

VÝBER NAKLADACÍCH A DOPRAVNÝCH PROSTRIEDKOV POMOCOU MULTIKRITERIÁLNÉHO HODNOTENIA

Janka Šaderová¹, Daniela Marasová²

¹TU v Košiciach, FBERG, Ústav logistiky a dopravy, janka.saderova@tuke.sk

²TU v Košiciach, FBERG, Ústav logistiky a dopravy, daniela.marasova@tuke.sk

THE SELECTION OF LOADING AND TRANSPORTATION MEANS BY MULTICRITERIAL EVALUATION

Abstract: *Transportation represents an integral part of the logistics system in each mining company. The most frequently used mineral transportation system is the truck transport. Loading and transportation is important part in the extraction and processing of minerals. The selection of loading and transport means affects the efficiency and performance of the whole operation. A choice of an appropriate loading and transportation means depends on several factors. The selection of loading and transport means for open pit operation on the basis of multi-criteria decision is the aim of this paper. The selection was carried out on the basis of selected criteria for different alternatives of the transport system (e.g. loading capacity, truck capacity, number of trucks,...). There was used method of the multi-criteria decision to evaluate types of variants: Pairwise comparison method.*

Key words: *loading, transportation, multi-criteria decision*

ÚVOD

Voľba vhodného typu nakladačích a dopravných zariadení pri preprave nerastnej suroviny má vplyv na efektívnosť prevádzky a vybrané ekonomické a neekonomické ukazovatele [1].

Voľba zariadení je dôležitá z hľadiska prestojov, ktoré je potrebné eliminovať. Prestoje vplývajú na efektívne časové a výkonové využitie ako nakladačov tak aj dopravných prostriedkov.

Pri voľbe týchto zariadení je potrebné zohľadniť viaceré faktory, hlavne:

1. druh nerastnej suroviny a jej vlastnosti,
2. parametre nakladača (veľkosť a nosnosť lopaty, dĺžku nakladacieho cyklu, ktorý je v nemalej miere závislý od prvého faktora),
3. technické parametre nákladného automobilu (nosnosť, rýchlosť)
4. pomer veľkosti objemu (nosnosti) lopaty a korby auta,
5. dĺžka dopravnej trasy,
6. počet nákladných automobilov.

Výber zariadení je v praxi najčastejšie vykonávaný na základe ponuky zariadení na trhu, na základe skúseností a odporúčaní predajcov a užívateľov. V príspevku je uvedený výber vhodnej kombinácie nakladač - nákladný automobil na základe multikriteriálneho hodnotenia viacerých variantov.

Multikriteriálne hodnotenie patrí medzi metódy komplexného hodnotenia, pomocou ktorých sa minimalizuje miera subjektivity pri výbere vhodného variantu. Úlohou multikriteriálneho hodnotenia variant je popísať objektívnu realitu pri výbere pomocou štandardných postupov a tým daný rozhodovací problém formalizovať t. j. previesť ho na matematický model viackriteriálnej rozhodovacej situácie.

Metódy multikriteriálneho hodnotenia majú rovnaký cieľ - posúdiť niekoľko variantov riešenia zadaného problému podľa zvolených kritérií a stanovenie ich poradia. Problematikou riešenia úloh multikriteriálnym hodnotením sa zaoberajú viacerí autori, ktorí popisujú spôsoby určovania váh pre jednotlivé kritéria a metódy pre výpočet celkovej užitočnosti jednotlivých variant [2]. V odbornej literatúre v súčasnosti nájdeme veľa príspevkov v ktorých je uvedené aplikovanie multikriteriálneho hodnotenia pre riešenie problémov v rôznych oblastiach podniku [3,4].

Spôsob vykonania hodnotenia viacerých variantov - kombinácií nakladač – nakladný automobil bol realizovaný metodikou uvedenou v nasledujúcej kapitole.

