерима да изврше оптимизацију портфолија. Наиме, ови модели пружају увид у губитке инхерентне портфолијима изложеним датом ризику, које није могуће или није економично сагледати анализом на индивидуалном нивоу, због чега портфолио менаџери имају могућност да минимизирају ризик у односу на принос. Друга допунска хипотеза је да модели кредитног ризика имају примарну улогу у обрачуну минимално потребног капитала за покриће изложености по кредитном ризику у складу са напредним приступима заснованим на интерном рангирању, те да зато представљају важан елемент процеса надзорне ревизије од стране супервизора (један од три основна стуба Новог споразума из Базела).

Коначно, трећа посебна хипотеза је била да адекватна процена изложености ризику у условима „стреса“ банке може да кроз процес интерне процене адекватности капитала може обезбедити довољан укупно расположив економски капитал за одржавање циљног рејтинга банке.

Истраживање, које је спроведено, а чији резултати су приказани у дисертацији, потврђене су све наведене хипотезе.

Адекватно успостављени модели кредитног ризика омогућавају прецизан обрачун основних параметара ризика, вероватноће неизвршења, губитка у случају неизвршења и изложености неизвршењу обавеза. На основу њих се може креирати дистрибуција губитака и утврдити ниво очекиваног и неочекиваног губитка, како за целокупан портфолио, тако и за појединачне изложености. Овакве информације омогућавају оптимизацију портфолија на основу мера приноса које укључују ризик (нпр. ризику прилагођен принос на капитал, додата економска вредност). Утврђивање цене ризика на основу очекиваних губитака обрачунатих кроз модел, обезбеђује преузимање минималног ризика према утврђеном нивоу приноса, и то, како на нивоу појединачног пласмана, тако и на нивоу сегмената портфолија.

Креирање модела кредитног ризика, који би представљао адекватну основу за алокацију капитала, а на основу утврђене дистрибуције губитака, условљено је

спровођењем свеобухватног процеса валидације модела, како би се потврдило да су независне променљиве обухваћене моделом статистички значајне, да модел врши квалитетну дискриминацију дужника и да је добро калибриран за рангирање дужника. Спровођење процеса валидације параметара кредитног ризика (нпр. тестирање калибрације очекиваног неизвршења за поједине сегменте портфолија на основу емпиријских стопа прелазака у статус неизвршења обавеза) пружа увид у адекватност стратeгисјких или тактичких одлука, као што је алокација капитала на поједине сегменте портфолија (рејтинг класа, врста производа, привредна грана и др.) који су утврђени на основу модела који се примењује.

Параметри кредитног ризика, који су утврђени кроз примену квантитативних модела, представљају основни улазни податка у регулаторно дефинисане формуле за обрачун минималног капиталног захтева за покриће изложености кредитном ризику применом приступа заснованог на интерном рејтингу, а у складу са стандардима Базела II. Валидација ових параметара је један од основних захтева регулативе усклађене са Базелом II и предмет су надзорне ревизије од стране регулатора.

Економски капитал, који је утврђен на основу мера попут кредитне вредности под ризиком, а која је подложна стрес тестирњу, може се утврдити уколико се претпостави постојање нивоа поузданости који одговара циљном рејтингу банке. Обрачун вредности под ризиком је зависи од постојања услова за креирање дистрибуције губитака, односно квантитативног модела који обезбеђује основне параметре кредитног ризика.

Кроз истраживање је потврђена неопходност спровођења валидације модела кредитног ризика и пружени су релевантни налази који сведоче овоме у прилог, утврђена су основна ограничења спровођења процеса развоја и валидације модела и пружена релевантна решења за њихово превазилажење.

#### **4. Кратак опис садржаја дисертације:**

Докторска дисертација се састоји од осам поглавља, изузимајући увод, закључак, списак литературе и прилоге, што се може видети из приказа садржаја:

##### **УВОД**

##### **1. МОДЕЛИ КРЕДИТНОГ РИЗИКА И ВАЛИДАЦИЈА МОДЕЛА**

- 1.1. Дефиниција кредитног ризика и кредитног процес
- 1.2. Традиционални приступи мерењу и управљању кредитним ризиком
- 1.3. Нови приступи мерењу и управљању кредитним ризиком
- 1.4. Развој техника моделирања кредитног ризика
- 1.5. Структурни модели и модели засновани на интензитету
- 1.6. Модели кредитног ризикау банкарској индустрији
  - 1.6.1. Mc Kinsey CreditPortfolioView
  - 1.6.2. CreditMetrics
  - 1.6.3. KMV
  - 1.6.4. CreditRisk+
- 1.7. Рејтинг агенције и појам екстерног рејтинга
- 1.8. Интерни системи рангирања
- 1.9. Дефинисање кредитног губитка
- 1.10. Дефиниција и основни принципи валидације
- 1.11. Основне компоненте валидације

