UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Aplikace fuzzy množin ve vícekriteriálním hodnocení

Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky
Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Ondřej Pavlačka, Ph.D.**
Vypracoval(a): **Alice Studeníková**
Studijní program: B1103 Aplikovaná matematika
Studijní obor Matematika–ekonomie se zaměřením na bankovnictví/pojišťovnictví
Forma studia: prezenční
Rok odevzdání: 2017

BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

Autor: Alice Studeníková

Název práce: Aplikace fuzzy množin ve vícekriteriálním hodnocení

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky

Vedoucí práce: RNDr. Ondřej Pavlačka, Ph.D.

Rok obhajoby práce: 2017

Abstrakt: Náplní práce je ukázat možné využití aparátu teorie fuzzy množin k řešení problému vícekriteriálního hodnocení. Nejdříve je představen aparát teorie fuzzy množiny, který je použit při vypracovávání praktické části práce. Poté je popsána koncepce řešení úloh vícekriteriálního hodnocení založená na fuzzy modelování. V praktické části je pak problematika ilustrována na hodnocení sushi restaurací v Olomouci.

Klíčová slova: Fuzzy množiny, fuzzy čísla, fuzzy vážený průměr, normované fuzzy váhy, jazyková škála, vícekriteriální hodnocení, FuzzME.

Počet stran: 49

Počet příloh: 0

Jazyk: český

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Author: Alice Studeníková

Title: Applications of fuzzy sets in multi-criteria evaluation

Type of thesis: Bachelor's

Department: Department of Mathematical Analysis and Application of Mathematics

Supervisor: RNDr. Ondřej Pavlačka, Ph.D.

The year of presentation: 2017

Abstract: The content of thesis is to show the possible use of the fuzzy set theory apparatus to solve the problem of multicriteria evaluation. First, the apparatus of fuzzy set theory, which is used in the practical part of thesis, is introduced. Then the concept of multicriteria evaluation based on fuzzy modeling is described. In the practical part, the problem is illustrated in the evaluation of sushi restaurants in Olomouc.

Key words: Fuzzy sets, fuzzy numbers, fuzzy weighted average, normalized fuzzy weights, linguistic scales, multi-criteria evaluation, FuzzME.

Number of pages: 49

Number of appendices: 0

Language: Czech

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením pana RNDr. Ondřeje Pavlačky, Ph.D. a všechny použité zdroje jsem uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne ....

podpis

Obsah

Úvod **7**

1 Aparát teorie fuzzy množin **8**
- 1.1 Fuzzy množina . . . 8
- 1.2 Základní charakteristiky fuzzy množin . . . 9
- 1.3 Fuzzy čísla . . . 10
- 1.4 Jazykové fuzzy škály . . . 12
- 1.5 Normované fuzzy váhy . . . 17
- 1.6 Fuzzy vážený průměr . . . 18
  - 1.6.1 Algoritmus praktického výpočtu fuzzy váženého průměru . . . 18

2 Řešič úloh vícekriteriálního hodnocení **20**
- 2.1 Základní struktura hodnotícího modelu . . . 21
- 2.2 Hodnotící kritéria . . . 21
  - 2.2.1 Kvalitativní kritéria . . . 21
  - 2.2.2 Kvantitativní kritéria . . . 22
- 2.3 Agregace dílčích hodnocení . . . 23
  - 2.3.1 Agregace pomocí fuzzy váženého průměru . . . 23

3 Hodnocení sushi restaurací **25**
- 3.1 FuzzME . . . 25
- 3.2 Strom dílčích cílů . . . 26
- 3.3 Stanovení kritérií . . . 27
  - 3.3.1 Kvalitativní kritéria . . . 27
  - 3.3.2 Kvantitativní kritéria . . . 34
- 3.4 Výpočet fuzzy váženého průměru . . . 35
- 3.5 Sushi restaurace a jejich hodnocení . . . 38

Závěr **47**

Literatura **48**

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce RNDr. Ondřeji Pavlačkovi, Ph.D., za čas a pomoc, kterou mi věnoval při vypracovávání mé práce. Dále bych chtěla poděkovat svojí mamince za její podporu a trpělivost, kterou se mnou měla. V neposlední řadě chci poděkovat mým přátelům, kteří mě vždy vyslechli a dodali mi pozitivní energii.

Úvod

Cílem této práce bude popsat možné využití aparátu teorie fuzzy množin ve vicekriteriálním hodnocení a nasledně ilustrovat tuto problematiku na řešeném praktickém příkladu. Fuzzy logika je poměrně mladá disciplína a poprvé se s ní setkáváme v článku od profesora Lofti A. Zadeha v roce 1965 [15], kde byl definován pojem fuzzy množina jako rozšíření klasických množin. Dnes je využití fuzzy množin tak široké, že se s nimi setkáváme i v běžném životě, aniž bychom o tom věděli.

V první kapitole se seznámíme s pojmy teorie fuzzy množin, které budou užity v dalších částech práce. Nadefinujeme si například pojem fuzzy množina, fuzzy číslo, normované fuzzy váhy a fuzzy vážený průměr. Následně si představíme řešič vícekriteriálního hodnocení a poté se čtenář seznámí s metodou vícekriteriálního hodnocení, která bude použita pro vyhodnocení praktického příkladu.

Proč je výhodné aplikovat fuzzy množiny pří řešení úlohy vícekriteriálního hodnocení? Využití fuzzy množin při řešení problému vícekriteriálního hodnocení nám umožňuje vytvořit adekvátní model, který slouží pro následné rozhodování a to zejména z toho důvodu, že fuzzy množiny nám dovolí pojmout neurčitá hodnocení, komplikované vztahy mezi kriterií a hlavně nám dají možnost využít znalosti experta naplno.

Problematika fuzzy množin bude ilustrována na praktickém příkladu, který bude vypracován v softwaru FuzzMe. Čtenář se seznámí s využitím softwaru FuzzME (Fuzzy Multicriteria Evalution) pro hodnocení sushi restaurací v Olomouci. Nejdříve si pomocí teoretických poznatků vytvoříme vhodný matematický model, který nám bude sloužit ke zpracování hodnocení sushi restaurací. Nakonec za použití zvolené agregační metody dojdeme k výsledným hodnocením sushi restaurací. V závěru bakalářské práce si sushi restaurace porovnáme od nejlepší po nejhorší. Toto téma jsem si vybrala, protože mě zaujalo, že se s fuzzy množinami setkáváme i v běžných oblastech života a chtěla jsem se o fuzzy množinách dozvědět více.

1. Aparát teorie fuzzy množin

V této kapitole se budeme věnovat základním pojmům z teorie fuzzy množin a dalším aparátům teorie fuzzy množin, které budou využity v praktické části bakalářské práce. Nejdříve si nadefinujeme pojem fuzzy množiny a uvedeme její základní charakteristiky. V dalších podkapitolách se budeme zabývat fuzzy čísly, jazykovými fuzzy škálami, normovanými fuzzy váhami a nakonec fuzzy váženým průměrem.

Tato kapitola byla vypracována pomocí [8], [15].

1.1. Fuzzy množina

Pokud vezmeme v úvahu teorii množin, je množina A chápána jako soubor objektů nějakého univerza U, přičemž můžeme říct, zda nějaký prvek z U do množiny A patří nebo ne. Fuzzy množina je v podstatě zobecněním klasické (ostré) množiny.

Definice1.1 Charakteristická funkce χ_A množiny A je definována vztahem

$$\chi_A\,(x) = \begin{cases} 1, & \text{jestliže } x \in A \\ 0, & \text{jinak.} \end{cases}$$

Definice1.2 Nechť je dána množina U, tzv. univerzum. Pak fuzzy množina A na univerzu U je definována zobrazením

$$\mu_A : U \longrightarrow \langle 0, 1\rangle$$

Funkci μ_A nazýváme funkcí příslušnosti fuzzy množiny A. Pro každé $x \in U$ nazveme hodnotu $\mu_A(x)$ stupněm příslušnosti prvku x k fuzzy množině A.

Poznámka1.1 *Jelikož fuzzy množina na U je jednoznačně určena svou funkcí příslušnosti, z důvodu jednoduššího zápisu budeme proto používat totéž písmeno, např. A jak pro označení fuzzy množiny, tak i její funkce příslušnosti. Stupeň příslušnosti, s nímž prvek $x \in U$ náleží fuzzy množině A, bude tedy označen $A(x)$.*

Poznámka1.2 *Systém všech množin definovaných na univerzu U budeme označovat $\mathcal{F}(U)$. Fakt, že A je fuzzy množina na U, je tedy možno vyjádřit zápisem $A \in \mathcal{F}(U)$.*

1.2. Základní charakteristiky fuzzy množin

Definice1.3 Nechť je dána fuzzy množina A na univerzu U a reálné číslo $\alpha \in \langle 0, 1\rangle$. Pak α-řezem fuzzy množiny A nazýváme (ostrou) množinu

$$A_\alpha = \{ \ x \in U \mid A(x) \geq \alpha \ \} \ .$$

Definice1.4 Jádrem fuzzy množiny A na univerzu rozumíme (ostrou) množinu

$$Ker A = \{ \ x \in U \mid A(x) = 1 \ \} \ .$$

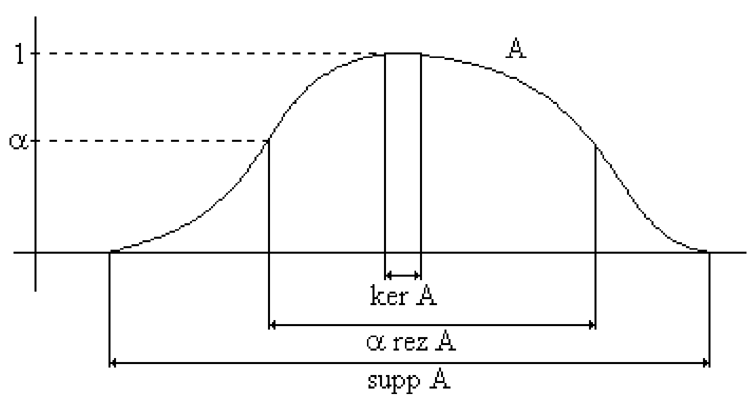
Definice1.5 Nosičem fuzzy množiny A na univerzu U nazýváme (ostrou) množinu

$$Supp A = \{ \ x \in U \mid A(x) > 0 \ \} \ .$$

Definice1.6 Fuzzy množina A na univerzu U se nazývá normální, jestliže

$$Ker A \neq \emptyset \ .$$

Výše definované charakteristiky jsou znázorněny na Obrázku 1.



Obrázek 1: Fuzzy množina, její nosič, α-řez a jádro

1.3. Fuzzy čísla

Již jsme si definovali pojem fuzzy množina a charakteristiky fuzzy množiny a nyní si můžeme zavést pojem fuzzy číslo. Fuzzy čísla nám slouží k vyjádření neurčitých množství. Pokud se jedná o řešení úlohy vícekriteriálního hodnocení, představují fuzzy čísla nepřesné výsledky měření, neurčité expertně zadané hodnoty, matematické významy jazykově zadaných dat nebo také vypočtená neurčitá výsledná hodnocení variant.

Definice1.7 Fuzzy množina C definovaná na množině reálných čísel $\mathbb{R}$, která má následující vlastnosti:

1. C je normální fuzzy množina,
2. α-řezy C_α představují pro všechna $\alpha \in (0,1\rangle$ uzavřené intervaly,
3. nosič $Supp\ C$ je ohraničený,

se nazývá fuzzy číslem.

