

УНИВЕРЗИТЕТ У НИШУ
ЕКОНОМСКИ ФАКУЛТЕТ
- Наставно-научном већу-

Одлуком Наставно-научног већа Економског факултета у Нишу бр. 04-134 од 23.01.2015. године, именовани смо за чланове *Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације* кандидата **Наташе Папић-Благојевић**, под називом **"КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА КЛАСИЧНЕ ИНФЕРЕНЦИЈЕ И БАЈЕСОВОГ ПРИСТУПА У ОБРАДИ ЕКОНОМСКИХ ПОДАТАКА"**

Сходно томе, Наставно-научном већу факултета подносимо следећи

ИЗВЕШТАЈ

Докторска дисертација кандидата *Наташе Папић-Благојевић* под називом **„Компаративна анализа класичне инференције и Бајесовог приступа у обради економских података“** изложена је на 227 страна текста са списком табела, графикона и скраћеница, закључцима и списком коришћене литературе од 155 референци. Поред Увода (стр. 1-9) и Закључка (стр. 196-199), структуру рада чине следеће целине: *први део* под насловом *„Специфичности статистичког закључивања и историјски аспект инференције“* (стр.10-30), *други део* под називом *„Традиционални приступ статистичком закључивању“* (стр.31-66), *трећи део* под насловом *„Бајесова статистика“* (стр. 67-136), и *четврти део* под називом *„Могућности примене класичне и Бајесове статистике у обради економских података“* (стр.137-195). Комисија констатује да је садржај докторске дисертације у складу са садржајем који је наведен приликом пријављивања ове докторске дисертације и доношења Одлуке о усвајању теме за докторску дисертацију.

I

Кандидат је у *уводу* указао на предмет и циљ докторске дисертације, као и на очекиване резултате, уз изложени садржај дисертације са краћим објашњењима. Предмет истраживања докторске дисертације под називом *„Компаративна анализа класичне инференције и*

Бајесовог приступа у обради економских података“ је анализа различитих методолошких приступа статистичког закључивања и могућност њихове примене у обради конкретних економских података. Из тог разлога, прво су са теоријског аспекта сагледане карактеристике и перформансе класичне и Бајесове статистике, а затим је извршена компарација одабраних метода на практичним примерима. Мотиве за избор теме кандидат налази у опречним мишљењима и ставовима присталица класичне и Бајесове инференције којима обилује статистичка литература из ове области. Опречност се развила до те мере да присталице једног правца негирају и одбацују онај други као недовољно адекватан за примену у статистичкој анализи. Имајући у виду напред наведено, кандидат се бави компаративном анализом одабраних приступа на примерима из Републике Србије.

Основна хипотеза од које кандидат полази у раду је да *Бајесов приступ статистичком закључивању има предност у односу на класичну инференцију и да је његова примена у економији оправдана*. Поред главне хипотезе, кандидат формулише и четири помоћне хипотезе које ће бити предмет доказивања у дисертацији.

У *првом делу* докторске дисертације под насловом **„Специфичности статистичког закључивања и историјски аспект инференције“** кандидат дефинише статистичко закључивање и указује на различите приступе статистичком закључивању. Сматра се да се било који статистички поступак који користи информације у циљу описивања практичних ситуација може схватити као инференцијални поступак, а скуп таквих поступака као *статистичко закључивање*. У том смислу, у овом делу фокус је на фундаменталним концептима истраживања класичног и Бајесовог закључивања. Први део се, такође, бави и евалуацијом схватања појма статистичког закључивања. Највећи допринос развоју параметарског статистичког закључивања дали су Лаплас, Гаус и Фишер, те да би се потупније схватила модерна теорија статистичког закључивања, неопходно је сагледати и развојни пут који је инференција прошла како би стигла до нивоа на којем је данас познајемо. Док су савремени тумачи теорије вероватноће углавном усмерени на процес закључивања и доношења одлука, дотле је највећи део статистичке теорије, као организоване целине, развијен током последњих осамдесет година. До тог момента, није постојала јасна разлика између појединих приступа статистичком закључивању. Тек у периоду између 1920. и 1935. године први пут се помиње термин *класично закључивање*. Развој техника и процедура, који је започет у том периоду и настављен до данашњих дана, произвео је сложену методологију статистичког закључивања о којој се говори у раду.

