



VYUŽITELNOST DEA MODELŮ PŘI HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI BEZPEČNOSTNÍCH SLOŽEK

František Paulus¹, Josef Kellner²

ABSTRAKT

Článek seznamuje s DEA modely, jakožto vhodnými nástroji pro analýzu efektivity bezpečnostních složek. DEA modely jsou specifickou oblastí operačního výzkumu stojící na pomezí lineárního programování a vícekritériálního rozhodování. Příspěvek uvádí možné směry využitelnosti DEA modelů ve prospěch rozvoje bezpečnostního systému ČR se zaměřením na Hasičský záchranný sbor České republiky.

Klíčová slova:

Operační výzkum, ekonomicko-matematické modely, matematické programování, lineární programování

ABSTRACT

The article introduces DEA models as an appropriate tool for analyzing the effectiveness of security components. DEA models are a specific area of operational research standing on the boundary of linear programming and multi-criteria decision making. The paper presents possible directions of use of DEA models in favor of development of the Czech security system focusing on the Fire Rescue Corps of the Czech Republic.

Key words:

Operations research, mathematical-economic models, mathematical programming, linear programming

¹ pplk. Mgr. et Mgr. František Paulus; Ministerstvo vnitra - generální ředitelství HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva; Na Lužci 2014, Lázně Bohdaneč 533 41, Česká republika; tel. 950 580 431; e-mail: paulus@ioob.izscr.cz

² doc. Ing. Josef Kellner, CSc.; Univerzita obrany, Fakulta vojenského leadershipu, Katedra krizového řízení; Kounicova 65, 662 10 Brno, Česká republika; tel. 973 443 665; e-mail: josef.kellner@unob.cz

1 ÚVOD

Předložený článek práce se zabývá možnostmi aplikace DEA modelů při hodnocení efektivnosti organizačních složek bezpečnostních sborů (dále jen „produkční jednotky“). Pod označením „produkční jednotka“ lze obecně rozumět jakoukoliv jednotku, která v rámci transformačního procesu přetváří vstupy na výstupy [1]. V souvislosti s řešením předmětné problematiky byl navržen postup, který umožňuje posouzení jejich efektivnosti. Verifikace postupu byla prokázána prostřednictvím jeho aplikace na reálných datech za období let 2013 – 2016.

S ohledem k charakteru řešené problematiky není v textu blíže specifikována úroveň produkční jednotky, ani agenda, jejíž výkon je předmětem hodnocení. Produkční jednotky jsou anonymizovány a uvedeny pod římskými čísly (jedná se o náhodný výběr ze základního souboru n jednotek).

2 EFEKTIVNOST A PŘÍSTUPY K JEJÍMU HODNOCENÍ

2.1 VYMEZENÍ EFEKTIVNOSTI

Měření efektivnosti produkčních jednotek a identifikace faktorů neefektivnosti je nástrojem účinného benchmarkingu těchto subjektů a důležitým předpokladem jejich zlepšování v konkurenčním prostředí. Aby bylo možné produkční jednotky hodnotit a formulovat relevantní závěry, musí být splněna podmínka homogenity, resp. produkční jednotky by měly vykonávat alespoň podobnou činnost, využívat podobných vstupů a produkovat srovnatelné výstupy.

Vstupy (*inputs*) a výstupy (*outputs*) jsou tedy kritérii, pomocí nichž je hodnocena efektivnost produkčních jednotek. Výstupy mají zpravidla podobu maximalizační, tzn., že jejich vyšší hodnota vede, při zachování stejné úrovně vstupů, k vyšší míře efektivnosti. Vstupy mívají naopak podobu minimalizační, tzn., jejich nižší hodnota vede, při zachování úrovně výstupů, k vyšší míře efektivnosti. Za typické vstupy jsou považovány zdroje personální, materiální nebo finanční využívané produkčními jednotkami. Výstupy jsou voleny s ohledem na realizaci cílů hodnocených organizací. V případě soukromého sektoru je cílem zpravidla generování finančního profitu, za relevantní výstupy proto lze považovat např. celkové tržby, provozní zisk. V oblasti výkonu státní správy nebývají cíle motivovány finančním profitem, a proto odpovídajícím výstupem mohou být např. množství poskytnutých služeb, počet vyřízených správních úkonů.