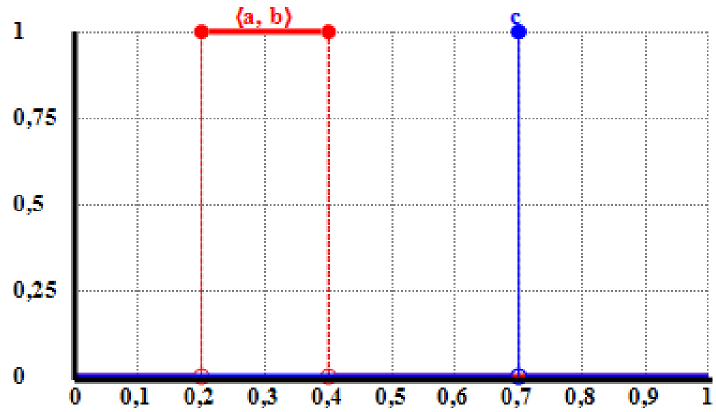
Věta1.1 *Nechť C je fuzzy množina na $\mathbb{R}$. Pak C je fuzzy číslem jen tehdy, existují-li reálná čísla, tzv. význačné body $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4$ tak, že pro funkci příslušnosti $C(.)$ platí*

$$C(x) = \begin{cases} L(x), & pro\ x\ \in\ (-\infty, x_2) \\ 1, & pro\ x\ \in\ (x_2, x_3) \\ P(x), & pro\ x\ \in\ (x_3, \infty) \end{cases},$$

kde funkce $L : (-\ \infty,\ x_2) \rightarrow \langle 0,1\rangle$ je neklesající, spojitá zprava a platí pro ni $L(x) = 0$ pro $x \in (-\ \infty,\ x_1)$ a funkce $P : (x_3,\ \infty) \rightarrow \langle 0,1\rangle$ je nerostoucí, spojitá zleva a platí pro ni $P(x) = 0$ pro $x \in (x_4,\ \infty)$.

Poznámka1.3 *Speciálním případem fuzzy čísla ve smyslu Definice* 1.1.8 *je číslo realné, kde platí $x_1 = x_2 = x_3 = x_4$. Dá se ověřit, zda libovolné reálné číslo, například číslo $c = 0,7$, splňuje vlastnosti dané pro fuzzy číslo. Číslo $0,7$ zcela náleží do fuzzy množiny, proto je tato množina normální, α-řezy jsou uzavřené intervaly $[0.7, 0.7]$ a nosič je ohraničený. Tento speciální případ fuzzy čísla můžeme vidět na Obrázku 2.*

Poznámka1.4 *Dalším speciálním případem fuzzy čísla je uzavřený interval $\langle a, b\rangle$,* *kde platí $x_1 = x_2 \neq x_3 = x_4$. Takto definovaná fuzzy čísla můžeme chápat tak, že jejich funkce příslušnosti je definovaná na celém $\mathbb{R}$, ale všude vně intervalu $\langle a, b\rangle$ je nulová.Tento speciální případ fuzzy čísla můžeme vidět na Obrázku 2.*



Obrázek 2: Fuzzy číslo znazorňující uzavřený interval $\langle a, b\rangle$ a fuzzy číslo jako realné číslo c.

Věta1.2 *Fuzzy číslo C lze popsat také pomocí dvojice reálných funkcí $\underline{c}(\alpha)$, $\overline{c}(\alpha)$ definovaných na $\langle 0, 1\rangle$. Poté platí, že $\langle \underline{c}(\alpha), \overline{c}(\alpha)\rangle = C_\alpha$, pro $\alpha \in (0, 1\rangle$ a $\langle \underline{c}(0), \overline{c}(0)\rangle = Cl(SuppC)$.*

Dále můžeme používat následující značení $C = \{\langle \underline{c}(\alpha), \overline{c}(\alpha)\rangle, \alpha \in \langle 0, 1\rangle\}$. Tento zápis je lepší pro výpočty s fuzzy čísly, metriky a uspořádání fuzzy čísel.

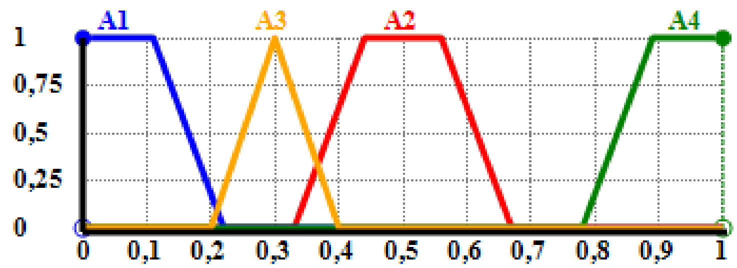
Definice1.8 Lineárním fuzzy číslem na intervalu $\langle a, b\rangle$ určeným čtveřicí bodů

$$(x_1, 0), (x_2, 1), (x_3, 1), (x_4, 0),$$

kde $a \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4 \leq b$, rozumíme fuzzy číslo C, jehož funkce příslušnosti závisí na parametrech x_1, x_2, x_3, x_4 následujícím způsobem:

$$\exists x \in \langle a, b\rangle : \; C(x; x_1, x_2, x_3, x_4) = \begin{cases} 0, & pro\ x < x_1, \\ \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, & pro\ x_1 \leq x \leq x_2, \\ 1, & pro\ x_2 \leq x \leq x_3 \\ \frac{x_4 - x}{x_4 - x_3}, & pro\ x_3 \leq x \leq x_4, \\ 0, & pro\ x_4 < x. \end{cases}$$

Poznámka1.5 *Existují speciální typy lineárních fuzzy čísel a to například fuzzy číslo typu Z, kde musí platit že $x_1 = x_2$, lichoběžníkové fuzzy číslo, trojúhelníkové,* *pro které platí, že $x_2 = x_3$, a fuzzy číslo typu S, kde $x_3 = x_4$. Příklady těchto lineárních fuzzy čísel jsou znázorněny na Obrázku 3.*



Obrázek 3: Lineární fuzzy čísla: Fuzzy číslo typu Z (A1), lichoběžníkové (A2), trojúhleníkové (A3), fuzzy číslo typu S (A4)

Poznámka1.6 *Fuzzy číslo C nazveme symetrické fuzzy číslo, jestliže existuje c takové, že pro každé $\alpha \in (0, 1)$ platí:*

$$c = \frac{\underline{c}(\alpha)+\overline{c}(\alpha)}{2}.$$

1.4. Jazykové fuzzy škály

Fuzzy škály slouží k zjednodušenému diskrétnímu popisu proměnných, které původně nabývaly nekonečně mnoha hodnot z nějakého uzavřeného intervalu reálných čísel. Využívají se zejména, pokud máme pouze expertní znalost o vztazích mezi veličinami.

Základem práce s jazykovými fuzzy škálami je jazyková proměnná. Jako jazykovou proměnnou označujeme takovou proměnnou, u které jsou její hodnoty jazykové termy, interpretované jako fuzzy množiny na $\mathbb{R}$, nejčastěji jako fuzzy čísla.

Definice1.9 Jazykovou proměnnou rozumíme pětici

$$(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \mathrm{X}, \mathrm{G}, \mathrm{M}),$$

kde $\mathcal{V}$ je jméno této jazykové proměnné, $\mathcal{T}(\mathcal{V})$ je množina jazykových hodnot proměnné $\mathcal{V}$, $\mathrm{X} \subseteq \mathbb{R}$ je univerzum, na němž jsou definovány fuzzy množiny představující významy těchto jazykových hodnot, G je syntaktické pravidlo (gramatika) pro generování jazykových hodnot z $\mathcal{T}(\mathcal{V})$ a M je sémantické pravidlo, tj.

zobrazení, které každé jazykové hodnotě $\mathcal{C} \in \mathcal{T}(\mathcal{V})$ přiřadí její význam $C = M(\mathcal{C})$, který je fuzzy množinou na X.

Poznámka1.7 *Dále v textu budeme vždy předpokládat, že významy hodnot jazykové proměnné jsou modelovány fuzzy čísly definovanými na intervalu reálných čísel (speciálně na některém uzavřeném intervalu $\langle a, b\rangle$) . Jazykové proměnné a jejich jazykové hodnoty budeme označovat velkými psacími písmeny a fuzzy čísla vyjadřující významy těchto jazykových termů pak velkými odpovídajícími tiskacími písmeny.*

Poznámka1.8 *Pokud je množina hodnot jazykové proměnné explicitně dána, není pak třeba uvádět v označení této jazykové proměnné syntaktické pravidlo G. Pokud i význam každého z termů této jazykové proměnné považujeme za explicitně daný a použijeme-li úmluvu, že fuzzy čísla modelující významy těchto termů označujeme odpovídajícími velkými písmeny, můžeme v označení jazykové proměnné vynechat symbol M.*

Definice1.10 Řekneme, že jazyková proměnná $(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \langle a, b\rangle)$ definuje na intervalu $\langle a, b\rangle$ jazykovou škálu, jestliže fuzzy čísla $T_1, T_2, ..., T_s$ modelující významy jazykových hodnot $\mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s$ tvořící množinu $\mathcal{T}(\mathcal{V})$ představují fuzzy rozklad intervalu $\langle a, b\rangle$, tj.

$$\forall x \in \langle a, b\rangle : \textstyle\sum_{i=1}^{s} T_i(x) = 1.$$

Jak vypadá jazyková škála, můžeme vidět na Obrázku 4.

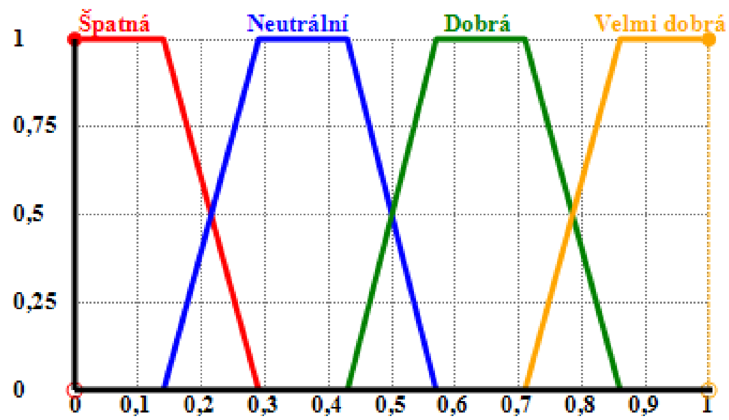
Věta1.3 *Nechť hodnoty $\mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s$, $M(\mathcal{T}_i) = T_i, i = 1, 2, ..., s$, jazykové proměnné $(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \langle a, b\rangle)$ tvoří jazykovou škálu na intervalu $\langle a, b\rangle$. Pak platí:*

1. Při vhodném očíslování prvků této škály lze fuzzy čísla $T_1, T_2, ..., T_s$ lineárně uspořádat $T_1 < T_2 < ... < T_s$.

2. Pro každé $x \in \langle a, b\rangle$ nastává právě jedna z možností: buď

$$\exists i_0 \in \{1, 2, ..., s\} : T_{i_0}(x) = 1,$$
$$\forall i \in \{1, 2, ..., s\}, i \neq i_0 : T_i(x) = 0,$$

anebo



Obrázek 4: Jazyková škála

$$\exists i_0 \in \{1, 2, ..., s-1\} : T_{i_0}(x) > 0, T_{i_0+1}(x) > 0, T_{i_0}(x) + T_{i_0+1}(x) = 1,$$
$$\forall i \in \{1, 2, ..., s\}, i \neq i_0, i_0 + 1 : T_i(x) = 0.$$

3. Funkce příslušnosti fuzzy čísel $T_1, T_2, ..., T_s$ představujících významy jazykových hodnot této škály jsou spojité na intervalu $\langle a, b\rangle$

Věta1.4 *Nechť je dána jazyková proměnná $(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \langle a, b\rangle)$, kde $\mathcal{T}(\mathcal{V}) = \{\mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s\}$ a $M(\mathcal{T}_i) = T_i$ jsou pro $i = 1, 2, ..., s$ lineárními fuzzy čísly na $\langle a, b\rangle$ danými čtveřicemi bodů*

$$\{(x_1^i, 0), (x_2^i, 1), (x_3^i, 1), (x_4^i, 0)\},$$

$a \leq x_1^i \leq x_2^i \leq x_3^i \leq x_4^i \leq b$. Nechť pro x-ové souřadnice těchto fuzzy čísel dále platí

$$x_1^i = x_3^{i-1}, x_2^i = x_4^{i-1}, x_3^i = x_1^{i+1}, x_4^i = x_2^{i+1} \text{ pro } i = 2, 3, ...s-1,$$
$$a = x_1^1 = x_2^1, x_3^s = x_4^s = b.$$

Pak jazykové hodnoty $\mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s$ tvoří jazykovou škálu na intervalu $\langle a, b\rangle$.

