

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ФАКУЛТЕТ ОРГАНИЗАЦИОНИХ НАУКА

Милан Р. Радојичић

МОДЕЛ ЗА ОЦЕНУ ЕФИКАСНОСТИ
ЗАСНОВАН НА ИНТЕГРАЦИЈИ
ИВАНОВИЋЕВОГ ОДСТОЈАЊА И
АНАЛИЗЕ ОБАВИЈАЊА ПОДАТАКА

докторска дисертација

Београд, 2018.

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ORGANIZATIONAL SCIENCES

Milan R. Radojičić

MODEL FOR EFFICIENCY ESTIMATION
BASED ON THE INTEGRATION OF
IVANOVIC DISTANCE AND DATA
ENVELOPMENT ANALYSIS

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2018.

Ментор:

др Вељко Јеремић,
ванредни професор Факултета организационих наука Универзитета у Београду

Коментор:

др Гордана Савић,
ванредни професор Факултета организационих наука Универзитета у Београду

Чланови комисије:

др Милан Мартић,
редовни професор Факултета организационих наука Универзитета у Београду

др Александар Марковић,
редовни професор Факултета организационих наука Универзитета у Београду

др Наташа Бојковић,
ванредни професор Саобраћајног факултета Универзитета у Београду

Датум одбране: _____

МОДЕЛ ЗА ОЦЕНУ ЕФИКАСНОСТИ ЗАСНОВАН НА ИНТЕГРАЦИЈИ ИВАНОВИЋЕВОГ ОДСТОЈАЊА И АНАЛИЗЕ ОБАВИЈАЊА ПОДАТАКА

Сажетак:

Предмет истраживања ове докторске дисертације је развој методолошког оквира за унапређење Анализе обавијања података (Data Envelopment Analysis - ДЕА) коришћењем Ивановићевог одстојања (И-одстојање) са реузорковањем, у циљу генерисања граница за виртуелне тежине у ГАР ДЕА моделу (Global Assurance Region - ГАР). У дисертацији је обрађена проблематика мерења ефикасности сложених система, урађен преглед најчешће коришћених метода за оцену ефикасности и указано на предности и недостатке истих. Подржана је идеја ограничавања тежина у ДЕА методи. ДЕА је најчешће коришћена метода за процену релативне ефикасности комплексних ентитета који користе разнородне улазе да би произвели разнородне излазе. Слобода у одређивању тежина има за последицу да ће често, значајан број ентитета бити процењен као ефикасан, што умањује дискриминациону моћ методе. Такође, поједини ентитети ће бити процењени само на малом подскупу својих показатеља, док ће се остали показатељи игнорисати. Новим моделом се унапређује недостатак који се јавља код класичних модела за ограничавање тежина, где се границе за тежине добијају субјективном проценом од стране експерата. Употребом И-одстојања добија се процена значајности, која је вођена подацима, за сваки од показатеља који учествује у процени релативне ефикасности. Предложени модел је показао конзистентност и применљивост како на профитно, тако и на непрофитно оријентисаним системима што је и потврђено публикавањем научних радова где се уз помоћ новог модела процењује ефикасност здравствених и банкарских система. Такође је показано да модел може успешно да се примени и у двоетапној ДЕА анализи, односно и у случајевима када постоје показатељи који нису под директном контролом ентитета.

Кључне речи: ефикасност, анализа обавијања података, Ивановићево одстојање, ограничавање тежина, реузорковање, ефикасност банака, ефикасност здравствених система, двоетапна ДЕА.

Научна област: Техничке науке.

Ужа научна област: Рачунарска статистика.

MODEL FOR EFFICIENCY ESTIMATION BASED ON THE INTEGRATION OF IVANOVIC DISTANCE AND DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Abstract:

The subject of this thesis is the development of a methodological framework for the improvement of Data Envelopment Analysis (DEA) by employing Ivanovic distance (I-distance) with resampling, in order to generate the bounds of virtual weights in the Global Assurance Region DEA model (GAR DEA). The dissertation examined the problems of measuring the efficiency of complex systems. In addition, overview of the most frequently used methods for efficiency evaluation and their particular advantages and disadvantages are provided. The idea of weight restrictions in DEA is elaborated. DEA is the most commonly used method for estimating the relative efficiency of complex entities using various inputs in order to produce various outputs. Freedom in determining the weights have consequences that a significant number of entities will often be perceived to be efficient, which diminishes the discriminatory power of the method. Also, some entities will be assessed only on a small subset of their indicators, while other indicators are ignored. The new model improves deficiency that occurs in classic weight restriction models, where the bounds for weights are obtained by subjective evaluation of experts. Using the I-distance, data-driven, significance assessment is obtained for each of the indicators involved in the estimation of the relative efficiency. The proposed model has shown consistency and applicability to both profit and non-profit oriented systems, which is verified by the publication of scientific papers, where new model has been utilized in efficiency evaluation of banking and health systems. It is also shown that the model can be successfully applied in the two-stage DEA analysis, in cases where indicators exist that are not under the direct control of the entity.

Key words: efficiency, Data Envelopment Analysis, Ivanovic distance, weight restrictions, resampling, bank efficiency, health efficiency, two-stage DEA.

Scientific field: Technical Sciences.

Scientific subfield: Computational Statistics.

Садржај

1. Увод	1
2. Концепт ефикасности.....	5
2.1. Разлози мерења ефикасности	7
2.2. Мере ефикасности	11
3. Модели за мерење ефикасности.....	15
3.1. Коригована метода најмањих квадрата	15
3.2. Анализа стохастичких граница	18
3.3. Анализа обавијања података - ДЕА	21
3.3.1. Основни ДЕА модели.....	25
3.3.2. Ограничавање тежина	28
3.3.3. Двостапни ДЕА приступ.....	34
4. Модели мултиваријационе анализе и реузорковање	42
4.1. Ивановићево одстојање.....	43
4.2. Реузорковање	46
4.2.1. Реузорковање у ДЕА	54
5. Модел ефикасности заснован на Ивановићевом одстојању и Анализи обавијања података (РЈС модел).....	57
5.1. Примена РЈС модела у профитно оријентисаним системима	59
5.1.1. Примена РЈС модела на мерење ефикасности банкарских сектора	66
5.1.2. Примена РЈС модела на мерење ефикасности банака	72
5.2. Примена РЈС модела у непрофитно оријентисаним системима	81
6. Закључак.....	98
Литература	102
Прилози	128

1. Увод

Анализа ефикасности представља увек актуелну тему. Проценом ефикасности неког ентитета и његовим поређењем са другим ентитетом, долази се до значајних нових сазнања и унапређења пословања. Ефикасност може бити мерена како у профитно, тако и у непрофитно оријентисаним организационим системима. Класична дефиниција ефикасности каже да је то остваривање одређеног циља уз минимум напора, трошкова, ресурса и времена. Ефикасност је мерљив концепт и дефинише се као однос излаза према улазу. У сложеним организационим системима ентитети користе велики број разнородних улаза да би произвели, такође, разнородне излазе (Martić, 1999; Savić, 2012).

Анализа обавијања података (*Data Envelopment Analysis* - ДЕА) је најпопуларнија метода за процену ефикасности комплексних ентитета. То је непараметарска метода која омогућава мерење ефикасности јединица одлучивања (*Decision Making Units* - ДМУ), поредећи их са другим јединицама неког система, које користе исте улазе за производњу истих излаза (Charnes et al., 1978). У последњих 40 година ДЕА метода је примењена на најразличитије области, како профитно тако и непрофитно оријентисане системе (Liu et al., 2013; Liu et al., 2016; Emrouznejad & Yang, 2018). Најчешћа примена ДЕА методе се може наћи у банкарству (Berger & Humphrey, 1997; Fethi & Pasiouras, 2010; Paradi & Zhu, 2013), здравству (Hollingsworth, 2008; Kim & Kang, 2014; Varabyova & Müller, 2016), пољопривреди (Coelli, 1995; Hansson, 2007; Speelman et al., 2008), саобраћају (Odeck & Alkadi, 2001; Barros & Dieke, 2008; Sharma et al., 2016) и образовању (Johnes & Li, 2008; Worthington & Lee, 2008; Ruiz et al., 2015). Поред ових области које при неким проценама покривају 41% примене ДЕА методе на реалне проблеме (Liu et al., 2013), ДЕА налази своју примену и у екологији (Zhou et al., 2008; Song et al., 2012), спорту (Barros & Leach, 2006; Radovanović et al., 2013), осигурању (Kao & Hwang, 2008; Cummins et al., 2010) и туризму (Yu, 2012; Tsang & Chen, 2013).

Једна од главних карактеристика ДЕА методе је то што она не захтева да тежине улаза и излаза буду унапред одређене. У основи, метода допушта свакој ДМУ, да за себе одреди најповољнију комбинацију тежина, за сопствене улазе и излазе, све са циљем максимизације ефикасности. Претходно наведена карактеристика се сматра једном од главних предности ДЕА методе. Рецимо, када се једна ДМУ процени као неефикасна, иако има слободу да користи за њу најповољније тежине, може се сматрати да постоји јак доказ за тврдњу да наведена ДМУ функционише испод границе ефикасности. Међутим, флексибилност у одређивању тежина има за последицу да ће се често, значајан број ДМУ проценити као ефикасне, при чему ће поједине ДМУ бити процењене само на малом подскупу својих показатеља, док се остали показатељи игноришу. Наведени проблеми се решавају ограничавањем тежина и у ту сврху су развијани модели који комбинују ДЕА са осталим параметарским и непараметарским методама.

Вонг и Бизли су предложили модел којим се уместо ограничавања стварних тежина, ограничавају виртуелне тежине излаза и/или улаза (Wong & Beasley, 1990). На тај начин се превазилази проблем осетљивости на јединице мере улаза и излаза који се јавља код осталих модела за ограничавање тежина, јер виртуелни улаз/излаз представља производ вредности улаза/излаза и тежине додељене за тај улаз/излаз. Виртуелни улази и излази једне ДМУ откривају релативни допринос сваког улаза и излаза у њеној ефикасности. Што је већа вредност виртуелног улаза/излаза, то је и тај улаз/излаз значајнији у креирању ефикасности одређене ДМУ. Њихов модел је у литератури познат и као ГАР ДЕА модел (*Global Assurance Region* - ГАР).

Одређивање доњих и горњих граница за виртуелне тежине, у ГАР ДЕА моделу, није једноставан задатак. Оне су се најчешће одређивале уз помоћ субјективне процене експерата. Међутим, услед недостатка јединственог приступа за дефинисање граница за тежине, настали су многи хибридни модели који комбинују ДЕА методу са статистичким методама, методама вештачке интелигенције или методама вишекритеријумског одлучивања. У овој дисертацији се дефинише нов начин за одређивање доње и горње границе у ГАР

ДЕА моделу, користећи Ивановићево одстојање (И-одстојање) (Ivanović, 1977) са реузорковањем, чиме се значајно повећава корпус постојећих решења наведене проблематике.

И-одстојање представља мултиваријациону статистичку методу која интегрише већи број показатеља, са различитим мерним јединицама, у један синтетички показатељ (Jeremić et al., 2011). Такође, битно је истаћи да се методом И-одстојања може успешно решити проблем субјективности при дефинисању важности појединачних показатеља, јер метода пружа могућност дефинисања тежинских коефицијената који су засновани на корелацијама између посматраних показатеља и добијене вредности И-одстојања (Dobrota et al., 2016).

Основни циљ докторске дисертације је да предложи нови модел за мерење ефикасности који се заснива на ДЕА методи, у којој се тежински коефицијенти дефинишу имплементацијом методе И-одстојања са реузорковањем. Предложени модел је верификован кроз студије случаја, које анализирају и профитно и непрофитно оријентисане организације и системе. Један од циљева докторске дисертације је и да се сагледа постојећа литература везана за методе мерења ефикасности и да се укаже на могућности примене, предности и недостатке истих. Урађен је преглед најчешће коришћених параметарских и непараметарских метода, при чему је посебна пажња усмерена на ДЕА моделе за ограничавање тежина.

На основу дефинисаних проблема и циља истраживања потребно је доказати следеће хипотезе:

Општа хипотеза

- Могуће је развити модел за мерење ефикасности, који ће инкорпорирати резултате методе И-одстојања у ДЕА.

Посебне хипотезе

- Имплементацијом методе И-одстојања са реузорковањем могу се наћи доње и горње границе тежинских коефицијената, које су погодне за коришћење у ГАР ДЕА моделу;

- Заједничким коришћењем методе И-одстојања и ДЕА методе превазилазе се недостаци који се јављају уколико се користе класични ДЕА модели за мерење ефикасности;
- Предложени модел могуће је применити за мерење ефикасности различитих врста организационих система.

У циљу успешне реализације идеје истраживања и потврде (или одбацивања) постављених хипотеза, у раду је коришћен основни метод истраживања који се базира на прикупљању, анализи и класификацији постојеће литературе и теоријских и експерименталних резултата. Кроз анализу постојећих решења, истакнута је потреба за развојем оригиналног модела за оцену ефикасности заснованог на интеграцији Ивановићевог одстојања и Анализе обавијања података.

У раду су примењене следеће опште методе: методе дескриптивне анализе, методе индукције-дедукције, методе компаративне анализе, аналитичке и статистичке методе (методе мултиваријационе анализе, корелациона анализа, реузорковање). Поред општих метода истраживања, кориштене су и посебне методе које произилазе из специфично постављеног предмета и циља истраживања: ДЕА метода и метода Ивановићевог одстојања. Могућност примене предложеног методолошког оквира је приказана на реалним примерима, уз употребу савремених софтверских решења.

План истраживања је обухватио активности прегледа одговарајуће литературе, дефинисања кључних проблема код постојећих решења и коначно, формулисање методолошког оквира који успешно превазилази наведене проблеме.

Оквирна структура дисертације је конципирана, тако, да се у другом поглављу дефинише појам ефикасности, разлози за мерење ефикасности, као и проблематика везана за мерење ефикасности организационих система. Треће поглавље представља преглед модела које се користе за мерење ефикасности. Посебан део је посвећен ДЕА методи, као и њеној теоријској основи и моделима. У истом поглављу се разматра и концепт ограничавања тежина у ДЕА методи и

објашњава се начин за спровођење двоетапне ДЕА. У четвртом поглављу објашњавају се метода мултиваријационе анализе И-одстојање и реузорковање. У петом поглављу је представљен методолошки оквир којим се метода И-одстојања интегрише са ДЕА методом у циљу ограничавања тежинских коефицијената. У истом поглављу су приказане три студије случаја кроз које је тестиран предложени модел за мерење ефикасности. У шестом поглављу су дата закључна разматрања и у њему се поред научних доприноса рада, налазе и даљи правци истраживања.

2. Концепт ефикасности

Под појмом ефикасности се подразумева успешност у обављању одређеног посла. Класична дефиниција ефикасности каже да је то остваривање одређеног циља уз минимум напора, трошкова, ресурса и времена. Ефикасност представља способност да се избегне непотребан (сувишан) утрошак материјала, енергије, рада и новца, приликом производње неког производа или услуге. Ефикасност је мерљив концепт који је дефинисан према следећој формули (Savić, 2012):

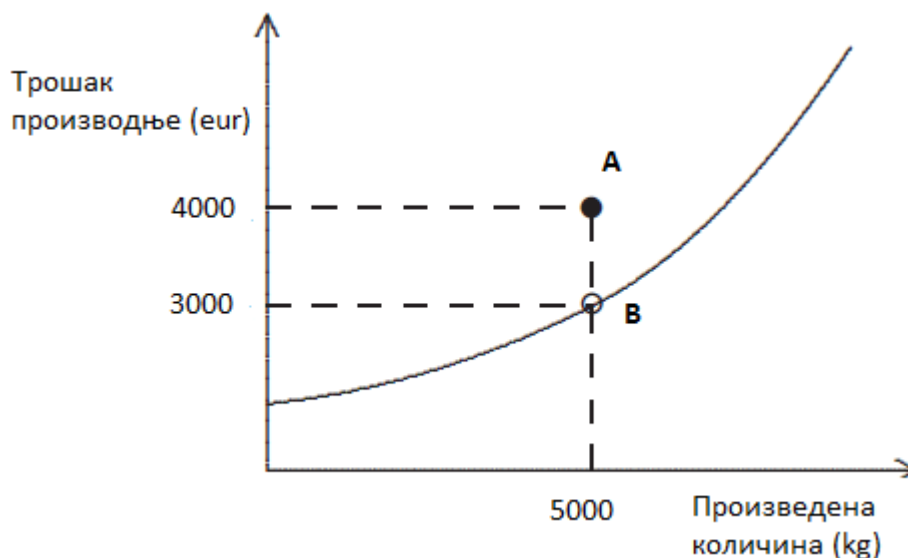
$$\text{Ефикасност} = \frac{\text{Изназ}}{\text{Улаз}} \quad (2.1)$$

Израз (2.1) показује колико је добро искоришћен улаз да би се добио дати излаз. Мери се бројем јединица улаза које су потребне да би се добила једна јединица излаза. Може да се изрази и процентуалном вредношћу, где 100% представља идеалну вредност. Што је потребна мања количина неког ресурса да се оствари одређени резултат, односно што се са одређеном количином неког ресурса остварује већи резултат, то је ефикасност већа, и обратно.

Разликујемо два вида ефикасности:

- апсолутна ефикасност;
- релативна ефикасност.

Апсолутна ефикасност представља ефикасност посматране јединице одлучивања у односу на неку идеалну јединицу, која послује под оптималним вредностима. Идеална јединица би имала ефикасност 100%. Ефикасност посматране јединице одлучивања би била изражена као проценат од идеалне јединице. Често је у пракси врло тешко (или немогуће) одредити које би то вредности имала идеална јединица, па се стога, најчешће процењује релативна ефикасност (Vogetoft & Otto, 2010). Релативна, или упоредна, ефикасност представља ефикасност одређене јединице одлучивања у односу на неку другу јединицу одлучивања (или више њих) која користи исте врсте улаза за производњу истих врста излаза, и која представља реперну вредност. Слика 1 представља једноставан пример који приказује релативну ефикасност јединице А, у односу на јединицу В.

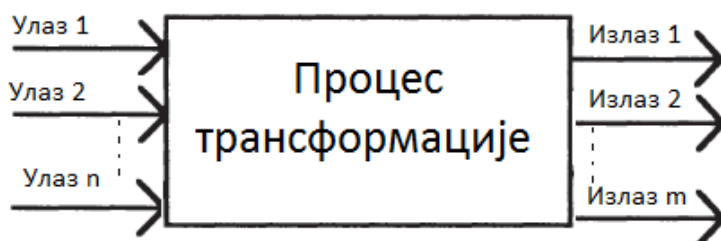


Слика 1. График зависности произведене количине пецива од трошка производње

Нека график на слици 1 представља хипотетички систем за производњу пецива, у оквиру којег послују организационе јединице (пекаре), чија је делатност да произведу одређену количину пецива које после пласирају на тржиште. Нека пекара А у том систему утроши 4000eur да би произвела 5000kg пецива. Нека на том истом тржишту постоји пекара В која потроши 1000eur мање за производњу исте количине пецива. Из претходно наведеног следи да је пекара В ефикаснија од пекаре А. Релативна ефикасност пекаре А у односу на пекару В би била $3000/4000=0.75$, односно 75%. Добијена вредност ефикасности показује да пекара

A има за 25% већи трошак производње него што је потребно за производњу 5000kg пецива. Уколико би имали информацију да пекара *B* користи најмодернију технологију производње и да су њени технолошки процеси доведени до савршенства, односно да физички није могуће произвести више од 5000kg пецива са улагањима од 3000eur, пекара *B* би у том случају представљала „идеалну“ пекару у систему пекарске индустрије. Онда би могли да говоримо и о апсолутној ефикасности. Тада би и апсолутна ефикасност пекаре *A* била 75%.

Релативна ефикасност се, дакле, мери, као што је већ речено, између јединица одлучивања које користе исте врсте улаза за производњу истих врста излаза. Те јединице одлучивања могу да представљају организације, државе, секторе, погоне, појединце и друге ентитете. У даљем тексту ћемо их означавати са ДМУ (*Decision Making Unit*). Најчешће је реч о производним ДМУ. Једну ДМУ карактерише то што она обично има контролу над процесима уз помоћ којих своје улазе (ресурсе) трансформише у излазе (резултате). Тај процес је приказан на слици 2 (Thanassoulis, 2001). Треба нагласити и да се ДЕА примењује и на системе у којима ДМУ нема контролу над појединим улазима и/или излазима.



Слика 2. Трансформација улаза у излазе (Thanassoulis, 2001)

2.1. Разлози мерења ефикасности

Главни циљ мерења ефикасности је да се унапреди пословање. Мерењем ефикасности неке ДМУ долази се до нових сазнања (Cooper et al., 2006). Поређењем посматране ДМУ са другим ДМУ уочава се „добра“ и „лоша“ пракса. Детаљном анализом разлога, због којих се пословање једне ДМУ може окарактерисати као „добро“ у односу на неке друге ДМУ истог система, даје основу за унапређење оних пословања која су процењена као мање ефикасна.

Идентификацијом кључних фактора које доприносе тој процени могуће је открити где се јављају вишкови, као и где настају „уска грла“ у производњи. Побољшање пословања није само резервисано за неефикасне ДМУ, већ је то могуће и за оне ДМУ које су већ процењене као ефикасни (Coelli et al., 2005). Дакле, мерење релативне ефикасности за ДМУ истог организационог система, доводи до бољег разумевања самог процеса пословања који се одвија у њима, што за последицу има изналажење кључних информација које могу да омогуће побољшање пословања свих ДМУ тог система.

Мерење ефикасности се може одвијати на различитим нивоима (Bogetoft & Otto, 2010):

- унутар организације;
- између организација истог типа;
- између стања организације (или више њих) у различитим временским периодима.

Мерење ефикасности унутар организације је врло корисно код великих система који послују по дивизионом моделу организације. На пример, у кризним ситуацијама када су у плану реорганизовања и затварања појединих дивизија (као што је чест случај са банкама и њеним филијалама или са ланцима супермаркета), корисно је имати процену ефикасности за све дивизије пре него што се донесе коначна одлука. Насупрот томе, и у ситуацијама награђивања, када треба да се награди нека дивизија за успех у пословању, основно је да се процени ефикасност свих дивизија. Кључна ствар је одабрати праву методу за процену јер уколико би се гледао само финансијски аспект могуће је да би се добила лажна слика ефикасности. Узмимо пример филијале банке која се налази у граду, где живе становници углавном са натпросечним примањима, насупрот филијале на селу где су примања становништва углавном мања. Уколико би градска филијала имала већи годишњи приход од камата и осталих накнада, то не мора да буде знак да је она ефикаснија и да она треба бити награђена, јер у обзир треба узети и друге критеријуме. Стога је правилно мерење ефикасности од изузетног значаја за сваку организацију.

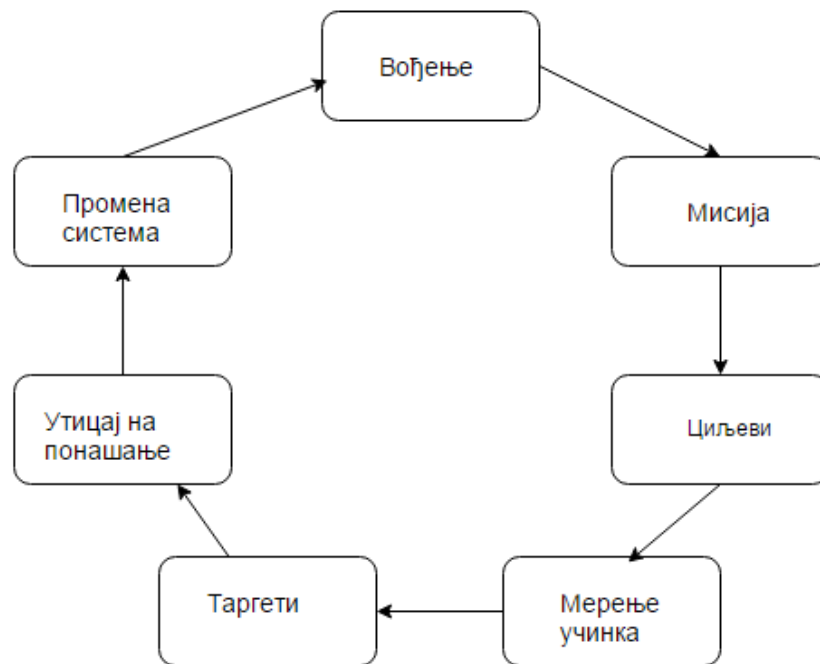
Мерење ефикасности између организација истог типа је кључни сегмент у даљем развоју организације. Поређењем сопственог пословања са другим организацијама истог типа на најбољи начин се уочавају могућности за напредак, који може бити представљен кроз смањење трошкова производње или унапређење производа и услуга. На тај начин организације добијају информацију о томе да ли се налазе у улози лидера или пратиоца на тржишту на којем послују.

Мерење ефикасности организације у различитим временским периодима је од великог значаја за процену у ком смеру се организација развија, односно да ли је на време испратила најновије трендове, прихватила и имплементирала нову технологију, како би остала конкурентна на тржишту. Ову примену најчешће налазимо приликом мерења ефикасности економског напретка земаља или напретка у социјалној и здравственој заштити.

Проценом ефикасности се неоспорно подржава напредак појединачних организација. Оне уче и угледају се на примере из „добре“ праксе. Сваку организацију занима како се она рангира у поређењу са сличним организацијама (Savić, 2012). Уколико се покаже да једна ДМУ даје мање излазе од друге ДМУ, а под сличним обимом улаза, она ће хтети да пронађе и открије разлоге који до тога доводе.

Дајсон сматра да мерење ефикасности игра кључну улогу у процени пословања, јер не само да дефинише тренутно стање система, већ и будуће (Dyson, 2000). На основу тога је могуће контролисати систем и водити га у жељеном смеру развоја (Слика 3).

Доносиоци одлука дефинишу мисију пословања, у којој су садржани циљеви организације. Мерење испуњења сваког од циљева у односу на задате циљне вредности осликава ефикасност организације. Постављањем таргета за сваки циљ, утиче се на приоритете организације. Погрешна процена испуњења циљева може да доведе до нежељених последица и да одведе систем у нежељеном смеру.



Слика 3. Веза између управљања системом и мерења ефикасности (Dyson, 2000)

Врста информације добијена проценом ефикасности зависи од циљева процене, као и методе која је коришћена за процену ефикасности. Танасулис идентификује следеће информације које се добијају мерењем ефикасности (Thanassoulis, 2001):

- добре пословне праксе за проширење пословања;
- најпродуктивнија оперативна јединица;
- простор за уштеду ресурса и/или за повећање излаза;
- најпогоднији узор од свих ефикасних јединица, који неефикасна јединица може да имитира како би побољшала своју ефикасност;
- маргиналне стопе супституције између фактора производње;
- промену продуктивности током времена за сваку оперативну јединицу и за најефикасније оперативне јединице у сваком тренутку.

Мерење ефикасности није искључиво резервисано за профитно оријентисане системе (Vogetoft & Otto, 2010). Ефикасност може бити мерена и у непрофитно оријентисаним системима као што су болнице, школе, јавна предузећа и др.

2.2. Мере ефикасности

Израз (2.1) је применљив на једноставне системе са једним улазом и излазом, или на системе где постоји више истородних излаза/улаза који се опет врло лако могу свести на један излаз/улаз. Међутим, у сложеним системима ДМУ користе велики број разнородних улаза да би произвели, такође, разнородне излазе. Фарел је први који је понудио решење за тај проблем (Farrell, 1957). У његовом раду је представљена аналитичка процедура уз помоћ које је могуће мерити ефикасност и формирати границу ефикасности. Дефинисана је на примеру где ДМУ креира један излаз, на основу већег броја улаза уз претпоставку константног приноса на обим, што представља да повећање/смањење улаза доводи до пропорционалног повећања/смањења излаза. Сматрао је да ефикасност може бити:

- техничка (ТЕ);
- алокативна (АЕ);
- укупна (УЕ).

Савић је теоријски и графички објаснила разлику између ове три мере (Savić, 2012). Већ је речено да се при процени ефикасности једне ДМУ, посматрају разнородни улази који су потребни да би се добила одређена количина излаза. Ти улази се пореде са ДМУ која представља најбољу праксу у посматраном скупу. ДМУ која најбоље послује у односу на све друге посматране ДМУ сматра се укупно технички ефикасном и може се дефинисати као најбоља пракса. Техничка ефикасност осталих ДМУ се процењује у односу на најбољу и изражава се као проценат од најбоље праксе. Уколико би се додатна ДМУ увела у посматрани скуп, она не би могла да повећа техничку ефикасност посматране ДМУ, али би могла да је смањи. То је и логично, јер на пример нека домаћа банка се може сматрати веома ефикасном на српском тржишту, али не и на европском. Копмансова дефиниција техничке ефикасности каже да је ДМУ технички ефикасна ако и само ако није у могућности да повећа производњу неког од излаза без да смањи производњу неког другог излаза, или коришћењем веће количине неког од улаза (Koormans, 1951). Техничка ефикасност мери успех ДМУ у

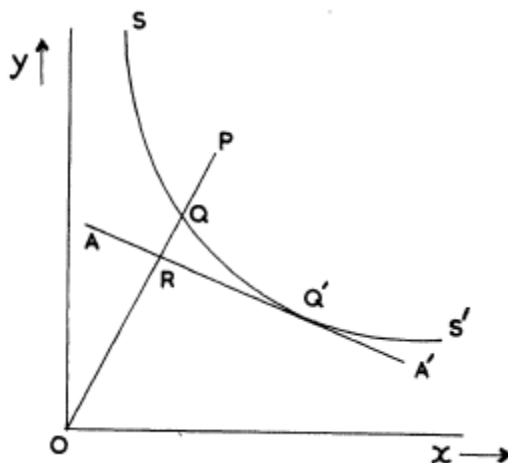
производњи максималног излаза за дати скуп улаза. Посматрана ДМУ тежи да минимизира цену производње одређеног нивоа излаза, тако што ће изабрати одговарајуће улазе, за дати скуп улазних цена, уз претпоставку да је посматрана ДМУ потпуно технички ефикасна. Ефикасност алокације ресурса се изражава процентуално, где 100% показује да ДМУ на одговарајући начин користи улазе тако да минимизира цену производње. ДМУ која је у техничком смислу ефикасна, може бити алокативно неефикасна, ако не користи улазе у одговарајућој пропорцији у односу на дате цене. Укупна ефикасност комбинује техничку и алокативну ефикасност. ДМУ може бити укупно ефикасна, само ако је и технички и алокативно ефикасна. Укупна ефикасност се рачуна као производ техничке и алокативне ефикасности и изражава се у процентима, где 100% означава да је ДМУ укупно ефикасна, што према претходно наведеном значи и да је техничка и алокативна ефикасност такође једнака 100%.

Дефинисани концепти су графички приказани на слици 4 (Farrell, 1957). Претпоставимо да су потребна нека два улаза за производњу једног излаза. Претпоставићемо и да постоји константни принос на обим, што омогућује да се све битне информације представе преко „изоквантног“ дијаграма. Изокванта је конвексна крива линија чија свака тачка представља различиту комбинацију два (у овом случају два, а може бити и више) улаза потребних да се произведе иста количина излаза. Уколико се смањи/повећа вредност једног улаза, онда мора да се повећа/смањи вредност другог, да би се добио исти излаз. Изокванта представља теоретски најбољу праксу јер обухвата минималне вредности улаза потребних да се произведе тражени излаз. Она се још назива и граница ефикасности. Свака ДМУ која се налази на граници ефикасности је технички ефикасна. Међутим, ту нису узети у обзир трошкови пословања, па се стога на изоквантном дијаграму налази и права која има нагиб једнак најбољем односу цена између два улаза.

Тачка P на слици 4 представља количину улаза коју посматрана ДМУ користи за производњу одређеног излаза. Тачка Q представља технички ефикасну ДМУ која користи мању количину улаза, за производњу истог излаза као и тачка P . Тачка Q' представља оптималан ниво производње јер производи исти ниво

излаза са пропорционално мањим трошковима. На основу свега овога за тачку P се могу извести следеће дефиниције (Coelli et al., 2005, Savić, 2012):

- $TE = OQ / OP$;
- $AE = OR / OQ$;
- $UE = AE * TE = (OR / OQ) * (OQ / OP) = OR / OP$.



Слика 4. Мере ефикасности (Farrell, 1957)

Дакле, да би ДМУ представљена тачком P постала укупно ефикасна, потребно је да пропорционално смањи трошкове улаза за вредност $1 - (OR/OP)$. То ће довести до побољшања алокативне ефикасности за вредност $1 - (OR/OQ)$, пошто се претпоставља да само технички ефикасна ДМУ може постати и алокативно ефикасна. Техничка ефикасност ће се повећати за вредност $1 - (OQ/OP)$. Техничка ефикасност се често дефинише као пропорционално смањење улаза неопходно да се достигне граница ефикасности. Овај процес је познат као „радијално смањење” улаза, пошто се тачка помера дуж линије која је спаја са координатним почетком.

У случајевима када постоје вишеструки улази и вишеструки излази, просто немамо могућност да користимо минималне односе улаза и излаза као меру за процену најбоље праксе, јер не знамо на који начин вишеструки улази истовремено утичу на вишеструке излазе у процесу трансформације који се одвија у посматраној ДМУ. Због тога нам је неопходно моделовање као приступ за мерење ефикасности. Постоје два типа техника моделовања које се користе у

мерењу релативне ефикасности - параметарске и непараметарске технике моделовања. Одлика параметарских модела је то да су параметри модела унапред дефинисани, осим за непознати скуп параметара који се процењују из података. Параметри се могу односити на расподелу ефикасности, расподелу случајне грешке и др. Са друге стране непараметарски модели су доста релаксиранији, па параметри нису унапред задати. Главна разлика између ова два приступа је та што параметарски модели претпостављају одређени облик производне или трошковне функције, док непараметарске методе то не чине.