Efektivnost (*efficiency*) lze v kontextu výše uvedených skutečností lze vymezit, jako poměr výstupů k vynaloženým vstupům. Dle ekonomické teorie se jedná o stav, kdy není možno při daných zdrojích vyrobit o jednotku statku více, aniž by bylo nutné omezit výrobu statku jiného. Pro praktické účely ekonomické analýzy je však potřeba pod efektivností rozumět poměr konkrétních výstupů a vstupů v rámci sledovaného transformačního procesu. [2]

Pro hodnocení efektivnosti lze využít poměrové ukazatele, statistické metody nebo specifické parametrické a neparametrické optimalizační metody. Poslední jmenovaná skupina metod byla pro hodnocení efektivnosti přímo vyvinuta. Slabinou poměrových ukazatelů je, že nepostihují vícenásobné vstupy a výstupy. Kritickými faktory užití statistických metod a parametrických optimalizačních metod je velikost datového souboru.

2.2 EMPIRICKÉ STUDIE HODNOCENÍ EFEKTIVNOSTI

Hodnocením efektivnosti výkonu požárních služeb se zabýval Choi [3], který srovnával výkon agendy požární ochrany v 60 okresech státu Florida (stát Florida je složen z 67 okresů). Evaluována byla data za rok 1998 a ke srovnávání bylo využito DEA modelů. Okresy byly hodnoceny prostřednictvím 11 kritérií (6 vstupů, 5 výstupů). Za omezení práce lze zcela jednoznačně označit nepřihlédnutí k vývoji efektivnosti v čase. Navíc výběr evaluačních kritérií (vstupů a výstupů) byl proveden pouze na základě rozhodnutí autorů a nebylo zohledněno stanovisko produkčních jednotek. Práce nereflektovala jednu z devíz DEA modelu – postoptimalizační analýzu.

Efektivností požárních služeb se zabývali také Lan, Chuang, Chen [4]. Práce byla založena na kombinaci modelů DEA a SFA, tedy na kombinaci deterministického a stochastického přístupu. Hodnoceno bylo 37 požárních úřadů v okrese Tchaj-nan (součást Tchaj-wanu). Stejně jako v předchozím případě, ani zde nebyla výpočetně řešena postoptimalizační opatření a výběr posuzovaných charakteristik byl realizován pouze na základě rozhodnutí výzkumného týmu.

Mezinárodním srovnáním efektivnosti produkčních jednotek v oblasti požárních služeb se zabývala práce autorů Peng, Song a Guohoi [5]. Komparovanými státy byly Dánsko, Japonsko, Norsko, Singapur, Slovensko, Švédsko, Velká Británie a Spojené státy americké (dále jen „USA“). Pro výpočet efektivnosti bylo využito DEA modelů. Hodnoceným obdobím bylo období let 2000 – 2008. Zdrojem hodnocených dat byly statistiky World Fire Statistic Center. Celkem bylo hodnoceno 60 produkčních jednotek prostřednictvím 5 kritérií (3 vstupy, 2 výstupy). S ohledem na omezené užití DEA modelu nabízí přístup zde publikovaný pouze srovnání jednotlivých států, a to nikoliv na úrovni jednotlivých produkčních jednotek. Je proto zřejmé, že součástí systému hodnocení nebyla postoptimalizační analýza. Výběr posuzovaných vstupů a výstupů byl proveden na základě rozhodnutí autorů.

