SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA

Mgr. Marián Decký

Autoreferát dizertačnej práce

NÁVRH MULTIKRITERIÁLNYCH ROZHODOVACÍCH METÓD A ICH APLIKÁCIE V OBLASTI ŠPORTU A HIER

Na získanie akademického titulu philosophiae doctor - PhD.
v doktorandskom študijnom programe:
9.1.9 aplikovaná matematika

Bratislava 2019

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre matematiky a deskriptívnej geometrie, Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

Predkladateľ: **Mgr. Marián Decký**
Stavebná fakulta, STU Bratislava
Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie

Školiteľ: **prof. RNDr. Radko Mesiar, DrSc.**
Stavebná fakulta, STU Bratislava
Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie

Oponenti: **prof. PhDr. Miroslav Bobrík, PhD.**
Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, STU Bratislava
Oddelenie telesnej výchovy a športu

doc. RNDr. Jana Kalická, PhD.
Stavebná fakulta, STU Bratislava
Katedra matematiky a deskriptívnej geometrie

doc. RNDr. Jana Špirková, PhD.
Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica
Katedra kvantitatívnych metód a informačných systémov

Autoreferát bol rozoslaný: ....

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa .... o ....h. na Katedre matematiky a deskriptívnej geometrie, Stavebnej fakulty STU v Bratislave, Radlinského 11.

....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
Dekan Stavebnej fakulty STU v Bratislave

OBSAH

ÚVOD

Každá informácia, ktorá vychádza z vedeckého bádania je prínosom pre oblasť, ktorou sa zaoberá. Rovnako to platí v športe a jeho odvetviach. Neustála potreba zvyšovania výkonnosti nás vedie k tomu, aby sme sa zamýšľali nad tréningovým procesom a venovali sa jeho bližšiemu skúmaniu. Získavanie nových informácií v oblasti diagnostiky a vyhodnocovania nameraných dát je jednou z kľúčových vecí k dosiahnutiu tohto cieľa.

Športové lezenie je mladá športová disciplína, ktorá sa neustále rozvíja, je čoraz populárnejšia a praktizovaná stále väčším počtom ľudí. Okrem tých, ktorí sa jej venujú na výkonnostnej a vrcholovej úrovni, si našla cestu aj k jedincom, ktorí ju berú ako rekreačnú pohybovú činnosť. Taktiež sa čoraz častejšie stretávame s prvkami športového lezenia, ktoré sa využívajú v terapeutických a výchovno-vzdelávacích programoch. Rozvoj športového lezenia je značný, ale stále zaostáva za množstvom športových odvetví ako atletika, športové hry, úpolové športy a mnoho ďalších. Tento fakt je citeľný hlavne vo výkonnostnom a vrcholovom poňatí športového lezenia. Prác, ktoré by sa venovali tréningovému procesu, jeho bližšiemu skúmaniu štruktúry športového výkonu, diagnostike a vyhodnoteniu je stále málo. To nás priviedlo k myšlienke prispieť k rozšíreniu týchto poznatkov a využiť metódy, ktoré sa tak často vo vyhodnocovacom procese v športe nevyužívajú.

Zámerom práce je vybranými multikriteriálnymi metódami a vybranými agregačnými operátormi poukázať na možnosti vyhodnotenia dát zo štandardizovaných a špecifických testov, ktoré zastupujú faktory podieľajúce sa na športovom výkone, inými ako štatistickými metódami. Ako sme na začiatku úvodu naznačili, skúmanou oblasťou našej práce je športové lezenie. Práca má ambíciu použitými metódami percentuálne vyjadriť ktorá zo schopností má aké zastúpenie na športovom výkone v športovom lezení. Dôvodom použitia multikriteriálych metód a agregačných operátorov je aj snaha zistiť či sa vybrané metódy hodia na nízky počet skúmaných alternatív, čo je problémom nami skúmanej oblasti.

Teoretický rozbor práce môžeme rozdeliť na dve časti, kde sa v prvej venujeme bližšiemu rozdeleniu športového lezenia, charakteristike disciplín, rozoberáme športový výkon a výkonnosť, jeho štruktúru a analyzujeme doterajšie poznatky.

Druhá časť teoretického rozboru je venovaná pojmom multikriteriálneho rozhodovania, preferenčným vzťahom, multikriteriálnym metódam a agregačným operátorom.

V závere práce popíšeme výsledky a ich rozborom vyslovíme odporúčania, ktoré z vybraných metód spĺňajú podmienky, ktoré sme si stanovili.

1. ANALÝZA DOTERAJŠÍCH POZNATKOV

1.1. KONDIČNÉ FAKTORY

Podľa autorov Baláš (2005a, 2005b); Fleck (2004); Glowacz, Pohl, (1999); Grant et al., (1996, 2001, 2003); Nachbauer (1991); Rak (1997); Šabo (2001); Tefelner (1999, 2012); Vomáčko, Boštíková, (2003, 2008); Zaťko (1985) a i. je športové lezenie aktivitou, pri ktorej sa zapájajú do činnosti takmer všetky hlavné svalové skupiny - svaly predlaktia, ramien, ramenného pletenca a dolné končatiny. V previsnutých profiloch sú veľmi podstatné aj svaly trupu. Percentuálne najviac sa však zapájajú flexory rúk a prstov, ktorých práca je takmer výlučne izometrická a flexory lakťového kĺbu, ktorých kontrakcie sú najčastejšie auxotonické. Významná časť autorov, ktorí sa vo svojich prácach venovali kondičným faktorom sa zhoduje na výraznom podiele silových a silovo vytrvalostných schopností v štruktúre lezeckého výkonu. Konkrétne ide o maximálnu silu flexorov prstov, silovú vytrvalosť flexorov prstov a výbušnú silu, maximálnu silu a silovú vytrvalosť ramenného pletenca.

1.2. MULTIKRITERIÁLNE METÓDY

Multikriteriálne rozhodovanie obsahuje metódy, ktorými sme schopní z vybraných alternatív vyhodnotiť tú najlepšiu a tým zostaviť ich poradie. Na určenie správnej metódy je potrebné poznať faktory, od ktorých závisí daný výber. Medzi tieto faktory zaraďujeme rozhodovacie prostredie, typy kritérií, určenie váh a pod.

Väčšina metód podľa Vavríkovej (2011) spadá do nasledujúcich skupín:

- Váhové metódy: metóda váženého súčtu, metóda váženého geometrického priemeru, metóda kvadratických grafov, AHP metóda, entopická metóda, MACBETH metóda.
- Metódy poradia (poradové metódy): Bordova metóda, Condorcetova metóda, Lexikografická metóda, Litvakova metóda, metóda založená na absolútnych odchýlkach.
- Metódy súvisiace s doplnkovými úžitkovými funkciami (Asociačné metódy): MAUT (Multi-attribute utility theory).
- Porovnávacie metódy.

1.2.1. METÓDA ZALOŽENÁ NA ABSOLÚTNYCH ODCHÝLKACH

Súčet rozdielov absolútnych hodnôt globálneho poradia $P(x_i)$ kde P je globálne poradie kandidáta x_i a $P_j(x_i)$ je lokálne poradie kandidáta x_i v j-tom teste vyjadríme vzťahom:

$$s_j = \sum_{i=1}^{m} \left|P(x_i) - P_j(x_i)\right|. \tag{1.2.1.1}$$

Pre výpočet, ktorý kladie väčšiu váhu na globálne poradie $P(x_i)$ použijeme vzťah:

$$s_{jw} = \sum_{i=1}^{m} \left|P(x_i) - P_j(x_i)\right| \times P(x_i). \tag{1.2.1.2}$$

Pre m účastníkov maximálny súčet absolútnych odchýliek globálneho poradia a lokálneho poradia (t.j. v konkrétnom teste) má hodnotu:

$$L_m = 2 \times \left(m - 1 + m - 1 - 2 + \ldots + \frac{m}{2} + 1 - \frac{m}{2}\right) == 2(m - 1 + m - 3 + \ldots + 1) = \frac{m^2}{2} \tag{1.2.1.3}$$

pre $m = 2k$

$$L_m = 2 \times (m - 1 + \ldots + 2) = \frac{(m+1)(m-1)}{2} = \frac{m^2 - 1}{2} \tag{1.2.1.4}$$

pre $m = 2k + 1$

1.3. AGREGAČNÉ OPERÁTORY

Agregačné operátory sú využívané v mnohých vedných oblastiach, kde sú pre riešenie problému pri rozhodovaní použité rôzne (nie nutne nezávislé) kritériá a ich hodnotenie je individuálne. Hodnoty pri tomto rozhodovaní sú agregované tak, aby poskytli stupne preferencií alebo spokojnosti.

1.3.1. AGREGAČNÉ FUNKCIE ZALOŽENÉ NA ODCHÝLKACH

Metódu agregačných funkcií založených na odchýlkach sme popísali vo svojich príspevkoch Decký, Mesiar, Stupňanová (2017, 2018), z ktorých vybranú časť prikladáme v nasledujúcich dvoch podkapitolách, kde uvedieme aj nietoré názorné príklady. Celé znenie je priložené v prílohe B tejto práce, kde sú okrem nižšie popísaných metód aj všeobecné odchýlkove agregačné funkcie.

1.3.1.1. METÓDA ZALOŽENÁ NA MINIMALIZÁCII PENALIZAČNÝCH FUNKCIÍ

Myšlienka zavedenia agregačných funkcií pomocou minimalizácie penalizačných funkcií bola iniciovaná Yagerom a vylepšená Calvo, Mesiarom a Yagerom (2004). V tejto časti je $I \subset \mathbb{R}$ reálny interval.