Основни проблем, пре него што се одредимо за одређени параметарски модел, представља одлука који ће се облик функције користити. Две најчешће коришћене функције су:

- Коб-Дагалсова (Meeusen & Van den Broeck, 1977):

$$f(x_i; \beta) = \beta_0 \prod_{(k=1)}^K x_k^{\beta_k} \forall_i;$$

- Транслог (енгл. „transcendental logarithmic“) (Berndt & Christensen, 1973):

$$f(x_i; \beta) = \exp(\beta_0 + \sum_{k=1}^K \beta_k \log x_k + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K \beta_{kl} \log x_k \log x_l) \forall_i;$$

У оба случаја β_0 је константа, а ограничења на параметре су обично постављена тако да осигурају да је $f(x_i; \beta)$ хомогена функција степена не већег од један (Pocelli, 2009). На тај начин се избегава могућност растућег приноса на обим.

Оба приступа, параметарски и непараметарски, имају своје предности и мане, које треба пажљиво испитати приликом доношења одлуке коју методу треба користити за специфичну анализу ефикасности. Неки аутори предлажу коришћење више метода при анализи, у циљу верификације резултата (Smith, 2008).

3. Модели за мерење ефикасности

Две често коришћене параметарске методе у анализи ефикасности су: коригована метода најмањих квадрата (*Corrected Ordinary Least Squares* - КОЛС) и анализа стохастичких граница (*Stochastic Frontier Analysis* - СФА). Обе методе су економетријске технике моделовања које претпостављају неку везу међу променљивим.

3.1. Коригована метода најмањих квадрата

КОЛС је детерминистичка метода прво предложена од стране (Winsten, 1957), као одговор на Фарелов рад о мерењу ефикасности. Своју основу има у радовима (Aigner & Chu 1968; Afriat, 1972), док се често приписује и (Gabrielsen, 1975). КОЛС је једноставна методологија базирана на линеарној регресији методом најмањих квадрата (*Ordinary Least Squares* - ОЛС), којом се процењује просечна функција трошкова постављајући регресиону линију која је најбоља (енгл. „best-fit“) кроз тачке које представљају дате податке (Richmond, 1974). Регресиона линија мора да испуни два критеријума:

- сума резидуала је једнака нули;
- има најмању суму квадрата вертикалних одступања у односу на било коју другу праву (које је могуће повући између тачака које представљају податке).

ОЛС и КОЛС методу је могуће користити само над ДМУ које послују тако што користе или само један улаз, или само један излаз (Cubbin & Tzanidakis, 1998). КОЛС је „коригована“, зато што се функција трошкова помера ка најефикаснијој ДМУ, која онда представља реперну вредност за остале ДМУ. Најефикаснију ДМУ представља она ДМУ која има најмањи трошак. То „померање“ узрокује да КОЛС буде „гранични“ приступ, односно да формира границу ефикасности. Свако одступање од те границе приписује се неефикасности. Разлика између стварног и предвиђеног трошка представља

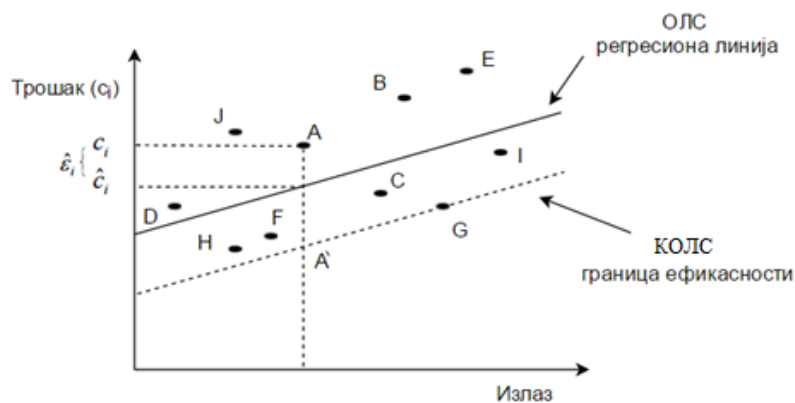
неефикасност посматране ДМУ. Ефикасност ДМУ се у том случају процењује као:

$$\text{Ефикасност} = 1 - \text{Неефикасност}$$

Разлика између ОЛС и КОЛС методе је приказана на слици 5 (Irastorza, 2003). Нека је $c_i = \beta_0 + \beta_y y_i + \varepsilon_i$ линеарна веза између трошкова и излаза, где су c_i оперативни трошкови ДМУ, β_0 и β_y непознати параметри који се процењују, y_i представља вектор излаза, а ε_i представља неефикасност. Израз $c_i = \hat{c} + \hat{\varepsilon}_i$ се у ОЛС анализи може посматрати као процена трошкова просечне ДМУ која производи исти излаз, док $\hat{\varepsilon}_i$ представља разлику ефикасности између посматране и просечне ДМУ. Посматрана ДМУ је ефикаснија од просечне, ако је $\hat{\varepsilon}_i > 0$; и супротно важи, уколико је $\hat{\varepsilon}_i < 0$, онда је посматрана ДМУ мање ефикасна од просечне (Sarafidis, 2002).

Добијена регресиона линија се у КОЛС анализи транслира додавањем највеће апсолутне вредности негативне грешке, тако да граница ефикасности пролази кроз најнижу тачку на графику. Дакле, сада немамо негативне резидуале. Само ДМУ које се налазе на граници ефикасности сматрају се ефикасним.

ДМУ представљене тачкама C , F , G , H и I , су релативно ефикасне према ОЛС методи, јер се налазе испод регресионе линије. Остале ДМУ се сматрају неефикасним јер се налазе изнад регресионе линије. ДМУ представљена тачком G је најеефикаснија ДМУ (најбоља пракса). Према КОЛС методи она се налази на граници ефикасности, па је стога једина ефикасна. ДМУ G представља реперну вредност, и ефикасност (неефикасност) осталих ДМУ се процењују у односу на њу (напомена: да се још нека ДМУ нашла на граници ефикасности, и она би се сматрала ефикасном).



Слика 5. Поређење ОЛС и КОЛС метода (на основу (Irastorza, 2003))

Главна предност КОЛС методе је што је једноставна и лака за коришћење. Као параметарска метода, даје информације о структури функције и оцењује колики је утицај различитих променљивих. Такође, може се лако проценити и утицај екстерних фактора, оних који нису под нашом контролом. Омогућава тестирање хипотеза, као на пример о значају различитих улаза/излаза или обима на принос (Coelli & Perelman, 1999). Уколико неки улаз/излаз није толико значајан он ће имати врло ниску вредност, а може да добије и нула вредност. Главни недостатак методе се огледа у томе што у њеној процени ефикасности, резидуали осликавају комбинацију релативне ефикасности, меру грешке процене и статистички шум, а не само неефикасност. Такође, није могуће радити са „панел“ подацима јер метода третира различите опсервације кроз време као посебне ДМУ. Остали недостаци подразумевају претпоставке које сама регресија мора да задовољи (Pallant, 2010; Tabachnick & Fidell, 2012):

- (1) величина узорка - неки аутори сматрају да је потребно најмање 15 опсервација по једној независној променљивој (Stevens, 2009), док је Сопер извео посебну формулу за потребан број опсервација (Soper, 2013), ослањајући се на радове (Abramowitz & Stegun, 1965; Cohen, 1988; Cohen et al., 2003);
- (2) мултиколинеарност и сингуларност - мултиколинеарност постоји када су независне променљиве јако корелисане (преко 0.9), а сингуларност се

јавља уколико једна независна променљива заправо представља комбинацију других независних променљивих;

- (3) нетипичне тачке - у случају да постоје нестандартне опсервације, треба их уклонити из анализе;
- (4) нормалност, линеарност, хомоскедастичност и независност резидуала - проверавају се на дијаграму растурања резидуала (Mladenović & Petrović, 2007), који би требао да изгледа као приближно права линија. Резидуали требају да су нормално распоређени око предвиђених вредности зависне променљиве, и да имају приближно једнаку варијансу за све вредности.

Неки од радова који мере ефикасност КОЛС методом су приказани у табели 1.

Табела 1. Одабрани радови који користе КОЛС методу

Рад	Област примене
(Green et al., 1991)	Прерађивачка индустрија САД
(Cubbin & Tzanidakis, 1998)	Водоводи Енглеске и Велса
(Coelli & Perelman, 1999)	Железнице у Европи
(Bifulco & Bretschneider, 2001)	Школски систем САД
(Jamasp & Pollitt, 2003)	Електродистрибуција Европе
(Marklund & Samakovlis, 2007)	Емисија гасова стаклене баште ЕУ земаља
(Azadeh et al., 2009)	Електродистрибуција Ирана
(Lee et al., 2009)	Старачки домови Канзаса и Мисурија
(Yu & Wang, 2012)	Осигурање фарми пиринча провинције Лианонинг
(Biswas & Verma, 2013)	Фармацеутске куће Техерана
(Rahnavard & Mashayekhi, 2014)	Фарме телади покрајине Маркази
(Ivan, 2015)	Банке Јапана

3.2. Анализа стохастичких граница

СФА је стохастички приступ процени ефикасности, који своје основе има у радовима (Aigner et al., 1977) и (Meeusen & Van den Broeck, 1977). Стохастички је, јер сматра да постоји стохастичка веза између улаза који се користе за производњу излаза. СФА може да се примени само на системе који имају један излаз (Bogetoft & Otto, 2010). За случај са више излазних показатеља, један од начина је да се користи анализа главних компоненти, како би се извукао заједнички фактор свих излазних показатеља који би онда представљао јединствени излаз, али такав приступ би произвео и одређену грешку мерења (Хи,

2012). Други начин је коришћењем Шепардове (Shephard, 1953; 1970) функције удаљености (Kumbhakar & Lovell, 2003).

Главна разлика између СФА и КОЛС је та што СФА сматра да део одступања од границе ефикасности треба подразумевати као случајни шум. Да би се издвојила неефикасност од шума, потребне су добре претпоставке о расподели шума међу појединачним ДМУ. СФА прво захтева да постоје претпоставке о расподели неефикасности и шума. Те претпоставке се користе да се процене параметри функције границе и неефикасност. Затим се формира граница ефикасности на основу које се процењује релативна ефикасност ДМУ.

Најчешће коришћени СФА модели су (Greene, 2008):

- производни СФА модел;
- трошковни СФА модел;
- СФА модел функције удаљености.

Производним СФА моделом се објашњава техничка веза између улаза и излаза и он представља алтернативу у случају када трошковни модел не може да се примени због недостатка података. Процењени излаз представља највећи могући излаз за дате улазе једне ДМУ. Разлике између излаза који су добијени у процени, за сваку ДМУ, се интерпретирају као техничка неефикасност. Трошковни СФА модел показује трошак као функцију нивоа излаза и цене улаза. Идејно, минимална трошкова функција одређује границу која дефинише трошак који је технички могућ уз различите нивое улаза. Производни и трошковни СФА модел могу да дају различите резултате. Најчешће се при избору између ова два модела, гледа да ли се ради о профитно или непрофитно оријентисаном систему. Непрофитно оријентисане ДМУ су у обавези да пружају неку услугу, или производ, по унапред задатој цени, и морају да задовоље одређену потражњу за том услугом или производом. Оне најчешће не бирају величину тог излаза, па се може рећи да је њихов циљ да максимизирају корист, тако што ће минимизирати трошак производње те услуге или производа. Стога је за непрофитно оријентисане ДМУ, трошковни СФА модел повољнији избор. СФА модел функције удаљености је погодан за системе где постоје вишеструки излази.

Функција удаљености може имати улазну или излазну оријентацију. Улазна оријентација показује колико се вектор улаза може пропорционално смањити, тако да вектор излаза остане непромењен. Излазна оријентација показује колико се излазни вектор може пропорционално увећати, а да вектор улаза остане непромењен (Berg, 2010).

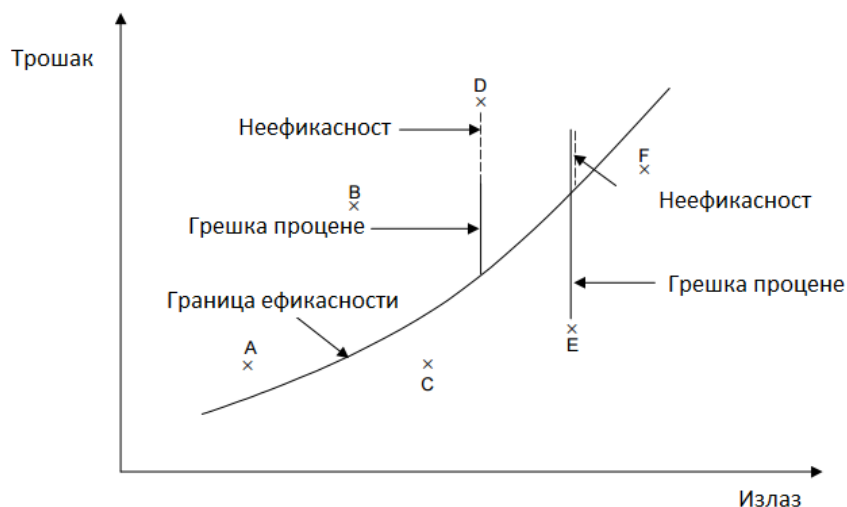
У радовима где се СФА користи за неку практичну примену, подједнако се користи и Коб-Дагласова и транслог функција, па су тако (Vitaliano & Toren, 1996; Yong & Harris, 1999; Farsi & Filippini, 2005) користили Коб-Дагласову функцију, а (Zuckerman et al., 1994; Wagstaff & Lopez, 1996; Rosko & Chilingerian, 1999; Fries & Taci, 2005; Yildirim & Philippatos, 2007; Mamatzakis et al., 2008) су користили транслог функцију. У (Chirikos & Sear, 2000; Herr, 2008) су кориштене обе.

СФА модел може да се дефинише формулом:

$$c_i = f(y_i; \beta) + w_i$$

$$w_i = v_i + \varepsilon_i$$

где $f(y_i; \beta)$ представља границу, w_i је укупан посматрани резидуал, v_i представља шум (статистичку грешку мерења) а ε_i је неефикасност. v_i има средњу вредност једнаку 0, а u_i има ненегативне вредности (Sarafidis, 2002).



Слика 6. Илустрација СФА модела (на основу (Sarafidis, 2002))

Ефикасност СФА методом се добија тако што се стварни трошак одузима од предвиђеног, а резидуал се разлаже на неефикасност и грешку мерења (шум) за сваку ДМУ. Приступ је представљен на слици 6 (Sarafidis, 2002).

Главна предност СФА методе се огледа у томе што разматра и грешку процене. Такође, посредством стандардних статистичких тестова могуће је тестирати хипотезе о спецификацији модела и значају променљивих укључених у дати модел. Погодна је и за процену екстерних фактора. Слабости СФА методе се огледају у потреби за производном функцијом и у томе што су за одвајање шума и неефикасности потребне јаке претпоставке о расподели резидуала. СФА је доста осетљива на нетипичне опсервације. Присуство таквих опсервација у подацима може да доведе до тога да модел претпостави да постоји превише шума у подацима и онда да процени да има мало неефикасности у узорку.

Табела 2. Радови који врше преглед примене СФА у одређеној области

Рад	Област примене
(Berger & Humphrey, 1997)	Финансијске институције
(Worthington, 2004)	Здравствени систем
(Eling & Luhn, 2010)	Индустрија осигурања
(Banerjee, 2012)	Банке ЕУ
(Kumar & Gulati, 2013)	Банкарски сектор
(Worthington, 2014)	Градски водоводи

Бројни су радови објављени из најразличитијих области где се мери ефикасност путем СФА методе. Због тога се у табели 2 налазе само радови у којима је направљен обимнији преглед литературе за дату област примене.

3.3. Анализа обавијања података - ДЕА

Најпознатија непараметарска метода за мерење ефикасности је ДЕА. Поред тога што је најпознатија непараметарска, она је уједно и најчешће коришћена метода за мерење ефикасности, било да се ради о параметарским или непараметарским техникама. Од 1978. године када је први пут дефинисана од стране (Charnes et al., 1978), па до данас, ДЕА је примењена у више од 10 хиљада публикација. Од 2004. године број објављених радова годишње, са темом везаном за ДЕА методу, има експоненцијални раст. Закључно са 2016. годином, број

различитих аутора који су се бавили ДЕА проблематиком прелази 11 хиљада (Emrouznejad & Yang, 2018). Разлози популарности ДЕА методе могу се пронаћи у чињеници да је она успешно применљива на најразличитије области. Првобитна намена ДЕА методе је била евалуација ефикасности непрофитних организација за које је тешко измерити излазе. Самим тим тешко је и дефинисати реалну меру ефикасности за непрофитну организацију (Martić, 1999). Због своје флексибилности, која подразумева мали број претпоставки, ДЕА метода је применљива за мерење ефикасности и профитних и непрофитних организација (Savić, 2012).

За разлику од Фарелове мере техничке ефикасности, а и претходно анализираних параметарских КОЛС и СФА метода, ДЕА је погодна за мерење ефикасности у оним системима где се разматра више улаза и више излаза. Ти улази и излази по својој природи могу бити разнородни и изражени у различитим јединицама мере. Стога је потребно креирати један синтетички показатељ који ће обухватити све оне производе од важности и оне ресурсе који су кориштени да би се ти производи остварили. Дефинисана је следећа мера ефикасности:

$$\text{Ефикасност} = \frac{\text{тежинска сума излаза}}{\text{тежинска сума улаза}} \quad (3.1)$$

Претходна дефиниција омогућава агрегацију посматраних улаза/излаза у један виртуелни улаз/излаз који представља суму производа тежинских коефицијената и вредности улаза, односно излаза коме су додељени. Израчунати вредност ефикасности као однос између виртуелног излаза и виртуелног улаза подразумева решити проблем представљања разнородних показатеља у оквиру величина које могу узајамно да се пореде (скалирање). Други проблем представља одређивање значајности тежинских коефицијената за поједине улазе односно излазе (проблем пондерисања) (Savić, 2012).

Осим претходно поменутих, проблем који се такође јавља односи се на одређивање ефикасности већег броја ентитета који употребљавају идентичне типове улаза за производњу идентичних типова излаза. За сваку од посматраних јединица, на основу претходне дефиниције, могуће је израчунати ефикасност и

тако израчунате ефикасности се могу искористити за утврђивање редоследа јединица. Очигледно је да је, на овај начин извршено рангирање, зависно од величине излаза и улаза ентитета, али и од величина које се додељују тежинским коефицијентима. Различите методе вишекритеријумског одлучивања подразумевају да доносиоци одлука унапред одреде тежине у складу са својим жељама и приоритетима (Ћурић & Suknović, 2010). У реалним проблемима је велики изазов извршити вредновање улаза и излаза и наћи заједнички скуп тежинских коефицијената, јер различите јединице на другачији начин вреднују своје улазе и излазе (Sarrico & Dyson, 2004).

Творци ДЕА методе су кренули од претпоставке да када се оцењује ефикасност, није неопходно да постоји неки посебан метод којим се дефинише вредност тежинских коефицијената. Свака ДМУ, за коју се оцењује ефикасност, треба да утиче на одлуку који ће се показатељи рачунати приликом процене, као и на опсег дозвољених вредности тежинских коефицијената. Проблем који се односи на скалирање је решен тако што се вредност ефикасности исказује на скали између нула и један. У циљу максимизације своје ефикасности, свака ДМУ је слободна да одреди вредности тежина на онај начин за који сматра да је за њу најповољнији (Andersen & Petersen, 1993). Накнадном анализом могуће је показати које су од разматраних јединица ефикасне, а које нису.

Имајући у виду податке о улазима и излазима, ДЕА метода оцењује да ли је ентитет који се посматра ефикасан или не, у односу на остале ентитете који се анализирају, тј. да ли тај ентитет учествује у формирању границе ефикасности. Решење овог проблема огледа се у посматрању расподеле скупа тачака и конструисању линије око њих која их обавија. Одатле потиче и назив методе - Анализа обавијања података. Највећа вредност излаза коју сваки ентитет остварује, уз већ дате улазе, у економском смислу представља границу ефикасности и она се за неефикасне јединице понаша као обвојница. ДЕА испитује сваки ентитет уз проверу да ли постоји могућност да се његови улази обавију одоздо (дати излаз могуће је остварити и уз мању количину улаза), као и да ли постоји могућност да се његови излази обавију одозго (уз дате улазе могу се произвести и већи излази). Уколико није могуће обавити јединицу, она је

релативно ефикасна и учествује у креирању границе ефикасности; у супротном она се сматра релативно неефикасном (Savić, 2012).

Главна карактеристика ДЕА методе је та што се помоћу ње свака ДМУ процењује као релативно ефикасна или релативно неефикасна. Аутори који су предложили ДЕА методу наводе да се нека ДМУ може сматрати ефикасном само ако нису испуњена следећа 2 услова (Charnes et al., 1978; Savić, 2012):

1. ДМУ може да повећа неки од излаза, а да не повећа неки улаз или да смањи неки други излаз;
2. ДМУ може да смањи неки од улаза, а да не смањи неки излаз или да повећа неки други улаз.

Ниво неефикасности одређује се поређењем са једном или више ДМУ, које представљају референтне јединице. Оне леже на обвојници и производе пропорционално исте или веће нивое излаза од јединице са којом се пореде, уз коришћење пропорционално истог нивоа улаза (Athanassopoulos & Curram, 1996). ДЕА метода се годинама успешно примењује за одређивање најбоље границе производње. Посебно се истичу следеће особине ДЕА методе (Charnes et al., 1994; Martić, 1999):

- усмерена је на појединачна посматрања насупрот популационих усредњавања;
- одређује појединачну сумарну меру за сваку ДМУ на основу вредности улаза за производњу тражених излаза;
- укључује вредности променљивих које су представљене у различитим јединицама мере;
- дозвољава укључивање екстерних променљивих како би се објасниле променљиве које се не налазе под директном контролом ДМУ;
- дозвољава укључивање категоријских променљивих како би се приказале променљиве које узимају дискретне вредности из дозвољеног скупа;
- не захтева да се унапред знају тежине и вредности улазних и излазних променљивих;

- не изискује постојање функционалне форме за производни однос улаз-излаз;
- дозвољава укључивање вредности за улазне и излазне променљиве када се пожели;
- указује на то шта би неефикасна ДМУ требала да промени у свом улазно-излазном миксу како би се нашла на граници ефикасности;
- даје индексе ефикасности који су Парето оптимални;
- примењује једнаке критеријуме за оцену ефикасности.

3.3.1. Основни ДЕА модели

Након што су (Charnes et al., 1978) представили ДЕА методу, временом су се модификовали и проширивали основни модели. У даљем тексту ће бити представљени основни ДЕА модели.

Ако имамо информације о улазним и излазним вредностима за сваку ДМУ чија се ефикасност треба оценити, онда при селекцији ДМУ треба водити рачуна о следећим претпоставкама (Cooper et al., 2006):

- улази и излази имају позитивне вредности и подаци о њима су расположиви за сваку ДМУ;
- сви подаци који су значајни за доносиоце одлука су укључени у анализу ефикасности;
- основна идеја је да се смање улази и повећају излази и индекс ефикасности треба да одражава ту идеју;
- јединице мере улаза и излаза могу бити разнородне.

Нека x_{ij} представља посматрани износ i -тог улаза j -те ДМУ ($x_{ij} > 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$), а y_{rj} посматрани износ излаза r -те врсте за j -ту ДМУ. У (Charnes et al., 1978) је предложено да се по свакој k -тој ДМУ решава оптимизациони задатак:

$$(Max)h_k = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ik}}$$

n.o.

$$\frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3.2)$$

$$u_r \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$v_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

где h_k представља релативну ефикасност k -те ДМУ, n је број ДМУ које треба поредити, m је број улаза, s је број излаза, u_r представља вредност тежинског коефицијента r -тог излаза, а v_i вредност тежинског коефицијента i -тог улаза (Martić & Savić, 2001).

Модел (3.2) је познатији као ЦЦР рацио модел. У њему се тежи максимизацији вредности h_k , на тај начин што свака ДМУ субјективно додељује вредности управљачким променљивим u_r и v_i . У тако дефинисаном моделу ради се о константном приносу на обим, што представља да повећање/смањење улаза доводи до пропорционалног повећања/смањења излаза. Вредност h_k је инваријантна у односу на мерне јединица улаза и излаза, при чему су наравно мерне јединице исте за све ДМУ. Уколико вредност h_k , k -те ДМУ, у функцији циља износи 1, то значи да ту ДМУ треба сматрати релативно ефикасном. У супротном, та ДМУ се сматра релативно неефикасном, док вредност h_k у том случају говори о томе у којој процентуалној мери би та ДМУ требало да умањи своје улазе, у циљу постизања ефикасности.

Тежински коефицијенти u_r и v_i представљају значајност за сваки улаз и излаз, које све ДМУ саме бирају, како би оствариле што је могуће већу ефикасност. Јединица се сматра ефикасном ако не постоји нека друга јединица која са истим ангажованим улазима креира већи излаз. Сходно томе, основни циљ сваке јединице је да кроз слободно изабране вредности тежина за улазе и излазе,

максимизира своју ефикасност. Притом, неопходно је задовољити услов да за сваку јединицу одлучивања количник (3.1) није већи од 1 (означава да свака ДМУ лежи на или испод границе ефикасности). Добијене вредности за тежинске факторе зависе од скале мерења вредности за улазе и излазе и нису погодне за међусобно поређење. Удео и важност сваког улаза/излаза у добијеном индексу ефикасности показује производ вредности тог улаза/излаза и додељеног тежинског коефицијента који се назива виртуелни улаз/излаз (Savić, 2012).

Прво проширење основног ЦЦР ДЕА модела увели су (Banker et al., 1984). У литератури познат као БЦЦ модел, мери чисту техничку ефикасност, односно даје меру ефикасности која игнорише утицај обима пословања, па k -ту ДМУ пореди само са другим јединицама сличног обима. У односу на ЦЦР модел, у БЦЦ моделу је дата додатна променљива u^* којом дефинишемо позицију помоћне хиперравни (ХР) која се налази изнад или на свакој ДМУ укљученој у анализу. БЦЦ модел има следећи облик:

$$\begin{aligned}
 (Max)h_k &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rk} + u^* \\
 n.o. \\
 \sum_{i=1}^m v_i x_{ik} &= 1 \\
 \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + u^* &\leq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 u_r &\geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s \\
 v_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Изложени математички модел испитује да ли k -та ДМУ постиже тражене нивое излаза уз минимално ангажовање улаза и бира ону ХР, из скупа свих ХР које покривају дате ДМУ, чија је удаљеност од посматране ДМУ најмања. У случају када је $u^* = 0$, ради се о ЦЦР моделу. Треба нагласити да горепоменути модели (3.2) и (3.3) представљају прималне ДЕА моделе, и да сваки од њих има и свој дуални модел у који се може трансформисати и који се често у пракси примењује из разлога што је број ДМУ за које треба оценити ефикасност обично већи од броја променљивих у моделу (Savić, 2012). Дуални модели имају форму

обавијања па се називају и проблеми обавијања. Примални модели представљају тежинске проблеме.

Претходно разматрани модели су креирани са циљем минимизације улаза потребних да би се произвела тражена количина излаза. Овакви модели представљају улазно оријентисане моделе. k -та ДМУ се подразумева као релативно неефикасна, уколико постоји могућност да смањи неки од улаза, а да не смањи неки излаз или да повећа неки други улаз. Неефикасне јединице могу постати ефикасне уколико смање своје улазе, док им излази остају на истом нивоу. Насупрот улазно оријентације, постоје и излазно оријентисани модели. У њима је циљ максимизирати излаз за дати ниво улаза, а неефикасне јединице постају ефикасне тако што повећавају своје излазе. k -та ДМУ се подразумева као релативно неефикасна, уколико постоји могућност да повећа неки од излаза, а да не повећа неки улаз или да смањи неки други излаз (Savić, 2012). Осим ове две јасно дефинисане оријентације модела, кроз ДЕА литературу се јављају и модели без стриктне оријентације, односно комбиновани модели (Thanassoulis & Emrouznejad, 1998). Код комбинованих модела идеја је да се симултано смањује улаз, а повећава излаз, са циљем да посматрана ДМУ постане ефикасна.

Да би ДЕА метода могла да се спроведе, треба да буду задовољене следеће претпоставке:

- хомогеност - ДМУ користе исте улазе за производњу истих излаза;
- позитивност - улазне и излазне вредности су веће или једнаке нули;
- изотоност - увећање једног улаза доводи до увећања излаза, док остали улази остају непромењени;
- димензије проблема - број ДМУ у посматраном скупу треба да буде значајно већи од укупног броја свих променљивих.

3.3.2. Ограничавање тежина

За сваку ДМУ чија се ефикасност оцењује, ДЕА метода одређује вредности тежинских коефицијената за улазе и излазе (Martić, 1999). ДЕА не захтева да тежине буду унапред задате. То значи да метода допушта свакој ДМУ, да за себе

одреди најповољнију комбинацију тежина, за сопствене улазе и излазе, у циљу максимизације ефикасности. Та карактеристика се сматра једном од главних предности ДЕА методе, али има и своје слабости. Предност би била када се једна ДМУ процени као неефикасна, иако има слободу да користи за њу најповољније тежине, па онда имамо јак доказ за тврдњу да таква ДМУ функционише испод границе ефикасности. Међутим последица те карактеристике је да ће се веома често, велики број ДМУ проценити као ефикасне и да ће поједине ДМУ бити процењене само на малом подскупу својих улаза и излаза, док се остали улази и излази игноришу (њихови тежински коефицијенти добијају нула вредност).

Ален и коаутори наводе следеће разлоге због којих је потребно ограничити тежине (Allen et al., 1997):

- укључивање претходних становишта о значају одређених улаза и излаза;
- веза између одређених улаза и/или излаза;
- узимање у обзир претходних становишта о ефикасности одређених ДМУ;
- поштовање економског принципа размене улаза и излаза;
- могућност бољег разликовања ефикасних ДМУ.

Наведени проблеми се решавају ограничавањем тежина и у ту сврху су развијани многи ДЕА модели. Томсон и коаутори су први предложили ограничавање тежина да би се направила разлика међу ефикасним јединицама (Thompson et al., 1986), док неки аутори сматрају да је ограничавање тежина битно да би се избегло игнорисање појединих улаза и/или излаза (Dyson & Thanassoulis, 1988). За разлику од њих Димитров и Сатон сматрају да ограничавање тежина у неки интервал није добро, јер се губе могућа решења проблема, па су предложили технику симетричне доделе тежина (*Symmetric Weight Assignment Technique*) која не утиче на допустиву област, али награђује оне ДМУ које имају симетричан избор тежина, у циљу прављења разлике међу ефикасним ДМУ (Dimitrov & Sutton, 2010). Увођење допунских ограничења за тежине, односно ограничења помоћу којих се врши вредносна процена улаза и излаза доводи до сужавања или проширивања границе ефикасности (Savić, 2012).

Један од приступа у ограничавању тежина је потпуно ограничавање тежина. Њиме се спречава да одређени улази (излази) буду превише наглашени или, пак, игнорисани, приликом процене ефикасности. Ограничење је следећег облика:

$$D_i \leq v_i \leq G_i, \quad i = 1, \dots, m$$

Дат је пример за улаз, али исто важи и за излаз. Вредности D_i и G_i су дате од стране експерата тако што је процењена релативна значајност улазних и излазних фактора. Овај тип ограничавања тежина, најчешће се примењује када се жели спречити да неки улаз или излаз буде превише наглашен или пак игнорисан. Границе тежина одређених улазних и излазних параметара потпуно су независне. Главна препрека приликом примене овог типа ограничавања тежина налази се у дефинисању вредности тих граница. Оне могу произвести ситуацију где ДЕА модел неће имати допустиво решење, јер на пример, увођење доње границе за тежину једног улаза ограничава горњу границу укупних виртуелних тежина свих осталих улаза. Овај тип ограничавања тежина је осетљив на оријентацију ДЕА модела.

Други приступи ограничавању тежина се ослањају на однос између (Thompson et al., 1990):

- улазних и излазних тежина, или излазних и излазних – региони сигурности првог типа (*Assurance Region of type I-API*) (Thompson et al., 1986; Zhu, 1996; Taylor et al., 1997);
- улазних тежина са излазним тежинама - региони сигурности другог типа (*Assurance Region of type II-APII*) (Thanassoulis et al., 1995).

API се користе када жели да се представи релативни редослед међу улазима/излазима. Појединачна ограничење се односе или на само један улаз или на само један излаз. Могу бити у следећем облику:

$$k_i v_i + k_{i+1} v_{i+1} \leq v_{i+2}$$

$$D_i \leq \frac{v_i}{v_{i+1}} \leq G_i$$

Такође, исто може да се напише и за излаз. При задавању коефицијента k_i и доње и горње границе D_i и G_i , неопходно је имати у виду да су они осетљиви на јединице мере улаза и излаза. У практичним применама за њихово задавање углавном су коришћена мишљења експерата. Горња или доња граница не мора нужно да буде задата, па се тако јављају и модели где је једна од њих искључена из ограничења. Када се тежине ограничавају АРІ приступом, ДЕА модел ће увек имати допустиво решење и постојаће бар једна ефикасна ДМУ (Thompson et al., 1990).

АРІ представља релацију међу тежинама одређених улаза и тежинама одређених излаза. Користи се када се у модел жели пресликати нека веза која постоји између улаза и излаза. Има следећи облик:

$$k_i v_i \leq u_r, \quad i = 1, \dots, m, \quad r = 1, \dots, s$$

Као и код АРІ коефицијент k_i се задаје од стране експерата и осетљив је на јединице мере улазних и излазних фактора. Зависно од дефинисане вредности коефицијента k_i , постоји могућност да дати модел неће имати допустиво решење. Калили и коаутори су предложили нелинеарни модел који у присуству АРІ ограничења увек даје допустиво решење (Khalili et al., 2010). Оба начина ограничавања тежина преко региона сигурности нису осетљива на оријентацију ДЕА модела.