Poslední z dohledaných relevantních prací zabývajících se hodnocením efektivnosti je práce autorů Li, Zhu, a Zhuang [6]. Předmětem hodnocení byla efektivnost jednotlivých států USA. K tomu bylo opět využito DEA modelů. Byly komparovány všechny státy USA, tj. 50 produkčních jednotek, za období let 2010 – 2014. Výběr posuzovaných vstupů a výstupů nebyl objektivizován, resp. byl zvolen na základě uvážení zpracovatelů a nebylo tak relevantním způsobem zohledněno, co je považováno za klíčové z pohledu posuzovaných produkčních jednotek. Článek se nezabýval výpočtem postoptimalizačních opatření.

3 VÝBĚR DEA MODELŮ A UKÁZKA JEJICH APLIKACE

DEA modely lze členit dle jejich orientace a dle výnosů z rozsahu [2].

První klasifikace (členění dle orientace) rozlišuje modely orientované na vstupy nebo na výstupy. Model orientovaný na vstupy (*input-oriented model*, dále jen „input model“) porovnává jednotky z hlediska nutné redukce vstupů pro dosažení efektivnosti. Produkční jednotky, u nichž je optimální hodnota účelové funkce rovna jedné, pracují v rámci hodnocené skupiny jednotek efektivně a ty jednotky, u kterých je optimální hodnota účelové funkce menší než jedna, pracují neefektivně. Tato hodnota poukazuje na potřebu proporcionálního snížení vstupů tak, aby se daný neefektivní subjekt stal efektivním. Naopak model orientovaný na výstupy (*output-oriented model*, dále jen „output model“) porovnává jednotky z hlediska nutného zvýšení výstupů pro dosažení efektivnosti. U modelů orientovaných na výstupy se nevyužívají hodnocení z intervalu $<0;1>$, ale čísla vyšší než jedna, přičemž jednička zůstává pro jednotku efektivní. Za zlepšení v rámci výstupově orientovaných modelů se tedy bude považovat takové počínání produkční jednotky, které povede ke zvýšení některých, popřípadě všech výstupních veličin.

Druhá klasifikace (členění dle výnosů z rozsahu) rozlišuje modely s konstantními nebo variabilními výnosy z rozsahu. Výnosy z rozsahu jsou klasickým ekonomickým konceptem popisujícím, k jaké změně výstupu dojde při proporcionální změně vstupů. Konstantní výnosy lze interpretovat, jako přímo úměrnou změnu množství výstupů na základě změny množství vstupů. Výnosy variabilní (rostoucí, klesající) lze naopak interpretovat jako situaci, kdy zvýšení všech vstupů vede k vyššímu, resp. nižšímu proporcionálnímu zvýšení úrovně výstupů. [7]

Autory nejčastěji užívaných a osvědčených DEA modelů jsou v případě konstantních výnosů z rozsahu Charnes, Cooper, Rhodes (dále jen „CCR model“) a v případě variabilních výnosů z rozsahu Banker, Charnes a Rhodes (dále jen „BCC model“). CCR i BCC modely mohou být orientovány na vstupy nebo na výstupy. U CCR modelu efektivní hranici tvoří kónický obal dat, zatímco u BCC modelu je to obal konvexní. [2]

3.1 VÝBĚR DEA MODELŮ

Výběr vhodného DEA modelu hodnocení efektivnosti závisí na podstatě řešeného problému. Pro demonstraci modelů byly na základě zhodocení jejich vhodnosti pro zvolenou tematiku vybrány DEA input modely, tj. vypočtená řešení budou v rámci postoptimalizační analýzy cílena na korekci vstupů - budou hledány úspory na úrovni vstupů. Koncept modelu efektivnosti bude předpokládat konstantní výnosy z rozsahu, tj. změna vstupů povede k proporcionální změně výstupů a bude proto vycházet z CCR modelu [8]. Slabina zvoleného CCR input modelu se projeví v situacích, kdy bude více efektivních produkčních jednotek. V takových případech by model nebyl schopen je vzájemně odlišit, neboť žádná z nich si nemůže dovolit zvýšit některý ze svých vstupů nebo snížit některý ze svých výstupů, aniž by se odchýlila od efektivní hranice. Proto

bude využito modelu superefektivnosti [9], který byl vyvinut pro potřebu uspořádání efektivních jednotek.

