

Rôzne výpočty váh kritérií pre metódu Promethee pri výbere vhodnej dovolenkovej destinácie

Different weight calculations for the Promethee method in selecting the suitable holiday destination

Nina Barčáková¹

Abstrakt

Tento článok sa zaoberá problematikou viackriteriálneho rozhodovania, ktoré je dôležitým nástrojom pre riešenie rozhodovacích problémov. V článku bude poskytnutý všeobecný prehľad metód na výpočty váh kritérií, všeobecná formulácia metódy Promethee a jej výpočtu. Konkrétne sa zameriame na výpočty váh v rôznych metódach, ktoré neskôr vo výpočtoch použijeme práve v metóde Promethee, ktorá nám zabezpečí výsledné odporúčania. Tento prístup bude potom aplikovaný na riešenie experimentálnych príkladov, kde je demonštrovaná jeho efektívnosť a flexibilita. Tento komplexný pohľad na problematiku viackriteriálneho rozhodovania v sebe nesie cieľ poskytnúť ucelené porozumenie rôznorodých metód a prístupov k riešeniu rozhodovacích problémov, pričom hlavným cieľom článku je ukážka aplikácií viackriteriálneho rozhodovania a výpočtov váh v odvetví hotelierstva alebo cestovného ruchu.

Kľúčové slová

Viackriteriálne rozhodovanie, Promethee, metóda smerodajnej odchýlky, metóda entropie, metóda CRITIC

Abstract

This paper deals with issue of multi-criteria decision-making, which is an important tool for solving decision-making problems. The paper provides a general overview of methods for calculating criterion weights, a general formulation of the Promethee method, and its calculations. Specifically, it focuses on the calculation of weights using various methods, which are later employed in the Promethee method to generate final recommendations. This approach is then applied to experimental examples to demonstrate its efficiency and flexibility. This comprehensive perspective on multi-criteria decision-making aims to provide an integrated understanding of diverse methods and approaches to solving decision-making problems, with the main goal of the article being to demonstrate the applications of multi-criteria decision-making and weight calculation in the hospitality or tourism.

Key words

Multi-criteria decision-making, Promethee, standard deviation method, entropy method, CRITIC method

JEL classification

C00, C6

¹ Ekonomická univerzita v Bratislave, Fakulta hospodárskej informatiky, Katedra aplikovanej informatiky, Dolnozemska cesta 1, 852 35 Bratislava, nina.barcakova@euba.sk.

1 Úvod

Viackriteriálne rozhodovanie je nástroj na výber najvhodnejšej alternatívy spomedzi viacerých, často využívaný v každodenných situáciách aj pracovnej sfére. Takýto výber dostaneme na základe metód viackriteriálneho rozhodovania (De Keyser, 1996).

Hodnotenie alternatív môžeme registrovať v každodenných situáciách, či už pri nakupovaní tovarov a služieb, zvolením najlepšej dovolenky alebo investovaním svojich peňažných prostriedkov do podielových fondov. V spomínaných prípadoch svoje rozhodnutia vykonávame práve na základe našej intuície a práve na základe nej vykonávame porovnania kritérií a prechádzame na výber najvhodnejšej alternatívy (Abdullah, 2018). V rozhodovaní sa používa intuícia, no v odborných prípadoch môžu nesprávne rozhodnutia spôsobiť negatívne dôsledky, odporúča sa využiť metódy ako Promethee, AHP a TOPSIS (Fiala, 1994).

Práca sa sústreďuje na metódu Promethee a výpočet váh pomocou metód entropie, smerodajnej odchýlky a CRITIC - „Criteria importance through inter-criteria“. Tieto metódy určujú váhy kritérií na základe rovnomernosti rozloženia údajov, rozptylu hodnôt či poradia a rozpätia hodnôt kritérií. Váhy sa následne aplikujú v metóde Promethee na hodnotenie alternatív. V závere sa hodnotí vplyv výpočtu váh na výsledky, porovnávajú sa metódy a navrhujú sa možnosti ich vylepšenia. Cieľom je zhodnotiť presnosť a efektívnosť metód pri riešení rozhodovacích problémov.

2 Viackriteriálny problém

Takmer všetky problémy, s ktorými sa každodenne stretávame, majú viackriteriálny charakter. Nie je rozumné rozhodovať sa iba na základe jediného kritéria, vhodnejšie je pozrieť sa na problém z viacerých uhlov pohľadu (Brans, 1998). Či už je to kúpa auta, pri ktorej zvažujeme nielen cenu, ale aj spotrebu, komfort, bezpečnosť, či ekologické parametre, alebo sa jedná o výber lokality pre výstavbu, kedy je dôležitá cena pozemku, rozloha, investičné náklady spojené s výstavbou, vplyv na životné prostredie a mnohé ďalšie aspekty. Prirodzeným očakávaním je nájdenie alternatívy, ktorá by bola optimálna vo všetkých kritériách, to je často nemožné, pretože takáto alternatíva nemusí existovať (Brans, 2005). Uvažujme nasledujúci viackriteriálny problém:

$$\max\{g_1(a), g_2(a), \dots, g_k(a) / a \in A\} \quad (1)$$

Kde A je konečná množina možných alternatív výberu $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ a $\{g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_k(\cdot)\}$ je množina hodnotiacich kritérií. Môžeme predpokladať, že niektoré kritériá chceme maximalizovať, kým iné minimalizovať (Brans, 2005). Základné dáta viackriteriálneho problému sa zapisujú do hodnotiacej tabuľky (Brans, 1998). Tab. 1 prezentuje dáta a ich uloženie v rámci tabuľky. Riešenie však nezávisí iba od dát, ktoré sa v tejto tabuľke nachádzajú, ale taktiež aj od toho, kto sa rozhoduje. Neexistuje riešenie, ktoré by vyhovovalo všetkým rovnako. Najlepšie kompromisné riešenie viackriteriálneho problému teda závisí aj od individuálnych preferencií (Brans, 2005).

Tab. 1: Hodnotiaca tabuľka

	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_j(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$
a_1	$g_1(a_1)$	$g_2(a_1)$	...	$g_j(a_1)$	...	$g_k(a_1)$
a_2	$g_1(a_2)$	$g_2(a_2)$	...	$g_j(a_2)$	...	$g_k(a_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_i	$g_1(a_i)$	$g_2(a_i)$	...	$g_j(a_i)$	...	$g_k(a_i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
a_n	$g_1(a_n)$	$g_2(a_n)$	...	$g_j(a_n)$	...	$g_k(a_n)$

Zdroj: Vlastné spracovanie

Alternatívu označujeme za preferovanú, pokiaľ je ohodnotená aspoň tak dobre ako iná vo všetkých kritériách. Nemožnosť porovnania dvoch alternatív pozorujeme, pokiaľ bez ďalších informácií nevieme rozhodnúť, ktorá z nich je výhodnejšia. Táto situácia nastane v prípade, ak je jedna z alternatív lepšia v jednom kritériu, druhá je lepšia v inom (Brans, 2005).