##### **2. РЕГУЛАТОРНИ ОКВИР ЗА ПРИМЕНУ И ВАЛИДАЦИЈУ МОДЕЛА КРЕДИТНОГ РИЗИКА**

- 2.1. Базел II



- 2.2. Регулаторни оквир за коришћење кредитног рејтинга
- 2.3. Структура Базела II
  - 2.3.1. Стуб I: Минимални захтев за капиталом
  - 2.3.2. Стуб II: Процес надзорне ревизије
  - 2.3.3. Стуб III: Тржишна дисциплина и захтев за објављивањем
- 2.4. Приступ обрачуна капитала за кредитни ризик у складу са Базелом II
  - 2.4.1. Стандардизовани приступ
  - 2.4.2 Приступ на основу интерног рејтинга

### 3. СТАТИСТИЧКЕ МЕТОДЕ МОДЕЛИРАЊА КРЕДИТНОГ РИЗИКА

- 3.1. Процес и методе утврђивања узорка
  - 3.1.1. Методе на основу вероватноће
  - 3.1.2. Методе које нису засноване на вероватноћи
- 3.2. Униваријантна регресија
  - 3.2.1. Једноставна линеарна регресија
  - 3.2.2. Вишеструка линеарна регресија
  - 3.2.3. Логаритамска регресија
- 3.3. Мултиваријантна регресија
- 3.4. Дискриминациона анализа
- 3.5. Статистичке дистрибуције вероватноће
  - 3.5.1. Нормална дистрибуција
  - 3.5.2. Лог-нормална дистрибуција
  - 3.5.3. Бета дистрибуција
  - 3.5.4. Гама дистрибуција
  - 3.5.5. Експоненцијална дистрибуција
  - 3.5.6. Њеибулл-ова дистрибуција
- 3.6. Интервали поузданости, ниво поузданости и перцентил
- 3.7. Процена максималног очекивања

### 4. ИЗГРАДЊА И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА ИНТЕРНОГ СИСТЕМА РАНГИРАЊА

- 4.1. Приступ процене кредитног ризика
- 4.2. Конструкција и структурирање базе података
  - 4.2.1. Дефинисање базе података
  - 4.2.2. Извори података
  - 4.2.3. Финансијски и нефинансијски подаци неопходни за формирање базе
- 4.3. Дефинисање и подела узорка за креирање модела
  - 4.3.1. Критеријуми величина узорка
  - 4.3.2. Распољивост и квалитет података за креирање узорка
  - 4.3.3. Утврђивање величине узорка
  - 4.3.4. Питања недостатака података приликом дефинисања узорка
- 4.4. Појам и концепт скоринга
  - 4.4.1. Модели скоринга
  - 4.4.2. Креирање модела скоринга и процене
  - 4.4.3. Улога рејтинга у калибрацији модела

### 5. МЕТОДИ ВАЛИДАЦИЈЕ МОДЕЛА КРЕДИТНОГ РИЗИКА

- 5.1. Квалитативна и квантитативна валидација
- 5.2. Конструкција узорка за квантитативну валидацију
  - 5.2.1. Проблем недостатка података
  - 5.2.2. Начини утврђивања узорка за тестирање
- 5.3. Појам и основне димензије дискриминације
- 5.4. Дистрибуција популације добрих и лоших дужника
- 5.5. Крива оперативне карактеристике пријемника

- 5.5.1. Особине криве оперативне карактеристике пријемника
- 5.5.2. Површина испод криве оперативне карактеристике пријемника
- 5.5.3. Интервал поузданости око површине испод криве оперативне карактеристике пријемника
- 5.5.4. Процена дискриминационе снаге модела
- 5.6. Крива кумулативног профила прецизности
- 5.6.1. Рацио прецизности
- 5.7. Остале мере дискриминационе снаге
- 5.7.1. *Pietra* индекс
- 5.7.2. Бајесова стопа грешке
- 5.7.3. Мере ентропије
- 5.7.4. *Brier* вредност
- 5.7.5. *Kullback-Leibler* одступање
- 5.7.6. Информациона вредност
- 5.8. Мерење стабилности модела
- 5.9. Мерење прецизности кроз бенчмаркинг
- 5.9.1. Дефиниција и циљеви бенчмаркинга
- 5.9.2. Избор упоредне вредности
- 5.9.3. Мапирање упоредне вредности према интерним скалама рангирања
- 5.9.4. Валидација бенчмаркинг модела