Další slabinu zvoleného CCR input modelu je možné definovat ve vztahu k hodnocení víceletých období. CCR input model nepředpokládá, že by výstupy v rámci jednoletého období mohly záviset na vstupech v období předchozích. CCR input model je tedy vhodný pouze pro hodnocení jednoletých období. K hodnocení efektivnosti v rámci více období lze využít multiperiod model [10], indexy produktivity - zejména Malmquistův index produktivity [11] nebo tzv. analýzu časových oken založenou na využití klouzavých průměrů [12]. Multiperiod model má však při zvyšujícím se počtu období snižující se diskriminační schopnosti, tzn. v případě hodnocení více období by bylo dosahováno vyššího počtu efektivních produkčních jednotek. Další slabiny multiperiod modelu uvádí např. [2]. Malmquistův index produktivity pak nedostačuje v situaci, kdy se příslušná produkční jednotka meziročně zlepšuje více než jiné a rovněž se rychleji přibližuje k efektivní hranici, ale stále zůstává ze všech nejméně efektivní. Metoda založená na využití klouzavých průměrů - analýza časových oken (*windows analysis*) není výše uvedenými nedostatky zatížena. Navíc při aplikaci tohoto přístupu lze využít doplňkových výpočtů z oblasti stability efektivnosti [12], které by směrem k managementu poskytnuly další informace o hodnoceném souboru a umožnily jemnější diferenciaci produkčních jednotek.

Na základě předchozího byly proto vybrány následující modely:

- Model CCR [8];
- Model superefektivnosti [9];
- Model Windows analysis [12].

Ad) CCR model

- Primární CCR model

Maximalizovat

$$\theta_q = \sum_{k=1}^r u_k y_{kq} \quad (1)$$

Za podmínek

$$\sum_{k=1}^r u_k y_{kj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{iq} = 1$$

$$\begin{aligned} u_k &\geq \varepsilon & k &= 1, 2, \dots, r \\ v_i &\geq \varepsilon & i &= 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

θ_q

ε

míra efektivnosti produkční jednotky

infinitesimální konstanta (zabezpečuje kladné váhy všech vstupů a výstupů a tedy jejich zahrnutí alespoň minimální měrou do modelu)

$v_i, i=1, 2, \dots, m$	váhy přiřazené i -tému vstupu
$u_k, k=1, 2, \dots, r$	váhy přiřazené k -tému výstupu
$x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$	hodnota i -tého vstupu pro produkční jednotku
$y_{kj}, k = 1, 2, \dots, r, k = 1, 2, \dots, n$	hodnota i -tého výstupu pro produkční jednotku

- Duální CCR model

Minimalizovat

$$\theta_q \quad (2)$$

Za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta_q x_{iq} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j \geq y_{kq} \quad k = 1, 2, \dots, r$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

λ_j váhy přiřazené jednotlivým produkčním jednotkám

Při hodnocení produkční jednotky se model bude pokoušet nalézt virtuální jednotku charakterizovanou vstupy a výstupy, které jsou lineární kombinací vstupů a výstupů ostatních produkčních jednotek, a které jsou lepší než vstupy a výstupy hodnocené jednotky.

