Data Envelopment Analysis for risks assessmentt

Assoc. Prof. Milena Kirova, PhD
Faculty "Business and Management"
University of Ruse "Angel Kanchev", Bulgaria
E-mail: mkirova@uni-ruse.bg

Assist. Prof. Igor Sheludko, PhD candidate
Faculty "Business and Management"
University of Ruse "Angel Kanchev", Bulgaria
E-mail: isheludko@uni-ruse.bg

Анализ на сравнителната ефективност за оценка на рискове

Доц. д-р Милена Кирова,
Факултет „Бизнес и мениджмънт"
Русенски университет „Ангел Кънчев", България
E-mail: mkirova@uni-ruse.bg

Ас. Игор Шелудко, докт.
Факултет „Бизнес и мениджмънт"
Русенски университет „Ангел Кънчев", България
E-mail: isheludko@uni-ruse.bg

Abstract: *Data Envelopment Analysis for risks assessment: This paper introduces the advantages of applying Data Envelopment Analysis (DEA) in the field of Risk Management. It describes the key functionality features of DEA for comparing the risks within a project and risk ranking process using DEA efficiency marks. It also points the specifics of using DEA as risk ranking method, its disadvantages and solutions for specific needs.*

Key words: *Data Envelopment Analysis (DEA), Risk Management, Risk Ranking.*

Резюме: *Анализ на сравнителната ефективност (Data Envelopment Analysis - DEA) за оценка на рискове: Тази статия представя предимствата на прилагането на метода за анализ на сравниталната ефективност в областта на управление на риска. Описва основните функционални характеристики на DEA за сравняване на рискове в рамките на процеса на ранжирането на даден проект и използването на DEA като инструмент на ефективността. Тя също така разглежда спецификата на използване на DEA като метод за класиране на риска, недостатъците му и осветлява възможни решения за специфични проектни нужди.*

Ключови думи: *анализ на сравнителната ефективност, управление на риска, ранжиране на рискове.*

JEL Classification: *M11, M21, C21, O31, O32*

I. Introduction

Data envelopment analysis (DEA) is a method evaluating a potential project, or aiding the process of making another management decision, using multicriterial assessment, which allows comparing indicators with diverse measuring units. For example, for a specific set of potential projects, the managers of the company need to assess the cash flows, to rank the

I. Въведение

Анализът на сравнителната ефективност, познат в литературата като Data envelopment analysis (DEA) е метод за оценяване на потенциален проект, или за подпомагане вземането на друго управленско решение, използващ многокритериалната оценка, който позволява сравняването на показатели с различни мерни единици. Например, за специфичен набор от потенциални проекти, ме-

project availability to the available competences, to rank the project potential for building the desired future competences, the range of their technical feasibility and, finally, the range of attractiveness to consumers. Each of those indicators covers a part of the project, which is completely different from the others and the numbers, describing those indicators are different measurement units. In this case, the first indicator is a relatively constant value, while the second and the third are in fact, ranks, category values obtained as a result from comparing alternatives. This leads to difficulties in determining the differences between the separate levels of ranking. The last two indicators can be measured in points, obtained when applying a ranking system or different types of scales – for example, Likert scales (Zhu, 2009).

The aim of this paper is to prove theoretically the applicability of the data envelopment analysis as a method of assessment and prioritizing the risks, especially in the innovation activities.

For the achievement of the above-mentioned aim, the following objectives have been assigned: to clarify the essence of the method, to reveal its functional potential, advantages and disadvantages, as well as to make conclusions about its practical application.

II. Description of the method

The method Data Envelopment Analysis (DEA) is based on the term „decision-making unit" (DMU) in order to identify business operations, processes or objects, which are subjected to data envelopment assessment. Every DMU has a set of input and output parameters, which are multilateral measures of performance (Charnes, Cooper § Rhodes, 1978). To illustrate the method, a set of n observations of the units concerned is used. Each observation, DMU_j $(j=1, 2, ..., n)$, uses m inputs x_{ij} $(i=1,2,...,m)$ to produce s outputs y_{rj} $(r=1,2,...,s)$.