Претходно описани приступи ограничавању тежина представљају вид директног ограничавања тежина. Насупрот, постоји и вид ограничавања виртуелних тежина.

Вонг и Бизли су предложили модел којим се уместо ограничавања стварних тежина, ограничавају виртуелне тежине излаза и/или улаза (Wong & Beasley, 1990). На тај начин би се избегао проблем осетљивости на јединице мере улаза и излаза који се јавља код директног ограничавања тежина, јер виртуелни улаз/излаз представља производ вредности улаза/излаза и најбоље тежине за тај улаз/излаз и он је бездимензионалан. Виртуелни улази и излази једне ДМУ откривају релативни допринос, односно „значајност“, сваког улаза и излаза у

њеној ефикасности. Што је већа вредност виртуелног улаза/излаза, то је и тај улаз/излаз значајнији у креирању ефикасности одређене ДМУ. Предложено ограничење има следећи облик:

$$D_i \leq \frac{v_i x_{ij}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq G_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n$$

Ограничење је представљено на примеру улаза, а исто важи и за излаз. У предложеном моделу границе се такође одређују од стране експерата. Модели у коме се налази ово ограничење у литератури се још називају и ГАР модели (*Global Assurance Region* - ГАР) (Yu, 2012; Galagedera, 2014) и осетљиви су на улазно-излазну оријентацију.

Мартић сматра да је за ограничавање тежина у ДЕА, најсмисленији приступ ограничавању виртуелних тежина јер он указује на значајност коју ДМУ, за коју се процењује ефикасност, додељује улазима и излазима (Martić, 1999). Такође, сматра да би се посебна пажња требала поклонити ограничењима која се односе на релацију између количника два излаза и количника два улаза.

Кук и Жу сматрају да не треба доделити исте границе за тежине за све ДМУ, већ да би оне требале да се разликују за одређене групе ДМУ (Cook & Zhu, 2008). Претпоставили су да у пракси, различите ДМУ, другачије вреднују одређене показатеље стога су предложили ЦАР-ДЕА модел (*Context-Dependent Assurance Regions* - ЦАР). Идеју су објаснили на примеру филијала банака где су формирали три групе филијала према значајности показатеља „време трансакције“, а све због локација где се те филијале налазе. Ли и коаутори су можда на разумљивијем примеру објаснили потребу за ЦАР-ДЕА моделом. За пример су узели Олимпијске игре, где се свака држава труди да освоји што већи број медаља (излази), а ефикасност се процењује на основу економске развијености државе (брuto друштвени производ). Тако, слабије развијене државе не праве велику разлику између тога да ли је освојена златна, сребрна или бронзана медаља, док је та разлика у боји одличја код богатијих земаља доста значајнија (Li et al., 2008).

Очигледно је да је и код директног, а и код виртуелног ограничавања тежина, изазов наћи границе за тежине. Уобичајено је да се те границе формирају на основу субјективне процене експерата. Два су позната приступа за процену граница:

1. двофазни поступак у решавању ДЕА модела - У првој фази треба решити ДЕА моделе без икаквих ограничења за тежинске коефицијенте. Да би се одредиле њихове границе које ће бити укључене у другу фазу, може се за одређени проценат одступити од екстремних вредности тежинских коефицијената или израчунати њихова средња вредност па онда дефинисати одступања од ње (Roll et al., 1991).
2. заснован према просечном улазном нивоу по јединици излаза - Овај поступак је развијен за процену ефикасности јединица које користе један улаз за производњу више излаза, или оних које имају један излаз и више улаза. Метода најмањих квадрата се примењује за процену просечног улазног нивоа по јединици излаза (или просечног излазног нивоа по јединици улаза). На основу разумног одступања од просечног нивоа могу се дефинисати границе за тежине (Dyson & Thanassoulis, 1988).

Због недостатка одговарајућег приступа у креирању граница за тежине настали су многи хибридни ДЕА модели.

Врло чест случај је хибридни АХП-ДЕА модел (*Аналитички Хијерархијски Процес* - АХП). АХП метода служи за избор и рангирање расположивих алтернатива (Saaty, 1977). Једна је од најпознатијих метода вишекритеријумског одлучивања, која омогућава флексибилност процеса одлучивања. Уз помоћ ње, доносиоци одлука могу да постављају приоритете и доносе одговарајуће одлуке узимајући у обзир не само квантитативна, већ и квалитативна становишта одлуке. Неки од радова који користе АХП методу за генерисање граница за тежине су (Shang & Sueyoshi, 1995; Zhu, 1996; Seifert & Zhu, 1998; Takamura & Tone, 2003). За случај када се границе процењују од стране већег броја експерата, предложен је ГА-ДЕА модел (*Генетски Алгоритам* - ГА) (Jain et al., 2015). Аутори сматрају да ће тако добијено решење увек бити допустиво. Мецит и Алп су предложили ЦОР-ДЕА (*Correlation* - ЦОР) модел који рачуна границе за тежине путем корелације.

На тај начин се узима у обзир и веза између показатеља, а границе за тежине се формирају на основу добијених коефицијената корелације (Mecit & Alp, 2013). Гонсалвес и коаутори су такође избегли да субјективна процена експерта има утицај на формирање тежина посредством ЦЦА-ДЕА модела (*Canonical correlation analysis* - ЦЦА) (Gonçalves et al., 2013). Они су ограничавали виртуелне тежине уз помоћ каноничке корелације (Hotelling, 1936).

3.3.3. Двостапни ДЕА приступ

Након процене ефикасности очекивано је да се постави питање зашто су неке ДМУ ефикасније од других. Таква информација је од значаја првенствено за доносиоце одлука а затим и за саму ДМУ која се посматра у односу на друге ДМУ истог система. Тако, рецимо, топ менаџмент једне банке може да сагледа пословање банке кроз њене филијале, односно да се запита да ли ефикасност филијале зависи од величине филијале, степена образовања менаџера филијале, региона у којој се филијала налази или пак, неког другог фактора. Такође је битно разлучити да ли добијене разлике у ефикасности представљају праву слику учинка једне филијале у односу на другу или су оне резултат тога што је одређени улаз или излаз изостављен из анализе. Поред тога, постоје одређени екстерни фактори који могу да утичу на резултате анализе тако што утичу на процес трансформације улаза у излазе, али нису уопште, или су у малој мери под контролом саме јединице одлучивања. Као пример, можемо да представимо један случај из праксе, где је топ менаџмент једне фирме за продају животног осигурања отворио две експозитуре са истим капацитетима и истим нивоом образовања запослених, једну на северу, а другу на југу земље. Експозитура на северу је радила много боље и остваривала већи профит, па се за њу са сматрало да је ефикаснија, док је експозитура на југу затворена и запослени су остали без посла. Међутим, уместо што су запослени у филијали добили отказе, топ менаџмент те фирме за продају осигурања је требао сам да поднесе оставке јер у обзир није узео социо-економске карактеристике људи у та два региона.

За горенаведени пример који се односи на ситуацију када постоје неки екстерни фактори који утичу на ефикасност ДМУ, а на које сама ДМУ нема

утицај, предложено је неколико начина да се они укључе у ДЕА анализу (Coelli et al., 2005).

Први начин се односи на ситуацију где се вредности екстерне променљиве могу скалирати од најмање до највише штетног утицаја на ефикасност. ДМУ се пореди само са оним ДМУ у скупу који има вредност екстерне променљиве мању или једнаку сопственој (Banker & Morey, 1986). Као пример, навешћемо систем где треба да се измери ефикасност киоска са штампом који се налазе на територији једног велеграда. Може се претпоставити да локација киоска има утицај на пословање, па се на основу тога може сматрати да је најпожељнија локација она у центру града, затим локација на градским станицама аутобуса и на крају да је локација у приградским насељима најмање пожељна. Ефикасност појединачних киоска би се мерила тако што би се за киоске који се налазе у приградским насељима, ефикасност гледала само у односу на друге киоске у приградским насељима. За киоск који се налази на градској станици аутобуса, ефикасност би се гледала у односу на остале киоске на станицама аутобуса и у односу на киоске који се налазе у приградским насељима. На крају, ефикасност киоска у центру града би се гледала у односу на све киоске који се налазе на територији тог града. Тако би се обезбедило да се не дође до ситуације где се поједини киосци пореде са неким другим киосцима који имају пожељнију локацију. Један од недостатака код овог начина је тај што се у оквиру њега у обзир може узети само једна екстерна променљива. Такође, треба узети у обзир да ће смањење посматраног скупа да доведе до тога да већи број ДМУ буде процењен као ефикасан, што смањује дискриминациону моћ анализе. На крају, да би се применио овај начин за узимање у обзир утицаја екстерне променљиве, унапред мора бити познато да ли вредности екстерне променљиве имају позитиван или негативан утицај и у којој мери. У датом примеру је претпостављено на основу интуитивне логике да је центар града најбоља локација за киоск са штампом, док, на пример предмет анализе може бити то да се утврди која то локација од те три најбоље утиче на њихову ефикасност.

Други начин се односи на ситуацију где није могуће једноставно препознати да ли одређена вредност екстерне променљиве има позитиван или

негативан утицај на ефикасност (Charnes et al., 1981). Пример за примену овог начина може бити ситуација када треба да се испита ефикасност банака једног тржишта на коме послују банке у приватном и банке у државном власништву. Ефикасност би се мерила тако што би се ДЕА метода прво применила на један подскуп који представља приватне, а затим и на други подскуп који представља државне банке. Пројектовале би се све вредности према њиховој граници ефикасности, а затим би се решавала ДЕА метода коришћењем пројектованих вредности. На крају проценила би се разлика у средњој вредности ефикасности та два подскупа. Овај начин, такође као и први начин, има недостатак у томе што се и код њега у обзир може узети само једна екстерна променљива, и такође ће произвести ситуацију да већи број ДМУ буде процењен као ефикасан. Осим тога, за примену овога начина екстерна променљива мора да буде категоријског типа.

Трећи начин се односи на директно укључивање екстерних променљивих у ДЕА модел било као улаза, било као излаза. Предност овог начина је што може да укључи више од једне екстерне променљиве. Недостатак је што оне морају да буду непрекидног типа и што треба унапред да се зна, исто као и код првог начина, да ли већа вредност променљиве означава већи негативни утицај или пак већи позитивни утицај на саму ефикасност.

Четврти начин представља тзв. двоетапни ДЕА приступ. Двоетапни је јер се одвија у две етапе:

- 1) решавање ДЕА модела на класичан начин уз помоћ датих улаза и излаза;
- 2) регресија добијених вредности ефикасности на екстерне променљиве.

Знак уз вредност коефицијента екстерне променљиве указује на то да ли променљива има позитиван или негативан утицај на ефикасност, а уз помоћ статистичких тестова може да се утврди јачина везе као и значајност између ефикасности и одређене екстерне променљиве. Неки аутори користе овај начин да би одредили смер утицаја екстерних променљивих које ће после да користе директно у ДЕА моделу (трећи начин). Приликом коришћења двоетапног ДЕА приступа треба имати у виду то да ако су променљиве које су коришћене у ДЕА моделу у великој корелацији са екстерним променљивима, резултат може да буде

пристрасан. Предности и разлози због којих се четврти начин препоручује као начин који је најпогоднији за укључивање утицаја екстерних променљивих у модел су следећи (Coelli et al., 2005):

- у обзир може да се узме више од једне екстерне променљиве;
- променљиве могу да буду и непрекидног и категоријског типа;
- не мора да се унапред претпоставља да ли променљива има позитиван или негативан утицај на ефикасност;
- помоћу статистичких тестова може да се утврди да ли екстерна променљива значајно утиче на ефикасност;
- лако се може израчунати;
- једноставан је и транспарентан.

Дакле, у сврху објашњавања разлика између ефикасности, често се користи двоетапни ДЕА процес. Прву етапу представља процена ефикасности, док другу етапу чине апостериори анализе путем статистичких тестова.

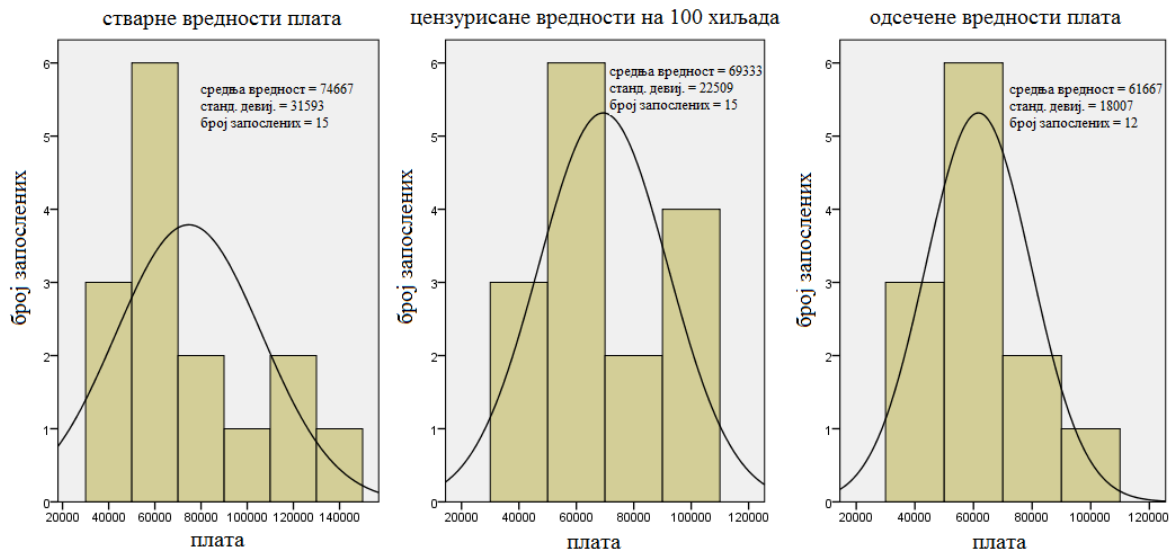
Уколико се ради о категоријским променљивима, које могу утицати на ефикасност (као на пример, регион, тип власништва, итд...) можемо користити непараметарски тест као што је Ман-Витнијев У тест, којим се пореде медијане два независна узорка.

За испитивање да ли скуп непрекидних променљивих може да објасни разлику која се јавља у ефикасности најчешће се користи линеарна регресија. Два најчешће коришћена регресиона модела у ту сврху су:

- 1) Линеарна регресија методом најмањих квадрата (ОЛС);
- 2) Тобит метода (Tobin, 1958).

Хоф је у своме раду закључио да се обе методе успешно могу применити у другој етапи ДЕА методе (Hoff, 2007). Међутим, већина аутора који користе двоетапни ДЕА приступ склонији су коришћењу Тобит методе приликом регресије (McDonald, 2009). Разлог за то лежи у самој сржи Тобит методе, која представља тип регресије са ограничењем која одређује однос зависне променљиве y_i и независних променљивих x_i .

Треба направити разлику између одсечених и цензурисаних регресионих модела. Тобит метода представља цензурисани регресиони модел. То значи да се може поставити горња (или доња) граница којом ће се све вредности које се налазе изнад (или испод) те границе свести на вредност те границе. Дакле, стварна вредност, може бити и већа (или мања) од те постављене вредности. Линеарна претпоставка регресије се задржава и нема искључивања одређених случајева из узорка. Да би се ближе појаснило наведимо следећи пример: У једној приватној фирми анализиране су плате запослених. Подаци о платама су јавно доступни и одређују се на основу коефицијената радног места и стажа, па је тако могуће за сваког запосленог у фирми израчунати његову годишњу плату. Међутим, постоји неколико особа за које се не зна тачан коефицијент јер не подлежу категоризацији и њихова плата није јавно доступна (цензурисана је), али је познато да је она већа чак и од директора фирме који према категоризацији има највећу плату. У сврху одређене анализе, уместо да се они искључе из анализе, за њихове плате, узела би се вредност највеће плате, односно вредност коју има директор фирме. Уколико би пак, анализом желели да се обухвате само запослени чије су плате познате онда би се радило о одсеченом узорку и у сврху анализа користили би се одсечени модели. Стога је јасно да одсечени модели носе већи губитак информација него цензурисани. Цензурисањем се у одређеној мери губе подаци на зависној променљивој, док су подаци о независним променљивим познати. Одсецањем се губе подаци и на страни зависне и на страни независне променљиве. На слици 7 је представљена разлика између стварних, цензурисаних и одсечених података.



Слика 7. Хистограмски приказ разлике између стварних, цензурираних и одсечених података

Стандардан облик Тобит модела је такав да је зависна променљива y_i цензурирана улево на вредности нула и дефинисана (Tobin, 1958):

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i$$

$$y_i = \begin{cases} 0 & \text{за } y_i^* \leq 0 \\ y_i^* & \text{за } y_i^* > 0 \end{cases}$$

где i представља број посматрања, y_i^* је латентна променљива, x_i' је вектор екстерних променљивих, β је вектор непознатих параметара, а ε_i представља случајну грешку и важи $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

Често је потребно одредити неку границу a различиту од нуле, испод које се не посматрају вредности латентне променљиве y_i . Тада имамо следећи модел:

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i$$

$$y_i = \begin{cases} a & \text{за } y_i^* \leq a \\ y_i^* & \text{за } y_i^* > a \end{cases}$$

Слично важи и за неку вредност b , изнад које се не посматрају вредности латентне променљиве y_i . Тада се ради о цензурисању удесно и имамо следећи модел:

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i$$

$$y_i = \begin{cases} y_i^* & \text{за } y_i^* < b \\ b & \text{за } y_i^* \geq b \end{cases}$$

Пошто зависна променљива може бити цензурисана улево, удесно, или пак и улево и удесно, неопходно је поставити генерализовани Тобит модел. Такав модел се назива цензурисани регресиони модел а горња и доња граница зависне променљиве може бити било који број (Henningsen, 2010):

$$y_i^* = x_i' \beta + \varepsilon_i$$

$$y_i = \begin{cases} a & \text{за } y_i^* \leq a \\ y_i^* & \text{за } a < y_i^* < b \\ b & \text{за } y_i^* \geq b \end{cases}$$

Уколико ја $a = -\infty$ зависна променљива је само цензурисана удесно, а за $b = \infty$, само улево.

Услед горе наведене особине цензурисаних регресионих модела и разлога што се ефикасност мери на скали између 0 и 1, Тобит је погодан за регресију ДЕА резултата. Дакле, за све те ефикасне ДМУ се подразумева да су ограничене одозго на вредност 1, а одоздо на вредност 0. Уз помоћ методе максималне веродостојности оцењује се вектор непознатих параметара β . Функција веродостојности гласи:

$$L = \prod_{y_i=0} P(y_i = 0) \prod_{y_i=1} P(y_i = 1) \prod_{0 < y_i < 1} P(y_i | 0 < y_i < 1)$$

Међутим, у пракси се углавном не дешава да ДЕА метода процени ефикасност неке ДМУ да је једнака нули, па стога када се Тобит примени на ДЕА први производ из горње формуле ће бити изостављен. Дакле, када говоримо о Тобит моделима који се користе у другој етапи код ДЕА, говоримо о регресионом Тобит моделу цензурисаном удесно. У случају када ДЕА метода не би оценила ниједну ДМУ као ефикасну, онда би и други производ био изостављен па би се Тобит свео на ОЛС (McDonald, 2009).

Треба напоменути да се поједини аутори, за поједине ситуације, не слажу са називом цензурисани регресиони модели (Wooldridge, 2010). Уместо тога предлаже се назив „модел угаоног решења“. То се односи на оне ситуације где се решава неки оптимизациони проблем па ће за одређене ДМУ оптимално решење представљати ту тзв. „граничну вредност“. За такве ситуације проблем не представља недоступност података, већ смо заинтересовани за карактеристике расподеле зависне променљиве y за дато x . У такву ситуацију спадају и ДЕА резултати.

Већина аутора који су се бавили мерењем ефикасности ентитета и утицајем екстерних променљивих на њих, су двоетапну ДЕА методу спроводили на класичан начин: прво се решава ДЕА модел, а затим се врши регресија добијених вредности ефикасности на екстерне променљиве, које нису биле укључене у ДЕА модел. Симар и Вилсон (СВ) су 2007 године објавили рад (Simar & Wilson, 2007) у коме су представили нов начин за процену утицаја екстерних променљивих на ефикасност. Тај рад је изазвао велику пажњу и њихова метода временом постаје све популарнија и најчешће коришћена при решавању двоетапне ДЕА. Њихова идеја је била да превазиђу проблем корелације вредности ДЕА ефикасности који се јавља употребом класичне двоетапне ДЕА методе. Нови приступ се заснива на реузорковању, и предложена су два алгорита: један који укључује једноструко реузорковање и други где се јавља двоструко реузорковање. СВ алгоритам 1 се спроводи на следећи начин (Simar & Wilson, 2007; Barros & Assaf, 2009):

1. Израчунати ефикасност ($\hat{\delta}_i$) за сваки ентитет преко ДЕА методе (имамо n ентитета);
2. Методом максималне веродостојности наћи оцену $\hat{\beta}$ за непознати параметар β преко одсеченог регресионог модела користећи само оне вредности чија је ефикасност мања од 1 (таквих вредности има m ; $m < n$);
3. Поновити следећа три корака B пута да би се добио скуп реузоркованих оцена $\{(\hat{\beta}_b^*, \hat{\sigma}_b^*, b = 1, \dots, B)\}$;

- a. за свако $i = 1, \dots, m$, наћи ε_i из стандардизоване нормалне расподеле одсечене удесно за $(1 - \hat{\beta}z_i)$, где је z вектор екстерних променљивих;
 - b. поново, за свако $i = 1, \dots, m$, израчунати $\delta_i^* = z_i \hat{\beta} + \varepsilon_i$;
 - c. користити опет методу максималне веродостојности да се оцени одсечена регресија δ_i^* на z_i чиме се добијају вредности $(\hat{\beta}^*, \hat{\sigma}^*)$;
4. Користећи реузорковане и оригинале оцене параметара $\hat{\beta}, \hat{\sigma}$, направити интервале поверења за дате параметре.

СВ алгоритам 2 се разликује од првог алгоритма, тако што се код њега реузорковање врши и у првој етапи, односно он у обзир узима и пристрасност која се јавља при ДЕА оцени ефикасности, па се уз помоћ њега могу креирати и интервали поверења за вредности ефикасности.

4. Модели мултиваријационе анализе и реузорковање

С обзиром да улаз и излаз обично зависе од више променљивих, често нисмо у могућности да у потпуности сагледамо сложену природу неког система. Мултиваријационим статистичким техникама се успешно решавају они проблеми где постоји много променљивих које могу имати различите степене корелације (Коваčić, 1994) и оне су погодне за смањивање броја променљивих, интегришући их у једну или мањи број променљивих које мењају изворне променљиве. У ту сврху се најчешће користе факторска анализа и анализа главних компоненти.

Једна од мултиваријационих статистичких метода којом се решава проблем укључивања већег броја променљивих у један синтетички показатељ је Ивановићево одстојање (Ivanović, 1977; Jeremić et al., 2011). Особина тог новог показатеља је да садржи максимум информација о посматраној појави, без дуплирања информација.

4.1. Ивановићево одстојање

За мерење учинка ентитета и успостављање међусобних односа између сложених појава (система) могу се користити различите променљиве, где свака променљива даје делимичну представу величине појаве. Основно питање и дефиниција проблема је да ли се комбиновањем тих променљивих из скупа X , може формирати један потпунији индекс за мерење учинка ентитета. Ако би се радило о мерљивој величини, могла би се установити редоследна класификација посматраног скупа према „величини“, тј. могао би да се успостави ранг, а уједно и међусобни односи између ентитета. Ако је фактор F мерљива величина и ако се њена вредност израчунава преко скупа обележја X , могуће је одредити ранг листу елемената скупа P у односу на F (Ivanović, 1977; Bogosavljević, 1997).

Међутим, постоје бројне препреке које отежавају конструкцију једног таквог индекса. Статистичка обележја величине ентитета исказана су у различитим јединицама мере, тако да се не може говорити о одређивању једног синтетичког броја који би на један апсолутни начин исказивао „величину“. Зато би се у скупу посматраних ентитета могао одредити један глобални индекс „величине“ једино као релативни однос тог ентитета према осталим ентитетима посматраног скупа (Radojičić et al., 1995).

Такође, нека обележја садрже већу, а нека мању количину информације о величини ентитета, тако да сва обележја немају исти значај. Поставља се питање како извршити избор обележја и на који начин их вредновати како би се избегло да нека од њих добију сувише велики значај. Исто тако, треба водити рачуна о варијабилитету сваког обележја (Birch, 1964; 1965). Када обележје, у посматраном скупу ентитета, има мању варијансу, тада је и одступање између два ентитета у оквиру тог обележја значајније. Такође, информација коју пружа једно обележје, биће делимично садржана и у укупној информацији коју пружају остала обележја (Bogosavljević, 1984).

Означимо са $X = x_1, x_2, \dots, x_k$ изабрани скуп обележја, а са $E = e_1, e_2, \dots, e_n$ скуп ентитета које упоређујемо. Уочимо ма која два ентитета e_r и e_s и упоредимо њихове одговарајуће вредности свих обележја из X . Ако су све разлике тих

вредности једнаке нули, нема разлога да тврдимо да постоји нека разлика у „величини“ између ова два ентитета. Та ситуација се може променити ако се уведу нова обележја.

У пракси није могуће конструисати један глобални индекс којим би се на један апсолутни начин исказивала „величина“ ентитета. Међутим, може се утврдити релативна позиција одређеног ентитета у односу на остале ентитете посматраног скупа E . На тај начин дефинишемо појам који представља „одстојање“ између два ентитета у односу на њихову „величину“.

Нека је $D(r, s)$ одстојање између ентитета e_r и e_s . Сваки ентитет могуће је представити тачком у n -димензионалном простору. Како би тај простор био метричан, $D(r, s)$ би требало да задовољи неколико претпоставки (Ivanović, 1977; Jeremić, 2012): ненегативност, комутативност, триангуларност, услов хомогености, услов раста, услов варијабилитета, анулирање дуплицитета у информацији, услов асиметрије, услов независности, услов линеарне зависности, услов независних група, независност од почетка и технички услов.

За одређени вектор променљивих $X^T = (X_1, X_2, \dots, X_k)$ који описују посматране ентитете, И-одстојање између два ентитета $e_r = (x_{1r}, x_{2r}, \dots, x_{kr})$ и $e_s = (x_{1s}, x_{2s}, \dots, x_{ks})$ се дефинише као:

$$D(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{|d_i(r, s)|}{\sigma_i} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{ji.12\dots j-1})$$

где $d_i(r, s) = x_{ir} - x_{is}$ представља одстојање између вредности променљивих X_i ентитета e_r и e_s (тј. дискриминациони ефекат), σ_i представља стандардну девијацију од X_i , а $r_{ji.12\dots j-1}$ је парцијални коефицијент корелације између X_i и X_j , ($j < i$), $i \in \{1, \dots, k\}$ (Jeremić, 2012).

Важно је истаћи да метода И-одстојања не захтева стандардизацију података. Овакав приступ се показао као успешан приликом превазилажења проблема насталих услед различитих мерних јединица.

У литератури (Išljamović et al., 2015) често се користи квадратно И-одстојање које је дато са:

$$D^2(r, s) = \sum_{i=1}^k \frac{d_i^2(r, s)}{\sigma_i^2} \prod_{j=1}^{i-1} (1 - r_{j,12\dots j-1}^2)$$

У циљу рангирања ентитета, неопходно је да постоји један ентитет који ће се поставити као референтни у посматраном скупу, јер се рангирање ентитета у скупу базира на основу израчунатог одстојања од референтног ентитета (Jeremić et al., 2011, Vulajić et al., 2013). У пракси се најчешће користи фиктивни ентитет са најмањом вредношћу за сваки показатељ.

Идеја Ивановића је да се кроз итеративно-инкрементални процес укључивања променљивих избегне дуплицитет информација, и на тај начин И-одстојање пружа објективни приступ процесу рангирања. Редослед укључивања променљивих у образац за израчунавање И-одстојања иницијално није био прецизно дефинисан. Јеремић је дао оквир за дефинисање редоследа променљивих, који се заснива на суми апсолутних корелација (Jeremić, 2012). На тај начин се смањује број итерација методе и добијено решење је значајно прецизније.

Показано је да метода И-одстојања може да се користи и као основа за рачунање ефикасности, уколико би се одвијала у четири етапе (Jeremić, 2012). Прво је неопходно дефинисати које се то променљиве сматрају улазним, које излазним, а затим се:

1. над улазним променљивим спроводи метода И-одстојања и добија се вредност $I - distance_{input}$;
2. над излазним променљивим спроводи метода И-одстојања и добија се вредност $I - distance_{output}$;
3. добијене вредности се нормализују;
4. ефикасност сваког ентитета се рачуна преко формуле:

$$EFF = \frac{I - distance_{outputNorm}}{I - distance_{inputNorm}}$$

Сваки ентитет који има вредност ефикасности већи или једнак 1, сматра се ефикасним. Представљена метода је названа Ивановић-Јеремић анализа заснована на одстојању (*Distance Based Analysis* - ДБА). Неки од радова који су обрадили овај приступ рачунања ефикасности су дати у табели 3.

Табела 3. Преглед радова са ДБА методом

Рад	Област примене
(Jeremic et al., 2012)	Здравствени системи ЕУ чланица
(Radovanović et al., 2013)	Кошаркаши НБА лиге
(Jayaraman et al., 2013)	Банке Индије
(Bulajic et al., 2013)	Банке Србије
(Jeremic et al., 2014)	Универзитети у САД
(Dobrota et al., 2015a)	Образовни системи држава

4.2. Реузорковање

У литератури се, у скорије време, све чешће јавља потреба за валидацијом коришћеног модела за рачунање ефикасности. Било да је реч о ДЕА моделима или о неким другим моделима за процену ефикасности, пред истраживаче је постављен изазован задатак да своје резултате потврде коришћењем неких од статистичких тестова. ДЕА као детерминистичка метода не омогућава да се на једноставан начин тестирају полазне хипотезе. Међутим, у претходних двадесетак година дошло је до значајнијег помака и на том пољу, па сада неретко наилазимо на радове где се након спроведене анализе ефикасности, извршава неки апостериори тест.

Боgettoft и Ото наводе неке од ситуација за које је неопходно тестирати одређене хипотезе и дефинисати интервале поверења засноване на ДЕА моделима (Bogetoft & Otto, 2010):

- тестирање претпоставки које се односе на изградњу модела, као што је претпоставка о приносу на обим;
- тестирање техничке и алокативне ефикасности групе ДМУ;
- тестирање значајних улаза и излаза;
- тестирање разлике између различитих група ДМУ у смислу ефикасности;
- тестирање да ли ефикасност зависи од екстерних фактора.

Постоје три начина да се спроведе тестирање:

1. коришћењем непараметарских тестова;
2. коришћењем параметарских тестова;
3. коришћењем метода реузорковања.

Методе реузорковања су лако применљиве на широку лепезу предметних области јер омогућавају да се брзо и са минимумом математичких претпоставки изведу поуздани статистички закључци. Основна идеја је да се на основу информација из једног узорка донесу закључци о карактеристикама целог скупа. Међутим, иако су једноставне, оне захтевају велики број прорачуна. О њима се почело говорити тридесетих година двадесетог века, али праву примену и већу популарност стичу тек са појавом модерних рачунара (Good, 2012). Због тога се може рећи да реузорковање представља „брак између рачунара и статистике“ (Rudner & Shafer, 1992).

Дакле, методама реузорковања се из једног оригиналног узорка генерише велики број нових узорака и за сваки тај нови узорак рачуна се потребна статистика. На крају се на основу добијених вредности статистика, формира реузоркована расподела која представља апроксимацију узорачке расподеле. Оригинални узорак се посматра као популација, па би због тога он требао да буде репрезентативан, односно да представља популацију из које је узет, иначе се може доћи до погрешних закључака.

Интересантно је да је један од главних заговорника коришћења метода реузорковања у статистици био економиста, а не статистичар, Џулијан Симон. Он је уочио да студенти користе погрешне статистичке тестове приликом анализе података из разлога што поседују превише теоријског знања, а мало разумевања материје (Simon & Bruce, 1991). Залагао се за то да истраживач прво треба да размисли о томе шта чини неки резултат статистички значајним. Управо то се постиже методом реузорковања. Студентима је на предавањима постављао различита питања мотивишући их да на експериментални начин дођу до решења. Симонова идеја је била да студенти путем симулације реалног проблема дођу до тачног решења. На основу експеримената, где су студенти били подељени у групе где је једна група учила статистику на конвенционалан начин (ГК), а друга поред конвенционалног и путем метода реузорковања (ГКР), дошао је до закључака да

су студенти из групе ГКР имали далеко позитивнији став према курсу из статистике и да су успели да ураде много више постављених задатака него студенти из групе ГК, бирајући притом да те проблеме реше методама реузорковања.

У неком смислу, методом реузорковања статистика се враћа својим коренима, јер се закључци доносе на основу тога шта се дешава када се поступак понавља велики број пута. Уз помоћ рачунара тај поступак понављања је могуће извести и на десетине хиљада пута, за врло кратко време. На тај начин обезбеђујемо да количина варијабилитета буде што мања. Предности метода реузорковања су мањи број претпоставки, већа прецизност, уопштеност и разумевање (Hesterberg et al., 2005).

Најпознатија критика везана за методе реузорковања је она коју је 1991. године изнео Финберг који каже: „покушавате да ни од чега добијете нешто. Исте бројеве користите више пута, све док не добијете одговор који не можете да добијете на неки други начин. Да би сте до извели морате да претпоставите нешто, због чега касније можете да се кајете“ (Peterson, 1991). Међутим, иако методе реузорковања не могу да се примене на све статистичке проблеме, ипак оне изванредно добро раде у великом броју ситуација и опасност од злоупотребе је мања у поређењу са корисношћу које доносе (Efron, 1982).

У даљем тексту ће укратко бити представљене најчешће методе реузорковања са својим предностима и недостацима.