Produkční jednotka bude označena za efektivní, pokud virtuální jednotka s uvedenými vlastnostmi bude totožná s hodnocenou jednotkou, tzn. platí

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j^* = x_{iq} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

a zároveň

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j^* = y_{kq} \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (4)$$

λ_j^* optimální hodnoty proměnných duálního modelu

Aby hodnocená jednotka U_q byla efektivní, musí platit, že optimální hodnota $\theta_q^* = 1$. Prostřednictvím CCR DEA postoptimalizační analýzy budou poskytnuty informace, jakým způsobem by se mělo zlepšit chování neefektivní jednotky, aby se stal efektivním. Tyto cílové hodnoty pro vstupy a výstupy jsou vstupy a výstupy odpovídající virtuální jednotky. Označíme-li virtuální vstupy jednotky U_q $x'_{iq}, i = 1, 2, \dots, m$ a virtuální výstupy $y'_{kq}, k = 1, 2, \dots, r$, budou jejich hodnoty určeny vztahem

$$x'_{iq} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j^* \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$y'_{kq} = \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j^* \quad k = 1, 2, \dots, r$$

Ad) Model superefektivnosti

Minimalizovat

$$\theta_q^S \quad (6)$$

Za podmínek

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta_q^{AP} x_{iq} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j - s_k^+ = y_{kq} \quad k = 1, 2, \dots, r$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n, j \neq q$$

$$\lambda_q = 0$$

s_i^-, s_k^+ duální proměnné přiřazené dolním mezím pro váhy vstupů a výstupů

Ad) Model Windows analysis

Window ananlysis (dále jen „WA“) je založen na využití klouzavých průměrů. Soubor produkčních jednotek n , charakterizovaný m vstupy a r výstupy je hodnocen v celkovém počtu T období. Princip aplikace klouzavého průměru do podmínek DEA modelu spočívá v postupu, kdy se při výpočtu k jedné produkční jednotce v několika různých obdobích přistupuje jako k několika různým jednotkám z jednoho období (Sun, Lin, 2009).

Důležitým prvkem je tzv. časové okno (*window*), a to z důvodu, že v rámci WA se provádí několik samostatných výpočtů měr efektivnosti. Těchto výpočtů je prováděno tolik, na kolik oken je původních T období rozděleno. Šíře okna nemůže být větší než počet období. Okna se vzájemně překrývají. První okno začíná v čase t a zahrnuje celkem w období, kde w je označením pro šířku okna. Okna mají stejnou šíři.

Celkový počet oken Z lze vyjádřit následujícím vztahem

$$Z = T - w + 1 \quad (7)$$

Volba velikosti okna je závislá na rozhodnutí řešitele a především na řešeném problému.

Postup je následně takový, že vstupy a výstupy ze dvou po sobě jdoucích období se spojí a každá jednotka (ze dvou různých období) bude považována za jednotku unikátní. Nově vzniklé soubory dat budou vyhodnoceny obvyklým způsobem měření efektivnosti, a to sice za využití CCR input modelu.

Celková míra efektivnosti E_q za sledované období bude pro produkční jednotku je určena z následujícího vztahu

$$E_q = \frac{\sum_{i=1}^Z \sum_{t=1}^W E_{itq}}{Z \cdot W}, \quad q = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

E_{itq} míra efektivnosti jednotky vypočtená v okně i a v čase t

Jako doplněk WA lze z důvodu případné diferenciaci jednotek se stejnou mírou efektivnosti, popř. s podobnou mírou efektivnosti vypočítat rozptyl a variační rozpětí.

3.2 APLIKACE ZVOLENÝCH MODELŮ

Výběr zvolených kritérií (tj. vstupů a výstupů) byl proveden v rámci šetření využívajícího kombinace invenčních metod a metod vícekritériálního rozhodování aplikovaných v expertní skupině. Popis procesu výběru kritérií je nad rámec zvoleného tématu předloženého článku.

Výsledky aplikace výše uvedených metod jsou uvedeny v tabulkách 1-5.

