

# Analiza omeđenih podataka i njena primena u obrazovanju

UDK: 005.336.1:378 ; 005.311.12:519.8

Violeta Cvetkoska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ekonomski fakultet - Skopje, vcvetkoska@eccf.ukim.edu.mkh

XII Internacionalni simpozijum SymOrg 2010, 09.12, jun 2010, Zlatibor, Srbija

*Analiza omeđenih podataka (DEA-Data Envelopment Analysis) predstavlja relativno nov neparametarski pristup u vrednovanju učinka složenih celina koje se zovu jedinice odlučivanja (DMUs – Decision Making Units) koje pretvaraju višestruke inpute u višestruke autpute. Za relativno kratko vreme, DEA je prerasla u moćan kvantitativni, analitički instrument za merenje efikasnosti jedinica za odlučivanje. DEA se uspešno primenjuje u mnogim oblastima širom sveta. U ovom radu predstavljamo DEA i opisujemo primenu ove analize u obrazovanju.*

## 1. Uvod

Analiza omeđenih podataka (DEA) predstavlja relativno nov matematički pristup „orientisan na podatke“ koji se primenjuje u vrednovanju učinka nekog skupa ravnopravnih tela koja se zovu jedinice odlučivanja (DMU), a koje pretvaraju višestruke inpute u višestruke autpute. Za kratko vreme otkad je ova analiza prvi put primenjena 1978. godine, istraživači u velikom broju oblasti su zaključili da DEA predstavlja izvanrednu i lako primenljivu metodologiju za modelovanje operacionih procesa za vrednovanje učinka. U [31] predstavljeni su pregled i analiza naučne literature o DEA tokom trideset godina, sve do 2007. godine.

Ovaj rad sastoji se od 8 delova, a ovo je prvi. Analiza omeđenih podataka (DEA) je kao instrument za određivanje relativne efikasnosti predstavljena u poglavju 2. Poglavlje 3 sadrži kratak pregled istorije DEA. Metodologija DEA opisana je u poglavљу 4. Prednosti i ograničenja DEA opisani su u poglavљу 5. Pregled literature o primeni DEA u obrazovanju prikazan je u 6. poglavљу, a 7. poglavљje donosi zaključke. U poslednjem poglavљu navedena je literatura.

## 2. Efikasnost i analiza omeđenih podataka

Fried, H. O., Lovell, C.A.K., i Schmidt, S.S., u [34] navode dva razloga za postojanje interesa za merenje efikasnosti. Prvo, to su pokazatelji uspešnosti, mere učinka kojima se ocenjuju proizvodne jedinice. Drugo, hipotezu o izvorima efikasnosti ili diferencijalima produktivnosti moguće je proveriti samo merenjem efikasnosti i produktivnosti i odvajanjem njihovih efekata od efekata proizvodnog okruženja. Identifikovanje izvora značajno je za uspostavljanje mera javne i privatne politike u svrhu poboljšanja učinka.

Efikasnost produktivnosti ima dve komponente. Čisto tehnička, ili fizička, komponenta odnosi se na sposobnost da se izbegne stvaranje otpada tako što ćemo ostvariti onoliko autputa koliko dozvoljavaju upotrebjeni inputi, ili korišćenjem što manje količine inputa

da dobijemo zadovoljavajući autput. Stoga analiza tehničke efikasnosti može biti orientisana na povećanje autputa ili na uštedu inputa. Komponenta usmeravanja sredstava, t.j., cene odnosi se na sposobnost kombinovanja inputa i autputa u optimalnim proporcijama, a u svetu važećih cena.

Koopmans je u [48, str.60] ponudio formalnu definiciju tehničke efikasnosti: proizvođač je tehnički efikasan ukoliko porast bilo kog autputa zahteva smanjenje bar jednog drugog autputa ili povećanje bar jednog inputa, i ukoliko smanjenje bilo kog inputa zahteva povećanje bar jednog drugog inputa ili smanjenje bar jednog autputa. Prema ovoj definiciji, tehnički neefikasan proizvođač može da proizvede iste autpute uz bar jedan input manje, ili može da upotrebi iste inpute da proizvede više od jednog autputa.

Debreu u [29] i Farrell u [33] uvode meru tehničke efikasnosti. Oni meru definišu kao jedan minus maksimalno jednakoproporcionalno smanjenje svih inputa koje još uvek omogućava da se proizvodnja datih autputa nastavi. Ako rezultat pokazuje usaglašenost, onda tehnička efikasnost postoji zato što nikakvo smanjenje jednakoproporcionalnog inputa nije moguće, a ako rezultat pokazuje manje od usaglašenosti, onda je tehnička neefikasnost veoma ozbiljna.

Na osnovu radova koje su ponudili Dantzig [27] i Farrell [33], Charnes, Cooper i Rhodes [16] su razvili tehniku matematičkog programiranja, analizu omeđenih podataka (DEA).

DEA predstavlja neparametarsku linearnu tehniku programiranja kojom se izračunava komparativni odnos autputa prema inputima za svaku jedinicu (celinu), koja se izražava kao rezultat relativne efikasnosti. Rezultat efikasnosti obično se izražava ili brojem od 0-1 ili od 0-100%.

Efikasnost 100% postiže se za svaku jedinicu odlučivanja (DMU) samo kada:

- (a) Ni jedan od njenih autputa ne može da se poveća a da se ili
  - ne poveća jedan ili više njenih inputa ili
  - ne smanje neki njeni drugi autputi
- (b) Ni jedan od njenih inputa ne može da se smanji a da se ili
  - ne smanje neki njeni autputi
  - ne povećaju neki njeni drugi inputi.

Jedinica odlučivanja (DMU) čiji je rezultat manji od 100% smatra se neefikasnom u odnosu na druge jedinice.

Thanassoulis, E., u [63] ističe da DEA predstavlja jedan od metoda merenja učinka koji podržava tip informacije kao što je:

- identifikovanje dobre operativne prakse za do stavljanje podataka;
- dimenzija najproduktivnije operativne skale;
- obima za uštedu efikasnosti u korišćenju resursa i/ili za povećanje autputa;
- najprikladnije ugledne modele operativnih jedinica na koje neka neefikasna jedinica može da se ugleda kako bi poboljšala svoj učinak;
- marginalne stope supstitucije između faktora proizvodnje; i
- promene u produktivnosti tokom vremena u svakoj operativnoj jedinici i u najefikasnijoj operativnoj jedinici u svakom trenutku u vremenu.