Definice1.11 Řekneme, že jazyková škála

$$\mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s, M(\mathcal{T}_i) = T_i, i = 1, 2, ..., s,$$

definovaná na intervalu $\langle a, b\rangle$ jazykovou proměnnou $(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \langle a, b\rangle)$ je rovnoměrná, jestliže pro význačné body

$$(x_1^i, 0), (x_2^i, 1), (x_3^i, 1), (x_4^i, 0),$$

fuzzy čísel $T_i, i = 1, 2, ..., s$, platí:

1. $\forall i \in \{1, 2, ..., s\} : x_3^i - x_2^i = k$, kde $k \in \langle 0, \frac{b-a}{s})$, tj. velikosti jader všech fuzzy čísel $T_i, i = 1, 2, ..., s$, jsou stejné,

2. $\forall i \in \{2, 3, ..., s\} : x_2^i - x_1^i = r$,

   $\forall i \in \{1, 2, ..., s-1\} : x_4^i - x_3^i = r$, kde $r = \frac{b-a-sk}{s-1}$,

   $x_1^1 = x_2^1 = a, x_3^s = x_4^s = b$,

tj. s výjimkou krajních fuzzy čísel škály jsou uvažovaná fuzzy čísla symetrická a mají všechny stejně velké levé a pravé zóny neurčitosti.

Definice1.12 Nechť je dána jazyková proměnná $(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \langle a, b\rangle)$, jejíž množina jazykových hodnot $\mathcal{T}(\mathcal{V})$ je tvořena jednak množinou elementárních termů

$$\mathcal{T}_0(\mathcal{V}) = \{\mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s\}, M(\mathcal{T}_i) = T_i, i = 1, 2, ..., s,$$

tvořících jazykovou škálu na $\langle a, b\rangle$, jednak množinou odvozených termů

$$\mathcal{T}_1(\mathcal{V}) = \{ \text{ určitě } \mathcal{T}_1, \text{ víceméně } \mathcal{T}_1, ..., \text{ určitě } \mathcal{T}_s, \text{ víceméně } \mathcal{T}_s\},$$

kde pro fuzzy čísla představující významy odvozených jazykových termů

$$\text{M(určitě } \mathcal{T}_i) = T_i^- \text{ , M(víceméně } \mathcal{T}_i) = T_i^+, i = 1, 2, ..., s,$$

jsou splněny následující podmínky:

1. Pro všechna $i = 2, 3, ..., s$ *a* $x \in (x_1^i, x_2^i)$ platí

$$T_i^-(x) < T_i(x) < T_i^+(x)$$

a pro všechna $i = 1, 2, ..., s-1$ *a* $x \in (x_3^i, x_4^i)$ platí

$$T_i^-(x) < T_i(x) < T_i^+(x),$$

kde $(x_1^i, 0), (x_2^i, 1), (x_3^i, 1), (x_4^i, 0)$ jsou význačné body fuzzy čísel $T_i, i = 1, 2, ..., s$.

2. Posloupnosti fuzzy čísel

$$T_1^-, T_2^+, T_3^-, T_4^+, ..., T_s^-$$
$$T_1^+, T_2^-, T_3^+, T_4^-, ..., T_s^+ \text{ pro s liché,}$$
$$\text{resp.}$$
$$T_1^-, T_2^+, T_3^-, T_4^+, ..., T_s^+$$
$$T_1^+, T_2^-, T_3^+, T_4^-, ..., T_s^- \text{ pro s sudé,}$$

tvoří rozklady na intervalu $\langle a, b\rangle$. Pak řekneme, že hodnoty této jazykové proměnné tvoří obohacenou jazykovou škálu na $\langle a, b\rangle$.

Definice1.13 Nechť je dána jazyková proměnná $(\mathcal{V}, \mathcal{T}(\mathcal{V}), \langle a, b\rangle)$ definující na intervalu $\langle a, b\rangle$ jazykovou škálu

$$\mathcal{T}(\mathcal{V}) = \mathcal{T}_1, \mathcal{T}_2, ..., \mathcal{T}_s, M(\mathcal{T}_i) = T_i, i = 1, 2, ..., s.$$

Řekneme, že jazyková proměnná

$$(\mathcal{V}', \mathcal{T}(\mathcal{V}'), \langle a, b\rangle)$$

definuje rozvinutí výše uvedené jazykové škály, jestliže množina $\mathcal{T}(\mathcal{V}')$ jejich jazykových termů je dána následovně:

1. Pro množinu elementárních termů proměnné $\mathcal{V}'$ platí

$$\mathcal{T}_0(\mathcal{V}') = \mathcal{T}(\mathcal{V}).$$

2. Ostatní jazykové proměnné $\mathcal{V}'$ jsou definovány jako jazykové popisy následujících fuzzy čísel

$$T_1 \cup_L T_2, T_2 \cup_L T_3, ..., T_{s-1} \cup_L T_s,$$
$$T_1 \cup_L T_2 \cup_L T_3, T_2 \cup_L T_3 \cup_L T_4, ..., T_{s-2} \cup_L T_{s-1} \cup_L T_s,$$
$$\dots,$$
$$T_1 \cup_L T_2 \cup_L ... \cup_L T_s,$$

kde symbol „$\cup_L$”značí operaci sjednocení fuzzy množiny definovanou pomocí Lukasiewiczovy disjunkce, tj. například funkce příslušnosti fuzzy čísla $T_i \cup_L T_{i+1}, i = 1, 2, ..., s-1$ je definována předpisem

$$\forall x \ \in \langle a,b\rangle : (T_i \cup_L T_{i+1})(x) = \min\{1, T_i(x) + T_{i+1}(x)\}.$$

3. Pro přiřazení jazykových popisů fuzzy číslům uvedených v bodě 2 platí následující pravidla (zobrazení M^{-1}):

$$M^{-1}(T_1 \cup_L T_2 \cup_L ... \cup_L T_s) = M^{-1}(\langle a,b\rangle) = \text{neurčeno},$$

jinak pro všechna $i = 1,2,...,s$ a $j = 1,2,...,s, i < j$, pro něž není současně $i = 1$ a $j = s$, klademe

$$M^{-1}(T_i \cup_L T_{i+1} \cup_L ... \cup_L T_j) = \mathcal{T}_i \text{ až } \mathcal{T}_j.$$

Hodnoty takto definované jazykové proměnné nazýváme rozvinutá jazyková škála.

1.5. Normované fuzzy váhy

Normované fuzzy váhy se používají v případě, když chceme popsat rozdělení celku na neurčité části. Přičemž se jedná o množinu nezáporných fuzzy čísel, které modelují neurčité hodnoty jejichž součet je roven 1. Nejdříve si nadefinujeme normované fuzzy váhy a dále si pak popíšeme možný postup stanovení normovaných fuzzy vah.

Definice1.14 Fuzzy čísla $V_1, V_2, ..., V_n$ definovaná na $\langle 0,1\rangle$ se nazývají normované fuzzy váhy, jestliže pro každé $\alpha \in (0,1\rangle$ a každé $i = 1,2,...,n$ platí: pro libovolné $v_i \in V_{i\alpha}$ existují $v_j \in V_{j\alpha}$, $j = 1,2,...,n$, $j \neq i$ taková, že

$$v_i + \sum_{j=1, j\neq i}^{n} v_j = 1.$$

Nyní si ukážeme algoritmus, jak stanovit normované fuzzy váhy za pomoci reálných čísel. Expert stanoví odhad normovaných vah pomocí reálných čísel $v_1, v_2, ..., v_n$ takových, že $v_i \geq 0$, i $= 1,2,...n$ a $\sum_{i=1}^{n} v_i = 1$. Poté stanoví koeficienty k_i a s_i, $0 \leq k_i \leq s_i$, $v_i - s_i \geq 0$, $v_i + s_i = 1$, i $= 1,2,...n$, které charakterizují neurčitost jader, respektive nosičů.

Takto vzniklá symetrická lineární fuzzy čísla $V_i = \langle\, v_i - s_i, v_i - k_i, v_i + k_i, v_i + s_i\rangle$, i $= 1,2,...n$, jsou normované fuzzy váhy, pokud k_i a s_i, i $= 1,2,...,n$ splňují následující podmínku:

$$k_{i^*} \leq \sum_{i=1, i\neq i^*}^{n} k_i \text{ a } s_{j^*} \leq \sum_{j=1, j\neq j^*}^{n} s_j,$$

kde $k_{i^*} = \max\{k_1, k_2, ..., k_n\}$ a $s_{j^*} = \max\ \{s_1, s_2, ..., s_n\}$.

Poznámka1.9 *Tato podmínka je splněna v případě trojúhelníkových fuzzy čísel* $V_i = \langle\ v_i - s, v_i\ ,\ v_i + s\rangle,\ i = 1, 2, ...n,$ *kde* $v_1, v_2, ..., v_n$ *jsou normované váhy,* $s \geq 0$ *a pro všechna* $i = 1, 2, ...n,\ v_i - s \geq 0$ *a* $v_i + s \leq 1.$

1.6. Fuzzy vážený průměr

V této podkapitole bude definován fuzzy vážený průměr (pracujeme s normovanými váhami), který jsem poté využila v praktickém příkladu k zjištění výsledného hodnocení a určení nejlepší varianty. Také se seznámíme s algoritmem výpočtu fuzzy váženého průměru.

Definice1.15 Nechť jsou dány normované fuzzy váhy $V_1, V_2, ...V_n$. Pak fuzzy vážený průměr fuzzy čísel $X_1, X_2, ..., X_n$ s normovanými fuzzy váhami $V_1, V_2, ...V_n$ je definován jako fuzzy číslo X^N s funkcí příslušnosti

$$\forall x \in \mathbb{R}\ X^N(x) = \max\{\min\{X_1(x_1), X_2(x_2), ..., X_n(x_n), V_1(v_1), V(v_2), ..., V_n(v_n)\} \mid x = \sum_{i=1}^{n} v_i x_i, \sum_{i=1}^{n} v_i = 1\}, i = 1, 2, ..., n.$$

Fuzzy vážený průměr se značí

$$X^N = (F) \sum_{i=1}^{n} V_i X_i.$$

Poznámka1.10*Fuzzy vážený průměr lineárních fuzzy čísel s lineárními normovanými fuzzy váhami není obecně lineární fuzzy číslo.*

1.6.1. Algoritmus praktického výpočtu fuzzy váženého průměru

Mějme dána fuzzy čísla $X_i = \langle \underline{x}_i(\alpha), \overline{x}_i(\alpha)\rangle$, $\alpha \in \langle 0, 1\rangle$, i $= 1, 2, ..., n$ a normované fuzzy váhy $V_i = \langle \underline{v}_i(\alpha), \overline{v}_i(\alpha)\rangle$ $\alpha \in \langle 0, 1\rangle$, $i \in \{1, 2, ..., n\}$. Pak fuzzy vážený průměr $X^N = (F) \sum_{i=1}^{n} V_i X_i$, kde $X = \{\langle \underline{x}(\alpha), \overline{x}(\alpha)\rangle, \alpha \in \langle 0, 1\rangle\}$, můžeme podle [8] vypočítat pomocí následujícího algoritmu.