Tabulka 1 Dělení produkčních jednotek dle skóre efektivnosti – vztah (1) (Zdroj: vlastní)

PRODUKČNÍ JEDNOTKA	EFEKTIVNOST	
	SKÓRE EFEKTIVNOSTI	SLOVNÍ HODNOCENÍ
I	1	Efektivní
II	0,625402	Neefektivní
III	0,919569	Neefektivní
IV	0,458797	Neefektivní
V	1	Efektivní
VI	0,612148	Neefektivní
VII	0,568478	Neefektivní
VIII	0,549982	Neefektivní
IX	1	Efektivní
X	0,97553	Neefektivní
XI	0,802849	Neefektivní
XII	0,834582	Neefektivní
XIII	0,382611	Neefektivní
XIV	0,906898	Neefektivní

Tabulka 2 Postoptimalizační analýza pro neefektivní produkční jednotky – vztah (2-5) (Zdroj: vlastní)

PRODUKČNÍ JEDNOTKA	KOREKČNÍ OPATŘENÍ		
	SNÍŽENÍ VSTUPŮ (%)	CÍLOVÉ HODNOTY VSTUPŮ	
		VSTUP 1	VSTUP 2
II	37	833	158 075
III	8	504	109 936
IV	54	698	204 935
VI	39	332	136 247
VII	43	318	157 702
VIII	45	288	89 647
X	2	262	85 142
XI	20	482	250 213
XII	17	447	223 155
XIII	62	663	328 909
XIV	9	446	226 860

Tabulka 3 Výsledné pořadí produkčních jednotek dle skóre efektivnosti – vztah (6) (Zdroj: vlastní)

PRODUKČNÍ JEDNOTKA	SKÓRE EFEKTIVNOSTI	VÝSLEDNÉ POŘADÍ
I	1,286610	2
II	0,625402	9
III	0,919569	5
IV	0,458797	13
V	1,215310	3
VI	0,612148	10
VII	0,568478	11
VIII	0,549982	12
IX	2,376260	1
X	0,975530	4
XI	0,802849	8
XII	0,834582	7
XIII	0,382611	14
XIV	0,906898	6

Tabulka 4 Dynamizace efektivnosti produkčních jednotek – vztah (1, 7) (Zdroj: vlastní)

PROD. JEDNOTKA	2013	2014	2015	2016	PRŮMĚRNÁ EFEKTIVN.	STABILITA	
						s_n^2	R
I	0,460530	0,359579			0,509810	0,060563	0,666105
		0,333895	1				
			0,452429	0,452429			
II	0,978304	1			0,996384	0,000078	0,021696
		1	1				
			1	1			
...
					
					
XIV	0,720629	0,55886			0,495181	0,019695	0,348036
		0,552481	0,39393				
			0,372593	0,372593			

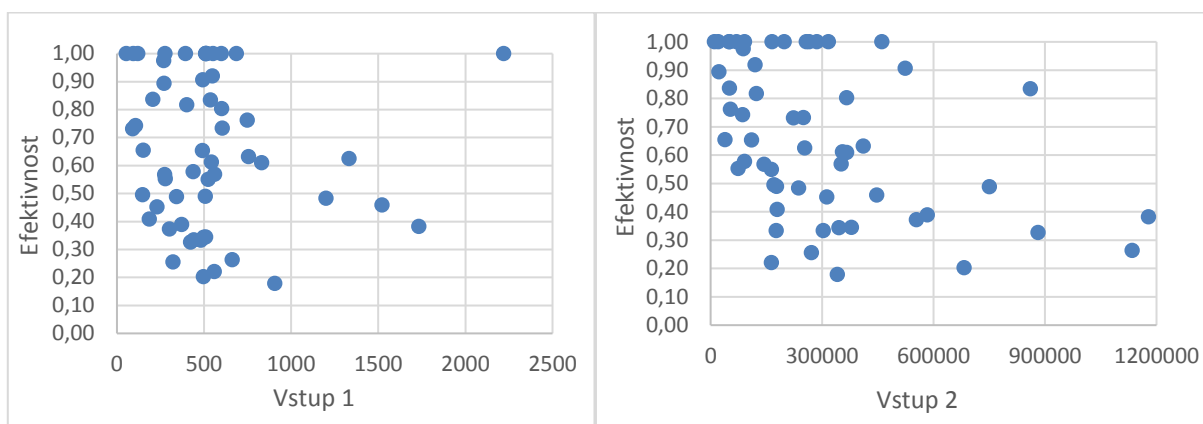
Legenda: R – variační rozpětí; s_n^2 - rozptyl

