

Implementácia fuzzy prístupov na riešenie úloh z praxe

RNDr. Alžbeta Michalíková, PhD.

Teze habilitační práce



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Teze habilitační práce

**Implementácia fuzzy prístupov na riešenie úloh
z praxe**

**Implementation of fuzzy approaches to solution of tasks from
practice**

Autor: **RNDr. Alžbeta Michalíková, PhD.**

Studijní obor: Aplikovaná informatika

Zlín, květen 2025

© Alžbeta Michalíková

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **tézy habilitační práce**.
Publikace byla vydána v roce 2025.

Klíčová slova: *fuzzy množiny, intuicionistické fuzzy množiny, medzikriteriálna analýza*

Key words: *fuzzy sets, intuitionistic fuzzy sets, intercriteria analysis*

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ISBN 978-80-7678-324-9

ABSTRAKT

V predloženej práci sme sa zaoberali možnosťami aplikácií zvolených fuzzy prístupov na modelovanie rôznych reálnych situácií. V prvej časti práce sme pomocou fuzzy inferenčného systému typu Takagi-Sugeno klasifikovali drevné huby rodu *Ganoderma* do šiestich druhov na základe ich morfológických znakov. V ďalšej časti práce sme sa zaoberali spracovaním a analýzou obrázkov pneumatík automobilov. Naším cieľom bolo vytvoriť databázu vzorov dezénov pneumatík analýzou obrázkov stiahnutých z internetu. Po stiahnutí obrázkov z internetu sme zistili, že je potrebné rozdeliť ich do rôznych tried podľa toho, v ktorej časti obrázka je najlepšie viditeľný vzor dezénu pneumatiky. Navrhli sme tri rôzne prístupy, využívajúce tzv. intuicionistické fuzzy množiny, na klasifikáciu pneumatík do vopred zvolených tried. Pre jednu z tried pneumatík sme navrhli metódu na lokalizáciu vzoru dezénu pneumatiky pomocou fuzzy inferenčného systému typu Takagi-Sugeno. V nasledujúcej časti práce sme sa venovali vlastnostiam a aplikáciám tzv. medzikriteriálnej analýzy. Táto metóda bola navrhnutá na určovanie vzájomného vzťahu medzi dvojicami kritérií. V práci sme predstavili algoritmus, pomocou ktorého je možné určiť ľubovoľnú k -ticu kritérií s porovnateľnými vzájomnými vzťahmi. Následne sme medzikriteriálnu analýzu použili na posúdenie vplyvu liečby, navrhnutej našimi kolegami, na priebeh tzv. Bechterevovho ochorenia. V záverečnej časti práce sme sa zamerali na opis najnovšieho výskumu autorky, ktorý bol venovaný analýze vzájomných vzťahov medzi dopravou, meteorologickými podmienkami a emisiami v meste Praha. Aj pri tomto výskume boli použité fuzzy inferenčné systémy typu Takagi-Sugeno, ktoré boli optimalizované využitím adaptívnych neuro-fuzzy inferenčných systémov.

ABSTRACT

Following work presents various applications of fuzzy approaches used in solution of practical tasks. In the first part of the work, we used a fuzzy inference system of the Takagi-Sugeno type to classify wood-decaying macrofungi of the *Ganoderma* genus into six species based on their morphological features. In the next part of the work, we dealt with image processing of automobile tires. Our task was to create a database of tire tread patterns for processing of images downloaded from the various online sources. We have proposed three different approaches, using the intuitionistic fuzzy sets, for classification of tires into preselected classes. For one of the classes, we proposed a method based on locating a tire tread pattern using Takagi-Sugeno fuzzy inference system. In the following part of the work, we focused on the properties and applications of intercriteria analysis. This method was designed to determine the relationship between the pairs of criteria. In this work, we introduced an algorithm that can be used to determine any k -tuples of criteria with comparable relationships. Subsequently, we used intercriteria analysis to assess the impact of the proposed treatment on the patients with Bechterev's disease. In the last part of the work, we focused on the description of the author's latest research, which is devoted to the analysis of mutual relations between traffic, meteorological conditions and emissions in the city of Prague. Takagi-Sugeno fuzzy inference systems were also used in this research, which were optimized by using adaptive neuro-fuzzy inference systems.

OBSAH

ABSTRAKT	3
ABSTRACT	4
OBSAH	5
ÚVOD	6
1. MODELOVANIE FUZZY POJMOV	7
1.1. OD KLASICKEJ LOGIKY K FUZZY LOGIKE	7
1.2. FUZZY ODVODZOVANIE	7
1.3. FUZZY ODVODZOVANIE ZALOŽENÉ NA TAKAGIHO-SUGENOVOM FIS	9
2. MOŽNOSTI ROZŠÍRENIA TEÓRIE FUZZY MNOŽÍN	10
2.1. INTUICIONISTICKÉ FUZZY MNOŽINY	10
2.2. MEDZIKRITERIÁLNA ANALÝZA	13
3. VÝSLEDKY VÝSKUMU	16
3.1. KLASIFIKÁCIA DREVNÝCH HÚB POMOCOU FIS TYPU TAKAGI-SUGENO	16
3.2. ANALÝZA OBRÁZKOV PNEUMATÍK POMOCOU ZVOLENÝCH METÓD	18
3.2.1 Analýza obrázkov pneumatík pomocou FIS typu Takagi-Sugeno	18
3.2.2 Klasifikácia obrázkov pneumatík pomocou funkcií definovaných na <i>IF</i> -množinách	21
3.3. POUŽITIE MEDZIKRITERIÁLNEJ ANALÝZY PRI ANALÝZE ÚDAJOV	25
3.3.1 Použitie medzikriteriálnej analýzy na nájdenie <i>k</i> -tic kritérií s porovnateľnými vzájomnými vzťahmi	25
3.3.2 Použitie medzikriteriálnej analýzy na posúdenie rôznych vplyvov na progres Bechtereovho ochorenia	26
3.4. ANALÝZA ÚDAJOV O INTELIGENTNÝCH MESTÁCH POMOCOU RÔZNYCH FUZZY PRÍSTUPOV	27
3.4.1 Modelovanie úrovne služieb v doprave pomocou FIS typu Takagi-Sugeno	27
3.4.2 Modelovanie vplyvu dopravy a meteorologických podmienok na úroveň emisií pomocou FIS typu Takagi-Sugeno	29
4. PRÍNOS PRÁCE PRE VEDU A PRAX	32
ZÁVER	34
ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	36
ZOZNAM OBRÁZKOV	39
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	40
PUBLIKAČNÉ AKTIVITY AUTORKY	41
ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORKY	42

ÚVOD

S pojmom umelá inteligencia sa v dnešnom svete stretol pravdepodobne každý človek. Úlohou vedcov je navrhnuť také systémy, pomocou ktorých by bolo možné napodobňovať myslenie človeka a pomáhali by mu nielen pri riešení zložitých a nebezpečných úloh, ale boli by uplatniteľné aj v každodennom živote, pričom by uľahčovali život a výrazne šetrili rôzne energetické zdroje.

Umelú inteligenciu môžeme rozdeliť na dve hlavné podoblasti – klasickú umelú inteligenciu a výpočtovú inteligenciu (pozri [1]). Autorka práce zamerala svoj výskum na tvorbu aplikácií s využitím prostriedkov z oblasti výpočtovej inteligencie. Hlavnými piliermi výpočtovej inteligencie sú evolučné algoritmy, umelé neurónové siete a fuzzy množiny. Prvé dva prístupy napodobňujú procesy, ktoré sa vyskytujú v živej prírode. Fuzzy množiny sú vytvorené tak, aby umožňovali pracovať s pojmami bežnej reči.

Fuzzy množiny boli navrhnuté ako systémy, ktoré sú schopné pracovať s nepresnými, neurčitými údajmi. Práve takéto nepresné pojmy používame v každodennom živote. Na rozdiel od evolučných algoritmov (kde sa pri výpočtoch používajú náhodné procesy) a umelých neurónových sietí (kde konečný výsledok je ovplyvnený náhodným rozdelením údajov na tréningové a testovacie údaje, ďalej zvoleným typom umelej neurónovej siete, počtom skrytých vrstiev siete a počtom neurónov v nich), systémy obsahujúce fuzzy množiny sú charakteristické dobre zrozumiteľnou bázou pravidiel. Báza pravidiel je zvyčajne vytvorená pomocou tzv. *AK – POTOM* pravidiel (angl. *IF – THEN* rules), ktoré obsahujú pojmy bežnej reči. Pri tvorbe fuzzy pravidiel sa na vstupe, a v mnohých prípadoch aj na výstupe, zadávajú tzv. jazykové premenné. Ich hodnoty sú určované pomocou fuzzy množín. V prípade, ak na výstupe pravidla nie je použitá jazyková premenná, používa sa na definovanie výstupu polynómická funkcia. Báza pravidiel je buď vytvorená na základe skúseností expertov, alebo je odvodená z výsledkov získaných analýzou veľkého množstva údajov.

Cieľom tejto práce je poukázať na možnosti aplikácií viacerých fuzzy prístupov na analýzu údajov z rôznych oblastí reálneho života. Všetky výsledky prezentované v tejto práci boli publikované v priebehu posledných rokov. Dva články boli publikované v karentovaných časopisoch, ďalšie štyri články boli publikované v medzinárodných časopisoch, ostatné výstupy boli publikované v konferenčných zborníkoch konferencií. Dva z uvedených článkov vznikli v spoluautorstve s vedcami z bulharskej akadémie vied. Podobne dva príspevky vznikli v spoluautorstve s vedcami z ČVUT v Prahe. Všetky uvedené výsledky predstavujú prínos z pohľadu využitia fuzzy prístupov a aplikovanej informatiky v rôznych oblastiach života.

1. MODELOVANIE FUZZY POJMOV

V tejto časti práce uvádzame definície základných matematických štruktúr, ktoré sú neskôr použité v práci. Viac informácií o rôznych fuzzy štruktúrach a fuzzy prístupoch môže čitateľ získať napríklad z učebnice Fuzzy množiny v informatike (pozri [2]).

1.1. Od klasickej logiky k fuzzy logike

V každodennom živote veľmi často používame nepresné vyjadrenia, ktoré z matematického pohľadu nie sú jasne ohraničené. Môžeme ich nazvať vágnymi alebo fuzzy pojmami. Prvú publikovanú myšlienku matematického modelovania fuzzy pojmov nachádzame v článku Lotfi A. Zadeha z roku 1965 [3].

Definícia:

Nech množina A je podmnožinou univerza \mathbb{X} . Potom funkciu μ_A , ktorá každému prvku z univerza \mathbb{X} priradí hodnotu z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, nazývame *funkciou príslušnosti fuzzy množiny A* a píšeme $\mu_A: \mathbb{X} \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$. *Fuzzy množina* je jednoznačne daná pomocou jej funkcie príslušnosti.

Definícia:

Hodnotu $\mu_A(x)$, ktorú priradí daná funkcia príslušnosti fuzzy množiny A danému prvku x nazývame *stupňom príslušnosti prvku x do fuzzy množiny A* .

1.2. Fuzzy odvodzovanie

Ako už bolo spomenuté, fuzzy množiny boli navrhnuté na analyzovanie údajov vyjadrených pomocou vágnych pojmov. Fuzzy odvodzovanie je proces, v ktorom odvodzujeme závery na základe informácií, ktoré obsahujú vágne pojmy. Pri fuzzy odvodzovaní sa používajú fuzzy pravidlá typu *AK-POTOM*.

Vo fuzzy logike používame *zovšeobecnený modus ponens*, ktorý môžeme vyjadriť pomocou nasledujúcej schémy

Pravidlo	<i>AK X je A, POTOM Y je B.</i>
Pozorovanie	<i>X je A'.</i>
Záver	<i>Y je B'.</i>

pričom požadujeme, aby bolo splnené pravidlo

$$AK A' = A, POTOM B' = B.$$

Nech je dané pravidlo

$$P: AK X \text{ je } A, \text{ POTOM } Y \text{ je } B.$$

Neznáme X a Y nazývame **jazykové (lingvistické) premenné**. Hodnoty **jazykových premenných** sú v prezentovanom pravidle označené písmenami A a B . Jazykové premenné, ktoré sa nachádzajú v predpoklade pravidla, označujeme ako **vstupné jazykové premenné**. Jazykové premenné, ktoré sa nachádzajú v dôsledku pravidla, sa nazývajú **výstupné jazykové premenné**. Pri opise určitého problému najprv zvolíme vhodné vstupné a výstupné jazykové premenné. Následne im priradíme hodnoty jazykových premenných. Hodnoty vstupných jazykových premenných sa pri fuzzy odvodzovaní vždy vyjadrujú pomocou fuzzy množín. Hodnoty výstupných jazykových premenných sa pri fuzzy odvodzovaní vyjadrujú pomocou fuzzy množín, alebo pomocou vhodných funkcií.

Pomocou operátorov **fuzzy konjunkcie**, **fuzzy disjunkcie** a **fuzzy negácie** môžeme vytvárať **zložitejšie pravidlá**. Napríklad, ak na spojenie viacerých vstupných jazykových premenných použijeme konjunkciu, dostaneme pravidlo

$$P: AK X_1 \text{ je } A_1 \text{ A } X_2 \text{ je } A_2 \text{ A } \dots \text{ A } X_n \text{ je } A_n, \text{ POTOM } Y \text{ je } B.$$

S výberom operátorov konjunkcie, disjunkcie a negácie pri tvorbe pravidiel súvisí aj určovanie tzv. **váhy pravidla**, ktorá ovplyvňuje, akou mierou sa výstup konkrétneho pravidla premietne do celkového výstupu systému.

Definícia:

Nech je dané pravidlo

$$P: AK X_1 \text{ je } A_1 \text{ A } X_2 \text{ je } A_2 \text{ A } \dots \text{ A } X_n \text{ je } A_n, \text{ POTOM } Y \text{ je } B.$$

Nech hodnoty vstupných jazykových premenných A_1, A_2, \dots, A_n sú vyjadrené pomocou fuzzy množín $\mu_{A_1}, \mu_{A_2}, \dots, \mu_{A_n}$ a nech hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n predstavujú ostré pozorovania vstupných jazykových premenných A_1, A_2, \dots, A_n , potom **váhu** tohto **pravidla** určíme pomocou vzorca

$$w = T(w_1, w_2, \dots, w_n)$$

kde $w_i = \mu_{A_i}(x_i)$ pre každé $i = 1, 2, \dots, n$ a T je zvolená t-norma.

Pri opise určitého systému väčšinou používame viacero pravidiel. Tieto pravidlá vytvárajú tzv. **bázu pravidiel** \mathcal{B} . Píšeme

$$\mathcal{B} = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}.$$

1.3. Fuzzy odvodzovanie založené na Takagiho-Sugenovom FIS

Autormi Takagiho-Sugenovho FIS sú T. Takagi, M. Sugeno a G. Kang [4]. Navrhli ju v roku 1985. Dnes sa používa vo viacerých vedných oblastiach, pričom pravidlá môžu byť navrhnuté expertom z danej oblasti, alebo môžu byť použité postupy, ktoré boli vyvinuté na automatické generovanie pravidiel z nameraných údajov.