METODIKA VÝBERU POMOCOU MULTIKRITERIÁLNEHO HODNOTENIA

Postup multikriteriálneho hodnotenia pre výber kombinácie nakladač-auto bude realizovaný postupnosťou krokov znázornených na obr. 1:

1. Skôr ako sa realizuje rozhodovací proces je potrebné určiť varianty, ktoré sa budú porovnávať. Tieto varianty sú vybrané najčastejšie na základe výpočtu výkonnosti nakladača a kapacity dopravného systému. Výpočty sú vykonané pre kombinácie viacerých zariadení.
2. Keď sú určené varianty (minimálne 2), je vykonaný výber kritérií, na základe ktorých sa vybrané varianty budú porovnávať.
3. Ďalším krokom je výber metódy na hodnotenie jednotlivých kritérií. Hodnotenie kritérií sa najčastejšie vykonáva pomocou váh. Váhy je možné stanoviť viacerými metódami [2].

Priame metódy určenia váh kritérií – pri týchto metódach hodnotí a definuje váhy jednotlivých kritérií jedna osoba. Sú to takzvané neobjektívne váhy (veľmi subjektívne).

Nepriame metódy určenia váh kritérií – sú to zložitejšie metódy, pri ktorých sa váhy určujú vzájomným porovnávaním všetkých zadefinovaných kritérií medzi sebou. Sú to takzvané objektivizované váhy (snaha znížiť mieru subjektivity).

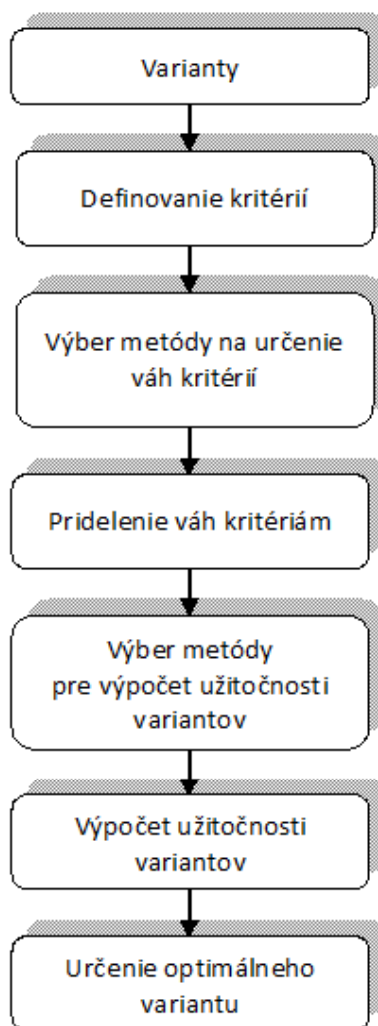
Popríklad jednotlivé váhy môžu stanoviť nezávislí experti – odborníci v danej oblasti.

Mieru splnenia alebo nespĺnenia definovaného kritéria je možné hodnotiť dvomi spôsobmi: minimalizačne – čím menej bodov kritérium získa, tým lepšie spĺňa variant definované kritérium, a maximalizačne – čím viac bodov kritérium získa, tým lepšie spĺňa variant definované kritérium.

Niektoré metódy stanovenia váh sú náročnejšie, niektoré menej a ich výber závisí od počtu kritérií a ich dôležitosti, popr. podľa výberu hodnotiteľa.

4. Po pridelení váh kritériám sa vykonáva hodnotenie - výpočet užitočnosti jednotlivých variantov. Najčastejšie používané metódy pre výpočet užitočnosti jednotlivých variant sú uvedené v literatúre [2].

5. Po pridelení užitočností variant podľa definovaných kritéria sa následne vypočíta celková užitočnosť variantu **U_j** podľa typu zvolenej metódy.



Obr. 1 Schéma metodiky

Užitočnosť jednotlivých variant môže byť posudzovaná maximalizačne alebo minimalizačne ako pri stanovení váh.