## 6. КАЛИБРАЦИЈА И ПРОЦЕС ВАЛИДАЦИЈЕ ПАРАМЕТАРА КРЕДИТНОГ РИЗИКА

- 6.1. Процена и калибрација вероватноће неизвршења
- 6.1.1. Карактеристике модела утврђивања вероватноће неизвршења на основу карактеристика дужника
- 6.1.2. Вероватноћа неизвршења везана за групу сличних изложености
- 6.1.3. Правила Базела II за процену вероватноће неизвршења
- 6.1.4. Годишње и кумулативне стопе неизвршења обавеза
- 6.1.5. Методи процене вероватноће неизвршења
- 6.1.6. Методи процене за базе са малим бројем догађаја неизвршења обавеза
- 6.1.7. Статистичке технике калибрације и валидације вероватноће неизвршења
- 6.1.8. Калибрација вероватноће неизвршења путем интервала поузданости
- 6.2. Процена и калибрација губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.1. Стандарди новог споразума из Базела за мерење губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.2. Процес развоја процене губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.3. Мерење ризика наплате
- 6.2.4. Губитак у случају неизвршења обавеза у периоду рецесије
- 6.2.5. Основне технике процене губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.6. Избор дисконтне стопе за процену економског губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.7. Параметри губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.8. Методе процене параметара губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.2.9. Моделирање стопе наплате
- 6.2.10. Корелација губитка у случају неизвршења обавеза и вероватноће неизвршења и утицај на моделирање кредитног ризика
- 6.2.11. Приступи валидације губитка у случају неизвршења обавеза
- 6.3. Процена и калибрација изложености неизвршењу обавеза
- 6.3.1. Појам и карактеристике изложености неизвршењу обавеза
- 6.3.2. Базел II правила и захтеви за обрачун изложености неизвршењу обавеза
- 6.3.3. Структура података за процену изложености неизвршењу обавеза
- 6.3.4. Технике процене изложености неизвршењу обавеза

- 6.3.5. Утврђивање реализованих фактора конверзије
- 6.3.6. Изложеност неизвршењу обавеза у периоду економске рецесије
- 6.3.7. Валидација изложености неизвршењу обавеза

## 7. ОКВИР СТРЕС ТЕСТИРАЊА КРЕДИТНОГ РИЗИКА И ЕКОНОМСКИ КАПИТАЛ

- 7.1. Оквир стрес тестирања
- 7.2. Облици стрес тестирања
  - 7.2.1. Тестирање параметара модела кредитног ризика на стрес
  - 7.2.2. Стрес тестирање модела кроз циклус
- 7.3. Стрес тестирање капитала и управљање расположивим капиталом
  - 7.3.1. Појам и значај економског капитала
  - 7.3.2. Спремност за преузимање ризика
  - 7.3.3. Регулаторни оквир за економски капитал
  - 7.3.4. Утврђивање економског капитала за кредитни ризик
  - 7.3.5. Економски капитал и ризиком прилагођене мере приноса
  - 7.3.6. Алокација економског капитала

## 8. ЕМПИРИЈСКИ РЕЗУЛТАТИ КРЕИРАЊА И ВАЛИДАЦИЈЕ МОДЕЛА КРЕДИТНОГ РИЗИКА

- 8.1. Дефинисање основног сета улазних података
- 8.2. Дефинисање узорка
- 8.3. Дефинисање независних променљивих
- 8.4. Дефинисање статуса неизвршења обавеза
- 8.5. Анализа независних променљивих
- 8.6. Регресиона анализа
- 8.7. Тестирање дискриминационе снаге
  - 8.7.1. Кумулативни профил прецизности
  - 8.7.2. Дистрибуције пропулације добрих и лоших дужника
  - 8.7.3. Оперативна карактеристика пријемника
  - 8.7.4. *Kolmogorov-Smirnov* тест
  - 8.7.5. *Pietra* индекс
  - 8.7.6. Тест пропорционалне опасности
  - 8.7.7. Информациона вредност
  - 8.7.8. *Kullback-Leibler* одступање
  - 8.7.9. Разлика средњих вредности
- 8.8. Дефинисање рејтинга и калибрација модела
- 8.9. Калибрација модела
  - 8.9.1. Биноми тест
  - 8.9.2. *Chi*-квадрат (*Hosmer-Lemeshov*) тест
  - 8.9.3. *Spiegelhalter* тест
  - 8.9.4. Интервал поузданости око вероватноће неизвршења
- 8.10. *Brier* вредност
- 8.11. Обрачун и валидација губитка у случају неизвршења обавеза
  - 8.11.1. Обрачун губитка у случају неизвршења обавеза
  - 8.11.2. Приступи валидације губитка у случају неизвршења обавеза
- 8.12. Обрачун изложености неизвршењу обавеза
- 8.13. Стабилност популације модела
- 8.14. Примена интерног модела
  - 8.14.1. Обрачун нивоа обезвређења на колективном нивоу
  - 8.14.2. Утврђивање цене пласмана
  - 8.14.3. Утврђивање економског капитала
- 8.15. Стрес тестирање
  - 8.15.1. Тестирање параметара кредитног ризика на стрес