Tabulka 5 Výsledné pořadí produkčních jednotek dle skóre efektivnosti – vztah (8) (Zdroj: vlastní)

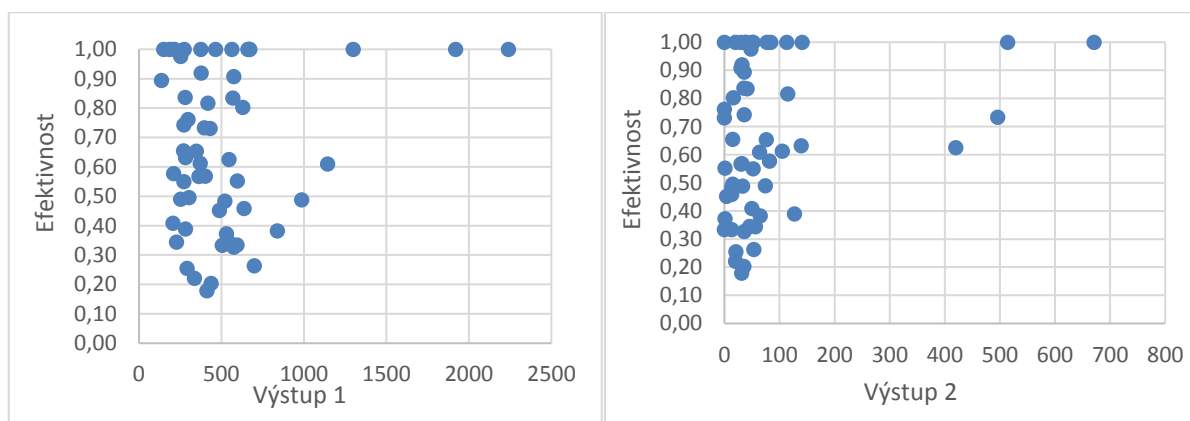
PRODUKČNÍ JEDNOTKA	PRŮMĚRNÁ EFEKTIVNOST	POŘADÍ
I	0,509810	7
II	0,996384	1
III	0,449232	10
IV	0,270063	14
V	0,809547	4
VI	0,347134	12
VII	0,857959	3
VIII	0,483277	9
IX	0,550369	6
X	0,775168	5
XI	0,958014	2
XII	0,273889	13
XIII	0,356682	11
XIV	0,495181	8

Pro potřebu interpretace výsledků je relevantní analýza vlivů jednotlivých kritérií (vstupů a výstupů) na dosaženou efektivnost produkčních jednotek. Dvojice grafů 1 a 2

zobrazují vztah jednotlivých vstupů resp. výstupů a míry efektivity za hodnocené roky 2013, 2014, 2015, 2016. Z grafického vyjádření je patrná nelineární závislost efektivity na vstupech, resp. na výstupech.



Graf 1 Závislost efektivity na vstupech (Zdroj: vlastní)



Graf 2 Závislost efektivity na výstupech (Zdroj: vlastní)

Pro vyjádření závislostí mezi dosaženým skóre efektivity a jednotlivými kritérii bylo využito Spearmanova koeficientu pořadové korelace r_s [13]. Výsledky Spearmanova koeficientu pořadové korelace zaznamenány do tabulky 6.