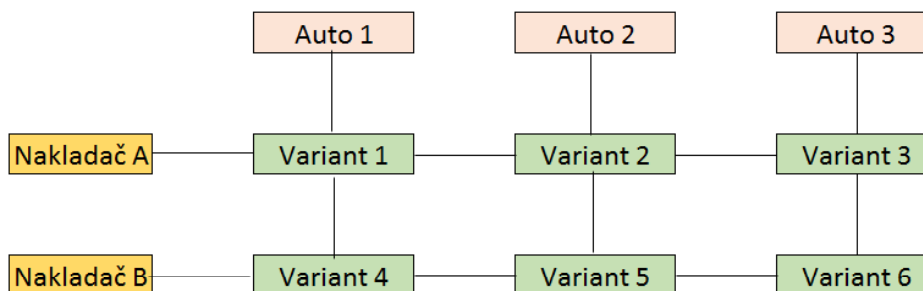
6. Variant, pre ktorý platí $\max. \text{ resp. } \min. = \{U_i\}$ (podľa typu úlohy) najlepšie spĺňa definované kritéria a je hľadaným riešením.

APLIKOVANIE METODIKY

Výber vhodnej kombinácie nakladač – auto, na základe uvedenej metodiky, bol realizovaný pre konkrétnu banskú spoločnosť, ktorá chce začať ťažiť nerastnú surovinu v novo projektovanom lome.

Pre potreby nakladania spoločnosť uvažuje medzi prenájmom dvoch nakladačov: Nakladač A s objemom lopaty 1m^3 a Nakladač B s objemom lopaty $2,3\text{ m}^3$. Pre tieto dva nakladače chce vybrať vhodný typ nákladného auta, za podmienok: maximálne využitie nakladača pri minimálnom počte nasadených vozidiel. Výber vhodného typu auta bol realizovaný z troch bežne dostupných áut na trhu: Auto 1 o nosnosti 15t, Auto 2 o nosnosti 18t a Auto 3 o nosnosti 28t. Na základe potrebných parametrov zariadení a prevádzkových podmienok bol vykonaný výpočet výkonnosti

nakladačov a kapacita dopravného systému, spôsobom uvedeným v príspevkoch [5,6]. Výpočet bol realizovaný pre 6 variantov, obr.2.



Obr. 3 Varianty – Kombinácie dopravných a manipulačných zariadení

Na základe výpočtov bol vytvorený simulačný model pre simuláciu procesu nakladania a odvozu. Simulácie boli vykonané pre všetky varianty, z ktorých sa získali parametre „využitie nakladača“ a „počet naložených áut počas smeny“.

Kritéria pre hodnotenie variantov predstavujú vybrané výsledky získané z kapacitných výpočtov a simulácií, tab.1:

- A. Pomer nosnosti lopaty k nosnosti korby nákladného auta [-],
- B. Počet nasadených áut v prevádzke [ks],
- C. Využitie nakladača počas dňa [%],
- D. Počet naložených automobilov počas dňa [ks],
- E. Výkonnosť dopravného systému [t.deň⁻¹],

Úloha – výber kombinácie nakladač - auto je riešená maximalizačne.

Tab. 1 Parametre - kritéria pre hodnotenie variantov

Parameter	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	Variant 5	Variant 6
A	9	11	17	4	5	7
B	4	3	2	4	3	2
C	80%	92%	93%	53%	65%	74%
D	40	38	25	40	40	29
E	600	703	700	600	740	812

Definované kritéria hodnotili dvaja experti v dopredu definovanom intervale <1-5>. Hodnoty pridelené expertmi predstavovali tzv. nenormované váhy kritérií. Nenormované váhy bolo potrebné previesť do normovaného stavu pričom platí, že súčet normovaných váh kritérií je rovný jednej. Hodnoty váh z nenormovaného tvaru do normovaného tvaru bolo vykonané pomocou vzťahu:

$$\alpha_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

kde k_i – nenormovaná váha i – tého kritériá,
 n – počet kritérií.