<u>*Definícia 1.1:*</u> Nech $LP : I^2 \to \mathbb{R}^+$ je funkcia spĺňajúca pre všetky $u, v, y \in I$ nasledujúce požiadavky:

(i) $LP\,(u, y) = 0$ ak a iba ak $u = y$

(ii) $LP\,(u, y) \geq LP\,(v, y)$ ak $|u - y| \geq |v - y|$.

Potom penalizačná funkcia P: $I^{n+1} \to \mathbb{R}^+$ je definovaná pre akékoľvek $x = (x_1, \dots x_n) \in I^n$, $y \in I$ vzťahom:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^{n} LP\,(x_i, y), \qquad (1.3.1.1.1)$$

pričom $y \in I$ sa nazýva reprezentačná hodnota $x \in I^n$.

Funkcia P meria celkovú penalizáciu, kedykoľvek je y reprezentačná hodnota vstupného vektora x. Najlepšia (optimálna) reprezentačná hodnota prvkov v x je hodnota y^*, ktorá minimalizuje penalizačnú funkciu P. Treba poznamenať, že najlepšia zlúčená hodnota y^* nemusí vo všeobecnosti existovať, alebo môže existovať niekoľko najlepších zlúčených hodnôt. Potom, ak tvoria interval, berieme do úvahy jeho stred. Najlepšia reprezentačná hodnota x, konkrétne $f(x_1, \dots, x_n)$, sa teda získa ako hodnota y^* taká, že

$$f(x_1, \dots, x_n) = y^* = argmin\{P(x, y)\} \qquad (1.3.1.1.2)$$

Funkcia f sa nazýva funkciou založenou na minimalizácii penalizácie.

Poskytnutím rôznych foriem penalizačných funkcií, Yager a Rybalov (1997) prezentovali rôzne formy agregačných metód, napr. pre penalizačnú funkciu $P(x, y) = \sum_i |x_i - y|$, kde získavame mediánový typ agregácie.

Ak sa predpokladá, že každé z pozorovaní má priradenú váhovú funkciu (napr. váha môže byť mierou dôležitosti alebo spoľahlivosti určitého snímača), vážená penalizačná funkcia sa získa takto:

<u>*Definícia 1.2:*</u> Nech $LP : I^2 \to \mathbb{R}^+$ je definovaná v definícii 1.1. Váhová penalizačná funkcia $wP : I^{n+1} \to \mathbb{R}^+$ je definovaná pre všetky $x \in I^n$ a $y \in I$ vzťahom:

$$wP(x, y) = \sum_{i=1}^{n} w_i LP(x_i, y), \qquad (1.3.1.1.3)$$

kde $w_i \geq 0$ je váha spojená s pozorovaním x_i, pričom $i = 1, \dots, n$, $\sum_{i=1}^{n} w_i > 0$ (t.j. existuje aspoň jedna nenulová váha).

Aj v neskorších, všeobecnejších postupoch založených na minimalizácii, agregácia vstupov $x_i, \dots . x_n$ bola len minimalizátor (alebo stredný bod nastavenia minimalizačných vstupov). Yagerov prístup bol najskôr generalizovaný Calvo et al., (2004), kde sa zavádza pojem funkcie rozdielnosti.

Definícia 1.3: Nech $K : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^+$ je konvexná funkcia taká, že $K(x) = 0$ ak a iba ak $x = 0$, a $s : I \rightarrow \mathbb{R}$ je spojitou striktne monotónnou funkciou. Potom rozdielnosť $L: I^2 \rightarrow \mathbb{R}^+$ je daná vzťahom:

$$L(x, y) = K\big(s(x) - s(y)\big) \tag{1.3.1.1.4}$$

a penalizačná funkcia $P : I^{n+1} \rightarrow \mathbb{R}^+$ je definovaná pre všetky $x \in I^n$ a $y \in I$ vzťahom:

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^{n} L(x_i, y). \tag{1.3.1.1.5}$$

Funkcia $f_P: \bigcup_{n\in\mathbb{N}} I^n \rightarrow I$, definovaná pre všetky $x \in I^n$ a $n \in \mathbb{N}$ vzťahom

$$f_P(x) = \frac{l_x + r_x}{2}, \tag{1.3.1.1.6}$$

kde

$$l_x = inf\{u \in I | \forall v \in I: P(x, u) \leq P(x, v)\}$$
$$r_x = sup\{u \in I | \forall v \in I: P(x, u) \leq P(x, v)\}$$

sa nazýva agregačná funkcia založená na penalizácii.
Súbor $[l_x, r_x]$ všetkých minimalizátorov $P(x, y)$ vždy existuje a je to podinterval z $[\min x, \max x]$.

Konvexné reálne funkcie majúce jedinečné minimum $K(0) = 0$ sa môžu ľahko navrhnúť (napr. $K(x) = |x|^p, p \in [1, \infty[$). Navyše, penalizačná funkcia P je v skutočnosti spojená s funkciou jednej premennej, ktorá sa dá vnímať ako funkcia vzdialenosti. V tomto prípade vždy získame idempotentnú agregačnú funkciu, ktorá je v prípade linearity funkcie s, tiež stabilná vzhľadom na posun, t.j., $f(x_1 + C, \dots, x_n + C) = f(x_1, \dots, x_n) + C$.

Neskôr Calvo a Beliakov (2010) navrhli pomerne všeobecnú koncepciu penalizačných funkcií umožňujúcich zaviesť akúkoľvek idempotentnú agregačnú funkciu.

Definícia 1.4: funkcia $P : I^{n+1} \rightarrow [0, \infty]$ je penalizačná funkcia ak a iba ak pre všetky $x \in I^n$ a $y \in I$ platí:
(i) $P(x, y) \geq 0$
(ii) $P(x, y) = 0$ ak $x_i = y$ pre všetky i;
(iii) Pre každé fixné x je množina minimalizátorov $P(x; y)$ neprázdny interval.

Okrem toho výsledná minimalizačná funkcia $f: I^n \rightarrow I$ je definovaná pre všetky $x \in I^n$ podľa vzťahu

$$f(x) = \arg\min_y P(x, y), \tag{1.3.1.1.7}$$

ak y je jediný minimalizátor a $y = \frac{a+b}{2}$ ak je súbor minimalizátorov je interval s hranicami a a b. Nevýhodou prístupu popísaného v Def. 1.3. je fakt, že sa funkcia n premenných f odvádza z penalizačnej funkcie P, ktorá má $n + 1$ premenných. Pre podrobnejší prehľad doporučujeme monografie Beliakov (2007); Grabisch et al. (2009) a ďalšie.

1.3.1.2. SYMETRICKÉ AGREGAČNÉ FUNKCIE ZALOŽENÉ NA ODCHÝLKACH

Myšlienka odchýliek pochádza od Daróczyho a často je nazývaná ako Daróczyho priemer. Naše úvahy obmedzíme na jednotkový interval $I = [0,1]$, hoci by namiesto neho mohol byť akýkoľvek reálny interval I.

Definícia 1.5: Odchýlkova funkcia je zobrazenie $D: [0,1]^2 \to \mathbb{R}$ pre ktoré platí

(i) pre všetky $x \in [0,1], D(x,\cdot): [0,1] \to \mathbb{R}$ je spojitá a striktne rastúca;

(ii) $D(x,x) = 0$ pre všetky $x \in [0,1]$.

Nie je ťažké overiť, že pre akúkoľvek pevnú odchýlkovú funkciu D a vstupný vektor $x = (x_1, \dots, x_n) \in [0,1]^n$, funkcia $H(x,\cdot): [0,1] \to \mathbb{R}$ daná

$$H(x,y) = \sum_{i=1}^{n} D(x_i, y) \tag{1.3.1.2.1}$$

je spojitá, striktne rastúca a dosahujúca hodnotu 0, a preto existuje jediné riešenie rovnice

$$H(x,y) = 0. \tag{1.3.1.2.2}$$

Definícia 1.6: Pre danú odchýlkovú funkciu D, a akékoľvek zobrazenie $M_D: [0,1]^n \to [0,1]$, $n \in \mathbb{N}$, dané $M_D(x) = y$, kde y je riešenie rovnice (1.3.1.2.2) sa nazýva Daróczyho priemer.
Je zrejmé, $M_D(x, \dots, x) = x$ pre každé $x \in [0,1]$, a tiež $\min(x) \leq M_D(x) \leq \max(x)$.
Avšak, Daroczyho priemer vo všeobecnosti nie je monotónny a teda nie je agregačnou funkciou.