Väčšinou sa pri riešení viackriteriálneho problému stretávame s alternatívami, ktoré sú neporovnateľné, a preto sú pre nájdenie riešenia potrebné dodatočné informácie. Môžu byť poskytnuté napr. nasledujúcimi spôsobmi: váhy pridelujúce relatívnu dôležitosť každému kritériu, preferencie naviazané na každý pár alternatív v rámci každého kritéria, vytvorenie jendnokriteriálneho problému, pre ktorý existuje riešenie či hranice určujúce limity preferencie

Existuje množstvo metód viackriteriálnej analýzy. Všetky vychádzajú z hodnotiacej tabuľky, ale líšia sa dodatočnými informáciami, ktoré sú pre ich aplikáciu potrebné. Metódy triedy Promethee vyžadujú jasné a ľahko získateľné informácie (Brožová, 2003).

3 Metódy triedy Promethee

Problémy vyhodnocovania viacerých variantov riešia metódy triedy Promethee (Mlynarovič, 1998). Jej prvé prezentovanie bolo na konferencii na univerzite v Kanade. V tomto období obsahovala iba základné Promethee I – čiastočné usporiadanie alternatív, Promethee II – úplné usporiadanie alternatív. Existujú aj iné varianty triedy Promethee, o ktorých sa viac možno dozvedieť vo svetovej literatúre v rámci viackriteriálneho rozhodovania (Zapletal, 2023).

Pri využití danej metódy môžu byť stanovené rôzne ciele: identifikácia najlepšieho možného rozhodnutia; usporiadanie možností od najlepšej po najhoršiu; rozdelenie položiek do skupín, ktoré sme si stanovili, napr. nízka cena, stredná cena, vysoká cena; vizualizácia hodnotiaceho alebo rozhodovacieho problému. Európska škola viackriteriálnej analýzy navrhla základ daných metód, ktorý spočíva v analýze viackriteriálnej preferencie a zovšeobecnených kritérií. Daná analýza poskytuje dostatočné informácie avšak má i slabú stránku, ktorou je výrazný vplyv hodnotiteľ, ktorého osobné preferencie častokrát majú výrazný vplyv pri výbere najlepšieho z daných variantov.

Váhy kritérií, ktoré sú dôležité pri výbere najlepšej alternatívy sú zadávané hodnotiteľom. Z tohto dôvodu okrem použitej metódy zohráva pri danej metóde dôležitú úlohu ľudský faktor, ktorý určí dôležitosť jednotlivým kritériám, prostredníctvom čoho nakoniec vznikne konečné riešenie (Dubecová, 2009). Tieto metódy však zabezpečujú väčšiu transparentnosť, najmä pokiaľ hodnotiteľ nevie o konkrétnej ponuke ešte pred stanovením váh jednotlivých kritérií (Brans, 1985). Na výber alternatív zo všetkých, je potrebné disponovať dostatočným množstvom informácií. Práve to zohráva dôležitú úlohu aj pri metóde Promethee, kde sa stretávame s informáciami medzi kritériami a v rámci kritérií.

Informácie medzi kritériami

Množina $(w_j, j = 1, 2, \dots, k)$ predstavuje váhy relatívnej dôležitosti, ktoré sú dopĺňané do hodnotiacej tabuľky. Každému kritériu odpovedá nejaká váha, kde vyššia hodnota znamená väčšiu dôležitosť kritéria, $w_j \geq 0$ a platí (Brans, 2005)

$$\sum_{j=1}^k w_j = 1 \quad (2)$$

Informácie v rámci kritérií

Metódy triedy Promethee sa zakladajú na postupnom párovom porovnávaní variantov z hľadiska všetkých kritérií. Výsledok je vyjadrenie intenzity preferencie medzi dvoma variantami, (Brans, 2005)

$$d_j(a, b) = g_j(a) - g_j(b) \quad (3)$$

kde

$g_j(a)$ – hodnota kritéria j pre alternatívu a

$g_j(b)$ - hodnota toho istého kritéria pre alternatívu b

$d_j(a,b)$ - o koľko je alternatíva a lepšia (alebo horšia) než b z pohľadu kritéria j

Na základe rozdielu vieme určiť preferenciu alternatív. Ak je rozdiel zanedbateľný, žiadna z alternatív nie je preferovaná. Ak rozdiel ukazuje výrazné rozdiely aj preferencia je vyššia. Je potrebné pre každé kritérium určiť **preferenčnú funkciu** $P_j(a, b)$ a funkciu F_j , ktorá rozdiel $d_j(a, b)$ premení na **preferenčné skóre** v rozsahu typicky medzi 0 a 1 (Brans, 2005).

$$P_i(a, b) = F_i[d_i(a, b)] \text{ pre } a, b \in A \quad (4)$$

Platí

$$0 \leq P_j(a, b) \leq 1 \quad (5)$$

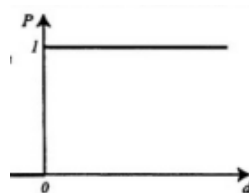
3.1 Typy preferenčných funkcií

Poznáme 6 typov preferenčných funkcií. Niektoré obsahujú parametre (Tzeng, 2011), ktoré potrebujeme poznať pri vybraných funkciách pre výpočty, ako napr. parameter q (prah indiferencie) - max hodnotu rozdielu medzi alternatívami. Parameter p (prah preferencie) - min hodnotu rozdielu medzi alternatívami. Parameter s – inflexný bod.

1. Obyčajná preferenčná funkcia (jednoduchá PF) – nie je za potreby zadávanie parametrov. Je vhodná hlavne vtedy, ak akýkoľvek rozdiel v hodnotení alternatív vedie k absolútnej preferencii (Zapletal, 2023).

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases} \quad (6)$$

Obr. 1 – Grafické znázornenie obvyčajnej preferenčnej funkcie

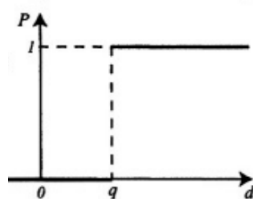


Zdroj: Brans, 2005

2. Kvázipreferenčná funkcia (U-jednoduchá PF) – obsahuje indierenčnú oblasť. Táto funkcia sa používa vtedy, keď sú ohodnotenia vyjadrené v nejakej ordinálnej škále (napr. od 1-10) (Zapletal, 2023).