### 3. Analiza omeđenih podataka

#### *Istorijski razvoj*

Termin „jedinica odlučivanja“ (DMU) prvi put je upotrebljen u CCR modelu koji su predložili Charnes, Cooper i Rhodes [16]. Termin DEA (analiza omeđenih podataka) uveden je u njihovom radu [18], zatim ga navodi Rhodes [58], a pojavljuje se i u narednom radu koji su objavili Charnes, Cooper i Rhodes [19].

U svojoj početnoj studiji Charnes, Cooper i Rhodes [16] opisali su DEA kao „matematički model programiranja primenjen na podatke dobijene posmatranjem, koji predstavlja novi način prikupljanja empirijskih procena odnosa – kao što su funkcije proizvodnje i/ili mogućnosti efikasne proizvodnje – koji predstavljaju temelj moderne ekonomije.“.

DEA je nastala iz pokušaja da se vrednuju rezultati jednog projekta sa početka 1970ih godina pod nazivom „Program Follow Through“ (celoviti program) – veoma obiman pokušaj američke Službe (sada Ministarstva) za obrazovanje da primeni principe statističkog projektovanja na eksperimente u jednom broju sličnih škola u studiji koja je obuhvatila celu naciju. Cilj studije je bio da se vrednuju obrazovni programi osmišljeni da pomognu učenicima sa slabijim uspehom u američkim državnim školama. Baza podataka bila je dovoljno široka

da pitanja stepena slobode itd. nisu predstavljala ozbiljan problem uprkos tome što je u studiji korišćen veliki broj varijabli inputa i autputa. Ipak, iz svih primenjenih statističkih i ekonometrijskih pristupa dobijeni su nezadovoljavajući i čak absurdni podaci. Dok su pokušavali da nađu odgovor na ovaku situaciju, Rhodes je skrenuo Cooperu pažnju na veoma dobar članak [33] čiji je autor bio Farrell. Charnes, Cooper i Rhodes su razradili ovaj Farrellov rad i uspeli da uspostave DEA kao bazu za analizu efikasnosti. Pojedinosti ovog projekta opisane su u Charnes, Cooper i Rhodes [20].

Kratka istorija DEA može se pogledati u [21].

### 4. Metodologija DEA

Analiza omeđenih podataka procenjuje višečlanu (piece-wise) funkciju proizvodnje u odnosu na koju se može meriti efikasnost bilo koje firme ili jedinice odlučivanja (DMU). Najjednostavnija varijanta DEA je stalno vraćanje na skalarni model u kome  $n$  jedinica odlučivanja proizvodi s tipova jasno određenih autputa primenom  $m$  jasno određenih inputa. Količine autputa i inputa koje proizvodi odnosno koristi  $k$ -ta jedinica odlučivanja izražene su  $Y_{rk}$ ,  $r=1,\dots,s$  i  $X_{ik}$ ,  $i=1,\dots,m$ . Onda  $k$ -ta jedinica odlučivanja određuje svoj vektor inputnih vrednosti  $v_{ik}$ ,  $i=1,\dots,m$ , i vrednosti autputa  $u_{rk}$ ,  $r=1,\dots,s$ , sa ciljem da maksimizuje vrednost svog zbiru autputa koji zavisi od nekoliko ograničenja. Ova ograničenja su sledeća: (i) izabrane vrednosti su takve da, kada se primene na vektore inputa i autputa bilo koje jedinice odlučivanja, (ii) odnos vrednosti autputa prema vrednosti inputa ne treba da pređe jediničnu vrednost; (iii) vrednosna suma inputa treba da bude ne-negativna; i (iv) vrednost pripisana svakom posebnom inputu treba da bude ne-negativna. Sada imamo relativno jednostavan zadatak linearog programiranja. Potpuna specifikacija DEA obuhvata istovremeno rešenje za  $n$  takvih programa – po jedno za svaku odluku – koji čine tu jedinicu (celinu).

Gorenavedeni stavovi mogu se predstaviti nizom zadataka linearog programiranja. Formalno postavljeno, za svako  $k$ ,

$$\max h_k = \sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} \quad (1)$$

pod uslovom da

$$\sum_{r=1}^s u_{rk} Y_{rk} - \sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} \leq 0, \quad j=1,\dots,n \quad (2)$$

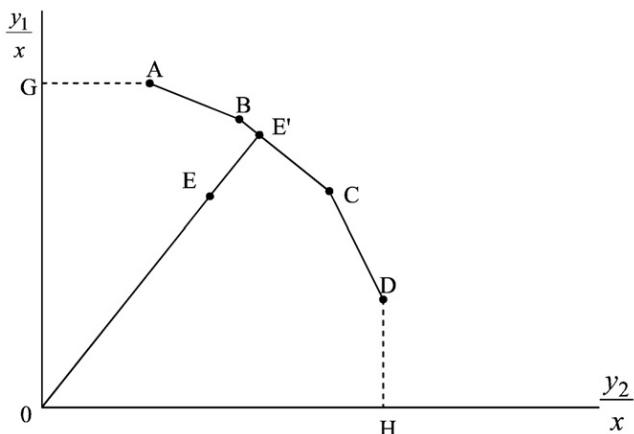
$$\sum_{i=1}^m v_{ik} X_{ik} = 1 \quad (3)$$

$$u_{rk} \geq 0, \quad r=1,\dots,s \quad (4)$$

$$v_{ik} \geq 0, \quad i=1,\dots,m \quad (5)$$

Optimalna vrednost  $h_k$  jeste vrednost efikasnosti  $k$ -te jedinice za odlučivanje. Ona mora da iznosi između nule i jedan; ako  $h_k = 1$ , onda je  $k$  tehnički efikasna i nalazi se na granici efikasnosti. Kako je gore već naveđeno, zadatak DEA jeste da maksimizuje autput. Odgovarajući zadatak minimiziranja može se postaviti analognim načinom.