Príklad 1.
Definujeme $D: [0,1]^2 \to \mathbb{R}$ pomocou $D_\varepsilon(x,y) = (x+\varepsilon)(y-x)$, kde $\varepsilon \in]0, \infty[$.
Potom D_ε je odchýlková funkcia a súvisiaci Daroczyho priemer $M_{D_\varepsilon}: [0,1]^2 \to [0,1]$ je daný

$$M_{D_\varepsilon}(x_1, x_2) = \frac{(x_1+\varepsilon)x_1 + (x_2+\varepsilon)x_2}{x_1 + x_2 + 2\varepsilon} \tag{1.3.1.2.3}$$

Všimnime si, že M_{D_ε} je zmiešaný operátor (Ribeiro, Pereira, 2003) a je to agregačná funkcia len vtedy, ak $\varepsilon \geq 1$. Napríklad, $M_{D_{0,5}}(0,1) = 0{,}75$ ale $M_{D_{0,5}}(0.1,1) = 0{,}743$.
Súvisiace priemery sú:

- Losoncziho priemery (Losonczi, 1973); (Losonczi, 1981), v tomto prípade n odchýlkové funkcie $D_1, \dots, D_n$ sú stanovené a (1.3.1.2.2) sa zmení na
$$\sum_{i=1}^{n} D_i(x_i, y) = 0 \tag{1.3.1.2.4}$$
- Bajraktarevičove priemery (Bajraktarevič, 1969), kde konkrétne odchýlkové funkcie $D_1, \dots, D_n$ sú zohľadnené v (1.3.1.2.4) a to

$$D_i(x,y) = w_i(x)\big(s(y) - s(x)\big), \tag{1.3.1.2.5}$$

kde $w_i: [0,1] \rightarrow [0,\infty[$ je váhová funkcia a $s: [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ je spojitá a striktne rastúca (porovnanie *Príklad 1*, kde $w(x) = x + \varepsilon$) a $s(x) = x$).

- Kvázi-odchýlkové funkcie a súvisiace kvázi-odchýlkové priemery navrhol Páles (1988).

Treba si všimnúť, že na vyššie uvedené prístupy založené na odchýlkach sa vzťahuje niekoľko typov zmiešaných operátorov a ich zovšeobecnenia, viď. (Ribeiro, Pereira, 2003); (Špirková, 2015).

Aj keď je v týchto prácach pozorovaných niekoľko postačujúcich podmienok, ktoré zabezpečujú monotónnosť zavedených priemerov, stále je kompletná charakterizácia odchýlkových funkcií poskytujúcich agregačné funkcie náročným otvoreným problémom. Na druhej strane je priestor na modifikáciu konceptu odchýlkových funkcií uvedených v *definícii 1.5* a stále je možné zaviesť súvisiace agregačné funkcie pomocou (1.3.1.2.2). Všimnime si, že podľa *definície 1.3* funkcia rozdielnosti $L(x,y) = K(s(x) - s(y))$, kde K je diferencovateľné a striktne konvexné, existuje jedinečný minimalizátor y^* penalizačnej funkcie $P(x,y) = \sum_{i=1}^{n} L(x_i, y)$, ktorý je jedinečným riešením rovnice (1.3.1.2.2) s odchýlkovou funkciou D danou

$$D(x,y) = K'(s(x) - s(y)) \cdot g(s), \text{ kde } g(s) = \begin{cases} -1 \; ak\; s\; je\; rastúce \\ \quad 1 \; inak. \end{cases}$$

Takže, v niektorých prípadoch sa prístupy založené na minimalizácii penalizácie zhodujú s prístupmi založenými na odchýlke. Toto nie je možné ak sa v prístupe minimalizácii penalizácie stretneme so situáciou, keď existuje niekoľko minimalizátorov. Obe uvedené skutočnosti nás priviedli k ďalšiemu zovšeobecneniu/úprave prístupu k odchýlkovym funkciám, ktoré navrhol Daróczy.

<u>*Definícia 1.7:*</u> Stredná odchýlková funkcia je zobrazená $D: [0,1]^2 \rightarrow \mathbb{R}$ pre ktoré platí
(i) pre všetky $x \in [0,1], D(x,\cdot): [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ je rastúca (nie nevyhnutne striktne)
(ii) pre všetky $y \in [0,1], D(\cdot,y): [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ je klesajúca (nie nevyhnutne striktne)
(iii)$D(x,y) = 0$ ak a len vtedy ak $x = y \in [0,1]$.
Súbor všetkých stredných odchýlkovych funkcií je označený ako $\mathcal{D}$.

Môžeme brať do úvahy rovnicu (1.3.1.2.2) pre strednú odchýlkovú funkciu D, ale potom v závislosti na $D \in \mathcal{D}$ a $x \in [0,1]^n$, (1.3.1.2.2) nemusí mať riešenie, alebo môže mať viac riešení (v neskoršom prípade je súbor všetkých riešení intervalom).
Tieto skutočnosti sa prejavia v nasledujúcej úprave *definície 1.6*.

<u>*Definícia 1.8:*</u> Pre dané $D \in \mathcal{D}$, a akékoľvek iné $n \in \mathbb{N}$, zobrazenie $M_D: [0,1]^n \rightarrow [0,1]$ dané

$$M_D(x) = \frac{1}{2}\left(sup\left\{ y \in [0,1] \mid \sum_{i=1}^{n} D(x_i,y) < 0 \right\} + inf\left\{ y \in [0,1] \mid \sum_{i=1}^{n} D(x_i,y) > 0 \right\} \right) \tag{1.3.1.2.6}$$

sa nazýva D-priemer.
Pripomíname štandardné konvencie
$sup\{y \in [0,1] \mid y \in \emptyset\} = 0$ a $inf\{y \in [0,1] \mid y \in \emptyset\} = 1$.

Navyše ak $x = (x, \dots, x)$ potom
$\sum_{i=1}^{n} D(x, y) < 0$ ak a len vtedy ak $x < y$,
$\sum_{i=1}^{n} D(x, y) > 0$ ak a len vtedy ak $x > y$,
a preto $M_D(x, \dots, x) = x$ pre všetky $x \in [0,1]$.

*Teoréma 1.*Nech $D \in \mathcal{D}$. Potom D-priemer $M_D: [0,1]^n \to [0,1]$ je idempotentná symetrická agregačná funkcia.
Dôkaz viď. príloha B dizertačnej práce.

2. CIEĽ, HYPOTÉZY A ÚLOHY PRÁCE

2.1. CIEĽ

Cieľom práce je návrh nových typov agregačných funkcií vhodných pre multikriteriálne rozhodovanie. Aplikačným cieľom je vybranými multikriteriálnymi metódami a vybranými agregačnými operátormi poukázať na možnosti vyhodnotenia dát zo štandardizovaných a špecifických testov, ktoré zastupujú faktory podieľajúce sa na športovom výkone, inými ako štatistickými metódami. Rozšírením poznatkov v rámci diagnostiky športového výkonu v športovom lezení chceme prispieť k objasneniu schopností, ktoré sa väčšou alebo menšou mierou podieľajú na štruktúre lezeckého výkonu.

2.2. HYPOTÉZY

Rozborom odbornej literatúry, overenia faktov a vlastných skúseností z praxe sme sformulovali nasledujúce hypotézy:
H1: Multikriteriálne metódy a agregačných operátorov môžu byť vhodnou alternatívou pre štatistické metódy vyhodnocovania získaných dát.
H2: Multikriteriálne metódy a agregačné operátory sú vhodnými metódami pri vyhodnocovaní menej početného súboru probandov.
H3: Pomocou multikriteriálnych metód a agregačných operátorov zistíme, ktoré z motorických schopnosti sú limitujúcimi a podmieňujúcimi faktormi štruktúry športového výkonu v športovom lezení.
H4: V jednotlivých testoch motorických schopností nájdeme významné rozdiely vo výkonnosti na určenie špecifických požiadaviek pre bouldering a obtiažnostné lezenie.
H5: Antropometrické ukazovatele budú mať výrazný vplyv na dosiahnuté hodnoty pri testovaní.

2.3. ÚLOHY

Na základe formulovaného cieľa a overenia daných hypotéz sme si stanovili nasledujúce úlohy:
Ú1: Určenie výkonnostného kritéria
Ú2: Štúdiom literatúry a vyhodnotením výsledkov expertného hodnotenia vybrať faktory podieľajúce sa na športovom výkone a určiť ich hierarchiu.
Ú3: Zostaviť sledovanú skupinu na základe výkonnostného kritéria, na ktorej sa bude výskum realizovať.
Ú4: Pomocou vytvorenej testovej batérie otestovať skupinu výkonnostných a vrcholových športových lezcov.
Ú5: Medzi multikriteriálnymi metódami a agregačnými operátormi nájsť vhodné metódy na vyhodnotenie dát získaných z testovej batérie.
Ú6: Navrhnúť nové metódy vyhodnotenia a aplikovať ich na získané dáta.

3. METODIKA VÝSKUMU

3.1. STANOVENIE VÝSKUMNEJ SITUÁCIE

Pri stanovení podmienok výskumu sme vychádzali z cieľa, úloh a formulovaných hypotéz. Za hlavnú metódu výskumu sme zvolili ex post facto výskum. Výskum sa vzťahuje na úlohy popisné, diferenciačné a skúma súvislosti javov. Výskum je tvorivý a rieši nový problém, ktorý je v iných športoch známy a vedecky rozpracovaný. Výskum prináša nový pohľad na možnosti vyhodnotenia štruktúry športového výkonu, kde sú použité metódy založené na poradí a agregačné funkcie založené na odchýlkach.

3.2. CHARAKTERISTIKA VÝSKUMNÉHO SÚBORU

Výskumný súbor tvorilo 10 výkonnostných a vrcholových športových lezcov z čoho bolo 6 mužov a 4 ženy s priemerným vekom (29,1 ± 4,7) rokov, priemernou výškou (174,2 ± 4,49) cm a priemernou telesnou hmotnosťou (66,23 ± 6,47) kg. Traja probandi z testovaného súboru boli dlhodobými členmi reprezentačného družstva SR v športovom lezení na obtiažnosť, z toho dvaja aj v boulderingu. Jeden z tejto trojice bol v období, kedy sa výskum konal majstrom Slovenska v obtiažnostnom lezení. Zvyšok súboru tvorili bývalí reprezentanti v športovom lezení, ktorí dosahovali požadovanú úroveň výkonnosti stanovenú na začiatku výskumu. Športový vek v špecializácii bol v priemere (14 ± 5,73) rokov. Priemerný počet tréningových jednotiek v týždni bol (3,8 ± 1,27).