Pro každé $\alpha \in \langle 0, 1\rangle$ platí následující: Nechť $\{i_k\}_{k=1}^{n}$ je taková permutace na indexové množině $\{1, 2, ...n\}$, že platí $\underline{x}_{i_1}(\alpha) \leq \underline{x}_{i_2}(\alpha) \leq .... \leq \underline{x}_{i_n}(\alpha)$. Pro $k \in i = 1, 2, ..., n$ označme

$$v_{i_k}(\alpha) = 1 - \sum_{j=1}^{k-1} \overline{v}_{i_j}(\alpha) - \sum_{j=k+1}^{n} \underline{v}_{i_j}(\alpha).$$

Označme $k^* \in \{1, 2, ...n\}$ takový index, že platí $\underline{v}_{i_{k^*}}(\alpha) \leq v_{i_{k^*}}(\alpha) \leq \overline{v}_{i_{k^*}}(\alpha)$. Pak

$$\underline{x}(\alpha) = \sum_{j=1}^{k^*-1} \overline{v}_{i_j(\alpha)} \cdot \underline{x}_{i_j}(\alpha) + v_{i_{k^*}}(\alpha) \cdot \underline{x}_{i_{k^*}(\alpha)} + \sum_{j=k^*+1}^{n} \underline{v}_{i_j}(\alpha) \cdot \underline{x}_{i_j}(\alpha).$$

Dále nechť $\{i_h\}_{h=1}^{n}$ je taková permutace na indexové množině $\{1, 2, ...n\}$, že platí $\overline{x}_{i_1}(\alpha) \geq \overline{x}_{i_2}(\alpha) \geq .... \geq \overline{x}_{i_m}(\alpha)$. Pro $h \in \{1, 2, ...n\}$ označme

$$v_{i_h}(\alpha) = 1 - \sum_{j=1}^{h-1} \overline{v}_{i_j}(\alpha) - \sum_{j=h+1}^{n} \underline{v}_{i_j}(\alpha).$$

Označme $h^* \in \{1, 2, ...n\}$ takový index, že platí $\underline{v}_{i_{h^*}}(\alpha) \leq v_{i_{h^*}}(\alpha) \leq \overline{v}_{i_{h^*}}(\alpha)$. Pak

$$\overline{x}(\alpha) = \sum_{j=1}^{h^*-1} \overline{v}_{i_j}(\alpha) \cdot \overline{x}_{i_j}(\alpha) + v_{i_{h^*}}(\alpha) \cdot \overline{x}_{i_{h^*}}(\alpha) + \sum_{j=h^*+1}^{n} \underline{v}_{i_j}(\alpha) \cdot \overline{x}_{i_j}(\alpha).$$

2. Řešič úloh vícekriteriálního hodnocení

V této kapitole se budeme zabývat základním schématem řešení, matematickými metodami a postupy, které nám umožňují sestavovat matematické modely pro úlohy vícekriteriálního hodnocení. Cílem bude popsat matematický model, který jsem později využila v praktické části své práce. Řešič úloh vícekriteriálního hodnocení je podrobněji představen v [5], [6], [11].

Nyní můžeme aplikovat teoretické poznatky z první kapitoly, a vytvořit tak matematický model pro hodnocení variant vzhledem k zadanému celkovému cíli vyjádřenému množinou dílčích cílů a kriterií. Jelikož většinou není množina variant předem známa (například při koupi a výběru auta nevíme předem, jaké auta nám budou nabídnuta), je vhodné si stanovit takový hodnotící proces, který bude aplikovatelný i na individuální alternativy. Požadujeme, aby model vícekriteriálního hodnocení byl schopen zpracovat neurčitost, expertně definovaná data a využít znalosti experta spojené s hodnotícím procesem. Dalším požadavkem je srozumitelnost matematického modelu, protože získané výstupy nám později slouží při rozhodování. Výsledné hodnocení by mělo vyjadřovat stupeň naplnění daného cíle, proto je nutné použít hodnocení absolutního typu. V tomto případě, nám bude výsledné hodnocení sloužit nejen k podpoře rozhodnutí o vhodnosti alternativy (například v případě přijímání studentů na vysokou školu rozhodneme o přijatých a nepřijatých studentech), ale také budeme moci alternativy porovnávat mezi sebou, případně určit nejlepší z alternativ.

Škála hodnocení, kterou budeme používat, bude interval $\langle 0, 1 \rangle$, kde na jedné straně 0 znamená, že alternativa nesplňuje daný cíl vůbec, a na druhé straně 1 znamená, že alternativa plně uspokojuje cíl. Hodnocení uvnitř intervalu značí míru naplnění cíle (například hodnocení 0,65 může být chápáno tak, že cíl byl naplněn z 65 %). Díky znalosti teorie fuzzy množin, tento přístup hodnocení alternativ může být interpretován jako stupeň náležení alternativy do fuzzy množiny alternativ splňujících daný cíl. Tímto způsobem Bellman a Zadeh (1970)[3] interpretovali hodnocení alternativ v jejich článku.

Dále v textu budeme pracovat s hodnocením, které bude vyjádřeno pomocí fuzzy čísel definovaných na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$.

2.1. Základní struktura hodnotícího modelu

Nyní si představíme základní strukturu našeho matetického modelu. Z důvodu větší přehlednosti bude základní struktura fuzzy modelu vícekriteriálního hodnocení demonstrována pomocí stromu cílů. Kořen neboli základ tohoto stromu představuje celkový cíl hodnocení a každý další uzel souvisí s dílčím cílem, postupně se tak strom větví do nižších úrovní, dokud nemůžeme danému dílčímu cíli přiřadit vhodnou charakteristiku. Pak jsou tedy cíle na koncích větví spojeny buď s kvantitativním, nebo kvalitativním kritériem.

Když je alternativa hodnocena, hodnocení spojená s kritérii na koncích větví jsou vypočítána jako první. Nezávisle na typu kritéria je každé hodnocení vyjádřeno fuzzy číslem definovaným na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. V následující podkapitole si kritéria popíšeme blíže.

2.2. Hodnotící kritéria

V tomto modelu můžeme vybírat ze dvou typů kritérií - kvalitativní nebo kvantitativní. Oba typy mohou být volně kombinovány v rámci jednoho stromu cílů.

2.2.1. Kvalitativní kritéria

Kvalitativní kritéria jsou ta, jejichž hodnoty nemohou být měřeny a musí být hodnoceny expertně. Alternativy jsou hodnoceny slovně pomocí hodnot speciálních jazykových proměnných – jazykové škály, rozvinuté jazykové škály a obohacené jazykové škály. Když je alternativa hodnocena na základě kvalitativního kritéria, vybíráme nejlepší variantu z množiny možností jazykové škály, například jazyková škála "Chuť jídla"může obsahovat jazykové hodnoty "špatná", "neutrální", "dobrá"nebo "velmi dobrá", pak při hodnocení vybereme jednu z těchto jazykových hodnot. Pokud pracujeme s rozvinutou jazykovou škálou, máme více možností na výběr, protože můžeme vybírat též z možnosti A až B. Poté můžeme říct, že chuť jídla byla špatná až neutrální. Další variantou je obohacená jazyková škála, kde jsou přidány možnosti mezi A až B, čili můžeme hodnotit chuť jídla jako víceméně špatná, určitě neutrální apod.

Slovní hodnocení, které získáme díky jazykovým škálám, je následně matematicky vyjádřeno lineárně uspořádanými fuzzy čísly rovnoměrně rozloženými na intervalu $\langle 0, 1\rangle$. Toto téma bylo podrobněji popsáno v první kapitole.

2.2.2. Kvantitativní kritéria

V případě kvantitativního kritéria je hodnocení alternativ měřitelné. Je vypočítáno z naměřených hodnot kritéria za pomocí hodnotící funkce, které byla stanovena expertem (tvůrcem modelu). Když vytváříme model, nejdříve specifikujeme, zda se jedná o kritérium s rostoucí preferencí, čili čím větší hodnota, tím více jsme spokojeni, nebo naopak kritérium s klesající preferencí, čím nižší hodnota, tím více jsme spokojeni. Následně si určíme hodnotu kritéria, při které budeme maximálně spokojeni a pak konec přijatelných hodnot neboli hodnotu kritéria, od které budeme plně nespokojeni. Takto si nadefinujeme hodnotící funkci, jež bude mít definiční obor od 0 až po konec přijatelných hodnot a obor hodnot $\langle 0, 1\rangle$. Po dosazení naměřených hodnot do funkce se dozvíme, které vyhovují našim požadavkům, a které ne. V případě, že naměřená hodnota bude v oblasti námi stanovené zcela vyhovující hodnoty, je rovna 1. V opačném případě, a to pokud se bude rovnat hodnotě, která nás plně neuspokojuje, je rovna 0. Například v případě klesající hodnotící funkce pro kritérium "Čekací doba na sushi v restauraci" si stanovíme zcela vyhovující hodnotu na 10 minut, pokud bude naměřená hodnota rovna nebo menší než deset, budeme plně spokojeni a hodnota je rovna 1. Se stoupajícím časem pak naše spokojenost klesá, jako strop čekání si určíme 30 minut, pokud naměřená hodnota bude rovna 30 minutám, jedná se o plně nevyhovující hodnotu, čili je rovna 0.

Hodnoty kvantitativnách kritérií mohou být ostré, nebo se může jednat o fuzzy hodnoty. V případě fuzzy hodnot se jedná o nepřesná měření nebo expertní odhady na hodnoty kritéria. Míra naplnění cíle je vypočítána z hodnot kritéria pro konkrétní alternativu, přičemž ostré hodnoty je možné dosadit do hodnotící funkce přímo. Pokud se jedná o fuzzy číslo, je míra naplnění příslušného cíle vypočítána pomocí principu rozšíření (popsáno podrobněji v knize [11]).

2.3. Agregace dílčích hodnocení

Již jsme si zmínili, že při vyhodnocování postupujeme nejdříve od kritérií, pak pokračujeme přes dílčí hodnocení až k celkovému hodnocení. Agregace tak provedeme postupně v souladu se strukturou stromu dílčích cílů. Pro každý uzel stromu si určíme vhodný typ agregace s ohledem na naše preference a také na vztahy mezi kritérii, pokud existují. Agregaci dílčích cílů můžeme provést buď pomocí fuzzifikovaných agregačních operátorů, nebo pomocí fuzzy expertního systému. Fuzzifikované metody agregace jsou vhodné z toho důvodu, že můžeme využít naše znalosti naplno. Konečným výsledkem po sobě jdoucích agregací dílčích hodnocení je celkové fuzzy hodnocení dané alternativy. Získané fuzzy hodnocení je opět fuzzy číslo na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, které představuje neurčitou míru naplnění celkového cíle konkrétní alternativou.

Pro své výpočty jsem si vybrala metodu fuzzy váženého průměru, která odpovídala povaze mnou řešeného problému, a také protože s výstupy, které jsem pomocí této metody získala, jsem byla spokojená. Tato metoda bude podrobněji popsána v následující podkapitole. S dalšími metodami, které se dají využít při agreaci dilčích cílů, se můžeme podrobněji seznámit v nasledujících zdrojích: Fuzzy OWA (Ordered Fuzzy Weighted Average) je blíže popsána v [1] a [14], fuzzifikovaná WOWA je detailně popsána v [13], s fuzzifikovaným Choquetovým integrálem se můžeme seznámit v [2], o fuzzy expertní systému se dočteme více v [7].

2.3.1. Agregace pomocí fuzzy váženého průměru

Nyní se seznámíme s metodou agregace, kterou jsem využila pro svůj praktický příklad. Fuzzy vážený průměr je nejjednodušším typem z fuzzy metod. S teorií fuzzy váženého průměru jsme se již seznámili v kapitole 1.6. I přestože se jedná o relativně jednoduchý typ metody, mnoho z problémů fuzzy vícekriteriálního hodnocení může být uspokojivě vyřešeno pomocí fuzzy váženého průměru. Můžeme jej použít, pokud je cíl daného uzlu plně rozložen do vzájemně se nepřekrývajících cílů nižšího stupně.