U [44] dat je jednostavan primer pet univerziteta (A, B, C, D, E) koji proizvode dva autputa,  $y_1$  (na primer, broj svršenih studenata koji su stekli „vredne“ diplome) i  $y_2$  (na primer, broj svršenih studenata koji stupaju u radni odnos) a koriste input  $x$  (na primer, broj nesvršenih studenata). Na slici 1 prikazan je odnos autputa  $y_1$  i  $x$  prema odnosu  $y_2$  i  $x$  i višečlana linearna granična linija koja povezuje univerzitete A, B, C i D predstavlja granicu proizvodnje. Sve DMU na toj granici su efikasne pošto ni jedna ne može da proizvede veći broj oba autputa (po datom nivou inputa) nego neka druga jedinica na granici. Nasuprot tome, univerzitet E koji se nalazi unutar granice je neefikasan i odnos OE/OE' meri efikasnost univerziteta E u odnosu na druge DMU u skupu podataka.



Slika 1. Dijagramski prikaz DEA orijentisane na autput

Prepostavka CRS može da se ublaži i model DEA se lako može modifikovati tako da obuhvati različite povraćaje na merilo/skalu (VRS), videti Banker, Charnes & Cooper [7]. Izbor orientacije ne utiče na efikasnost po CRS, ali ima uticaja pod prepostavkom VRS, videti Coelli, Rao & Battese [24], mada je dokazano da je u mnogim slučajevima taj uticaj slab, videti Coelli & Perelman [23].

Osnovni modeli DEA i razrade DEA modela mogu se naći kod [15], [22], [25], [26].

U početku je DEA služila za ispitivanje relativne efikasnosti neprofitnih organizacija, ali se njena primena vrlo brzo proširila i na profitne organizacije. DEA se uspešno primenjuje čitavom spektru međusobno različitih oblasti kao što su škole, bolnice, sudovi, vazdu-

hoplovstvo SAD, sektori za procenu i banke. Charnes i dr. [15] vodili su veoma široku raspravu o modelima efikasnosti u različitim granama delatnosti.

## 5. Prednosti i ograničenja DEA

DEA ima nekoliko karakteristika koje je čine moćnim instrumentom:

- Zasnovana je na pristupu pomoću funkcije distance i stoga može da se primeni u situacijama višestrukih autputa i višestrukih inputa;
- Ne zavisi od pretpostavke funkcionalne forme koja dovodi u odnos inpute i autpute;
- DMU se neposredno porede sa ravnopravnom jedinicom ili kombinacijom jednakih jedinica;
- Inputi i autputi mogu da se nalaze u veoma različitim jedinicama. Na primer, X1 može da se nalazi u jedinicama broja spasenih života, a X2 može da bude deo jedinice dolara, a da među njima ne postoji neki a priori sukob.

Iste one karakteristike koje DEA čine moćnim instrumentom mogu i da izazovu probleme. Kada odlučuje da li da primeni DEA ili ne, analitičar treba uvek da ima na umu ova ograničenja.

- Pošto DEA predstavlja tehniku ekstremnih tačaka, bilo kakva perturbacija (čak i simetrična sa nultom srednjom vrednošću), kao što je greška u merenju, može da izazove značajne probleme.
- DEA je dobra za procenu „relativne“ efikasnosti DMU, ali se veoma sporo naginje prema „apolutnoj“ efikasnosti. Drugim rečima, ona može da nam kaže koliko smo uspešni u odnosu na sebi ravne, ali ne i koliko smo uspešni u odnosu na „teorijski maksimum“.
- Pošto je DEA neparametarska tehnika, testiranje statističke hipoteze je teško i ovi testovi su još uvek u fazi istraživanja;
- Pošto standardna formulacija DEA stvara poseban linearni program za svaku DMU, mogu se javiti veliki problemi u izračunavanju.

## 6. Primena DEA u obrazovanju – pregled literature

Ekonomisti obično posmatraju rezultate obrazovanja kao mnoštvo školskih inputa, u koje ubrajaju troškove škole, odnos broja učenika i nastavnika, iskustvo nastavnika, prethodno znanje učenika, pritiske vršnjačkih grupa i porodičnu situaciju, videti Hanushek [38, 39]. Istraživanje uzročno-posledičnih veza između školskih inputa i obrazovnih autputa nije donelo značajne rezultate. U ranim radovima na temu funkcije proizvodnje u oblasti obrazovanja došlo se do zaključka da „postoje drastične razlike između nastavnika i

škola kad je reč o efektivnosti“, ali da „ne postoji snažan niti sistematičan odnos između troškova škole i uspešnosti studenata“, videti Hanushek [39].

Za primenu DEA u kontekstu vrednovanja nastavnika (onih koji pružaju obrazovanje) u oblasti osnovno-školskog i srednje-školskog obrazovanja videti kod Bessent i Bessent [11], Bessent i dr. [10], Bradley i dr. [12], Chalos i Cherian [14], Davutyan i dr. [28], Fare i dr. [32], Ganley i Cubbin [36], Jesson i dr. [40], Lovell i dr. [50], Kirjavainen i Loikkanen [46], Mancebon i Mar Molinero [52], Mayston i Jesson [53], Norman i Stoker [55], Ray [57], Smith i Mayston [61] i Thanassoulis i Dunstan [62].

Steve Bradley, Geraint Johnes i Jim Millington u [12] izračunavaju tehničku efikasnost na osnovu višestrukih inputa – uspešnost na školskim ispitima i stope prisustvovanja nastavi – u svim srednjim školama u Engleskoj u periodu od 1993-1998. godine. Oni su procenjivali modele za ispitivanje determinanti efikasnosti u jednoj posebnoj godini i determinante promene efikasnosti tokom celog posmatranog perioda. Rezultati do kojih su došli pokazali su da što je veća konkurenca između škola, utoliko su one efikasnije. Kvalitet efekata je takođe porastao tokom ovog perioda, što je u skladu sa razvojem kvazi-tržišta u srednjem obrazovanju. Takođe su zaključili da konkurenca predstavlja veoma značajnu determinantu promena tokom vremena.

Nurhan Davutyan, Mert Demir i Sezgin Polat su u [28] za evaluaciju efikasnosti sistema koristili DEA i ekonometrijske metode. Oni identifikuju disekonomije obima i dovode ih u vezu sa strukturnim karakteristikama koje se nalaze u osnovi sistema. Takođe nude odgovarajuće predloge za poboljšanje učinka i naglašavaju ulogu heterogenosti i centralizacije. Heterogenost shvataju kao neželjenu dimenziju. Zaključuju da je veza između pokazatelja centralizacije i disekonomija obima statistički značajna. Autori veruju da je ovo prva studija u kojoj se istražuje uticaj sistemskih karakteristika kao što je heterogenost i centralizovana struktura na ishode obrazovanja u Turskoj.