8.15.2. Тестирање корелација изложености на стрес

8.15.3. Очекивани недостатак

ЗАКЉУЧАК

ЛИТЕРАТУРА

ПРИЛОЗИ

У уводу кандидат дефинише предмет истраживања, циљ, односно циљеве које је желео да оствари, као и основну и посебне хипотезе на којима се истраживање засновано. Како споразум из Базела не дефинише прецизно валидацију, посебан напор је учињен у смислу дефинисања

Прво поглавље дефинише кредитни ризик, разматра традиционалне и нове приступе мерењу кредитног ризика и дефинише кредитни губитак. С обзиром да се концепт моделовање кредитног ризика непрекидно мењао, у оквиру овог дела су приказани различити модели кредитног ризика који су од изузетног значаја за ефикасно пословање банака у савременим условима. С тим у вези, указано је и на разлоге креирања и могућности развоја инерних система рангирања. Примена стандарда добре праксе управљања ризицима у банкама, коју промовише Базел II, учинила је валидацију модела кредитног ризика битним елементом управљања кредитним ризиком у целини. Валидација представља процес процене интерних модела кредитног ризика, односно процес валидације дискриминационе способности система рангирања и валидације целокупног процеса идентификовања, мерења и управљања ризицима. Успешности процеса валидације су у великој мери допринели формулисани принципи (квалитативне и квантитативне), начини и основне компоненте валидације (валидација рејтинг система и процене параметара ризика и валидација процеса рејтинга са фокусом на имплементацију рејтинг система).

У другом поглављу је дат приказ регулаторног оквира за примену и валидацију модела кредитног ризика. Како Базел II споразум омогућава интегрисано управљање финансијским ризицима банака уз омогућавање коришћења два различита приступа приликом утврђивања потребног капитала, то он ствара флексибилан оквир за пословање финансијских институција (посебно банка) које ће, сходно својој величини и профилу ризика, одабрати приступ који им у највећој мери одговара. Полазећи од наведеног, разматра се структура оквира дефинисаног Базел II споразумом, односно на три стуба на којима он почива. Први стуб успоставља минималне захтеве у погледу капитала за покриће ризика услед повећања осетљивости на ризик и флексибилности кроз побољшани стандардни и приступ интерног рејтинга. Други стуб се фокусира на надзорни процес који се имплементира на националном нивоу, а који захтева да национални супервизори обезбеде да свака банка има здраве интерне процесе како би се на основу евалуације ризика могла проценити адекватност капитала, али и да се процене периодично ревидирају и анализирају како би се утврдило да ли банка послује на нивоу изнад минималних капиталних захтева или да правовремено реагују уколико се утврди да постоји неусклађеност. Трећи стуб треба да обезбеди тржишну дисциплину кроз објављивање података о пословању банке. Базел II омогућава банкама да за обрачун минималног капиталног захтева за кредитни ризик одаберу или стандардизовани приступ или приступ заснован на интерном рејтингу (основни или напредни).

Треће поглавље даје преглед статистичких метода које се могу користити за моделовање ризика. Базел II захтева коришћење свеобухватне методологије у случају када се за рангирање користе статистички модели. Поред тога, потребно је да се

успостави ригорозан статистички процес, који ће омогућити, не само тестирање перформанси, већ и валидацију независних промеливих, што је услов за ефективно моделовање ризика. Имајући ово у виду, објашњене су методе узорковања (заснованих на вероватноћи и које се не заснивају на вероватноћи), регресиона анализа (униваријантна и мултиваријациона) и дискриминациона анализа. Поред овога указано је и на различите дистрибуције вероватноће с обзиром да величина ангажованог капитала зависи од дистрибуције вероватноће потенцијалних губитака, односно без познавања дистрибуције вероватноће није могуће квантификовати кредитни ризик. Коначно, у оквиру овог поглавља је указано и на значај интервала поузданости у мерењу кредитног ризика. обично се препоручује коришћење интервала поузданости од 99% или више како би се снизила вероватноћа настанка ризика. Према Базелу II интервал поузданости је фиксиран на 99,9%, што значи да се очекује да банка може претрпети губитке који су виши од захтеваног нивоа просечно једном у хиљаду година.