Tato agregační metoda je fuzzifikací standardního váženého průměru. Ovšem použití fuzzy váženého průměru je vhodnější, protože váhy obvykle neznáme přesně, jedná se většinou o námi stanovený parametr modelu. V mém případě jsem pracovala s fuzzy váženým průměrem s normovanými váhami. Nejdříve jsem si tedy musela stanovit normované váhy u všech kritérií a dílčích cílů, které pak představují podíly dílčích cílů na celkovém cíli (podobně podíly kriterií na dílčím cíli), poté jsem mohla přejít k agregaci fuzzy váženým průměrem. Jak stanovit normované váhy a následně algoritmus výpočtu fuzzy váženého průměru jsme si představili v první kapitole.

Hodnocení pomocí fuzzy váženého průměru je vhodné v mnoha situacích, například při hodnocení restaurací, přijímaní studentů na vysokou školu, při výběru a koupi auta, hodnocení znalostí studentů. Nakonec hlavním důvodem, proč je vhodnější využit fuzzy vážený průměr, je to, že v případě ostrého hodnocení, kdy jsou váhy stejné, například při hodnocení znalostí studentů , může být student, který je excelentní v matematice a podprůměrný v českém jazyce, stejně hodnocen jako jeho spolužák, který je podprůměrný v obou předmětech. Což v případě fuzzy váženého průměru nenastane, protože hodnocení může mít sice stejný střed těžiště, ale v základu obsahuje více neurčitosti.

3. Hodnocení sushi restaurací

V praktické části své bakalářské práce se budu zabývat hodnocením Sushi restaurací v Olomouci. Do své práce jsem zahrnula šest sushi restaurací, které se v Olomouci nachází a to Miomi sushi, Fishi sushi, Wabi čajovna, Sushi v obchodním centru Šantovka, Sushi v obchodním centru Olomouc city a Big Maki v obchodním centru Haná. Restaurace budou podrobněji rozepsány v samostatné podkapitole.

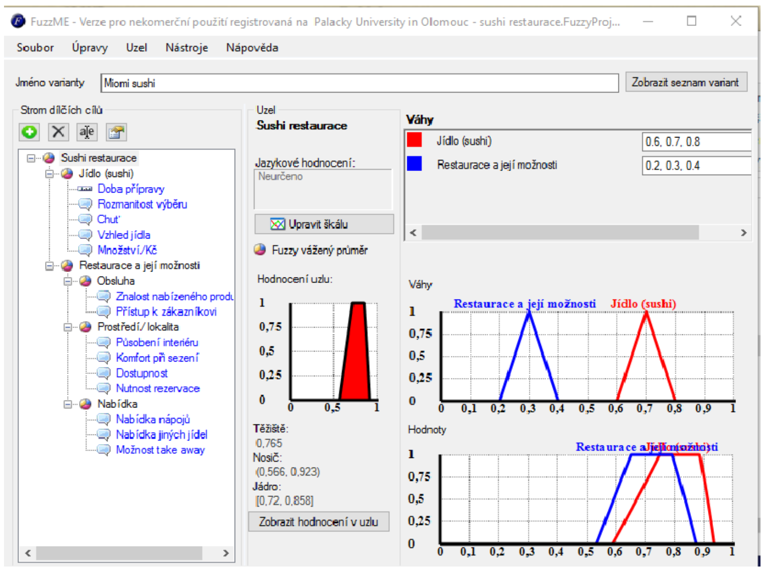
Mým cílem bylo podle mnou stanovených dílčích cílů a kritérií ohodnotit sushi restaurace v Olomouci a nakonec je srovnat od nejlepší po nejhorší. Původní myšlenkou bylo objednat si v každé restauraci stejný počet a stejné druhy sushi, abych tak mohla porovnávat cenu a hodnotit restaurace na stejné úrovni. Ovšem po krátkém průzkumu jsem zjistila, že to není možné a tak jsem se rozhodla stanovit si cenové rozpětí od 200 do 250 Kč a následně hodnotit množství a rozmanitost sushi s ohledem na cenu.

Celý praktický příklad jsem zpracovávala s pomocí softwaru FuzzME, který bude popsán v následující podkapitole. Dále v textu si představíme můj strom cílů, pak kritéria podle kterých jsem sushi restaurace hodnotila. Nakonec si ukážeme, jak jsem počítala fuzzy vážený průměr až se dostaneme se k výsledným hodnocením sushi restaurací.

3.1. FuzzME

Matematické modely ve FuzzME softwaru jsou založeny hlavně na teorii a metodách vícekriteriálního hodnocení publikovaných v [11] a [12]. V softwaru jsou použity teorie normovaných vah, definice fuzzy váženého průměru a algoritmus jeho výpočtu publikovaných v: [8], [9] a [10]. Také je zde použit FuzzyOWA operátor a jeho algoritmus výpočtu z [1].

Matematický model je v softwaru tvořen na principech, které byly popsány v kapitole 2. Nejdříve si tedy vytvoříme strom cílů, kde u každého uzlu zvolíme typ agregace a nadefinujeme si kritéria. V softwaru si vytvoříme vše počínaje hodnotící funkcí u kvantitativních kritérií, přes jazykové škály škály použité v případě kvalitativních kriterií až po stanovení normovaných vah. Po vytvoření matematického modelu a vyplnění hodnot všech kritérií, nám software vypočítá jednotlivá celková hodnocení variant, které získáme ve formě fuzzy čísla. Všechny varianty lze pak seřadit od nejlépe hodnocené po tu nejhůře hodnocenou variantu. Na Obrázku 5 můžeme vidět jak software vypadá.



Obrázek 5: FuzzME software

Podrobnější popis a využití softwaru FuzzME nalezneme v [5] a [6].

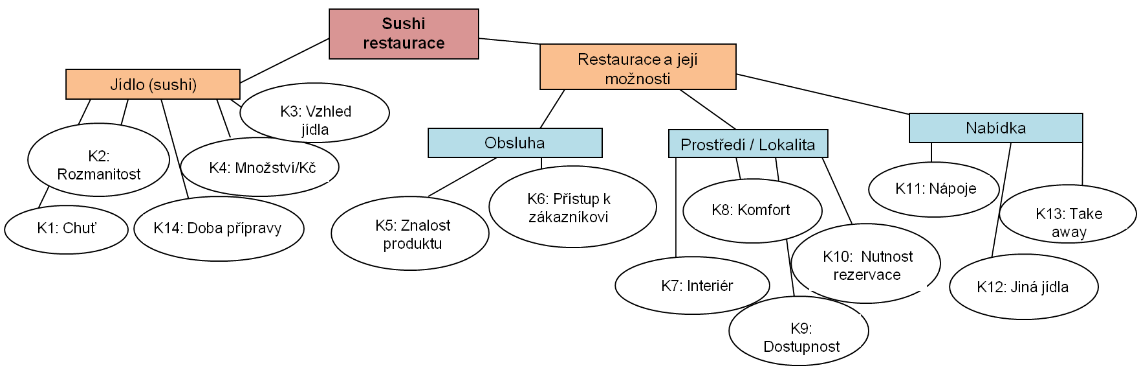
3.2. Strom dílčích cílů

Nyní si představíme můj strom dílčích cílů, který jsem si vytvořila jako první pro lepší přehlednost. Mým hlavním cílem bylo najít sushi restauraci, kde bych byla maximálně spokojená jak z hlediska jídla, tedy sushi, tak i z hlediska možností restaurace. Svůj hlavní cíl jsem rozdělila do dvou hlavních větví a to na jídlo (sushi), kde jsou zahrnuty všechny aspekty hodnocení tykající se pouze sushi, a na restaurace a její možnosti, kde jsem se zaměřila na další aspekty a služby restaurace.

V první hlavní větvi stromu jsem hodnotila sushi jako takové. Do této kategorie jsem zahrnula následující kritéria: chuť sushi, vzhled jídla, rozmanitost výběru v nabídce sushi v dáné restauraci, dobu přípravy a následně i množství s ohledem na mé cenové rozpětí.

Větev pojmenovanou jako restaurace a její možností jsem si rozdělila na další tři pod-větve a to následovně Obsluha, Prostředí restaurace, Nabídka.

Do obsluhy jsem zařadila kritéria nazvaná přístup k zákazníkovi a znalost nabízeného produktu. V prostředí restaurace jsou tato kritéria: působení interiéru, komfort při sezení, dostupnost, a zda je nutné rezervovat si místa. Do nabídky jsem zařadila: nabídka nápojů, nabídka jiných jídel, možnost vzíts si jídlo s sebou neboli take away. Můj strom cílů vidíme na Obrázku 6.



Obrázek 6: Strom cílů

3.3. Stanovení kritérií

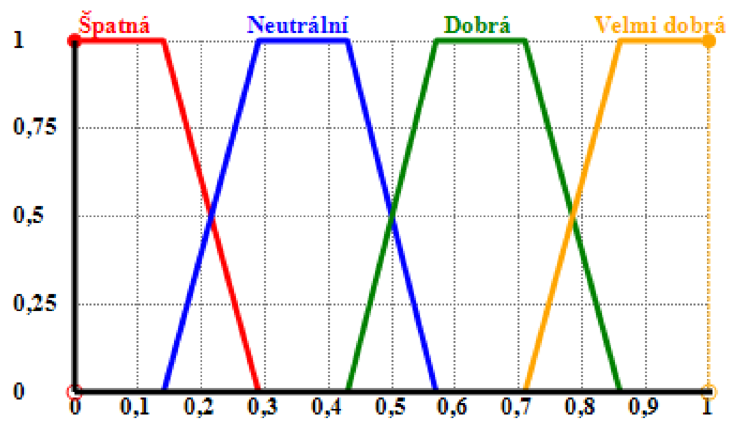
Zvolila jsem si jak kvalitativní, tak i kvantitativní kritéria. Stanovila jsem celkem čtrnáct kriterií, podle kterých jsem sushi restaurace hodnotila. Pro lepší přehlednost a následné zpracování jsem si kritéria označila K 1, K 2,..., K 14.

3.3.1. Kvalitativní kritéria

U každého z kvalitativních kritérií bylo nutno vytvořit škálu možností, ze kterých jsem vybírala hodnocení. Následně jsem si určila, zda se bude jednat o jednoduchou škálu, kdy je výsledná hodnota pouze jedna z nabízených možností, nebo o rozvinutou škálu, kdy je výsledkem rozpětí dvou možností, jako například malé až střední množství.

K1: Chuť

Jako první kritérium jsem si stanovila chuť jídla. Zde jsem hodnotila, jak moc mi dané sushi chutnalo, a zda splnilo mé očekávání s ohledem na cenu. Sestavila jsem si škálu možností, ze kterých jsem vybírala hodnocení chuti a to: Špatná, Neutrální, Dobrá nebo Velmi dobrá chuť. Zvolila jsem si jednoduchý typ škály. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 7.