3.3. METÓDY ZISŤOVANIA EMPIRICKÝCH ÚDAJOV

Stanovenie výkonnostného kritéria

Pri výbere výskumného súboru bolo nutné určiť výkonnostnú úroveň v športovom lezení, ktorá by odzrkadľovala v čo najväčšej miere zastúpenie jednotlivých schopností. Za výkonnostné kritérium môžeme považovať v našom prípade klasifikačný stupeň 8a (9+/10-) a vyššie, ktorý sme si stanovili ako spodnú hranicu pri výbere testovaného súboru. Probandi museli mať minimálne 5 prelezených ciest (spôsobom OS, Flash, RP alebo PP) v tomto stupni obtiažnosti, aby spĺňali kritéria výberu.

Dotazník

Dotazníkom sme zisťovali údaje o veku, o športovom veku v špecializácii, najvyššej dosiahnutej obtiažnosti PP spôsobom prelezu podľa klasifikačnej stupnice UIAA, priemernom počte tréningových jednotiek v týždni.

Expertné hodnotenie prínosu podielu vybraných motorických ukazovateľov na športový výkon v športovom lezení

Z dôvodu nízkeho počtu literatúry zaoberajúcou sa športovým lezením a teda neobjektívneho pohľadu sme pre lepšie určenie vplyvu jednotlivých faktorov kondičných a koordinačných schopností na športový výkon vypracovali dotazník expertného hodnotenia motorických ukazovateľov štruktúry športového výkonu v lezeckých disciplínach obtiažnosť a bouldering (príloha B dizertačnej práce). Vzorom pri výbere motorických faktorov pre náš dotazník nám poslúžilo expertné hodnotenie motorických ukazovateľov v karate podľa Zemkovej (1998) a Štefanovského (2008) v džude.

Metóda štúdia literatúry

Štúdiom literatúry sme získali informácie o testoch spolu s metodikou testovania motorických schopností a antropometrie. Táto metóda bola použitá aj v teoretickom rozbore, kde sme analyzovali súčasný stav riešenia.

Metóda merania a výber testov

V rámci výskumu sme na získavanie údajov o vybranom súbore použili metódu merania a testovania, ktorá nám poskytla informácie o úrovni ukazovateľov v sledovaných motorických premenných. Pri výbere batérie testov sme sa snažili vychádzať z dostupných poznatkov o schopnostiach podieľajúcich sa na športovom výkone z odborných literárnych prameňov a z vlastnej pretekárskej a trénerskej praxe. Testovú batériu sme zostavovali na základe prístrojových a technických možností, ktoré bolo nutné v niektorých prípadoch modifikovať. Testy boli rozdelené na dve časti a to:

- testy realizované v Národnom športovom centre;
- testy realizované v lezeckom centre Vertigo.

3.4. ORGANIZÁCIA A ZABEZPEČENIE VÝSKUMU

Teoretická časť výskumu venovaná návrhom nových agregačných funkcií vhodných pre multikriteriálne rozhodovanie bola realizovaná priebežne na KMDG SvF STU. Ďalšia časť výskumu bola zameraná na získanie, spracovanie a vyhodnotenie dotazníka expertného hodnotenia, ktoré prebehlo v mesiacoch november, december 2013. Prvé z dvoch testovaní bolo realizované v spolupráci s Národným športovým centrom v mesiacoch október 2014 až január 2015 na pôde NŠC. Druhé testovanie prebehlo v lezeckom centre Vertigo od marca 2015 do mája 2015. Každému testovaniu predchádzalo dôkladné zahriatie a rozcvičenie. Medzi testami mali probandi dostatočný čas na odpočinok, aby jednotlivé testy mohli vykonávať v maximálnom nasadení. Meranie bolo vykonávané odbornými pracovníkmi a zaznamenávané do pripravených hárkov. Našou snahou bolo v záujme objektivity výsledkov merania zabezpečiť presne vymedzené podmienky testovania, stálosť zariadení a pomôcok využívaných pri testovaní, ako aj presnosť zaznamenávania výskumu. Ako sme už spomenuli v charakteristike výskumného súboru, prvého merania sa zúčastnilo 12 osôb z toho sa nám podarilo komplexne otestovať 10 probandov.

3.5. METÓDY SPRACOVANIA A VYHODNOTENIA ÚDAJOV

Na spracovanie a vyhodnotenie empirických údajov sme použili okrem metód kvantitatívneho a kvalitatívneho hodnotenia aj multikriteriálne metódy a vybrané triedy agregačných operátorov. V súlade s úlohami a hypotézami sme získané údaje analyzovali multikriteriálnymi metódami, vybranými triedami agregačných operátorov a matematicko-štatistickými metódami. Následne sme ich podrobili logickej, vzťahovej a vecnej analýze.

Metódy kvantitatívneho hodnotenia:

- medián,
- minimum a maximum nameraných hodnôt,
- normovanie (transformácia podľa rozsahu skóre),
- aritmetický priemer,
- smerodajná odchýlka,
- Bordova metóda,

- Litvakova metóda,
- Agregačné funkcie založené na odchýlkach.

Metódy kvalitatívneho hodnotenia:

- metóda logickej analýzy a syntézy,
- metóda porovnávania (komparácia),
- kauzálne logické metódy (vyvodzovanie),
- indukcia – dedukcia,
- zovšeobecňovanie (generalizácia).

4. VÝSLEDKY VÝSKUMU A DISKUSIA

4.1. URČENIE SCHOPNOSTÍ PODIEĽAJÚCICH SA NA ŠPORTOVOM VÝKONE V SLEDOVANOM SÚBORE S POUŽITÍM VYBRANÝCH METÓD

Bordova metóda

Bordova metóda založená na usporiadaní bola použitá na vyhodnotenie poradia skúmaného súboru v rámci oboch testovaní. Alternatívami $X_m = (x_1, \dots, x_6)$ označíme súbor testovaných mužov a $X_z = (x_7, \dots, x_{10})$ sú alternatívy označujúce súbor žien. Kritériami $J_n = (j_{1n}, \dots, j_{8n})$ sú označené testy realizované v Národnom športovom centre a $J_v = (j_{1v}, \dots, j_{13v})$ sme označili testy realizované v lezeckom centre Vertigo.

Tabuľka č. 4.1.1 Namerané dáta z testovania v Národnom športovom centre + Bordove poradie

	j_{1n}	j_{2n}	j_{3n}	j_{4n}	j_{5n}	j_{6n}	j_{7n}	j_{8n}	Borda poradie	Por. max. PP cesty
x_7	53,02	386,9	7,1	7,2	28,5	20,8	5,55	4,92	4	1
x_1	93,2	717,1	8,4	8,9	44,5	31,2	7,58	6,40	4	4
x_2	116,2	833,4	12,4	13,9	59,6	43,3	9,32	7,66	1	3
x_3	82,6	578,6	11,1	14,4	38,7	28,9	7,93	6,27	5	6
x_4	86	643,6	9,2	10,8	35,5	27,9	7,53	6,70	6	5
x_5	102,2	658,3	10,2	10,8	37,5	24	8,46	6,79	3	1
x_8	86	486,6	5,9	4,7	33	26	6,32	5,20	1	2
x_9	54,3	289,7	8,2	9,3	39,1	26,7	5,76	4,58	3	3
x_6	107,4	792,7	13,1	17	41,7	30	9,32	7,25	2	2
x_{10}	50,4	321,4	9	11,5	38,5	24,5	6,72	4,74	1	4

Po vyhodnotení dostaneme nasledujúce usporiadanie B_x pre $X_m = (x_1, \dots, x_6)$:

$$B_{xm}: \quad x_2 \succ x_6 \succ x_5 \succ x_1 \succ x_3 \succ x_4$$

pre $X_z = (x_7, \dots, x_{10})$:

$$B_{xz}: \quad x_8 \approx x_{10} \succ x_9 \succ x_7$$

Tabuľka č. 4.1.2 Namerané dáta z testovania v lezeckom centre Vertigo + Bordove poradie

	j_{1v}	j_{2v}	j_{3v}	j_{4v}	j_{5v}	j_{6v}	j_{7v}	j_{8v}	j_{9v}	j_{10v}	j_{11v}	j_{12v}	j_{13v}	B_x	*Por. Max . PP*
x_7	20	22	5,5	1,1	1,2	7	17,1	27,5	3	6,1	14,6	11	18	2	1
x_1	15	13	21,5	5,2	9,5	16	36,6	77,5	22,2	32,2	34,5	15	31	2	4
x_2	24,5	26,5	0,25	14,5	18,4	22	46,3	70	10,6	40,3	25,7	27	24	1	3
x_3	2,2	3,5	-5,75	14,6	10,5	19	22,6	60	19,5	42,9	39,5	30	14	3	6
x_4	-11,2	-10,5	-13,5	1,0	1,0	5	35,9	60	0	0	14	10	9	6	5
x_5	14	13	2,5	20,6	22,9	21	40,3	50	5,1	23,3	24,5	25	21	3	1
x_8	26,8	23,5	9,5	13,3	16,1	24	27,7	30	9,2	17,4	8,5	18	13	1	2
x_9	17,5	19,5	10,25	1,9	2,5	6	9,4	17,5	1,2	4,1	14,8	16	11	3	4
x_6	2	3	-2,25	11,6	3,1	12	21,9	40	3,9	16,9	27,9	21	18	5	2
x_{10}	22,5	21,2	-14,5	0,7	0,9	12	17,7	32,5	0	3,4	6,3	15	25	4	3