Пермутациони тестови су тестови значајности који су засновани на пермутацијама које су формиране на случајан начин из оригиналног узорка. Пермутациони тестови су реузорци без замене. Могу се користити само онда када можемо креирати нове узорке тако да буду у складу са нултом хипотезом. Први пут их сусрећемо у радовима Фишера и Питмана (Fisher, 1937; Pitman, 1937). Пермутациони тестови се спроводе тако што се прво анализира проблем и дефинишу се нулта и алтернативна хипотеза и расподела из које долазе подаци и губици уколико се донесе погрешна одлука. Затим се бира тест статистика којом ће се направити разлика између нулте и алтернативне хипотезе. Након тога се

израчунава тест статистика за оригиналне податке. У следећем кораку се врши пермутација и израчунава се тест статистика за све њих. На крају се доноси одлука о одбацавању или прихватању нулте хипотезе на основу поређења тест статистике оригинала и пермутација. Предност пермутационих тестова је та што постоје за сваку тест статистику без обзира да ли је њена расподела позната и то што смо у могућности да изаберемо ону статистику која прави највећу разлику између нулте и алтернативне хипотезе. Недостатак је тај што су они применљиви само када нулта хипотеза означава одговарајућу групу пермутација под којом расподела остаје непромењена.

Унакрсна валидација (енгл. „cross-validation“) се користи за оцену тачности предиктивног модела. У свакој итерацији, један део расположивих опсервација се издваја за тренирање модела, док остатак служи за његово тестирање. Коначна оцена прецизности предвиђања добија се рачунањем просечних вредности резултата добијених вишеструким понављањем поступка за различите поделе оригиналног узорка (Stone, 1977; Geisser 1993). Разликујемо два типа унакрсне валидације - исцрпну унакрсну валидацију и неисцрпну унакрсну валидацију. Исцрпна унакрсна валидација је када се тренира и тестира на свим могућим начинима поделе оригиналног узорка. Један од типова унакрсне валидације је „ k унакрсна валидација“. Расположиви узорак се подели на k међусобно различитих скупова исте величине. Модел се генерише користећи $k-1$ скуп, а на преосталом скупу се модел тестира. Поступак се понавља k пута, тако да је сваки скуп по једном у улози скупа над којим се модел тестира. Уколико је број скупова k , једнак броју елемената у узорку онда се ради од појединачној унакрсној валидацији (енгл. „leaving-one-out cross validation“).

„Перорез“ метода (енг. „jackknife“) користи делове скупа података да процени својство статистичке оцене добијене из целог узорка. Предложена је од стране (Quenouille, 1949) да би се проценила пристрасност непознатог параметра расподеле, али је касније проширена од стране (Tukey, 1958) који је утврдио да је метода погодна за добијање поузданијих оцена варијансе као и интервала поверења и дао јој име по којем је она и данас позната. Метода функционише тако што се из оригиналног узорка величине n изоставља по један елемент и онда се за

те нове узорке који су величине $n-1$ рачуна одређена статистика, да би се на крају пронашла аритметичка средина тих статистика која представља оцену параметара. Ово мало подсећа на појединачну унакрсну валидацију, али је разлика у томе што она рачуна статистику на избаченом узорку, док „перорез“ метода рачуна статистике само на задржаним узорцима. Треба нагласити да метода „перорез“ има и свој општији облик где се уместо изостављања једног елемента, изоставља већи број њих. Уколико је n мале величине интервали поверења могу бити непоуздани.

Оцена параметара „перорез“ методом, на примеру средње вредности изгледа овако:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n x_j, \quad i = 1, \dots, n.$$

Дакле, рачуна се аритметичка средина \bar{x}_i за сваки подузорак који садржи све сем i -тог елемента. Из тако n добијених аритметичких средина добија се просечна вредност која представља средњу вредност целе популације (Efron, 1982):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x}_i.$$

За процену пристрасности оцене неког параметра $\hat{\theta}$ имамо:

$$\hat{\theta}_{(\cdot)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\theta}_{(i)},$$

где је $\hat{\theta}_{(i)}$ оцена базирана на узорку без i -тог елемента, а $\hat{\theta}_{(\cdot)}$ представља просек тих оцена. Пристрасност (\widehat{Bias}) оцене $\hat{\theta}$ „перорез“ методом је дата са:

$$\widehat{Bias}_{(\theta)} = (n-1)(\hat{\theta}_{(\cdot)} - \hat{\theta}),$$

што резултује да имамо кориговану оцену параметра θ :

$$\hat{\theta}_c = n\hat{\theta} - (n-1)\hat{\theta}_{(\cdot)}.$$

Бутстрап (енгл. „bootstrap“) метода је предложена 1979. године од стране Бредлија Ефрона. Идеја је била да се објасни „перорез“ метода преко примитивније методе која би могла да се примени на шири спектар проблема. Као пример се наводи то да бутстрап метода тачно оцењује варијансу узорка, што је познато да „перорез“ метода не успева. Такође је показано да бутстрап метода надмашује и методу унакрсне валидације (Efron, 1992). Сам назив методе потиче од енглеског израза „to pull yourself up by your own bootstraps“, што у преводу значи „извући сам себе повлачењем каиша на сопственим чизмама“. Аутор је сматрао тај израз погодним јер се на једноставан начин можемо извући из проблема без ослањања на помоћ са стране.

Бутстрап методом се случајним бирањем са заменом из оригиналног узорка креира велики број нових узорака који су обично исте величине као и оригинални узорак. То значи да сваки елемент има једнаку вероватноћу да се нађе у новом узорку и да неки од њих могу да се појаве више пута, а неки ниједном. За разлику од „перорез“ методе која најчешће рачуна стандардну грешку статистике, бутстрап поред тога налази и расподелу тражене статистике (Efron, 1987). Та расподела је емпиријска и не ослања се ни на какве полазне претпоставке. На основу ње закључујемо о узорачкој расподели, а на основу њених добијених вредности могу да се израчунају интервали поверења за параметар који се оцењује. Такође, те вредности могу и да послуже за тестирање статистичких хипотеза. Разлика између бутстрапа и пермутационих тестова је та што пермутациони тестови тестирају хипотезе које се односе на расподелу, а бутстрап тестира хипотезе које се односе на параметре. Стога, бутстрап подразумева блаже претпоставке (Good, 2012). Бутстрап метода се успешно примењује на ситуације када имамо мали узорак или када подаци немају нормалну расподелу.

Подузорковање је такође једна од метода реузорковања, слична бутстрапу. Главна разлика му је та што је величина нових узорака мања од оригиналног и што се реузорковање обавља без замене, односно, у новом узорку не могу се наћи дубликати елемената (Politis & Romano, 1994). Предност ове методе је да она важи при много слабијим условима него бутстрап.

Дакле, као што је већ речено бутстрап је погодан за оцену стандардне грешке статистике, процену пристрасности и креирања интервала поверења.

Нека је $X = (X_1, \dots, X_n)$ случајан узорак величине n , а $\hat{\theta}$ је оцена параметра популације θ . Да би се оценила стандардна грешка оцене $\hat{\theta}$ генерише се P независних бутстрап узорака x_1^*, \dots, x_p^* , на основу оригиналног узорка. За сваки од њих израчунава се вредност тражених параметара $(\hat{\theta}_1^*, \dots, \hat{\theta}_j^*)$ на исти начин као што је рачунато за $\hat{\theta}$ (Efron, 1981):

$$\hat{\theta}_j^* = \hat{\theta}(x_j^*) \quad j = 1, \dots, P .$$

На крају се израчунава стандардна девијација бутстрап расподеле која представља стандардну грешку оцене $\hat{\theta}$:

$$se_B(\hat{\theta}) = \left[\frac{1}{P} \sum_{j=1}^P (\hat{\theta}_j^* - \hat{\theta})^2 \right]^{\frac{1}{2}} .$$

За $\hat{\theta}$ се може рећи да представља непристрасну оцену непознатог параметра θ , само онда када и његово математичко очекивање има вредност θ :

$$E(\hat{\theta}) = \theta$$

Међутим, у пракси често то није тако, па се тежи израчунавању те пристрасности оцене како би смо могли да коригујемо ту оцену. Дакле, пристрасност представља разлику између очекиване вредности оцене $\hat{\theta}$ и параметра θ :

$$Bias = E(\hat{\theta}) - \theta .$$

Пристрасност се бутстрап методом оцењује на следећи начин. Као и код рачунања бутстрап стандардне грешке, генерише се P независних бутстрап узорака x_1^*, \dots, x_p^* , на основу оригиналног узорка. За сваки од њих израчунава се

вредност тражених параметара $(\hat{\theta}_1^*, \dots, \hat{\theta}_j^*)$ преко $\hat{\theta}_j^* = \hat{\theta}(x_j^*)$, $j = 1, \dots, P$.

Математичко очекивање је представљено као:

$$\hat{\theta}_{(\cdot)}^* = \frac{1}{P} \sum_{j=1}^P \hat{\theta}_j^*,$$

па из тога следи да је (Simar & Wilson, 1998):

$$\widehat{Bias}_B = \hat{\theta}_{(\cdot)}^* - \hat{\theta},$$

где добијамо да је коригована оцена

$$\hat{\theta}_c = \hat{\theta} - \widehat{Bias}_B,$$

што се може представити и преко:

$$\hat{\theta}_c = 2\hat{\theta} - \hat{\theta}_{(\cdot)}^*$$

Бутстрап метода се примењује и за одређивање интервала поверења. Најпознатији бутстраповани интервали поверења у литератури су (Efron, 1981; Hall, 1988; Davison & Hinkley, 1997):

- перцентил интервал – у новим узорцима се рачуна вредност статистика и на основу перцентиала расподеле се одређује интервал;
- бутстрап- t интервал - у новим узорцима се рачуна вредност статистика, које су стандардизоване и на основу перцентиала расподеле се одређује интервал;
- БЦа (bias-corrected and accelerated - BCa) интервал – за израчунавање перцентиала користи се константа акцелерације и корекција пристрасности (Efron, 1987);
- АБЦ (approximate bootstrap confidence - ABC) интервал – прво се модификује статистика а затим се делта методом апроксимације оцењује њена стандардна грешка (Di Ciccio & Efron, 1992).

Поред класичног бутстрапа (у литератури познатог и као „наивни бутстрап“) развијен је и тзв. „углађени“ бутстрап (Silverman & Young, 1987). Идеја је да се избегну скокови у расподели, који могу да се јаве услед

реузорковања са заменом. Уколико желимо да реузоркујемо неки узорак (x^1, \dots, x^k) , за $r = 1, \dots, K$ бира се k на случајан начин са заменом из $\{1, \dots, K\}$, генерише се ε из стандардизоване нормалне расподеле и постави се да је $z^r = x^k + h\varepsilon$ где h представља параметар углађености. На тај начин се добија узорак (z^1, \dots, z^k) , који није прави узорак из оригиналног узорака (x^1, \dots, x^k) , већ представља „углађени“ узорак. Његова расподела је нормална расподела са варијансом h^2 .

Број репликација у бутстрап методи реузорковања зависи од проблема на који се бутстрап примењује. Ограничавајући фактор представља и време рада рачунара и трошкови који се при томе јављају. Идеална бутстрап процена би била она када број репликација тежи бесконачности (Efron & Tibshirani, 1993), али с обзиром да број репликација мора да буде коначан, аутори су нагласили да је за процену стандардне грешке довољно и 25 репликација, док би за процену пристрасности и интервала поверења тај број требао да износи бар 1,000.

4.2.1. Реузорковање у ДЕА

Као што је и раније наведено, методе реузорковања се користе и у ДЕА методи. Због својих карактеристика у ДЕА модел није могуће укључити дуплиране ентитете, па због тога није могуће користити реузорковање са заменом. Дакле, или се реузоркује без замене где нови узорци могу да садрже фиксан број ентитета (који је мањи од броја ентитета у оригиналном узорку) или се узоркује за заменом где се дуплирани ентитети изостављају па број ентитета у новим узорцима варира од узорака до узорака. Постоје два начина реузорковања у ДЕА:

- 1) прво спровести ДЕА методу и након добијених резултата ефикасности, реузорковати их, да би се добиле тражене оцене;
- 2) реузорковање основног узорака и над сваким реузорком спровести ДЕА методу.

Оба ова начина имају своје недостатке. Први доводи до тога да се сматра да је разлика у ефикасности између ентитета случајна јер сви долазе из исте

расподеле, што значи да неефикасност није повезана ни са улазима ни са излазима, што није прихватљив закључак. Други доводи до тога да се поједини ентитети неће наћи у неком од нових узорака, па стога ако би им се рачунала ефикасност добио би се резултат већи од 1, што је такође неприхватљиво (Bogetoft & Otto, 2010). Дакле, како ни један од два начина класичног реузорковања није задовољавајући предложен је алгоритам за реузорковање у ДЕА који се заснива на корекцији пристрасности и коришћењу углађеног бутстрапа (Simar & Wilson, 1998).

Приступ који су развили Симар и Вилсон знатно се разликује од горенаведених. Уместо реузорковања ентитета, посматрани улази се на случајан начин коригују уз помоћ једне случајно изабране вредности ефикасности која се добија из оригиналног узорка. Даље се тој вредности ефикасности додаје стандардна грешка како би имали „углађени“ бутстрап. Овај приступ подразумева да чак иако се над свим ентитетима неког система спроводи ДЕА анализа, постоји пристрасност приликом оцене ефикасности због занемарених „непостојећих“ ентитета. Ти „непостојећи“ ентитети се посматрају као „потенцијално“ постојећи. Алгоритам се спроводи кроз следеће кораке (Behr, 2015):

1. добити бутстрапован узорак величине n $\{\theta_1^*, \dots, \theta_k^*, \dots, \theta_n^*\}$ из симетричног скупа вредности ефикасности оригиналног узорка $\{\hat{\theta}_1, \dots, \hat{\theta}_k, \dots, \hat{\theta}_n, 2 - \hat{\theta}_1, \dots, 2 - \hat{\theta}_k, \dots, 2 - \hat{\theta}_n\}$ преко узорковања са заменом;
2. изабрати оптимални параметар углађености h за скуп вредности $\{\hat{\theta}, 2 - \hat{\theta}\}$;
3. генерисати ε из стандардизоване нормалне расподеле величине n и израчунати $\tilde{\theta}_k = \theta_k^* + \varepsilon_k$;
4. стандардизовати бутстрап вредности ефикасности:

$$\tilde{\theta}_k^* = \bar{\theta} + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{h^2}{\hat{\sigma}_{\hat{\theta}}^2}}} (\tilde{\theta}_k - \bar{\theta}),$$

са

$$\hat{\theta} = \frac{1}{2n} \sum_{k=1}^n (\tilde{\theta}_k + (2 - \hat{\theta}_k)) = 1$$

и

$$\hat{\sigma}_{\hat{\theta}}^2 = \frac{1}{2n-1} \sum_{k=1}^n \left[(\hat{\theta}_k - \bar{\theta}_k)^2 + ((2 - \hat{\theta}_k) - \bar{\theta}_k)^2 \right];$$

5. ограничити бутстраповану вредност ефикасности да буде ≥ 1 :

$$\tilde{\theta}_k^{**} = \begin{cases} \tilde{\theta}_k^*, & \tilde{\theta}_k^* \geq 1 \\ 2 - \tilde{\theta}_k^*, & \text{иначе} \end{cases};$$

6. генерисати вештачке улазе за бутстраповани узорак $x_k^* = \frac{x_k \hat{\theta}_k}{\tilde{\theta}_k^{**}}$;

7. израчунати бутстрап ДЕА вредност ефикасности $\hat{\theta}^*$ користећи оригиналне излазе y и улазе x и вештачке бутстрап улазе x^* као референцу улаза за n ентитета;

8. поновити процедуру B пута да би се добило B бутстрап оцена $\hat{\theta}_k^*$ за свако k ;

9. оценити пристрасност $Bias(\hat{\theta}_k) = \hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}_k$ са $\hat{\theta}_k^* = \frac{1}{B} \sum_{b=1}^B \hat{\theta}_k^*$;

10. оценити ефикасност кориговану за пристрасност:

$$\hat{\theta}_k^{bc} = \hat{\theta}_k - Bias(\hat{\theta}_k) = 2\hat{\theta}_k - \hat{\theta}_k^*;$$

11. израчунати непараметарски интервал поверења за вредност ефикасности користећи квантили. Индивидуална оцена $\hat{\theta}_k^*$ се користи за корекцију $\hat{\theta}$, тако што се одузима процењена пристрасност на основу бутстрап узорка $\hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}$, тј. $\hat{\theta} - (\hat{\theta}_k^* - \hat{\theta}) = 2\hat{\theta} - \hat{\theta}_k^*$.

Једноставнија интерпретација алгорита би била:

- 1) преко ДЕА методе израчунати вредности ефикасности;
- 2) реузорковати са заменом добијене вредности ефикасности уз помоћ углађеног бутстрапа;
- 3) поделити оригиналне ефикасне нивое улаза са вештачким вредностима ефикасности који су добијени преко углађеног бутстрапа да би се добио бутстраповани скуп вештачких улаза;

- 4) применити ДЕА анализу користећи скуп нових вештачких улаза и исти скуп излаза и израчунати бутстраповане вредности ефикасности;
- 5) поновити кораке 2)-4) B пута и користити бутстраповане вредности за статистичко закључивање и тестирање хипотеза.

5. Модел ефикасности заснован на Ивановићевом одстојању и Анализи обавијања података (PJS модел)

ГАР ДЕА модел, описан у поглављу 3.3.2. је погодан за коришћење јер се њиме ограничавају виртуелне тежине које су бездимензионалне. На тај начин се превазилази проблем осетљивости на јединице мере улаза и излаза који се јавља код осталих модела за ограничавање тежина. ГАР моделом се практично дефинише мера значајности сваког улаза/излаза при процени ефикасности.

Основна идеја за инкорпорирање И-одстојања у ДЕА је да се доња и горња граница, D_i и G_i , у ГАР моделу добију ЦИДИ приступом (*Composite I-distance Indicator* - ЦИДИ) који је представљен у (Dobrota et al., 2016). ЦИДИ је заснован на И-одстојању, којим се решава проблем укључивања већег броја показатеља, са различитим мерним јединицама, у један синтетички показатељ, без дуплирања информација које носи низ сродних показатеља. ЦИДИ приступ израчунава тежинске коефицијенте показатеља, који су засновани на њиховој значајности. На тај начин превазилази се проблем субјективности при дефинисању важности појединачних показатеља.

Поступак за израчунавање тежинских коефицијената се обавља у неколико корака. Прво се рачунају вредности И-одстојања за посматране ентитете, у односу на скуп показатеља. С обзиром да концепт ефикасности захтева две врсте показатеља – улазне и излазне, скуп података ће увек бити подељен на ова два подскупа. Након што се нађу вредности И-одстојања за ентитете над сваким подгрупом, рачунају се Пирсонови коефицијенти корелације између вредности И-одстојања и појединачних показатеља (који припадају скупу показатеља над

којима се рачунало И-одстојање). Тежински коефицијенти за показатеље се добијају, тако што се вредности добијених корелација поделе сумом корелација, према формули:

$$w_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i},$$

где је $r_i = 1, \dots, m$ Пирсонов коефицијент корелације између i -тог показатеља и вредности И-одстојања, а m је број показатеља једног скупа (Dobrota et al., 2015b).

Уколико је неопходно да се уместо једне вредности за тежинске коефицијенте одреди интервал допустивих вредности може се применити нека од метода реузорковања. С обзиром на дати проблем, изабрана је метода случајног реузорковања без замене, описана у поглављу 4.2.

Процедура којом се генеришу доње и горње границе за виртуелне тежине у ГАР моделу, уз помоћ тежинских коефицијената добијених И-одстојањем са реузорковањем, је следећа:

1. Из скупа од n ентитета, узима се случајни узорак $S_s (s = 1, \dots, p)$ величине $l (l < n)$, за који се методом И-одстојања израчунава вредност тежинских коефицијената $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$, где је m број показатеља (критеријума);
2. Процес реузорковања се понавља p пута (најчешће, p је број не мањи од 1,000) и за сваки случајни нови узорак S_s , рачуна се вредност тежинских коефицијената;
3. Доња граница (D_i), за дозвољени интервал вредности тежинског коефицијента i -тог показатеља дефинише се најмањом, а горња граница (G_i), највећом добијеном вредношћу тежинског коефицијента $w_i (i = 1, 2, \dots, m)$, кроз p итерација.

Дефинисани, подацима вођен, приступ за генерисање граница дозвољених интервала за виртуелне тежине, превазилази недостатке субјективних процена експерата. Методом И-одстојања се одређује значајност сваког показатеља при оцени ефикасности, а применом реузорковања се креира интервал допустивих вредности тежинских коефицијената. Ради лакшег референцирања у даљем тексту, ГАР ДЕА модел у коме се границе D_i и G_i процењују методом И-одстојања са реузорковањем, називаће се РЈС модел (по акронимима аутора и ментора ове дисертације Радојичић-Јерemiћ-Савић).

5.1. Примена РЈС модела у профитно оријентисаним системима

Ефикасност у банкарству се показала као врло привлачна тема за истраживаче, током претходне деценије (Delis et al., 2017; Gofman, 2017; Kevork et al., 2017; Aiello & Vonanno, 2018). На основу објављених радова, са темом мерења ефикасности у банкарству, може се уочити да се издвајају три правца:

- мерење ефикасности филијала у оквиру једне банке (Yang & Liu 2012; Paradi & Zhu, 2013);
- мерење ефикасности банке у оквиру тржишта (Hou et al., 2014; Kao & Liu 2014; Moradi-Motlagh & Saleh 2014; Titko & Jureviciene 2014);
- мерење ефикасности банкарског сектора једне државе у односу на банкарске секторе других држава (Varesi 2015; Khalili-Damghani et al., 2016).

Главни циљ процене ефикасности банке је да се сагледа како одређена банка послује у односу на друге банке истог тржишта (Tan et al., 2017). На тај начин се омогућава менаџменту банке да уочи недостатке и унапреди целокупно пословање банке. Са друге стране, циљ мерења ефикасности банкарског сектора једне државе је да се одреди каква је његова ефикасност у односу на банкарске секторе других држава, или у односу на сопствени банкарски сектор посматран кроз период од неколико година. Ово је посебно значајно за земље у развоју које имају значајан заостатак у погледу трошковне ефикасности у односу на развијене земље (Davutyan & Yildirim, 2017; Nurboja & Kořak, 2017).

Бројни су научни радови који су се бавили проблематиком ефикасности банака. Најчешће, када се мери ефикасност банака, аутори се ослањају на ДЕА методу (Ferrier & Hirschberg, 1997; Paradi & Zhu, 2013; Färe et al., 2015; Asmild & Zhu, 2016).

Бергер и Хамфри су 1997. године направили упоредни преглед радова који су за тему имали мерење ефикасности финансијских институција (Berger & Humphrey, 1997). Њихово истраживање је укључило више од 120 радова, који су покривали више од 20 држава, са најмање пет различитих метода за мерење ефикасности (од којих је најчешћа била ДЕА). Главни циљ им је био да сумирају дотадашња научна открића, како би пронашли технике које дају конзистентне резултате. Касније је Бергер извршио истраживање, где је обухватио новије примене техника за мерење ефикасности банака (Berger, 2007). То истраживање покрива само оне студије које пореде ефикасност банкарских сектора одређених земаља. Занимљив, свеобухватан преглед од 196 радова који су објављени у периоду од 1998. до 2009. године се налази у (Fethi & Pasiouras, 2010). У том прегледу, поред радова који су користили методе операционих истраживања, приказане су и методе вештачке интелигенције помоћу којих је могуће оценити ефикасност банака. Од тих 196 радова, у чак 151 је коришћена ДЕА метода.

Први корак у процени ефикасности банака је одабир пословних показатеља који ће представљати улаз, и оних који ће представљати излаз. То је врло важан и изазован посао јер директно утиче на резултате који ће бити добијени. Међу ауторима не постоји консензус око тога које показатеље треба користити. Различите комбинације улаза и излаза које су коришћене приликом мерења ефикасности ДЕА методом су приказане у табели 4.

Највише контроверзи у литератури се ствара око депозита. Неки аутори су мишљења да се депозити требају сматрати улазом (Barros et al., 2011; Asmild & Matthews, 2012; Hou et al., 2014), док други тврде да је правилније да се сматрају излазом (Devaney & Weber, 2002; Staub et al., 2010; Puri & Yadav, 2015; Toloo & Tichú, 2015). Сходно томе, када се ради о мерењу ефикасности у банкама издвојила су се два главна приступа:

- посреднички - где се депозити посматрају као улаз;
- производни - где се депозити посматрају као излаз.

Према производном приступу банке су посвећене пружању услуга (првенствено прикупљању депозита и издавању кредита) својим комитентима. При томе се као улазни фактори користе рад и стална средства. Према овом приступу, циљ банке је да минимизира своје ресурсе приликом пружања производа и услуга. Посреднички приступ третира банку као посредника између штедиша и инвеститора и банка служи да трансформише депозите у кредите. Банка прикупља депозите од клијената и они представљају краткорочни ликвидни капитал без ризика. Са друге стране, кредити су најчешће дугорочни, издати са одређеним ризиком и третирају се као неликвидна средства. Улога посредника је да користи финансијски капитал, основна средства и радну снагу и трансформише их у кредите који су најзначајнији извор прихода комерцијалних банака (Avkiran, 2006). Извори финансирања се састоје из депозита и других фондова (Savić 2012). Бергер и Хамфри су изнели закључак да ниједан од ова два приступа није савршен, јер нису у могућности да у потпуности обухвате дуалну улогу банака. Њихово становиште је да је производни приступ погоднији за мерење ефикасности филијала, док би за мерење ефикасности банака као ентитета у склопу банкарског сектора требало користити посреднички приступ (Berger & Humphrey, 1997). У овом раду је прихваћена претпоставка да банке скупљају депозите у циљу да их продају у виду кредита, па је стога примењен посреднички приступ.

Табела 4. Преглед литературе на тему примене ДЕА методе у банкарству

Рад	Обим	Улази	Илази	Методологија
(Ferrier & Hirschberg, 1997)	94 банке у Италији, током 1986.	број запослених, капитал, текући рачуни становништва, текући рачуни привреде	кредити, депозити у другим финансијским институцијама, број филијала	бутстрап ДЕА
(Kuosmanen & Post, 2001)	453 европске банке	капитал, оперативни трошкови	укупна актива	ДЕА са ограничавањем тежина
(Fukuyama & Weber, 2002)	141 банка у Јапану, од 1988. до 1996.	радна снага, капитал, новчана средства	кредити, остали пласмани	улазно и излазно оријентисана ДЕА
(Isik & Hassan, 2002)	54 банке у Турској, од 1988. до 1996.	радна снага, капитал, новчана средства	краткорочни кредити, дугорочни кредити, ванбилансне ставке прилагођене ризику, остали пласмани	ДЕА
(Mukherjee et al., 2002)	68 банака у Индији, од 1996. до 1999.	нето вредност, позајмице, оперативни трошкови, број запослених, број филијала	депозити, нето профит, позајмице, некаматни приход, каматна маргина	излазно оријентисана ЦЦР
(Casu et al., 2004)	50 банака у Европи, од 1994. до 2000.	трошак зарада, депозити, капитал	кредити, обвезнице, номинална вредност ванбилансних ставки	ДЕА
(Kao & Liu, 2004)	24 банке на Тајвану, од 2009. до 2011.	укупни депозити, каматни трошкови, некаматни трошкови	кредити, каматни приход, некаматни приход	ЦЦР
(Paul & Kourouche, 2008)	10 банака у Аустралији од 1997. до 2005.	каматни трошкови, некаматни трошкови	нето каматни приход, некаматни приход	улазно оријентисана ДЕА
(Tortosa-Ausina et al., 2008)	50 банака у Шпанији, од 1992. до 1998.	радна снага, капитал, купљена новчана средства	кредити, депозити, некаматни приход и приход од обвезница	бутстрап ДЕА
(Avkiran, 2009)	15 банака у Уједињеним Арапским Емиратима	каматни трошкови, некаматни трошкови	каматни приход, некаматни приход	мрежна ДЕА
(Sahoo & Tone, 2009)	78 банака у Индији,	стална средства,	остали пласмани,	ДЕА

Рад	Обим	Улази	Излази	Методологија
	од 1997. до 2001.	позајмљена новчана средства, радна снага	кредити, некаматни приход	
(Thoraneenitiyan & Avkiran, 2009)	110 банака у Азији, од 1997. до 2001.	депозити, радна снага, капитал	кредити, остали пласмани, приход од накнаде, ванбилансне ставке	интеграција ДЕА и СФА
(Staub et al., 2010)	127 банака у Бразилу, од 2000. до 2007.	радна снага, капитал, остала средства	депозити, кредити, улагања	ДЕА
(Savic et al., 2012)	28 банака у Србији, од 2005. до 2011.	број запослених, стална средства и нематеријална улагања, капитал, депозити	кредити, некаматни приход	улазно оријентисана ЦЦР
(Jayaraman et al., 2013)	34 банке у Индији, од 2005. до 2012.	капитал, позајмљена новчана средства, број запослених, број филијала	новчана средства, некаматни приход	поређење ДЕА и ДБА
(Chiu et al., 2014)	23 банке на Тајвану, током 2008	број запослених, стална средства, капитал	оперативни профит, нефункционални кредити	ДЕА
(Hou et al., 2014)	44 велике банке у Кини, од 2007. до 2011	депозити, стална средства, број запослених	кредити, остали пласмани	двостепна ДЕА
(Johnes et al., 2014)	Исламске банке у 18 земаља, од 2004. до 2009.	депозити и краткорочна улагања, стална средства, општи и административни трошкови, капитал	кредити, остали пласмани	излазно оријентисана ЦЦР
(Kao & Liu, 2014)	22 банке на Тајвану, од 2009. до 2011.	радна снага, капитал, купљена новчана средства	депозити, краткорочни кредити, средњи и дугорочни кредити	ДЕА
(Moradi-Motlagh & Saleh, 2014)	10 банака у Аустралији, од 1997. до 2005.	каматни трошкови, некаматни трошкови	каматни приход, некаматни приход	бутстрап ДЕА
(Řepková, 2014)	11 банака у Чешкој Републици, од 2003. до 2012.	радна снага, депозити	кредити, каматни приход	улазно оријентисана БЦЦ и ЦЦР
(Tandon et al., 2014)	44 банке у Индији, од	депозити, стална средства	каматни приход,	излазно

Рад	Обим	Улази	Изази	Методологија
	2009. до 2012.		некаматни приход	оријентисана ЦЦР и БЦЦ
(Avkiran, 2015)	49 банака у Кини, од 2008. до 2010.	каматни трошкови, трошак зарада, оперативни трошкови	каматни приход, накнаде и провизије, други оперативни приходи	мрежна ДЕА
(Marković et al., 2015)	33 банке у Србији, од 2007. до 2010.	стална средства, капитал, број запослених	зарада пре таксе, укупан приход	улазно оријентисана ЦЦР
(Puri & Yadav, 2015)	17 банака у Индији, током 2010	радна снага, стална средства, укупни трошкови	каматни приход, други приходи	фази ДЕА
(Kao & Liu, 2016)	22 банке на Тајвану, од 2008. до 2013.	радна снага, капитал, купљена новчана средства	депозити, краткорочни кредити, средњи и дугорочни кредити	ДЕА
(Fukuyama & Matousek, 2017)	72 банке у Јапану, од 2000. до 2013.	број запослених, капитал	кредити, обвезнице	двостапна ДЕА
(Fukuyama & Webber, 2017)	100 банака у Јапану, од 2007. до 2012.	радна снага, капитал	кредити, обвезнице	мрежна ДЕА
(Kevork et al., 2017)	644 банке из 28 европских земаља, током 2007., 2010. и 2014.	стална средства, број запослених, депозити	кредити, обвезнице	хибридна ДЕА
(Silva et al., 2017)	65 банака у Кини, од 2001. до 2012.	каматни трошкови, некаматни трошкови	депозити, кредити, ликвидна средства	поређење ДЕА и СФА
(Simper et al., 2017)	272 банке у Јужној Кореји, од 2007. до 2011.	општи и административни трошкови, трошкови трговања, резерве, капитал	нефункционални кредити, нето каматни приход, други оперативни приходи	БЦЦ
(Tanna et al., 2017)	1530 банака из 88 земаља, од 1999. до 2011.	стална средства, депозити и краткорочна улагања, трошак зарада	кредити, остали пласмани, некаматни приход	ДЕА

Избор улаза и излаза у представљеним анализама (у поглављима 5.1.1. и 5.1.2.) је вођен избором улаза и излаза из претходних студија (табеле 4 и 5) и доступношћу података. Поред „Депозита“ (У4), укључена су још три улаза - „Трошак зарада“ (У1), „Стална средства“ (У2) и „Капитал“ (У3). Излазом се сматрају дати „Кредити“ (И1), „Остали пласмани“ (И2) и „Некаматни приходи“ (И3). Ови индикатори су коришћени у студијама случаја које су представљене у поглављима 5.1.1. и 5.1.2.

Табела 5. Пет најчешће коришћених улаза и излаза у мерењу ефикасности банака помоћу ДЕА

Улази	# Студија	Излази	# Студија
Радна снага/трошак зарада	14	Кредити	21
Капитал	18	Некаматни приход	11
Депозити	10	Остали пласмани	7
Стална средства	10	Обвезнице	4
Број запослених	9	Каматни приход	6

Прво је процењивана ефикасност банкарских сектора држава чланица Европске уније (ЕУ). Након тога процењивана је ефикасност појединачних банака у оквиру једног тржишта. Као пример је узето банкарско тржиште Србије. У обе анализе је поред РЈС модела примењен и БЦЦ модел који омогућава слободу у избору виртуелних тежина, како би се упоредили добијени резултати. Оба модела су излазно оријентисана са варијабилним приносом на обим. Изабран је варијабилни принос на обим зато што се сматра да у датом проблему мерења ефикасности банкарских система са изабраним улазима и излазима, повећање/смањење улаза не резултује пропорционалном повећању/смањењу излаза. Такође, иако су банкарски системи хомогени у смислу структуре и циљева, њихове величине се крећу од малих до веома великих, и они послују на тржишту на којем не постоји савршена конкуренција. Стога, БЦЦ модел омогућује да се при процени ефикасности, ентитет пореди са оним ентитетима који послују на сличном нивоу и при сличној тржишној снази.