Други део докторске дисертације под насловом „Традиционални приступ статистичком закључивању“, фокусира се на класичну инференцију, основне циљеве и методе примене. Класична статистика са својим начелима заузима значајно место у обради података, те јој као таквој треба посветити посебну пажњу уз јасно указивање на њене главне предности и недостатке. Овај приступ се базира на идеји да се до вредности параметара у основном скупу долази на основу информација добијених из узорка. Код класичног приступа параметри се посматрају као непознате константе.

Класична статистичка инференција има широку примену у бројним областима истраживачког рада, међутим, у новије време се оспоравају неки њени теоријски и практични аспекти. Наиме, класична статистика је базирана на идеји да је вероватноћа често ограничавајућа; за присталице овог приступа је уобичајено да додељују вероватноћу догађају који се понавља, док је неизвесност присутна због случајног карактера догађаја (алеаторна неизвесност). Међутим, вероватноћа се не би смела додељивати догађајима код којих неизвесност постоји због недостатка знања.

Класична статистика, као што је већ поменуто, води порекло из радова Фишера, Нојмана и Пирсона. Назив „класична“ се примењује, пре свега, због њене традиционалне улоге као формалног статистичког метода и нешто дужег постојања у односу на Бајесово закључивање. До појаве класичних ставова у статистици дошло је са развојем Закона великих бројева и Централне граничне теореме, али и развојем концепта расподеле узорка и принципа најмањих квадрата. У овом делу кандидат указује да класични приступ захтева да параметри буду непознате константе, јер се обично полази од претпоставке да би се у идеалним околностима експеримент могао понављати бесконачно много пута, а као резултат процеса оцењивања добила би се прецизна вредност параметара. Са становишта класичне статистике, разликује се неколико врста закључака који се могу извести о параметру: тачкасто оцењивање, интервално оцењивање и тестирање хипотеза. Код тачкастог оцењивања појединачна статистика се израчунава на основу података из узорка, тако да представља случајну променљиву, док је њена расподела, расподела узорка. Од метода тачкастог оцењивања, прво је приказан метод момената, као један од најстаријих метода за проналажење тачкастих оцена. Реч је о веома једноставној процедури за налажење оцене једног или више параметара из популације. Други метод који је приказан је метод максималне веродостојности који је установио Фишер и њему је, кроз функцију веродостојности и оцену максималне веродостојности, у раду посвећена нешто већа пажња. Други део класичног закључивања односи се на интервално оцењивање. Област или интервал оцењивања, обично се

изражава као област или интервал поверења. Идеја потиче од Нојмана, иако се неки наговештаји наизглед сличног концепта појављују још у радовима Лапласа почетком 19. века. Посебну пажњу кандидат посвећује проблему тестирања статистичких хипотеза, као важном делу статистичког закључивања. У овом делу је објашњена Нојман-Пирсонова фундаментална лема, као метод расуђивања у чијој основи се налази количник веродостојности. Применом Нојман-Пирсонове теорије тестирања хипотеза развија се један општи метод за проналажење најбољег (најмоћнијег) теста нулте хипотезе у односу на алтернативну хипотезу.

У **трећем** делу дисертације, под насловом „*Бајесова статистика*“, кандидат указује на главне карактеристике Бајесовог приступа, објашњава Бајесову теорему и њену рекурзивну примену, као основу на којој почива Бајесова статистика. Бајесово закључивање је, у основи, инференцијална процедура која узима у разматрање како априорне информације, тако и податке из узорка. Априорне информације могу проистећи из акумулираног знања и то најчешће из ранијих посматрања сличних ситуација. У вези са априорним информацијама, посебно су објашњене различите врсте ових информација и то информативне, неинформативне и коњуговане априорне информације, као и стање априорног незнања. За разлику од класичног, код Бајесовог приступа претпоставља се да је параметар случајна величина која може бити описана расподелом вероватноће. Таква расподела се назива *априорна расподела*, а тумачи се као лично уверење о параметру које постоји пре прикупљања података. Бајесов приступ користи посматране податке за корекцију априорне расподеле у *апостериорну расподелу*. Апостериорна расподела унапређује знање о параметрима и обезбеђује вероватноће за параметре које се могу искористити у сврху даљег истраживања у различитим областима. У овом делу је објашњен и концепт емпиријских Бајесових метода које користе информације из података како би се одредила априорна вероватноћа, па тиме нарушавају основне премисе Бајесове статистике. Емпиријске методе Бајесовог приступа нарочито су популарне у макроекономским истраживањима. Концепт интервалног оцењивања може се проширити и на Бајесову област. Бајесов интервал, аналогно класичном интервалу поверења, назива се интервал поузданости. Интервал поузданости је фиксан, док је вредност параметра основног скупа случајна величина. Ово је у супротности са класичним интервалом, где је интервал случајан, а параметар основног скупа је константа. Такође, у истраживачком смислу, пожељно би било имати такав метод тестирања хипотеза који је директан, који подржава велики број хипотеза и који даје предност априорној информацији. Сви ови критеријуми могу бити испуњени применом Бајесовог приступа тестирању хипотеза, што кандидат и чини у наставку.