Visoko obrazovanje ima karakteristike koje merenje efikasnosti čine praktično nemogućim: ono je neprofitnog karaktera i u njemu nema cena autputa i inputa; a institucije visokog obrazovanja (HEI – higher education institutions) stvaraju višestruke autpute od višestrukih inputa.

Studije koje istražuju efikasnost sektora višeg i visokog obrazovanja različitih zemalja, među kojima i Velike Britanije, SAD, Kanade, Finske, Izraela, Australije i Kine mogu se podeliti u dve glavne grupe:

1. One koje su istraživale efikasnost jednog određenog sektora, programa ili aktivnosti, videti i

(Beasley [8], [9]; Coelli i dr., [24]; Haksever & Muragishi [37]; Johnes, [43]; Johnes & Johnes [41], [42]; Korhonen, Tainio & Wallenius [49]; Madden, Savage & Kemp [51]; Tomkins & Green [66], i

2. One koje su istraživale učinak celokupnih HEI, videti (Ahn et al., [2]; Ahn & Seiford [1]; Athanassopoulos & Shale [5]; Avkiran [6]; Breu & Rabab [13]; El Mahgany & Lahdelma [30]; Johnes [44]; Ng & Li [54]).

Ahn i Seiford su u [1] koristili DEA da odrede relativnu efikasnost 153 institucije visokog obrazovanja (IHL – institution of higher learning) koje su omogućavale sticanje doktorske titule. Od ovog broja, 104 su bile javne, a 49 privatne institucije. Naš cilj u ovom radu bio je da se odredi efekat različitih skupova varijabli autputa na relativnu efikasnost javnih i privatnih institucija. Javne IHL često se finansiraju na osnovu broja upisanih studenata i autputa koji se postiže. Stoga su Ahn i Seiford predvideli da će javne IHL biti uspešnije po kriterijumu upisanih studenata, a da će privatne IHL biti efikasnije kada se razmatraju autputi koji se ne prate tako pomno. Ova hipoteza je testirana primenom skupova višestrukih varijabli. Na jednoj proveri kao input varijable korišćene su plate na fakultetu, fizička investicija i režijski troškovi. Kao varijable autputa uzeti su nesvršeni redovni studenti (FTE – full-time equivalent) i svršeni FTE. Kad su uzete u obzir ove varijable koje se odnose na broj upisanih, zaključeno je da su javne IHL efikasnije od privatnih IHL. U sledećem pokušaju kao inputi su uzeti plate na fakultetu, fizičke investicije, režijski troškovi, nesvršeni FTE i svršeni FTE. Kao autput varijable su korišćeni stepen na kome je nesvršeni student, stepen na kome je svršeni student i stipendije. Kad se posmatraju ove varijable koje se inače ne kontrolisu tako pomno, zaključuje se da su privatni univerziteti efikasniji.

Cilj u radu [44] bio je da se ispita mogućnost merenja efikasnosti u kontekstu visokog obrazovanja. Rad počinje ispitivanjem prednosti i mana različitih metoda za merenje efikasnosti u kontekstu visokog obrazovanja. Lakoća sa kojom se DEA nosi sa višestrukim inputima i višestrukim autputima dokazuje da je to veoma poželjna tehnika za merenje efikasnosti institucija visokog obrazovanja (HEI), mada se ni njene slabosti ne smeju gubiti iz vida. Stoga se navode i neki elementi nadgradnje ove metodologije razrađeni da bi se prevazišle neke slabosti. Rad se završava primenom DEA na skup podataka od preko 100 HEI u Engleskoj za godinu 2000/2001. Tehnička efikasnost i efikasnost obima u sektoru visokog obrazovanja u Engleskoj je izgleda visoka u proseku. Test za poređenje ugnježdenih DEA modela koji su razvili Pastor, Ruiz i Sirvent [56] koristan je utoliko što pomaže da se celoviti model smanji na mani „značajni“ skup inputa i autputa. Tako broj i kvalitet nesvršenih studenata, broj postdiplomaca, troškovi administracije i vrednost isplate kamata i amortizacije predstavljaju značajne

inpute, a broj i kvalitet diploma kod nesvršenih studenata, broj i kvalitet postdiplomskih zvanja i istraživanja predstavljaju značajne autpute u procesu proizvodnje visokog obrazovanja u Engleskoj. Mogućnost razlike u okviru granice proizvodnje (a stoga i distribucija efikasnosti) u tri jasno izražene grupe HEI istraživana je primenom testa koji su ponudili Charnes, Cooper i Rhodes [17], ali nije nađena ni jedna značajna razlika. Ipak, postupci primenom metoda uzengije (bootstrap procedures) ukazuju na to da su razlike između najefikasnijih i najmanje efikasnih HEI u Engleskoj značajne.

U Kini se nije mnogo radilo na merenju efikasnosti u postizanju bilo kog autputa u institucijama visokog obrazovanja. Kad su u pitanju nedavne studije, videti (Ng & Li, [54]; Johnes i Yu u [45]).

Ng i Li [54] su primenili DEA da ispitaju efektivnost reformi obrazovanja sprovedenih tokom 1980ih u Kini, gde su se fokusirali na učinak 84 ključna kineska HEI u istraživanjima, od 1993 do 1995. godine. Kao inpute su uzeli istraživače i finansiranje, a podatke o objavljenim radovima kao autpute i zaključili da srednja vrednost efikasnosti u istraživačkom radu u sektoru visokog obrazovanja u Kini tokom perioda od tri godine iznosi oko 76-80%. Zapažene su i varijacije u nivou efikasnosti između tri geografske regije u Kini (primorska, centralna i zapadna), ali su ovi rezultati pomešani: HEI u centralnoj oblasti su najefikasniji u proseku tokom 1993. i 1995. godine, ali najveću srednju vrednost efikasnosti pokazala je zapadna oblast 1994. godine.