Po vyhodnotení dostaneme nasledujúce usporiadanie B_x pre $X_m = (x_1, \dots, x_6)$:

$$B_{xm}:\quad x_2 \succ x_1 \succ x_5 \succ x_3 \succ x_6 \succ x_4$$

pre $X_z = (x_7, \dots, x_{10})$:

$$B_{xz}:\quad x_8 \succ x_7 \succ x_9 \succ x_{10}$$

Pri porovnaní výsledkov oboch testovaní mužského súboru zistíme, že poradie sa nám mení v troch prípadoch. U žien túto zmenu poradia evidujeme v dvoch prípadoch. Najskôr je to spôsobené všeobecnejším zameraním testov $J_n = (j_{1n}, \dots, j_{8n})$ oproti tesom $J_v = (j_{1v}, \dots, j_{13v})$. Hodnoteniu preferenčných štruktúr predchádzalo určenie poradia každej x-tej alternatíve v j-tom kritériu, z ktorého je možné vyčítať silnejšiu a slabšiu úroveň výkonu x-tej alternatívy v j-tom kritériu. Poradie získané Bordovou metódou sa okrem dvoch prípadov v súbore X_m a dvoch prípadov v súbore X_z nezhoduje s výsledkami poradia určeného podľa najvyššej dosiahnutej obtiažnosti. Túto skutočnosť možno pripísať okrem iného aj nedostatočnému obsiahnutiu schopností podieľajúcich sa na športovom výkone vo vybraných lezeckých disciplínach.
Okrem určenia poradia zastupujúceho výkon testovaného súboru vo vybraných motorických schopnostiach (testoch), vieme Bordovou metódou komplexnejšie posúdiť zlepšenie, zhoršenie výkonu v sledovanom súbore. Okrem vyššie spomenutého uplatnenia vieme túto metódu využiť pri vyhľadávaní a výbere talentovanej mládeže či už v lezeckých disciplínach, alebo iných športových odvetviach.

<u>*Litvakova metóda*</u>

Nasledujúca metóda tak isto spadá do kategórie metód založených na usporiadaní. Princípom Litvakovej metódy je nájsť minimálny súčet možných permutácií (poradí). Všeobecne, usporiadané poradie kandidáta $X_{z,m}$ označíme $P_{\succ}x_{z,m}$, poradie kandidáta $X_{z,m}$ v j-tom teste Národného športového centra ako $P_{jn}(x_{z,m})$ a lezeckého centra Vertigo ako $P_{jv}(x_{z,m})$. V prvom kroku je potrebné určenie poradia x-teho kanditáta X_z v j-tom teste J_n označeného ako $P_{jn}(x_z)$. V druhom kroku si zvolíme jedno z možných poradí.

K tomuto poradiu následne vypočítame vzťahom $\sum_{j=1}^{n}\left|P_{>}(x_z) - P_{jn}(x_z)\right|$ súčet poradí v j-tom teste. Po sčítaní všetkých súčtov vzťahom $\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left|P_{>}(x_z) - P_{jn}(x_z)\right|$ dostaneme výslednú hodnotu.

Tabuľka č. 4.3.3 udáva konečné poradie súboru žien X_z Litvakovou metódou z testovania v Národnom športovom centre J_n a v lezeckom centre Vertigo J_v.

Tabuľka č. 4.1.3 Konečné poradie súboru žien X_z

X_z	Poradie J_n	Poradie J_v
x_8	1	1
x_9	2	2
x_{10}	3	4
x_7	4	3

Tabuľka č. 4.3.4 udáva konečné poradie súboru mužov X_m Litvakovou metódou z testovania v Národnom športovom centre J_n a v lezeckom centre Vertigo J_v.

Tabuľka č. 4.1.4 Konečné poradie súboru mužov X_m

X_m	Poradie J_n	Poradie J_v
x_1	3	1
x_2	1	2
x_3	6	4
x_4	5	6
x_5	4	3
x_6	2	5

Metóda založená na absolútnych odchýlkach

Túto metódu môžeme zaradiť medzi metódy založené na usporiadaní. Princípom metódy založenej na absolútnych odchýlkach je pomocou postupu 1. a 2. zistiť percentuálne zastúpenie vybraných schopností, ktoré reprezentujú testy z Národného športového centra a lezeckého centra Vertigo. Testovaný súbor mužov a žien sme vyhodnocovali spolu, bez rozdelenia a nie ako to bolo pri Bordovej a Litvakovej metóde.

Využitím postupu (4.1.1)

$$s_j = \sum_{i=1}^{m}\left|P(x_i) - P_j(x_i)\right| \tag{4.1.1}$$

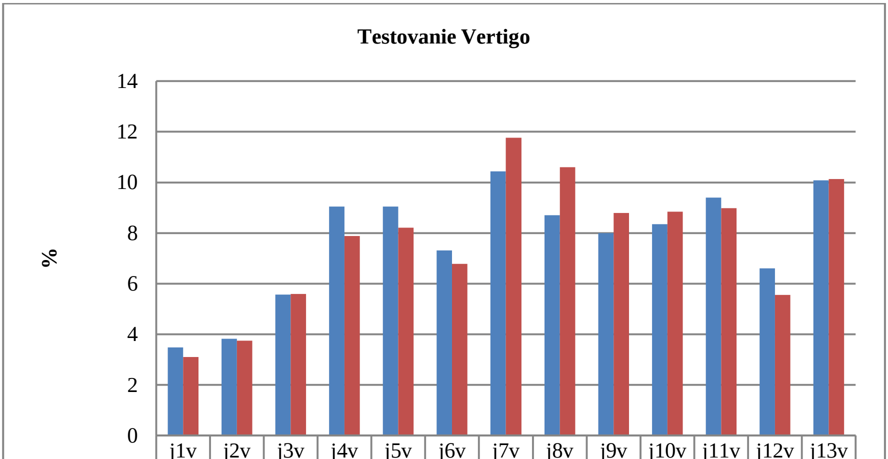
vypočítame súčet rozdielov poradí v absolútnej hodnote, ktorý môžeme vnímať ako závislosť globálu od j-teho testu. Globálne poradie $P(x_i)$ reprezentuje najvyššiu dosiahnutú obtiažnosť vybraného súboru x_i. Lokálne poradia $P_j(x_i)$ je určené podľa nameraných hodnôt v konkrétnom teste. Čím je súčet rozdielov $|P(x_i) - P_j(x_i)|$ menší, tým je miera zhody testu ku globálnemu poradiu zastupujúceho výkonnosť vyššia. Po zavedení najhoršej odchýlky ktorú vypočítame ako $L_m = \frac{m^2}{2}$ pre párny počet (nepárny počet $L_m = \frac{m^2-1}{2}$) sa hodnota súčtu rozdielov s_j v j-tom teste od nej odčíta, čo vyjadríme vzťahom $g_j = L_m - s_j$. Dostávame hodnoty j-teho testu, kedy je najnižší rozdiel najmenej významný.

Postupom (4.1.2)

$$s_{jw} = \sum_{i=1}^{m} |P(x_i) - P_j(x_i)| \times P(x_i) \tag{4.1.2}$$

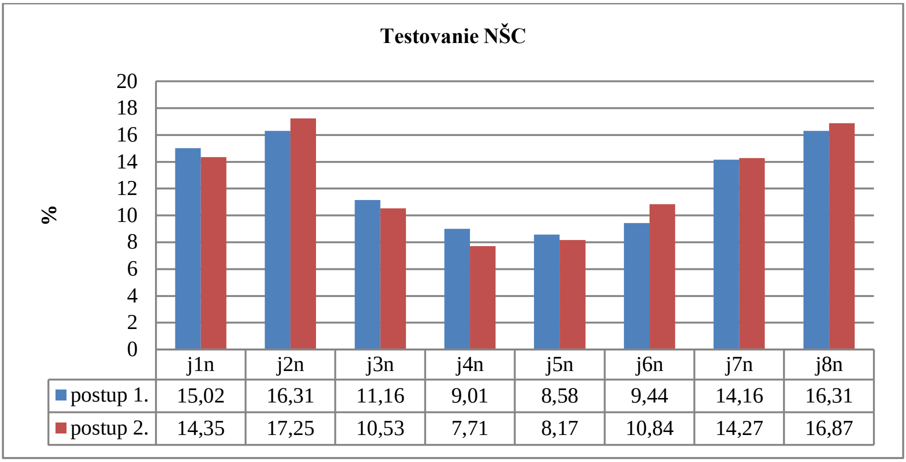
vypočítame rozdiel poradia v absolútnej hodnote, ktorý navyše oproti postupu 1. vynásobíme globálnym poradím $P(x_i)$. Následne sme výsledné hodnoty konkrétnych testov prepočítali na percentá viď. graf 4.1.1 a graf 4.1.2.