Класична статистика је дуги низ година имала објективну предност у односу на Бајесов приступ. Оно што је спречавало присталице Бајесове статистике да у први план истакну могућност примене Бајесових метода у обради података, била је реална немогућност примене сложених метода у обради велике количине података. Појава адекватних софтверских решења омогућила је интензивнију примену Бајесових метода у различитим областима истраживања.

У четвртом делу дисертације под називом „*Могућности примене класичне и Бајесове статистике у обради економских података*“ кандидат, имајући у виду претходно изнета теоријска схватања класичне и Бајесове статистике, примењује иста на конкретним економским подацима кришћењем статистичких пакета IBM SPSSVersion21, IBM SPSS Amos Version 21 и RATS. Компарацијом одабраних класичних и Бајесових метода на подацима једне компаније и подацима преузетим са сајтова Народне банке Србије и Eurostat-a, кроз практичну примену претходно образложених приступа статистичком закључивању, изведен је коначан закључак о посматраној проблематици.

Да би се испитале постављене хипотезе и одговорило на циљеве истраживања, кандидат је целокупно истраживање поделио на два дела. У првом делу, који се односио на компарацију метода максималне веродостојности, као метода класичне статистике, и Бајесовог метода, обухваћено је 252 производа који се налазе у продајном асортиману компаније CaliVita International, представништва за Републику Србију Fitco d.o.o., Нови Сад. Изградњом структуралног модела створена је основа за даљу анализу. Пример је јасно показао колико је значајна улога априорне информације у Бајесовом оцењивању, па је тиме потврђена прва помоћна хипотеза да је Бајесов приступ сложенији и рачунски захтевнији у уобичајеним ситуацијама, с обзиром да је потребно оценити априорну вероватноћу и испитати њену осетљивост. Укључивањем нормалне априорне расподеле, као информативне априорне расподеле, потврђена је и друга помоћна хипотеза да оцене добијене на основу Бајесовог приступа представљају унапређење особина оцена добијених класичним приступом у смислу њихове прецизности, с обзиром да су се оцене параметара добијене применом Бајесових метода показале као прецизније у односу на класичне оцене.

Примена статистичких пакета IBM SPSS Amos Version 21 и RATSVersion 8.0 и 8.3, који у себи садрже решења за Бајесове методе, као и резултати до којих је кандидат дошао, представљају својеврсну потврду и треће помоћне хипотезе да развој одговарајућих рачунарских алата доприноси ефикаснијој примени Бајесове статистике у односу на класично закључивање.

Закључак о потврди ове хипотезе проистекао је из потврђених осталих хипотеза кроз практичну обраду података.

Компаративна анализа метода класичног и Бајесовог приступа настављена је у наредном делу истраживања којим су обухваћени подаци са сајта Народне банке Србије и Eurostat-a. Потреба за овим делом истраживања, проистекла је из четврте помоћне хипотезе, којом је требало да се испита да ли су резултати предвиђања одабраних Бајесових метода прецизнији у односу на резултате добијене применом класичних метода, што је захтевало њихову квалитативну процену применом одговарајућих мера прецизности.

Компаративну анализу класичног и Бајесовог приступа кандидат спроводи поређењем две врсте BVAR модела, униваријантног BVAR модела и једноставног BVAR модела, који су засновани на различитим априорним информацијама, и два класична модела, униваријантног OLS модела и OLS VAR модела. Квалитет резултата добијених применом наведена четири метода оцењен је на основу одабраних мера прецизности и то пре свега, корена средње квадратне грешке, RMSE, и Тејлове U-статистике, Theil U. Разматрана су два различита примера, где се анализом добијених резултата дошло до закључка да је макар један од посматраних Бајесових модела дао прецизније резултате у односу на класичне моделе.