У четвртом поглављу се полазећи од приступа процени кредитног ризика (занованих на хеуристичким, статистичких и условним моделима), посебна пажња усредсређује на конструкцију и структурирање базе података, као и на дефинисање адекватног узорка. За потребе предмета истраживања целокупан узорак мора бити подељен на узорак за развој модела, валидациони узорак и тестни узорак. С тим у вези, указано је питање величине узорка и расположива начине за решење проблема недостатка података приликом његовог дефинисања. За процену кредитног бонитета дужника користи се скоринг модел, који представља функцију предикције вероватноће преласка дужника у статус неизвршења обавеза. Облик модела скоринга зависи од врсте изложености кредитном ризику, при чему скоринг модели могу бити бихевиорални и апликациони. Сходно овоме, у овом поглављу је указано на начин креирања скоринг модела, који треба да омогући остваривање високе дискриминационе снаге модела. На крају поглавља је указано на улогу коју рејтинг има у калибрацији модела, која има за циљ додељивање вероватноће неизвршења сваком могућег коначном скору, који може да представља оцену или скор вредност.

Пето поглавље разматра валидацију модела кредитног ризика. Сама валидација означава процес процене интерних модела кредитног ризика (пчев од валидације дискриминационе способности система рангирања закључно са валидацијом целокупног процеса идентификовања, мерења и управљања ризицима), што подразумева верификацију минималних стандарда за примену приступа интерног рејтинга. Базелска комисија за надзор над банкама потенцира валидацију као један од највећих изазова развоја квантитативних модела кредитног ризика, при чему валидација подразумева и квалитативну и квантитативну валидацију. Квалитативна валидација обезбеђује исправну примену квантитативних метода и коришћење рејтинга, док квантитативна валидација обухвата све валидационе процедуре рангирања у којима се статистички индикатори обрачунавају и интерпретирају на основу емпиријског сета података. Ипак, пре него што се приступи валидацији модела, потребно је испитати да ли је дефинисан адекватан валидациони узорак, али и решити проблем недостатка података (обично коришћењем *bootstrapping-a*) јер ово може да угрози квалитет резултата, како приликом развоја, тако и приликом валидације модела. Да би се могла проценити способност рејтинг система да унапред раздвоји дужнике који ће извршити обавезе од дужника који неће извршити обавезе неопходно је било указати на дискриминациону снагу, али и на потребу утврђивања и фреквенције дистрибуције добрих и лоших дужника. Дискриминациона снага модела се процењује статистичким мерама (статистичким тестовима, транзиционим матрицама, рацијима прецизности и класификационим тестовима). У оквиру овог поглавља посебна пажња је посвећена кривој оперативне карактеристике пријемника (*ROC*), површини испод ове криве

(AUROC) и кривој кумулативног профила прецизности (CAP, Gini или Лоренцовој кривој) као најчешће коришћеним мерама за процену дискриминационе снаге модела. Међутим, за прецизнију процену дискриминационе снаге модела, пожељно је спровести тестирање и применом тзв. осталих мере дискриминационе снаге, због чега су у овом поглављу и наведени *Pietra* индекс, Бајесова стопа грешке, мере ентропије, *Brier* вредност, *Kullback-Leibler*-ово одступање и информациона вредност. Осим дискриминационе снаге, потребно је анализирати и стабилност рејтинг модела, што се обично врши преко транзиционих матрица у случају када се модел примењује најмање две године. Процена стабилности модела кредитног ризика се врши и на основу статистичког значаја фактора ризика, уз уважавање корелационих ефеката који могу угрозити стабилност рејтинг система. Коначно, у поглављу се разматра бенчмаркинг, тј. процес мапирања интерних рејтинг система и процена са екстерним информацијама. Бенчмаркинг представља једно од средстава за процену адекватности интерно обрачунатих процена фактора ризика и рејтинга и може се користити као допуна статистичких тестова за мерење квалитета интерних модела кредитног ризика. Овако дефинисан бенчмаркинг се у пракси може спровести кроз поређивање интерних процена фактора ризика или кроз поређење интерних процена са екстерним независним бенчмаркингом (нпр. рејтинг агенција), при чему је у оба случаја он део валидације, тј. мења формални валидациони процес који на овај начин постаје у већој мери емпиријски. Бенчмаркинг захтева избор упоредне вредности и њено мапирање према интерним скалама рангирања. Коначно, мора се извршити валидација бенчмаркинг модела. Један од метода за испитивање способности рангирања бенчмаркинг модела је коришћење криве оперативне карактеристике пријемника. Бенчмарк рејтинзи се додељују појединачним компанијама у узорку путем мапирања, односно рангирање компанија се врши према процењеном ризику компаније у односу на бенчмарк вероватноћи неизвршења, полазећи од најризичнијих компанија.