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases} \quad (7)$$

Obr. 2 – Grafické znázornenie kvázi preferenčnej funkcie

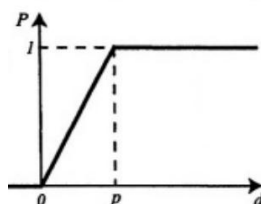


Zdroj: Brans, 2005

3. Lineárna preferenčná funkcia (V-lineárna PF) – je nutné poznať prah preferencie pre kritérium (Zapletal, 2023).

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases} \quad (8)$$

Obr. 3 – Grafické znázornenie lineárnej preferenčnej funkcie

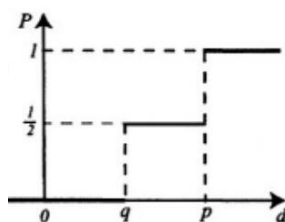


Zdroj: Brans, 2005

4. Úrovňová preferenčná funkcia (Stupňovitá PF) – je modifikáciou kvázi preferenčnej funkcie, okrem indierencie má hodnotu preferencie vo výške 0,5 (Zapletal, 2023).

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{1}{2} & q \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases} \quad (9)$$

Obr. 4 – Grafické znázornenie úrovňovej preferenčnej funkcie

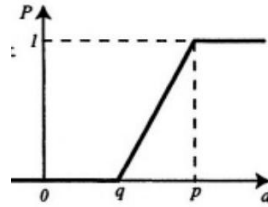


Zdroj: Brans, 2005

5. Lineárna preferenčná funkcia s indierenčnou oblasťou – je modifikácia lineárnej preferenčnej funkcie. Je potrebné poznať aj prah indierencie a aj prah preferencie (Zapletal, 2023).

$$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases} \quad (10)$$

Obr. 5– Grafické znázornenie lineárnej preferenčnej funkcie s indifferenčnou oblasťou

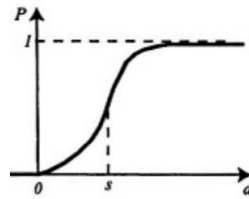


Zdroj: Brans, 2005

6. Gaussova preferenčná funkcia – obsahuje parameter s . Pri definovaní sa využíva smerodajná odchýlka ohodnotení alternatív v danom kritériu (Zapletal, 2023).

$$F(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases} \quad (11)$$

Obr. 6 – Grafické znázornenie Gaussovej preferenčnej funkcie



Zdroj: Brans, 2005

3.2 Viackriteriálny preferenčný index

Viackriteriálny preferenčný index $\pi(a, b)$ predstavuje stupeň uprednostňovania alternatívy a pred alternatívou b s ohľadom na všetky kritériá. $\pi(b, a)$ vyjadruje ako je b preferovaná pred a (Brans, 2005).

$$\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k P_j(a, b)w_j \quad (12)$$

$$\pi(b, a) = \sum_{j=1}^k P_j(b, a)w_j \quad (13)$$

Nasledujúce vlastnosti platia pre $\forall (a, b) \in A$

$$\pi(a, a) = 0 \quad (14)$$

$$0 \leq \pi(a, b) \leq 1 \quad (15)$$

$$0 \leq \pi(b, a) \leq 1 \quad (16)$$

$$0 \leq \pi(a, b) + \pi(b, a) \leq 1 \quad (17)$$

$$\pi(a, b) \sim 0 \text{ implikuje celkovú slabú preferenciu } a \text{ pred } b \quad (18)$$

$$\pi(a, b) \sim 1 \text{ implikuje celkovú silnú preferenciu } a \text{ pred } b \quad (19)$$

Každá alternatíva je porovnávaná s ostatnými $(n-1)$ alternatívami, preto uvádzame výstupný a vstupný tok, ktorého výpočet je nižšie (Brans, 2005):

$$\emptyset^+(a) \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(a, x) \quad (20)$$

$$\emptyset^-(a) \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \pi(x, a) \quad (21)$$

Výstupný tok vyjadruje celkové uprednostňovanie alternatívy a pre ostatnými alternatívami. Čím je $\emptyset^+(a)$ väčšie, tým je alternatíva a hodnotená lepšie. Vstupný tok, naopak, vyjadruje ako sú ostatné alternatívy preferované pred alternatívou a . Čím je $\emptyset^-(a)$ menšie, tým je alternatíva a ohodnotená lepšie (Brans, 2005). Promethee I zodpovedá za čiastočné usporiadanie alternatív, ktoré získame z výstupného a vstupného toku. Oba toky vyjadrujú iné usporiadanie a Promethee I je ich prienikom. Metóda Promethee II poskytuje kompletné usporiadanie alternatív. Uvažujeme tzv. čistý tok, ktorý je rozdielom výstupného toku a vstupného toku. V tomto prípade možno tvrdiť, že čím je čistý tok vyšší, tým je aj alternatíva lepšia (Fiala, 1994).

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(a) \quad (22)$$

4 Výpočty váh – objektívne metódy

Pre výpočty sme si zvolili do metódy Promethee vložiť váhy určené na základe metód entropie, metód smerodajnej odchýlky a metódy CRITIC. Preto v nasledujúcom texte si bližšie popíšeme tieto metódy aby sme ich neskôr vedeli využiť pri našich výpočtoch a porovnaníach.

4.1 Metóda entropie

Prvá z objektívnych metód váhy kritérií určí na základe hodnôt rozhodovacej matice na základe miery, ktorá sa nazýva entropia. V literatúre sa môže táto miera označovať aj ako „miera neusporiadanosť“ hodnôt. Ako príklad možno uviesť, ak si dlhšie nebudeme upratovať miestnosť, tak miera jej entropie – neporiadku vzrastie. Problém je v tom, že termín neusporiadanosť je veľmi ťažko definovateľný (Zapletal, 2023).

Entropia meria množstvo informácií pri zistení výsledku náhodného pokusu. Čím je vyššia entropia kritéria, tým viac klesá hodnota jeho váhy, pretože sa varianty stávajú menej citlivé s ohľadom na toto kritérium (Zapletal, 2023). Výhodou tejto metódy je, že sa aplikuje aj na kvalitatívne dáta, čo napr. pre smerodajnú odchýlku neplatí. Algoritmus pre výpočet váh na základe danej metódy pozostáva z troch krokov (Zapletal, 2023).