Спроведено истраживање на финансијским подацима који се тичу кретања каматних стопа на девизне кредите и депозите привреде и становништва, новоодобрене девизне кредите становништву и привреди, и новоположене девизне депозите становништва и привреде, за период од јануара 2011. до марта 2014. године, упућују на закључак да је код свих посматраних серија једноставни BVAR модел дао најбоље резултате у погледу RMSE и Тејлове U-статистике, чиме је још једном потврђена друга помоћна хипотеза да оцене добијене на основу Бајесовог приступа представљају унапређење особина оцена добијених класичним приступом у смислу њихове прецизности.

Други пример из овог дела је обухватио макроекономске показатеље који се односе на Европску унију и то: бруто друштвени производ, државну потрошњу, недржавну потрошњу, извоз и увоз. На основу анализираних резултата, кандидат је показао да компаративну предност, у већини случајева, има други Бајесов модел, униваријантни BVAR модел, па је вредност добијена применом овог модела коришћена за предвиђање кретања бруто друштвеног производа. Дужа временска серија, која је обухватила податке од првог квартала 1995. до другог квартала 2014. године, дала је прецизније резултате предвиђања због већег броја расположивих информација. Кроз наведене примере извршена је и квалитативна процена резултата добијених применом

Бајесове статистике и оцењена поузданост одабраних метода предвиђања, чиме је потврђена четврта помоћна хипотеза.

Разноврсност одабраних примера омогућила је сагледавање примене метода класичне и Бајесове статистике у различитим околностима. Добијени резултати имплицирају извођење и коначног закључка којим се потврђује основна хипотеза да Бајесов приступ статистичком закључивању има предност у односу на класичну инференцију и да је његова примена у економији оправдана.

У *закључку* је кандидат систематизовао основне резултате до којих је дошао у дисертацији, уз акценат на могућности практичне примене сазнања до којих је дошао у раду. У овом финалном делу рада кандидат наглашава да се може уочити да се одређени број теоретичара снажно залаже за Бајесов приступ, док се, са друге стране, присталице и поштоваоци класичне статистике залажу за примену традиционалних метода у обради података. Ипак, може се закључити да је учесталост интересовања за Бајесову статистику у новије време проистекао из чињенице да се код веома сложених модела Бајесове методе могу успешно користити захваљујући одговарајућој софтверској подршци. У годинама које долазе, може се очекивати да ће се наставити са применом Бајесових метода у различитим областима истраживања, те да ће, с обзиром на новије трендове, примена ових метода постати све популарнија међу истраживачима.

II

Имајући у виду све наведено, Комисија констатује да је кандидат Наташа Папић Благојевић својом докторском дисертацијом испунила циљеве постављене приликом пријављивања теме за израду докторске дисертације, пружајући при томе очекивани научни допринос.

Научни допринос докторске дисертације огледа се у доказивању става да Бајесове оцене представљају унапређење класичних оцена у смислу њихове прецизности. Такође, анализом одабраних временских серија, представљена је могућност предвиђања кретања појава помоћу прецизнијих Бајесових метода. Примењена методологија је детаљно објашњена уз очекивање да ће понуђена решења оцењивања и предвиђања будућих кретања бити од користи и за даља истраживања на пољу економије.

На основу изложеног, Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију и предлаже Наставно-научном већу Економског факултета у *Нишу да прихвати извештај о оцени докторске дисертације Наташе Папић-Благојевић под насловом "КОМПАРАТИВНА АНАЛИЗА КЛАСИЧНЕ ИНФЕРЕНЦИЈЕ И БАЈЕСОВОГ ПРИСТУПА У ОБРАДИ ЕКОНОМСКИХ ПОДАТАКА"* и одобри њену јавну одбрану.

У Нишу, 09. фебруара 2015. године

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

1. _____

Проф. др Винко Лепојевић,

ванредни професор Економског факултета у Нишу

2. _____

Проф. др Вера Ђорђевић,

редовни професор Економског факултета у Нишу

3. _____

Проф. др Мирко Савић,

редовни професор Економског факултета у Суботици