ниджърите от фирмата трябва да направят преценка за паричните потоци, да ранжират проектната пригодност с наличните компетенции, да ранжират проектния потенциал за изграждане на желаните бъдещи компетенции, обхватът на тяхната техническа изпълнимост и диапазонът на привлекателността за потребителите. Всеки от тези показатели обхваща дадена страна на проекта, която е качествено различна от останалите и числата, описващи тези показатели са с различни мерни единици. В случая, първият показател е стойностен и е с относително постоянна величина, а вторият и третият всъщност са рангове, категорийни величини, получени в резултат на сравняване на алтернативи помежду им. Това води до затруднения при определяне на различията между отделните нива на ранжирането. Последните два показателя могат да се измерват с точки, получени в резултат прилагането на система за ранжиране или различни видове скали – напр. Ликертови скали (Zhu, 2009).

Целта на статията е да се докаже теоретично приложимостта на анализа на сравнителната ефективност като метод за оценка и приоритизиране на рискове, особено в иновационната дейност.

За постигането на така формулираната цел се поставят следните задачи: да се изясни същността на метода, да се разкрият функционалните му възможности, предимствата и недостатъците му, както и да се направят изводи за практическото му приложение.

II. Същност на метода

Методът „Анализ на сравнителната ефективност" (DEA) се базира на термина „единици за вземане на решения" (DMU) за да бъдат посочени бизнес операции, процеси или обекти, които се подлагат на сравнително оценяване. Всеки DMU има набор от входящи и изходящи параметри, представляващи многостранни измерители на производителността (Charnes, Cooper § Rhodes, 1978). За илюстриране на метода се приема набор от n наблюдения на разглежданите единици. Всяко наблюдение, DMU_j $(j=1, 2, ..., n)$, използва m на брой входа тx_{ij} $(i=1,2,...,m)$ за да произведе s на брой изхода y_{rj} $(r=1,2,...,s)$.

Table 1. Description of inputs and outputs for DEA analysis
Таблица 1. Описание на входовете и изходите за DEA анализ

	Inputs (xij) Входове				Outputs (yrj) Изходи			
	x1	**x2**	**x...**	**xm**	**y1**	**y2**	**y...**	**ys**
DMU1	x11	x21	x...1	xm1	y11	y21	y...1	ys1
DMU2	x12	x22	x...2	xm2	y12	y22	y...2	ys2
DMU...	x1...	x2...	x.....	xm...	y1...	y2...	y.....	ys...
DMUn	x1n	x2n	x...n	xmn	y1n	y2n	y...n	ysn

The empirical effective border, or good practices border is determined by those ***n*** observations. Two characteristics x_{ij} and y_{rj} provide building a segment linear approximation of the effective curve, which possesses the following two properties (Zhu, 2009):

Емпиричната ефективна граница, или граница на добрите практики е определена от тези ***n*** наблюдения. Двете характеристики x_{ij} и y_{rj} осигуряват изграждане на сегментна линейна апроксимация на ефективната крива, която притежава следните две свойства (Zhu, 2009):

Convexity.
Изпъкналост.

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j . x_{ij} \text{ , } (i = 1, 2,..., m) \text{ и} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j . y_{rj} \text{ , } (r = 1,2,..., s) \quad (2)$$

are possible inputs and outputs, achievable for DMU, where λ_j $(j = 1,2,..., n)$ are positive numbers, fulfilling the condition

са възможни входове и изходи, достижими за DMU, където λ_j $(j = 1,2,..., n)$ са положителни числа, изпълняващи условието

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad (3)$$

Inefficiency. The same y_{rj} can be obtained by using $\hat{x}_{ij}$, where $\hat{x}_{ij} \geq x_{ij}$ (i.e. the same level of output indicators has been obtained, using larger input indicators); $\hat{y}rj$ can be obtained with the same x_{ij} where $\hat{y}_{rj} \leq y_{rj}$ (i.e. the same input indicator produces a lower level of the output indicator).

If we take as an example the assessment of efficiency of different suppliers, then two input values can be total expenses and total time for the suppliers' orders. For every specific x_i $(i=1,2,...,m)$ and y_r $(r=1,2,...,s)$, the following system can be written:

Неефективност. Същият y_{rj} може да бъде получен чрез използване на $\hat{x}_{ij}$, където $\hat{x}_{ij} \geq x_{ij}$ (т.е. същото ниво на изходните показатели е получено, използвайки по-големи входящи показатели); Със същия x_{ij} може да бъде получено $\hat{y}_{rj}$, където $\hat{y}_{rj} \leq y_{rj}$ (т.е. същият входен показател произвежда по-ниско ниво на изходния показател).