V prvom kroku si najskôr normalizujeme hodnoty rozhodovacej matice. Rozlišujeme či ide o kritériá maximalizačné alebo minimalizačné. Kritérium j patrí do množiny K , ktorá reprezentuje všetky kritériá. Pre lepšiu prehľadnosť a vysvetlenie uvádzame oba vzorce (Zapletal, 2023):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \text{ pre maximalizačné } j \in K \quad (23)$$

$$r_{ij} = \frac{\frac{1}{x_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_{ij}}}, \text{ pre minimalizačné } j \in K \quad (24)$$

V druhom kroku prechádza na výpočet miery entropie kritéria j $e_j \in [0, 1]$:

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} * \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln r_{ij}, \text{ pre } j \in K \quad (25)$$

V poslednom kroku je normalizácia hodnôt entropie za kritéria tak, aby spĺňali podmienky, ktoré sme si pre váhy skôr stanovili a aby sa veľkosť váh nepriamoúmerne s rastúcou entropiou znižovala:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{k - \sum_{j=1}^k e_j}, \text{ pre } j \in K \quad (26)$$

4.2 Metóda smerodajnej odchýlky

Smerodajná odchýlka je dobre známou mierou variability náhodnej premennej, ktorú možno vypočítať ako odmocninu z rozptylu. Toto vypovedá o tom ako sú hodnoty náhodnej premennej rozložené okolo strednej hodnoty (Zapletal, 2023). Čím je nižšia smerodajná odchýlka tým sú hodnoty premennej viac podobné a naopak.

Hlavnou myšlienkou metódy je, že čím smerodajná odchýlka hodnotenia variantov x pre zvolené kritérium j vyššia, tým má toto kritérium potenciálne vyšší vplyv na výsledné hodnotenie. Napríklad kúpa dovolenky - v množine variantov majú všetky dovolenky rovnakú cenu a dĺžka pobytu bude naopak veľmi rozdielna. V tomto prípade má význam uvažovať o tom, že cena dovolenky vďaka menšej hodnote smerodajnej odchýlky, by mala mať menšiu váhu (Zapletal, 2023).

Prvý krok je rovnaký ako aj pri metóde entropie a to, že si normalizujeme hodnoty x_{ij} rozhodovacej matice na r v závislosti od typu kritéria. Nasleduje výpočet smerodajnej odchýlky, ktorý nám ukazuje vzorec (27) kde r_{ij} s vlnovkou predstavuje priemernú hodnotu normalizovaných hodnôt variant podľa kritéria j . Výsledné váhy sú potom vypočítané za pomoci vzorca (28), normalizovaných smerodajných odchýlok vypočítaných z r_{ij} :

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}{n}} \quad (27)$$

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^k \sigma_j}, \text{ pre } j \in K \quad (28)$$

4.3 Metóda CRITIC

Poslednou metódou je metóda CRITIC. Rozdielnosť je v tom, že výsledná váha kritéria nezávisí iba na hodnotení variant z pohľadu tohto kritéria, ale aj na ich podobnosti hodnotení podľa ostatných kritérií. Predpokladá sa, že ak sú hodnoty variant z pohľadu kritéria j významne korelované s hodnotami podľa ostatných kritérií, kritérium j je považované za menej významné a jeho informačný prínos pre danú úlohu je oslabený a naopak. Vplyv korelácie medzi kritériami metóda navyše kombinuje tiež s použitím smerodajnej odchýlky (Zapletal, 2023). Závislosť medzi kritériami je meraná pomocou Pearsonovho korelačného koeficientu p_{ij} . Čím viac je jeho hodnota vzdialená od nuly, tým je závislosť medzi hodnotenými variantami podľa týchto kritérií silnejšia (Zapletal, 2023). Algoritmus metódy CRITIC pozostáva z troch krokov.

Prvý krok využíva normalizáciu pomocou rozpätia hodnôt s rozlíšením max a min kritérií. Z dôvodu, že pri výpočtoch využívame oba druhy vzorcov, pre lepšiu prehľadnosť ich uvádzame nižšie:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i \{x_{ij}\}}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}}, \text{ pre maximalizačné } j \in K \quad (29)$$

$$r_{ij} = \frac{\max_i \{x_{ij}\} - x_{ij}}{\max_i \{x_{ij}\} - \min_i \{x_{ij}\}}, \text{ pre minimalizačné } j \in K \quad (30)$$

V druhom kroku vypočítame hodnoty Pearsonovho korelačného koeficientu, ktorý reprezentuje vzorec (31) (Zapletal, 2023). Strednú hodnotu normovaných hodnotení variant r_{ij} vyjadruje $\bar{r}_j$, za kritéria j a σ označuje smerodajnú odchýlku hodnotení. Pri výpočte váh najprv vypočítame nenormalizované hodnotenia, ktoré sú založené na korelačných koeficientoch a smerodajných odchýlok.

$$p_{ij} = \frac{\frac{\sum_{k=1}^n (r_{ki} - \bar{r}_i) \cdot \sum_{k=1}^n (r_{kj} - \bar{r}_j)}{n}}{\sigma_i \sigma_j} \quad (31)$$

$$c_j = \delta_j \sum_{l=1}^k (1 - p_{jl}), \text{ pre } j \in K \quad (32)$$

Hodnota c_j udáva aká veľká časť informácie o variantoch je pokrytá j -tým kritériom. Treba si všimnúť, že čím je kritérium v priemere menej pozitívne alebo viac negatívne korelované s ostatnými, tým sa jeho informačný prínos a teda aj váha zvyšuje. V poslednom kroku si vypočítame váhy kritérií vzorcom (33):

$$w_j = \frac{c_j}{\sum_{i=1}^k c_i}, \text{ pre } j \in K \quad (33)$$

Metóda CRITIC reflektuje pri hodnotení ako variabilitu hodnotenia, tak závislosti medzi kritériami, preto ju možno považovať v porovnaní so spomenutými za najdokonalejšiu, ale zároveň aj za najviac náročnú. Je dôležité si uvedomiť, že nie vždy koeficient korelácie zachytáva skutočnú funkčnú závislosť medzi porovnávanými prvkami (Zapletal, 2023).

5 Porovnanie výpočtov metódy Promethee II s použitím rôznych váh

Pri aplikovaní Promethee metódy je dôležitý výber preferenčných funkcií kritérií a ich parametrov, rovnako aj voľba váh. Tieto dodatočné informácie vyplývajú z preferencií investora a sú subjektívne, preto sme sa rozhodli využiť analýzu citlivosti. Cieľom analýzy je pozorovať zmeny v konečnom poradí získanom pomocou Promethee II vzhľadom na zmeny váh kritérií. Najdôležitejším krokom je pridelenie váh kritériám. Autori metódy Promethee neposkytujú návod na určenie váh. Odvolávajú sa na schopnosť toho, kto sa rozhoduje, poskytnúť tieto informácie. My sme v tejto práci váhy pridelovali tromi spôsobmi.