Definícia:

Nech X_1, X_2, \dots, X_n sú **vstupné jazykové premenné**, ktorých hodnoty sú **vyjadrené pomocou fuzzy množín** $A_{1j}, A_{2j}, \dots, A_{nj}$, $j = 1, 2, \dots, k$. Nech x_1, x_2, \dots, x_n sú ostré pozorovania vstupných jazykových premenných a nech je daná báza pravidiel $\mathcal{B} = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$, pričom pravidlo P_j má tvar

$$P_j: \text{AK } X_1 \text{ je } A_{1j} \text{ A } X_2 \text{ je } A_{2j} \text{ A } \dots \text{ A } X_n \text{ je } A_{nj}, \text{ POTOM } Y \text{ je } f_j.$$

Potom, ak každá **výstupná jazyková premenná** Y je vyjadrená pomocou **funkcie** f_j , ktorá je **polynomická**, tak fuzzy inferenčný systém určený týmito pravidlami, nazývame **Takagiho-Sugenov fuzzy inferenčný systém**.

Definícia:

Nech báza pravidiel \mathcal{B} obsahuje k pravidiel. Nech každé pravidlo P_j , $j = 1, 2, \dots, k$, priradí danej n -tici vstupných hodnôt $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ výstupnú hodnotu y_j , potom **celkový výstup premennej** $y_{\mathbf{x}}$ dostaneme zo vzorca

$$y_{\mathbf{x}} = \frac{\sum_{j=1}^k w_j y_j}{\sum_{j=1}^k w_j}$$

kde w_j je váha j -teho pravidla.

Pri analýze veľkého množstva údajov sa na návrh a optimalizáciu fuzzy pravidiel používajú aj umelé neurónové siete. Napríklad je možné použiť systém s názvom ANFIS (angl. adaptive neural fuzzy inference systems), ktorý kombinuje výhody umelých neurónových sietí a fuzzy množín (pozri [5]).

2. MOŽNOSTI ROZŠÍRENIA TEÓRIE FUZZY MNOŽÍN

Teória fuzzy množín si veľmi rýchlo po svojom vzniku našla uplatnenie vo viacerých vedných oblastiach, aj v zariadeniach každodenného života. Postupne sa ukázalo, že ani fuzzy množiny nezachytávajú neurčitost' s takou mierou, aby boli dostačujúce pre všeobecné použitie. Z tohto dôvodu boli navrhnuté rôzne rozšírenia fuzzy množín.

2.1. Intuicionistické fuzzy množiny

Myšlienka o intuicionistických fuzzy množinách (angl. intuitionistic fuzzy sets, *IF*-sets) bola prvý krát publikovaná v roku 1983 bulharským matematikom K. T. Atanassovom [6]. Motiváciou pre zavedenie takéhoto typu množín bol fakt, že myslenie človeka nepoužíva striktnú negáciu určitého výroku, a teda ak človek nejakému prvku x priradí do zvolenej množiny A hodnotu príslušnosti $\mu_A(x)$, potom z toho automaticky nevyplýva, že daný prvok nepatrí do množiny A so stupňom príslušnosti rovným hodnote $1 - \mu_A(x)$. To viedlo k myšlienke zaviesť novú funkciu, tzv. funkciu nepríslušnosti ν_A .

Definícia:

Množinu A , ktorá je zadaná pomocou usporiadanej trojice

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x)), x \in \mathbb{X}\},$$

pričom $\forall x \in \mathbb{X}: 0 \leq \mu_A(x) \leq 1, 0 \leq \nu_A(x) \leq 1$ a $0 \leq \mu_A(x) + \nu_A(x) \leq 1$, nazývame **intuicionistická fuzzy množina**. Funkciu μ_A nazývame **funkciou príslušnosti intuicionistickej fuzzy množiny A** , funkciu ν_A nazývame **funkciou nepríslušnosti intuicionistickej fuzzy množiny A** .

Definícia:

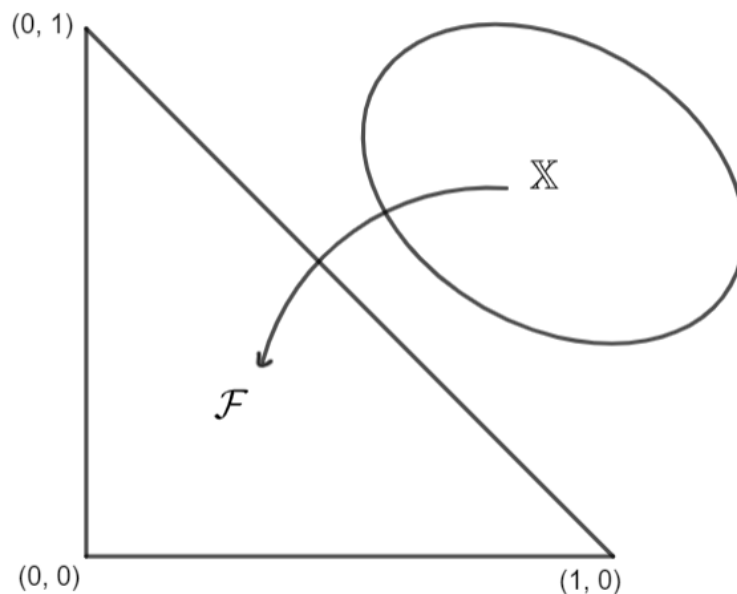
Nech A je intuicionistická fuzzy množina. Funkcia π_A , pre ktorú platí

$$\pi_A(x) = 1 - (\mu_A(x) + \nu_A(x))$$

pre každé x z univerza \mathbb{X} , sa nazýva **mierou neurčitosti intuicionistickej fuzzy množiny A** .

V súčasnej literatúre sa namiesto označenia **intuicionistické fuzzy množiny** používa označenie **IF-množiny** (angl. *IF*-sets), nakoľko po publikovaní poznatkov o intuicionistických fuzzy množinách v zahraničnej literatúre (napr. [7]), došlo k búrlivej diskusii, prečo by sa mali práve tieto množiny považovať za intuicionistické [8].

IF -množiny je možné interpretovať geometricky. Z pohľadu výsledkov uvedených v tejto práci je zaujímavá interpretácia IF -množín, ktorá je zobrazená na obrázku 2.1. Táto interpretácia znázorňuje, že každému prvku z univerza \mathbb{X} je priradená dvojica hodnôt z trojuholníka určeného bodmi $(0, 0)$, $(0, 1)$ a $(1, 0)$. Pre naše potreby budeme tento trojuholník nazývať IF -trojuholník.



Obr. 2.1: Druhá geometrická interpretácia IF -množín

Definícia:

Nech sú dané dve IF -množiny $A = (\mu_A(x), \nu_A(x))$, $B = (\mu_B(x), \nu_B(x))$, potom platí

$$A = B \Leftrightarrow \mu_A(x) = \mu_B(x) \wedge \nu_A(x) = \nu_B(x),$$

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x) \wedge \nu_A(x) \geq \nu_B(x).$$

Na porovnávanie prvkov z určitej množiny môžeme použiť mieru podobnosti (angl. similarity measure), resp. mieru vzdialenosti (angl. distance function) (pozri napríklad [9]). My sme použili obidve spomenuté miery, uvedieme preto ich základné vlastnosti a následne konkrétne funkcie, ktoré sme použili.

Definícia:

Funkcia $S: \mathcal{F} \times \mathcal{F} \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$ sa nazýva **mierou podobnosti na IF -množinách**, ak pre ľubovoľné tri prvky $A, B, C \in \mathcal{F}$ platí

1. $S(A, B) = S(B, A)$,
2. $S(A, B) = 1 \Leftrightarrow A = B$,
3. ak $A \subseteq B \subseteq C$, potom $S(A, C) \leq S(A, B)$ a zároveň $S(A, C) \leq S(B, C)$.

Definícia:

Nech $\mathbb{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ a nech $A, B \in \mathcal{F}$, potom **kosínusová miera podobnosti medzi dvomi IF-množinami** je daná predpisom

$$S_C(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)\mu_B(x_i) + \nu_A(x_i)\nu_B(x_i)}{\sqrt{\mu_A^2(x_i) + \nu_A^2(x_i)} \sqrt{\mu_B^2(x_i) + \nu_B^2(x_i)}}.$$

Definícia:

Funkcia $d: \mathcal{F} \times \mathcal{F} \rightarrow \langle 0, \infty \rangle$ sa nazýva **mierou vzdialenosti na IF-množinách**, ak pre ľubovoľné tri prvky $A, B, C \in \mathcal{F}$ platí

1. $d(A, B) = d(B, A)$,
2. $d(A, B) = 0 \Leftrightarrow A = B$,
3. ak $A \subseteq B \subseteq C$, potom $d(A, C) \geq d(A, B)$ a zároveň $d(A, C) \geq d(B, C)$.

Definícia:

Nech $\mathbb{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ a nech $A, B \in \mathcal{F}$. Potom **normalizovaná hammingovská miera vzdialenosti na IF-množinách** je daná predpisom

$$d_H(A, B) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (|\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i)| + |\nu_A(x_i) - \nu_B(x_i)| + |\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i)|)$$

a **normalizovaná euklidovská miera vzdialenosti na IF-množinách** je daná predpisom

$$d_E(A, B) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \left((\mu_A(x_i) - \mu_B(x_i))^2 + (\nu_A(x_i) - \nu_B(x_i))^2 + (\pi_A(x_i) - \pi_B(x_i))^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

V našom výskume použili ešte jednu funkciu, ktorá bola v pôvodnej publikácii (pozri [10]) označená ako funkcia *Sim*.

Definícia:

Nech $A = (\mu_A(x), \nu_A(x), \pi_A(x))$, $B = (\mu_B(x), \nu_B(x), \pi_B(x))$, $B^C = (\nu_B(x), \mu_B(x), \pi_B(x))$. Nech d je miera vzdialenosti definovaná na množine \mathcal{F} , potom **funkcia Sim** je daná vzorcom

$$Sim(A, B) = \frac{d(A, B)}{d(A, B^C)}.$$

Táto funkcia je navrhnutá tak, že určuje, či je nejaká IF -množina A viac podobná IF -množine B , alebo jej doplnku B^C .

Veta:

Pre funkciu Sim platí

1. $0 \leq Sim(A, B) \leq \infty$,
2. $Sim(A, B) = 0$ práve vtedy, keď sú A a B identické,
3. $Sim(A, B) = 1$ práve vtedy, keď je A rovnako vzdialená od B aj B^C ,
4. $Sim(A, B) > 1$ práve vtedy, keď je A viac podobná B^C , ako B ,
5. $Sim(A, B^C) = 0$ práve vtedy, keď sú identické množiny A a B^C . V tomto prípade $Sim(A, B) \rightarrow \infty$.

2.2. Medzikriteriálna analýza

Medzikriteriálna analýza je pomerne nová oblasť matematiky, ktorá bola navrhnutá bulharskými vedcami v roku 2014 [11]. Motiváciou pre jej vznik bola snaha o zjednodušenie rozhodovania pri problémoch, ktoré obsahujú viacero objektov ohodnotených viacerými kritériami. Konkrétne sa jednalo o rozhodovanie v priemysle, kde riešenie takéhoto rozhodovania vykazuje nielen vysokú zložitosť ale aj vysoké náklady na meranie jednotlivých kritérií. Úlohou medzikriteriálnej analýzy je nájsť závislosť medzi jednotlivými kritériami a ohodnotiť túto závislosť. Ak existujú dostatočne silné závislosti medzi jednotlivými kritériami, potom je možné preskočiť merania aspoň časti objektov oproti nákladovo nevýhodným kritériám. Na nájdenie závislosti medzi jednotlivými kritériami sú použité vlastnosti IF -množín a tzv. indexových matic. Koncept indexových matic bol predstavený v roku 1984 (pozri [12]).

Definícia:

Nech \mathcal{J} predstavuje množinu pevne zvolených indexov. Indexovou maticou s indexami K a L , pričom $K, L \subseteq \mathcal{J}$, rozumieme matematickú štruktúru

$$\left[K, L, \{a_{k_p, l_q}\} \right] = \begin{array}{c|cccc} & l_1 & l_2 & \dots & l_n \\ \hline k_1 & a_{k_1, l_1} & a_{k_1, l_2} & \dots & a_{k_1, l_n} \\ k_2 & a_{k_2, l_1} & a_{k_2, l_2} & \dots & a_{k_2, l_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_m & a_{k_m, l_1} & a_{k_m, l_2} & \dots & a_{k_m, l_n} \end{array}$$

kde $K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$, $L = \{l_1, l_2, \dots, l_n\}$ a pre $1 \leq p \leq m$ a $1 \leq q \leq n$ platí, že prvky a_{k_p, l_q} sú reálne čísla, alebo iné typy objektov, ktoré sú porovnateľné vzhľadom na zvolenú reláciu so všetkými ostatnými prvkami, vyskytujúcimi sa v indexovej matici.

Pri použití medzikriteriálnej analýzy je potrebné na začiatku výpočtu zadať dvojdimenziálnu maticu, ktorá obsahuje ohodnotenie n objektov pomocou m kritérií. Je dôležité, aby zadaná matica bola úplná, t. j. bez akýchkoľvek chýbajúcich údajov.

Algoritmus medzikriteriálnej analýzy:

1. *Zadanie vstupov:*

Označme indexovú maticu písmenom \mathbb{M} , ako prvky množiny K uvažujeme kritériá C_1, C_2, \dots, C_m a ako prvky množiny L uvažujeme objekty O_1, O_2, \dots, O_n .

$$\mathbb{M} = \begin{array}{c|cccccc} & O_1 & \dots & O_k & \dots & O_l & \dots & O_n \\ \hline C_1 & a_{C_1, O_1} & \dots & a_{C_1, O_k} & \dots & a_{C_1, O_l} & \dots & a_{C_1, O_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_i & a_{C_i, O_1} & \dots & a_{C_i, O_k} & \dots & a_{C_i, O_l} & \dots & a_{C_i, O_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_j & a_{C_j, O_1} & \dots & a_{C_j, O_k} & \dots & a_{C_j, O_l} & \dots & a_{C_j, O_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_m & a_{C_m, O_1} & \dots & a_{C_m, O_k} & \dots & a_{C_m, O_l} & \dots & a_{C_m, O_n} \end{array}$$

Potom pre $1 \leq i \leq m$ a $1 \leq k \leq n$ prvok a_{C_i, O_k} predstavuje ohodnotenie k -teho objektu i -tým kritériom.