У шестом поглављу се разматра процена и калибрација вероватноћа неизвршења. Калибрација представља процес којим се излазни подаци из модела конвертују у стварне стопе неизвршења обавеза. Фокус је на прецизности калибрације модела у смислу адекватности нивоа вероватноће неизвршења које модел производи. Да би се могла извршити калибрација, потребно је проценити вероватноћу неизвршења, за шта се могу користити тржишни модели (заснивају се на цену хартија на тржишту) и фундаментални модели (полазе од финансијских података, података о тржишним и системским економским факторима и подацима о рејтингу). Поред овога, потребно је проценити вероватноћу неизвршења у оквиру групе (класе) дужника, за шта се према Базелу II може користити приступ заснован на историјском неизвршењу, приступ заснован на статистичком моделу и приступ екстерног мапирања. Базел II дефинише и одређени број захтева које модел вероватноће неизвршења треба да испуни. Полазећи од овога, указано је на методе процене вероватноће неизвршења на основу транзиционих матрица, али и на методе процене за базе података са малим бројем догађаја неизвршења обавеза. За калибрацију и валидацију вероватноће неизвршења се могу користити статистички тестови, који се могу односити на један или већи број периода, односно који истовремено могу обухватити само један или већи број рејтинга. Након што се процени вероватноћа неизвршења, могуће је приступити калибрацији вероватноће неизвршења на основу интервала поузданости. Осим вероватноће неизвршења, потребно је проценити и калибрирати губитак у случају неизвршења обавеза. Полазећи од овога, указује се на захтеве које у овом погледу поставља споразума из Базела, али и на неопходност мерења ризика наплате, специфичност губитка у случају неизвршења обавеза у периоду рецесије, као и на основне технике које се могу користити за процену губитка у случају неизвршења (тржишни, губитак на основу потраживања у процесу наплате и имплицитни тржишни губитак у случају

неизвршења). На величину губитка у случају неизвршења обавеза од изузетног значаја је избор дисконтне стопе, док сами параметри губитка разликују у зависности од тога ко је друга уговорна страна у трансакцији. Пре него што се приступи валидацији, потребно је утврдити корелацију губитка у случају неизвршења и вероватноћу неизвршења јер она може значајно утицати на моделовање кредитног ризика. Што се тиче валидације губитка у случају неизвршења обавеза, она се може вршити применом Избор дисконтне стопе за процену економског губитка у случају неизвршења обавеза и параметри губитка у случају неизвршења обавеза. И у овом случају мора се проценити дискриминациона снага рангирања губитака у случају неизвршења обавеза (на основу рација кумулативног губитка у случају неизвршења (*CLAR*)). Поред овога, потребно је тестирати калибрацију рангирања губитака у случају неизвршења према ризику и испитати хомогеност рангирања губитака. Последњи део наведеног поглавља је посвећен процени изложености неизвршењу обавеза, као и захтевима које у погледу њеног обрачуна поставља Базел II. Изложеност неизвршењу обавеза се процењује на основу интерног модела, док се валидација врши спровођењем тестова на нивоу појединачне и колективне изложености неизвршењу.

Седмо поглавље дефинише оквир за тестирање на стрес, указује на облике стрес тестирања (тестирање параметара модела кредитног ризика на стрес (тј. тестирање вериватноће неизвршења, губитка у случају неизвршења и изложености неизвршењу обавеза) и стрес тестирање модела на пословни циклус. Стрес тестирање регулаторног капитала подразумева коришћење стресних параметара кредитног ризика како би се утврдили пондери ризика који ће бити укључени у обрачун капиталног захтева за кредитни ризик у случају када се користи приступ интерног рејтинга. С тим у вези, указује се на значај економског капитала који представља процену највећег могућег смањења капитала на одређеном нивоу поузданости у одређеном временском периоду предвиђања и који представља директну функцију ризика коме је банка изложена. Економски капитал за кредитни ризик се утврђује у складу са апетитом за преузимање ризика у банкама, те он заправо представља процену укупне висине капитала потребне за обезбеђење солвентности банке (што је интенција имплементације стуба II базелског споразума). Стрес тестирање економског капитал се своди на испитивање губитака изнад нивоа економског капитала при постојећем нивоу поузданости или утврђивањем неопходног капитала на основу емпиријских губитака у реповима дистрибуције. Резултат овог тестирања би процени висину капитала неопходну за одржање солвентности банке на основу повећања нивоа поузданости или на основу дистрибуције екстремних губитака. Коначно, посебна пажња је посвећена и алокацији економског капитала како би се обезбедило остварење оптималног приноса, за шта се обично користе различите мере приноса прилагођене ризику (нпр. ризику прилагођен принос на капитал).