Graf č. 4.1.1 Hodnoty získané z výpočtu podľa postupu 1. a 2. pri testovaní v lezeckom centre Vertigo



	j1v	j2v	j3v	j4v	j5v	j6v	j7v	j8v	j9v	j10v	j11v	j12v	j13v
postup 1.	3,48	3,83	5,57	9,05	9,05	7,31	10,44	8,7	8	8,35	9,4	6,6	10,09
postup 2.	3,1	3,75	5,59	7,88	8,21	6,78	11,76	10,6	8,79	8,85	8,98	5,56	10,14

Graf č. 4.1.2 Hodnoty získané z výpočtu podľa postupu 1. a 2. pri testovaní v NŠC



	j1n	j2n	j3n	j4n	j5n	j6n	j7n	j8n
postup 1.	15,02	16,31	11,16	9,01	8,58	9,44	14,16	16,31
postup 2.	14,35	17,25	10,53	7,71	8,17	10,84	14,27	16,87

Výsledky, ktoré sme získali metódou založenou na absolútnych odchýlkach sa vo veľkej miere zhodujú s výsledkami expertného hodnotenia, kde boli medzi faktory limitujúce športový výkon zaradené relatívna sila horných končatín, dynamická sila horných končatín a vytrvalostná sila horných končatín. Z faktorov podmieňujúcich športový výkon sa nám potvrdilo zastúpenie statickej sily a maximálnej sily horných končatín.

Metóda založená na minimalizácií penalizačných funkcií

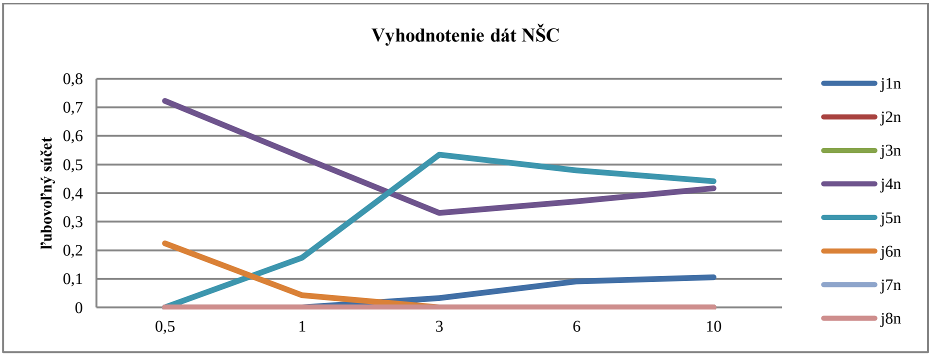
Metóda patrí medzi agregačné funkcie založené na odchýlkach. Minimalizáciou penalizačných funkcií sme sa snažili určiť váhy jednotlivých testov realizovaných v Národnom športovom centre a v lezeckom centre Vertigo. Na vyhodnotenie sme použili softvér mathematica. Testovaný súbor mužov a žien z dôvodu nízkej početnosti tak ako pri použití metódy založenej na absolútnych odchýlkach sme vyhodnotili spoločne. Namerané dáta boli normované podľa rozsahu skóre. Váhy sme určovali dvoma spôsobmi a to, kedy súčet dosahoval ľubovoľnú hodnotu a v druhom prípade bol súčet váh 1. Písmenom P- označuje spôsob merania vzdialenosti, kde sme si za p zvolili ½; 1; 3; 6; 10.

Pomocou vzťahu

$$\min \sum_{i=1}^{m} d^2\left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij} w_j, P_h(x_i)\right) \tag{4.1.3}$$

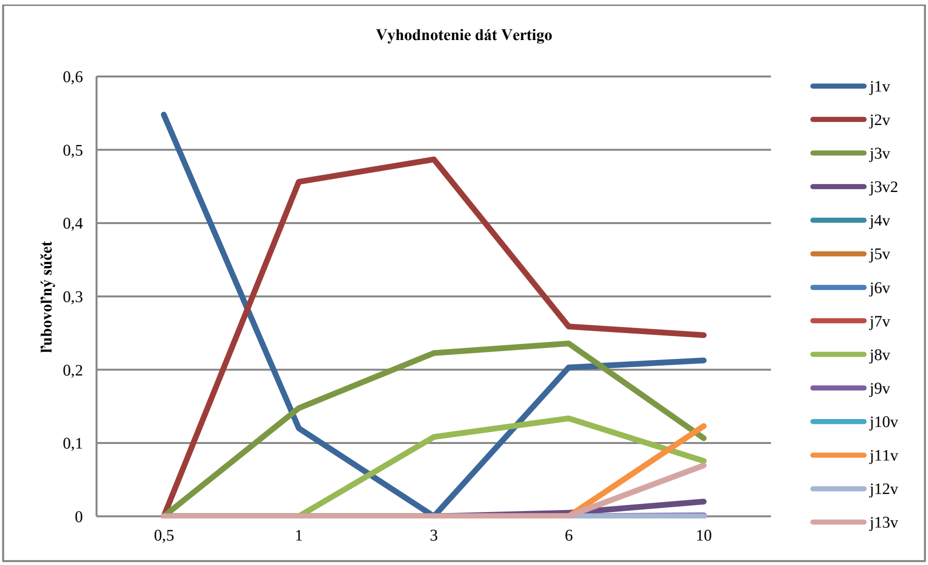
kde x_{ij} je normovaná hodnota x-teho probanda v j-tom teste, w_j- sú váhy neznáme j-teho testu a $P_h(x_i)$ - je normovaná hodnota poradia podľa najvyššej dosiahnutej obtiažnosti, sme vypočítali váhy jednotlivých testov znázornených v nasledujúcich grafoch.

Graf č. 4.1.3 Výsledné váhy vyhodnotené metódou založenou na minimalizácií penalizačných funkcií pri testovaní v NŠC pre ľubovoľný súčet



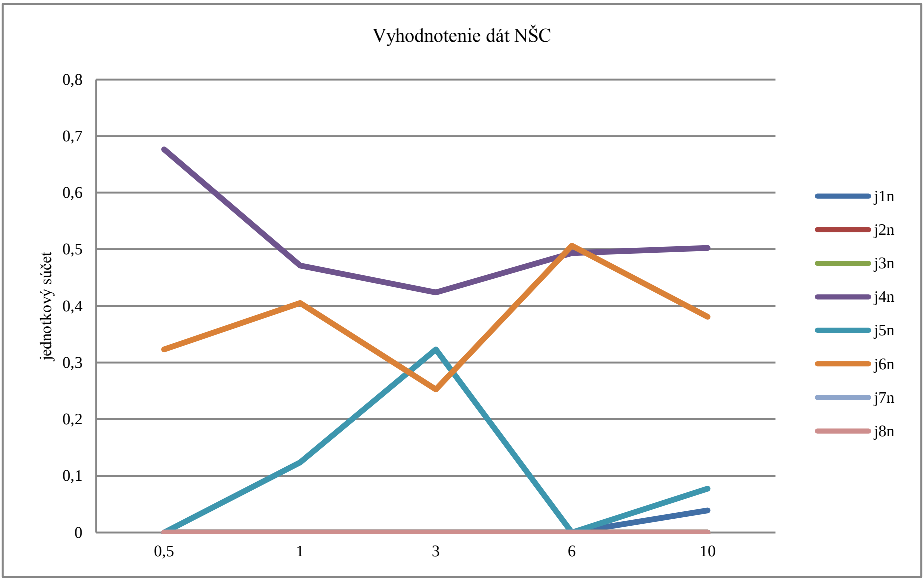
V Grafe č. 4.1.3 sú znázornené váhy testov Národného športového centra vyhodnotené metódou založenou na minimalizácii penalizačných funkcií pre ľubovoľný súčet. Ako najvýznamnejší nám vyšiel test jumper kľuky (j4n), ktorý pri štyroch spôsoboch merania vzdialenosti $p = \frac{1}{2}; 1; 6; 10$ dosiahol najvyššiu váhu $w = 3$ z pomedzi vybraných testov. V jednom prípade merania vzdialenosti $p = 3$, váha dosiahla hodnotu $w = 2$. Významnú úlohu zohrával aj test jumper nôh (j5n), kde pri $p = 3; 6; 10$, dosiahol najvyššiu váhu $w = 3$. Z výsledkov je zrejmé, že zvyšné testy sa použitou metódou nejavia ako významné.

Graf č. 4.1.4 Výsledné váhy vyhodnotené metódou založenou na minimalizácii penalizačných funkcií pri testovaní v lezeckom centre Vertigo pre ľubovoľný súčet



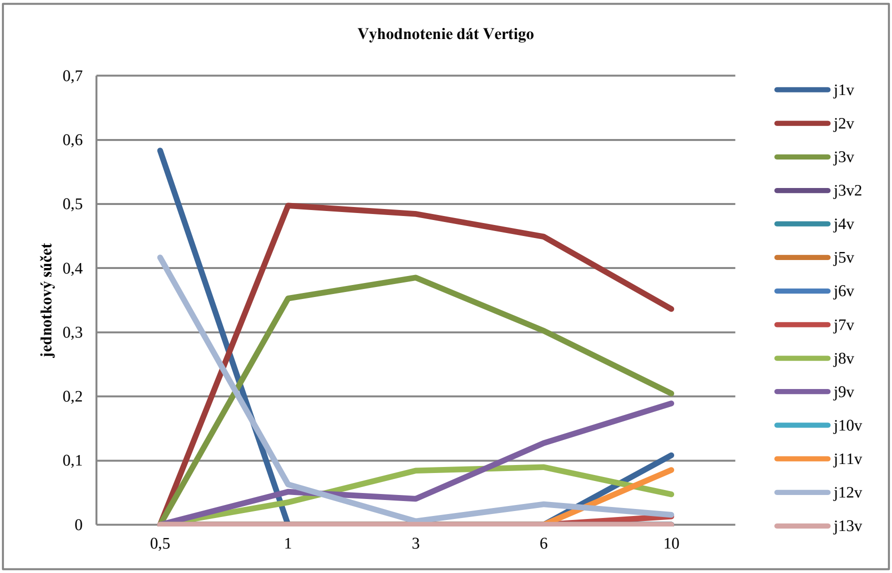
Grafe č. 4.1.4 obsahuje výsledné váhy testov lezeckého centra Vertigo. Pri ľubovoľnom súčte dosiahli najvyššiu váhu $w = 3$ test predklon v sede (j1v) pri $p = \frac{1}{2}; 6; 10$, test predklon v stoji (j2v) pri $p = 1; 3; 6; 10$ a test spojenie prstov rúk za chrbtom PH (j3v) pri $p = 6$. Váhu $w = 2$ sme vypočítali pri testoch vis na prstoch na 2,4cm lište (j8v) pri $p = 6$, test spojenie prstov rúk za chrbtom PH (j3v) pri spôsobe merania vzdialenosti $p = 3; 10$ a teste vis na rotačnom valci - stisk (j11v) pri spôsobe merania vzdialenosti $p = 10$. Zvyšné testy nevykazovali dostatočnú váhu na to aby sme ich pokladali za významné.