U ovom malom broju empirijskih studija primenjena su dva pristupa:

1. Ocena učinka svih odseka u okviru jednog univerziteta, videti (Arcelus & Coleman [4]; Friedman & Sinuany-Stern [35], Sinuany-Stern et. al. [60]), i
2. Analiza učinka (svih) sektora visokog obrazovanja u svim državama ili zemljama, videti (Breu & Rabb [13]; Kocher, Luptáčik & Sutter [47]).

Validnost ovih pristupa posebno se može dovesti u pitanje kad se ima na umu da DMU u svakom pojedinačnom slučaju svakako ne predstavljaju homogeni skup proizvodnih jedinica.

Sinuany-Stern i dr. su u [60] koristili DEA da odrede relativnu efikasnost 21 odseka na Univerzitetu Ben Gurion. Operativni troškovi i plate na fakultetima uzeti su za inpute. Novac od dotacija, broj publikacija, broj sršenih studenata i broj ponuđenih kredit-sati poslužili su kao autputi. Zaključeno je da je 14 odseka neefikasno. U svom radu Sinuany-Stern i dr. su takođe ispitivali efekat varijacija inputa i autputa na

visinu efikasnosti. U jednom pokušaju, jedan autput je izbrisana iz prvobitnog modela. Ovaj autput je brišan zato što u njemu ni jedan odsek nije bio relativno neefikasan. Ovoga puta su se još dva odseka pokazala neefikasnim. Model DEA primenjen je ponovo, pri čemu su dva inputa kombinovana. Ponovo su još dva odseka postala neefikasna.

Rezultati tehničke efikasnosti u analizi na nivou odseka obično su u proseku slabiji od onih dobijenih u studijama o HEI nivou. Srednja vrednost tehničke efikasnosti izračunata na osnovu studija odseka varira na sledeći način: 50-60% za odseke ekonomije u Velikoj Britaniji, videti Johnes & Johnes [41], [42]; oko 70% za odseke hemije i fizike u Velikoj Britaniji, videti Beasley [8]; 65-85% za odseke ekonomije u Australiji, videti Madden i dr., [51]; 72% u grupama za ekonomska istraživanja u Finskoj, videti Korhonen i dr., [49]; i 82-87% u administrativnom sektoru na univerzitetima u Australiji, videti Coelli i dr., [24]. Podaci iz studija na nivou HEI ukazuju na to da srednja vrednost tehničke efikasnosti varira od oko 70% do 80%, videti Ahn & Seiford [1], Ng & Li [54], do preko 90%, videti Ahn i dr., [2]; Athanassopoulos & Shale, [5]; Av-kiran, [6]; Breu & Raab, [13]; Johnes [43], [44]. Jedna jedina kros kantri studija navodi, što ne iznenađuje kad se uzme u obzir disparitetnu prirodu DMU, da je srednja vrednost tehničke efikasnosti niska (23% ili 37% u zavisnosti da li se uzima u obzir CRS ili VRS).

Univerzitska istraživanja i njihov transfer u industriju predmet su interesovanja u literaturi o upravljanju tehnologijom već decenijama. Univerziteti uče znanjima i inovacijama do kojih dolaze istraživanjima. Nekoliko istraživanja bavilo se ispitivanjem transfera univerzitskih istraživanja, videti Anderson, T.R., Daim, T. U., Lavoie, F. F., [3], Siegel i Phan [59], Thursby i Kemp [64], Thursby i Thursby [65].

Pristup putem DEA u [3] primenjen je kao instrument za ocenjivanje produktivnosti primenjen na transfer tehnologije na univerzitetu. Ova metodologija sadržala je neka ograničenja vrednosti i tako obezbedila sveobuhvatnija merila. Rezultati obuhvataju istraživanje ciljeva efikasnosti za određene univerzitete kao i za neefikasne univerzitete jednake po rangu. Kod velikog broja vodećih univerziteta potvrđeno je da postoji značajna efikasnost u transferu tehnologije na univerzitetu. Istraživanje razlika između privatnih i javnih univerziteta, kao i onih koji obuhvataju medicinske studije i onih koji te studije nemaju pokazalo je da su univerziteti na kojima postoje studije medicine manje efikasni nego oni koji ih nemaju.

Primena DEA u kontekstu obrazovanja prikazana je na tabeli 1.

Autor (i) (datum)	Zemlja/ Region	Uzorak	Metod	Inputi	Autputi
<b>Anderson i dr. (2007)</b>	SAD	54 univerziteta	DEA I regresivna analiza	Ukupni regresivni troškovi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dohodak od licenciranja</li> <li>• Licenciranje i izvršene opcije</li> <li>• Start-ap kompanije</li> <li>• Registrovani patenti</li> <li>• Izdati patenti</li> </ul>
<b>Bessent i dr. (1982)</b>	Hjuston	škole	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Srednja vrednost rezultata ITBS u 2. razredu</li> <li>• Srednja vrednost rezultata ITBS u 5. razredu</li> <li>• % ne-manjina</li> <li>• % koji plaća punu cenu ručka u školi</li> <li>• Stopa prisustovanja nastavi</li> <li>• Broj zaposlenih profesionalaca po učeniku</li> <li>• Savezni troškovi po učeniku</li> <li>• Broj specijalnih programa u školi</li> <li>• % nastavnika sa zvanjem magistra</li> <li>• Nastavnici sa &gt;3 godina iskustva</li> <li>• Stopa dolaska nastavnika na posao</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Srednja vrednost ITBS rezultata u 3. razredu</li> <li>• Srednja vrednost ITBS rezultata u 6. razredu</li> </ul>
<b>Bredley i dr. (2001)</b>	Engleska	2657 srednjih škola	DEA I regresivna analiza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procenat učenika koji nemaju pravo na besplatan ručak u školi</li> <li>• Procenat kvalifikovanih nastavnika</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Odnos 5+GCSE razreda A*-C (ISPIT)</li> <li>• Stopa prisustovanja nastavi</li> </ul>
<b>Chalos i Cherian (1995)</b>	Ilinoj	Školske oblasti u Ilinoju	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• %učenika čiji dohodak nije nizak</li> <li>• %učenika koji nisu manjine</li> <li>• Stopa učenika koji prisustvuju nastavi</li> <li>• Operativni troškovi po učeniku</li> <li>• %nastavnika sa titulom magistra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Srednja vrednost rezultata IGAP iz matematike nivo 6</li> <li>• Srednja vrednost rezultata IGAP iz matematike nivo 8</li> <li>• Srednja vrednost rezultata verbalnih sposobnosti IGAP nivo 6</li> <li>• Srednja vrednost rezultata verbalnih sposobnosti IGAP nivo 8</li> </ul>