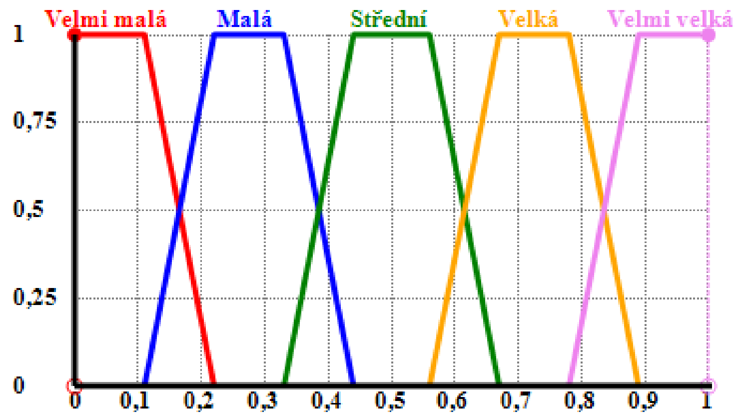
Obrázek 7: Škála hodnocení pro Chuť

K2: Rozmanitost výběru

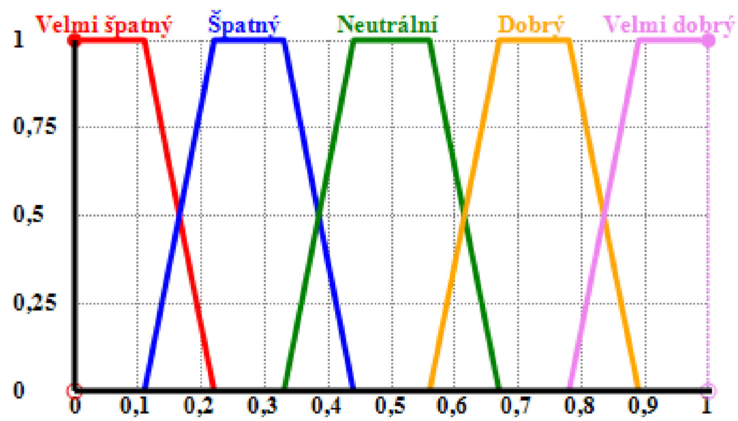
U tohoto kritéria jsem hodnotila nabídku sushi v restauraci, jak moc je výběr široký a různorodý. Například zda jsou v nabídce pevně stanovené kombinace, nebo si mohu vybírat i po jednom kousku sushi. Zde jsem si stanovila pět možností ve škále a to : Velmi malá, Malá, Střední, Velká, Velmi velká rozmanitost výběru. Rozhodla jsme se pro rozvinutou škálu vzhledem k vetší míře neurčitosti při hodnocení, což znamená, že výsledná hodnota byla například malá až střední rozmanitost výběru. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 8.

K3: Vzhled jídla

Pojala jsem to jako hodnocení toho, jak jídlo vypadá, laicky řečeno, zda lahodí oku či nikoliv. Také je zde zahrnuto, jak mi bylo jídlo servírováno. Do škály jsem zahrnula pět možností: Velmi špatný, Špatný, Neutrální, Dobrý, Velmi dobrý. Typ škály je jednoduchý, takže jsem vybírala jako výslednou hodnotu pouze jednu z možností. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 9.



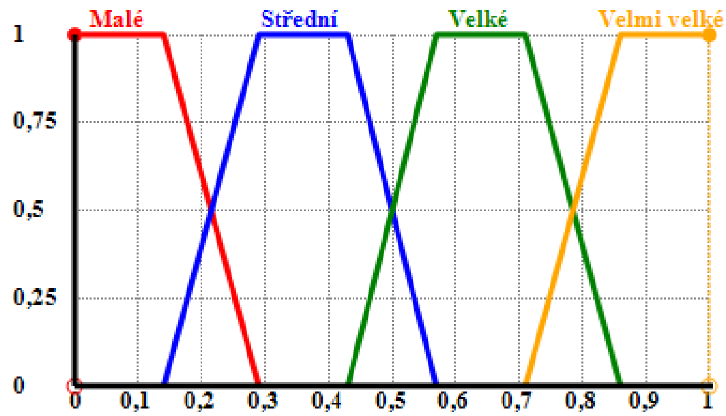
Obrázek 8: Škála hodnocení pro Rozmanitost výběru



Obrázek 9: Škála hodnocení pro Vzhled jídla

K4: Množství/Kč

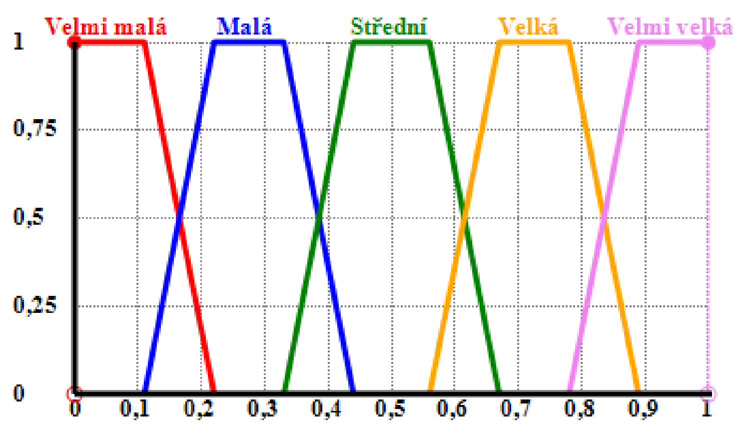
V tomto kritériu jsem se zaměřila na to, jaké množství v poměru s cenou mi bylo poskytnuto. Zahrnula jsem do toho i fakt, jak moc jsem se daným množstvím sushi nasytila. Toto kritérium jsem nezvolila jako kvantitativní, jelikož by takové hodnocení nebylo objektivní, protože není možné si objednat stejný počet stejných druhů sushi kousků ve všech restauracích. Stanovila jsem následující škálu možností: Malé, Střední, Velké, Velmi velké. Například střední množství znamená cenu blízkou 200 Kč a počet kousků se pohyboval mezi 13-16 a velmi velké množství pro mne byla cena do 250 korun s počtem kousků 25 a více. Typ škály je opět jednoduchý. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 10.



Obrázek 10: Škála hodnocení pro Množství/Kč

K5: Znalost nabízeného produktu

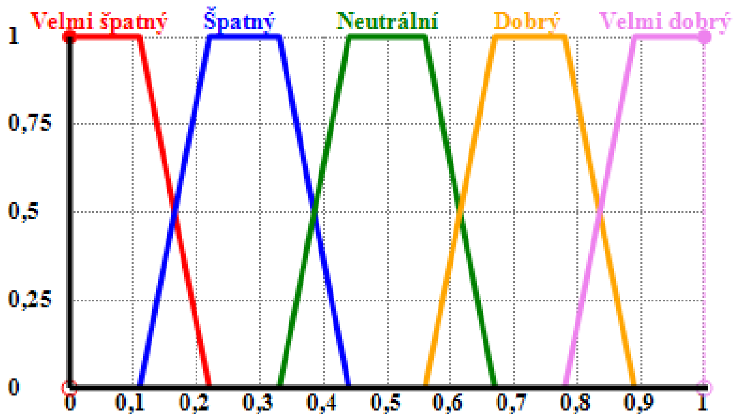
Hodnotila jsem, jak moc mi byla obsluha schopná poradit ve výběru sushi, a jak moc se vyznají v produktech, které nabízí. Sestavila jsem si tuto škálu hodnocení: Velmi malé znalosti, Malé, Střední, Velké, Velmi velké. Typ škály je zde jednoduchý. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 11.



Obrázek 11: Škála hodnocení pro Znalost nabízeného produktu

K6: Přístup k zákazníkovi

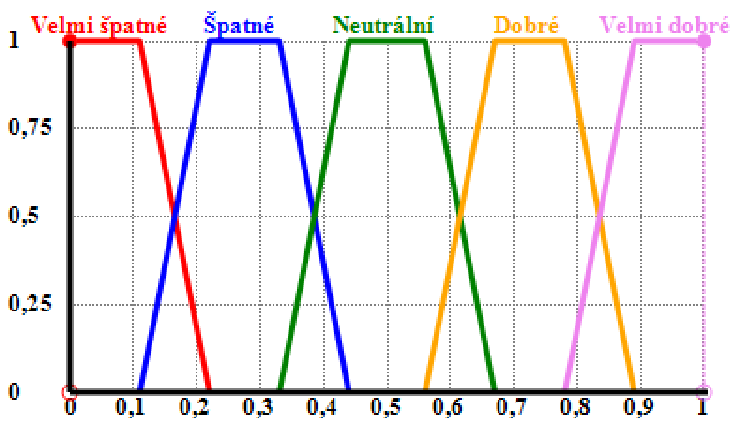
Vzala jsem toto kritérium komplexně. Je zde zahrnut například čas čekání na obsloužení, příjemnost obsluhy, způsob komunikace se zákazníkem, ochota obsluhy atd. Škálu jsem stanovila jako jednoduchou s možnostmi: Velmi špatný, Špatný, Neutrální, Dobrý, Velmi dobrý. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 12.



Obrázek 12: Škála hodnocení pro Přístup k zákazníkovi

K7: Působení interiéru

Šlo o to zhodnotit, jak na mě interiér restaurace působí, jak se mi líbí. Brala jsem v potaz i pachy v restauraci, jelikož se jedná o sushi, kde se pracuje s čerstvými rybami. Škálu jsem stanovila jako jednoduchou s pěti možnostmi: Velmi špatný, Špatný, Neutrální, Dobrý a Velmi dobrý. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 13.

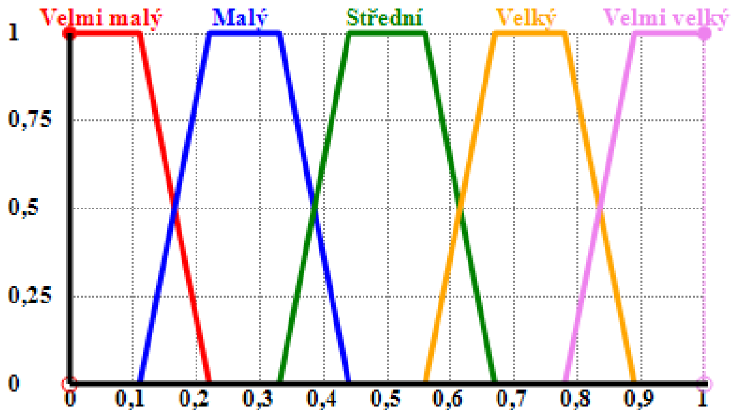


Obrázek 13: Škála hodnocení pro Působení interiéru

K8: Komfort při sezení

Bylo hodnoceno, jestli mi sezení bylo příjemné a pohodlné. Zvolila jsem rozvinutou škálu, opět vzhledem k větší míře neurčitosti hodnocení s těmito možnostmi:

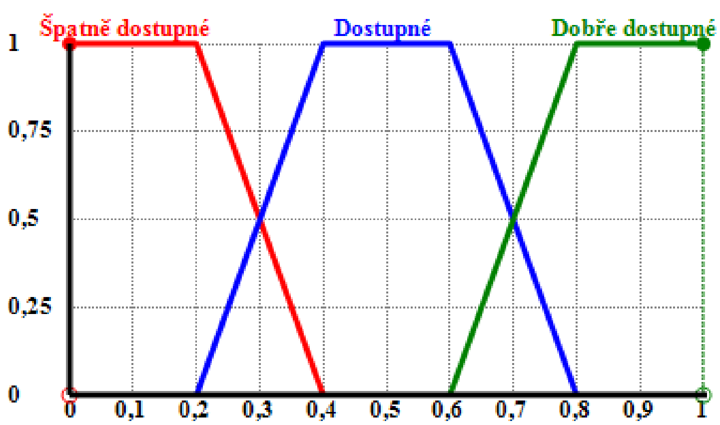
Velmi malý, Malý, Střední, Velký, Velmi velký. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 14.



Obrázek 14: Škála hodnocení pro Komfort při sezení

K9: Dostupnost

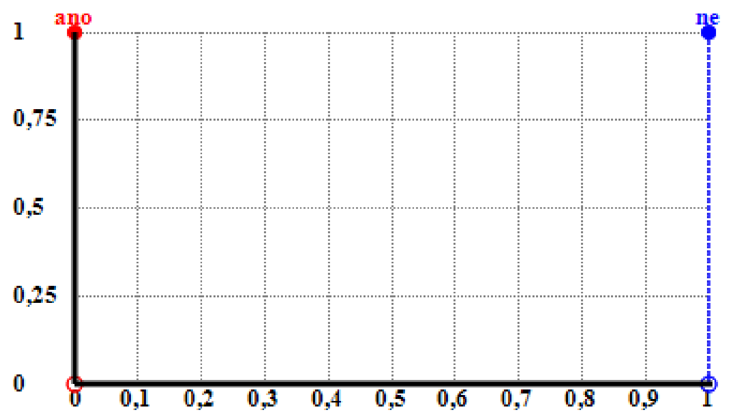
Hodnotila jsem dostupnost restaurace při dopravě autem, pohlížela jsem na to, jak blízko je možné zaparkovat, a jak dlouho mi trvá cesta od auta pešky do restaurace. Nebrala jsem v potaz dobu cesty autem k restauraci z důvodu dopravních špiček či náhodných událostí na silnicích, které by mě mohly určitý den zpomalit, takže by to nebylo příliš objektivní. Je zde také zahrnuta otevírací doba restaurací. Zvolila jsem jednoduchou škálu: Špatně dostupné, dostupné, Dobře dostupné. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 15.