Graf č. 4.1.5 Výsledné váhy vyhodnotené metódou založenou na minimalizácii penalizačných funkcií pri testovaní v NŠC pre jednotkový súčet



V grafe č. 4.1.5 sa hodnoty váh oproti ľubovoľnému súčtu mierne upravili. Najvyššiu váhu $w = 3$ dosiahol test jumper kľuky (j4n) pri $p = \frac{1}{2}; 1; 3; 6; 10$. Oproti ľubovoľnému súčtu sa pri $p = \frac{1}{2}; 1$ hodnoty znížili, naopak pri $p = 3; 6; 10$ hodnoty rástli. Ďalšie z testov, ktorých váha dosiahla najvyššiu hodnotu $w = 3$ sú testy jumper nôh (j6n) a to pri $p = 1; 6; 10$ a jumper nôh (j5n) pri $p = 3$. V dvoch prípadoch merania vzdialenosti $p = \frac{1}{2}; 3$ váha testu (j6n) dosiahla hodnotu $w = 2$. Ostatné testy ktoré zastupovali jednotlivé schopnosti podľa použitej metódy nevykazovali dostatočnú váhu.

Graf č. 4.1.6 Výsledné váhy vyhodnotené metódou založenou na minimalizácii penalizačných funkcií pri testovaní v lezeckom centre Vertigo pre jednotkový súčet



Graf č. 4.1.6 obsahuje výsledné váhy testov lezeckého centra Vertigo pri jednotkovom súčte. Najvýraznejšiu váhu $w = 3$ dosiahli testy predklon v sede (j1v) a test modifikované vznosy (j12v) zameraný na dynamickú a vytrvalostnú silu brušného a bedrovo-stehenného svalstva pri $p = \frac{1}{2}$. V oboch prípadoch váha oproti ľubovoľnému súčtu rástla. Test predklon v stoji (j2v) a spoj prstov rúk za chrbtom PH (j3v) výpočtom získali váhu $w = 3$ pri spôsobe merania vzdialenosti $p = 1; 3; 6$ a v prípade testu (j2v) aj pri $p = 10$. Test (j3v) pri poslednom menovanom spôsobe merania vzdialenosti dosiahol váhu $w = 2$. Vo všetkých prípadoch výpočtov na jednotkový súčet s jedinou výnimkou testu j2v pri $p = 3$, hodnoty váh rástli. Tak ako sme spomenuli aj v predchádzajúcich prípadoch, zvyšné testy nevykazovali dostatočnú váhu na to, aby sme ich pokladali za významné.

Pri pohľade na výsledné hodnoty testov použitím metódy založenej na minimalizácii penalizačných funkcií je vidieť výrazný odklon od výsledkov, ktoré sme dosiahli pri použití metódy založenej na absolútnych odchýlkach. Ak tieto výsledky porovnáme s expertným hodnotením a tiež s predošlými prácami, vychádza nám ako vhodnejšia metóda absolútnych odchýliek. Domnievame sa, že jeden z dôvodov, ktorý mohol spôsobiť v rámci výsledkov takú zmenu je počet alternatív a tiež počet hodnotiacich kritérií. Tak ako pri používaných štatistických metódach, aj tu predpokladáme, že je potrebný väčší testovací súbor.

5. ZÁVER

Práca bola zameraná na športové lezenie a na skúmanie zložiek, ktoré sú v rámci štruktúry dôležité pre zvyšovanie úrovne športovej výkonnosti s využitím multikriteriálnych metód a agregačných operátorov.

Pomocou úloh, ktoré sme si zadali na realizáciu cieľa a analýzy výsledkov vieme formulovať nasledujúce závery.

1. Expertným hodnotením motorických ukazovateľov sme určili, ktoré z faktorov môžeme pokladať za limitujúce, podmieňujúce a nepriamo podmieňujúce športový výkon: Pri disciplíne obtiažnostné lezenie boli medzi limitujúce schopnosti zaradené: relatívna sila horných končatín a vytrvalostná sila horných končatín.

Medzi limitujúce schopnosti v disciplíne bouldering patrili: relatívna sila horných končatín a dynamická sila horných končatín.

Za faktory podmieňujúce športový výkon boli expertným hodnotením vybrané v disciplíne obtiažnostné lezenie: relatívna sila chrbtového svalstva, statická sila horných končatín, špeciálna vytrvalosť strednodobá, vytrvalostná sila chrbtového svalstva, maximálna sila horných končatín, špeciálna vytrvalosť v koordinácii, schopnosť silovej pamäti, schopnosť silovej diferenciácie.

V disciplíne bouldering to sú: statická sila horných končatín, vytrvalostná sila horných končatín, špeciálna vytrvalosť krátkodobá, relatívna sila chrbtového svalstva, špeciálna vytrvalosť vo výbušnej sile, schopnosť silovej pamäti, schopnosť silovej diferenciácie, maximálna sila horných končatín, dynamická sila chrbtového svalstva, špeciálna vytrvalosť v koordinácii, maximálna sila chrbtového svalstva.

2. V rámci diagnostiky realizovanej v Národnom športovom centre sme testovanú skupinu podrobili antropometrickému sledovaniu. Testovaný súbor sa vyznačoval stredne vysokou postavou, nízkou hmotnosťou a nízkym percentom telesného tuku. Tieto závery sú v zhode s predchádzajúcimi prácami venujúcimi sa somatickým ukazovateľom športových lezcov.

3. Bordovou a Litvakovou metódou sme chceli poukázať na metódy založené na usporiadaní, respektíve umiestnení, čo je možné využiť pri hodnotení výsledkov testov a komplexnejšom určení poradia skúmaného súboru. Z dlhodobejšieho hľadiska vieme metódami posúdiť zlepšenie a zhoršenie výkonu v sledovanom súbore. Tiež vidíme uplatnenie pri vyhľadávaní a výbere talentovanej mládeže či už v lezeckých disciplínach, alebo iných športových odvetviach.

4. Metóda založená na absolútnych odchýlkach nám čiastočne potvrdila hypotézu H2 o vhodnosti multikriteriálnych metód pri vyhodnotení menej početného súboru. Taktiež sme čiastočne potvrdili hypotézu H3, kde sme navrhnutou metódou percentuálne vyjadrili zastúpenie vybraných schopností na celkový výkon, ktorý bol prezentovaný ako výkonnostné kritérium. Zo schopností zastúpených testovou batériou sa nám ako významné javia výbušná sila a silová vytrvalosť ramenného pletenca, test anaeróbnych schopností zameraný na maximálny silovo-rýchlostný výkon meraný Wingate testom rúk, statická vytrvalostná sila flexorov prstov, maximálna sila flexorov prstov a maximálna sila a svalová vytrvalosť ramenného pletenca. Dosiahnuté výsledky sa zhodujú so závermi prác, ktoré skúmali motorické schopnosti v športovom lezení.

5. Vo výsledkoch metódy založenej na minimalizácii penalizačných funkcií nenachádzame zhodu so schopnosťami vyhodnotenými metódou založenou na absolútnych odchýlkach. Dôvodom podľa nášho predpokladu môže byť nízky počet alternatív v testovanom súbore, zložitosť a variabilita výpočtu. Z tohto dôvodu sa nám pri použití metódy patriacej do agregačných funkcií založených na odchýlkach hypotéza H1, H2 a H3 nepotvrdila.

6. Skúmaním výsledkov testov sledovaného súboru sa nám nepotvrdila hypotéza H4, kde sme sa domnievali, že v jednotlivých testoch motorických schopností nájdeme významné rozdiely vo výkonnosti v disciplíne bouldering a obtiažnostné lezenie.

6. ZHRNUTIE

Začiatok práce je venovaný jednotlivým disciplínam a zložkám, ktoré tvoria štruktúru športového výkonu v športovom lezení. Ďalej sa v práci zaoberáme multikriteriálnymi metódami, konkrétne Bordovou a Litvakovou metódou, ktoré sme využili pri hodnotení výsledkov testov a komplexnejšom určení poradia skúmaného súboru. Z dlhodobejšieho hľadiska vieme spomenutými metódami posúdiť zlepšenie a zhoršenie výkonu v sledovanom súbore. Tiež vidíme uplatnenie pri vyhľadávaní a výbere talentovanej mládeže či už v lezeckých disciplínach, alebo iných športových odvetviach. Jedným z našich výsledkov je vytvorenie metódy založenej na absolútnych odchýlkach, ktorú môžeme zaradiť taktiež medzi multikriteriálne metódy a pomocou ktorej sme určili konkrétne schopnosti podieľajúce sa na športovom výkone. Medzi hlavné prínosy môžeme rátať zavedenie stredných odchýliek (moderate deviation functions) a následnej konštrukcie agregačných funkcií umožňujúcich modelovať rôzne prístupy k jednotlivým vstupom, resp. ku skupinám vstupov. Tiež sem môžeme zaradiť použité agregačné funkcie založené na odchýlkach, konkrétne metódu založenú na minimalizácii penalizačných funkcií.