<b>Davutyan i dr. (2010)</b>	Turska	Srednje obrazovanje u 81 provinciji u Turskoj	DEA and econometric methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NAST<sup>1</sup></li> <li>• UČION<sup>2</sup></li> <li>• POČ.OD.<sup>3</sup></li> <li>• SDQNT<sup>4</sup></li> <li>• SDVRBL<sup>5</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• STUD<sup>6</sup></li> <li>• QNT<sup>7</sup></li> <li>• VRBL<sup>8</sup></li> </ul>
<b>Fare i dr. (1989)</b>	Misuri	40 školskih oblasti u Sent Luisu	Varijabilni povraćaj na obim Specifikacija i primena tehnike podskupova za izvođenje statističkih zaključaka	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broj učenika 8. razreda koji polažu BEST test</li> <li>• Neto tekući troškovi</li> <li>• Neto vrednovanje</li> <li>• Broj nastavnika u 8. razredu</li> </ul>	NAJBOLJI rezultati testova u 8. razredu iz : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Čitanja</li> <li>• Matematike</li> <li>• Ekonomije i Upravljanja</li> </ul>
<b>Ganley i Cubbin (1992)</b>	Engleska	Sve engleske LEA	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troškovi nastave po učeniku u srednjoj školi</li> <li>• % dece iz ne-radničkih porodica</li> <li>• % dece koja žive u domaćinstvima sa svim standardnim uređajima</li> <li>• % etniciteta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\% \geq 5</math> rezultati na O-nivou/CSE <math>\% \geq 6</math> rezultati na O-nivou/CSE</li> <li>• <math>\% \geq 1</math> rezultati na O-nivou /CSE</li> </ul>
<b>Jesson i dr. (1987)</b>	Engleska	Sve engleske LEA	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troškovi nastave po učeniku za srednju školu</li> <li>• % dece koja žive u ne-radničkim porodicama</li> <li>• % dece iz porodica sa oba roditelja</li> <li>• % etniciteta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\% \geq 5</math> iz viših razreda koji prolaze O-nivo/CSE</li> <li>• <math>\% \geq 3</math> rezultata na O-nivou /CSE</li> </ul>
<b>Johnes i Yu (2008)</b>	Kina	109 kineskih redovnih univerziteta	DEA orijentisana na autput sa varijabilnim povraćajima na obim, (četiri modela)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OSOBLJE<sup>9</sup></li> <li>• KV.OSO.<sup>10</sup></li> <li>• FINANS.<sup>11</sup></li> <li>• KNJIGE<sup>12</sup></li> <li>• BLPG<sup>13</sup></li> <li>• PG<sup>14</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RES<sup>15</sup></li> <li>• RESPP<sup>16</sup></li> <li>• REPUT<sup>17</sup></li> </ul>
<b>Krijavainen i Loikkanene (1998)</b>	Finska	291 od 450 viših razreda srednjih škola	Primenjuju Tobit da objasne efikasnost DEA; prihvataju pristup pomoću podskupova za testiranje čvrstine rezultata DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broj časova nastave nedeljno</li> <li>• Broj nenastavnih časova nedeljno</li> <li>• Iskustvo nastavnika</li> <li>• Obrazovanje nastavnika</li> <li>• Nivo pristupa</li> <li>• Obrazovni nivo đačkih roditelja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Broj studenata koji polože razred</li> <li>• Broj svršenih studenata</li> <li>• Rezultati izobaveznih predmeta (maturski ispit.)</li> <li>• Rezultati dodatnih predmeta (maturski ispit.)</li> </ul>

<b>Mancebon i Mar Molinero (1998)</b>	Hempšir, Sautempton	Sve osnovne škole	koriste OLS da objasne efikasnost DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Odnos broja nastavnika i učenika</li> <li>%onih koji nemaju obrok u školi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>% uspešnih na SAT2 engleskom</li> <li>% uspešnih na prirodnim naukama SAT2</li> </ul>
<b>Mayston i Jesson (1998)</b>	Engleska	Sve engleske LEAs	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>% dece iz viših društveno-ekonomske staleža</li> <li>% dece iz porodica sa obe roditelje</li> <li>% dece u kojoj je glava kuće nezaposlen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>%≥5 viši razredi</li> <li>O-nivo/CSE</li> <li>%≥6 viši razredi</li> <li>O-nivo/CSE</li> <li>%≥1 viši razredi O-nivo/CSE</li> </ul>
<b>Ng i Li, (2000)</b>	Kina	84 kineskih HEIs	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Istraživački kadrovi</li> <li>Finansiranje</li> </ul>	• publikacije
<b>Norman i Stoker (1991)</b>	Engleska	jedna (neimenovana) LEA u Engleskoj	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tekući troškovi</li> <li>% dece kojoj je engleski prvi jezik</li> <li>% dece kojoj nije potrebno savetovanje</li> <li>% dece sa prosečnim postignućem na testovima sposobnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rezultati ispita</li> <li>%učenika koji se zapošljavaju po završenom srednjem obrazovanju</li> </ul>
<b>Thanassoulis i Dunstan (1994)</b>	England	Škole u jednoj (neimenovanoj) LEA u Britaniji	DEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Srednji rezultati u izražavanju i razmišljanju na upisu</li> <li>% učenika koji nemaju besplatan obrok u školi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Srednja vrednost rezultata GCSE</li> <li>%učenika koji se ne zapošljavaju posle GDSE</li> </ul>

Tabela 1. Primene DEA u kontekstu obrazovanja

<sup>1</sup> Broj nastavnika u svakoj oblasti

<sup>2</sup> Broj učionica u svakoj oblasti

<sup>3</sup> Prosečan broj studenata iz svake oblasti koji pola u prijemni ispit

<sup>4</sup> Standardna devijacija gorepomenutih rezultata kvantitativnih ispita

<sup>5</sup> Standardna devijacija gorepomenutih rezultata usmenih ispita

<sup>6</sup> Broj studenata visokih škola u svakoj oblasti

<sup>7</sup> Prosečni (kvantitativni ispit) studenata iz svake oblasti na prijemnom ispitu za fakultet