2. *Výpočet hodnôt prvkov matice \mathbb{M}^**

Nech \mathcal{R} je relácia, pomocou ktorej vieme porovnať prvok a_{C_i, O_k} so všetkými ostatnými objektami vyskytujúcimi sa v matici \mathbb{M} . Nech $\bar{\mathcal{R}}$ je duálna relácia k relácii \mathcal{R} v tom zmysle, že ak je splnená relácia \mathcal{R} , tak nie je splnená relácia $\bar{\mathcal{R}}$ a naopak. Súčet tých prípadov, kedy sú $\mathcal{R}(a_{C_i, O_k}, a_{C_i, O_l})$ a $\mathcal{R}(a_{C_j, O_k}, a_{C_j, O_l})$ splnené zároveň, označme $S_{i,j}^\mu$. Podobne, súčet tých prípadov, kedy sú zároveň splnené relácie $\mathcal{R}(a_{C_i, O_k}, a_{C_i, O_l})$ a $\bar{\mathcal{R}}(a_{C_j, O_k}, a_{C_j, O_l})$, označme $S_{i,j}^\nu$. Keďže sa jedná o párové porovnávanie kritérií vzhľadom na všetky možné objekty, tak platí

$$0 \leq S_{i,j}^\mu + S_{i,j}^\nu \leq \frac{n(n-1)}{2}.$$

Pre každé i, j , také, že $1 \leq i \leq j \leq m$ a pre $n \geq 2$ definujeme funkcie μ_{C_i, C_j} a ν_{C_i, C_j} nasledovne

$$\mu_{C_i, C_j} = \frac{2S_{i,j}^\mu}{n(n-1)} \quad \text{a} \quad \nu_{C_i, C_j} = \frac{2S_{i,j}^\nu}{n(n-1)}.$$

Dvojica $\langle \mu_{C_i, C_j}, \nu_{C_i, C_j} \rangle$ predstavuje intuicionistickú fuzzy dvojicu, ktorá ohodnocuje vzťah medzi kritériami C_i a C_j . Získavame maticu \mathbb{M}^* typu $n \times n$

$$\mathbb{M}^* = \begin{array}{c|ccc} & C_1 & \dots & C_m \\ \hline C_1 & \langle \mu_{C_1, C_1}, \nu_{C_1, C_1} \rangle & \dots & \langle \mu_{C_1, C_m}, \nu_{C_1, C_m} \rangle \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_m & \langle \mu_{C_m, C_1}, \nu_{C_m, C_1} \rangle & \dots & \langle \mu_{C_m, C_m}, \nu_{C_m, C_m} \rangle \end{array}$$

3. Určenie vzájomnej závislosti medzi kritériami C_i a C_j

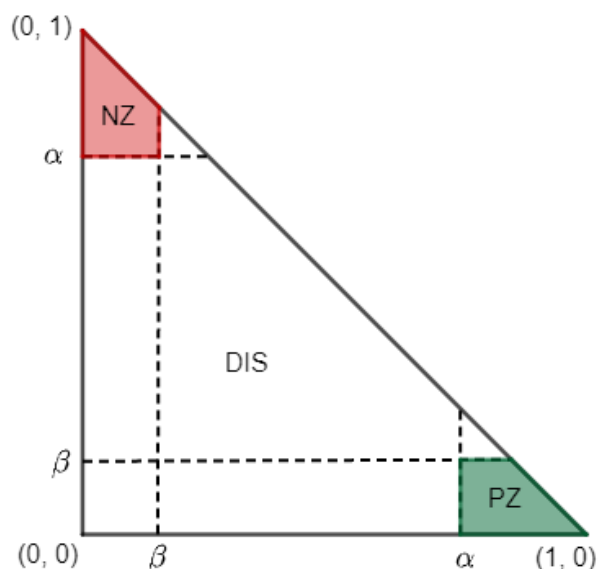
Na určenie vzájomnej závislosti môžeme použiť *IF*-trojuholník. Pri určovaní závislosti medzi porovnávanými kritériami, rozhoduje umiestnenie hodnôt μ_{C_i, C_j} a ν_{C_i, C_j} vzhľadom na body $(0, 1)$ a $(1, 0)$ *IF*-trojuholníka.

Definícia:

Nech $\alpha, \beta \in \langle 0, 1 \rangle$ sú prahové hodnoty, voči ktorým porovnáваме hodnoty μ_{C_i, C_j} a ν_{C_i, C_j} . Potom povieme, že kritériá C_i a C_j dosiahli

- **pozitívnu zhodu**, ak $\mu_{C_i, C_j} > \alpha$ a $\nu_{C_i, C_j} < \beta$;
- **negatívnu zhodu**, ak $\mu_{C_i, C_j} < \beta$ a $\nu_{C_i, C_j} > \alpha$;
- **disonanciu**, v ostatných prípadoch.

Uvedenú situáciu ilustruje obrázok 2.2. V prípade, že dva kritériá C_i a C_j vykazujú pozitívnu zhodu pri vhodne zvolených hodnotách α a β , je možné posudzovanie objektov jedným z pravidiel C_i , alebo C_j vynechať.



Obr. 2.2: Vzájomný vzťah dvoch kritérií vzhľadom na voľbu hodnôt α a β
PZ - pozitívna zhoda, *NZ* - negatívna zhoda, *DIS* - disonancia

3. VÝSLEDKY VÝSKUMU

V tejto kapitole uvidíme stručný opis výsledkov vybraných publikácií autorky práce. Každý z uvedených výsledkov už bol publikovaný. Poradie zaradenia jednotlivých publikácií bolo zvolené nie podľa roku vydania, ale podľa tém, ktorých sa práce týkajú a metód použitých v jednotlivých výskumoch.

3.1. Klasifikácia drevných húb pomocou FIS typu Takagi-Sugeno

Jednou z možností použitia FIS typu Takagi-Sugeno je klasifikácia objektov do vopred zvolených tried. V tejto časti predstavíme výsledky klasifikácie drevných húb rodu *Ganoderma*. V strednej Európe je známy výskyt šiestich druhov húb rodu *Ganoderma*. Jednotlivé druhy majú veľa znakov spoločných a preto sa na ich klasifikáciu používa molekulárna identifikácia, pri ktorej sa používa najmä metóda sekvenovania DNA v tzv. ITS oblasti. Sekvenovanie DNA je náročné nielen na čas, ale hlavne na finančné náklady. Zbierka húb rodu *Ganoderma*, ktorou v čase tvorby príspevku disponovala Katedra biológie a ekológie FPV UMB, obsahovala 72 položiek. Všetky huby z tejto zbierky boli analyzované pomocou DNA sekvenovania a preto bolo známe jednoznačné zaradenie jednotlivých položiek do konkrétnych druhov.

Na klasifikáciu húb bol zvolený FIS typu Takagi-Sugeno s použitím konštantného výstupu a programovacie prostredie MATLAB. V literatúre je možné nájsť informácie o morfológických znakoch jednotlivých húb rodu *Ganoderma*. My sme pozorovali 13 morfológických znakov, pričom pre každý znak je možné určiť niekoľko jeho variácií (napríklad pre farbu hlúbika sa v literatúre uvádza šesť odtieňov farieb, ktoré sa vyskytujú v prírode). Preto sme na vstupe systému použili 13 premenných a každú premennú sme opísali pomocou takého počtu fuzzy množín, aké množstvo variácií sa vyskytovalo pri danom znaku. Ako výstup systému bola zvolená konštanta z intervalu $(0, 1)$, pričom každému zo šiestich druhov rodu *Ganoderma* sme priradili jednu konkrétnu hodnotu z tohto intervalu (pozri tabuľku 3.1). Následne sme navrhli fuzzy pravidlá. Pravidlá sme najprv vytvárali ako kombinácie vstupných premenných tak, ako sú jednotlivé charakteristiky húb uvádzané v literatúre. V zbierke húb sa vyskytli aj také plodnice, ktoré nespĺňali všetky vlastnosti uvádzané v literatúre. Z tohto dôvodu bola báza pravidiel doplnená o pravidlá, ktoré obsahovali charakteristiky druhov vyskytujúcich sa v našej zbierke. Pravidlám, ktoré opisovali znaky, ktoré nie sú uvedené v literatúre, sme priradili nižšiu váhu. Takto navrhnutý Takagiho-Sugenov FIS obsahoval celkovo 243 fuzzy pravidiel. Uvádžame ukážku jedného pravidla v anglickom jazyku tak, ako bolo použité v navrhnutom systéme.

IF (Basidiospore length without exosporium is middle) and (Basidiospore width without exosporium is middle) and (Basidiocarp without stem) and (Pileus surface is crusty) and (Pileus surface without resinous crust) and (Pileus shape is unguulate) and (Pileus surface colour/surface pattern is fawn brown/buff/clay brown/green brown/olive brown) and (Stem colour none) and (Tube layer colour is nut brown/chestnut brown/clay brown) and (Context colour is orange brown/ochre brown) and (Basidiocarp weight is not very light in weight) THEN (Species is *Ganoderma adspersum*) (power weight 1).

Pred vyhodnotením výsledkov je nutné uviesť, že prvé dve vstupné hodnoty (dĺžka a šírka spór s exospóriom) nebolo možné vždy určiť, nakoľko nie všetky plodnice húb z našej zbierky mali vytvorené spóry. Z tohto dôvodu sme vytvorili dva FIS typu Takagi-Sugeno. Pôvodný FIS sme označili Sugeno1, kým FIS, ktorý neobsahoval informácie o rozmeroch spór, sme označili ako Sugeno2. Keď sme do systému zadali konkrétne pozorované vstupy jednej plodnice, výstupom FIS bolo číslo z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Nakoľko jednotlivým druhom rodu *Ganoderma* sme pri vytváraní pravidiel pridelili konkrétnu hodnotu, bolo dôležité rozhodnúť, ktoré hodnoty výstupu predstavujú ktorý druh. Zvolili sme prirodzený spôsob, t. j. plodnica bola zaradená do toho druhu *Ganodermy*, ku ktorému bola hodnota výstupu najbližšie (pozri tabuľku 3.1).

Tabuľka 3.1 Zaradenie húb rodu *Ganoderma* podľa hodnoty výstupu systému

Druh rodu <i>Ganoderma</i>	Priradená hodnota výstupu	Intervaly neobsahujúce kritickú hodnotu
<i>G. adspersum</i>	1.0	(0.9, 1.0]
<i>G. applanatum</i>	0.8	(0.7, 0.9)
<i>G. carnosum</i>	0.6	(0.5, 0.7)
<i>G. lucidum</i>	0.4	(0.3, 0.5)
<i>G. pfeifferi</i>	0.2	(0.1, 0.3)
<i>G. resinaceum</i>	0.0	[0.0, 0.1)

V prípade, že získaná hodnota výstupu bola rovnako vzdialená od dvoch rôznych stanovených hodnôt, nebolo možné zaradiť danú plodnicu do správneho druhu. Tieto hraničné hodnoty boli nazvané ako kritické hodnoty a boli využité na určenie tých plodníc, pri ktorých je potrebné na jednoznačnú klasifikáciu použiť metódu sekvenovania DNA.

Získali sme nasledovné výsledky. Použitím FIS Sugeno2 bolo analyzovaných všetkých 72 plodníc. Z uvažovaných plodníc pätnástim plodniciam bola priradená kritická hodnota. Ostatné plodnice boli správne klasifikované

s úspešnosťou 96.61%. Nakoľko pri 31 plodniciach boli známe rozmery spór, v druhom kroku sme plodnice, ktoré mali vytvorené spóry, klasifikovali pomocou FIS Sugeno1 a ostatné plodnice sme klasifikovali pomocou FIS Sugeno2. Pri použití tohto prístupu na všetkých 72 plodníc, bola kritická hodnota priradená jedenástim plodniciam. Ostatné plodnice boli správne klasifikované s úspešnosťou 96.83%.

Jednou z výhod použitia takéhoto prístupu je výrazné zníženie počtu plodníc, ktoré je potrebné analyzovať finančne náročnou molekulárnou metódou sekvenovania DNA. Pri použití tohto prístupu je nutné sekvenovať len plodnice tých húb, ktorým bola priradená na výstupe tzv. kritická hodnota. V našom prípade bola, z uvedeného počtu 72 plodníc, priradená kritická hodnota 11 plodniciam.

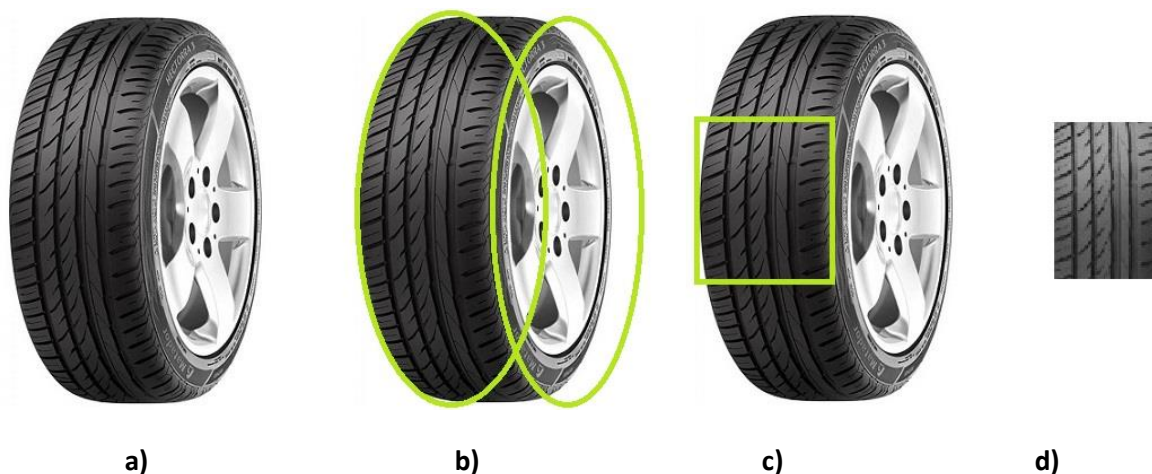
Výsledky prezentovaného výskumu boli publikované v článku „Can wood-decaying urban macrofungi be identified by using fuzzy interference system? An example in Central European Ganoderma species“ v karentovanom časopise „Scientific Reports“ v roku 2021 (pozri [13]).

3.2. Analýza obrázkov pneumatík pomocou zvolených metód

V tejto časti práce predstavíme výsledky, ktoré vznikli pri riešení projektu APVV pod názvom „Automatizované spracovávanie trasologických objektov“. V našom výskume sme sa zamerali na získanie obrázkov odtlačkov pneumatík sťahovaním obrázkov pneumatík z rôznych webových stránok a ich následným analyzovaním. Na sťahovanie obrázkov sme navrhli konkrétnu aplikáciu (pozri [14]). Následne sme obrázky analyzovali tak, aby bolo možné vytvoriť databázu vzorov dezénu jednotlivých pneumatík.

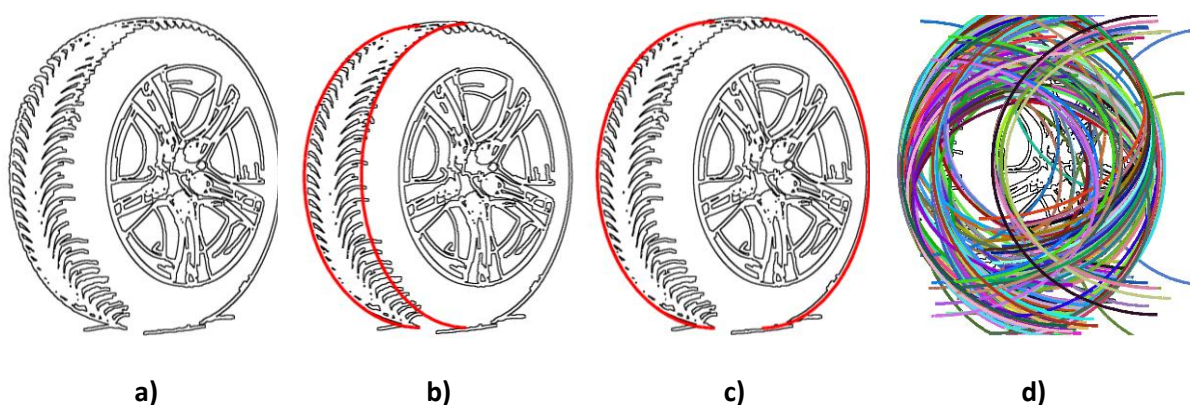
3.2.1 Analýza obrázkov pneumatík pomocou FIS typu Takagi-Sugeno

Väčšina obrázkov pneumatík, ktoré boli stiahnuté z internetu, boli obrázky celej pneumatiky otočenej mierne vľavo, alebo vpravo. My sme si na analýzu zvolili obrázky, na ktorých je dezén pneumatiky umiestnený pri ľavom okraji obrázka (pozri obrázok 3.1 a)). V takomto prípade je vzor dezénu pneumatiky dobre viditeľný v ľavej strednej časti obrázka. Táto myšlienka bola motiváciou na vytvorenie programu, pomocou ktorého by bolo možné ohraničiť vzor dezénu pneumatiky pomocou dvoch elíps (obrázok 3.1 b)) a následne, ďalšou analýzou, by bolo možné získať kvalitný vzor dezénu pneumatiky (obrázok 3.1 d)).