У осмом поглављу приказани су емпиријски резултати креирања и валидације модела кредитног ризика. Основни сет улазних података, који је коришћен за развој модела скоринга и валидацију, односно тестирање, састојао се од информација о дужницима (привредним друштима) у периоду 2009-2013. година. У популацију су били укључени сви дужници који су доспели у неизвршење обавеза у посматраном периоду, као и дужници који су већ били у статусу неизвршења. Након овога, популација је подељена на развојни и валидациони узорак како би модел могао додатно тестирати у посматраном периоду и над подацима ван основне популације. Независне променљиве су дефинисане на основу анализе финансијских показатеља, показатеља редовности и могућности сервисирања обавеза. На основу расположивих података у дефинисаном узорку анализиран је статус неизвршења обавеза као основни догађај (дефинисан у складу са регулативном Народне банке Србије и Базел II). Овај догађај је послужио за



предвиђање неизвршења обавеза дужника према банци. Детаљна анализа независних променљивих је имала за циљ да омогући креирање скоринг функције. С тим у вези, извршено је груписање атрибута сваке променљиве на групе са заједничким карактеристикама, а у случају недостатка података или постојања података са екстремним вредностима груписање је вршено укључивањем у групу са најсличнијим карактеристикама, у групу са највећим бројем елемената или укључивањем у крајње групе. Како би се утврдило које од променљивих имају већу способност предвиђања, коришћен је пондер известности догађаја и информационе вредност, након чега је извршена анализа корелације међу показатељима како би се идентификовале групе (кластери) показатеља који су високо корелирани, како у модел не би били укључени показатељи који суштински показују исти тренд. Након што су идентификовани високо корелирани показатељи, на основу највише информационе вредности у кластеру изабрано је њих 34, који су анализирани на основу мера дескриптивне статистике како би се сагледала њихова адекватност за даљи процес развоја модела кредитног ризика. Тек, након овога, било је могуће приступити тестирању дискриминационе снаге прелиминарно изабраног модела применом девет различитих приступа. Тестирање дискриминационе снаге је извршено и за развојни и за валидациони узорак. Разлика између средњих вредности веоватноће неизвршења у развојном и валидационом узорку је потврдила да се клијенти који нису и клијенти који су доспели у неизвршење разликују. Како је анализом дискриминационе снаге модела утврђена прихватљивост модела, исто је учињено и за развојни и валидациони узорак (утврђена је вероватноћа неизвршења). Ови подаци су представљали основу за дефинисање рејтинг класа, а транзиционе матрице су креиране на основу стопа преласка из једне у другу класу у периоду предвиђања од годину дана (коришћен је метод кохорти). Након што је утврђен рејтинг класа дужника, испитана је калибрација модела како би се утврдило да ли претходна процена мере кредитног ризика (вероватноћа неизвршења) значајно одступа од емпиријских резултат у погледу мере ризика. Наиме, сматра се да су модел рангирања и класификација на основу модела рангирања добро калибрирани ако је процењена вероватноћа неизвршења за сваку рејтинг класу одговарала стварним стопама неизвршења обавеза (тј. одступа само маргинално од ње). Процена калибрације је извршена применом биномног теста,  $\chi^2$ -квадрат тестам Spiegelhalter теста, испитивањем интервала поузданости око вероватноће неизвршења и обрачуном Brier вредности као теста калибрације и дискриминационе снаге модела. Наведени резултати су допуњени и проценом губитка у случају неизвршења обавеза на основу емпиријских података на нивоу целокупног портфолија. За обрачун губитка у случају неизвршења обавеза коришћен је приступ на основу наплате потраживања јер нису били расположиви подаци о тржишној вредности кредита. Валидација губитка у случају неизвршења обавеза је спроведена испитивањем кумулативног ризику прецизности губитка у случају неизвршења обавеза, обрачуном средње квадратне грешке и регресионом анализом података из узорка за обрачун губитка у случају неизвршења обавеза. Осим наведеног, извршен је и обрачун изложености неизвршењу обавеза на основу билансних и ванбилансних трансакција. Изложеност по билансним трансакцијама обрачунаата тренутна књиговодствена вредност потраживања, док је изложеност по ванбилансним трансакцијама утврђивана на основу процењеног фактора кредитне конверзије. Сличност између популације, која је коришћена за креирање модела рангирања, и популације на коју је примењен модел је мерена на основу анализе стабилности. Стабилност је мерена индексом стабилности који се утврђује на основу броја клијената по рејтинг класи ризика на основу којих је креиран модел рангирања и броја клијената по класама у посматраном тренутку. Утврђено је да индекс стабилности на прихватљивом нивоу, те да није потребна даља анализа у циљу евентуалног усклађивања модела са новом структуром популације. У оквиру овог поглавља је размотрена и примена интерног модела кредитног ризика, и то на основу обрачуна