Ако се приеме за пример оценяване ефективността на различни доставчици, то като две входни величини могат да бъдат общите разходи и общото време за реагиране на заявките на доставчиците. За всеки специфичен x_i $(i=1,2,...,m)$ и y_r $(r=1,2,...,s)$, може да се запише системата:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j . x_{ij} \leq x_i, \ i = 1,2,...m \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j . y_{rj} \geq y_r, \ r = 1,2,...s \\ \sum \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (4)$$

The next step is to assess the empirical (linear by segment) curve of efficiency, described by the system (4). The Data Envelopment Analysis (DEA) presented initially by Charnes, Cooper and Rhodes, has proven a useful tool when such empirical borders and assessment of data envelopment are determined (Charnes, Cooper§Rhodes, 1978). DEA uses mathematical programming for implicit assessment of alternatives, lying within the borders of the empirical effective curve.

III. Functionality

All business operations and processes include a transformation – adding value as a result of the change of resources and transforming them into goods or services, sought by the customers. The transformation involves using input resources – labour, materials, energy, machines, and other resources for generating certain outputs – manufactured products, services, consumer satisfaction and other results. Risk management includes a similar process of transformation. For example, risk analysis uses the data available for events with a degree of uncertainty and transforms them into risk assessments. The risk management systems use the risk assessments, information about costs, necessary to influence these risks or digressing reserves to use as input indicators. The system receives data about the corrected risk indicators at the output (Kiryushkin & Larionov, 2009).

The managers are often interested in assessing the efficiency of different activities by taking into account the numerous performance indicators (inputs and outputs). A typical example of an innovation process is the manager to be interested in comparing several risk management strategies in view of the probability of risk, its weight in terms of damage, the financial means needed for the strategy, the expected outcomes. Eliminating or improving the inefficient strategies reduces the value of input indicators and improves performance. Performance assessment and comparative (reference) evaluation contribute to improving the productivity and efficiency of

Следващата стъпка е да се оцени емпиричната (посегментна линейна) крива на ефективност, описана чрез системата (4). Анализът на сравнителната ефективност (Data Envelopment Analysis - DEA) представен първоначално от Чарнс, Купър и Родс е доказан приложим инструмент при определяне на подобни емпирични граници и оценка на сравнителната ефективност (Charnes, Cooper§Rhodes, 1978). DEA използва математическо програмиране за имплицитно оценяване на алтернативите, лежащи в границите на емпиричната ефективна крива.

III. Функционални възможности

Всички бизнес операции и процеси включват трансформация – добавяне на стойност в резултат на промяна на ресурсите и превръщането им в стоки или услуги, които клиентите търсят. Трансформацията представлява използване на входни ресурси - труд, материали, енергия, машини, други ресурси за генериране на определени изходи - произведени продукти, услуги, потребителска удовлетвореност и други резултати. Управлението на рискове включва подобен процес на трансформация. Например, анализът на риска използва наличните данни за събития с някаква степен на неопределеност и ги трансформира в оценки на риска. Системите за управление на риска използват оценките на риска, информация за разходите, необходими за въздействие върху тези рискове или отделяне на резерви като входящи показатели. На изхода системата получава данни за коригираните показатели на рисковете (Kiryushkin & Larionov, 2009).

Мениджърите често са заинтересовани да оценяват колко ефективно протичат различните дейности като се отчитат многобройните показатели за производителност (входове и изходи). Типичен пример в един иновационен процес е мениджърът да бъде заинтересован да сравни няколко стратегии за управление на рисковете с оглед на вероятността за риска, неговата тежест от гледна точка на щетите, необходимите финансови средства за стратегията, очакваните резултати. Елиминирането или подобряването на неефективните стратегии намалява стойността на входните показатели и подобрява производителността. Оценяването на производителността и сравнителното (еталонно) оценяване допринасят за подобряване

operations and processes (Kiryushkin & Larionov, 2009).

Performance assessment is an important tool for continuous improvement, in order for the company to remain competitive, especially when it comes to business, carried out by high-tech industries. Comparative evaluation is a pre-requisite for every business unit to evolve, to improve, in order to survive and prosper in the surrounding business environment, facing global competition.