Obrázek 15: Škála hodnocení pro Dostupnost

K10: Nutnost rezervace

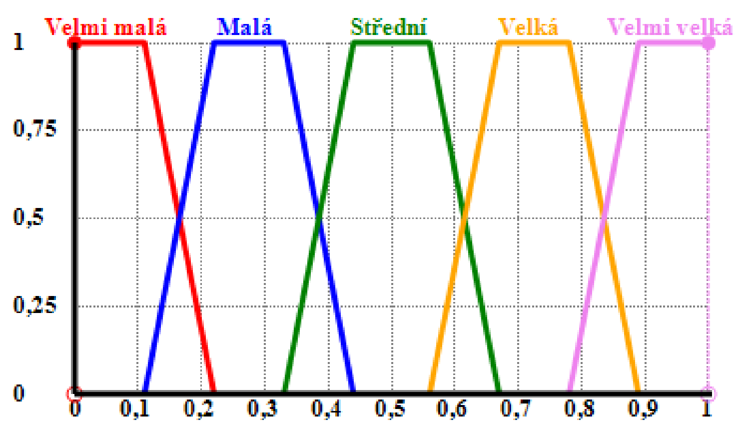
Stanovila jsem jednoduchou škálu s možnostmi: ano (rezervace je nutná), ne (rezervace není nutná). Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 16.



Obrázek 16: Škála hodnocení pro Nutnost rezervace a Možnost Take Away

K11: Nabídka nápojů

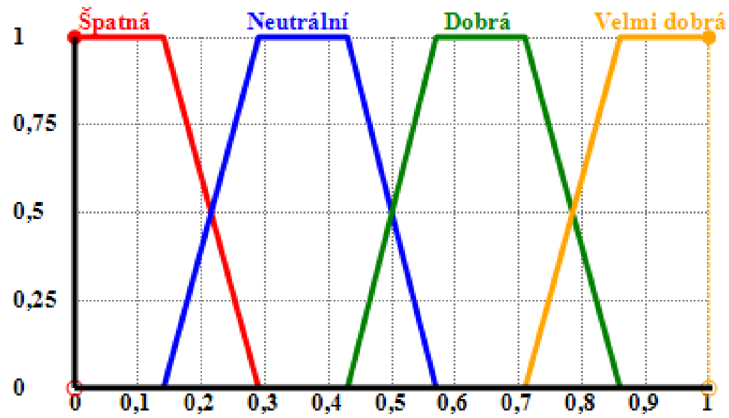
V tomto kritériu je zhodnoceno, jak široký výběr nápojů daná restaurace nabízí. Mohly nastat tyto možnosti: Velmi malá, Malá, Střední, Velká a Velmi velká. Volila jsem opět jednoduchou škálu. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 17.



Obrázek 17: Škála hodnocení pro Nabídka nápojů

K12: Nabídka jiných jídel

Zabývala jsem se tím, zda je v dané restauraci možné vybrat si i něco jiného než sushi, a jak velká nabídka těchto jídel je. Volila jsem jednoduchou škálu s možnostmi: Velmi malá, Malá, Střední, Velká a Velmi velká. Škála hodnocení je stejná jako pro kritérium Nutnost rezervace a můžeme ji vidět na Obrázku 18.



Obrázek 18: Škála hodnocení pro Nabídka jiných jídel

K13: Možnost take away

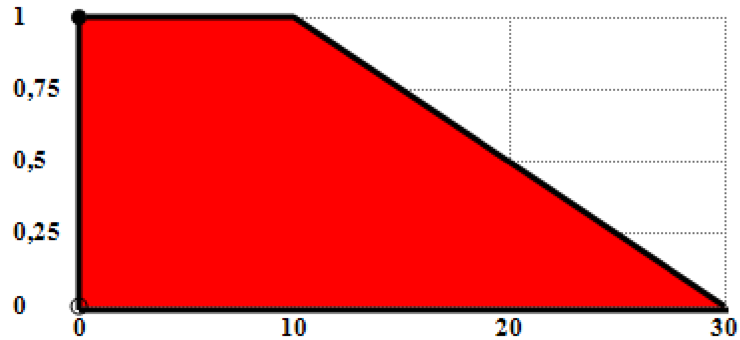
Jako poslední kvalitativní kritérium jsem se rozhodla hodnotit, zda je možné vzít si jídlo s sebou či nikoliv. Mohly nastat hodnoty ano nebo ne. Škálu hodnocení vidíme na Obrázku 16.

3.3.2. Kvantitativní kritéria

K14: Doba přípravy

Jelikož jsem cenu zahrnula do kritéria množství, mým jediným kvantitativním kritériem byla doba přípravy. Měřila jsem si v každé restauraci čas od objednání sushi do přinesení jídla na stůl. Můj strop čekaní na sushi byl 30 minut, plně spokojená jsem byla, pokud bylo sushi připraveno do 10 minut od objednání.

U kvantitativních kritérií je nutno sestavit si funkci, a to buď klesající, nebo rostoucí. U mého kritéria Doba přípravy jsem si vytvořila klesající lineární funkci, jelikož s větší čekací dobou moje spokojenost klesá. Funkce je zobrazena na Obrázku 19. Stanovila jsem si konec přijatelných hodnot čili minut, což jsem ochotná čekat na 30 minut, a maximální zcela vyhovující hodnotu, kdy jsem plně spokojena, na 10 minut.



Obrázek 19: Lineární funkce pro kritérium Doba přípravy

3.4. Výpočet fuzzy váženého průměru

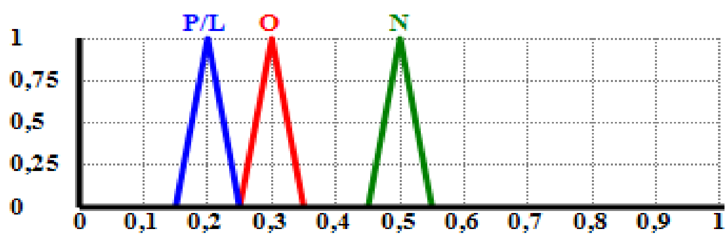
Nejdříve jsem si v softwaru FuzzME vytvořila strom dílčích cílů a stanovila si požadavky na jednotlivá kritéria. U kvalitativních kriterií bylo nutno vytvořit fuzzy škály, které jsou tvořeny pomocí lineárních fuzzy čísel, která jsem jazykově ohodnotila. Naopak u kvantitativních kritérií je nutno sestavit si funkci, a to buď klesající, nebo rostoucí.

Takto jsem si nadefinovala všechny svá kritéria a vytvořila jsem seznam hodnocených restaurací. Poté jsem kritéria vyplnila u jednotlivých restaurací pomocí nasbíraných dat.

Jak celkový cíl, tak i všechny dílčí cíle jsem se rozhodla agregovat metodou fuzzy váženého průměru. Jako první jsem si pomocí metody stanovení normovaných vah popsaných v kapitole 1 musela vytvořit normované váhy jak pro jednotlivá kritéria, tak i pro jednotlivé větve stromu dílčích cílů. Váhy jsem stanovovala odhadem ostrých normovaných vah pomocí reálných čísel, které musely splňovat podmínky uvedené v podkapitole 1.5.

Například ve větvi Restaurace a její možnosti, kde jsou dílčí cíle Obsluha, Prostředí/lokalita a Nabídka, jsem pro tyto dílčí cíle stanovila následující odhady normovaných vah pomocí reálných čísel dle důležitosti, a to následovně: 0.3 pro Obsluhu, 0.2 pro Prostředí/lokalita a 0.5 pro Nabídku. Tyto odhady musí splňovat podmínku, že jejich součet je roven 1.

Mé odhady jsem fuzzifikovala pomocí trojúhelníkových fuzzy čísel, tudíž jsem si stanovila pouze jeden koeficient s = 0,05. Tento koeficient jsem přičetla a odečetla od mnou stanovených reálných čísel. Poté mi například pro Obsluhu vyšlo následující (0.25, 03, 0.35), čímž jsem přidala stejnou neurčitost na obě strany a dostala jsem tak normované fuzzy váhy v podobě trojúhelníkových fuzzy čísel, které jsou znázorněny na Obrázku 20. Hodnoty normovaných fuzzy váh všech dílčích cílů a kriterií můžeme vidět v Tabulce 1, přičemž úrovně jednotlivých dílčích cílů a kriterií jsou rozlišeny barevně.

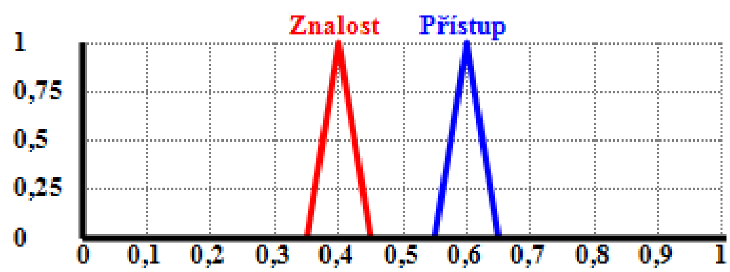


Obrázek 20: Normované váhy (P/L - Prostředí/Lokalita, O - Obsluha, N - Nabídka)

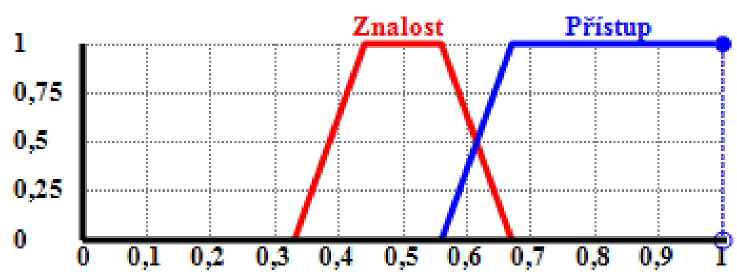
	Normované váhy
Jídlo	(0,6; 0,7; 0,8)
Doba přípravy	(0,15; 0,2; 0,25)
Rozmanitost výběru	(0,1; 0,15; 0,2)
Chuť	(0,25; 0,3; 0,35)
Vzhled jídla	(0,1; 0,15; 0,2)
Množství/Kč	(0,15; 0,2; 0,25)
Restaurace a její možnosti	(0,2; 0,3; 0,4)
Obsluha	(0,25; 0,3; 0,35)
Znalost nabízeného produktu	(0,35; 0,4; 0,45)
Přístup k zákazníkovi	(0,55; 0,6; 0,65)
Prostředí/lokalita	(0,15; 0,2; 0,25)
Působení interiéru	(0,2; 0,25; 0,3)
Komfort při sezení	(0,2; 0,25; 0,3)
Dostupnost	(0,3; 0,35; 0,4)
Nutnost rezervace	(0,1; 0,15; 0,2)
Nabídka	(0,45; 0,5; 0,55)
Nabídka nápojů	(0,25; 0,3; 0,35)
Nabídka jiných jídel	(0,2; 0,25; 0,3)
Možnost take away	(0,4; 0,45; 0,5)

Tabulka 1: Hodnoty normovaných fuzzy váh

Nyní si ukážeme, jak jsem získala celkové hodnocení alternativ, a to na příkladu hodnocení Miomi sushi. Nejdříve je nutné vyplnit hodnoty všech kritérií a stanovit normované fuzzy váhy. Například pro dílčí cíl s názvem Obsluha a kritéria Znalost nabízeného produktu a Přístup k zákazníkovi jsou mnou stanovené normované fuzzy váhy znázorněny na Obrázku 21 a hodnoty kritérií na Obrázku 22, což jsou lichoběžníková fuzzy čísla.