5.1 Experimentálny príklad

Na výpočet váh a ich použitie v Promethee metóde potrebuje poznať hodnotiacu tabuľku, v ktorej sa nachádzajú v riadkoch atribúty a stĺpce sú vyplnené kritériami. V nasledujúcej Tab. 2 práve tieto dôležité údaje prezentujeme. Náš experimentálny príklad je prispôbený práve na hotely v rámci dovolenkových destinácií a hľadáme najlepšiu z nich na základne požiadaviek na kritériá. Kritéria, ktoré sme si zvolili ako dôležité pre rozhodovanie sú nasledovné:

- **Cena v eurách (C1)** – v tomto príklade predstavuje cenu hotela vybranej destinácie
- **Počet hviezdíčiek (C2)** – hodnota hotela vzrastá podľa počtu hviezdíčiek. Dôležité kritérium hviezdíčky, a tým chceme zabezpečiť hotel na najvyššej úrovni.
- **Vzdialenosť (C3)** – predstavuje vzdialenosť hotela od letiska vyjadrenú v km.
- **Hodnotenie v bodoch (C4)** – hodnotenia ľudí na stránkach, toto hodnotenie je vyjadrené na bodovej škále od 0 do 110 bodov.
- **Druh stravy (C5)** – vyjadruje typ stravovania, ktoré si v hoteli zaplatíme. Medzi tieto druhy stravy možno zaradiť: 1 – raňajky, 2 – plná penzia a 3 – all inclusive

Tab. 2: Hodnotiacia tabuľka pre experimentálny príklad

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	290000	3	5,6	60	2
(H2) Hotel B	480000	5	6,2	80	1
(H3) Hotel C	510000	4	7,1	110	3
(H4) Hotel D	560000	3	5,7	90	2
(H5) Hotel E	610000	4	5,5	110	3
	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX

Zdroj: Vlastné spracovanie

5.2 Výpočty váh

Na otestovanie metódy Promethee potrebuje v prvom rade pristúpiť k výpočtu váh kritérií, ktoré neskôr využijeme priamo pri výpočtoch a usporiadaní alternatív. Ako prvé si vypočítame váhy metódou entropie, neskôr svoju pozornosť budeme venovať metóde smerodajnej odchýlky a ako posledné otestujeme metódu CRITIC.

1. Metóda entropie

Prejdeme na výpočet, ktorý sa skladá z viacerých krokov. Normalizácia hodnôt v hodnotiacej matici. V tomto kroku si najskôr normalizujeme kritéria hotelov a následne vytvoríme celkový súčet normalizovaných údajov v Tab. 3. Výpočty potrebujeme do vzorcov, kde treba správne zvoliť či už pôjde o minimalizáciu alebo maximalizáciu hodnôt.

Tab. 3: Normalizácia hodnôt v hodnotiacej matici – čiastočné výpočty

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	3,44828E-06	3	0,178571429	60	2
(H2) Hotel B	2,08333E-06	5	0,161290323	80	1
(H3) Hotel C	1,96078E-06	4	0,14084507	110	3
(H4) Hotel D	1,78571E-06	3	0,175438596	90	2
(H5) Hotel E	1,63934E-06	4	0,181818182	110	3
SPOLU	1,09175E-05	19	0,8379636	450	11

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 4: Normalizácia hodnôt v hodnotiacej matici – celková normalizácia

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	0,315849874	0,157894737	0,213101653	0,133333333	0,181818182
(H2) Hotel B	0,190825966	0,263157895	0,192478913	0,177777778	0,090909091
(H3) Hotel C	0,179600909	0,210526316	0,168080177	0,244444444	0,272727273
(H4) Hotel D	0,163565114	0,157894737	0,209363028	0,2	0,181818182
(H5) Hotel E	0,150158137	0,210526316	0,216976229	0,244444444	0,272727273

Zdroj: Vlastné spracovanie

Výpočet entropie si rozdelíme na viac častí. V tab. 5 vidíme čiastočné výpočty atribútov $r_{ij} \ln r_{ij}$ a súčtový riadok týchto čiastkových výpočtov. Zostáva vypočítať $-\frac{1}{\ln n}$. Následne dostaneme sumárne výsledky vzorcu 25. Prejdeme na výpočet váh kritérií. Výpočty vykonáme podľa vzorca 26 v Tab. 6.

Tab. 5: Čiastočné výpočty a celková hodnota entropie

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	-0,36401327	-0,29144632	-0,329452169	-0,268653736	-0,309954199
(H2) Hotel B	-0,31608288	-0,35131607	-0,317160723	-0,307061502	-0,217990479
(H3) Hotel C	-0,308378	-0,328030446	-0,299739761	-0,34436532	-0,354349905
(H4) Hotel D	-0,29614185	-0,29144632	-0,327377943	-0,321887582	-0,309954199
(H5) Hotel E	-0,28470978	-0,328030446	-0,331532621	-0,34436532	-0,354349905
SPOLU	-1,56932579	-1,590269601	-1,605263217	-1,58633346	-1,546598686
e_j	0,975076938	0,988090059	0,997406116	0,985644396	0,960955793

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 6: Výsledné hodnoty váh kritérií pre metódu entropie

	C1	C2	C3	C4	C5
$1 - e_j$	0,024923062	0,011909941	0,002593884	0,014355604	0,039044207
w_j	0,268490236	0,128302975	0,027943298	0,154649512	0,420613978

Zdroj: Vlastné spracovanie

2. Metóda smerodajnej odchýlky

Pre výpočet si zoberieme údaje prvého kroku z metódy entropie z predchádzajúcej podkapitoly, ktoré sú totožné. Vykonáme výpočet smerodajnej odchýlky vo viacerých častiach. Za potreby je vypočítať priemer z r_{ij} , čo môžeme vidieť v Tab. 7. Tab. 8 disponuje výpočtami rozdielov, ich agregáciou a výpočtom rozptylu a smerodajnej odchýlky (27). Nasleduje posledný krok výpočet váh kritérií podľa vzorca (28), ako je v Tab. 9.