In contrast to optimization methods, where the efficient border is measured on the condition that the functional relationships between individual performance indicators are known, in data envelopment analysis the efficient border is obtained as a result of numerous indicator measurements, which are not necessarily related functionally. For example, the volume of waste and that of production are two interdependent variables, whose ratio reflects performance, but unfortunately, such information is not always accessible. Provided that the purpose of measuring performance is to evaluate a business process from within and to compare it to similar business processes from outside, in order to identify the best practices, such information can be obtained. The efficient curve can be determined empirically, based on observations on a business process/operation at different points in time, or on similar business operations in one specific time period (Camp, 1995). In any case, the performance of business units is a complex phenomenon, requiring more than one indicator to characterize it.

IV. Advantages and Disadvantages

Data envelopment analysis is characterized by certain characteristics and limitations, which determine its application. The researcher should take into account the following specifics of the method.

Being inherently an optimization method, data envelopment analysis carries the flaws of optimization tasks, related to finding the dominant weighted combination, i.e. the separate models indicate only the

на продуктивността и ефективността на операциите и процесите (Kiryushkin & Larionov, 2009).

Оценяването на производителността е важен инструмент за непрекъснато подобряване, с цел фирмата да остава конкурентоспособна, особено в условия на бизнес, осъществяван чрез високотехнологични производства. Сравнителното оценяване е предпоставка всяка бизнес-единица постоянно да еволюира, да се подобрява за да оцелее и да просперира в обкръжаващата бизнессреда, посрещайки глобалната конкуренция.

За разлика от оптимизационните методики, при които ефективната граница се измерва при условие, че са известни функционалните отношения между отделни показатели на производителността, при анализ на сравнителната ефективност, ефективната граница се получава в резултат на многобройни измервания на показатели, които нямат задължително функционална връзка помежду си. Например, обемът на отпадъците и обемът на произведената продукция са две взаимнозависими променливи, чието съотношение отразява производителността, но за съжаление, подобна информация не винаги е достъпна. При условие, че целта на измерване на производителността е да се оцени даденият бизнес-процес отвътре и да се противопостави на подобни бизнес-процеси отвън за да се определят най-добрите практики, подобна информация би могла да бъде получена. Ефективната крива може да се определи емпирично, основавайки се на наблюдения на един бизнеспроцес/операция през различни времеви точки или на сходни бизнесоперации в един специфичен времеви период (Camp, 1995). Във всеки случай, производителността на бизнесединиците е комплексен феномен, изискващ повече от един показател за характеризирането й.

IV. Предимства и недостатъци

Анализът на сравнителната ефективност се характеризира с определени особености и ограничения, които обуславят и неговото прилагане. При оценяване на ефективността, изследователят трябва да се съобрази със следните специфики на метода.

Бидейки по своята същност оптимизационен метод, анализът на сравнителната ефективност носи в себе си недостатъците на оптимизационните задачи, свързани с намирането на доминираща-

local optimums of the problem while there exists a more precise complex solution. Besides, the methods for solving optimization problems are complex for manual calculation, which limits their use without specific computing technology.

DEA must have sufficient data for obtaining efficient results. For a small number of DMU or a very high number of observed parameters, DEA may not find inefficient DMU. The minimum requirement is the number of observed DMU to be at least double the number of the parameters observed.

DEA builds the efficient curve on the basis of the available prevailing DMU, irrespective of whether they reach the theoretical efficient curve or not. DEA identifies a point as effective although it may be technologically possible to increase efficiency – fig.1.

та претеглена комбинация, т.е. отделните модели посочват само локалните оптимуми на задачата, докато съществува по-прецизно комплексно решение. Освен това, методите за решаване на оптимизационни задачи са сложни за ръчно пресмятане, което ограничава използването им без специфична изчислителна техника.

DEA трябва да разполага с достатъчен обем данни за получаване на ефективни резултати. При малък брой DMU или при много голям брой наблюдавани параметри DEA може да не открие неефективни DMU. Минималното изискване е броят на наблюдаваните DMU да бъде поне двойно по-голям от броя на наблюдаваните параметри.

DEA построява ефективната крива въз основа на наличните доминиращи DMU независимо от факта, дали те достигат теоретичната ефективна крива. DEA определя като ефективна дадена точка, въпреки, че може да съществува технологична възможност за повишаване на ефективността – фиг.1.