<sup>8</sup> Prosečni rezultati studenata iz svake oblasti na usmenim ispitima na prijemnom ispitu za fakultet

<sup>9</sup> Radno vreme osoblja meri se primenom odnosa broja zaposlenih s punim radnim vremenom I studenata (STAFF)

<sup>10</sup> Kvalitet osoblja prikazan je procentom fakulteta sa polo ajem vanrednog profesora ili višim (STAFFQ)

<sup>11</sup> Finansiranje istraživanja meri se pomoću iznosa troškova istraživanja (FUNDS)

<sup>12</sup> Indeks knjiga u biblioteci

<sup>13</sup> Indeks oblasti u kojoj su zgrade

<sup>14</sup> Indeks kojim se meri proporcija svih studenata postdiplomaca

<sup>15</sup> Indeks ukupnog broja objavljenih istraživanja

<sup>16</sup> Indeks objavljenih istraživanja po planu akademskog osoblja (RESPP)

<sup>17</sup> Indeks prestiža HEI

## 7. Zaključak

U ovom radu predstavili smo analizu omeđenih podataka i pregled literature o DEA u kontekstu obrazovanja. Nadamo se da će zaključci do kojih smo došli biti od pomoći istraživačima da steknu bolji uvid u status ove metodologije u obrazovanju i da nastave da unapređuju ovu oblast u budućnosti.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Ahn, T., & Seiford, L. M., Sensitivity of data envelopment analysis to models and variable sets in a hypothesis test setting: The efficiency of university operations. In Y. Ijiri (Ed.), Creative and innovative approaches to the science of management (pp. 191?208), Westport, Connecticut: Quorum Books, 1993.
- [2] Ahn, T., Arnold, V., Charnes, A., & Cooper, W.W., DEA and ratio efficiency analyses for public institutions of higher learning in Texas, Research in Governmental and Nonprofit Accounting, 5, 165?185, 1989.
- [3] Anderson, T.R., Daim, T. U., Lavoie, F. F., *Technovation* 27, (2007), 306-318.
- [4] Arcelus, F. J., & Coleman, D. F., An efficiency review of university departments. *International Journal of Systems Science*, 28(7), (1997), 721?729.
- [5] Athanassopoulos, A. D., & Shale, E. (1997). Assessing the comparative efficiency of higher education institutions in the UK by means of data envelopment analysis. *Education Economics*, 5(2), (1997) 117?134.
- [6] Avkiran, N. K., Investigating technical and scale efficiencies of Australian universities through data envelopment analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 35(1), (2001), 57?80.
- [7] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W., Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*, 30(9), (1984), 1078-1092
- [8] Beasley, J. E., Comparing university departments, *Omega*, 18, (1990), 171?183.
- [9] Beasley, J. E., Determining the teaching and research efficiencies, *Journal of the Operational Research Society*, 46(4), (1995), 441?452.
- [10] Bessent, A.M., Bessent, E. W., Kennington, E.W., Reagan, B., An application of mathematical programming to assess the productivity in the Houston independent school district, *Management Science* 28, (1982) 1355-1367.
- [11] Bessent, A.M., Bessent, E.W., Determining the comparative efficiency of schools through data envelopment analysis, *Educational Administration Quarterly* 16, (1980), 57-75.
- [12] Bradley S., Johnes, G., Millington, J., The effect of competition on the efficiency of secondary schools in England. *European Journal of Operational Research* 135, (2001), 545-568.
- [13] Breu, T. M., & Raab, R. L., Efficiency and perceived quality of the nation's "Top 25" national universities and national liberal arts colleges: An application of data envelopment analysis to higher education, *Socio-Economic Planning Sciences*, 28(1), (1994), 33?45
- [14] Chalos, P., Cherian, J., An application of data envelopment analysis to public sector performance measurement and accountability, *Journal of Accounting and Public Policy* 14, (1995), 143-160.
- [15] Charnes A, Cooper WW, Lewin AY, Seiford LM. Data envelopment analysis: theory, methodology and application. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.
- [16] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., Measuring the efficiency of DMUs, *European Journal of Operational Research*, 2, (1978), 429-444.
- [17] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E., Evaluating program and managerial efficiency: An application of DEA to program follow-through, *Management Science*, 27(6), (1981), 668-697.
- [18] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of the Program Follow Through Experiments in U.S. Public School Education, Management Science Research Report No. 432, Carnegie-Mellon University, School of Urban and Public Affairs, Pittsburg, PA., 1978
- [19] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., Short Communication: Measuring the Efficiency of Decision Making Units, *European Journal of Operational Research* 3, (1979), p.339.
- [20] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through, *Management Science* 27, (1981), pp. 668-697.
- [21] Charnes, A., Cooper, W.W., and Rhodes, E., Preface to topics in Data Envelopment analysis, *Annals of Operations Research* 2, pp. 59-94, 1985.
- [22] Charnes, A., Cooper, W.W., Lewin, A.Y., Seiford, L.M., Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology, and Application, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [23] Coelli, T., & Perelman, S., A comparison of parametric and non-parametric distance functions: With application to European railways, *European Journal of Operational Research*, 117, (1999) 326-339.