Obr. 3.1: Postup získania vzoru dezénu pneumatiky

Na nájdenie uvedených elíps sme použili tzv. Houghovu transformáciu (angl. hough transform), ktorá sa vo všeobecnosti používa na nájdenie jednoduchých kriviek v obrázkoch (pozri napr. [15], [16]). Vzhľadom na to, že sme chceli ohraničiť vzor dezénu pneumatiky, ktorý sa nachádzal na ľavom okraji pneumatiky (pozri obrázok 3.2 a)), neuvažovali sme celé elipsy, ale len tzv. polelipsy (pozri obrázok 3.2 b)). Pre ďalšie potreby označme nepoužitú časť elipsy pojmom doplnková polelipsa. Pri experimentoch sme zistili, že je náročné určiť polelipsu, ktorá opisuje vnútornú hranu dezénu. Ak pri celej pneumatike, ktorej dezén je umiestnený na ľavej strane obrázka, použijeme doplnkovú polelipsu k polelipse, ktorá ohraničuje pravý okraj pneumatiky (pozri obrázok 3.2 c)), tak táto polelipsa pomerne dobre určuje vnútornú hranu dezénu pneumatiky (pozri obrázok 3.2 b)). Výsledkom použitia Houghovej transformácie bolo v priemere 5 miliónov polelips na jeden obrázok (pozri obrázok 3.2 d)), z ktorých bolo potrebné vybrať polelipsy ohraničujúce dezén pneumatiky.



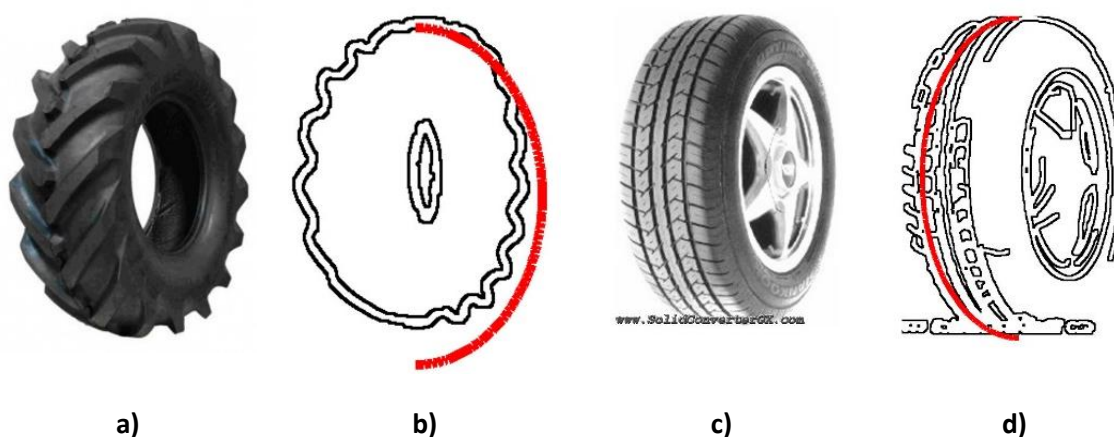
Obr. 3.2: Ohraničenie dezénu pneumatiky pomocou polelips
 a) obrázok pneumatiky po spracovaní Cannyho hranovým detektorom,
 b) ohraničenie dezénu pneumatiky polelipsami, c) ohraničenie pravého a ľavého okraja pneumatiky polelipsami, d) polelipsy získané použitím Houghovej transformácie

Túto časť úlohy sme sa rozhodli riešiť použitím FIS typu Takagi-Sugeno s konštantným výstupom. Ako vstupné jazykové premenné boli použité štyri premenné (poloha vedľajšieho bodu polelipsy vzhľadom na prvý rozmer obrázka, umiestnenie stredu polelipsy vzhľadom na druhý rozmer obrázka, hodnota akumulátora pre danú polelipsu, dĺžka vedľajšej poloosi polelipsy vzhľadom na prvý rozmer obrázka). Výstup FIS predstavoval vhodnosť získanej polelipsy na určenie hranice dezénu pneumatiky. Na výstupe FIS boli uvažované štyri možné výstupné hodnoty (nevhodná polelipsa, skôr nevhodná polelipsa, skôr vhodná polelipsa, vhodná polelipsa). Následne bolo vytvorených 36 pravidiel.

V nasledujúcej schéme opäť uvádzame ukážku jedného z použitých pravidiel.

IF (Xvalue is low) and (Yvalue is middle) and (Accumulator value is high) and (Semi major axis is long) THEN (Ellipse is suitable) (power weight 1).

Pri experimentálnych pokusoch bolo analyzovaných 315 obrázkov pneumatík. Pre každú pneumatiku sme vybrali 10 najvyššie ohodnotených polelips a vykreslili sme ich do príslušných obrázkov pneumatík. Ohodnotenie získaných výsledkov bolo vykonávané vizuálne. Ak sa získané polelipsy prekrývali s pravým, alebo ľavým okrajom pneumatiky, bol výsledok považovaný za správny. Pri takejto analýze obrázkov pneumatík sme dosiahli úspešnosť 89%. Neúspešnosť niektorých výsledkov zapríčinili hlavne dva faktory. Prvým faktorom bolo, že boli nesprávne určené okraje tých pneumatík, ktoré nie je možné opísať pomocou polelips (pozri obrázok 3.3 a)). Druhým faktorom bolo nevhodné osvetlenie obrázkov pneumatík (pozri obrázok 3.3 c)), čo zapríčinilo nízky počet zachytených bodov na okraji pneumatiky a tým aj nízku hodnotu akumulátora pre polelipsy vyskytujúce sa na okraji pneumatiky.

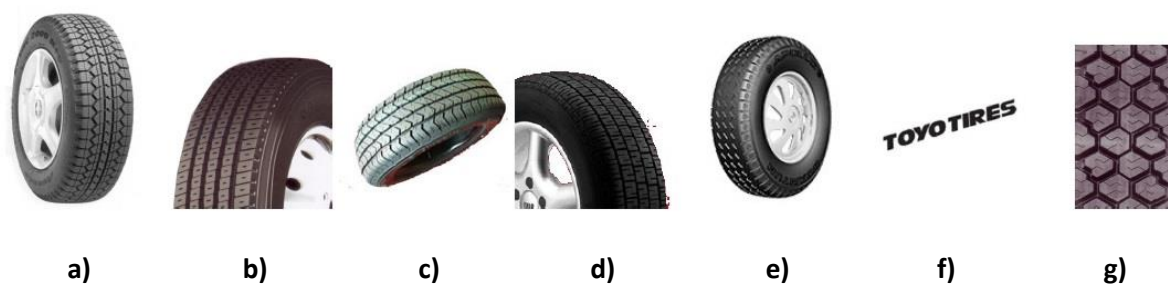


Obr. 3.3: Ukážky nesprávne určených okrajov pneumatík pomocou polelips
 a) okraj pneumatiky nie je možné opísať pomocou polelipsy, b) najlepšie vyhodnotená získaná polelipsa, c) nevhodne osvetlený obrázok pneumatiky, d) najlepšie vyhodnotená získaná polelipsa

Výsledky tohto výskumu boli prezentované na konferencii „Flexible Query Answering Systems 2015“ a boli publikované v roku 2016 v „Advances in Intelligent Systems and Computing - Springer series books“ pod názvom „A tire tread pattern detection based on fuzzy logic“ (pozri [17]).

3.2.2 Klasifikácia obrázkov pneumatík pomocou funkcií definovaných na *IF*-množinách

Napriek tomu, že veľké množstvo stiahnutých obrázkov obsahovalo obrázky celej pneumatiky, medzi stiahnutými obrázkami sa vyskytovali aj iné typy zobrazenia pneumatík. V našom výskume sme uvažovali sedem rôznych typov zobrazenia pneumatík (pozri obrázok 3.4). S typom zobrazenia pneumatiky súvisí umiestnenie tej časti vzoru dezénu pneumatiky, ktorú je následne najvhodnejšie analyzovať. Doplňme, že sme uvažovali aj triedu obrázkov, ktorá neobsahovala pneumatiky, ale obsahovala napríklad názov výrobcu pneumatík, alebo obrázok reprezentujúci daného výrobcu. Pre takéto obrázky sme vytvorili samostatnú triedu, ktorá je na obrázku 3.4 označená písmenom f).



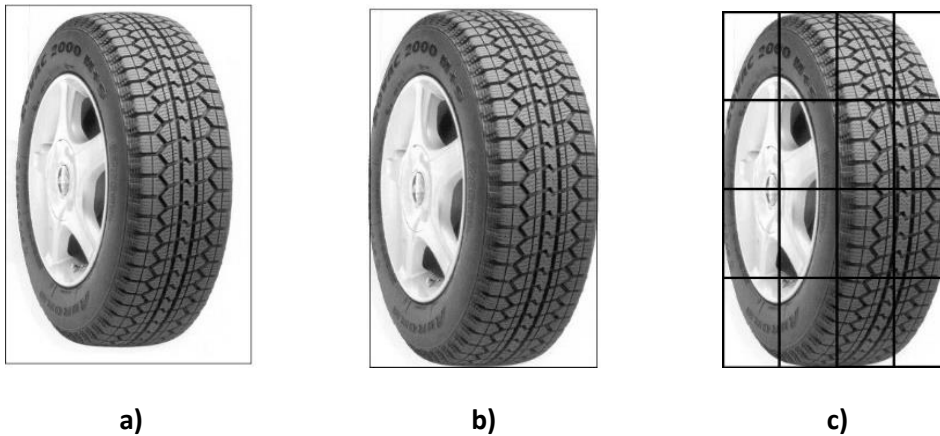
Obr. 3.4: Rozdelenie obrázkov pneumatík do siedmich tried

Algoritmus klasifikácie obrázkov pneumatík:

1. Predspracovanie obrázkov pneumatík.

Použili sme jednoduchú myšlienku, že obrázky, ktoré zobrazujú celú pneumatiku majú všetky rohy obrázka bielej, resp. svetlej farby. Naopak, ak je na obrázku znázornená polovica pneumatiky, potom v dvoch rohoch obrázka prevažujú tmavé pixely nad svetlými. Obrázok sme upravili pomocou nasledovných krokov

- Odstránenie bielych pixelov vyskytujúcich sa na jednotlivých stranách obrázka (pozri obrázok 3.5 b)).
- Konvertovanie obrázka do čierneho-bielej farby.
- Rozdelenie obrázka na 16 častí (pozri obrázok 3.5 c)).
- Zápis obrázka pomocou 16-súradnicového vektora, pričom každá súradnica vektora predstavuje pomer počtu bielych pixelov k počtu všetkých pixelov v danej časti obrázka.



*Obr. 3.5: Predspracovanie obrázka pneumatiky
 a) pôvodný obrázok, b) odstránenie bielych pixelov vyskytujúcich sa po stranách obrázka, c) rozdelenie obrázka na 16 častí*

2. *Predspracovanie získaných vektorov.*

Z každej triedy obrázkov vybrali tri obrázky, ktoré predstavovali vzorové obrázky danej triedy. Získali sme 21 vzorových obrázkov opísaných pomocou 16-súradnicových vektorov. Každú súradnicu vektora sme normalizovali a následne sme pre každú súradnicu novovzniknutých vektorov určili jej stupeň príslušnosti a stupeň nepríslušnosti do každej triedy pomocou vážených sigmoidálnych funkcií. Na záver sme pre každú triedu stanovili jej reprezentanta, ktorého súradnice boli získané ako aritmetické priemery hodnôt tých troch vzoriek, ktoré patrili do spoločnej triedy.

3. *Klasifikácia obrázkov pneumatík.*

Túto časť algoritmu možno opísať nasledujúcou postupnosťou krokov

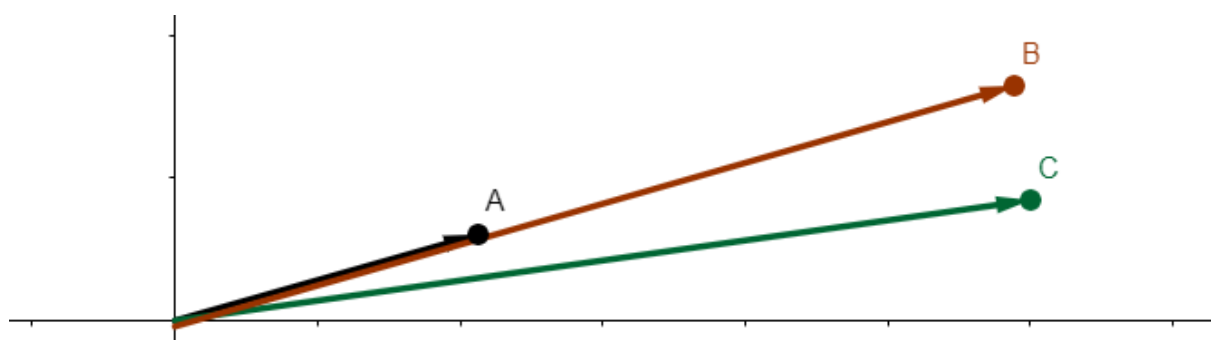
- a) Načítanie nového obrázka.
- b) Úprava obrázka pomocou prvého kroku algoritmu - Predspracovanie obrázkov pneumatík na 16-súradnicový vektor.
- c) Výpočet hodnôt funkcie príslušnosti a funkcie nepríslušnosti pre každú súradnicu získaného vektora pomocou druhého kroku algoritmu - Predspracovanie získaných vektorov.
- d) Zaradenie obrázka do príslušnej triedy na základe zvolenej funkcie definovanej na IF -množinách.

Klasifikácia obrázkov pneumatík pomocou funkcií definovaných na IF -množinách - prvý prístup

V prvom prístupe nás zaujímalo, s reprezentantom ktorej triedy je novo načítaný obrázok najviac podobný. Na určenie miery podobnosti sme použili niekoľko mier podobnosti definovaných na IF -množinách. Najlepšie výsledky sme získali pri použití kosínusovej miery podobnosti medzi dvomi

IF-množinami. Pri použití 326 obrázkov bola dosiahnutá úspešnosť klasifikácie 90.8%. Viac informácií o tomto prístupe je možné nájsť v článku „Intuitionistic fuzzy sets and their use in image classification“, ktorý bol publikovaný v roku 2019 v časopise „Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets“ (pozri [18]).