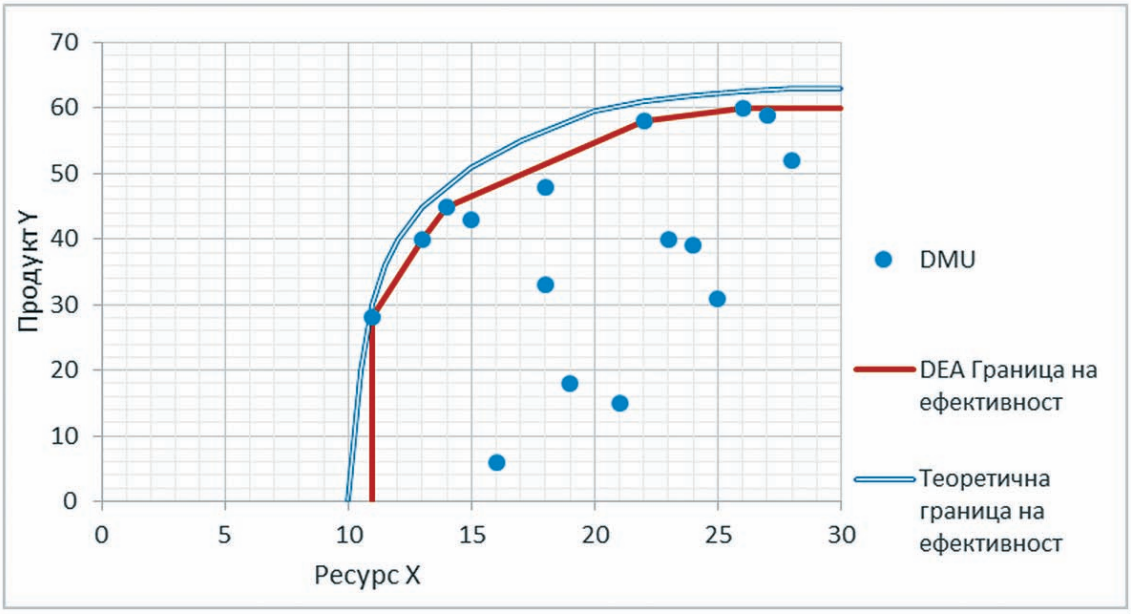

Figure 1. DEA efficiency curve and theoretical border of efficiency

Фигура 1. DEA крива на ефективност и теоретична граница на ефективност

DEA forms the hypothetical DMU, drawing it by a weighted combination of real DMU. Nevertheless, there is no guarantee that such hypothetical combination could exist in real conditions. Comparing real DMU with the weighted combination, there exists probability for a situation, in which two efficient DMU, which have achieved high results in two separate parameters, can

DEA формира хипотетичната DMU като я съставя посредством претеглена комбинация на реалните DMU. Въпреки това няма гаранция, че подобна хипотетична комбинация би могла да съществува в реални условия. Сравнявайки реалната DMU с претеглената комбинация, съществува вероятност за ситуация, в която две ефективни DMU, постигнали високи резултати в два отделни параме-

form an efficient border that is physically unattainable for the other DMU, trying to achieve good results in both parameters simultaneously. The researcher should analyse carefully the nature of data. In some cases, such a problem can be avoided through the choice of an appropriate DEA model for different types of effects of scale.

The classical DEA model does not take into consideration the priority of parameters (Shen, Hermans, Da Ruan, Wets, Brijs § Vanhoof, 2011). The leading role (or ratio) of one parameter may ensure maximum efficiency evaluation, although a specific parameter (or ratio) in a specific case have low priority. Besides, the classical DEA models do not imply interval or inaccurate assessments. If the study implies the application of such assessments (Kuah § Wong, 2011), it is necessary to use the respective modifications of DEA (for example, Stochastic DEA (SDEA), Fuzzy DEA (FDEA), Imprecise DEA (IDEA) and others).

DEA cannot provide an answer as to which of the two efficient DMU has higher assessment – if they are both effective solutions, they have been evaluated with the maximum grade, equal to one. In this way, the efficiency assessments could be used for ranking only of inefficient DMU. For ranking the efficient DMU, it is necessary to use additional assessments.

The classical DEA model is not appropriate for evaluation of DMU efficiency as individual units in situations when they can combine and work together for the achievement of a common goal.