Z hodnôt normovaných váh sú v tabuľke 2 určené priemerné hodnoty, ktoré sú vstupom do multikriteriálneho hodnotenie.

Tab. 2 Stanovenie váh kritérií

Kritérium	Hodnotenie expertmi		Hodnoty normovaných váh		
	Expert 1	Expert 2	Expert 1	Expert 2	Priemer
A	2	1	0,118	0,067	0,092
B	3	5	0,176	0,333	0,255
C	4	2	0,235	0,133	0,184
D	3	4	0,176	0,267	0,222
E	5	3	0,294	0,2	0,247
Suma	17	15	1	1	1

Z tab. 2 vyplýva, že najvyšiu váhu má kritérium B a najnižšiu váhu získalo kritérium A.

Výpočet čiastkových užitočností u_{ij} jednotlivých variantov je hodnotenie jednotlivých variantov ako spĺňajú jednotlivé kritéria. Určenie hodnoty čiastkových užitočností variantov u_{ij} , je v tomto prípade vykonané pomocou Metódy párového porovnávania [2].

Jednotlivé kroky, ktoré je potrebné vykonať:

1. Zostavenie matice variantov pre kritérium.
2. Hodnotiteľ do políčok hornej trojuholníkovej matice zapíše ten variant, ktorý v porovnaní s ostatnými variantmi lepšie spĺňa definované kritérium.
3. Stanovíme počet výskytov variantov v celej hornej trojuholníkovej matici.
4. Výpočet čiastkových užitočností (počet výskytov variantu/suma počtu výskytov všetkých variantov).
5. Postup opakujeme pre všetky kritéria.

V tabuľke 3 je uvedený pre kritérium A výpočet čiastkových užitočností u_{ij} . Obdobným spôsobom sa vykonal výpočet aj pre ostatné kritéria, tabuľka 4.

Tab.3 Určenie čiastkových užitočností MPP pre kritérium A

A	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Počet výskytov	Užitočnosť variantu u_{ij}
V1	-	V1	V1	V4	V5	V6	2	0,133333333
V2		-	V2	V4	V5	V6	1	0,066666667
V3			-	V4	V5	V6	0	0
V4				-	V4	V4	5	0,333333333
V5					-	V5	4	0,266666667
V6						-	3	0,2
						Suma	15	1

Tab.4 Hodnoty u_{ij} určené Metódou párového porovnávania

	u_{ij}				
	A	B	C	D	E
V1	0,1333	0,0555	0,2	0,2778	0,0625
V2	0,0666	0,1111	0,2666	0,1111	0,1875
V3	0	0,3333	0,3333	0	0,1250
V4	0,3333	0,0555	0	0,2778	0,0625
V5	0,2666	0,1666	0,0666	0,2778	0,2500
V6	0,2	0,2778	0,1333	0,0555	0,3125

Pre určenie celkovej užitočnosti variantov U_j sa pre vybrané metódy využíva vzťah

$$U_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot u_{ij} \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

- kde
- m - počet hodnotených variantov,
 - n - počet definovaných kritérií,
 - α_i - normovaná váha i -tého kritéria,
 - V_j - hodnotený variant,
 - u_{ij} - užitočnosť j -tého variantu podľa i -tého kritéria.

Porovnanie celkovej užitočnosti variantov U_j je v tabuľke 5. Úloha bola definovaná ako maximalizačná, variant s najvyššou hodnotou celkovej užitočnosti určuje najvhodnejšie riešenie.

Tab.5 Celkové užitočnosti variantov

	V1	V2	V3	V4	V5	V6
U_j	0,1403	0,1545	0,1773	0,1219	0,2026	0,2033

Na základe výpočtu celkovej užitočnosti jednotlivých variantov vyšiel ako najvhodnejší Variant 6.