нивоа обезвређења на колективном нивоу, кроз утврђивање цене пласмана и економског капитала. На крају је извршено и тестирање на стрес. У циљу испитивања утицаја могућих стресних околности на очекивани и неочекивани губитак, извршено је тестирање стресних промена параметар кредитног ризика и спроведена симулација губитка под претпоставком постојања корелације између неизвршења обавеза међу различитим секторима привреде.

Закључак на сумаран начин указује до чега се истраживањем дошло, а то је да је остварен циљ истраживања, потврђене све постављене хипотезе и предложен савремен методолошки оквир за валидацију модела кредитног ризика.

## **5. Остварени резултати и научни допринос дисертације:**

Остварени резултати истраживања докторске дисертације „Валидација модела кредитног ризика“ представљају оригинални научни допринос у области управљања кредитним ризиком у банкама. У складу са дефинисаним предметом и циљем истраживања, постављеним потврђеним хипотезама и резултатима истраживања, кандидат мр Милош Вујновић је значајно унапредио и систематизовао, не само теоријска знања у одабраној области истраживања, већ и омогућио њихову практичну примену.

Полазећи од дефинисаног проблема, предмета и циљева истраживања, докторска дисертација је дала научни, стручни и друштвени допринос.

Научни допринос овог истраживања се огледа у потврђивању основне хипотезе да валидација представља основни сегмент процеса моделирања кредитног ризика који омогућава адекватно израчунавање очекиваног губитка на индивидуалном нивоу или на нивоу портфолија, као и оптималну алокацију капитала. Дисертација је понудила конзистентан и свеобухватан методолошки оквир за валидацију модела кредитног ризика који је применљив у условима оскудности или недостатка улазних података. Развијен је оквир за примену валидације као кључног елемента управљања кредитним ризиком. Доприносом се може сматрати и чињеница да је дисертација дала преглед и извршила анализу досадашњих истраживања и домета у области моделовања кредитног ризика, као и анализу недостатака појединих метода валидације модела. На овај начин, дисертација даје допринос развоју интерних система управљања кредитним ризиком.

Стручни допринос дисертације се огледа у приказу начина на који се може креирати и валидарати модел кредитног ризика, што је од непроцењиве помоћи банкама као смерница и упутство како да саме креирају моделе кредитног ризика који ће задовољити захтева споразума из Базела. Другим речима, на основу прегледа и анализе модела кредитног ризика, омогућава се банкама да изнађу адекватан приступ управљању кредитним ризиком.

Друштвени допринос дисертације се односи на продубљивање знања и примену савремених сазнања из области моделовања кредитног ризика и валидације модела кредитног ризика, посебно оних који су засновани на интерном рангирању.

## **6. Закључак:**

Докторска дисертација кандидата мр Милоша Вујновића „Валидација модела кредитног ризика“ је урађена у складу са одобреном пријавом на коју је сагласност

дало Наставно-научно веће Факултета организационих наука и веће правно-економских наука Универзитета у Београду.

Комисија закључује да је мр Милош Вујновић за тему своје докторске дисертације одабрао оригиналну и захтевну тему, због чега дисертација има особену комплексну унутрашњу структуру, проблемску слојевитост, теоријску и практичну релевантност. Своје истраживање кандидат је извршио поштујући високе научне захтеве. Научни резултат, предочен у овој дисертацији, изложен је систематично, прегледно, јасним, разветним и уједначеним језиком. Дисертација је тестирала и потврдила постављене хипотезе и дала одговорајући, како научни, тако и стручни и друштвени допринос.

На основу свега изнетог, Комисија сматра да је докторска дисертација **мр Милоша Вујновића** под називом **„Валидација модела кредитног ризика“** у потпности спремна за одбрану, те предлаже Наставно-научном већу Факултета организационих наука да прихвати овај извештај и одобри кандидату јавну одбрану.

У Београду дана 6.V 2016. године.

#### Чланови комисије

---

др Весна Богојевић Арсић, ред. проф. ФОН-а

---

др Мирко Вујошевић, ред. проф. ФОН-а

---

др Братислав Петровић, ред. проф. ФОН-а

---

др Зоран Радојичић, ред. проф. ФОН-а

---

др Бошко Живковић, ред. проф. Економског  
факултета у Београду