V. Conclusions

1. The data envelopment analysis is a multi-criterion assessment, using linear programming to combine indicators with different units of measurement and to build a hypothetical efficiency border, which determines the best performance of each indicator. This border can also be used to compare input data (e.g. costs) with the output data (expected benefits). Thus the distance of each alternative solution from this hypothetical efficiency border be-

търа формират такава ефективна граница, която е физически недостижима за другите DMU, опитващи се да постигнат добри резултати в двата параметъра едновременно. Изследователят трябва внимателно да анализира характера на данните. В отделни случаи такъв проблем може да бъде избегнат чрез избора на подходящ DEA модел за различни видове ефекти от мащаба.

Класическият модел на DEA не взема предвид приоритетите на параметрите (Shen, Hermans, Da Ruan, Wets, Brijs § Vanhoof, 2011). Лидерство на един (или съотношение) от параметрите може да осигури максималната оценка на ефективността, въпреки че конкретен параметър (или съотношение) при конкретен случай притежава нисък приоритет. Освен това класическите модели на DEA не предполагат използване на интервални или неточни оценки. Ако изследването предполага прилагане на такъв вид оценки (Kuah § Wong, 2011), необходимо е да се иполэват съответните модификации на DEA (например, Stochastic DEA (SDEA), Fuzzy DEA (FDEA), Imprecise DEA (IDEA) и други).

DEA не може да даде отговор, кое от две ефективни DMU има по-висока оценка – щом се ефективни решения, те са оценени с максималната оценка, равна на единица. По този начин оценките на ефективност биха могли да се използват за ранжиране само на неефективните DMU. За ранжиране на ефективните DMU е необходимо да се използват допълнителни оценки.

Класическият модел на DEA не е подходящ за оценка на ефективност на DMU като самостоятелни единици в ситуациите, когато те могат да се комбинират и да работят съвместно за постигане на обща цел.

V. Заключение

1. Анализът на сравнителната ефективност е многокритериална оценка, използваща линейното програмиране за да комбинира показатели, които са с различни мерни единици и да изгради хипотетична граница на ефективността, която определя най-доброто представяне по всеки от показателите. Тази граница също може да бъде използвана, за да се съпоставят входните данни (напр. разходи) с изходните (очаквани ползи). Така става видно отстоянието на всяко

comes clear, and each of these solutions is assigned a certain value of efficiency.

2. The efficiency values are used for ranking alternative solutions for risk management, or for identifying them in some dominating order according to the probability of risk, its weight in terms of damages and the funds needed for implementing a specific strategy.

3. Some of the main advantages of the method in relation to risk management can be summarized as: its use to discover strengths and weaknesses of business operations, activities and processes; business being better prepared to meet consumer needs and requirements; awareness of opportunities for improving running operations and processes with the purpose of creating new products, services and processes.

от алтернативните решения от тази хипотетична граница на ефективността, като се присъжда определена стойност на ефективността за всяко от тях.

2. Стойностите на ефективността се използват, за да се ранжират алтернативни решения за управление на рискове или да се идентифицират в някакъв доминиращ ред съобразно вероятността за риска, неговата тежест от гледна точка на щетите и необходимите финансови средства за реализиране на конкретна стратегия.

3. Сред основните предимства на метода във връзка с управлението на рискове може да се обобщи, че той се ползва за да се откриват силните и слабите страни на бизнесоперации, дейности, процеси; бизнесът да посреща нуждите и изискванията на потребителите по-подготвен; да се осъзнават възможностите за подобряване на текущите операции и процеси, с цел създаване на нови продукти, услуги и процеси.

Reference/Литература

Camp, R.C., (1995). Business Process Benchmarking, Finding and Implementing Best Practices. ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.

Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes (1978), Measuring efficiency of decision making units.//European Journal of Operational Research, 2, 429-444.

Kuah, C.T. , K.Wong., (2011). A review of data envelopment analysis models for handling data variations. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Singapore. DOI: 10.1109/IEEM.2011.6117897.

Yongjun Shen, Elke Hermans, Da Ruan, Geert Wets, Tom Brijs, Koen Vanhoof (2011). A generalized multiple layer data envelopment analysis model for hierarchical structure assessment: A case study in road safety performance evaluation. In //Expert Systems with Applications 38 (12), pp. 15262–15272. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411008578.

Zhu, Joe (2009), Quantitative models for performance evaluation and benchmarking. Data envelopment analysis with spread sheets. 2. ed. New York, NY: Springer (126).

Kiryushkin, V.E. & Larionov, I. V. (2009). Osnovi risk-menedjmenta. Moskwa. Ankil. (in Russ.)