- [24] Coelli, T., Rao, D. S. P., & Battese, G. E., An introduction to efficiency and productivity analysis. Norwell, MA: Kluwer Academic 1998.
- [25] Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone,K., Data Envelopment analysis: A comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [26] Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J. (Eds.), Handbook on Data Envelopment Analysis. Springer, Dordrecht, 2004.
- [27] Dantzig, G. B., Maximization of a linear function of variables subject to linear inequalities. In T. C. Koopmans (Ed.), Activity analysis of production and allocation, New York: Wiley, 1951.
- [28] Davutyan, N., Demir, M., Polat.S. Assessing the efficiency of Turkish secondary education: Heterogeneity, centralization, and scale diseconomies, *Socio-Economic Planning Sciences* 44, (2010), 35-44.
- [29] Debreu, G., The Coefficient of Resource Utilization, *Econometrica* 19 (3), (1951), 273-292.
- [30] El Mahgary, S., & Lahdelma, R., Data envelopment analysis: Visualizing the results, *European Journal of Operational Research*, 85, (1995), 700?710.
- [31] Emrouznejad, A. Parker, B. And G. Tavares, Evaluation of research in efficiency and productivity: survey and analysis of the 30 years of scholarly literature in DEA, *Journal of Socio-Economics Planning Science*, 42(3), (2008), 151-157.
- [32] Fare, R., Grosskopf, S., Weber, W.L., Measuring school district performance, *Public Finance Quarterly* 17, (1989), 409-428.
- [33] Farrell, M., The measurement of productive efficiency *Journal of the Royal Statistical Society, Series A*, 120, (1957), 253-281.
- [34] Fried, H.O., Lovell, C.A.K, Schmidt, S.S., The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications, Oxford University Press, 1993.
- [35] Friedman, L., & Sinuany-Stern, Z., Scaling units via the canonical correlation analysis in the data envelopment analysis context, *European Journal of Operational Research*, 100, (1997), 629?637.
- [36] Ganley, J.A., Cubbin, J.S., Public Sector Efficiency Measurement: Applications of Data Envelopment Analysis. Elsevier, Amsterdam, 1992.
- [37] Haksever, C., & Muragishi, Y., Measuring value in MBA programmes. *Education Economics*, 6(1), (1998), 11?25.
- [38] Hanushek, E. A., Interpreting recent results on schooling in developing countries, *World Bank Research Observer* 10 (2), (1995), 227-246.
- [39] Hanushek, E.A., The economics of schooling, *Journal of Economic Literature* 24, (1986), 1147-1177.
- [40] Jesson, D., Mayston, D., Smith, P., Performance assessment in the education sector: Educational and economic perspectives, *Oxford Review of Education* 13, (1987), 249-267.
- [41] Johnes, G., & Johnes, J., Apples and oranges: The aggregation problem in publications analysis, *Socientometrics*, 25(2), (1992), 353?365.
- [42] Johnes, G., & Johnes, J., Measuring the research performance of UK economics departments: An application of data envelopment analysis, *Oxford Economic Papers*, 45, (1993), 332?347.
- [43] Johnes, J., Measuring teaching efficiency in higher education: An application of data envelopment analysis to Economics graduates from UK universities, *European Journal of Operational Research*, 174, (2006), 443?456.
- [44] Johnes, J., Data envelopment analysis and its application to the measurement of efficiency in higher education, *Economic of Education Review* 25, (2006), 273-288.
- [45] Johnes, J., Yu, Lu., Measuring the research performance of Chinese higher education institutions using data envelopment analysis, *China Economic Review* 19, (2008), 679-696
- [46] Kirjavainen, T., Loikkanen, H. A., Efficiency differences of Finnish senior secondary schools: An application of DEA and tobit analysis, *Economics of Education Review* 17, (1998), 377-394.
- [47] Kocher, M. G., Luptácik, M., & Sutter, M., Measuring productivity of research in economics: A cross-country study using DEA. Department of Economics Working Paper, Vol. 77: Vienna University of Economics & B. A, 2001.
- [48] Koopmans, T.C., An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities, in T. C. Koopmans, ed., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commissions for Research in economics, Monograph No. 13. New Zork: John Wiley and Sons, Inc. 1951.
- [49] Korhonen, P., Tainio, R., & Wallenius, J., Value efficiency analysis of academic research. *European Journal of Operational Research*, 130, (2001), 121?132.
- [50] Lovell, C.A.K., Walters, L.C., Wood, L.L., Stratified models of education production using modified DEA and regression analysis. In: Charnes,A., Cooper,W.W., Lewin, A. Y., Seiford, L.M., (Eds.), *Data Envelopment Analysis: Theory Methodology and Applications*. Kluwer, Massac-hussets, 1994.

- [51] Madden, G., Savage, S., & Kemp, S., Measuring public sector efficiency: A study of economics departments at Australian Universities. *Education Economics*, 153?167, 1997.
- [52] Mancebon, M.J., Mar Molinero, C., Performance in primary schools. Discussion Paper 98-139, (1998), Department of Management, University of Southampton.
- [53] Mayston, D., Jesson, D., 1988. Developing models of educational accountability, *Oxford Review of Education* 4, (1988), 321-339.
- [54] Ng, Y. C., & Li, S. K., Measuring the research performance of Chinese higher education institutions: An application of data envelopment analysis, *Education Economics*, 8(2), (2000) 139?156.
- [55] Norman, M., Stoker, B., Data Envelopment Analysis: The Assessment of Performance. Willey, Chichester, 1991.
- [56] Pastor, J. T., Ruiz, J. L., & Sirvent, I., A statistical test for nested radial DEA models. *Operations Research*, 50(4), (2002), 728-735.
- [57] Ray, S.C., Resource use efficiency in public schools: A study of Connecticut data, *Management Science* 37, (1991), 1620-1628.
- [58] Rhodes, E. L., Data Envelopment analysis and Related Approaches for Measuring the Efficiency of Decision Making Units with an Application to Program Follow through in U.S., Education, unpublished Ph.D., thesis, Carnegie-Mellon University, School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh, PA, 1978.
- [59] Siegel, D.S., Phan, P.H., Analyzing the Effectiveness of University Technology Transfer: Implications for Entrepreneurship Education (No. 0426). Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, 2004.
- [60] Sinuany-Stern, Z., Mehrez, A., Barboy, A., Academic departments efficiency via DEA, *Computers and Operations Research* 21, (1994), 543-556.
- [61] Smith, P., Mayston, D., Measuring efficiency in the public sector, *Omega* 15, (1987), 181-189.
- [62] Thanassoulis, E., Dunstan, P., Guiding schools to improved performance using data envelopment analysis, *Journal of the Operational Research Society* 45, (1994), 1247-1262.
- [63] Thanassoulis, E., Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software, Springer-Verlag New York, LLC, 2001.
- [64] Thursby, J.G., Kemp, S., University technology transfer: a DEA analysis. In: Kantarelis, D., (Ed.), Business and Economics for the 21st Century, vol. 2, Business and Economics Society International, Worcester, MA, pp. 303-311, 1998
- [65] Thursby, J.G., Thursby, M.C., Who is selling the Ivory Tower? Sources of growth in university licensing, *Management Science* 48 (1), (2002), 90-104.
- [66] Tomkins, C., & Green, R. (1988). An experiment in the use of DEA for evaluating the efficiency of UK university departments of accounting. *Financial Accountability and Management*, 4(2), (1988), 147-164.