V klasickom prípade kosínusová miera podobnosti určuje uhol medzi dvomi vektormi. Pri jej použití nastáva situácia, že body, ktoré ležia na vektoroch určených tým istým smerom, sú vyhodnotené ako totožné, pozri obrázok 3.6. V klasickom prípade, ak nastane takáto situácia, je vhodnejšie použiť namiesto miery podobnosti nejakú mieru vzdialenosti medzi dvomi bodmi.



Obr. 3.6: Vzájomná podobnosť bodov pri použití kosínusovej miery podobnosti
Pozn.: Body A a B sú vyhodnotené ako totožné; viac podobné sú body B a C.

Klasifikácia obrázkov pneumatík pomocou funkcií definovaných na IF-množinách - druhý prístup

Pri štúdiu literatúry sme našli článok, v ktorom autori odporúčali namiesto miery vzdialenosti dvoch *IF*-množín použiť tzv. *Sim* funkciu (pozri časť 2.3). Obrázok bol zaradený do tej triedy, kde hodnota funkcie *Sim* dosiahla najnižšiu hodnotu. V tomto výskume sme využili tie isté obrázky, ako pri využití prvého prístupu. Došlo k zlepšeniu výsledkov, dosiahli sme úspešnosť 91.1%.

Výsledky tohto výskumu boli publikované v článku „Classification of images by using distance functions defined on intuitionistic fuzzy sets“, ktorý bol prezentovaný v roku 2019 na konferencii „IWIFSGN 2019“ (IWIFSGN – angl. skratka pre „International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets“) a následne publikovaný v roku 2021 v „Advances in Intelligent Systems and Computing - Springer Series Books“ (pozri [19]).

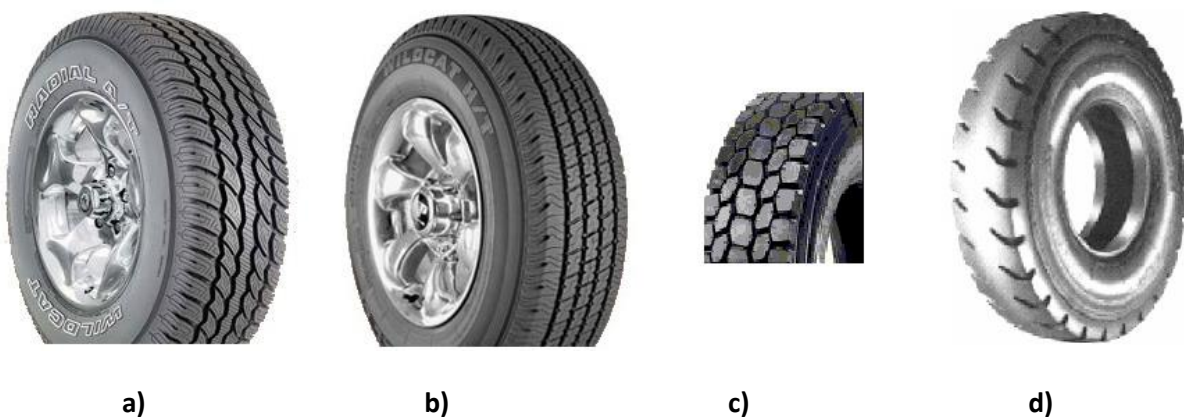
Klasifikácia obrázkov pneumatík pomocou funkcií definovaných na IF-množinách - tretí prístup

V pôvodnom článku o funkcii *Sim* (pozri [10]) bol doplnok k *IF*-množine $B = (\mu_B(x), \nu_B(x))$ definovaný pomocou vzťahu $B^C = (\nu_B(x), \mu_B(x))$. V publikácii [20] bol prezentovaný zoznam 53 *IF*-negácií. Použitím každej z nich

bolo možné vytvoriť iný doplnok k IF -množine B . Pretože sme chceli dosiahnuť väčšiu odchýlku úspešnosti metódy pri použití rôznych typov doplnkov k IF -množine B , doplnili sme pôvodný súbor obrázkov, ktorý obsahoval 326, o ďalších 24 obrázkov, ktoré patrili medzi tie, ktoré mali funkcie použité v predchádzajúcich dvoch prístupov problém zaradiť. Najlepšia úspešnosť klasifikácie (84.6%) bola dosiahnutá použitím doplnku $B^C = (v_B(x), \mu_B(x)\mu_B(x) + \mu_B(x)v_B(x))$, naopak najhoršia úspešnosť klasifikácie (64%) bola dosiahnutá pri použití doplnku $B^C = \left(\frac{2v_B(x)}{3}, \frac{2\mu_B(x)+1}{3}\right)$. Výsledky získané pomocou štandardného doplnku, t. j. $B^C = (v_B(x), \mu_B(x))$ predstavovali strednú úspešnosť (78.6%) v porovnaní s najlepším a najhorším výsledkom klasifikácie.

Všetky výsledky získané použitím prístupu uvedeného v tejto časti práce, ako aj porovnanie percentuálnej úspešnosti pri použití jednotlivých IF -negácií je možné nájsť v publikácii „Intuitionistic fuzzy negations and their use in image classification“, ktorá bola publikovaná v roku 2020 v časopise „Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets“ (pozri [21]).

Pri kontrole neúspešne klasifikovaných údajov sme zistili, že neúspech ich klasifikácie bol pri všetkých troch prístupoch spôsobený dvomi základnými faktormi. Prvý faktor – obrázok obsahoval časť pneumatiky, ktorú nie je možné jednoznačne zaradiť do jednej z dvoch tried. Napríklad obrázok 3.7 a) bol vo všetkých troch prístupoch zaradený do prvej triedy, kým obrázok 3.7 b) bol zaradený do štvrtej triedy. Podobne obrázok 3.7 c) bol zaradený do siedmej triedy, kým ak by tento obrázok zaraďoval človek, pravdepodobne by ho zaradil do druhej triedy. Druhým faktorom bolo zlé osvetlenie obrázka pneumatiky, čo spôsobovalo zaradenie do zlej triedy. Napríklad obrázok 3.7 d) bol zaradený do prvej triedy, ale v skutočnosti mal byť zaradený do triedy číslo päť.



Obr. 3.7: Ukážky nesprávne zaradených obrázkov pneumatík
a) obrázok zaradený do prvej triedy, b) obrázok zaradený do štvrtej triedy,
c) obrázok zaradený do siedmej triedy, d) obrázok zaradený do prvej triedy

3.3. Použitie medzikriteriálnej analýzy pri analýze údajov

V tejto časti práce uvidíme výsledky časti výskumu, venujúce sa použitiu medzikriteriálnej analýzy. Úlohou medzikriteriálnej analýzy je nájsť závislosti medzi jednotlivými kritériami a ohodnotiť tieto závislosti. Ak existujú dostatočne silné závislosti medzi jednotlivými kritériami, potom je možné vynechať merania aspoň časti objektov oproti nákladovo nevýhodným kritériám. Na druhej strane, v prípade, že hodnota niektorého kritéria nie je známa, je možné ju vypočítať na základe tých kritérií, ktoré sú s ním v silnej závislosti.

3.3.1 Použitie medzikriteriálnej analýzy na nájdenie k -tic kritérií s porovnateľnými vzájomnými vzťahmi

Medzikriteriálna analýza bola navrhnutá na určenie vzájomného vzťahu medzi dvojicami kritérií. My sme sa rozhodli preskúmať možnosti určenia vzájomného vzťahu viac ako dvoch kritérií pomocou medzikriteriálnej analýzy. Myšlienkou nájdenia trojíc, resp. k -tic kritérií, ktoré vykazujú podobnú, alebo identickú zhodu sa zaoberali aj iní vedci (pozri [22] a [23]). Náš prístup vychádza z myšlienky porovnávania tých kritérií, ktoré vykazujú vysokú vzájomnú zhodu vo dvojiciach a ich následné porovnanie vzhľadom na ďalšie dvojice prípustných kritérií.

Algoritmus na nájdenie trojice kritérií s porovnateľnou pozitívnou zhodou:

1. Zadanie vstupov.

Na začiatku výpočtu zadáme dvojdimeziálnu maticu \mathbb{M} a následne určíme vzájomné vzťahy medzi dvojicami kritérií spôsobom uvedeným v časti 2.4 tejto práce, t. j. pre každú dvojicu kritérií C_i, C_j určíme IF -dvojicu $\langle \mu_{C_i, C_j}, \nu_{C_i, C_j} \rangle$.

2. Určenie vzdialenosti IF -dvojíc od vrcholu $(1, 0)$ IF -trojuholníka.

Vypočítame euklidovskú vzdialenosť d_{ij} všetkých získaných IF -dvojíc $\langle \mu_{C_i, C_j}, \nu_{C_i, C_j} \rangle$ od vrcholu $(1, 0)$ IF -trojuholníka. Získané hodnoty usporiadame od najmenšej hodnoty po najväčšiu a zapíšeme ich do tabuľky. Určíme tak nielen vzdialenosť každej dvojice kritérií od vrcholu $(1, 0)$ IF -trojuholníka, ale aj vzájomnú vzdialenosť medzi jednotlivými dvojicami kritérií.

3. Výber kritérií, ktoré môžu predstavovať trojicu kritérií s podobnou, alebo identickou pozitívnou zhodou.

Na výber prvkov, ktoré tvoria množinu kritérií, ktoré môžu predstavovať trojicu kritérií s podobnou, alebo identickou pozitívnou zhodou, sú navrhnuté tri rôzne prístupy (pozri [24]). Všetky prístupy sú odvodené od hodnoty vzdialenosti d_{ij} IF -dvojice $\langle \mu_{C_i, C_j}, \nu_{C_i, C_j} \rangle$ od vrcholu $(1, 0)$ IF -trojuholníka. Vytvorenú množinu dvojíc kritérií označme znakom Σ .

4. *Vyhľadávanie trojíc kritérií s podobnou, alebo identickou pozitívnou zhodou.*

Pre prvky z množiny dvojíc kritérií Σ overujeme, či pre nejakú trojicu kritérií C_i, C_j, C_k platí, že do získanej množiny Σ patrí každá z dvojíc $C_i - C_j, C_i - C_k, C_k - C_j$. Ak takúto trojicu nenájdeme, tak neexistuje hľadaná trojica kritérií. Ak takáto trojica existuje, pokračuje algoritmus krokom 5.

5. *Určenie trojíc kritérií s podobnou, alebo identickou pozitívnou zhodou.*

V tomto kroku pracujeme s kritériami, ktoré sú zaradené do množiny Σ . Zvolíme si prvú dvojicu kritérií $C_i - C_j$ z tabuľky, teda tú dvojicu, ktorej hodnota d_{ij} je najmenšia. Následne zvolíme kritérium C_k , ktoré má najvyššiu koreláciu s kritériom C_i a tiež kritérium C_l , ktoré má najvyššiu koreláciu s kritériom C_j . Z týchto dvoch kritérií na vytvorenie trojice kritérií zvolíme to kritérium, pre ktoré platí vzťah

$$\min(d_{ij} + d_{ik} + d_{jk}, d_{ij} + d_{il} + d_{jl}).$$

Pre získanú trojicu $C_i - C_j - C_x$, pričom $x \in \{k, l\}$, vypočítame jej prislúchajúcu IF-dvojicu použitím vzťahu

$$\langle \tilde{\mu}, \tilde{\nu} \rangle = \left\langle \frac{\mu_{ij} + \mu_{ix} + \mu_{jx}}{3}, \frac{\nu_{ij} + \nu_{ix} + \nu_{jx}}{3} \right\rangle.$$

Takto vypočítaná hodnota $\langle \tilde{\mu}, \tilde{\nu} \rangle$ určuje mieru zhody vytvorenej trojice kritérií.

Algoritmu pokračuje výpočtom piateho kroku dovtedy, kým nie sú vyčerpané všetky trojice kritérií, ktoré sa nachádzajú v množine Σ .

Jednoduchou úpravou algoritmu môžeme nájsť v množine kritérií štvorice až k -tice kritérií, ktoré vykazujú podobnú, alebo identickú pozitívnu zhodu.

Prezentovaný algoritmus, spolu s konkrétnym príkladom bol publikovaný v časopise „Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets“ pod názvom „Intercriteria analysis: from pairs to triples“ (pozri [24]).

3.3.2 Použitie medzikriteriálnej analýzy na posúdenie rôznych vplyvov na progres Bechtarevovho ochorenia

Použitie medzikriteriálnej analýzy si našlo uplatnenie vo viacerých vedných odboroch. Jedným z nich je aj medicína. Bechtarevovo ochorenie je systémové zápalové ochorenie chrčtice a kĺbov, ktoré môže spôsobiť až úplnú imobilizáciu pacienta.

Na základe vytýčených kritérií bola navrhnutá kineziterapeutická liečbu (pozri [25] a [26]). Liečbu aplikovali na 88 pacientov. Pacienti boli rozdelení do dvoch skupín. Vo výskume sme sa zamerali na určenie vzájomného vzťahu ôsmich oblastí (kritérií) pomocou medzikriteriálnej analýzy. Spôsob analýzy údajov, ako aj konkrétne výsledky je možné nájsť v článku [27] pod názvom „Intercriteria analysis of Behterev’s Kinesitherapy program“, bol publikovaný v časopise „Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets“ v roku 2017.

3.4. Analýza údajov o inteligentných mestách pomocou rôznych fuzzy prístupov

V súčasnej dobe je veľmi aktuálna otázka premeny miest na tzv. inteligentné mestá (angl. Smart Cities). Koncept Smart Cities predstavuje komplexný prístup k fungovaniu mestského regiónu, ktorý zasahuje do rôznych spoločenských oblastí ako kultúra, infraštruktúra, životné prostredie, energetika, sociálne služby a ďalšie [28].

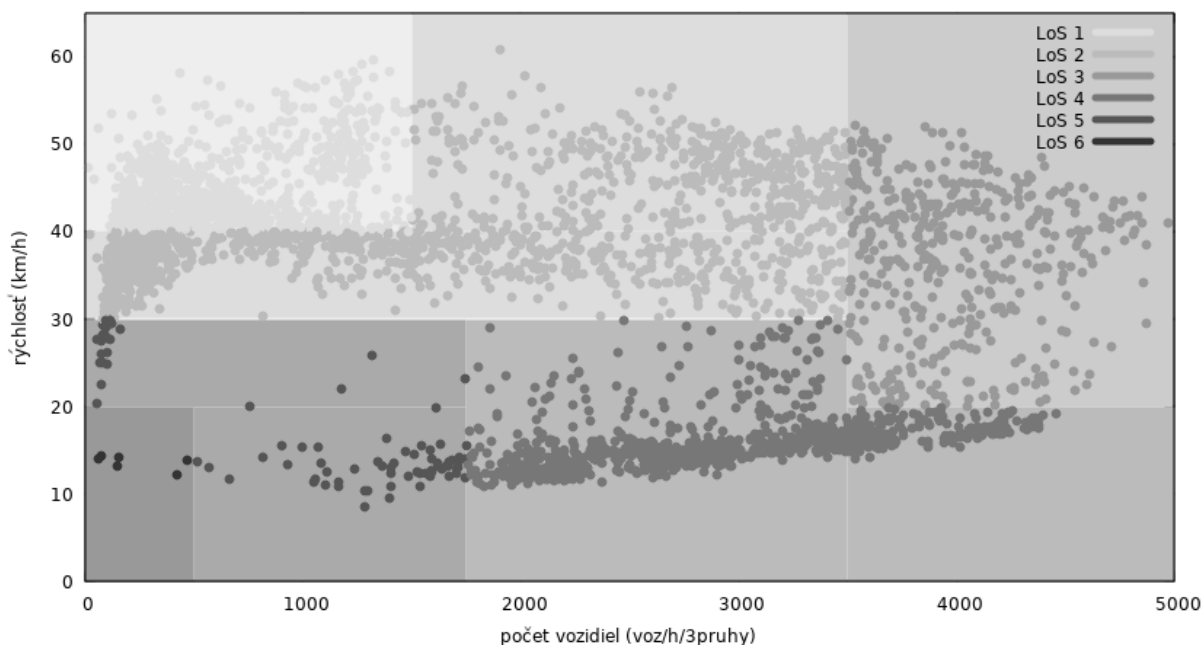
Táto časť výskumu je zameraná na určenie možností zlepšenia dopravnej situácie mesta Praha a tým aj zlepšenia ovzdušia v danom meste. Našou úlohou je analyzovať informácie z troch základných oblastí – dopravy, meteorológie a emisií a na základe toho určiť, ako sú jednotlivé vstupné premenné navzájom prepojené. Na základe zistených závislostí je potom možné navrhovať riešenie dopravnej situácie tak, aby došlo k zníženiu množstva emisií a tým k zlepšeniu životného prostredia v meste.