Приликом спровођења анализа на конкретним подацима извршени су тестови корелације између свих улаза и излаза, и показано је да је особина изотонности задовољена (Пирсонова корелација $r_i > 0.30$; $\alpha = 0.01$, за сваку

комбинацију) (Avkiran, 1999). Добијени су резултати који су указивали да повећање улаза доводи до повећања излаза. Правило $m + s \leq n/3$, где је m број улаза, s број излаза, а n број ентитета, је такође било задовољено (Cooper et al., 2006). На овај начин је извршена валидација модела која је показивала да је избор улаза и излаза био извршен на адекватан начин.

ДЕА анализа је спроведена уз помоћ DEA Solver софтвера (Cooper et al., 2006), а дође и горње границе за ограничења у РЈС моделу на основу интерно развијеног софтвера за И-одстојање.

5.1.1. Примена РЈС модела на мерење ефикасности банкарских сектора

Увидом у радове који су споменути у претходном поглављу, а који се баве прегледом литературе мерења ефикасности финансијских институција (Berger & Humphrey, 1997; Berger, 2007; Fethi & Pasiouras, 2010) уочава се да је велика већина аутора оријентисана на мерење ефикасности у оквиру једне државе. Тек се у последњих десетак година јавља већи број радова са тематиком поређења ефикасности између банкарских сектора. Углавном се они односе на поређење ефикасности држава чланица Европске уније (Altunbaş et al., 2001; Mamatzakis et al., 2008; Mamatzakis, 2015; Matousek et al., 2015; Degl'Innocenti et al., 2017). Један од разлога је то што је за ЕУ чланице лакше наћи потребне податке за анализу, који се могу сматрати поузданим. Други разлог је тај што се сматра да се ЕУ државе налазе у сличном економском окружењу и да послују под истим или сличним условима. Међутим, поједини аутори сматрају да је приликом мерења ефикасности банкарских сектора држава, па чак и ако оне долазе из исте економске заједнице као што је ЕУ, неопходно у анализу укључити и екстерне факторе, због тога што се државе међусобно разликују према социо-економским, географским и правно-политичким карактеристикама (Casu & Molyneux, 2003; Pasiouras et al., 2009; Chortareas et al., 2012; Lee & Huang, 2017).

Подаци који су коришћени за анализу су преузети из базе података Европске Централне Банке (<http://www.sdw.ecb.europa.eu>). Анализирани су банкарски сектори држава чланица ЕУ. Од 28 тренутних чланица искључена је

Хрватска, која је постала чланица 2013. године и Мађарска за коју недостају одређени подаци. Посматран је период од 2010. до 2015. године. Табела 6 представља резултате дескриптивне статистике за показатеље који су коришћени као улази и излази.

Табела 6. Дескриптивна статистика улаза и излаза за банкарски сектор ЕУ

Статистика	У1	У2	У3	У4	И1	И2	И3
<i>Mean</i>	8,681	12,060	128,849	843,488	903,791	423,107	7,180
<i>Median</i>	1,515	3,480	54,192	282,411	295,012	108,519	1,012
<i>Max</i>	57,447	84,239	887,399	4,577,398	4,693,275	2,540,526	48,162
<i>Min</i>	11	45	22,90	11,443	14,589	845	6
<i>St.Dev.</i>	15,005	19,574	197,932	1,318,585	1,387,902	638,504	12,648

Напомена: Све вредности су представљене у милионима ЕУР

Процена ефикасности банкарских сектора држава ЕУ, добијена користећи излазни БЦЦ модел, приказана је у табели 7.

Табела 7. Ефикасност за ЕУ банкарски сектор према БЦЦ моделу

ДМУ	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Аустрија	0.867	0.835	0.830	0.868	0.821	0.893
Белгија	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Бугарска	0.947	0.925	0.991	0.957	0.787	1.000
Кипар	0.751	0.739	0.669	0.627	0.737	0.776
Чешка Република	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.714
Немачка	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Данска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Естонија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Шпанија	0.922	0.911	0.937	0.947	0.931	0.992
Финска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Француска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Велика Британија	0.990	0.967	0.993	0.993	0.970	0.975
Грчка	0.679	0.540	0.541	0.616	0.611	0.517
Ирска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Италија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Литванија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Луксембург	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Летонија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Малта	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Холандија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Пољска	1.000	0.950	0.953	0.870	0.967	0.942
Португал	0.925	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Румунија	0.936	0.828	0.887	0.968	0.850	0.883
Шведска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Словенија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Словачка	0.834	1.000	0.944	0.980	0.852	0.953
Просек	0.956	0.950	0.952	0.955	0.943	0.948
Максимум	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Минимум	0.679	0.540	0.541	0.616	0.611	0.517
# ефикасних ДМУ	16	18	17	17	17	17
# неефикасних ДМУ	10	8	9	9	9	9

Из табеле 7 се уочава да је банкарски сектор држава ЕУ у периоду од 2010. до 2015. године углавном процењен као ефикасан. Чак 102 од 156 ентитета се налазе на граници ефикасности. Просечна ефикасност по години се креће од 94.3% до 95.6%, док је просечна ефикасност за цео период 95.1%. То су изузетно велике вредности ефикасности и оне указују на то да су банкарски сектори држава ЕУ изузетно ефикасни. Сваке године је било бар 16 држава које су процењене као ефикасне у смислу ефикасности банкарског сектора. Најлошија година за банкарски сектор држава чланица ЕУ је била 2014., са просечном ефикасношћу од 94.3%. Банкарски сектор Грчке у 2015. години представља најмању процењену ефикасност за једну ЕУ државу током периода од 2010. до 2015. године. Највећи број држава са ефикасним банкарским сектором је у 2011. години - 18 држава. Интересантно је уочити да је у години када се јавља највећа просечна ефикасност (2010.), број ефикасних ДМУ најмањи (16).

Чак 14 држава је процењено ефикасно током сваке године. То је значајна информација, али на овај начин између њих није могуће направити дистинкцију. Три државе су неефикасне само током једне године. Белгија и Португал су неефикасне само у 2010. години, са тим што је Белгија и тада врло близу границе ефикасности (99.6%), док је Чешка Република ефикасна током целог периода посматрања, осим 2015. године (71.4%).

Банкарски сектори шест држава ЕУ су током свих шест година посматрања процењени као неефикасни. Велика Британија се увек налази близу границе ефикасности, Шпанија остварује просечну ефикасност од 94%, Румунија и Аустрија нешто нижу - 89.2% и 85.2% респективно, док се Кипар и Грчка сматрају најнеефикаснијим.

Кипар се сматра пореским рајем (Dejović, 2018) и стога многи грађани других држава чувају своја средства тамо, па је и то један од разлога зашто се та земља понаша као неефикасна. Међутим, у периоду 2012. и 2013. године на Кипру је била банкарска криза, када је залеђен огроман број депозита (Hardouvelis & Gkionis, 2016; Ljumbović & Marinković, 2016). Ако се погледа табела 7 уочава се да је баш у те две године релативна ефикасност банкарског сектора Кипра нешто мања него осталих година.

Грчка има далеко најмању просечну ефикасност (58.4%) и њена релативна ефикасност је најмања у току сваке године. То није ништа чудно, штавише, може се рећи да резултати осликавају реално стање, с обзиром да је након светске економске кризе (СЕК), крајем 2009. године, Грчка упала у дужничку кризу због које је била на прагу изласка из Еврозоне (Amiel & Huppolite, 2016). Грчки банкарски сектор у 2010. години има релативну ефикасност од 67.9%, а након тога следе још лошији резултати. Најнижу ефикасност достиже 2015. године (51.7%), а јуна те године је Грчка постала прва развијена земља која није успела да отплати рату кредита ка Међународном монетарном фонду (Reinhart & Trebesch, 2016).

Табела 8 сумира број „нула вредности“ које су додељене улазима и излазима. „Стална средства“ и „Капитал“ су улазни показатељи који су најчешће игнорисани, док су „Остали пласмани“ најчешће игнорисани излази.

Табела 8. Број „нула вредности“ додељен тежинским коефицијентима за ЕУ банкарски сектор

Година	# ДМУ	Улази				Излази		
		У1	У2	У3	У4	И1	И2	И3
2010	26	8	19	11	14	8	13	8
2011	26	8	14	18	9	7	10	9
2012	26	9	14	14	9	9	7	11
2013	26	11	18	16	5	11	11	7
2014	26	8	16	17	7	9	7	6
2015	26	12	16	18	4	8	13	6

У табели 9 су приказане тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем, у 1,000 итерација. Када се погледа значајност уочљиво је да нема велике разлике у значајности међу улазним и излазним показатељима. Значајност за показатељ „Депозити“ и „Трошак зарада“ остаје исти током година, а само се интервал мења. Значајност остале две улазна показатеља се мења за око 1% након прве три године посматрања. Што се тиче излазних показатеља, интересантно је да је средња вредност за све њих, током посматраног периода, скоро па константна, што значи да се важност излаза није променила током година.

Табела 9. Тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем за ЕУ банкарски сектор

2010					2011				2012			
П	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.23	0.30	0.26	0.01	0.19	0.29	0.26	0.01	0.22	0.28	0.26	0.01
У2	0.17	0.28	0.23	0.01	0.17	0.27	0.23	0.02	0.18	0.27	0.23	0.01
У3	0.22	0.28	0.27	0.01	0.25	0.29	0.27	0.01	0.24	0.28	0.27	0.01
У4	0.21	0.29	0.24	0.01	0.19	0.28	0.24	0.01	0.20	0.28	0.24	0.01
И1	0.33	0.44	0.36	0.02	0.33	0.42	0.36	0.01	0.32	0.43	0.36	0.01
И2	0.11	0.36	0.31	0.03	0.14	0.35	0.31	0.03	0.13	0.35	0.31	0.02
И3	0.29	0.45	0.33	0.02	0.29	0.43	0.33	0.02	0.28	0.44	0.33	0.02
2013					2014				2015			
П	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.23	0.30	0.26	0.01	0.23	0.31	0.26	0.01	0.23	0.30	0.26	0.01
У2	0.19	0.27	0.24	0.01	0.18	0.27	0.24	0.01	0.19	0.27	0.24	0.01
У3	0.22	0.27	0.26	0.00	0.23	0.28	0.26	0.00	0.21	0.28	0.26	0.00
У4	0.21	0.28	0.24	0.01	0.21	0.29	0.24	0.01	0.21	0.29	0.24	0.01
И1	0.32	0.41	0.36	0.01	0.32	0.40	0.36	0.01	0.31	0.40	0.36	0.01
И2	0.18	0.35	0.31	0.02	0.22	0.35	0.31	0.02	0.21	0.35	0.31	0.02
И3	0.29	0.41	0.33	0.02	0.29	0.38	0.33	0.02	0.28	0.39	0.33	0.02

П-показатељ; m-средња вредност; σ-стандардна девијација; Д-доња граница; Г-горња граница

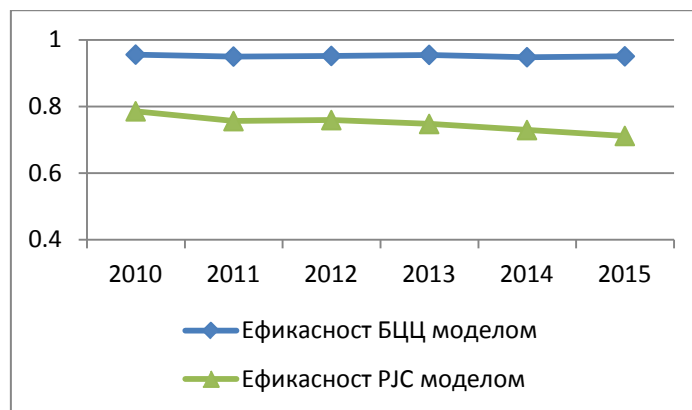
У табели 10 је дат преглед релативне ефикасности банкарских сектора држава ЕУ добијен применом РСЈ модела. Уочљиво је да се применом РСЈ модела, број ефикасних јединица значајно смањило. Просечна ефикасност банкарског сектора ЕУ је тако 74.8%, што је за 20.3% мања него просечна ефикасност добијена БЦЦ моделом.

Применом предложеног РСЈ модела број држава које су ефикасне током целог периода је спао са 14 на само 4 - Немачка, Француска, Холандија и Естонија. Финска је неефикасна само у току 2015. године, а и тад се налазила близу границе ефикасности (97.6%). Кипар има најмању измерену ефикасност у целом посматраном периоду - само 23.6% на крају 2015. године. Чак 18 држава је неефикасно током целог периода. Интересантно је да сада Грчка није најмање ефикасна држава. Њена ефикасност се сада креће од 45.1% до 56.5%, дакле није се драстично смањила у односу на БЦЦ модел. Међутим, сада су Кипар, Пољска, Румунија и Бугарска, државе које имају мању просечну ефикасност од Грчке. Бугарска је просечно најмање ефикасна (34.2%), иако је у БЦЦ моделу била ефикасна у 2015. години. Очигледно је да сада, посредством РСЈ модела постоји шири увид у проблематику ефикасности ЕУ банкарског сектора.

Табела 10. Ефикасност процењена РЈС моделом за ЕУ банкарски сектор

ДМУ	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Аустрија	0.796	0.774	0.766	0.805	0.767	0.723
Белгија	0.906	0.851	0.885	0.944	0.947	0.987
Бугарска	0.313	0.330	0.417	0.340	0.333	0.323
Кипар	0.579	0.573	0.514	0.381	0.361	0.236
Чешка Република	1.000	1.000	0.881	0.750	0.770	0.420
Немачка	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Данска	0.837	0.817	0.891	0.779	0.687	0.582
Естонија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Шпанија	0.791	0.702	0.744	0.727	0.792	0.764
Финска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.976
Француска	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Велика Британија	0.659	0.622	0.596	0.542	0.517	0.533
Грчка	0.565	0.482	0.494	0.508	0.504	0.451
Ирска	0.807	0.822	0.688	0.824	0.652	0.688
Италија	0.816	0.786	0.890	0.919	0.922	0.916
Литванија	0.864	0.719	0.856	0.760	0.788	0.815
Луксембург	0.941	0.979	0.879	1.000	0.967	1.000
Летонија	1.000	1.000	1.000	1.000	0.919	0.852
Малта	0.607	0.601	0.586	0.581	0.630	0.714
Холандија	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Пољска	0.533	0.476	0.531	0.495	0.470	0.448
Португал	0.901	0.897	0.909	0.924	0.841	0.853
Румунија	0.482	0.460	0.291	0.347	0.355	0.370
Шведска	0.649	0.580	0.636	0.541	0.352	0.360
Словенија	0.723	0.676	0.709	0.752	0.787	0.809
Словачка	0.658	0.517	0.578	0.519	0.601	0.683
Просек	0.786	0.756	0.759	0.748	0.729	0.712
Максимум	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Минимум	0.313	0.330	0.291	0.340	0.333	0.236
# ефикасних ДМУ	7	7	6	7	5	5
# неефикасних ДМУ	19	19	20	19	21	21

Приметан је тренд пада просечне ефикасности банкарског ЕУ сектора од 2010. па до 2015. године посматрано кроз РЈС модел, на супрот БЦЦ моделу где је просечна ефикасност скоро па константна (Слика 8).



Слика 8. Просечна ефикасност ЕУ банкарског сектора у посматраном периоду

Нема много радова који су се бавили ефикасношћу банкарског сектора држава ЕУ у периоду после СЕК (Fuji et al., 2018). Већина је изучавала ранији период (Altunbaş et al., 2001; Casu & Molyneux, 2003; Mamatzakis et al., 2008; Pasiouras et al., 2009; Chortareas et al., 2012; Mamatzakis, 2015; Lee & Huang, 2017). Матусек и коаутори су спровели анализу за период од 2005. до 2012. године (Matousek et al., 2015). Међутим, анализирали су само петнаест „старијих“ чланица ЕУ. Интересантно је да је према њиховој анализи за 2012. годину најефикаснија држава била Грчка. На њихово истраживање су се надоградиле Фуџи и коаутори, тако што су укључили свих 28 чланица ЕУ и проширили анализу закључно са 2014. годином (Fuji et al., 2018). Код њих су најефикасније државе Ирска, Шведска и Белгија, што није у складу са добијеним резултатима преко РЈС модела. Најмању ефикасност су испољиле Румунија, Бугарска и Летонија. Румунија и Бугарска су такође земље које су и по РЈС моделу испољиле најмању ефикасност, док Летонија није ефикасна само у 2014. и 2015. години. Још једна студија која делимично обухвата период као и у РЈС анализи спроведена је такође над свих 28 чланица (Degl'Innocenti et al., 2017). Анализиран је период од 2007. до 2012. године. Међутим све земље су показале велику просечну ефикасност, па је тешко направити јаснију дистинкцију међу њима.

5.1.2. Примена РЈС модела на мерење ефикасности банака

Ова анализа доприноси истраживачком раду на пољу мерења ефикасности банака у Србији (Radojčić et al., 2018b). Један од првих радова који се бавио том проблематиком је објављен 2009. године (Mihailović et al., 2009). У том раду су рангиране банке које су пословале на тржишту Србије током 2005. године. Две методе су биле кориштене - ДЕА модел суперефикасности (Andersen & Petersen, 1993) и метода И-одстојања. Улази су били стална средства, капитал и број запослених. Приход од камата и приход пре опорезивања су били излази. За девет банака је процењено да су ефикасне. Савић и коаутори су такође мерили ефикасност банака у Србији, али нису посматрали само једну годину већ су у обзир узели период од 2005. до 2011. године (Savić et al., 2012). У раду су предложена два модела. Улази за први модел (МЛ1) су били каматни трошкови и некампатни трошкови, док су излази били каматни приход и некампатни приход. У

другом моделу (МЛ2), улазе су представљали број запослених, стална средства, капитал и депозити, док су излази били представљени кроз кредите и некаматни приход. Оба модела су претпостављала улазну оријентацију са константним приносом на обим. Анализа је извршена над 28 банака које су рангиране уз помоћ суперрефикасности. Према МЛ1 само две банке су биле ефикасне током целог посматраног периода, док према МЛ2 није било банака које су се показале ефикасним у току сваке године. Булајић је са коауторима извршила анализу 27 банака које су пословале на тржишту Србије током периода од 2006. до 2010. године (Vulajić et al., 2013). Улази су били извори финансирања, ликвидна средства, готовина, портфолио и број запослених, док су излазе представљали основни нето пословни приход и нето каматни приход. Користећи ДБА методологију, закључили су да су само три банке биле ефикасне током целог периода посматрања. Скорија студија о анализи банкарског сектора Србије је посматрала период од 2007. до 2010. године (Marković et al., 2015). Стална средства, број запослених и капитал су представљали улазе, док су укупан приход и приход пре опорезивања представљали излазе. Студија је обухватила 33 банке, а само је једна банка била ефикасна током целог периода.

Подаци који су коришћени за анализу су преузети из биланса стања и биланса успеха, који су доступни на сајту Народне Банке Србије (<http://www.nbs.rs>). База коришћена у анализи садржи податке о 25 банака који покривају период од дванаест година - од 2005. до 2016. Само оне банке које су непрекидно пословале током тог периода су анализирани. Таквих банака у Србији је било 26, међутим једна од њих је искључена из анализе због веома малог, практично безначајног удела на тржишту.

Табела 11. Дескриптивна статистика улаза и излаза за банке у Србији

Статистика	У1	У2	У3	У4	И1	И2	И3
<i>Mean</i>	1,694	2,320	12,660	41,871	50,313	10,403	2,205
<i>Median</i>	1,328	1,412	10,164	24,647	31,171	2,917	1,391
<i>Max</i>	7,574	12,345	41,760	255,449	271,750	136,124	16,190
<i>Min</i>	114	68	202	512	114	21	81
<i>St.Dev.</i>	1,322	2,309	10,299	46,630	54,619	18,926	2,343

Напомена: Све вредности су представљене у милионима РСД

У табели 11 су приказани резултати дескриптивне статистике за улазе и излазе, током целог посматраног периода. Приметне су разлике између величине

банака, па се тако укупан капитал појединачних банака кретао од 202 до 41,760 милиона РСД.

Приликом мерења ефикасности појединачних банака у Србији, модификована су ограничења за виртуелне тежине у РЈС моделу која се односе на „Капитал“ и „Депозите“, као и на „Кредите“ и „Остале пласмане“. Модификација се односи на то што се банкама омогућава да користе пожељнији улаз (избор између У3 и/или У4) и пожељнији излаз (избор између И1 и/или И2). То значи да приликом мерења ефикасности банака у Србији, ентитети нису били у обавези да за процену ефикасности користе све улазе и излазе. Само су У1, У2 и И3 били обавезни за сваку ДМУ. Разлог за ову модификацију је тај што се капитал сматра комплементарним са депозитима пошто главни извори финансирања могу да буду различити од банке до банке. На пример, банке које су у власништву државе, првенствено користе капитал као главни извор финансирања, док приватне комерцијалне банке морају да скупљају депозите како би их продали у форми кредита. Такође, за неке банке је главни извор профита у осталим пласманима, пре него у кредитима.

Преглед ефикасности банкарског сектора Србије по годинама, добијен користећи излазно оријентисани БЦЦ модел приказан је у табели 12.

Табела 12. Ефикасност банака у Србији према БЦЦ моделу

Година	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<i>Просек</i>	0.934	0.872	0.940	0.920	0.894	0.869
<i># ефикасних ДМУ</i>	17	15	16	17	16	14
<i># неефикасних ДМУ</i>	8	10	9	8	9	11
Година	2011	2012	2013	2014	2015	2016
<i>Просек</i>	0.878	0.890	0.903	0.894	0.891	0.900
<i># ефикасних ДМУ</i>	16	15	17	14	11	13
<i># неефикасних ДМУ</i>	9	10	8	11	14	12

Табела 12 показује да су банке у Србији путем БЦЦ модела углавном процењене као ефикасне у периоду од 2005. до 2016. године (од 86.9% до 94%). Резултати по годинама указују да је најмање 11 банака у свакој години било ефикасно. Најмања просечна ефикасност од 86.9% је забележена у 2010. години. Највећи број ефикасних банака (чак 17) је забележен током три године - 2005., 2008. и 2013. Три банке су биле ефикасне у току сваке године.

Анализа је показала да је просечна ефикасност, добијена БЦЦ моделом веома велика, са више ДМУ које су процењене као ефикасне од оних што су процењене као неефикасне. То се дешава због потпуне слободе у избору тежина, чиме је омогућено да свака ДМУ за себе изабере најбољу комбинацију улаза и излаза. Табела 13 сумира број „нула вредности“ које су додељене тежинским коефицијентима улаза и излаза. Очито да су, током посматраног периода, најчешће игнорисани улази били „Трошак зарада“ (У1) и „Стална средства“ (У2). Игнорисање ових улаза даје наклоност банкама које користе више ресурса за производњу истог нивоа излаза. Са друге стране, излаз „Остали пласмани“ (И2) је такође игнорисан од већине банака у скоро свакој години посматраног периода.

Табела 13. Број „нула вредности“ додељен тежинским коефицијентима за банке у Србији

Година	# ДМУ	Улази				Излази		
		У1	У2	У3	У4	И1	И2	И3
2005	25	17	18	10	4	5	8	14
2006	25	16	17	6	10	7	20	17
2007	25	18	15	6	10	2	17	18
2008	25	16	13	4	12	1	12	9
2009	25	13	17	8	9	3	15	14
2010	25	13	18	8	8	4	19	13
2011	25	13	11	10	14	5	16	12
2012	25	7	16	17	13	6	17	7
2013	25	8	17	12	12	4	18	8
2014	25	11	20	13	11	7	15	18
2015	25	15	13	14	7	10	19	6
2016	25	11	13	11	12	4	21	8

У циљу да се избегне додела „нула вредности“ тежинским коефицијентима улаза и излаза, РС излазно оријентисани модел са варијабилним приносом на обим је примењен. Након 10,000 итерација реузорковања на 72% узорка (18 банака у свакој итерацији), добијене тежине су приказане у табели 14. Доња граница (D) у ГАР моделу је одређена минималном, а горња граница (G) максималном добијеном тежином.

Средња вредност тежина добијених И-одстојањем са реузорковањем (табела 14) практично представља, колика би била значајност тих показатеља у мерењу ефикасности. Из табеле 14 се види да значајност показатеља „Депозити“

има растући тренд, док значајност показатеља „Трошак зарада“ има опадајући тренд.

Табела 14. Тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем за банке у Србији

2005					2006				2007			
П	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.22	0.32	0.28	0.01	0.25	0.32	0.29	0.01	0.25	0.32	0.28	0.01
У2	0.18	0.33	0.27	0.01	0.14	0.30	0.24	0.02	0.14	0.29	0.23	0.02
У3	0.17	0.31	0.22	0.01	0.15	0.28	0.20	0.01	0.18	0.28	0.22	0.01
У4	0.15	0.31	0.23	0.01	0.22	0.32	0.26	0.01	0.22	0.33	0.28	0.01
И1	0.27	0.41	0.35	0.03	0.27	0.40	0.34	0.03	0.26	0.40	0.34	0.02
И2	0.27	0.39	0.33	0.02	0.27	0.39	0.33	0.02	0.23	0.38	0.29	0.02
И3	0.28	0.39	0.32	0.01	0.28	0.41	0.33	0.03	0.31	0.41	0.37	0.02
2008					2009				2010			
П	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.21	0.29	0.25	0.01	0.19	0.29	0.25	0.01	0.18	0.29	0.24	0.01
У2	0.19	0.29	0.25	0.01	0.21	0.30	0.25	0.01	0.20	0.32	0.25	0.01
У3	0.18	0.28	0.22	0.02	0.17	0.28	0.22	0.01	0.20	0.28	0.23	0.01
У4	0.25	0.30	0.28	0.01	0.23	0.31	0.28	0.01	0.24	0.30	0.28	0.01
И1	0.28	0.40	0.36	0.02	0.28	0.41	0.37	0.02	0.26	0.37	0.33	0.02
И2	0.26	0.37	0.29	0.02	0.27	0.39	0.31	0.02	0.29	0.41	0.33	0.03
И3	0.31	0.41	0.35	0.02	0.28	0.38	0.32	0.01	0.29	0.40	0.34	0.01
2011					2012				2013			
П	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.14	0.29	0.24	0.02	0.15	0.29	0.24	0.02	0.15	0.29	0.23	0.01
У2	0.22	0.32	0.24	0.01	0.21	0.30	0.24	0.01	0.22	0.31	0.24	0.01
У3	0.18	0.29	0.23	0.01	0.19	0.28	0.25	0.01	0.19	0.28	0.24	0.01
У4	0.24	0.31	0.29	0.01	0.21	0.32	0.28	0.01	0.24	0.32	0.28	0.01
И1	0.26	0.40	0.35	0.01	0.28	0.38	0.34	0.01	0.26	0.37	0.35	0.01
И2	0.27	0.38	0.31	0.02	0.27	0.40	0.33	0.02	0.27	0.40	0.32	0.03
И3	0.27	0.41	0.34	0.01	0.28	0.38	0.33	0.02	0.27	0.39	0.34	0.01
2014					2015				2016			
П	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.16	0.29	0.24	0.01	0.13	0.29	0.24	0.02	0.13	0.28	0.24	0.02
У2	0.20	0.29	0.24	0.01	0.21	0.35	0.24	0.01	0.20	0.35	0.23	0.02
У3	0.21	0.27	0.24	0.01	0.21	0.27	0.24	0.01	0.21	0.23	0.24	0.01
У4	0.27	0.31	0.29	0.01	0.25	0.31	0.28	0.01	0.26	0.30	0.28	0.01
И1	0.25	0.36	0.33	0.02	0.21	0.35	0.32	0.02	0.18	0.34	0.31	0.02
И2	0.28	0.40	0.32	0.03	0.30	0.40	0.33	0.03	0.31	0.40	0.34	0.02
И3	0.27	0.40	0.35	0.02	0.27	0.41	0.35	0.02	0.29	0.41	0.35	0.01

П-показатељ; m-средња вредност; σ-стандардна девијација; Д-доња граница; Г-горња граница

Табела 15 показује да са ограничавањем виртуелних тежина долази до знатно другачије ситуације. Просечна ефикасност банака у Србији је са РЈС моделом за период од 2005. до 2016. године једнака 57.6%. То је за 32.3% мање него просечна ефикасност добијена преко БЦЦ модела. Највећа просечна ефикасност је у 2010. години (67%), са девет банака које су процењене као ефикасне. Најмања просечна ефикасност је у 2006. години (45.1%) са само четири банке на граници ефикасности. Ово је у супротности са резултатима добијеним

БЦЦ моделом где је 2010. година имала најмању просечну, а 2007. година највећу просечну ефикасност.

КБЦ банка има најмању измерену ефикасност за цео период (0.5% у 2013. години). Највећу просечну ефикасност бележи Банка Интеза - 98% и она је процењена као ефикасна у свакој години, осим у 2005. и 2015. Пет банака се увек налази испод границе ефикасности, док, ниједна банка није процењена као ефикасна током целог посматраног периода. Најмању просечну ефикасност (19.1%) има Финдоместик банка, насупрот веома добром рангу према БЦЦ моделу.

Само су две банке биле ефикасне у 2015. години - Поштанска штедионица и Уникредит банка. Остале банке које су биле ефикасне у периоду пре 2015. године налазе се испод границе ефикасности у тој години. Укупна неефикасност банкарског сектора Србије те године може се повезати и са Грчким референдумом, где се одлучивало о томе да ли ће Грчка да прихвати план штедње предложен од стране Европске уније (Amiel & Nuysseler, 2016). Постоји велики број банака које послују на тржишту Србије, а које се налазе у грчком власништву (Ljumbović & Marinković, 2016), што је могло да изазове турбуленцију на тржишту. Претпоставка је да је код потрошача постојала бојазан од могућег колапса у тим банкама и да су стога почели да повлаче своје депозите, пребацујући их у друге банке. С обзиром да се депозити у овој анализи посматрају као улази, то би довело до ситуације где поједине банке повећавају своје улазе, а да у исто време не успевају да повећају излазе, услед ниске потражње за новим кредитима. Насупрот њима, банке које би имале мање улазе због повлачења депозита, морале би да смање продају кредита јер им мањкају новчана средства.

Ерсте банка је имала веома малу ефикасност у прве три године анализе, а затим следи период раста, све до 2013. године када почиње да послује на граници ефикасности. Слична запажања за њу су забележена и у (Savić et al., 2012). Разлог за слаб резултат у прве две године може се објаснити ако се погледају трошкови на зараде, који су били много већи у те две године него у осталом периоду. Такво стање би се могло приписати промени у власничкој структури банке. Пре 2005. године Эрсте банка је била у већинском власништву државе (Kontić & Kontić,

2009). Претпостављамо да је нови менаџмент банке морао да смањи губитке што је довело до тога да због отпремнина, трошкови за зараде буду значајно увећани.

Приметан је велики скок у ефикасности за Креди банку, током 2016. године. Њен просечан скор током периода од 2005. до 2015. године је 18.5%, док у 2016. години она послује на граници ефикасности. Овај резултат треба интерпретирати уз чињеницу да је након 2012. године, Креди банка мењала своје власнике чак два пута. Банка је смањила стална средства више од 15 пута током тог периода, док су за исто време успели да повећају остале пласмане (достигујући врхунац у 2016. години када су више него дупло већи од вредности из 2015. године). Резултат из 2016. године показује да се банка налази на добром развојном путу и да би требала да настави своје пословање по моделу из претходних година. Насупрот Креди банци, Чачанска банка представља пример како промена власничке структуре може да изазове драстичан пад у ефикасности. Након првих пет година из анализе, где је била константно испод границе ефикасности, у 2010. години је Чачанска банка успела коначно да се консолидује и да буде ефикасна. То стање је одржала и током наредне четири године, а онда у 2015. години, када је приватизована (Rashiti & Pjanic, 2015), Чачанска банка почиње опет да послује испод границе ефикасности.

Познато је да је 2008. година била година светске економске кризе, а просечна ефикасност банкарског сектора у Србији те године је била 65.5%. Важно је нагласити да би било погрешно ако би се поредиле просечне ефикасности банкарског сектора Србије кроз године, јер су измерени у односу на различите границе. Просечна ефикасност од 65.5% може да указује на то да је у тој години, једноставно, било мањег варијабилитета између банака. Ако би желео да се испита утицај СЕК, морала би да се спроведе додатна студија. На основу резултата из Табеле 15, може се дискутовати о томе да су Уникредит банка, Фолксбанка, Поштанска штедионица и Сосијете Женерал банка биле добро припремљене за СЕК, и да су паметно реаговале и искористиле ту ситуацију, јер од 2008. године све четири банке почињу да послују на граници ефикасности.

Као што је и раније речено, коришћењем РЈС модела, број ентитета који је процењен као ефикасан је смањен. На тај начин јасније је које банке се могу

сматрати лидерима на тржишту. За руководство тих банака, то је добар показатељ да њихов пословни модел има жељене ефекте. Такође, топ менаџери у банкама које не успевају да достигну пуну ефикасност имају информацију који аспект свог пословања требају да побољшају ако желе да буду конкурентнији. Још један значајан допринос ове анализе представљају корисне информације које она нуди регулаторним телима као што је Народна Банка Србије (НБС). НБС је одговорна за очување ценовне стабилности и стабилности финансијског система уопште. Унапређени алати за праћење ефикасности банака, омогућили би НБС да има прецизнији увид у пословање банкарског сектора и могли би да допринесу раном откривању неке непредвиђене ситуације, што омогућава правовремени и ефикаснији одговор.