Tab. 7: Čiastočné výpočty metódy smerodajnej odchýlky

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	0,315849874	0,157894737	0,213101653	0,133333333	0,181818182
(H2) Hotel B	0,190825966	0,263157895	0,192478913	0,177777778	0,090909091
(H3) Hotel C	0,179600909	0,210526316	0,168080177	0,244444444	0,272727273
(H4) Hotel D	0,163565114	0,157894737	0,209363028	0,2	0,181818182
(H5) Hotel E	0,150158137	0,210526316	0,216976229	0,244444444	0,272727273
Priemer	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 8: Výpočet smerodajnej odchýlky pre výpočet váh kritérií

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	0,013421193	0,001772853	0,000171653	0,004444444	0,000330579
(H2) Hotel B	8,41629E-05	0,00398892	5,65668E-05	0,000493827	0,011900826
(H3) Hotel C	0,000416123	0,000110803	0,001018875	0,001975309	0,005289256
(H4) Hotel D	0,001327501	0,001772853	8,76663E-05	0	0,000330579
(H5) Hotel E	0,002484211	0,000110803	0,000288192	0,001975309	0,005289256
Spolu	0,017733191	0,007756233	0,001622954	0,008888889	0,023140496
Rozptyl	0,003546638	0,001551247	0,000324591	0,001777778	0,004628099
σ_j	0,059553659	0,039385867	0,018016402	0,042163702	0,068030134

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 9: Výsledné hodnoty váh kritérií pre metódu smerodajnej odchýlky

	C1	C2	C3	C4	C5
w_j	0,262177947	0,173391626	0,079315083	0,185620716	0,299494628

Zdroj: Vlastné spracovanie

3. Metóda CRITIC

Vykonanie normalizácie pomocou rozpätia hodnôt s dôležitým rozlíšením maximalizačných a minimalizačných kritérií, podľa vzorcov (29) a (30) v Tab. 10.

Tab. 10: Normalizácia hodnôt za pomoci metódy CRITIC

	C1	C2	C3	C4	C5
MIN	290000	3	5,5	60	1
MAX	610000	5	7,1	110	3
(H1) Hotel A	1	0	0,9375	0	0,5
(H2) Hotel B	0,40625	1	0,5625	0,4	0
(H3) Hotel C	0,3125	0,5	0	1	1
(H4) Hotel D	0,15625	0	0,875	0,6	0,5
(H5) Hotel E	0	0,5	1	1	1
σ_j	0,382094352	0,418330013	0,413162347	0,424264069	0,418330013

Zdroj: Vlastné spracovanie

V druhom kroku vypočítame hodnoty Pearsonovho korelačného koeficientu, podľa vzorca (31). Strednú hodnotu normovaných hodnotení variantov r_{ij} vyjadruje $\bar{r}$, za kritéria j a σ označuje smerodajnú odchýlku hodnotení.

Tab. 11: Hodnoty Pearsonového korelačného koeficientu

	C1	C2	C3	C4	C5
(C1) Cena v €	1	-0,293259195	0,058766834	-0,857833816	-0,366573994
(C2) Počet hviezdíček	-0,293259195	1	-0,415851333	0,281718085	-0,285714286
(C3) vzdialenosť	0,058766834	-0,415851333	1	-0,392207337	-0,171764681
(C4) Hodnotenie v bodoch	-0,857833816	0,281718085	-0,392207337	1	0,704295212
(C5) Druh stravy	-0,366573994	-0,285714286	-0,171764681	0,704295212	1

Zdroj: Vlastné spracovanie

Pri výpočte váh najprv vypočítame nenormované hodnotenia, ktoré sú založené na korelačných koeficientoch a smerodajných odchýlkach za pomoci vzorca (32). V poslednom kroku si cez vzorec 33 vypočítame váhy kritérií Tab. 13.

Tab. 12: Nenormované hodnotenia

	C1	C2	C3	C4	C5
(C1) Cena v €	0	1,293259195	0,941233166	1,857833816	1,366573994
(C2) Počet hviezdíček	1,293259195	0	1,415851333	0,718281915	1,285714286
(C3) vzdialenosť	0,941233166	1,415851333	0	1,392207337	1,171764681
(C4) Hodnotenie v bodoch	1,857833816	0,718281915	1,392207337	0	0,295704788
(C5) Druh stravy	1,366573994	1,285714286	1,171764681	0,295704788	0
$\sum_{l=1}^k (1 - p_{jl})$	5,458900171	4,713106729	4,921056517	4,264027856	4,119757748
c_j	2,085814923	1,971634	2,033195	1,809074	1,723418

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 13: Výsledné hodnoty váh kritérií pre metódu CRITIC

	C1	C2	C3	C4	C5
w_j	0,216750013	0,204885	0,211282	0,187992	0,179091

Zdroj: Vlastné spracovanie

5.3 Výpočet metódy Promethee

Na začiatok si musíme stanoviť aké typy funkcií priradíme ku kritériám, ktoré máme stanovené. Preto sme si zvolili nasledujúce typy funkcií

Tab. 14: Typy funkcií priradené ku kritériám

	Typ funkcie	q	r
(C1) Cena v €	Lineárna	10 000	320 000
(C2) Počet hviezdíček	U-jednoduchá	1	-
(C3) vzdialenosť	V-lineárna	-	1,6
(C4) Hodnotenie v bodoch	Lineárna	10	50
(C5) Druh stravy	U-lineárna	1	0

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 15: Experimentálny príklad

	C1	C2	C3	C4	C5
(H1) Hotel A	290000	3	5,6	60	2
(H2) Hotel B	480000	5	6,2	80	1
(H3) Hotel C	510000	4	7,1	110	3
(H4) Hotel D	560000	3	5,7	90	2
(H5) Hotel E	610000	4	5,5	110	3
	MIN	MAX	MIN	MAX	MAX
MIN	290000	3	5,5	60	1
MAX	610000	5	7,1	110	3

Zdroj: Vlastné spracovanie

Začneme postupným párovým porovnávaním variantov z hľadiska všetkých kritérií podľa vzorca (3). Výsledok je vyjadrenie intenzity preferencie medzi dvoma variantami.

Tab. 16: Postupné párové porovnávanie variantov

	C1	C2	C3	C4	C5
1,2	190000	-2	0,6	-20	1
1,3	220000	-1	1,5	-50	-1
1,4	270000	0	0,1	-30	0
1,5	320000	-1	-0,1	-50	-1
2,1	-190000	2	-0,6	20	-1
2,3	30000	1	0,9	-30	-2
2,4	80000	2	-0,5	-10	-1
2,5	130000	1	-0,7	-30	-2
3,1	-220000	1	-1,5	50	1
3,2	-30000	-1	-0,9	30	2
3,4	50000	1	-1,4	20	1
3,5	100000	0	-1,6	0	0
4,1	-270000	0	-0,1	30	0
4,2	-80000	-2	0,5	10	1
4,3	-50000	-1	1,4	-20	-1
4,5	50000	-1	-0,2	-20	-1
5,1	-320000	1	0,1	50	1
5,2	-130000	-1	0,7	30	2
5,3	-100000	0	1,6	0	0
5,4	-50000	1	0,2	20	1

Zdroj: Vlastné spracovanie

Viackriteriálny preferenčný index $\pi(a, b)$, vzorec (12) a (13), predstavuje stupeň uprednostňovania alternatívy a pred alternatívou b s ohľadom na všetky kritériá.