Tabulka 6 Hodnoty Spearmanova koeficientu pořadové korelace (Zdroj: vlastní)

	PRO VSTUP 1	PRO VSTUP 2	PRO VÝSTUP 1	PRO VÝSTUP 2
r_s	-0,08221	-0,46172	-0,00058	0,274351

Vypočtený koeficient byl následně porovnán s tabelovanými kritickými hodnotami Spearmanova korelačního koeficientu pro zvolené $\alpha=0,05$ a $n=56$. Pro řešenou problematiku je tabelovaná kritická hodnota $r_{s(0,05;56)} = 0,222$. Spearmanův koeficient pořadové korelace je tedy statisticky významný pouze pro vstup 1 (záporná korelace) a pro výstup 2 (kladná korelace).

4 ZÁVĚR

Navržená aplikace DEA modelů umožňuje detailní roční hodnocení produkčních jednotek, tj. jejich rozdělení na efektivní a neefektivní, navržení korekčních opatření, sestavení výsledného pořadí a postihnout časových změn efektivnosti. Navržené řešení bylo ověřeno na reálných datech. Analogie postupu je plně využitelná v podmínkách Hasičského záchranného sboru ČR.

Závislost efektivnosti na jednotlivých vstupech a výstupech je nelineární. Vzájemná korelace byla při hladině významnosti 0,05 prokázána pouze mezi efektivností a vstupem 2 (záporná) a dále mezi efektivností a výstupem 2 (kladná), tj. statisticky významný vliv na nárůst efektivnosti má pokles vstupu 2, resp. nárůst výstupu 2.

LITERATURA

- [1] Jablonský, J. & Dlouhý, M. *Modely hodnocení efektivnosti produkčních jednotek*. Praha: Proffesional Publishing, 2004. 183 s. ISBN 80-86419-49-5.
- [2] Jablonský, J. & Dlouhý, M. *Modely hodnocení efektivnosti a alokace zdrojů*. Praha: Proffesional Publishing, 2015. 199 s. ISBN 978-80-7431-155-0.
- [3] Choi, S. O. Relative efficiency of fire and emergency services in Florida: an application and test of data envelopment analysis. *Emergency Management*. 2005, 2(3), 218-230.
- [4] Lan, C-H., Chuang, L-L. & Chen, Y-F. Performance efficiency and resource allocation strategy for fire department with the stochastic consideration. *International Journal of Technology, Policy and Management*. 2009, 9(3), 296–315.
- [5] Peng, M., Song, L., Guohoi, L. et al. Evaluation of Fire Protection Performance of Eight Countries Based on Fire Statistics: An Application of Data Envelopment Analysis. *Fire technology*. 2014, 50(2), 349-361.
- [6] Li, F., Zhu, Q. & Zhuang, J. Analysis of fire protection efficiency in the United States: a two-stage DEA-based approach. *OR Spectrum, Quantitative Approaches in Management*. 2017, 40(1), 23-68.
- [7] Jablonský, J. *Programy pro matematické modelování*. Praha: Oeconomica, 2011. 258 s. ISBN 978-80-245-1810-7.
- [8] Charnes, A., Cooper, W. W. & Rhodes, E. Measuring efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 1978. roč. , č. s. 429-444.
- [9] Andersen, P. & Petersen, N. C. A procedur efor ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*. 1993, 39(10), 1261-1264.
- [10] Park, S. K. & Park, K. _Measurement of multiperiod aggregative efficiency. *European Journal of Operational Research*. 2009, 2(193), 567-580.
- [11] Malmquist, S. Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*. 1953, 2(4), 209-242.
- [12] Sun, Ch.-Ch. & Lin, G. T. R. *Using DEA Windows Analysis to Estimate Taiwan Hsinchu Science Park Operational Performance*. [online]. 2009. [cit. 2017-9-20].

Dostupné

Z:

https://www.researchgate.net/publication/265670365_Using_DEA_Windows_Analysis_to_Estimate_Taiwan_Hsinchu_Science_Park_Operational_Performance

- [13] Hendl, J. *Přehled statistických metod zpracování dat: Analýza a metaanalýza dat*. 4. rozšířené vydání. Praha: Portál, 2012. s. ISBN 978-80-262-0200-4.