3.4.1 Modelovanie úrovne služieb v doprave pomocou FIS typu Takagi-Sugeno

Úroveň služieb v doprave (angl. Level of Services, skratka LoS) predstavuje kvalitatívny ukazovateľ, ktorý sa používa na porovnávanie kvality služieb premávky motorových vozidiel na jednotlivých úsekoch ciest. Tento ukazovateľ priradzuje úroveň kvality premávky na základe rýchlosti vozidiel, hustoty premávky a počtu jazdných pruhov vozovky. České normy [29] rozdeľujú údaje o plynulosti dopravných tokov do šiestich kategórií LoS

- LoS 1 – Dopravný tok je voľný.
- LoS 2 – Dopravný tok je takmer plynulý.
- LoS 3 – Stav dopravy je stabilný.
- LoS 4 – Stav dopravy je ešte stabilný.
- LoS 5 – Kapacita jazdného pruhu je naplnená.
- LoS 6 – Úsek je preťažený.

Každú lokalitu musí dopravný expert kategorizovať individuálne. V našom výskume sme analyzovali údaje pre konkrétnu ulicu v Prahe, Legerovu ulicu. Požiadali sme dopravného experta, aby určil hodnoty LoS na danej križovatke. Výsledok kategorizácie je možné znázorniť graficky (pozri obrázok 3.8).

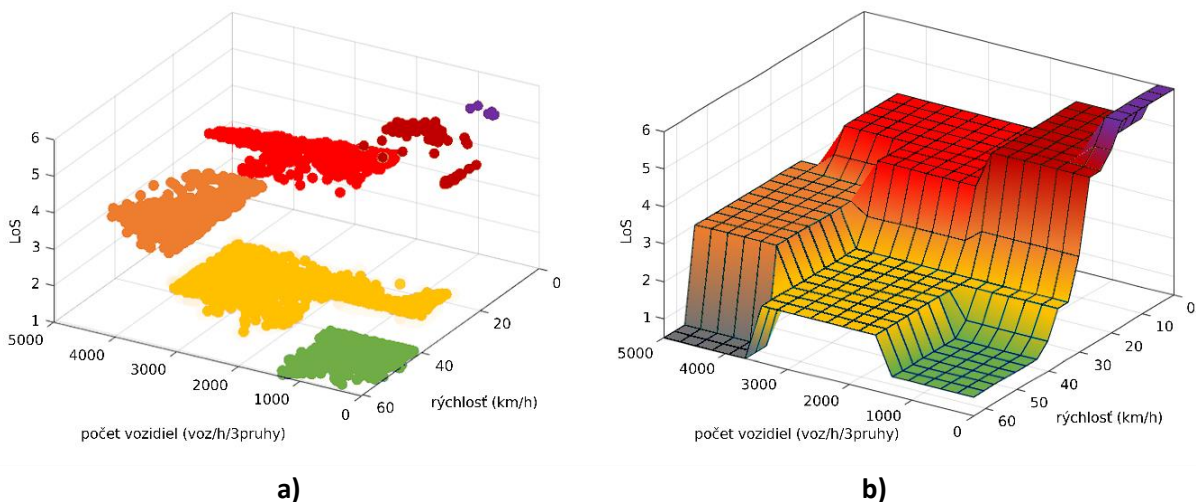


Obr. 3.8: Hodnoty LoS pre Legerovu ulicu

Našou úlohou bolo vytvoriť fuzzy inferenčný systém, ktorý by dokázal priradiť správnu výstupnú hodnotu každej vstupnej dvojici - počet vozidiel a rýchlosť vozidiel, pre čo najväčší počet vstupov. Pre tento účel sme sa rozhodli použiť FIS typu Takagi-Sugeno nultého rádu, kde výstupnou jazykovou premennou každého pravidla je konštanta (pozri podkapitolu 1.3). Na opis vstupných jazykových premenných sme použili po častiach lineárne funkcie. Na opis výstupných jazykových premenných sme použili hodnoty od nula po šesť. Hodnota nula predstavovala stav, ktorý nemôže v reálnom živote nastať, napríklad kombinácia vstupov vysoká rýchlosť vozidiel a zároveň vysoký počet vozidiel. Následne sme, na základe opisu experta, vytvorili 27 pravidiel. Príklad jedného z pravidiel uvádzame nižšie.

IF (Traffic Flow is very low) and (Speed is high) THEN (Level of Service is 1) (power weight 1).

Na vyhodnotenie získaného FIS sme použili dva prístupy. V prvom prístupe sme pôvodné údaje zakreslili pomocou 3D grafu a porovnali sme ich s aproximačnou funkciou, ktorá predstavuje výstup FIS (pozri obrázok 3.9).



Obr. 3.9: Grafické porovnanie údajov
 a) graf s pôvodnými údajmi, b) graf aproximačnej funkcie získanej pomocou FIS

V druhom prístupe sme pre každú známu dvojicu vstupov - počet vozidiel a rýchlosť vozidiel - určili výstupnú hodnotu pomocou FIS. Tieto hodnoty sme zaokrúhlili na celé čísla a porovnali s pôvodnými výstupmi. Z 3825 vstupných dvojíc bolo nesprávne určených len 28 hodnôt, čo predstavuje 99.27% úspešnosť systému.

Vzhľadom na ďalšie využitie získaných výsledkov je dôležitý ešte jeden fakt. Vďaka získanej aproximačnej funkcii je možné rozhodnúť, ktoré dvojice vstupov je možné jednoznačne považovať za hodnoty z danej kategórie LoS a ktoré dvojice sú na hranici medzi dvomi kategóriami, čo môže mať vplyv na výsledok komplexnejších systémov, ktoré plánujeme použiť v budúcnosti.

Uvedené výsledky boli publikované v karentovanom časopise „Neural Network World“, v článku s názvom „Situation Model of the Transport, Transport Emissions and Meteorological Conditions“ (pozri [30]).

3.4.2 Modelovanie vplyvu dopravy a meteorologických podmienok na úroveň emisií pomocou FIS typu Takagi-Sugeno

V tejto časti výskumu sme sa zamerali na ohodnotenie kvality ovzdušia na konkrétnom mieste mesta Praha z komplexnejšieho pohľadu. Naším cieľom bolo modelovať závislosť medzi údajmi o doprave a meteorologickými údajmi a zistiť, akým spôsobom ovplyvňujú tieto vstupy množstvo emisií.

V tomto prípade sme pracovali s údajmi o Vršovickej ulici, ktorá sa nachádza v meste Praha, nakoľko sme pre túto lokalitu získali najviac údajov. Z dopravných údajov sme použili počet vozidiel a rýchlosť vozidiel. Z meteorologických údajov

sme použili smer vetra, smer maximálneho nárazu vetra, priemernú rýchlosť vetra, rýchlosť maximálneho nárazu vetra, množstvo zrážok a teplotu vzduchu. Okrem toho sme uvažovali ďalšie dva vstupy – deň v týždni a dennú hodinu. Z oblasti emisií sme mali údaje o PM_{10} , NO_x a NO_2 . Údaje boli namerané počas jedného roka (roka 2020) v hodinových intervaloch. Týmto spôsobom sme získali 10 vstupov a tri výstupy. Pre výskum v tomto príspevku sme si zvolili len jednu výstupnú premennú - PM_{10} .

Naším cieľom bolo nájsť aproximačnú funkciu, ktorá by priradila zadaným vstupom hodnotu, ktorá sa bude čo najviac približovať skutočnej, nameranej hodnote PM_{10} . Na analýzu údajov sme sa rozhodli vytvoriť fuzzy inferenčný systém typu Takagi-Sugeno. V prípade určenia menšieho počtu pravidiel tohto systému by sme boli schopní, okrem jednoduchého získania výsledku dosadením vstupov do aproximačnej funkcie, získať aj tzv. vysvetliteľný systém pravidiel, ktorý je veľmi žiadúci na pochopenie súvislostí medzi vstupnými premennými a výstupom.

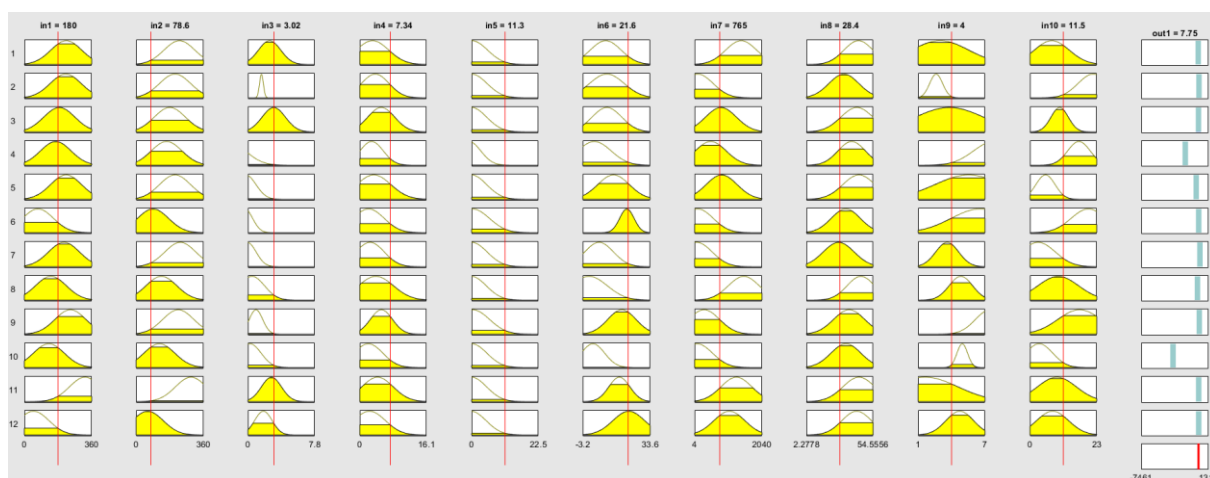
V prvom kroku sme chceli vytvoriť pravidlá sami. Išlo o komplexný problém, preto sme nevedeli nájsť pravidlá, ktoré by vhodne pokryli celý priestor vstupných údajov. Ďalej sme sa rozhodli použiť iný prístup – analyzovať známe údaje pomocou metódy ANFIS (pozri podkapitulu 1.3). V softvéri MATLAB je možné použiť tri prístupy na vytvorenie FIS.

Prvý prístup vytvorenia FIS – metóda Grid Partition – funguje tak, že definičný obor každého z n vstupov je rozdelený na zvolený počet rovnakých častí. Z nich sa následne vytvoria n -rozmerné kvádre obsahujúce všetky vstupné hodnoty a ku každému n -rozmernému kvádru je priradená výstupná hodnota. Hodnoty každého rozmeru z n -rozmerného kvádra sú následne opísané pomocou Gaussových funkcií príslušnosti a spolu s prislúchajúcou výstupnou hodnotou predstavujú jedno *AK – POTOM* pravidlo. Takto vytvorená báza pravidiel je následne optimalizovaná pomocou umelej neurónovej siete. Keďže máme 10 vstupných premenných, ak by sme definičný obor každého vstupu rozdelili len na 3 časti, dostali by sme $3^{10} = 59049$ pravidiel. Softvér MATLAB nebol schopný vygenerovať takúto veľkú bázu pravidiel.

Nižší počet pravidiel je možné získať ako výsledok druhého prístupu na tvorbu FIS typu Takagi-Sugeno – metóda Subtractive Clustering. Táto metóda pozostáva z dvoch krokov. V prvom kroku sa pre riešenie úlohu nájde ideálny počet zhlukov pomocou zhlukového algoritmu nazývaného Subtractive Clustering (pozri [31]). Tiež sa vypočítajú súradnice centier zhlukov. V druhom kroku sa na základe súradníc centier zhlukov vytvoria *AK – POTOM* pravidlá. Takto vytvorený FIS je opäť možné optimalizovať pomocou metódy ANFIS.

Aby sme vedeli vhodne vyhodnotiť výsledky nami získanej aproximačnej funkcie, tak sme na nami uvažované údaje v prvom kroku aplikovali všetky regresné modely ponúkané softvérom MATLAB. Najmenšiu chybu sme dosiahli pri použití metódy „Rational Quadratic Gaussian Progress Regression“, pre ktorú RMSE dosiahla hodnotu 9.2061. Druhý najlepší výsledok bol dosiahnutý pri použití exponenciálnej Gaussovej regresie, kde sa RMSE rovnala hodnote 9.3088.

Keď sme použili preddefinované parametre pre metódu Subtractive Clustering, dostali sme 28 pravidiel, ktoré popisovali naše údaje. Po optimalizácii parametrov pomocou umelej neurónovej siete sme dosiahli celkovú hodnotu RMSE rovnú 9.0016. Zvyšovaním hodnoty parametra „Rozsah vplyvu stredú klastra“ je možné ovplyvniť počet nájdených zhlukov. Pri hodnote parametra 0.65 algoritmus určil 12 zhlukov a vygeneroval bázu pravidiel s 12 pravidlami. Po optimalizácii tejto bázy pravidiel pomocou metódy ANFIS sme dosiahli celkovú hodnotu RMSE rovnú 9.2817. Pomocou získanej bázy pravidiel (pozri obrázok 3.10) je možné rýchlo vyhodnotiť každý nový vstup. Ďalej je možné na základe získanej bázy pravidiel určiť, aký vplyv majú jednotlivé vstupy na celkový výsledok. Smer a rýchlosť vetra, ako aj teplota v danej lokalite majú väčší vplyv na výslednú hodnotu PM_{10} , ako dopravná situácia.



Obr. 3.10: Získaná báza pravidiel s 12 pravidlami

Uvedené výsledky sme sa rozhodli prezentovať na konferencii Informatics 2024, ktorá sa koná každé dve roky pod záštitou organizácie IEEE (pozri [32]).