Табела 15. Ефикасност банака процењена РЈС моделом за банке у Србији

ДМУ	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
АИК банка	1.000	1.000	1.000	1.000	0.697	1.000	0.956	1.000	0.777	0.639	0.552	0.434
Алфа банка	0.651	0.587	0.546	0.539	0.411	0.340	0.270	0.263	0.393	0.471	0.402	0.334
Банка Интеза	0.781	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.977	1.000
Поштанска штедионица	0.510	0.775	0.273	1.000	1.000	1.000	0.441	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Креди банка	0.208	0.098	0.376	0.543	0.093	0.108	0.137	0.198	0.127	0.053	0.091	1.000
Чачанска банка	0.102	0.075	0.104	0.612	0.702	1.000	1.000	1.000	1.000	0.830	0.255	0.293
Ерсте банка	0.248	0.278	0.670	0.957	0.919	0.840	0.948	0.870	1.000	0.911	0.929	1.000
Еуробанка ЕФГ	0.136	0.214	0.321	0.625	0.684	0.737	0.626	0.596	0.517	0.500	0.515	0.542
Финдоместик банка	0.091	0.078	0.109	0.267	0.195	0.303	0.250	0.117	0.201	0.329	0.234	0.118
Хипо Алпе Адриа	1.000	0.567	0.505	0.834	0.809	0.866	0.736	0.650	0.562	0.488	0.379	0.410
ЈУБМЕС банка	0.143	0.218	1.000	0.081	0.077	0.139	0.225	0.305	0.061	0.036	0.024	0.058
КБЦ банка	0.901	0.130	0.082	0.112	0.157	0.247	0.234	0.305	0.005	1.000	0.063	0.112
Комерцијална банка	0.566	0.672	0.801	0.943	0.865	0.799	1.000	0.953	0.932	0.990	0.994	0.975
Марфин банка	0.373	0.200	0.361	0.172	0.177	1.000	0.295	0.169	0.110	0.142	0.124	0.102
Кредит Агриколе банка	0.332	0.270	0.393	0.264	0.436	0.500	0.454	0.447	0.481	0.477	0.520	0.552
НЛБ банка	0.378	0.114	0.466	0.779	0.477	0.958	1.000	1.000	0.550	0.397	0.271	0.220
ОТП банка	0.966	0.443	0.424	0.631	0.569	0.402	0.755	0.339	0.426	0.297	0.319	0.367
Пиреус банка	0.319	1.000	0.313	0.659	0.335	0.477	0.310	0.323	0.399	0.428	0.250	0.268
Про кредит банка	0.317	0.271	1.000	0.729	0.849	0.606	1.000	0.965	0.972	0.963	0.873	0.915
Рајфајзен банак	0.968	0.595	0.988	0.998	0.734	1.000	1.000	0.811	0.876	0.754	0.681	0.701
Сосијете Женерал банка	0.364	0.684	0.396	1.000	1.000	1.000	1.000	0.967	1.000	0.903	0.830	0.800
Српска банка	1.000	0.313	0.312	0.162	0.087	0.064	0.062	0.090	0.139	0.198	0.147	0.114
Уникредит банка	0.671	0.195	0.385	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Војвођанска банка	1.000	1.000	0.575	0.483	0.369	0.357	0.309	0.338	0.332	0.359	0.403	0.390
Фолксбанка	0.235	0.489	0.183	0.994	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.738	0.919
Просек	0.530	0.451	0.503	0.655	0.586	0.670	0.640	0.628	0.594	0.607	0.503	0.545
# ефикасних ДМУ	4	4	4	5	5	9	9	7	7	5	2	4
# неефикасних ДМУ	21	21	21	20	20	16	16	18	18	20	23	21

5.2. Примена PJS модела у непрофитно оријентисаним системима

Здравствени системи представљају једну од најважнијих компоненти приликом сагледавања развијености одређене државе (Alexander et al., 2003). У интересу сваке државе је да очува и унапреди здравље својих грађана тако што ће им обезбедити адекватну медицинску превенцију, заштиту и негу. Према Светској Здравственој Организацији (СЗО) „добар здравствени систем је онај који обезбеђује квалитетну услугу свим људима када и где им је она неопходна. Тачан скуп услуга варира од државе до државе, али у свим случајевима захтева робустан механизам финансирања, добро обучену и адекватно плаћену радну снагу, поуздане информације на којима се заснивају одлуке и политике и добро одржаване објекте и логистичку подршку како би се обезбедили квалитетни лекови и технологије“ (WHO, 2018).

Основни део сваког здравственог система чине ресурси, организација и финансирање. Ресурси обухватају људске ресурсе (лекаре, сестре, зубаре, терапеуте и остало медицинско особље), здравствене установе, здравствену опрему (кревети, медицинска апаратура и материјал) и лекове. Ипак, људски ресурси су ти који се сматрају за основ здравственог система и представљају његов највећи и најважнији ресурс који треба стално развијати (Jovanović et al., 2015).

Свака држава је у обавези да води рачуна о здравственој заштити својих грађана и да спроводи политику здравствене заштите у складу са својим економским могућностима. Здравствени системи између различитих земаља најчешће се разликују по томе на који начин се прикупљају средства за здравствени систем, односно по начину финансирања. Позната су четири основна модела финансирања здравственог система (Wallace, 2013):

- 1) Беверицов модел - назван по британском економисти и реформатору Вилијаму Беверицу. Основне карактеристике овог модела су те што се здравствени систем финансира из државног буџета преко плаћања пореза. Доступан је свима и већина здравствених установа су у државном

власништву. Земље у којима је имплементиран овај модел су Велика Британија, Шпанија и Нови Зеланд.

- 2) Бизмарков модел - назван по немачком канцелару Оту фон Бизмарку. По овом моделу здравствени систем се финансира преко обавезног здравственог осигурања које уплаћују запослени и послодавци. Покрива целокупно становништво и нема тенденцију за прављењем профита. Земље које користе овај модел су Немачка, Белгија, Холандија, Француска и Јапан.
- 3) Модел националног здравственог осигурања (НЗО). Овај модел садржи карактеристике и Беверицовог и Бизмарковог модела. Здравствене установе су већином у приватном власништву, али се услуге плаћају од стране државе на основу премија осигурања који сваки становник уплаћује. Такође, не постоји тенденција за профитом, а услуге су приступачне свим слојевима становништва, али влада задржава право да сама одређује које ће то трошкове медицинских услуга да покрије. Типичан представник овог модела је Канада.
- 4) Модел самофинансирања. Заступљен је најчешће у оним земљама које су недовољно развијене, сиромашне и нису у стању да обезбеде свеобухватни национални здравствени систем. Све је препуштено појединцу, па се у тим земљама углавном јављају приватне здравствене установе које скупо наплаћују своје услуге, и које могу да приуште само имућније становништво. Овај модел се среће у руралним деловима Индије, Кине и Јужне Америке.

Поједини аутори су се бавили анализом који од модела финансирања здравствених система даје боље резултате (Van der Zee & Kroneman, 2007; Wagstaff, 2009). Међутим, треба нагласити да у већини земаља поред основног модела финансирања здравственог система, могу да коегзистирају и остали модели (Wranik, 2012; Jovanović et al., 2015). Сједињене Америчке Државе (САД), на пример, имају јединствен модел који има елементе сва четири модела, али се у основи не може класификовати ни у један. Међутим, због највећег трошка по особи на здравствено осигурање, него било која друга земља, САД се најчешће

сврстава у групу земаља који имају модел самофинансирања (Anderson et al., 2003; Jovanović et al., 2015; Squires & Anderson, 2015).

Од здравственог система једне државе, како грађани, тако и доносиоци политичких одлука, захтевају да даје најбоље могуће резултате, с обзиром на значајан број ресурса који се издваја за њега. Због тога је од изузетне важности да се на прецизан и објективан начин процени ефикасност система здравствене заштите, како би могло да се уочи где се јавља губитак ресурса и где постоји могућност за побољшањем (Cylus & Pearson, 2016). Расподела ресурса у здравству се разликује од државе до државе, и поређењем релативне ефикасности одређене државе са државама сличним њој, носиоци политика могу да увиде да ли би можда другачија расподела тих ресурса или примена другачије политике могла да пружи боље резултате (Varabyova & Müller, 2016).

Мерење ефикасности у здравству није лак задатак. Прво треба одредити шта би то требало да представља излазе односно резултате неког здравственог система, а онда и улазе за које се сматра да доприносе остварењу тих излаза. Поред тога, на здравствено стање једне нације не утичу само новчана улагања и расподела здравствених ресурса, већ у обзир треба узети и друге факторе, као што су нпр. социолошки, економски и еколошки фактори. На резултате система здравствене заштите, поред адекватне медицинске неге, утичу и понашање и животне навике становништва (Nadad et al., 2011). ДЕА метода је због својих особина препозната као најчешће коришћени приступ у мерењу ефикасности здравствених система. Међутим, како је већ наглашено, на здравствене системе утичу и екстерни фактори, па поред ДЕА као главне методе, често се користе и регресиони модели у спреси са статистичким тестовима како би се извршила обухватнија анализа и увидео утицај околине на ефикасност, односно неефикасност (Cantor & Poh, 2018; Kohl, et al., 2018).

Прегледом досадашње литературе која се бави ефикасношћу у здравству уочава се да је најчешћа примена на мерење ефикасности болница, затим других здравствених установа, док је мали број радова посвећен мерењу ефикасности здравствених система држава. Холингсворт наводи да број таквих радова чини тек 4% од свих радова који мере ефикасност у здравству (Hollingsworth, 2008). Тек

изласком годишњег извештаја Светске Здравствене Организације за 2000. годину, у коме је акценат био на мерењу учинка здравствених система 191 државе (Evans et al., 2001), почиње да расте заинтересованост и за ту тему. Тај извештај је изазвао велике полемике и критике (Hollingsworth & Wildman, 2003; Richardson et al., 2003; Paranicolas & Cylus, 2017), али је био мотиватор и покретач истраживачима да крену да пишу и објављују бројне радове на тему мерења ефикасности здравствених система држава. Једна од критика је та што се не даје предлог шта би нека држава требала да уради да би побољшала позицију на којој се тренутно налази (Pedersen, 2002). Друга битна критика се односи на то да су показатељи ефикасности добили фиксне тежине које су исте за све државе. Гонзалес и коаутори кажу да би требала да постоји слобода у избору тежина због различитих циљева држава, али не у превеликој мери како се не би смањила могућност поређења (González et al., 2010).

Као што је већ речено, у досадашњој литератури се много чешће мерила ефикасност болница одређене државе, него здравствених система као целине. Услед тога, и радови који се баве прегледом литературе мерења ефикасности у здравству, стављају посебан акценат на болнице. Најзначајнији од њих су (Hollingsworth et al. 1999; Hollingsworth, 2003; Hollingsworth, 2008; O'Neill et al., 2008; Pelone et al., 2015; Cantor & Poh, 2018; Kohl, et al., 2018). Како Варабјова и Милер наводе, пре него што су они објавили свој рад, није постојао нити један рад који је систематизовао све дотадашње радове који су се бавили мерењем ефикасности здравствених система држава (Varabyova & Müller, 2016). Они су направили преглед 22 такве студије, закључно са августом 2014 године. У већина од њих је кориштена ДЕА методу за процену ефикасности. У 11 студија била је спроведена двоетапна анализа, где су се у другој етапи испитивали утицаји екстерних променљивих на ефикасност. Значајно запажање до кога су дошли је то да иако већина студија користи исте изворе података и сличне улазе и излазе, резултати ефикасности по државама доста варирају од студије до студије. То су потврдили Спирмановим тестовима корелације између вредности ефикасности добијених сличним методама. До истих запажања су дошли и (Paranicolas & Cylus, 2017). Једино Јапан и Јужна Кореја у већини анализираних студија имају високу вредност ефикасности. Такве разлике између резултата доводе до

закључка да су здравствени системи осетљиви на методологију која се примењује при мерењу ефикасности, па зато приликом избора одговарајуће методе треба бити опрезан, а посебну пажњу треба посветити правилној интерпретацији резултата.

Табела 16 представља преглед досадашње литературе који обухвата радове који примењују ДЕА методу за мерење ефикасности здравствених система држава. Прегледом су обухваћена 44 рада. Први је објављен 1998. године, а последњи 2018. године. 16 радова је обухватило и анализу екстерних фактора који утичу на ефикасност здравствених система (Radojčić et al., 2018a). Најчешће су анализирани државе припаднице Организације за економску сарадњу и развој (ОЕСР).

У табели 17 (која сумира резултате табеле 16) може да се уочи да се најчешће за излазе једног здравственог система узимају „Очекивано трајање живота“ (И1) и „Стопа смртности одојчади“ (тј. њен позитивни облик - „Стопа преживљавања одојчади“) (И2), стога су они узети као излази и у овој студији. Остали показатељи нису заступљени у већој мери. За улазе су узети такође најчешће коришћени улази у досадашњим студијама - „Трошак за здравство“ (У1), „Број лекара“ (У2), „Број медицинских техничара“ (У3) и „Број болничких кревета“ (У4). С обзиром да је показано да и екстерни фактори могу да утичу на ефикасност здравствених система, у овој анализи су и они обухваћени. У обзир су узети „Образовање“ (С1), „БДП (Бруто друштвени производ по глави становника)“ (С2), „Ухрањеност“ (С3) и „Удео пушача“ (С4). Поред њих, креиране су и три лажне променљиве (С5, С6, С7) које се односе на модел финансирања који је присутан у државама. Коришћење лажних променљивих у двоетапној ДЕА је често у литератури (Assaf et al., 2011; Ahmad et al., 2015; Gholami et al., 2015; Selim & Bursalioğlu, 2015; Pérez-Cárceles et al., 2017; Bobde & Tanaka, 2018). За базну променљиву изабран је „Бевериџ“ модел јер највећи број држава користи управо тај модел. Детаљније објашњење свих променљивих је дато у табели 18.

Табела 16. Преглед литературе примене ДЕА методе у здравству

Рад	Обим	Улази	Излази	Екстерни фактори
(Puig-Junoy, 1998)	21 ОЕСР држава између 1961. и 1990.	број лекара, број немедицинског особља, број болничких кревета, број медицинских техничара, удео пушача, удео конзумента алкохола	очекивано трајање живота	просек година образовања, лични трошак за здравство, готовинско осигурање
(Alexander et al., 2003)	51 држава у развоју у 1998. и 1999.	БДП, трошак за здравство	очекивано трајање живота за мушкарце са хендикепом, очекивано трајање живота за жене са хендикепом, стопа преживљавања одојчади	трошак за здравство, стопа писмености, удео неухрањеног становништва, број лекара и доступност лекова, особе које живе са сидом
(Hollingsworth & Wildman, 2003)	140 држава између 1993. и 1997.	трошак за здравство, очекиване године школовања	очекивано трајање живота особа са хендикепом	
(Retzlaff-Roberts et al., 2004)	27 ОЕСР држава у 2000.	број болничких кревета, број МРТ апарата, број лекара, трошак за здравство	стопа смртности одојчади, очекивано трајање живота	очекиване године школовања, Дини индекс, удео пушача
(Afonso & Aubyn, 2005)	30 ОЕСР држава у 2000.	МЛ1: трошак за здравство; МЛ2: број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета	стопа преживљавања одојчади, очекивано трајање живота	
(Afonso et al., 2005)	23 ОЕСР држава у 2002.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета	стопа преживљавања одојчади, очекивано трајање живота	
(Bhat, 2005)	24 ОЕСР државе и 2002. и 2003.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета, лекови	удео популације по старосном добу	
(Grosskopf et al., 2006)	143 државе између 1977. и 1990.	трошак за здравство, број радно способних, ниво образовања	очекивано трајање живота, стопа смртност деце испод 5 година, БДП	
(Adnag & Borm, 2007)	15 ЕУ држава у 1995. и	трошак за здравство, број лекара,	очекивано трајање живота,	

Рад	Обим	Улази	Излази	Екстерни фактори
	2002.	удео пушача	стопа смртности одојчади	
(Kirigia et al., 2007)	53 државе Африке између 1999. и 2003.	писменост, трошак за здравство	очекивано трајање живота	
(Mirmirani, 2008)	8 држава Европе између 1997. и 2001.	број лекара, број болничких кревета, вакцинација, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади	
(Spinks & Hollingsworth, 2009)	28 ОЕСР држава у 1995. и 2000.	очекиване године школовања, стопа незапослености, БДП, трошак за здравство	очекивано трајање живота	
(González et al., 2010)	165 држава у 2004.	трошак за здравство, очекиване године школовања	очекивано трајање живота, очекивано трајање живота особа са хендикепом	
(Adam et al., 2011)	19 ОЕСР држава између 1980. и 2000.	трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади	индекс социо-економског окружења, индекс гаранције инвестиције, густина насељености, проценат особа преко 65 година, проценат популације у урбаним срединама, индекс отворености тржишта
(Afonso & Aubyn, 2011)	21 ОЕСР држава у 2005.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета, број МРТ апарата	очекивано трајање живота, стопа преживљавања одојчади, изгубљене потенцијалне године живота	БДП, ниво образовања, удео гојазних, удео пушача
(Hadad et al., 2011)	31 ОЕСР држава у 2007.	МЛ1: број лекара, број болничких кревета, трошак за здравство; МЛ2: БДП, конзумација воћа и поврћа, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа преживљавања одојчади	унос масти, јавна потрошња, незапосленост, Цини индекс, еколошки здравствени резултат, коришћење програма управљања болести, здравствени циљеви су

Рад	Обим	Улази	Излази	Екстерни фактори
				дефинисани и праћени, готовинско осигурање, подстицаји везани за учинак
(Mirzosaid, 2011)	12 држава Заједнице независних држава у 2007.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа преживљавања одојчади	
(Hsu, 2012)	46 држава Европе и Централне Азије између 2005. и 2007.	трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади, вакцинација	
(Sinimole, 2012)	180 држава у 2008.	трошак за здравство, очекиване године школовања, број лекара, број медицинских техничара	стопа смртности одојчади, стопа смртности одраслих, неонатална стопа смртности, стопа смртности деце испод 5 година, вакцинације	
(Anton, 2013)	20 држава Европе 2009.	трошак за здравство, број лекара, број болничких кревета	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади	
(Hsu, 2013)	46 држава Европе и Централне Азије између 2005. и 2007.	трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади, вакцинација	густина насељености, БДП, болнички кревети, просек година основног образовања, регион
(Kleine et al., 2013)	32 државе Европе у 2011.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета	стопа преживљавања одојчади, очекивано трајање живота	
(Varabyova & Schreyögg, 2013)	31 ОЕСР држава између 2000. и 2009.	број болничких кревета, број немедицинског особља, број лекара, број медицинских техничара	број отпусних листа, стопа смртности	трошкови за здравство, Џини индекс, густина болница, ниво образовања, задржавање у болницама, проценат особа преко 65 година, очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади, удео стално

Рад	Обим	Улази	Излази	Екстерни фактори
				запослених
(Cheng & Zervopoulos, 2014)	171 држава између 1990. и 2015.	трошак за здравство, писменост	очекивано трајање живота, стопа смртности деце испод 5 година	
(De Cos & Moral-Benito, 2014)	29 ОЕСР држава у 2009.	БДП, трошак за здравство, ниво образовања, удео пушача, удео конзумента алкохола, конзумација воћа и поврћа, емисија азотсубоксида	очекивано трајање живота, очекивано трајање живота са хендикепом, смртности које су се могле избећи	зависност здравственог система од механизма маркетинга, интензитет прописа о пружању здравствене заштите, степен буџетске рестрикције система здравствене заштите, степен децентрализације
(Kim & Kang, 2014)	170 држава у 2006.	трошак за здравство, очекиване године школовања	очекивано трајање живота, стопа смртности деце испод 5 година	
(Popescu et al., 2014)	27 ЕУ држава	вакцинације, трошак за здравство	стопа преживљавања одраслих, учесталост туберкулозе	
(Ravangard et al., 2014)	10 држава Азије између 2004. и 2010.	МЛ1: БДП, ниво образовања, удео пушача; МЛ2: трошак за здравство, број лекара, број болничких кревета	МЛ1: очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади; МЛ2: очекивано трајање живота, стопа смртности деце испод 5 година	
(Aristovnik, 2015)	28 ЕУ држава између 2007. и 2012.	БДП, број лекара	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади	
(Asandului et al., 2015)	30 држава Европе	број апарата за радиотерапију, трошак за здравство, број болничких кревета	учесталост туберкулозе, смртност изазвана исхемијским болестима, очекивано трајање живота	процент особа преко 65 година, урбанизација, стопа писмености, европски здравствени потрошачки

Рад	Обим	Улази	Излази	Екстерни фактори индекс
(Medeiros & Schwierz, 2015)	28 ОЕСР држава у 2012.	трошак за здравство, број лекара, број болничких кревета	очекивано трајање живота за особе са 65 година, очекивано трајање живота, смртности које су се могле избећи	удео конзументата алкохола, удео гојазних, образовање, удео пушача, лични доходак
(Adil et al., 2016)	26 држава Азије у 2012.	број лекара, број медицинских техничара, БДП, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности, стопа плодности	индекс корупције, индекс људског развоја, санитарне просторије, површина, ниво развијености
(Çelik et al., 2016)	55 држава у 1995., 2000., 2005., 2010. и 2013.	лични доходак, трошак за здравство, ниво образовања, урбанизација	очекивано трајање живота, лични трошак за здравство	
(Cetin & Bahce, 2016)	34 ОЕСР државе у 2012.	број лекара, број болничких кревета, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади	
(Mitrović et al., 2016)	42 државе Европе у 2014.	број лекара, број медицинских техничара, трошак за здравство	стопа смртности одојчади, неонатална стопа смртности, доба смртности	БДП, очекивано трајање живота
(Ozcan & Khushalani, 2016)	34 ОЕСР државе у 2000. и 2012.	удео конзументата алкохола, удео пушача, удео гојазних, трошак за здравство	очекивано трајање живота	
(Samut & Cafri, 2016)	29 ОЕСР држава између 2000. и 2010.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета, број МРТ апарата, број ЦТ скенера	број отпусних листа, стопа преживљавања одојчади	БДП, трошкови за здравство, трошак на образовање, број државних болница, број приватних болница, очекивано трајање живота
(Yu, 2016)	31 ОЕСР држава у 2009.	трошак за здравство	смртности које су се могле избећи	
(Behr & Theune, 2017)	30 ОЕСР држава у 2015.	број болничких кревета, број лекара,	стопа смртности одојчади,	

Рад	Обим	Улази	Излази	Екстерни фактори
		број медицинских техничара, број операција, трошкови за здравство	смртност након пријема у болницу, очекивано трајање живота	
(Del Rocío et al., 2017)	29 држава Европе у 2009.	број болничких кревета, број лекара, трошкови за здравство	очекивано трајање живота, стопа преживљавања одојчади	
(Kujawska, 2017)	28 држава Европе и Азије у 2000. и 2013.	трошкови за здравство, Цини коефицијент	очекивано трајање живота за особе са 65 година, очекивано трајање живота	
(Pérez-Cárceles et al., 2017)	49 држава Европе и Централне Азије у 2012.	број лекара, број болничких кревета, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа преживљавања одојчади	БДП, образовање, проценат особа преко 65 година, удео гојазних, удео пушача, вакцинација, густина насељености, регион
(Pourreza et al., 2017)	22 државе Источног Медитерана између 2004. и 2011.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета, трошак за здравство	очекивано трајање живота, стопа смртности одојчади	стопа писмености, лични доходак, лични трошак за здравство, стопа незапослености
(Önen & Sayin, 2018)	34 ОЕСР државе у 2008. и 2012.	број лекара, број медицинских техничара, број болничких кревета	очекивано трајање живота, стопа преживљавања одојчади	

Табела 17. Пет најчешће коришћених показатеља при мерењу здравствених система држава помоћу ДЕА методе

Улази	Број студија	Излази	Број студија	Екстерни фактори	Број студија
трошкови за здравство	37	очекивано трајање живота	36	образовање	7
број лекара	25	стопа смртности/преживљавања одојчади	25	БДП	5
број болничких кревета	22	смртност деце испод 5 година	5	ухрањеност	4
број медицинских техничара	15	очекивано трајање живота особа са хендикепом	4	удео пушача	4
БДП	7	вакцинација	3	популација преко 65 год.	4

Табела 18. Објашњење показатеља коришћених у анализи

Променљива	Назив променљиве	Опис
У1	Трошак за здравство	Подразумева све трошкове на здравство који укључују трошак на производе и услуге здравствене заштите. Обухватају и државне и личне трошкове. Мере се по глави становника и изражени су у доларима, као тренутне цене и тренутни паритет куповне моћи.
У2	Број лекара	Односи се на оне лекаре који пружају директну негу пацијентима (лекари опште праксе, педијатри, физијатри, ортопеди, психијатри и др.) као и на лекаре који раде у здравственом сектору као менаџери, истраживачи и васпитачи. Мере се на хиљаду становника.
У3	Број медицинских техничара	Односи се на оне медицинске техничаре који пружају директну негу пацијентима и оне који раде у здравственом сектору као менаџери, истраживачи и васпитачи. Мере се на хиљаду становника.
У4	Број болничких кревета	Укључује све доступне болничке кревете који се редовно одржавају и одмах стоје на располагању за употребу. Мере се као број доступних кревета на хиљаду становника.
И1	Очекивано трајање живота	Дефинише се као број година које новорођенчад може да очекује да доживи уколико се стопа смртности не мења. Обухвата и мушку и женску популацију и мери се у годинама.
И2	Стопа преживљавања одојчади	Представља однос деце која су преживела прву годину живота, наспрам броја деце која су умрла.
С1	Образовање	Представљено је као проценат популације између 25 и 64 године који поседује високо образовање.
С2	БДП	Бруто друштвени производ. Мери се по глави становника и изражен је у хиљадама долара, по тренутним ценама и тренутном паритету куповне моћи.
С3	Ухрањеност	Изражена је као проценат укупне популације особа старијих од 18 година које су класификоване као гојазне, односно имају индекс телесне масе већи од 30. Индекс телесне масе се рачуна по формули маса (изражена у килограмима)/квадрат висине (изражен у метрима).
С4	Удео пушача	Изражава проценат популације од 15 и више година који тренутно пуше.
С5	Бизмарк	Лажна променљива која има вредност 1, уколико „Бизмарков“ модел представља главни модел финансирања здравства, иначе 0.
С6	НЗО	Лажна променљива која има вредност 1, уколико НЗО модел представља главни модел финансирања здравства, иначе 0.
С7	Самофинансирање	Лажна променљива која има вредност 1, уколико самофинансирање представља главни модел финансирања здравства, иначе 0.

Приликом мерења ефикасности, пожељно је да се посматра више временских периода, јер уколико би се у обзир узела само једна година, није могуће добити праву слику да ли одређени ентитет има тенденцију раста или пада у односу на остале ентитете. Такође, посматрајући само један тренутак времена,

одређена неправилност или тренутна турбуленција може да искриви слику, док посматрање промене ефикасности у неком временском оквиру, може довести до закључака да ли је нека промена политике довела до бољег или лошијег стања (Kohl, et al., 2018). Због тога се већина аутора одлучује да анализира ефикасност у више временских тачака. У овом раду је анализирана ефикасност здравствених система држава у 2010. и 2015. години (Radojčić et al., 2018a).

Трошкови за здравство се разликују у зависности од развијености одређене државе. Најчешће су представљени као трошкови по глави становника или преко процента од бруто домаћег производа (БДП). Гонзалес и коаутори су у свом раду изнели закључак да државни удео у трошковима за здравство позитивно утиче на ефикасност здравствених система (González et al., 2010). Светска економска криза је у многеме утицала на привреде земаља у свету, па тако и на њихове здравствене системе. Након година константног раста од 4% годишње, од 2008. године, раст трошкова за здравство је значајно успорен у скоро свим државама (Cantor & Poh, 2018). Због тога, основна политика многих земаља се огледа у томе да се због ограничених ресурса које поседују, максимизира вредност инвестиција у здравствену заштиту (Hadad et al., 2011). Услед тога, приликом мерења ефикасности ДЕА методом, погодније је користити излазно оријентисане моделе, што је и у овом раду примењено.

Као и при мерењу ефикасности банака, претпоставка је да повећање/смањење улаза не резултује пропорционалном повећању/смањењу излаза, па је модел који се применио за мерење ефикасности, двоетапни излазно оријентисани РЈС модел. Након што се у првој етапи извршила анализа ефикасности, применом РЈС модела, у другој етапи су се тако добијене вредности ефикасности регресирале на екстерне променљиве, на основу СВ алгоритма 1, предложеног од стране (Simar & Wilson, 2007).

У анализу је укључено 38 земаља, а 35 од њих су тренутне чланице ОЕСР. Поред њих у анализу су укључене и три велике светске државе - Русија, Кина, и Јужна Африка. Од тренутних чланица ОЕСР само је Чиле искључен из анализе јер поседује екстремне вредности за одређене показатеље и утицао би на значајно

померање границе ефикасности. Треба напоменути да Литванија и Летонија нису биле чланице у годинама за које је анализа рађена.

Подаци о улазима и излазима су преузети из ОЕСР базе (<http://stats.oecd.org>). За екстерне факторе узети су само последњи доступни подаци, што је имплицирало то да се приликом извршавања друге етапе користити само добијена ефикасност земаља у 2015. години. Подаци о образовању су преузети такође из ОЕСР базе, док су подаци о уделу пушача преузети из базе СЗО (<http://www.who.int>). Подаци од БДП-у су преузети из базе Светске банке (<http://data.worldbank.org>). Информације о основном моделу финансирања које држава примењује преузети су из (Wallace, 2013; Jovanović et al., 2015; Del Rocio et al., 2017). За попуну недостајућих података, којих је било нешто мање од 6%, кориштени су уобичајени интернет извори.

ДЕА анализа је спроведена уз помоћ DEA Solver софтвера (Cooper et al., 2006), а доње и горње границе за ограничења у РЈС моделу на основу интерно развијеног софтвера за И-одстојање. Регресија вредности ефикасности у другој етапи је спроведена уз помоћ STATA софтверског пакета и модула који имплементира СВ алгоритам 1 (Badunenko & Tauchmann, 2017).

Доње и горње границе за тежине су генерисане И-одстојањем са реузорковањем. Након 1,000 итерација реузорковања на 63% узорка (24 ентитета у свакој итерацији), добијене тежине су приказане у табели 19. Доња граница (D) у ГАР моделу је одређена минималном, а горња граница (G) максималном добијеном тежином.

Табела 19. Тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем за здравствени систем

П	2010				2015			
	Д	Г	m	σ	Д	Г	m	σ
У1	0.115	0.391	0.239	0.042	0.128	0.369	0.255	0.035
У2	0.162	0.396	0.291	0.041	0.136	0.419	0.284	0.043
У3	0.161	0.371	0.267	0.037	0.178	0.442	0.286	0.042
У4	0.071	0.296	0.203	0.032	0.002	0.300	0.176	0.043
И1	0.429	0.535	0.513	0.012	0.408	0.527	0.498	0.028
И2	0.465	0.571	0.487	0.012	0.473	0.592	0.502	0.028

П-показатељ; m-средња вредност; σ-стандардна девијација; Д-доња граница; Г-горња граница

Средња вредност тежина добијених И-одстојањем са реузорковањем (табела 19), представља, колика би значајност тих показатеља била у мерењу ефикасности. Интересантно је да је у 2010. години најважнији улаз био „Број лекара“, док је то „Број медицинских техничара“ за 2015. годину. У обе године најмање значајан улаз је био „Број болничких кревета“. Овакав резултат потврђује тврдњу изнету у (Јовановић et al., 2015) да људски ресурси представљају најважније ресурсе здравственог система. У табели 20 су приказане оцене ефикасности добијене РСЈ методом, а у табели 21 сумарни резултати према четири начина финансирања здравствених система.

Табела 20. Ефикасност здравствених система процењена РСЈ моделом

ДМУ	2010	2015	ДМУ	2010	2015
Аустралија	0.739	0.683	Мађарска	0.733	0.688
Аустрија	0.750	0.693	Мексико	0.884	1
Белгија	0.795	0.665	Немачка	0.791	0.664
Велика Британија	0.818	0.739	Нови Зеланд	0.720	0.572
Грчка	0.890	0.931	Норвешка	0.883	0.835
Данска	0.786	0.616	Пољска	0.864	0.837
Естонија	1	0.953	Португал	1	0.861
Израел	0.948	0.977	Русија	0.590	0.511
Ирска	0.826	0.679	САД	0.608	0.491
Исланд	1	0.856	Словачка	0.659	0.620
Италија	0.935	0.889	Словенија	1	1
Јапан	1	0.935	Турска	0.947	1
Јужна Африка	1	1	Финска	0.977	0.976
Јужна Кореја	1	0.973	Француска	0.805	0.620
Канада	0.779	0.643	Холандија	0.782	0.667
Кина	1	1	Чешка Република	0.958	0.797
Летонија	0.830	0.850	Швајцарска	0.749	0.599
Литванија	0.745	0.625	Шведска	0.986	0.818
Луксембург	0.815	0.743	Шпанија	0.939	1

Табела 21. Ефикасност према моделу финансирања здравствених система

	Модел	Просек ефикасности	# ефикасних јединица	# неефикасних јединица
2010	Бевериг	0.889	3	12
	Бизмарк	0.821	2	12
	НЗО	0.871	1	4
	Самофинансирање	0.839	2	2
	Укупно	0.856	8	30
2015	Бевериг	0.820	2	13
	Бизмарк	0.741	0	14
	НЗО	0.848	2	3
	Самофинансирање	0.772	2	2
	Укупно	0.790	6	32

Укупна просечна ефикасност за 2010. годину је износила 85.6%, док је у 2015. нижа за више од 5% (79%). Такође је и број ефикасних јединица смањен са 8 на 6. Само су три државе успеле да остану на граници ефикасности - Словенија, Кина и Јужна Африка. Од њих је једино Словенија чланица ОЕСР. Јужна Африка је држава која од свих анализираних има најлошије излазе, а и Кина је међу слабијим земљама што се тиче излаза, међутим то их није спречило да се у обе анализиране године нађу на граници ефикасности. Разлог за то је што су и њихови улази најмањи у односу на друге земље. Скроз је супротна ситуација са Словенијом, која има највећу стопу преживљавања одојчади, док јој се остали показатељи крећу око просека, са изузетком броја лекара, који је ипак нешто мањи од просека. Овакви резултати имплицирају да би у будућности када се врше овакве анализе, можда прво требало раздвојити државе по кластерима на основу одређених параметара па тек онда мерити ефикасност у оквиру сваког кластера.