Tab. 17: Výpočet hodnôt podľa typu funkcií

C1	C2	C3	C4	C5	
0,268490236	0,12830297	0,027943298	0,154649512	0,420613978	1
0,580645161	0	0,375	0	0	0,166376293
0,677419355	0	0,9375	0	0	0,208077325
0,838709677	0	0,0625	0	0	0,226931816
1	0	0	0	0	0,268490236
0	1	0	0,25	0	0,166965353
0,064516129	0	0,5625	0	0	0,033040056
0,225806452	1	0	0	0	0,188929802
0,387096774	0	0	0	0	0,103931704
0	0	0	1	0	0,154649512
0	0	0	0,5	1	0,497938734
0,129032258	0	0	0,25	0	0,07330628
0,290322581	0	0	0	0	0,077948778
0	0	0	0,5	0	0,077324756
0	0	0,3125	0	0	0,008732281
0	0	0,875	0	0	0,024450386
0,129032258	0	0	0	0	0,034643901
0	0	0,0625	1	0	0,156395968
0	0	0,4375	0,5	1	0,510163927
0	0	1	0	0	0,027943298
0	0	0,125	0,25	0	0,04215529

Zdroj: Vlastné spracovanie

Každá alternatíva je porovnávaná s ostatnými $(n-1)$ alternatívami, preto uvádzame výstupný (20) a vstupný tok (21) v Tab. 18. Na dosiahnutie výsledku Promethee II, potrebujeme tzv. čistý tok cez vzorec (22).

Tab. 18: Výpočet hodnôt metódou entropie

METÓDA ENTROPIE							
	(H1) Hotel A	(H2) Hotel B	(H3) Hotel C	(H4) Hotel D	(H5) Hotel E	SPOLU	$\emptyset^+$
(H1) Hotel A	0	0,166376293	0,208077325	0,226931816	0,268490236	0,8699	0,217475
(H2) Hotel B	0,16696535	0	0,033040056	0,188929802	0,103931704	0,4929	0,123225
(H3) Hotel C	0,15464951	0,497938734	0	0,07330628	0,077948778	0,8038	0,20095
(H4) Hotel D	0,07732476	0,008732281	0,024450386	0	0,034643901	0,1452	0,0363
(H5) Hotel E	0,15639597	0,510163927	0,027943298	0,04215529	0	0,7367	0,184175
SPOLU	0,5553	1,1832	0,2935	0,5313	0,485		
$\emptyset^-$	0,138825	0,2958	0,073375	0,132825	0,12125		

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 19: Výpočet hodnôt metódou smerodajnej odchýlky

METÓDA SMERODAJNEJ ODCHÝLKY							
	(H1) Hotel A	(H2) Hotel B	(H3) Hotel C	(H4) Hotel D	(H5) Hotel E	SPOLU	$\emptyset^+$
(H1) Hotel A	0	0,181975512	0,251962306	0,224848374	0,262177947	0,921	0,23025
(H2) Hotel B	0,21979681	0	0,06152944	0,232593098	0,101488237	0,6154	0,15385
(H3) Hotel C	0,18562072	0,392304986	0	0,080234592	0,076116178	0,7343	0,183575
(H4) Hotel D	0,09281036	0,024785963	0,069400698	0	0,033829412	0,2208	0,0552
(H5) Hotel E	0,19057791	0,427005335	0,079315083	0,056319564	0	0,7532	0,1883
SPOLU	0,6888	1,0261	0,4622	0,594	0,4736		
$\emptyset^-$	0,1722	0,256525	0,11555	0,1485	0,1184		

Zdroj: Vlastné spracovanie

Tab. 20: Výpočet hodnôt metódou CRITIC

METÓDA CRITIC							
	(H1) Hotel A	(H2) Hotel B	(H3) Hotel C	(H4) Hotel D	(H5) Hotel E	SPOLU	$\emptyset^+$
(H1) Hotel A	0	0,205085588	0,344907507	0,194995457	0,216750013	0,9617	0,240425
(H2) Hotel B	0,25188279	0	0,132829984	0,253828314	0,083903231	0,7224	0,1806
(H3) Hotel C	0,18799212	0,273087186	0	0,074965774	0,062927423	0,599	0,14975
(H4) Hotel D	0,09399606	0,066025618	0,18487173	0	0,027967744	0,3729	0,093225
(H5) Hotel E	0,20119724	0,365523051	0,211281977	0,073408277	0	0,8514	0,21285
SPOLU	0,7351	0,9097	0,8739	0,5972	0,3915		
$\emptyset^-$	0,183775	0,227425	0,218475	0,1493	0,097875		

Zdroj: Vlastné spracovanie

Čisté toky Promethee II sú v Tab. 21. Čisté toky sú usporiadané a tým prezentujú výsledné poradie alternatív od tej najviac vyhovujúcej po tú najmenej.

Tab. 21: Výsledné hodnoty daných metód a určenie poradia čistých tokov

	METÓDA ENTROPIE		METÓDA SMERODAJNEJ		METÓDA CRITIC	
	$\emptyset$	zoradenie	$\emptyset$	zoradenie	$\emptyset$	zoradenie
(H1) Hotel A	0,07865	2	0,05805	3	0,05665	2
(H2) Hotel B	-0,17258	5	-0,10268	5	-0,04683	3
(H3) Hotel C	0,127575	1	0,068025	2	-0,06873	5
(H4) Hotel D	-0,09653	4	-0,0933	4	-0,05608	4
(H5) Hotel E	0,062925	3	0,0699	1	0,114975	1

Zdroj: Vlastné spracovanie

6 Diskusia

Po vykonaní výpočtov sme sa dopracovali k zaujímavým výsledkom. Na základe váh, ktoré sme si stanovili prostredníctvom 3 rôznych metód na ich výpočet, sme získali tri rôzne usporiadania v metóde Promethee II. Ako prvé sa pozrieme na výsledky v rámci váh metódou entropie. V tomto prípade sme dostali nasledovné usporiadanie hotelov. Na prvom mieste sa umiestnil Hotel C, ktorý získal najvyššiu hodnotu. Hneď za ním vidíme Hotel A, potom Hotel E, Hotel D a posledný hotel B. Váhy metódy smerodajnej odchýlky neukazujú až také výrazné zmeny v usporiadaní hotelov. Výsledky sú pomerne rovnaké ako pri metóde entropie. To z dôvodu, že smerodajná odchýlka priamo meria rozptyl hodnôt, teda ako sú dáta rozložené okolo priemeru a metóda entropie meria mieru rovnomernosti rozdelenia hodnôt – ak sú hodnoty podobne rozložené, výsledky budú podobné ako pri smerodajnej odchýlke. Prvé tri

hotely sú Hotel E, Hotel C a Hotel A. Hotel D je rovnako ako aj v prvom prípade na pozícií 4 a ako posledný sa umiestnil Hotel B totožne s príkladom jedna.