Na druhom mieste pomocou sa Variant 5. Ako tretí v poradí je Variant 3.

ZÁVER

V praxi je pri preprave surovín dôležité nielen to, aká rýchla je preprava, ale aj spôsob nakladania suroviny do nákladných áut a ich vzájomné zosúladenie, aby zbytočne nedochádzalo k prestojom ako na strane nakladača tak aj na strane nasadených áut. V príspevku je uvedený príklad spôsobu výberu kombinácie nakladača a nákladného auta pre odvoz nerastnej suroviny z lomu pomocou multikritériálneho hodnotenia. Výber bol realizovaný zo šiestich variantov. Hodnotiace kritéria boli definované na základe kapacitných výpočtov systému a ich simulácie počas dňa, predstavovali technické a prevádzkové parametre. Cieľom multikritériálneho hodnotenia bolo stanoviť kombináciu zariadení tak, aby sa dosiahlo maximálne využitie nakladača pri minimálnom počte nasadených vozidiel. Aplikovaním metódy multikritériálneho hodnotenia vyšiel ako najvhodnejší Variant 6 Nakladač B a Auto 3. Výkonnosť nakladača pri nasadení dvoch áut dosiahne 74 %. Pri tomto variante sa dosiahne aj najvyššia kapacita dopravného systému 812 t/deň. Uvedený variant najviac vyhovoval hodnotiacim kritériám pre dosiahnutie definovaného cieľa.

Zámerne boli vynechané ekonomické parametre - cena prenájmu zariadení, nakoľko cieľ multikriteriálneho hodnotenia bol orientovaný na prevádzkové využitie zariadení.

Samozrejme konečný výber zariadení závisí na samotnej prevádzke, a uvedené hodnotenie môže použiť ako pomocný nástroj pre prijatie konečného rozhodnutia.

LITERATURA

- [1] ROSOVÁ, Andrea. Sústava ukazovateľov distribučnej logistiky, logistiky dopravy a materiálového toku ako jeden z nástrojov controllingu v logistike podniku. In: *Acta Montanistica Slovaca*. Roč. 15, mimoriadne č. 1, 2010, s. 67-72. ISSN 1335-1788
- [2] ŠADEROVÁ, Janka. Príklad použitia multikriteriálneho hodnotenia pre výber dopravného systému. In: *Acta Logistica Moravica*. Vol. 3, no. 2, 2013, s. 86-93. ISSN 1804-8315
- [3] ANDREJIOVÁ, Miriam; GRINČOVÁ, Anna; MARASOVÁ, Daniela; GREDEL, Peter. Multicriterial assessment of the raw material transport. In: *Acta Montanistica Slovaca*. Vol. 20, no. 1, 2015, s. 26-32.
- [4] ŠADEROVÁ, Janka; ROSOVÁ, Andrea; BINDZÁR Peter; KAČMÁRY Peter. Multi-Criteria evaluation - A tool for the selection of steel wire rope, In: *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 683, 2014, s. 33-38.
- [5] ŠADEROVÁ, Janka; BINDZÁR, Peter. Using a model to approach the process of loading and unloading of mining output at a quarry. In: *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*. Vol. 30, no. 4 2014, s. 97-112. - ISSN 0860-0953.
- [6] MARASOVÁ, Daniela. Proposal of alternatives for the transport of backfill material based on the capacity calculation of truck transport in mining conditions: case study, In: *SGEM 2018 conference proceedings. 1.3. science and technologies in geology: exploration and mining: international multidisciplinary scientific geoconference*, Bulharsko, 2018, s. 685-692.

Pod'akovanie

Tento príspevok vznikol za podpory projektu VEGA Projekt č. 1/0577/17 pod názvom „Transfer poznatkov z laboratórnych experimentov a matematických modelov do tvorby znalostného systému pre hodnotenie kvality environmentálne prijateľných dopravných pásov.