Само шест држава је у 2015. години успело да повећа своју релативну ефикасност у односу на 2010. годину. То су Грчка, Мексико, Шпанија, Турска, Израел и Летонија. Штавише Мексико, Шпанија и Турска се у 2015. години налазе на граници ефикасности. Те три земље су показивале највећу ефикасност и код (Cetin & Bahce 2016; Ozcan & Khushalani, 2016; Yu, 2016; Behr & Theune, 2017; Kujawska, 2017; Önen & Sayin, 2018). Исланд, Јапан, Јужна Кореја, Португал и Естонија су државе које су у 2010. години биле на граници ефикасности а у 2015. се налазе испод ње. Велике вредности ефикасности за Јапан и Јужну Кореју су у складу са закључком који је изнет у (Varabyova & Müller, 2016).

Што се тиче ефикасности према моделу финансирања, у 2010. години најефикаснијим се показао „Беверицов“ модел, док је за 2015. најефикаснији НЗО. Чак 50% земаља које користе модел самофинансирања је ефикасно, и то су већ раније споменуте Кина и Јужна Африка. Преостале две земље које користе овај модел су Швајцарска и САД и оне су доста слабо рангиране. Тачније, САД је држава која је исказала најлошију ефикасност здравствених система у 2015. години. Ту улогу је преузела од Русије, која је у 2010. години била најлошије рангирана држава. САД је држава која убедљиво највише новца по глави становника троши на здравство. С обзиром да припадају моделу

самофинансирања, велики проценат становништва уплаћује приватно здравствено осигурање које је доста скупо јер су и медицинске услуге, материјал и лекови доста скупљи него у осталим развијеним земљама (Jovanović et al., 2015).

У табели 22. налазе се резултати друге етапе, односно примене СВ алгоритма 1, како би се пронашли узроци неефикасности. Иако Гонзалес и коаутори наводе да је образовање широко препознато као главни покретач здравственог стања једне нације у овој анализи је показано да оно не утиче значајно на ефикасност здравствених система (González et al., 2010). Од свих анализираних екстерних фактора само „Ухрањеност“ значајно утиче на ефикасност, односно што је већи број гојазних особа у некој држави, ефикасност здравственог сектора те државе ће бити мања. Ово је битна информација како за доносиоце политичких одлука, тако и за осигуравајућа друштва, јер се висина накнаде коју појединац плаћа према осигуравајућој кући одређује преко разних животних навика самог појединца, међу којима је и ухрањеност. САД је држава која процентуално има највећи број гојазних особа међу популацијом старијом од 18 година (једина која уз Нови Зеланд прелази 30%, а једина која прелази 35%). Интересантно је то што за показатељ „Удео пушача“, није показано да значајно доприноси неефикасности. То је такође индикатор који је од значаја за осигуравајуће компаније и оне би у будућности требале да гојазне особе стављају у ризичнију категорију него особе које пуше.

Модел финансирања здравствених система су испитивани преко лажне променљиве и није пронађена статистичка значајност (на нивоу од $\alpha = 0.01$) да је било који модел финансирања здравствених система ефикаснији од базног модела, за који је узет „Бевериц“ модел.

Дакле, на основу горе изнетих резултата, доносиоци политичких одлука могу да увиде како се здравствени системи њихових држава пореде са здравственим системима држава сличним њима. Показано је да не постоји идеалан модел финансирања здравства, већ да свака држава треба да имплементира онај систем који одговара њиховим социо-економским и политичким циљевима. Такође, реорганизација људских ресурса и новчаних средстава која се издвајају за њих би могао да допринесе повећању ефикасности

код појединих земаља. На крају, посебне мере подизања нивоа свести становништва о исхрани и посебни државни програми за смањење броја гојазних људи у популацији би значајно утицали на свеукупно здравље нације, а самим тим и на смањење неефикасности здравствених система.

Табела 22. Резултати добијени у другој етапи

Фактор	Коефицијент	Стандардна грешка	z	P> z
C1	-.0002109	.0028385	0.07	0.941
C2	-.0020547	.0017739	-1.16	0.247
C3	-.0152475	.0049594	-3.07	0.002
C4	-.0037613	.0074836	-0.50	0.615
C5	-.0795446	.0563197	-1.41	0.158
C6	-.0959791	.0889756	-1.08	0.281
C7	-.1794082	.1005370	-1.78	0.074

6. Закључак

Мерење ефикасности је врло важно за пословање сваке организације. Свака организација, било да је профитно, било да је непрофитно оријентисана, користи људске и материјалне ресурсе за производњу излаза и остваривање одређених резултата пословања. Оцена процеса трансформације ресурса у резултате врши се помоћу анализа учинка и поређења са узорним јединицама. Анализа поређења се може реализовати као интерна, упоређивањем са јединицама из исте организације или праћењем историјских података, и као екстерна, упоређивањем сопствених резултата са резултатима других организација које послују под сличним или истим условима.

Ова дисертација обухвата преглед различитих метода за мерење ефикасности. Фокус је стављен на процену релативне ефикасности ентитета, односно ефикасност јединица у односу на остале јединице у посматраном скупу. Направљен је преглед параметарских и непараметарских метода за процену ефикасности. Две најчешће коришћене параметарске методе у литератури су коригована метода најмањих квадрата и анализа стохастичких граница. Приказане

су предности и недостаци обе методе. Главни проблем код обе метода је што је неопходно унапред одредити производну функцију којом се улази претварају у излазе. Поред тога обе методе подржавају само анализу система са једним улазом (или излазом).

Са друге стране, ДЕА је најпознатија непараметарска метода за процену ефикасности оних система који користе разнородне улазе за производњу, такође, разнородних излаза. Она израчунава релативну ефикасност посматраних јединица, тако што не захтева да тежине за улазе и излазе буду унапред задате. У дисертацији је дат преглед основних ДЕА модела и објашњен концепт за њихову употребу.

Једна класа ДЕА модела се добија модификацијом основних модела, односно увођењем ограничења за вредности тежинских коефицијената, чиме се повећава дискриминациона моћ методе и омогућава већа дистинкција ефикасних и неефикасних јединица. Други разлог примене ДЕА модела са ограниченим тежинама је да се избегне потпуно игнорисање појединих улаза/излаза. Представљено је неколико различитих основних модела за ограничавање тежина, где је закључено да је најпогоднији модел за коришћење, ГАР модел који ограничава виртуелне тежине. Уз помоћ њега се превазилази проблем осетљивости на мерне јединице улаза или излаза.

У раду је, такође, представљена метода И-одстојања која превазилази проблем укључивања већег броја показатеља, са различитим мерним јединицама, у један синтетички показатељ који садржи максимум информација о посматраној појави, без дуплирања информација. Показано је да се због карактеристика методе И-одстојања, њени резултати могу користити за одређивање граница за тежинске коефицијенте улаза и излаза.

Основни допринос ове дисертације је нови модел за ограничавање тежина у ДЕА. Новим моделом (PJC) се унапређује недостатак који се јавља код класичних модела за ограничавање тежина, где се границе за тежине добијају субјективном проценом од стране експерта. Предложени модел инкорпорира резултате методе И-одстојања у ГАР ДЕА модел. Употребом И-одстојања добија

се објективна процена значајности сваког од показатеља који учествује у процени релативне ефикасности. Процена је вођена подацима, јер је изведена из корелација између вредности И-одстојања и анализираних показатеља. Границе које се дефинишу представљају најмање и највеће вредности које су добијене применом И-одстојања са реузорковањем. Дакле, границе за вредности виртуелних улаза и излаза су генерисане на основу података о посматраним улазима и излазима.

У дисертацији је верификована и утврђена конзистентност предложене методологије применом РЈС модела над примерима из праксе. Процењивана је ефикасност профитних организација у банкарском и непрофитних организација у здравственом сектору. Извршен је исцрпни преглед литературе за те области примена, посебно у здравству, где су по сазнању аутора дисертације први пут обједињени досадашњи радови на тему мерења ефикасности здравствених система држава посредством ДЕА методе. У банкарском сектору мерена је релативна ефикасност јединица на два нивоа хијерархије. Наиме, оцењена је релативна ефикасност банкарских система у 26 држава Европске уније у периоду од 2010. до 2015. године, док је у другом примеру процењена релативна ефикасност 25 индивидуалних банака које послују у Републици Србији за период од 2005. до 2016. године. Дат је упоредни приказ резултата класичне БЦЦ ДЕА методе са резултатима РЈС методе предложене у овом раду. Новом методом се успешно указује на потребу ограничавања тежина, како не би дошло до ситуације да се неки показатељи потпуно игноришу од стране појединих ентитета, при процени релативне ефикасности. Ово је нарочито важно за мерење ефикасности у банкарским системима, јер коришћењем основних ДЕА модела догађа се да се показатељ, који једини представља директни трошак за посматрану јединицу, у потпуности игнорише, што није применљиво у пракси. Укупна ефикасност је такође значајно смањена, што крајњем резултату даје реалнију представу о учинку система. Број ефикасних јединица је самим тим мањи, па је и поређење међу њима једноставније. У примеру који се односи на здравство, мерена је ефикасност здравствених система 38 држава. Поред успешне примене на непрофитни сектор, показано је да РЈС модел може да се примени и у двоетапној анализи, где се регресионом анализом у другој етапи, извршеном на основу СВ

алгоритма 1, утврђује утицај екстерних фактора и утицај различитих система финансирања на ефикасност здравствених система.

Допринос који се остварује овом докторском дисертацијом се огледа у систематизацији постојећег знања у области и дефинисању оригиналног методолошког оквира који се базира на унапређењу ДЕА методе укључивањем резултата методе И-одстојања, а који је потврђен кроз тестирање на реалним примерима. Сходно томе, као резултати овог рада могу се навести:

- целовит приказ проблема мерења ефикасности организационих система и модела за оцену ефикасности;
- детаљна анализа ДЕА методе и осталих метода за мерење ефикасности, уз критички осврт на досадашње резултате истраживања;
- развој методолошког оквира који представља унапређење ДЕА методе коришћењем методе И-одстојања;
- имплементација предложеног модела на оцењивање ефикасности у профитно и непрофитно оријентисаним организацијама, чиме се истиче универзалност предложеног модела;
- потврда добијених резултата кроз публикавање научних и стручних радова.

Литература

1. Abramowitz, M. & Stegun, I.A.. (1965). Handbook of Mathematical Functions. New York: Dover.
2. Adam, A., Delis, M., & Kammas, P. (2011). Public sector efficiency: leveling the playing field between OECD countries. *Public Choice*, 146(1-2), 163-183.
3. Adang, E. M., & Borm, G. F. (2007). Is there an association between economic performance and public satisfaction in health care?. *The European Journal of Health Economics*, 8(3), 279-285.
4. Adil, R., Abbas, M., & Yaseen, A. (2016). Determinants of Efficiency in Health Sector: DEA Approach and Second Stage Analysis. *Journal of Accounting and Finance in Emerging Economies*, 2(2), 83-92.
5. Afonso, A., & Aubyn, S. M. (2005). Non-parametric approaches to education and health efficiency in OECD countries. *Journal of Applied Economics*, 8(2), 227-246.
6. Afonso, A., & Aubyn, S. M. (2011). Assessing health efficiency across countries with a two-step and bootstrap analysis. *Applied Economics Letters*, 18(15), 1427-1430.
7. Afonso, A., Schuknecht, L., & Tanzi, V. (2005). Public sector efficiency: an international comparison. *Public Choice*, 123(3-4), 321-347.
8. Afriat, S. N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economic Review*, 13(3), 568-598.
9. Ahmad, H. K., Mujaddad, H. G., & Nadeem, M. (2015). An Analysis Of Banks Performance In Pakistan Using Two-Step Double Bootstrap Dea Approach. *Pakistan Economic and Social Review*, 53(2), 331-350.
10. Aiello, F., & Bonanno, G. (2018). On the sources of heterogeneity in banking efficiency literature. *Journal of Economic Surveys*, 32(1), 194-225.
11. Aigner, D. J., & Chu, S. F. (1968). On estimating the industry production function. *The American Economic Review*, 58(4), 826-839.
12. Aigner, D., Lovell, C. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21-37.

13. Alexander, C. A., Busch, G., & Stringer, K. (2003). Implementing and interpreting a data envelopment analysis model to assess the efficiency of health systems in developing countries. *IMA Journal of Management Mathematics*, 14(1), 49-63.
14. Allen, R., Athanassopoulos, A., Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1997). Weights restrictions and value judgements in data envelopment analysis: evolution, development and future directions. *Annals of operations research*, 73, 13-34.
15. Altunbaş, Y., Gardener, E. P., Molyneux, P., & Moore, B. (2001). Efficiency in European banking. *European Economic Review*, 45(10), 1931-1955.
16. Amiel, D., & Hyppolite, P. A. (2016). Is There an Easy Way Out? Redenomination Issues and Their Financial Consequences in Case of a Greek Exit from the Eurozone. In P. E. Petrakis (Eds.), *A New Growth Model for the Greek Economy* (pp. 115-139). New York: Palgrave Macmillan.
17. Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39(10), 1261-1264.
18. Anderson, G. F., Reinhardt, U. E., Hussey, P. S., & Petrosyan, V. (2003). It's the prices, stupid: why the United States is so different from other countries. *Health Affairs*, 22(3), 89-105.
19. Anton, S. G. (2013). Technical efficiency in the use of health care resources: a cross-country analysis. *Annals of the Alexandru Ioan Cuza University-Economics*, 60(1), 1-12.
20. Aristovnik, A. (2015). Efficiency of the Healthcare Sector in the EU-28 at the Regional Level. In *Managing intellectual capital and innovation for sustainable and inclusive society: proceedings of the MakeLearn and TIIM Joint International Conference, 27-29 May 2015, Bari, Italy*. Bangkok, Celje, Lublin: ToKnowPress.
21. Asandului, L., Popescu, C., & Fătulescu, I. P. (2015). Identifying and Explaining the Efficiency of the Public Health Systems in European Countries. *Annals of the Alexandru Ioan Cuza University-Economics*, 62(3), 357-368.
22. Asmild, M., & Matthews, K. (2012). Multi-directional efficiency analysis of efficiency patterns in Chinese banks 1997–2008. *European Journal of Operational Research*, 219(2), 434-441.

23. Asmild, M., & Zhu, M. (2016). Controlling for the use of extreme weights in bank efficiency assessments during the financial crisis. *European Journal of Operational Research*, 251(3), 999-1015.
24. Assaf, A. G., Barros, C. P., & Matousek, R. (2011). Technical efficiency in Saudi banks. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5781-5786.
25. Athanassopoulos, A. D., & Curram, S. P. (1996). A comparison of data envelopment analysis and artificial neural networks as tools for assessing the efficiency of decision making units. *Journal of the Operational Research Society*, 47(8), 1000-1016.
26. Avkiran, N. K. (1999). An application reference for data envelopment analysis in branch banking: helping the novice researcher. *International Journal of Bank Marketing*, 17(5), 206-220.
27. Avkiran, N. K. (2006). Developing foreign bank efficiency models for DEA grounded in finance theory. *Socio-Economic Planning Sciences*, 40(4), 275-296.
28. Avkiran, N. K. (2009). Opening the black box of efficiency analysis: an illustration with UAE banks. *Omega*, 37(4), 930-941.
29. Avkiran, N. K. (2015). An illustration of dynamic network DEA in commercial banking including robustness tests. *Omega*, 55, 141-150.
30. Azadeh, A., Ghaderi, S. F., Omrani, H., & Eivazy, H. (2009). An integrated DEA–COLS–SFA algorithm for optimization and policy making of electricity distribution units. *Energy Policy*, 37(7), 2605-2618.
31. Badunenko, O., & Tauchmann, H. (2017). SIMARWILSON: Stata module to perform Simar & Wilson (2007) efficiency analysis [Computer software]. *Препозитива*: <https://econpapers.repec.org/software/bocbocode/s458156.htm>
32. Banerjee, B. (2012). Banking Sector Efficiency in New EU Member States: A Survey of Cross-Country Evidence. *Eastern European Economics*, 50(6), 81-115.
33. Banker, R. D., & Morey, R. C. (1986). Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. *Operations Research*, 34(4), 513-521.
34. Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

35. Barros, C. P., & Assaf, A. (2009). Bootstrapped efficiency measures of oil blocks in Angola. *Energy Policy*, 37(10), 4098-4103.
36. Barros, C. P., & Dieke, P. U. (2008). Measuring the economic efficiency of airports: A Simar–Wilson methodology analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(6), 1039-1051.
37. Barros, C. P., & Leach, S. (2006). Performance evaluation of the English Premier Football League with data envelopment analysis. *Applied Economics*, 38(12), 1449-1458.
38. Barros, C. P., Chen, Z., Liang, Q. B., & Peypoch, N. (2011). Technical efficiency in the Chinese banking sector. *Economic Modelling*, 28(5), 2083-2089.
39. Behr, A. (2015). *Production and Efficiency Analysis with R*. Basel: Springer International Publishing.
40. Behr, A., & Theune, K. (2017). Health System Efficiency: A Fragmented Picture Based on OECD Data. *PharmacoEconomics Open*, 1(3), 203-221.
41. Berg, S. (2010). *Water utility benchmarking: Measurement, methodologies, and performance incentives*. London: Iwa Publishing.
42. Berger, A. N. (2007). International comparisons of banking efficiency. *Financial Markets, Institutions & Instruments*, 16(3), 119-144.
43. Berger, A. N., & Humphrey, D. B. (1997). Efficiency of financial institutions: International survey and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 98(2), 175-212.
44. Berndt, E. R., & Christensen, L. R. (1973). The translog function and the substitution of equipment, structures, and labor in US manufacturing 1929-68. *Journal of Econometrics*, 1(1), 81-113.
45. Bhat, V. N. (2005). Institutional arrangements and efficiency of health care delivery systems. *The European Journal of Health Economics*, 6(3), 215-222.
46. Bifulco, R., & Bretschneider, S. (2001). Estimating school efficiency: A comparison of methods using simulated data. *Economics of Education Review*, 20(5), 417-429.
47. Birch, M. W. (1964). The detection of partial association, I: The 2×2 case. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 313-324.
48. Birch, M. W. (1965). The detection of partial association, II: the general case. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 111-124.

49. Biswas, A., & Verma, S. (2013). Parametric Approach for Estimation of Technical Efficiency. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 2(10), 996-999.
50. Bobde, S. M., & Tanaka, M. (2018). Efficiency evaluation of electricity distribution utilities in India: A two-stage DEA with bootstrap estimation. *Journal of the Operational Research Society*, 1423-1434. DOI: 10.1080/01605682.2017.1398202
51. Bogetoft, P., & Otto, L. (2010). *Benchmarking with DEA, SFA, and R*. New York: Springer Science & Business Media.
52. Bulajic, M., Jeremic, V., Knezevic, S., & Zarkic-Joksimovic, N. (2013). A Statistical Approach to Evaluating Efficiency of Banks. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 26(4), 91-100.
53. Bogosavljević, S. (1984). *Apriorne metode klasifikacije ekonomskih pojava*, Doktorska disertacija, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
54. Bogosavljević, S. (1997). *O statističkim metodama u rangiranju*, Seminar katedre za matematiku i informatiku, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
55. Cantor, V. J. M., & Poh, K. L. (2018). Integrated Analysis of Healthcare Efficiency: A Systematic Review. *Journal of Medical Systems*, 42(1), paper no. 8.
56. Casu, B., Girardone, C., & Molyneux, P. (2004). Productivity change in European banking: A comparison of parametric and non-parametric approaches. *Journal of Banking & Finance*, 28(10), 2521-2540.
57. Casu, B., & Molyneux, P. (2003). A comparative study of efficiency in European banking. *Applied Economics*, 35(17), 1865-1876.
58. Çelik, Y., Khan, M., & Hikmet, N. (2016). Achieving value for money in health: a comparative analysis of OECD countries and regional countries. *The International journal of health planning and management*, 32(4), 279-298.
59. Cetin, V. R., & Bahce, S. (2016). Measuring the efficiency of health systems of OECD countries by data envelopment analysis. *Applied Economics*, 48(37), 3497-3507.
60. Charnes, A., Cooper, W. W., Lewin, A. Y., & Seiford, L. M. (1994). *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Application*. Dodrecht: Kluwer Academic Publishers.

61. Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
62. Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through. *Management Science*, 27(6), 668-697.
63. Cheng, G., & Zervopoulos, P. D. (2014). Estimating the technical efficiency of health care systems: A cross-country comparison using the directional distance function. *European Journal of Operational Research*, 238(3), 899-910.
64. Chirikos, T. N., & Sear, A. M. (2000). Measuring hospital efficiency: a comparison of two approaches. *Health Services Research*, 34(6), 1389-1408.
65. Chiu, C. R., Chiu, Y. H., Fang, C. L., & Pang, R. Z. (2014). The performance of commercial banks based on a context-dependent range-adjusted measure model. *International Transactions in Operational Research*, 21(5), 761-775.
66. Chortareas, G. E., Girardone, C., & Ventouri, A. (2012). Bank supervision, regulation, and efficiency: Evidence from the European Union. *Journal of Financial Stability*, 8(4), 292-302.
67. Coelli, T. J. (1995). Recent developments in frontier modelling and efficiency measurement. *Australian Journal of Agricultural Economics*, 39(3), 219-245.
68. Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis* (2nd edition). New York: Springer Science & Business Media.
69. Coelli, T., & Perelman, S. (1999). A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways. *European Journal of Operational Research*, 117(2), 326-339.
70. Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. New York: Routledge.
71. Cohen, J., Cohen, P., West, S.G., & Aiken, L.S. (2003). *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences* (3rd edition). Mahwah: Lawrence Earlbaum Associates.
72. Cook, W. D., & Zhu, J. (2008). CAR-DEA: Context-dependent assurance regions in DEA. *Operations Research*, 56(1), 69-78.

73. Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. New York: Springer Science & Business Media.
74. Cubbin, J., & Tzanidakis, G. (1998). Regression versus data envelopment analysis for efficiency measurement: an application to the England and Wales regulated water industry. *Utilities Policy*, 7(2), 75-85.
75. Cummins, J. D., Weiss, M. A., Xie, X., & Zi, H. (2010). Economies of scope in financial services: A DEA efficiency analysis of the US insurance industry. *Journal of Banking & Finance*, 34(7), 1525-1539.
76. Čupić, M. E., & Suknović, M. M. (2010). Odlučivanje. Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
77. Cylus, J., & Pearson, M. (2016). Cross-national efficiency comparisons of health systems, subsectors and disease areas. *Health System Efficiency*, 139-166.
78. Davison, A. C., & Hinkley, D. V. (1997). Bootstrap methods and their application. New York: Cambridge university press.
79. Davutyan, N., & Yildirim, C. (2017). Efficiency in Turkish banking: post-restructuring evidence. *The European Journal of Finance*, 23(2), 170-191.
80. De Cos, P. H., & Moral-Benito, E. (2014). Determinants of health-system efficiency: evidence from OECD countries. *International Journal of Health Care Finance and Economics*, 14(1), 69-93.
81. Degl'Innocenti, M., Kourtzidis, S. A., Sevic, Z., & Tzeremes, N. G. (2017). Bank productivity growth and convergence in the European Union during the financial crisis. *Journal of Banking & Finance*, 75, 184-199.
82. Dejović, S. (2018). Occurrence and development of tax paradise. *Oditor*, 4(2), 17-26.
83. Del Rocío, M. E. M., Gómez-Gallego, J. C., & Gómez, G. M. (2017). Analysis and determination the efficiency of the European health systems. *The International Journal of Health Planning and Management*, 33(1), 136-154.
84. Delis, M., Iosifidi, M., & Tsionas, M. G. (2017). Endogenous bank risk and efficiency. *European Journal of Operational Research*, 260(1), 376-387.
85. Devaney, M., & Weber, W. L. (2002). Small-business lending and profit efficiency in commercial banking. *Journal of Financial Services Research*, 22(3), 225-246.

86. Di Ciccio, T., & Efron, B. (1992). More accurate confidence intervals in exponential families. *Biometrika*, 79(2), 231-245.
87. Dimitrov, S., & Sutton, W. (2010). Promoting symmetric weight selection in data envelopment analysis: A penalty function approach. *European Journal of Operational Research*, 200(1), 281-288.
88. Dobrota, M., Bulajic, M., Bornmann, L., & Jeremic, V. (2016). A new approach to the QS university ranking using the composite I-distance indicator: Uncertainty and sensitivity analyses. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(1), 200-211.
89. Dobrota, M., Jeremić, V., Bulajić, M., & Radojičić, Z. (2015a). Uncertainty and sensitivity analyses of PISA efficiency: Distance based analysis approach. *Acta Polytechnica Hungarica*, 12(3), 41-58.
90. Dobrota, M., Martić, M., Bulajic, M., & Jeremic, V. (2015b). Two-phased composite I-distance indicator approach for evaluation of countries' information development. *Telecommunications Policy*, 39(5), 406-420.
91. Dyson, R. (2000). Performance measurement and data envelopment analysis. *OR Insight*, 13(4), 3-8.
92. Dyson, R. G., & Thanassoulis, E. (1988). Reducing weight flexibility in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 39(6), 563-576.
93. Efron, B. (1981). Nonparametric estimates of standard error: the jackknife, the bootstrap and other methods. *Biometrika*, 68(3), 589-599.
94. Efron, B. (1982). *The jackknife, the bootstrap, and other resampling plans*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
95. Efron, B. (1987). Better bootstrap confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association*, 82(397), 171-185.
96. Efron, B. (1992). Bootstrap methods: another look at the jackknife. In S. Kotz, N. L. Johnson (Eds.), *Breakthroughs in Statistics* (pp. 569-593). New York: Springer.
97. Efron, B., & Tibshirani, R. J. (1993). *An introduction to the bootstrap*. Boca Raton: Chapman & Hall.
98. Eling, M., & Luhnen, M. (2010). Frontier efficiency methodologies to measure performance in the insurance industry: Overview, systematization, and recent

- developments. *The Geneva Papers on Risk and Insurance Issues and Practice*, 35(2), 217-265.
99. Emrouznejad, A., & Yang, G. L. (2018). A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 61, 4-8.
 100. Evans, D. B., Tandon, A., Murray, C. J., & Lauer, J. A. (2001). Comparative efficiency of national health systems: cross national econometric analysis. *BMJ*, 323(7308), 307-310.
 101. Färe, R., Grosskopf, S., Maudos, J., & Tortosa-Ausina, E. (2015). Revisiting the quiet life hypothesis in banking using nonparametric techniques. *Journal of Business Economics and Management*, 16(1), 159-187.
 102. Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-290.
 103. Farsi, M., & Filippini, M. (2005). An analysis of efficiency and productivity in Swiss hospitals. *Swiss Journal of Economics and Statistics*, 142(1), 1-37.
 104. Ferrier, G. D., & Hirschberg, J. G. (1997). Bootstrapping confidence intervals for linear programming efficiency scores: With an illustration using Italian banking data. *Journal of Productivity Analysis*, 8(1), 19-33.
 105. Fethi, M. D., & Pasiouras, F. (2010). Assessing bank efficiency and performance with operational research and artificial intelligence techniques: A survey. *European Journal of Operational Research*, 204(2), 189-198.
 106. Fisher, R. A. (1937). *The design of experiments*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
 107. Fries, S., & Taci, A. (2005). Cost efficiency of banks in transition: Evidence from 289 banks in 15 post-communist countries. *Journal of Banking & Finance*, 29(1), 55-81.
 108. Fujii, H., Managi, S., Matousek, R., & Rughoo, A. (2018). Bank efficiency, productivity, and convergence in EU countries: a weighted Russell directional distance model. *The European Journal of Finance*, 24(2), 135-156.
 109. Fukuyama, H., & Matousek, R. (2017). Modelling bank performance: A network DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 259(2), 721-732.

110. Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2002). Estimating output allocative efficiency and productivity change: Application to Japanese banks. *European Journal of Operational Research*, 137(1), 177-190.
111. Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2017). Japanese bank productivity, 2007–2012: A dynamic network approach. *Pacific Economic Review*, 22(4), 649-676.
112. Gabrielsen, A. (1975). On estimating efficient production functions. Working Paper No. A-85, Christian Michelsen Institute, Department of Humanities and Social Sciences Bergen, Norway.
113. Galagedera, D. U. (2014). Modeling risk concerns and returns preferences in performance appraisal: An application to global equity markets. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 33, 400-416.
114. Geisser, S. (1993). *Predictive inference*. New York: Chapman & Hall.
115. Gholami, R., Higón, D. A., & Emrouznejad, A. (2015). Hospital performance: Efficiency or quality? Can we have both with IT?. *Expert Systems with Applications*, 42(12), 5390-5400.
116. Gofman, M. (2017). Efficiency and stability of a financial architecture with too-interconnected-to-fail institutions. *Journal of Financial Economics*, 124(1), 113-146.
117. Gonçalves, A. C., Almeida, R. M., Lins, M. P. E., & Samanez, C. P. (2013). Canonical correlation analysis in the definition of weight restrictions for data envelopment analysis. *Journal of Applied Statistics*, 40(5), 1032-1043.
118. González, E., Cárcaba, A., & Ventura, J. (2010). Value efficiency analysis of health systems: does public financing play a role?. *Journal of Public Health*, 18(4), 337-350.
119. Good, P. I. (2012). *Introduction to statistics through resampling methods and R/S-PLUS*. Hoboken: John Wiley & Sons.
120. Green, A., Harris, C., & Mayes, D. (1991). Estimation of technical inefficiency in manufacturing industry. *Applied Economics*, 23(10), 1637-1647.
121. Greene, W. H. (2008). The econometric approach to efficiency analysis. In H. O. Fried, C. A. K. Lovell & S. S. Shelton (Eds.), *The measurement of productive efficiency and productivity growth* (pp. 92-250). New York: Oxford University Press.

122. Grosskopf, S., Self, S., & Zaim, O. (2006). Estimating the efficiency of the system of healthcare financing in achieving better health. *Applied Economics*, 38(13), 1477-1488.
123. Hadad, S., Hadad, Y., & Simon-Tuval, T. (2011). Determinants of healthcare system's efficiency in OECD countries. *The European Journal of Health Economics*, 14(2), 253-265.
124. Hall, P. (1988). Theoretical comparison of bootstrap confidence intervals. *The Annals of Statistics*, 16(3), 927-953.
125. Hansson, H. (2007). Strategy factors as drivers and restraints on dairy farm performance: Evidence from Sweden. *Agricultural Systems*, 94(3), 726-737.
126. Hardouvelis, G., & Gkionis, I. (2016). A Decade Long Economic Crisis: Cyprus versus Greece. *Cyprus Economic Policy Review*, 10(2), 3-40.
127. Henningsen, A. (2010). Estimating censored regression models in R using the censReg Package. R package vignettes, University of Copenhagen.
128. Herr, A. (2008). Cost and technical efficiency of German hospitals: does ownership matter?. *Health Economics*, 17(9), 1057-1071.
129. Hesterberg, T., Moore, D. S., Monaghan, S., Clipson, A., & Epstein, R. (2005). Bootstrap methods and permutation tests. In D. S. Moore, G. P. McCabe (Eds.), *Introduction to the Practice of Statistics*. New York: Freeman.
130. Hoff, A. (2007). Second stage DEA: Comparison of approaches for modelling the DEA score. *European Journal of Operational Research*, 181(1), 425-435.
131. Hollingsworth, B. (2003). Non-parametric and parametric applications measuring efficiency in health care. *Health Care Management Science*, 6(4), 203-218.
132. Hollingsworth, B. (2008). The measurement of efficiency and productivity of health care delivery. *Health Economics*, 17(10), 1107-1128.
133. Hollingsworth, B., & Wildman, J. (2003). The efficiency of health production: re-estimating the WHO panel data using parametric and non-parametric approaches to provide additional information. *Health Economics*, 12(6), 493-504.
134. Hollingsworth, B., Dawson, P. J., & Maniadakis, N. (1999). Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods and applications. *Health Care Management Science*, 2(3), 161-172.