V budúcnosti plánujeme pokračovať v uvedenom výskume. Napríklad plánujeme vytvoriť niekoľko lokálnych modelov na určenie vzťahu medzi dopravou, meteorologickými údajmi a emisiami a ich vplyvom na kvalitu ovzdušia v meste. Na základe zistení na jednotlivých lokalitách chceme následne vytvoriť globálny model, kde pri analýze týchto údajov budú okrem fuzzy množín použité aj prístupy založené na *IF*-množinách a medzikriteriálnej analýze.

4. PRÍNOS PRÁCE PRE VEDU A PRAX

V súčasnej dobe je veľké množstvo údajov spracovávané a analyzované pomocou rôznych variant umelých neurónových sietí. Asi najväčšou nevýhodou týchto sietí je, že nie je možné určiť/vysvetliť, ako bol výsledný model (aproximačná funkcia, resp. klasifikačný model) vytvorený, ani ako sú určené výstupy pre nové vstupy. Navyše výsledné modely sú vytvárané pomocou iteračného procesu, kde sú na začiatku algoritmu náhodne inicializované váhy a preto po každom spustení algoritmu umelej neurónovej siete môžeme získať iný výsledný model.

Na rozdiel od umelých neurónových sietí, fuzzy systémy pracujú s pravidlami typu *AK – POTOM*. Tie sú vytvorené na základe znalostí expertov, alebo na základe analýzy veľkého objemu známych údajov. Pravidlá sú vytvorené tak, že obsahujú pojmy ľudskej reči, preto sú ľahko zrozumiteľné nielen pre analytika, ktorý údaje spracoval a analyzoval, ale aj pre vedcov z oblasti, z ktorej daný problém pochádza. Navyše použitím týchto prístupov je možné analyzovať aj súbory, ktoré obsahujú malé množstvo údajov.

V predloženej práci sme ukázali možnosti využitia rôznych fuzzy prístupov v rôznych oblastiach života.

V prvej časti práce sme prezentovali prínos fuzzy prístupov v oblasti biológie. Na základe znalostí expertov a znalostí zachytených v knižných publikáciách sme vytvorili pravidlá pre fuzzy inferenčný systém typu Takagi-Sugeno. Navrhnutý systém slúži na klasifikáciu drevných húb rodu *Ganoderma*. Okrem zaradenia pozorovanej huby do konkrétneho druhu je výsledkom systému aj informácia o tom, či hubu môžeme jednoznačne považovať za správne zaradenú, alebo sú jej znaky takého typu, že ju systém nedokáže jednoznačne zaradiť do jedného konkrétneho druhu. V takomto prípade je hube priradená tzv. kritická hodnota. Tá upozorní vedcov, že je potrebné vykonať analýzu huby pomocou molekulárnej metódy sekvenovania DNA. Táto metóda je finančne náročná, preto minimalizácia počtu húb, pri ktorých je nutné ju použiť, predstavuje vysoký prínos pre vedcov. Doplňme, že na vytvorenie systému bolo použitých len 72 plodníc. Po vynechaní 11 plodníc húb, ktorým bola priradená kritická hodnota, systém dosiahol úspešnosť klasifikácie 96.83%. Takýto systém je možné vytvoriť na klasifikáciu rôznych zvierat, rastlín a húb do príslušných druhov na základe znalostí vedcov z danej oblasti.

V druhej časti práce sme prezentovali výsledky výskumu v oblasti rozpoznávania a klasifikácie obrázkov pneumatík. Tento výskum bol vykonaný v rámci riešenia projektu APVV s názvom „Automatizované spracovávanie trasologických objektov“. Nami predstavené výsledky sú použiteľné v prvej časti

tohto výskumu, konkrétne pri rozdelení obrázkov pneumatík, ktoré sú stiahnuté z internetu, do tried podľa toho, v ktorej časti obrázka je najlepšie viditeľný dezén pneumatiky. Na klasifikáciu obrázkov pneumatík sme použili tri rôzne prístupy využívajúce *IF*-množiny a dosiahli sme úspešnosť klasifikácie až 91.1%. Najväčšiu skupinu obrázkov pneumatík predstavujú obrázky, na ktorých je zobrazená celá pneumatika otočená dezénom k ľavému, alebo k pravému okraju obrázka. Pre takéto obrázky sme navrhli spôsob ohraničenia dezénu pneumatiky kombináciou dvoch metód a to použitím tzv. Houghovej transformácie a fuzzy inferenčného systému typu Takagi-Sugeno. V tomto prípade sme dosiahli úspešnosť 89%. Navrhnuté algoritmy sú použiteľné aj v iných oblastiach spracovania obrazu, napríklad v priemysle na automatické vyhľadávanie súčiastok v odkladacom priestore, v medicíne na vyhľadávanie tumorov na mozgu v snímkach vytvorených magnetickou rezonanciou, v biológii pri klasifikácii listov rastlín, pri detekcii škodcov na listoch rastlín a podobne. Vytvorené systémy dávajú k načítaným vstupom výstupy okamžite, preto je možné použiť ich v reálnom čase.

V praxi sa veľmi často stretávame s požiadavkou určiť vzájomné vzťahy medzi vstupnými hodnotami (pozorovanými, alebo nameranými veličinami, získanými informáciami a kritériami) a v prípade, že je to možné, určiť, ktoré z uvažovaných vstupov je nutné brať pri vytváraní nejakého systému do úvahy a ktoré je možné vynechať, alebo nahradiť inými, ľahšie, resp. lacnejšie získateľnými vstupmi. Tomuto problému sa venuje celá vedecká oblasť - rozhodovanie (angl. decision making, decision analysis). V ďalšej časti práce sme uviedli možnosti využitia tzv. medzikriteriálnej analýzy, ktorá využíva vlastnosti intuitionistických fuzzy množín a bola navrhnutá na určovanie vzájomného vzťahu medzi dvojicami kritérií. V práci sme predstavili algoritmus, pomocou ktorého je možné určiť vzájomné vzťahy medzi ľubovoľnou k -ticou kritérií. Autorka práce je spoluautorkou uvedeného algoritmu. V dnešnej dobe existuje veľké množstvo článkov, ktoré prezentujú aplikácie tejto metódy v praxi.

V záverečnej časti práce sme uviedli najnovší výskum autorky práce. Je zameraný na určovanie kvality ovzdušia v mestách a navrhovanie postupov, ktoré prispejú k jeho skvalitneniu. Cieľom je vytvoriť komplexný systém, ktorý dokáže pracovať s aktuálnymi údajmi v reálnom čase. Tento výskum je na začiatku, napriek tomu už boli publikované niektoré jeho výsledky využívajúce fuzzy inferenčné systémy. V budúcnosti plánujeme na analýzu údajov použiť nielen fuzzy inferenčné systémy, ale aj prístupy založené na intuitionistických fuzzy množinách a medzikriteriálnej analýze.

ZÁVER

Fuzzy množiny spolu s rôznymi matematickými štruktúrami, ktoré boli od nich odvodené, si našli uplatnenie v mnohých vedných ale hlavne praktických odboroch, kde je možné pravidlá navrhovaného systému opísať pomocou pojmov bežnej reči. V predloženej práci sme ukázali výsledky výskumu, ktorý bol motivovaný úlohami z reálneho života.

V prvom prezentovanom výsledku bol použitý FIS typu Takagi-Sugeno na klasifikáciu drevných húb. Uviedli sme spôsob tvorby bázy pravidiel takéhoto systému na základe znalostí experta a vyhodnotili sme získané výsledky. Výhodou vytvoreného systému bolo, že na základe finančne nenáročných meraní bolo možné s vysokou presnosťou klasifikovať plodnice húb rodu *Ganoderma* do jednotlivých druhov. Dospeli sme k záveru, že len v prípade, že sme na výstupe algoritmu získali jednu z tzv. kritických hodnôt, bolo potrebné použiť ďalšie, drahšie metódy na správnu klasifikáciu určovanej položky.

V ďalšej časti práce sme prezentovali výsledky analýzy obrázkov pneumatík použitím fuzzy množín a *IF*-množín. Pri riešení problému určenia hranice dezénu pneumatiky bolo potrebné vybrať z veľkého množstva tzv. polelips tie, ktoré najlepšie ohraničovali okraj dezénu pneumatiky. Na riešenie tohto problému sme opäť použili FIS typu Takagi-Sugeno. V práci sme uviedli schému použitého algoritmu, ako aj vyhodnotenie výsledkov. Nakoľko obrázky pneumatík boli automaticky sťahované z rôznych internetových stránok, nie vždy na nich boli vyobrazené celé časti pneumatík. Na riešenie problematiky klasifikácie získaných obrázkov do zvolených tried sme sa rozhodli použiť funkcie definované na *IF*-množinách. Na klasifikáciu sme použili rôzne prístupy, konkrétne sme použili vlastnosti miery podobnosti definovanej na *IF*-množinách, vlastnosti miery vzdialenosti definovanej na *IF*-množinách a vlastnosti rôznych typov *IF*-negácií. Na zvýšenie úspešnosti klasifikácie sme neskôr využili kombináciu uvedených metód. V práci sme opísali spôsob návrhu jednotlivých algoritmov a prezentovali sme získané výsledky.

V nasledujúcej časti práce sme prezentovali výsledky, na získanie ktorých sme použili medzikriteriálnu analýzu. Medzikriteriálna analýza bola pôvodne navrhnutá tak, aby vyhodnocovala vzťahy medzi dvojicami kritérií, ktoré boli použité na ohodnotenie určitého problému. Veľmi rýchlo sa ukázalo, že pri riešení reálnych problémov je dôležité vytvoriť nástroj, pomocou ktorého by bolo možné ohodnocovať vzájomné vzťahy viacerých kritérií. Ako prvý sme preto prezentovali spôsob postupu, ako nájsť ľubovoľnú *k*-ticu kritérií s porovnateľným, alebo identickým vzťahom medzi kritériami. Následne sme prezentovali výsledky medzikriteriálnej analýzy pri jej aplikovaní na problém tzv. Bechterevej choroby.

V poslednej časti práce sme prezentovali najnovší výskum autorky. Jedná sa o spracovanie a analýzu údajov týkajúcich sa dopravy, meteorologických údajov a emisií, ich vzájomných vzťahov, ako aj ich vplyvu na kvalitu života v mestskom prostredí. V práci sme prezentovali spôsob vytvorenia aproximačnej funkcie pomocou FIS typu Takagi-Sugeno, ktorá slúžila na ohodnotenie úrovne služieb v doprave. Pravidlá tohto FIS boli vytvorené na základe znalostí experta. V ďalšej časti sme analyzovali vplyv dopravy a meteorologických podmienok na emisie v mestskom prostredí. Opísali sme spôsob vytvorenia FIS typu Takagi-Sugeno v prípade, že nie je možné využiť znalosti experta. V prvom kroku sme sa na vygenerovanie systému snažili použiť metódu Grid Partition. Táto metóda sa ukázala ako nevhodná na použitie pri analýze údajov s veľkým počtom vstupov. Naopak, ako veľmi vhodná na generovanie FIS sa ukázala druhá metóda, metóda Subtractive Clustering. Po zoptimalizovaní vytvoreného FIS pomocou umelej neurónovej siete sme dosiahli vyššiu presnosť, ako bolo možné získať použitím iných prístupných metód. Pri tomto prístupe sme úpravou parametrov metódy Subtractive Clustering dosiahli nízky počet pravidiel typu *AK – POTOM* bez väčšej straty presnosti. Tieto pravidlá majú tú výhodu, že je pomocou nich možné vysvetliť fungovanie analyzovaného problému.

Fuzzy množiny, spolu s rôznymi matematickými štruktúrami, ktoré boli od nich odvodené, predstavujú rozšírenie klasickej teórie množín. Boli navrhnuté tak, aby umožňovali počítanie v prirodzenom jazyku a dokázali pracovať s rôznymi nepresnosťami systémov. Kým väčšina matematických teórií je založená na spracovaní a analýze čo najpresnejších údajov, teória fuzzy množín využíva nepresnosť ako svoju výhodu. Výhodou získaných výsledkov je aj to, že sú na rozdiel od iných dnes používaných metód, veľmi dobre interpretovateľné.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ENGELBRECHT, Andries P. *Computational intelligence : an introduction*. John Wiley & Sons, 2007, 632 p. ISBN 978-0-470-03561-0.
- [2] MICHALÍKOVÁ, Alžbeta. *Fuzzy množiny v informatike*. Belianum, UMB Banská Bystrica 2020, 206 s. ISBN 978-80-557-1707-4.
- [3] ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. In *Information and Control*, **8**(3), 1965, p. 338-353. ISSN 0019-9958.
- [4] TAKAGI, Tomohiro and Michio SUGENO. Fuzzy Identifications of Fuzzy Systems and its Applications to Modelling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **15**(1), 1985, p. 116-132. ISSN 0018-9472.
- [5] JANG, J.-SR. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **23**(3), 1993, p. 665-685. ISSN 0018-9472.
- [6] ATANASSOV, Krassimir T. Intuitionistic Fuzzy Sets. In *VII ITKR Session*, Sofia, 1983 (Deposited in Centr. Sci.-Techn. Library of the Bulg. Acad. of Sci., 1697/84) (in Bulgarian). Reprinted: *Int. J. Bioautomation*, **20**(S1), 2016, p. 1-6. ISSN 1314-1902.
- [7] ATANASSOV, Krassimir T. Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, **20**(1), 1986, p. 87-96. ISSN 0165-0114.
- [8] DUBOIS, Didier. et al. Terminological Difficulties in Fuzzy Set Theory - The Case of Intuitionistic Fuzzy Sets. *Fuzzy Sets and Systems*, **156**(3), 2005, p. 485-491. ISSN 0165-0114.
- [9] XU, Z. S. and Jian CHEN, J. An overview of distance and similarity measures of intuitionistic fuzzy sets. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 2008, **16**(04), p. 529-555. ISSN 0218-4885.
- [10] SZMIDT, Eulalia and Janusz KACPRZYK. Analysis of Similarity Measures for Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Sets. *IFSA/EUSFLAT Conference*, 2009, p. 1416–1421. ISBN 978-3-319-66829-1.
- [11] ATANASSOV, Krassimir T., Deyan MAVROV and Vassia ATANASSOVA. Intercriteria decision making: a new approach for multicriteria decision making, based on index matrices and intuitionistic fuzzy sets. *Issues in Intuitionistic fuzzy sets and generalized nets*, **11**, 2014, p. 1-8. ISBN 978-83-61551-10-2