V oblasti matematiky sme zaviedli konštrukciu agregačných funkcií založenú na odchýlkovych funkciách s veľkým potenciálom pre aplikácie. V tejto oblasti očakávame zaujímavý rozvoj orientovaný na kombinovanie rôznych prístupov k agregovaniu podskupín argumentov s dopadom na globálnu agregáciu.

7. SUAMMARY

The thesis starts with particular disciplines and components which form a structure of a sport performance in sport climbing. The thesis proceeds with multicriteria methods, particularly Bord and Litvak´s methods which we used in evaluation of test results and in more complex determination of the order of examined data collection. In the long run , the named methods can be used to essess improvement and decline of a performance in the surveyed data collection. These methods can also be applied in a choice of talented youth either in climbing disciplines or in other sports. One of our research results is the development of a method based on absolute deviations which can be ranked among multicriteria methods and which was used to determine specific abilities contributing to sport performance. Introduction of moderate deviation functions can be ranked among the main contributions as well as the following construction of aggregation functions enabling to model different approaches to particular entries or group of entries. We can also rank here the used aggregation functions based on deviations, particularly the method based on minimalization of penalization functions.

In the field of mathematics we have introduced construction of aggregation functions based of deviation functions with a great potential for application. In this field we assume an interesting development oriented in combination of various approaches to aggregation of subgroups of arguments with an impact on global aggregation.

LITERATÚRA

1. BAJRAKTAREVIČ, M.: Über die Vergleichbarkeit der mit Gewichtsfunktionen gebildeten Mittelwerte. Studia Math. Hungar. 4, 1969, pp. 3-8

2. BALAŠ, J.: Možnosti ovplivnení zdravotné orientované zdatnosti u mládeže 8-12 let využitím prostředku sportovního lezení. In: KOTLÍK, K.: *Nové tváře ve věde 2004*. Sborník príspevku studentské vědecké konference. Praha: UK FTVS, 2005/a, s. 5-14.

3. BALAŠ, J.: Aktuálne poznatky z fyziológie a (bio)mechaniky sportovního lezení: Možnosti rozvoje telesné zdatnosti mládeže sportovním lezením. In: Rotman, I. et al.: *Bulletin Lekařské komise*

a Spoločnosti horské medicíny 2004-2005: XV. Pelikánův seminář „Aktuální problémy horské medicíny“. Praha: ČHS, 2005/b, s. 21-29

4. BELIAKOV, G., PRADERA, A., CALVO, T.: Aggregation Functions: A Guide for Practitioners, Springer, 2007.

5. CALVO, T., BELIAKOV, G.: Aggregation functions based on penalties. In: *Fuzzy Sets and Systems,* 161 (10), 2010, pp. s. 1420-1436

6. CALVO, T., MESIAR, R., YAGER, R. R.: Quantitative Weights and Aggregation. In: *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 12, no. 1, pp. 62-69, 2004, Journal of General Systems 26 (3), pp. 239{263 (1997)

7. DECKÝ, M., MESIAR, R., STUPŇANOVÁ, A.: Deviation - based aggregarion function. Fuzzy Sets and Systems, 332. 2017 s. 29-36.

8. DECKÝ, M., MESIAR, R., STUPŇANOVÁ, A.: Aggregation Functions Based on Deviation. In: *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Theory and Foundations.* [s.l.]: Springer, 2018, s. 151-159. ISBN 978-3-319-91473-2.

9. FLECK, S. J. et al.: *Prediction of Indoor Climbing Performance in Women Rock Climbers.* The Journal of Strength and Conditioning Research, 18, 2004, č. 1, s. 77-83.

10. GLOWACZ, S., POHL, W.: *Volné lezení.* České Budejovice: KOPP nakladateľstvo, 1999. 128 s. ISBN 80-7232-067-X.

11. GRABISCH M., MARICHAL J. L., MESIAR R., PAP E.: *Aggregation Functions*. Cambridge University Press, Cambridge: 2009.

12. GRANT, S., HASLER, T., DAVIES, C., AITCHISON, T. C., WILSON, J., WHITTAKER, A.: *A comparison of the anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of female elite and recreational climbers and non-climbers.* Journal of Sports Sciences, 19(7), 2001, s. 499–505.

13. GRANT, S., HYNES, V., WHITTAKER, A., AITCHISON, T.: *Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers*. Journal of Sports Sciences, *14*(4), 1996, s. 301–309.

14. GRANT, S., SHIELDS, C., FITZPATRICK, V., MING LOH, W., WHITAKER, A., WATT, I., KAY, J. W.: *Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals.* Journal of Sports Sciences, 21 (8), 2003, s. 621–630.

15. LOSONCZI, L.: General inequalities of non-symetric means. Aequations Math. 9, 1973, pp. 221-235.

16. LOSONCZI, L.: Hölder-type inequalities, in: GI3, 1981, pp. 91-105.

17. NACHBAUER, W.: Étude sur les Caractéristique motrices spécifiques des grimpeurs de haut niveau. In: Dupuy, C.: *Actes du Colloque*. Chamonix: E.N.S.A., 1991. ISBN 2-906411-05-1.

18. PÁLES, Zs.: On homogeneous quasideviation means. Aequationes Mathematicae 36(2-3), 1988, pp. 132-152.

19. RAK, M.: *Zmeny pulzovej frekvencie pri lezení na skale a umelej stene.* Diplomová práca. Bratislava: FTVŠ UK, 1997. 59 s.

20. RIBEIRO, R. A., PEREIRA, R. A. M.: Generalized mixture operators using weighting functions: a comparative study with WA and OWA. European Journal of Operational Research 145, 2003, pp. 329-342.

21. ŠPIRKOVÁ, J.: Induced weighted operators based on dissimilarity functions. Information Sciences 294, 2015, pp. 530-539.

22. ŠABO, I.: *Vplyv silových schopností na športový výkon v lezení na umelých stenách.* Diplomová práca. Bratislava: FTVŠ UK, 2001, 59 s.

23. TEFELNER, R.: *Tréning sportovního lezce.* Brno: Lelekovice - Datis, 1999. 101 s.

24. TEFELNER, R.: *Tréning sportovního lezce II*. Brno: Rock Art, 2012. 351 s. ISBN 2000000332697
25. VAVRÍKOVÁ, L.: *Transitive preference structures and multicriteria decision making.* Dizertačná práca, Bratislava: SvF STU, 2011. 77 s.
26. VOMÁČKO, L., BOŠTÍKOVÁ, S.: *Lezení na umělých stěnách.* 2. vid. Praha: Grada, 2008. 129 s., ISBN 978-80-247-2174-3
27. VOMÁČKO, L., BOŠTÍKOVÁ, S.: *Lezenie na umelých stenách.* Praha: Grada Publishing a.s., 2003. 127 s. ISBN 80-247-0406-4
28. ZAŤKO, J.: *Faktory určujúce športový výkon v skalolezení a zameranie športovej prípravy v horolezectve a skalolezení:* Dizertačná práca. Bratislava: FTVŠ UK, 1985. 78 s.
29. YAGER, R.R., RYBALOV, A.: Understanding the median as a fusion operator. In: International Journal of General Systems 26: 239-263, 1997.

PUBLIKAČNÁ ČINNOSŤ AUTORA

1. DECKÝ, M.: Multikriteriálne vyhodnotenie špecifických testov fyzickej spôsobilosti. In *Advances in architectural, civil and environmental engineering [elektronický zdroj]: 22nd Annual PhD Student Conference. Bratislava SR, 15.11.2012.* Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2012, s. 15--21. ISBN 978-80-227-3853-8.
2. DECKÝ, M.: Vyhodnocovanie kvantitatívnych predpokladov v boulderingu a v obtiažnostnom lezení. In *Advances in architectural, civil and environmental engineering: 24rd Annual PhD Student Conference on Architecture and Construction Engineering, Building Materials, Structural Engineering, Water and Environmental Engineering, Transportation Engineering, Surveying, Geodesy, and Applied Mathematics / elektronický zdroj.* 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014, s. 13--17. ISBN 978-80-227-4301-3.
3. DECKÝ, M., MESIAR, R., STUPŇANOVÁ, A.: Deviation - based aggregarion function. Fuzzy Sets and Systems, 332. 2017 s. 29-36.
4. DECKÝ, M., MESIAR, R., STUPŇANOVÁ, A.: Aggregation Functions Based on Deviation. In: *Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems. Theory and Foundations.* [s.l.]: Springer, 2018, s. 151-159. ISBN 978-3-319-91473-2.
5. DECKÝ, M., SABO, M.: Aplikácia metódy hlavných komponentov (PCA) na špecifické testy určenia športového výkonu v športovom lezení. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering: 23rd Annual PhD student conference. Bratislava, SR, 30. 10. 2013 elektronický zdroj.* Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2013, s. 13--19. ISBN 978-80-227-4102-6.