Ako posledné svoju pozornosť venujeme práve metóde CRITIC, ktorá ako sme sa už dozvedeli v teoretickej časti pracuje na inom princípe, ako ostatné dve metódy, a práve preto sme vďaka nej dostali odlišné hodnoty. Berie do úvahy nielen variabilitu hodnôt kritérií, ale aj ich koreláciu s ostatnými kritériami, čo znamená, že kritériá s vysokou koreláciou budú mať nižšie váhy. Ako ďalšie zvyhodňuje kritériá, ktoré majú veľkú variabilitu a zároveň poskytujú nezávislé informácie. Na rozdiel od entropie alebo smerodajnej odchýlky nevyhodnocuje len rozptyl hodnôt, ale aj ich vzájomné vzťahy, čo môže viesť k rozdielnym váham oproti ostatným metódam, ako to bolo ukázané aj v našom prípade. Preto tieto faktory mohli vplývať na rozdielne výsledky v použitých metódach. V tejto metóde je usporiadanie hotelov nasledovné: na prvom mieste sa umiestnil práve Hotel E, na druhom Hotel A. Nečakane Hotel B, ktorý v predošlých dvoch príkladoch zostal na poslednom mieste tuto je na mieste treťom. A ako posledné sa umiestnili Hotel D a Hotel C. Možno konštatovať, že pri výbere metód na výpočet váh je dôležité vybrať správne. Každá metóda sa zameriava na iný princíp a postup výpočtu a preto z nej vyplývajú aj iné výsledky a tým pádom aj iné usporiadania alternatív.

7 Záver

Na základe analýzy a hodnotenia použitia metódy Promethee II v tejto práci sme dospeli k nasledujúcim záverom. Metóda Promethee II je užitočným nástrojom pri rozhodovacom procese vo viacerých oblastiach, ako je napríklad výber optimálnej alternatívy medzi viacerými možnosťami. V našej práci sme sa zaoberali výpočtom váh kritérií pomocou troch rôznych metód - metódy entropie, metódy smerodajnej odchýlky a metódy CRITIC.

Prvým krokom výpočtu váh kritérií bol výber vhodnej metódy, ktorá nám umožní určiť dôležitosť jednotlivých kritérií. Následne sme použili metódu entropie na výpočet váh na základe rozptylu hodnôt v jednotlivých kritériách. Táto metóda nám poskytla informácie o množstve informácie, ktorú prináša každé kritérium v rozhodovacom procese. Ako ďalšiu metódu sme zvolili metódu smerodajnej odchýlky, ktorá nám umožnila zohľadniť aj variabilitu hodnôt kritérií. Pomocou tejto metódy sme určili váhy kritérií na základe rozptylu hodnôt v porovnaní s celkovým rozptylom. Na záver sme použili metódu CRITIC, ktorá využíva porovnanie medzi kritériami a ich vzťahom s výsledkom rozhodovacieho procesu. Táto metóda nám poskytla konečné váhy kritérií na základe ich významu pre konečné rozhodnutie.

Po výpočte váh kritérií sme mohli prejsť k výpočtu čistých tokov medzi jednotlivými alternatívami. Tieto čisté toky nám poskytnú kvantitatívne hodnoty o relatívnej výhodnosti jednotlivých alternatív vzhľadom na zvolené kritériá. Na základe vypočítaných čistých tokov sme určili poradie alternatív, pričom alternatíva s najvyšším čistým tokom bola vyhodnotená ako najlepšia. Tým sme dosiahli konečné riešenie v rámci rozhodovacieho procesu. Celkovo možno povedať, že metóda Promethee II a výpočet váh kritérií pomocou metódy entropie, metódy smerodajnej odchýlky a metódy CRITIC predstavujú užitočné nástroje pri rozhodovaní vo viacerých oblastiach a môžu pomôcť pri zdokonaľovaní rozhodovacieho procesu a presnejšom určovaní preferencií medzi alternatívami.

Literatúra

1. Abdullah, L., Chan, W., & Afshari, A. (2018). *Application of PROMETHEE method for green supplier selection: a comparative result based on preference functions*. Journal of Industrial Engineering International, 15(2), 271–285.
2. Brans, J. P., Macharis, C., & Mareschal, B. (1998). *The GDSS Promethee procedure*. Journal of Decision Systems, 7, 283–307.

3. Brans, J. P., Mareschal, B. (2005). Promethee Methods. In: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. International Series in Operations Research & Management Science, vol 78. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_5
4. Brans, J. P., & Vincke, Ph. (1985). Note—a preference ranking organisation method. *Management Science*, 31(6), 647–656. <https://doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>
5. Brožová, H., Houška, M., & Šubrt, T. (2014 dotisk). Modely pro vícekritériální rozhodování. Česká zemědělská univerzita, Provozně ekonomická fakulta.
6. De Keyser, W., & Peeters, P. (1996). A note on the use of PROMETHEE multicriteria methods. *European Journal of Operational Research*, 89(3), 457–461.
7. Dubecová, I. (2009). *Komplexné vyhodnocovanie variantov prostredníctvom metód triedy Promethee: diplomová práca*. Fakulta hospodárskej informatiky EU.
8. Fiala, P., Jablonský, J., & Maňas, M. (1994). *Vícekritériální rozhodování*. Vysoká škola ekonomická [Praha].
9. Mlynarovič, V. (1998). *Modely a metódy viackritériálneho rozhodovania*. Vydavateľstvo Ekonóm.
10. Tzeng, G.-H., & Huang, J.-J. (2011). *Multiple Attribute Decision Making*. <https://doi.org/10.1201/b11032>
11. Zapletal, F. (2023). *Exaktní metody rozhodování*. Professional Publishing.