135. Hotelling, H. (1936). Relations between two sets of variates. *Biometrika*, 28(3/4), 321-377.
136. Hou, X., Wang, Q., & Zhang, Q. (2014). Market structure, risk taking, and the efficiency of Chinese commercial banks. *Emerging Markets Review*, 20, 75-88.
137. Hsu, Y. C. (2012). The efficiency of government spending on health: Evidence from Europe and Central Asia. *The Social Science Journal*, 50(4), 665-673.
138. Hsu, Y. C. (2013). Efficiency in government health spending: a super slacks-based model. *Quality & Quantity*, 48(1), 111-126.
139. Irastorza, V. (2003). Benchmarking for distribution utilities: a problematic approach to defining efficiency. *The Electricity Journal*, 16(10), 30-38.
140. Isik, I., & Hassan, M. K. (2002). Technical, scale and allocative efficiencies of Turkish banking industry. *Journal of Banking & Finance*, 26(4), 719-766.
141. Išljamović, S., Jeremić, V., Petrović, N., & Radojičić, Z. (2015). Colouring the socio-economic development into green: I-distance framework for countries' welfare evaluation. *Quality & Quantity*, 49(2), 617-629.
142. Ivan, I. C. (2015). Stochastic Frontiers. Case Study–Japanese Banking System. *Procedia Economics and Finance*, 27, 652-658.
143. Ivanović, B. (1977). *Teorija klasifikacije*. Institut za ekonomiku industrije, Beograd.
144. Jain, V., Kumar, A., Kumar, S., & Chandra, C. (2015). Weight restrictions in Data Envelopment Analysis: A comprehensive Genetic Algorithm based approach for incorporating value judgments. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1503-1512.
145. Jamasb, T., & Pollitt, M. (2003). International benchmarking and regulation: an application to European electricity distribution utilities. *Energy Policy*, 31(15), 1609-1622.
146. Jayaraman, A. R., Srinivasan, M. R., & Jeremic, V. (2013). Empirical Analysis of Banks in India using DBA and DEA. *Management*, 18(69), 25-35.
147. Jeremić, V. (2012). *Statistički model efikasnosti zasnovan na Ivanovićevom odstojanju*, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

148. Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., & Radojicic, Z. (2011). A fresh approach to evaluating the academic ranking of world universities. *Scientometrics*, 87(3), 587-596.
149. Jeremic, V., Bulajic, M., Martic, M., Markovic, A., Savic, G., Jeremic, D., & Radojicic, Z. (2012). An Evaluation of European Countries' Health Systems through Distance Based Analysis. *Hippokratia*, 16(2), 170-174.
150. Jeremic, V., Kostic-Stankovic, M., Markovic, A., & Martic, M. (2014). Towards a framework for evaluating scientific efficiency of world-class universities. *International Journal of Social, Management, Economics and Business Engineering*, 8(2), 590-595.
151. Johnes, J., & Li, Y. U. (2008). Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using data envelopment analysis. *China Economic Review*, 19(4), 679-696.
152. Johnes, J., Izzeldin, M., & Pappas, V. (2014). A comparison of performance of Islamic and conventional banks 2004–2009. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 103(Suppl.), 93-107.
153. Jovanović, S., Milovanović, S., Mandić, J., & Jovović, S. (2015). Sistemi zdravstvene zaštite. *Engrami*, 37(1), 75-82.
154. Kao, C., & Hwang, S. N. (2008). Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*, 185(1), 418-429.
155. Kao, C., & Liu, S. T. (2004). Predicting bank performance with financial forecasts: A case of Taiwan commercial banks. *Journal of Banking & Finance*, 28(10), 2353-2368.
156. Kao, C., & Liu, S. T. (2014). Multi-period efficiency measurement in data envelopment analysis: The case of Taiwanese commercial banks. *Omega*, 47, 90-98.
157. Kao, C., & Liu, S. T. (2016). A parallel production frontiers approach for intertemporal efficiency analysis: The case of Taiwanese commercial banks. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 411-421.
158. Kevork, I. S., Pange, J., Tzeremes, P., & Tzeremes, N. G. (2017). Estimating Malmquist productivity indexes using probabilistic directional distances: An

- application to the European banking sector. *European Journal of Operational Research*, 261(3), 1125-1140.
159. Khalili, M., Camanho, A. S., Portela, M. C. A. S., & Alirezaee, M. R. (2010). The measurement of relative efficiency using data envelopment analysis with assurance regions that link inputs and outputs. *European Journal of Operational Research*, 203(3), 761-770.
 160. Khalili-Damghani, K., Tavana, M., & Santos-Arteaga, F. J. (2016). A comprehensive fuzzy DEA model for emerging market assessment and selection decisions. *Applied Soft Computing*, 38, 676-702.
 161. Kim, Y., & Kang, M. (2014). The Measurement of Health Care System Efficiency: Cross-country Comparison by Geographical Region. *The Korean Journal of Policy Studies*, 29(1), 21-44.
 162. Kirigia, J. M., Asbu, E. Z., Greene, W., & Emrouznejad, A. (2007). Technical efficiency, efficiency change, technical progress and productivity growth in the national health systems of continental African countries. *Eastern Africa Social Science Research Review*, 23(2), 19-40.
 163. Kleine, A., Dellnitz, A., & Rödder, W. (2013). Sensitivity analysis of BCC efficiency in DEA with application to european health services. In *Operations Research Proceedings 2013*(pp. 243-248). Rotterdam, Netherlands. 3-6 September. Cham: Springer.
 164. Kohl, S., Schoenfelder, J., Fügener, A., & Brunner, J. O. (2018). The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in healthcare with a focus on hospitals. *Health Care Management Science*, 1-42. DOI: 10.1007/s10729-018-9436-8
 165. Kontić, J., & Kontić, L. (2009). Mergers and acquisitions in banking sector. *Bankarstvo*, 38(5-6), 90-105.
 166. Koopmans, T. C. (1951). *Activity analysis of production and allocation* (No. 13). New York: Wiley.
 167. Kovačić, Z. J. (1994). *Multivarijaciona analiza*. Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
 168. Kujawska, J. (2017). The Efficiency of Post-Communist Countries' Health Systems. In U. Comite (Eds.), *Advances in Health Management* (pp. 93-111). London: InTech.

169. Kumar, S., & Gulati, R. (2013). *Deregulation and efficiency of Indian banks*. New Delhi: Springer.
170. Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. K. (2003). *Stochastic frontier analysis*. New York: Cambridge University Press.
171. Kuosmanen, T., & Post, T. (2001). Measuring economic efficiency with incomplete price information: with an application to European commercial banks. *European Journal of Operational Research*, 134(1), 43-58.
172. Lee, C. C., & Huang, T. H. (2017). Cost efficiency and technological gap in Western European banks: A stochastic metafrontier analysis. *International Review of Economics & Finance*, 48, 161-178.
173. Lee, R. H., Bott, M. J., Gajewski, B., & Taunton, R. L. (2009). Modeling efficiency at the process level: An examination of the care planning process in nursing homes. *Health Services Research*, 44(1), 15-32.
174. Li, Y., Liang, L., Chen, Y., & Morita, H. (2008). Models for measuring and benchmarking Olympics achievements. *Omega*, 36(6), 933-940.
175. Liu, J. S., Lu, L. Y., & Lu, W. M. (2016). Research Fronts and Prevailing Applications in Data Envelopment Analysis. In J. Zhu (Eds.), *Data Envelopment Analysis* (pp. 543-574). Boston: Springer.
176. Liu, J. S., Lu, L. Y., Lu, W. M., & Lin, B. J. (2013). A survey of DEA applications. *Omega*, 41(5), 893-902.
177. Ljumović, I., & Marinković, S. (2016). Recent financial crisis and business perspective of Greek bank subsidiaries in Serbia. *Bankarstvo*, 45(4), 132-149.
178. Mamatzakis, E. (2015). Risk and efficiency in the Central and Eastern European banking industry under quantile analysis. *Quantitative Finance*, 15(3), 553-567.
179. Mamatzakis, E., Staikouras, C., & Koutsomanoli-Filippaki, A. (2008). Bank efficiency in the new European Union member states: Is there convergence?. *International Review of Financial Analysis*, 17(5), 1156-1172.
180. Marklund, P. O., & Samakovlis, E. (2007). What is driving the EU burden-sharing agreement: Efficiency or equity?. *Journal of Environmental Management*, 85(2), 317-329.
181. Marković, M., Knežević, S., Brown, A., & Dmitrović, V. (2015). Measuring the productivity of Serbian banks using Malmquist index. *Management*, 20(76), 1-10.

182. Martić, M. (1999). Analiza obavijenih podataka sa primerima, Doktorska disertacija, Fakultet Organizacionih Nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd.
183. Martić, M., & Savić, G. (2001). An application of DEA for comparative analysis and ranking of regions in Serbia with regards to social-economic development. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 343-356.
184. Matousek, R., Rughoo, A., Sarantis, N., & Assaf, A. G. (2015). Bank performance and convergence during the financial crisis: Evidence from the 'old' European Union and Eurozone. *Journal of Banking & Finance*, 52, 208-216.
185. McDonald, J. (2009). Using least squares and tobit in second stage DEA efficiency analyses. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 792-798.
186. Mecit, E. D., & Alp, I. (2013). A new proposed model of restricted data envelopment analysis by correlation coefficients. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), 3407-3425.
187. Medeiros, J., & Schwierz, C. (2015). Efficiency estimates of health care systems. *Economic papers* 549. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
188. Meeusen, W., & Van den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444.
189. Mihailović, N., Bulajić M., & Savić, G. (2009). Ranking of banks in Serbia. *Yugoslav Journal of Operations Research*, 19(2), 323-334.
190. Mirmirani, S., Li, H. C., & Ilacqua, J. A. (2008). Health care efficiency in transition economies: an application of data envelopment analysis. *International Business & Economics Research Journal*, 7(2), 47-56.
191. Mirzosaid, S. (2011). Health expenditure efficiency in the commonwealth of independent states: a data envelopment analysis approach. *Transition Studies Review*, 18(2), 384-404.
192. Mitrović, Z., Vujošević, M., & Savić, G. (2016). Data Envelopment Analysis for Evaluating Serbia's Health Care System. *Management*, 20(75), 39-46.
193. Mladenović, Z., & Petrović, P. (2007). Uvod u ekonometriju. Centar za izdavačku delatnost Ekonomskog fakulteta, Ekonomski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

194. Moradi-Motlagh, A., & Saleh, A. S. (2014). Re-Examining the Technical Efficiency of Australian Banks: A Bootstrap DEA Approach. *Australian Economic Papers*, 53(1-2), 112-128.
195. Mukherjee, A., Nath, P., & Nath Pal, M. (2002). Performance benchmarking and strategic homogeneity of Indian banks. *International Journal of Bank Marketing*, 20(3), 122-139.
196. Nurboja, B., & Košak, M. (2017). Banking efficiency in South East Europe: Evidence for financial crises and the gap between new EU members and candidate countries. *Economic Systems*, 41(1), 122-138.
197. O'Neill, L., Rauner, M., Heidenberger, K., & Kraus, M. (2008). A cross-national comparison and taxonomy of DEA-based hospital efficiency studies. *Socio-Economic Planning Sciences*, 42(3), 158-189.
198. Odeck, J., & Alkadi, A. (2001). Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis. *Transportation*, 28(3), 211-232.
199. Önen, Z., & Sayın, S. (2018). Evaluating healthcare system efficiency of OECD countries: A DEA-based study. In C. Kahraman, Y. I. Topcu (Eds.), *Operations research applications in health care management* (pp. 141-158). Cham: Springer.
200. Ozcan, Y. A., & Khushalani, J. (2016). Assessing efficiency of public health and medical care provision in OECD countries after a decade of reform. *Central European Journal of Operations Research*, 25(2), 325-343.
201. Pallant, J. (2010). *SPSS survival manual: A step by step guide to data analysis using SPSS*. London: Open University Press.
202. Papanicolas, I., & Cylus, J. (2017). The challenges of using cross-national comparisons of efficiency to inform health policy. *Eurohealth*, 23(2), 8-11.
203. Paradi, J. C., & Zhu, H. (2013). A survey on bank branch efficiency and performance research with data envelopment analysis. *Omega*, 41(1), 61-79.
204. Pasiouras, F., Tanna, S., & Zopounidis, C. (2009). The impact of banking regulations on banks' cost and profit efficiency: Cross-country evidence. *International Review of Financial Analysis*, 18(5), 294-302.
205. Paul, S., & Kourouche, K. (2008). Regulatory policy and the efficiency of the banking sector in Australia. *Australian Economic Review*, 41(3), 260-271.

206. Pedersen, K. M. (2002). The World Health Report 2000: dialogue of the deaf?. *Health Economics*, 11(2), 93-101.
207. Pelone, F., Kringos, D. S., Romaniello, A., Archibugi, M., Salsiri, C., & Ricciardi, W. (2015). Primary care efficiency measurement using data envelopment analysis: a systematic review. *Journal of Medical Systems*, 39(1), paper no. 156.
208. Pérez-Cárceles, M. C., Gómez-Gallego, J. C., & Gómez-Gallego, M. (2017). Environmental factors affecting European and Central Asian health-systems' bias-corrected efficiency. *Applied Economics*, 50(32), 3432-3440.
209. Peterson, I. (1991). Pick a sample. *Science News*, 140(4), 56-58.
210. Pitman, E. J. (1937). Significance tests which may be applied to samples from any populations. *Supplement to the Journal of the Royal Statistical Society*, 4(1), 119-130.
211. Politis, D. N., & Romano, J. P. (1994). Large sample confidence regions based on subsamples under minimal assumptions. *The Annals of Statistics*, 22(4), 2031-2050.
212. Popescu, C., Asandului, L., & Fatulescu, P. (2014). A Data Envelopment Analysis for Evaluating Romania's Health System. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 1185-1189.
213. Porcelli, F. (2009). Measurement of Technical Efficiency. A brief survey on parametric and non-parametric techniques. Unpublished manuscript. University of Warwick.
214. Pourreza, A., Alipour, V., Arabloo, J., Bayati, M., & Ahadinezhad, B. (2017). Health production and determinants of health systems performance in WHO Eastern Mediterranean Region. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 23(5), 368-374.
215. Puig-Junoy, J. (1998). Measuring health production performance in the OECD. *Applied Economics Letters*, 5(4), 255-259.
216. Puri, J., & Yadav, S. P. (2015). Intuitionistic fuzzy data envelopment analysis: an application to the banking sector in India. *Expert Systems with Applications*, 42(11), 4982-4998.
217. Quenouille, M. H. (1949). Approximate tests of correlation in time-series. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, 11(1), 68-84.

218. Radojicic, Z., & Jeremic, V. (2012). Quantity or quality: What matters more in ranking higher education institutions. *Current Science*, 103(2), 158-162.
219. Radojičić, Z., Janić, B., & Vukmirović, D. (1995). Statistical Approach to Define Activity Index of Disease. In 3rd Balkan Conference of Operational Research, Thessaloniki, Greece. 16-19 October.
220. Radojicic, M., Savic, G., & Jeremic, V. (2018a). A novel two-stage double bootstrapped I-distance global assurance region DEA model. In the Proceedings of the 29th European Conference on Operational Research - EURO 2018 (p. 129). Valencia, Spain. 8-11 July.
221. Radojicic, M., Savic, G., & Jeremic, V. (2018b). Measuring the efficiency of banks: the bootstrapped I-distance GAR DEA approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(4), 1581-1605.
222. Radovanović, S., Radojičić, M., Jeremić, V., & Savić, G. (2013). A novel approach in evaluating efficiency of basketball players. *Management*, 18(67), 37-45.
223. Rahnavard, K. A., & Mashayekhi, S. (2014). An investigation of technical efficiency in the industrial fattening calves farms of Marakazi province. *Animal Science Journal*, 101, 79-90.
224. Rashiti, L., & Pjanic, M. (2017). Corporate Governance in the Serbian Banking Industry. *Journal of Advanced Scientific Research and Innovation*, 11(2), 1-15.
225. Ravangard, R., Hatam, N., Teimourizad, A., & Jafari, A. (2014). Factors affecting the technical efficiency of health systems: A case study of Economic Cooperation Organization (ECO) countries (2004–10). *International Journal of Health Policy and Management*, 3(2), 63-69.
226. Reinhart, C. M., & Trebesch, C. (2016). The International Monetary Fund: 70 Years of Reinvention. *Journal of Economic Perspectives*, 30(1), 3-28.
227. Řepková, I. (2014). Efficiency of the Czech banking sector employing the DEA window analysis approach. *Procedia Economics and Finance*, 12, 587-596.
228. Retzlaff-Roberts, D., Chang, C. F., & Rubin, R. M. (2004). Technical efficiency in the use of health care resources: a comparison of OECD countries. *Health Policy*, 69(1), 55-72.

229. Richardson, J., Wildman, J., & Robertson, I. K. (2003). A critique of the World Health Organisation's evaluation of health system performance. *Health Economics*, 12(5), 355-366.
230. Richmond, J. (1974). Estimating the efficiency of production. *International Economic Review*, 15(2), 515-521.
231. Roll, Y., Cook, W. D., & Golany, B. (1991). Controlling factor weights in data envelopment analysis. *IIE transactions*, 23(1), 2-9.
232. Rosko, M. D., & Chilingerian, J. A. (1999). Estimating hospital inefficiency: does case mix matter?. *Journal of Medical Systems*, 23(1), 57-71.
233. Rudner, L. M., & Shafer, M. M. (1992). Resampling: a marriage of computers and statistics. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 3(5), 1-3.
234. Ruiz, J. L., Segura, J. V., & Sirvent, I. (2015). Benchmarking and target setting with expert preferences: An application to the evaluation of educational performance of Spanish universities. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 594-605.
235. Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3), 234-281.
236. Sahoo, B. K., & Tone, K. (2009). Decomposing capacity utilization in data envelopment analysis: An application to banks in India. *European Journal of Operational Research*, 195(2), 575-594.
237. Samut, P. K., & Cafri, R. (2016). Analysis of the efficiency determinants of health systems in OECD countries by DEA and panel Tobit. *Social Indicators Research*, 129(1), 113-132.
238. Sarafidis, V. (2002). An assessment of comparative efficiency measurement techniques. *Europe Economics, Occasional Paper 2*, London, UK.
239. Sarrico, C. S., & Dyson, R. G. (2004). Restricting virtual weights in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 159(1), 17-34.
240. Savić G. (2012). *Komparativna analiza efikasnosti u finansijskom sektoru*, Doktorska disertacija, Fakultet organizacionih nauka, Univerzitet u Beogradu, Beograd.

241. Savic, G., Radosavljevic, M., & Ilievski, D. (2012). DEA Window Analysis Approach for Measuring the Efficiency of Serbian Banks Based on Panel Data. *Management*, 17(65), 5-14.
242. Seifert, L. M., & Zhu, J. (1998). Identifying excesses and deficits in Chinese industrial productivity (1953–1990): a weighted data envelopment analysis approach. *Omega*, 26(2), 279-296.
243. Selim, S., & Bursalıoğlu, S. A. (2015). Efficiency of higher education in Turkey: A bootstrapped two-stage DEA approach. *International Journal of Statistics and Applications*, 5(2), 56-67.
244. Shang, J., & Sueyoshi, T. (1995). A unified framework for the selection of a flexible manufacturing system. *European Journal of Operational Research*, 85(2), 297-315.
245. Sharma, M. G., Debnath, R. M., Oloruntoba, R., & Sharma, S. M. (2016). Benchmarking of rail transport service performance through DEA for Indian railways. *The International Journal of Logistics Management*, 27(3), 629-649.
246. Shephard, R. W. (1953). *Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.
247. Shephard, R. W. (1970). *Theory of Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.
248. Silva, T. C., Tabak, B. M., Cajueiro, D. O., & Dias, M. V. B. (2017). A comparison of DEA and SFA using micro-and macro-level perspectives: Efficiency of Chinese local banks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 469, 216-223.
249. Silverman, B. W., & Young, G. A. (1987). The bootstrap: To smooth or not to smooth?. *Biometrika*, 74(3), 469-479.
250. Simar, L., & Wilson, P. W. (1998). Sensitivity analysis of efficiency scores: How to bootstrap in nonparametric frontier models. *Management Science*, 44(1), 49-61.
251. Simar, L., & Wilson, P. W. (2007). Estimation and inference in two-stage, semi-parametric models of production processes. *Journal of Econometrics*, 136(1), 31-64.
252. Simon, J. L., & Bruce, P. (1991). Resampling: A tool for everyday statistical work. *Chance*, 4(1), 22-32.

253. Simper, R., Hall, M. J., Liu, W., Zelenyuk, V., & Zhou, Z. (2017). How relevant is the choice of risk management control variable to non-parametric bank profit efficiency analysis? The case of South Korean banks. *Annals of Operations Research*, 250(1), 105-127.
254. Sinimole, K. R. (2012). Evaluation of the efficiency of national health systems of the members of World Health Organization. *Leadership in Health Services*, 25(2), 139-150.
255. Smith, A. S. J. (2008). *International Benchmarking of Network Rail's Maintenance and Renewal Costs: An Econometric Study Based on the LICB Dataset (1996-2006)*. Report for the Office of Rail Regulation, University of Leeds, Leeds, UK.
256. Song, M., An, Q., Zhang, W., Wang, Z., & Wu, J. (2012). Environmental efficiency evaluation based on data envelopment analysis: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4465-4469.
257. Soper, D.S. (2013). A-priori Sample Size Calculator for Multiple Regression. Доступно на: <http://www.danielsoper.com/statcalc>
258. Speelman, S., D'Haese, M., Buysse, J., & D'Haese, L. (2008). A measure for the efficiency of water use and its determinants, a case study of small-scale irrigation schemes in North-West Province, South Africa. *Agricultural Systems*, 98(1), 31-39.
259. Spinks, J., & Hollingsworth, B. (2009). Cross-country comparisons of technical efficiency of health production: a demonstration of pitfalls. *Applied Economics*, 41(4), 417-427.
260. Stevens, J. P. (2009). *Applied Multivariate Statistics for the Social Sciences* (5th edition). New York: Routledge.
261. Squires, D., & Anderson, C. (2015). US health care from a global perspective: spending, use of services, prices, and health in 13 countries. The Commonwealth Fund. Доступно на: <https://www.commonwealthfund.org/publications/issue-briefs/2015/oct/us-health-care-global-perspective>
262. Staub, R. B., Souza, G. D. S., & Tabak, B. M. (2010). Evolution of bank efficiency in Brazil: A DEA approach. *European Journal of Operational Research*, 202(1), 204-213.

263. Stone, M. (1977). Asymptotics for and against cross-validation. *Biometrika*, 64(1), 29-35.
264. Tabachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2012). *Using Multivariate Statistics: International Edition*. Boston: Pearson Education.
265. Takamura, Y., & Tone, K. (2003). A comparative site evaluation study for relocating Japanese government agencies out of Tokyo. *Socio-Economic Planning Sciences*, 37(2), 85-102.
266. Tan, Y., Floros, C., & Anchor, J. (2017). The profitability of Chinese banks: impacts of risk, competition and efficiency. *Review of Accounting and Finance*, 16(1), 86-105.
267. Tandon, D., Tandon, K., & Malhotra, N. (2014). An evaluation of the technical, pure technical and scale efficiencies in the Indian banking industry using data envelope analysis. *Global Business Review*, 15(3), 545-563.
268. Tanna, S., Luo, Y., & De Vita, G. (2017). What is the net effect of financial liberalization on bank productivity? A decomposition analysis of bank total factor productivity growth. *Journal of Financial Stability*, 30, 67-78.
269. Taylor, W. M., Thompson, R. G., Thrall, R. M., & Dharmapala, P. S. (1997). DEA/AR efficiency and profitability of Mexican banks a total income model. *European Journal of Operational Research*, 98(2), 346-363.
270. Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the theory and application of data envelopment analysis*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
271. Thanassoulis, E., & Emrouznejad, A. (1998). *Warwick Windows DEA user's guide*. Warwick: Warwick Business School.
272. Thanassoulis, E., Boussofiane, A., & Dyson, R. G. (1995). Exploring output quality targets in the provision of perinatal care in England using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 80(3), 588-607.
273. Thompson, R. G., Langemeier, L. N., Lee, C. T., Lee, E., & Thrall, R. M. (1990). The role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to Kansas farming. *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 93-108.
274. Thompson, R. G., Singleton Jr, F. D., Thrall, R. M., & Smith, B. A. (1986). Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*, 16(6), 35-49.

275. Thoraneenitiyan, N., & Avkiran, N. K. (2009). Measuring the impact of restructuring and country-specific factors on the efficiency of post-crisis East Asian banking systems: Integrating DEA with SFA. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(4), 240-252.
276. Titko, J., & Jureviciene, D. (2014). DEA Application at Cross-Country Benchmarking: Latvian vs Lithuanian banking sector. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 110, 1124-1135.
277. Tobin, J. (1958). Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 26(1), 24-36.
278. Toloo, M., & Tichý, T. (2015). Two alternative approaches for selecting performance measures in data envelopment analysis. *Measurement*, 65, 29-40.
279. Tortosa-Ausina, E., Grifell-Tatjé, E., Armero, C., & Conesa, D. (2008). Sensitivity analysis of efficiency and Malmquist productivity indices: An application to Spanish savings banks. *European Journal of Operational Research*, 184(3), 1062-1084.
280. Tsang, S. S., & Chen, Y. F. (2013). Facilitating benchmarking with strategic grouping and data envelopment analysis: the case of international tourist hotels in Taiwan. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 18(5), 518-533.
281. Tukey, J. W. (1958). Bias and confidence in not-quite large samples. *Annals of Mathematical Statistics*, 29(2), 614.
282. Van der Zee, J., & Kroneman, M. W. (2007). Bismarck or Beveridge: a beauty contest between dinosaurs. *BMC Health Services Research*, 7(1), paper no. 94.
283. Varabyova, Y., & Müller, J. M. (2016). The efficiency of health care production in OECD countries: A systematic review and meta-analysis of cross-country comparisons. *Health Policy*, 120(3), 252-263.
284. Varabyova, Y., & Schreyögg, J. (2013). International comparisons of the technical efficiency of the hospital sector: panel data analysis of OECD countries using parametric and non-parametric approaches. *Health Policy*, 112(1-2), 70-79.
285. Varesi, L. (2015). Measuring Banking Efficiency during Crisis Period Using Data Envelopment Analysis: Western Balkan Countries Case. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies*, 4(1), 261-274.

286. Vitaliano, D. F., & Toren, M. (1996). Hospital cost and efficiency in a regime of stringent regulation. *Eastern Economic Journal*, 22(2), 161-175.
287. Wagstaff, A. (2009). Social health insurance vs. tax-financed health systems-evidence from the OECD. Washington: World Bank.
288. Wagstaff, A., & Lopez, G. (1996). Hospital costs in Catalonia: a stochastic frontier analysis. *Applied Economics Letters*, 3(7), 471-474.
289. Wallace, L. S. (2013). A view of health care around the world. *The Annals of Family Medicine*, 11(1), 84.
290. WHO. (2018). Доступно на: http://www.who.int/topics/health_systems/en/
291. Winsten, C. B. (1957). Discussion on Mr. Farrell's paper. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 282-284.
292. Wong, Y. H., & Beasley, J. E. (1990). Restricting weight flexibility in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 41(9), 829-835.
293. Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric analysis of cross section and panel data* (2nd edition). Cambridge: MIT press.
294. Worthington, A. C. (2004). Frontier efficiency measurement in health care: a review of empirical techniques and selected applications. *Medical Care Research and Review*, 61(2), 135-170.
295. Worthington, A. C. (2014). A review of frontier approaches to efficiency and productivity measurement in urban water utilities. *Urban Water Journal*, 11(1), 55-73.
296. Worthington, A. C., & Lee, B. L. (2008). Efficiency, technology and productivity change in Australian universities, 1998–2003. *Economics of Education Review*, 27(3), 285-298.
297. Wranik, D. (2012). Healthcare policy tools as determinants of health-system efficiency: evidence from the OECD. *Health Economics, Policy and Law*, 7(2), 197-226.
298. Xu, S. (2012, September). Study on the Logistics Efficiency of Three Northeast Provinces Based on Three-Stage DEA. In C. Liu, L. Wang, A. Yang (Eds.), *Information Computing and Applications* (pp. 810-819). Berlin: Springer.
299. Yang, C., & Liu, H. M. (2012). Managerial efficiency in Taiwan bank branches: A network DEA. *Economic Modelling*, 29(2), 450-461.

300. Yildirim, S. H., & Philippatos, G. C. (2007). Efficiency of banks: recent evidence from the transition economies of Europe, 1993–2000. *European Journal of Finance*, 13(2), 123-143.
301. Yong, K., & Harris, A. H. (1999). Efficiency of hospitals in Victoria under casemix funding: a stochastic frontier approach. Centre for Health Program Evaluation.
302. Yu, J. (2016). Avoidable Mortality and Healthcare Expenditure in OECD Countries: DEA and SFA methods to health expenditure efficiency. *Journal of Advances in Social Science and Humanities*, 2(5), 25-36.
303. Yu, M. M. (2012). An integration of the multi-component DEA and GAR models to the measurement of hotel performance. *Current Issues in Tourism*, 15(5), 461-476.
304. Yu, Y., & Wang, E. (2012). Analysis of agriculture insurance technical efficiency based on COLS approach for rice farmers in Liaoning province. In proceedings of 9th International Conference on Service Systems and Service Management (pp. 419-421), Shanghai, China. 2-4 July.
305. Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, 189(1), 1-18.
306. Zhu, J. (1996). DEA/AR analysis of the 1988–1989 performance of the Nanjing Textiles Corporation. *Annals of Operations Research*, 66(5), 311-335.
307. Zuckerman, S., Hadley, J., & Iezzoni, L. (1994). Measuring hospital efficiency with frontier cost functions. *Journal of Health Economics*, 13(3), 255-280.

Прилози

Списак табела

Табела 1. Одабрани радови који користе КОЛС методу	18
Табела 2. Радови који врше преглед примене СФА у одређеној области.....	21
Табела 3. Преглед радова са ДБА методом.....	46
Табела 4. Преглед литературе на тему примене ДЕА методе у банкарству.....	62
Табела 5. Пет најчешће коришћених улаза и излаза у мерењу ефикасности банака помоћу ДЕА	65
Табела 6. Дескриптивна статистика улаза и излаза за банкарски сектор ЕУ	67
Табела 7. Ефикасност за ЕУ банкарски сектор према БЦЦ моделу	67
Табела 8. Број „нула вредности“ додељен тежинским коефицијентима за ЕУ банкарски сектор	69
Табела 9. Тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем за ЕУ банкарски сектор.....	70
Табела 10. Ефикасност процењена РЈС моделом за ЕУ банкарски сектор.....	71
Табела 11. Дескриптивна статистика улаза и излаза за банке у Србији	73
Табела 12. Ефикасност банака у Србији према БЦЦ моделу.....	74
Табела 13. Број „нула вредности“ додељен тежинским коефицијентима за банке у Србији	75
Табела 14. Тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем за банке у Србији	76
Табела 15. Ефикасност банака процењена РЈС моделом за банке у Србији.....	80
Табела 16. Преглед литературе примене ДЕА методе у здравству	86
Табела 17. Пет најчешће коришћених показатеља при мерењу здравствених система држава помоћу ДЕА методе.....	91
Табела 18. Објашњење показатеља коришћених у анализи	92
Табела 19. Тежине добијене И-одстојањем са реузорковањем за здравствени систем	94
Табела 20. Ефикасност здравствених система процењена РЈС моделом.....	95
Табела 21. Ефикасност према моделу финансирања здравствених система	95
Табела 22. Резултати добијени у другој етапи.....	98

Списак слика

Слика 1. График зависности произведене количине пецива од трошка производње.....	6
Слика 2. Трансформација улаза у излазе (Thanassoulis, 2001).....	7
Слика 3. Веза између управљања системом и мерења ефикасности (Dyson, 2000)	10
Слика 4. Мере ефикасности (Farrell, 1957)	13
Слика 5. Поређење ОЛС и КОЛС метода (на основу (Irastorza, 2003))	17
Слика 6. Илустрација СФА модела (на основу (Sarafidis, 2002))	20
Слика 7. Хистограмски приказ разлике између стварних, цензурисаних и одсечених података	39
Слика 8. Просечна ефикасност ЕУ банкарског сектора у посматраном периоду. 71	

Биографија

Милан Радојичић је рођен 16.06.1989. године у Сарајеву. Основну школу и гимназију природно-математичког смера завршио је у Београду са одличним успехом. Носилац Вукове дипломе. Факултет организационих наука, Универзитета у Београду, студијски програм Информациони системи и технологије, уписао је школске 2008/09 године. Дипломирао је 2012. године са просечном оценом 8,77 (осам, 77/100) и одбранио дипломски рад са оценом 10 на Катедри за операциона истраживања и статистику. Дипломске (Мастер) студије на одсеку за Операциона истраживања и рачуарска статистика, модул Рачуарска статистика, Факултета организационих наука, Универзитета у Београду, уписао је 2012. године. Мастер студије завршио је са просечном оценом 10,00 (десет, 0/100) и одбранио мастер рад са оценом 10 на Катедри за операциона истраживања и статистику.

У новембру 2014. године уписао је докторске академске студије на Факултету организационих наука, на студијском програму Информациони системи и квантитативни менаџмент, изборно подручје – Квантитативни менаџмент. Положио је све испите са просечном оценом 10 (десет, 0/100). У септембру 2016. године одбранио је приступни рад за израду дисертације под називом „Модел за оцену ефикасности заснован на интеграцији Ивановићевог одстојања и Анализе обавијања података“.

Од децембра 2013. године до октобра 2015. године радио је у Војвођанској банци у сектору Аналитика послова са становништвом на позицији Аналитичар. Од октобра 2015. године ради на Факултету организационих наука.

Од априла 2018. прикључио се пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја, број ИИИ 47003 – Инфраструктура за електронски подржано учење у Србији (научна област – Техничко-технолошке науке – Електроника, телекомуникације и информационе технологије).

Објавио је значајан број научних и стручних радова од којих се посебно истичу:

- **Radojicic, M., Savic, G., & Jeremic, V. (2018).** Measuring the efficiency of banks: the bootstrapped I-distance GAR DEA approach. *Technological and Economic Development of Economy*, 24(4), 1581-1605. ISSN: 2029-4913, IF (2017) – 3.244, M21a
- **Radojicic, M., Savic, G., & Jeremic, V. (2018).** A novel two-stage double bootstrapped I-distance global assurance region DEA model. In the *Proceedings of the 29th European Conference on Operational Research - EURO 2018* (p. 129). Valencia, Spain. 8-11 July. ISBN 978-84-09-02938-9, M34

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Милан Радојичић

Број индекса 2014/5004

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Модел за оцену ефикасности заснован на интеграцији Ивановићевог одстојања и
Анализе обавијања података

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Милан Радојичић

Број индекса 2014/5004

Студијски програм Информациони системи и квантитативни менаџмент

Наслов рада Модел за оцену ефикасности заснован на интеграцији Ивановићевог одстојања и Анализе обавијања података

Ментор др Вељко Јеремић

Коментор др Гордана Савић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Модел за оцену ефикасности заснован на интеграцији Ивановићевог одстојања и
Анализе обавијања података

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.