- [12] ATANASSOV, Krassimir T.: Conditions in generalized nets. *Proceedings of the XIII Spring Conference of the Union of Bulgarian Mathematical, Sunny Beach*, 1984, p. 219–226.
- [13] MICHALÍKOVÁ, Alžbeta, Terézia BECK, Ján GÁPER, Peter PRISTAŠ, Svetlana GÁPEROVÁ. Can wood-decaying urban macrofungi be identified by using fuzzy interference system? An example in Central European Ganoderma species. *Scientific Reports*, **11**(1), 2021, p. 1-10. ISSN 2045-2322.
- [14] VAGAČ, Michal, Miroslav MELICHERČÍK, Matúš MARKO, Peter TRHAN, Alžbeta MICHALÍKOVÁ, René KLIMENT and Radoslav DRAPKA. Crawling images with web browser support. *2015 IEEE 13th International Scientific Conference on Informatics*, 2015, p. 286-289. ISBN 978-1-4673-9867-1.
- [15] HOUGH, Paul V. C. *Method and means for recognizing complex patterns*. U.S. Patent No 3,069,654, Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 1962.
- [16] BENNETT, Nick, Robert BURRIDGE and Naoki SAITO. A method to detect and characterize ellipses using the Hough transform. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **21**(7), 1999, p. 652-657. ISSN 0162-8828.
- [17] MICHALÍKOVÁ, Alžbeta and Michal VAGAČ. A tire tread pattern detection based on fuzzy logic. *Flexible Query Answering Systems 2015*. Springer, Cham, 2016, p. 381-388. ISBN: 978-3-319-26154-9.
- [18] MICHALÍKOVÁ, Alžbeta. Intuitionistic fuzzy sets and their use in image classification. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*, **25**(2), 2019, p. 60-66. ISSN 1310-4926.
- [19] MICHALÍKOVÁ, Alžbeta. Classification of images by using distance functions defined on intuitionistic fuzzy Sets. *International Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets and Generalized Nets*. Springer, Cham, 2019, p. 66-74. ISBN 978-83-61551-23-2.
- [20] ATANASSOV, Krassimir T. *Intuitionistic fuzzy logics*. Berlin : Springer International Publishing, 2017, 138 p. ISBN 978-3-319-48953-7.
- [21] MICHALÍKOVÁ, Alžbeta., Intuitionistic fuzzy negations and their use in image classification. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*. **26**(3), 2020, p. 22-32. ISSN 1310-4926.
- [22] DOUKOVSKA, Lyubka et al. InterCriteria analysis applied to various EU enterprises. *Proceedings of the Fifth International Symposium on Business*

- Modeling and Software Design*, Milan, Italy, 2015, p. 284-291. ISBN 978-3-319-40512-4.
- [23] VASSILEV, Peter, Lyudmila TODOROVA and Velin ANDONOV. An auxiliary technique for InterCriteria Analysis via a three dimensional index matrix. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*, **21**(2), 2015, p. 71-76. ISSN 1310-4926.
- [24] ATANASSOVA, Vassia, Lyubka DOUKOVSKA, Alžbeta MICHALÍKOVÁ and Irina RADEVA. Intercriteria analysis: from pairs to triples. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*, **22**(5), 2016, p. 98-110. ISSN 1310-4926.
- [25] PETROVA, Natalia. *Role of kinesiotherapy to improve quality of life on patients with RA*. The South-West University “Neofit Rilski”, Blagoevgrad, Bulgaria. PhD Thesis, 2015.
- [26] ZAHARIEVA, Bistra, Lyubka DOUKOVSKA, Simeon RIBAGIN and Irina RADEVA. InterCriteria Analysis Approach to Behtetrev’s Disease Analysis. *Notes on Intuitionistic Fuzzy Sets*, **23**(2), 2017, p. 119–127. ISSN 1310-4926.
- [27] ZAHARIEVA, Bistra, Lyubka DOUKOVSKA, Simeon RIBAGIN, Alžbeta MICHALÍKOVÁ and Irina RADEVA. Intercriteria analysis of Behterev’s Kinesitherapy program. *Notes Intuitionistic Fuzzy Sets*, **23**(3), 2017, p. 69-80. ISSN 1310-4926.
- [28] Definícia Smart Cities [online]. [cit. 2024-09-04] Dostupné na internete: <https://www.smartcity.gov.sk/definicia-smart-cities/index.html>
- [29] PROKEŠ, Stanislav. *Projektování místních komunikací: komentář k ČSN 73 6110 : komentované příklady řešení. Stavebnictví (komunikace, silnice)*. Praha: Český normalizační institut, 134 p., 2007. ISBN 978-80-7283-216-3.
- [30] BENEŠ, Viktor, Miroslav SVÍTEK, Alžbeta MICHALÍKOVÁ and Miroslav MELICHERČÍK. Situation Model of the Transport, Transport Emissions and Meteorological Conditions. *Neural Network World*, vol. 27, 2024, pp. 27-36. ISSN 1210-0552. <https://doi.org/10.14311/NNW.2024.34.002>
- [31] CHIU, Stephen L.: Fuzzy Model Identification Based on Cluster Estimation. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 1994, **2**(3): 267-278. ISSN 1064-1246,
- [32] BENEŠ, Viktor, Miroslav SVÍTEK, Alžbeta MICHALÍKOVÁ and Miroslav MELICHERČÍK. Investigating the impact of meteorological and traffic flow conditions on emissions. *Informatics 2024. IEEE 17th International Scientific Conference on Informatics*. Poprad, Slovakia. Submitted.

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1: Druhá geometrická interpretácia IF -množín.....	11
Obr. 2.2: Vzájomný vzťah dvoch kritérií vzhľadom na voľbu hodnôt α a β	15
Obr. 3.1: Postup získania vzoru dezénu pneumatiky.....	19
Obr. 3.2: Ohraničenie dezénu pneumatiky pomocou polelíp.....	19
Obr. 3.3: Ukážky nesprávne určených okrajov pneumatík pomocou polelíp..	20
Obr. 3.4: Rozdelenie obrázkov pneumatík do siedmich tried.....	21
Obr. 3.5: Predspracovanie obrázka pneumatiky.....	22
Obr. 3.6: Vzájomná podobnosť bodov pri použití kosínusovej miery podobnosti.....	23
Obr. 3.7: Ukážky nesprávne zaradených obrázkov pneumatík.....	24
Obr. 3.8: Hodnoty LoS pre Legerovu ulicu.....	28
Obr. 3.9: Grafické porovnanie údajov.....	29
Obr. 3.10: Získaná báza pravidiel s 12 pravidlami.....	31

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

ANFIS	adaptívny neuro-fuzzy inferenčný systém
ČVUT	české vysoké učení technické,
DNA	deoxyribonukleová kyselina, nositeľka genetickej informácie bunky, (angl. deoxyribonucleic acid),
FIS	fuzzy inferenčný systém (angl. fuzzy inference system),
FPV UMB	Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela,
<i>IF</i> -množiny	intuicionistické fuzzy množiny,
ITS metóda	určovanie húb založené na tzv. markérových (cieľových) génoch (angl. internal transcribed spacer),
LoS	úroveň služieb (angl. level of services),
MATLAB	vývojové prostredie, program, ktorý sa v práci používa na výpočty,
RMSE	odmocnina zo strednej kvadratickej chyby (angl. root mean square error),
SVM	metóda podporných vektorov (angl. support vector machine),
\mathbb{X}	základná množina prvkov, označovaná tiež ako univerzum.

PUBLIKAČNÉ AKTIVITY AUTORKY

Publikačné aktivity autorky sú prevažne zamerané na výskum v oblasti vlastností a aplikácií fuzzy množín, intuitionistických fuzzy množín a medzikriteriálnej analýzy. Pri riešení úloh vyplývajúcich z riešených projektov sa tiež zaoberá možnosťami použitia umelých neurónových sietí, evolučných algoritmov a kombinácií ich výsledkov na riešenie problematiku. Okrem toho sa autorka práce podieľa aj na tvorbe informaticky zameraných učebných materiálov, vedie záverečné práce študentov bakalárskeho aj magisterského stupňa štúdia aplikovanej informatiky.

Stručný sumár publikačnej činnosti autorky:

Kapitola v odborné knize	1
Původní vědecké články v impaktovanom časopise (indexovaný v databázi WoS)	4
Původní vědecké články v recenzovaném časopise indexovaném v databázi SCOPUS	5
Původní vědecké články ve světovém jazyku v ostatních vědeckých a odborných časopisech	9
Původní vědecké články ve sbornících, které jsou evidovány v databázi WoS nebo databázi SCOPUS	18
Původní vědecké články ve světovém jazyce ve sbornících z mezinárodních konferencí, které nejsou evidovány v databázi WoS ani v SCOPUS	12
Původní vědecké články ve sbornících ostatních konferencí v ostatních jazycích	14

ODBORNÝ ŽIVOTOPIS AUTORKY

Meno, priezvisko a tituly	Alžbeta Michalíková, RNDr., PhD.
Rok a miesto narodenia	1979, Lučenec
Vysokoškolské vzdelanie a ďalší akademický rast	<p>2024 Vedecký kvalifikačný stupeň IIa Slovenská akadémia vied</p> <p>2004 – 2007 Doktor filozofie (PhD.) Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, Banská Bystrica Študijný odbor: Matematická analýza</p> <p>2007 Doktor prírodných vied (RNDr.) Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, Banská Bystrica Študijný odbor: Matematická analýza</p> <p>1997 – 2002 Magister (Mgr.) Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Tajovského 40, Banská Bystrica Študijný odbor: Učiteľstvo všeobecno-vzdelávacích predmetov, kombinácia matematika – biológia</p>
Priebeh zamestnaní	<p>09/2007 – súčasnosť Vysokoškolský učiteľ (Odborný asistent s PhD.) Katedra informatiky, Fakulta prírodných vied, Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, Tajovského 40, Banská Bystrica</p> <p>2003 – 2004 Stredoškolský pedagóg - Gymnázium Jozefa Gregora Tajovského, Tajovského 25, 974 01 Banská Bystrica</p> <p>2002 – 2003 Učiteľ základnej školy Základná škola, Málinec 86, Málinec</p>

Odborné zameranie	Fuzzy množiny Intuicionistické fuzzy množiny Medzikriteriálna analýza																										
Sumár ďalšej odbornej činnosti:	<table> <tr> <td>Riešiteľ medzinárodných projektov:</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td> z toho vedúci riešiteľ</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Riešiteľ národných projektov:</td> <td>16</td> </tr> <tr> <td> z toho zástupca vedúceho riešiteľa</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Vystúpenia na zahraničných konferenciách</td> <td>27</td> </tr> <tr> <td>Vystúpenia na domácich konferenciách</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>Účasť na zahraničných seminároch</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lektorovanie kurzu na letnej univerzite v zahraničí</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Vedecko-výskumné a študijné pobyty v zahraničí</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Posudzovanie národných projektov</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Posudzovanie kníh a učebných textov</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Recenzia príspevkov v časopisoch</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>Recenzia príspevkov konferencií</td> <td>24</td> </tr> </table>	Riešiteľ medzinárodných projektov:	3	z toho vedúci riešiteľ	1	Riešiteľ národných projektov:	16	z toho zástupca vedúceho riešiteľa	3	Vystúpenia na zahraničných konferenciách	27	Vystúpenia na domácich konferenciách	20	Účasť na zahraničných seminároch	1	Lektorovanie kurzu na letnej univerzite v zahraničí	1	Vedecko-výskumné a študijné pobyty v zahraničí	5	Posudzovanie národných projektov	1	Posudzovanie kníh a učebných textov	1	Recenzia príspevkov v časopisoch	7	Recenzia príspevkov konferencií	24
Riešiteľ medzinárodných projektov:	3																										
z toho vedúci riešiteľ	1																										
Riešiteľ národných projektov:	16																										
z toho zástupca vedúceho riešiteľa	3																										
Vystúpenia na zahraničných konferenciách	27																										
Vystúpenia na domácich konferenciách	20																										
Účasť na zahraničných seminároch	1																										
Lektorovanie kurzu na letnej univerzite v zahraničí	1																										
Vedecko-výskumné a študijné pobyty v zahraničí	5																										
Posudzovanie národných projektov	1																										
Posudzovanie kníh a učebných textov	1																										
Recenzia príspevkov v časopisoch	7																										
Recenzia príspevkov konferencií	24																										
Členstvo v spoločnostiach a odborných komisiách	<p>Člen spoločnosti EUSFLAT - European Society for Fuzzy Logic and Technology.</p> <p>Koordinátor pracovnej skupiny Intuitionistic Fuzzy Sets: Theory, Applications and Related Topics (IFSTART), založenej pod skupinou EUSFLAT venujúcej sa IF množinám.</p> <p>Člen JSMF - Jednota slovenských matematikov a fyzikov</p> <p>Člen redakčnej rady časopisu Notes on Intuitionistic fuzzy sets. Print ISSN 1310-4926</p> <p>Člen programového výboru medzinárodnej konferencie DidInfo a DidactIG</p> <p>Člen organizačného výboru sekcie Theory and Applications of Intuitionistic Fuzzy Sets konferencie Eusflat 2019, 11th Conference of the Eusflat September 9-13, 2019, Praha, Česká republika.</p> <p>Člen organizačného výboru medzinárodného workshopu Workshop on Intuitionistic Fuzzy Sets, Banská Bystrica.</p> <p>Člen rady záverečnej oponentúry projektu KEGA.</p> <p>Člen komisie pre štátne skúšky v I. stupni štúdia, aj v II. stupni, v študijnom programe Aplikovaná informatika na Fakulte prírodných vied UMB v Banskej Bystrici.</p> <p>Oponent a člen komisie na dizertačnú skúšku a obhajobu písomnej práce k dizertačnej skúške v študijnom programe aplikovaná informatika na Katedre informačných sietí, Fakulta riadenia a informatiky, Žilinská univerzita v Žiline.</p>																										

Sumár publikačnej činnosti	Vysokoškolské učebnice vydané v zahraničných vyd.	1
	Vysokoškolské učebnice vydané v domácich vyd.	1
	Vedecké práce v zahraničných karentovaných časopisoch	3
	Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch	9
	Vedecké práce v ostatných domácich časopisoch	2
	Vedecké práce v zahraničných recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách	6
	Vedecké práce v domácich recenzovaných vedeckých zborníkoch, monografiách	2
	Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konfer.	25
	Publikované príspevky na domácich vedeckých konfer.	16
	Abstrakty príspevkov z domácich konferencií	3
	Postery zo zahraničných konferencií	1
	Skriptá a učebné texty	2
	Abstrakty odborných prác zo zahraničných podujatí	1
	Dizertačné a habilitačné práce	1
	Redakčné a zostavovateľské práce knižného charakteru	4
Súčet	77	
Sumár ohlasov:	Zahraničná citácia v publikácii regist. v citačných indexoch	83
	Domáca citácia v publikácii regist. v citačných indexoch	1
	Zahraničná citácia v iných databázach	35
	Domáca citácia v iných databázach	1
	Súčet	120
Pedago- gická činnosť	<i>Prednášky a cvičenia:</i>	
	Matematická analýza 1 (2007-2013), Matematická analýza 2 (2007-2013), Matematika pre informatikov 1 (2013-2024), Matematika pre informatikov 2 (2013-2024), Numerická matematika (2009-2024), Fuzzy množiny 1 (2009-2024), Fuzzy množiny 2 (2009-2024),	
	Vybrané kapitoly z genetických algoritmov (2014, 2015, 2018, 2020)	
	<i>Sumár vedenia záverečných prác:</i>	
	Spolu úspešne vedených bakalárskych prác:	28
	Spolu úspešne vedených diplomových prác:	27
Články, ktoré vznikli v spoluautorstve so študentmi:	11	
Vedené práce ŠVOČ a ŠVK:	11	
Kontaktná adresa habilitanta	RNDr. Alžbeta Michalíková, PhD. Šalgotarjárska 5207/6, 974 04 Banská Bystrica mail: alzbeta.michalikova@umb.sk	

RNDr. Alžbeta Michalíková, PhD.

Implementácia fuzzy prístupov na riešenie úloh z praxe
Implementation of fuzzy approaches to solution of tasks from practice

Teze habilitační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,
nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: 50 kusů

Sazba: RNDr. Alžbeta Michalíková, PhD.

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Pořadí vydání: První

Rok vydání 2025

ISBN 978-80-7678-324-9