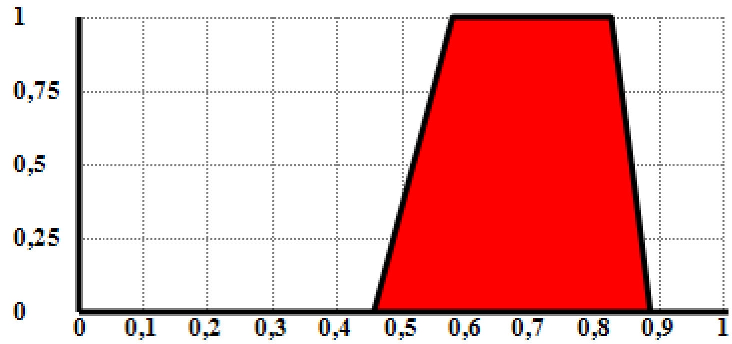
Obrázek 21: Normované fuzzy váhy (Znalost nabízeného produktu, Přístup k zákazníkovi)



Obrázek 22: Hodnoty kriterií: Znalost nabízeného produktu, Přístup k zákazníkovi

Poté můžeme začít počítat fuzzy vážený průměr pomocí algoritmu zmíněného v první kapitole. Postupuje se od nejnižší úrovně ve stromu dílčích cílů, až dojdeme k výslednému hodnocení dané alternativy. Tento algoritmus využívá pro počítání fuzzy váženého průměru též software FuzzME, kde zadáme váhy, hodnoty kriterií a fuzzy vážený průměr nám software vypočítá. Výsledné hodnocení vypočítané pomocí softwaru FuzzMe vidíme na Obrázku 23. Opět platí, že čím blíže je výsledek na ose x jedné, tím více jsou splněny mé požadavky čili je hodnocení lepší.

Přehled hodnocení všech restaurací bude popsán v následující kapitole.



Obrázek 23: Výsledné hodnocení

3.5. Sushi restaurace a jejich hodnocení

V této kapitole se budu zabývat jednotlivými sushi restauracemi v Olomouci a jejich výsledným hodnocením. Níže budou uvedeny všechny restaurace, které budou seřazeny od té nejlépe hodnocené až po tu nejhůře hodnocenou. U každé restaurace bude uveden komentář, jednotlivé hodnoty kritérií a výsledné hodnocení ze softwaru FuzzME.

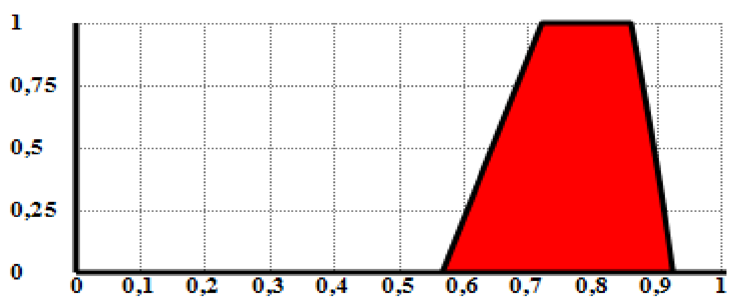
Miomi sushi

Nejdříve k hodnocení sushi, objednala jsem si zde celkem 14 kousků za 230 korun. Můžete si vybírat z různých sushi setů, které se skládají buď z jednotlivých druhů, nebo jsou různě smíchány, a výběr je opravdu široký. Na sushi jsem čekala 10 minut, chuť byla výborná, což není divu, když je zde sushi připravováno opravdovými sushi mistry. K sushi i jako bonus dostanete salát z řas. K široké nabídce sushi jsou nabízeny i různé druhy nápojů, které nejspíše v jiných restauracích nenaleznete. Mimo sushi zde můžete ochutnat i japonské polévky. Vše je možné odnést i s sebou.

Obsluha restaurace je velice příjemná a dokáže doporučit i v případě, že jste sushi nikdy neochutnali. Prostředí restaurace je velice krásné a nápadité. Restaurace se nachází na Horním náměstí, je otevřena každý den od 11:00 do 23:00 hodin a zaparkovat lze přímo před restaurací. Rezervace zde není nutná. Výsledné hodnoty kritérií jsou prezentovány v Tabulce 2 a celkové hodnocení této restaurace můžeme vidět na Obrázku 24.

Kritéria	Miomi sushi
K1: Chuť	Velmi dobrá
K2: Rozmanitost výběru	Velká až Velmi Velká
K3: Vzhled jídla	Velmi dobrý
K4: Množství/Kč	Střední
K5: Znalost nabízeného produktu	Střední
K6: Přístup k zákazníkovi	Dobrý až Velmi dobrý
K7: Působení interiéru	Velmi dobré
K8: Komfort při sezení	Střední až Velký
K9: Dostupnost	Dobře dostupné
K10: Nutnost rezervace	Ne
K11: Nabídka nápojů	Velká
K12: Nabídka jiných jídel	Velmi malá
K13: Možnost take away	Ano
K14: Doba přípravy	10

Tabulka 2: Výsledné hodnoty kritérií



Obrázek 24: Výsledné hodnocení Miomi sushi

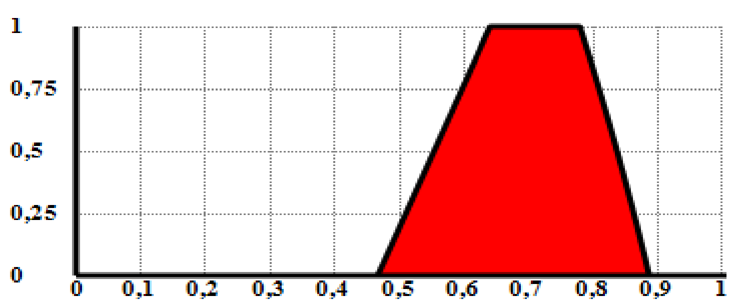
Fishi sushi

Ve Fishi sushi jsem si objednala 16 kousků sushi za 240 Kč. Výhodou fishi sushi je, že si můžete vybrat po jednotlivých kouscích a sestavit si tak vlastní set. Na sushi jsem čekala 5 minut, chuť byla výborná. Z ostatní nabídky mimo sushi je na denním menu polévka, dále si pak můžete vybrat ze tří druhů salátů a ze dvou druhů smažené rýže. Nabídka nápojů je zde omezená pouze na vodu a kokosové mléko. Tato restaurace slouží jako take away, takže si sushi můžete odnést s sebou.

Obsluha se skládá z mladého kolektivu a je příjemná. Prostředí restaurace je moderní, ovšem velmi málo prostorné. Pokud bychom zde chtěli posedět, je to možné pouze na okenním parapetu vystlaném polštáři, nebo můžete své sushi sníst ve stoje u pultíku u zdi, což ale není velmi pohodlné. Tato restaurace je otevřena v pracovní dny od 10:00 do 20:00 hodin a lze snadno zaparkovat přímo u restaurace, která se nachází na Wolkerově ulici. Vzhledem k absenci stolů není nutná rezervace. Výsledné hodnoty kritérií můžeme vidět v Tabulce 3 a výsledné hodnocení je zobrazeno na Obrázku 25.

Kritéria	Fishi sushi
K1: Chuť	Velmi dobrá
K2: Rozmanitost výběru	Střední až Velká
K3: Vzhled jídla	Velmi dobrý
K4: Množství/Kč	Střední
K5: Znalost nabízeného produktu	Střední
K6: Přístup k zákazníkovi	Neutrální až Dobrý
K7: Působení interiéru	Neutrální
K8: Komfort při sezení	Velmi malý až Malý
K9: Dostupnost	Dostupné
K10: Nutnost rezervace	Ne
K11: Nabídka nápojů	Velmi malá
K12: Nabídka jiných jídel	Malá
K13: Možnost take away	Ano
K14: Doba přípravy	5

Tabulka 3: Výsledné hodnoty kritérií



Obrázek 25: Výsledné hodnocení Fishi sushi

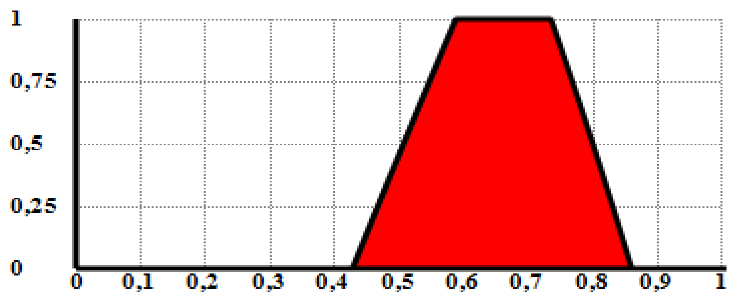
Wabi čajovna

Zde jsem si vybrala set 48 kousků sushi za 215 Kč. Množství bylo až nepřiměřeně obrovské pro jednoho člověka a sushi bylo velikostně větší, což bylo způsobeno větším množstvím rýže. Chuti ovšem nemohu nic vytknout, jelikož je sushi připravováno také sushi mistrem. Je možné si zde vybrat ze sedmi setů sushi, v nabídce jsou také sety pro vegetariány a vegany. Nápojový lístek je přiměřený, obsahuje nealkoholické nápoje, různé druhy čajů i alkoholické nápoje. Kromě sushi zde není nabídka jiných jídel. Sushi je možné odnést si s sebou.

Obsluha restaurace je příjemná, stejně tak jako prostředí. Jelikož je to i čajovna, máte možnost se posadit na zemi na polštáře. Můžete si sem zajít dát sushi od pondělí do pátku od 16 do 21 hodin. Restaurace se nachází na Šemberově ulici, není problém zaparkovat autem poblíž a asi 3 minuty dojít. Rezervace zde není nutná. Výsledné hodnoty kritérií můžeme vidět v Tabulce 4. Výsledné hodnocení je zobrazeno na Obrázku 26.

Kritéria	Wabi čajovna
K1: Chuť	Dobrá
K2: Rozmanitost výběru	Malá až Střední
K3: Vzhled jídla	Neutrální
K4: Množství/Kč	Velmi velké
K5: Znalost nabízeného produktu	Velká
K6: Přístup k zákazníkovi	Neutrální až Dobrý
K7: Působení interiéru	Dobré
K8: Komfort při sezení	Střední až Velký
K9: Dostupnost	Špatně dostupné
K10: Nutnost rezervace	Ne
K11: Nabídka nápojů	Střední
K12: Nabídka jiných jídel	Velmi malá
K13: Možnost take away	Ano
K14: Doba přípravy	10

Tabulka 4: Výsledné hodnoty kritérií

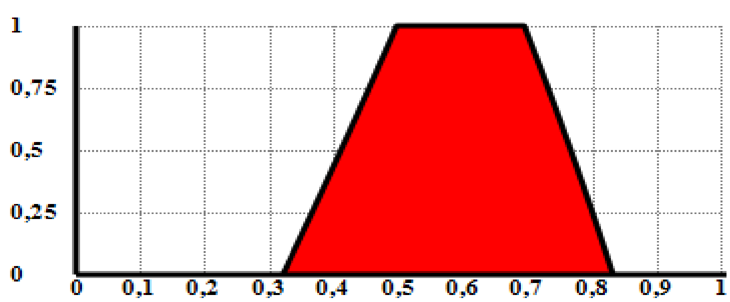


Obrázek 26: Výsledné hodnocení Wabi čajovny

Šantovka sushi

Zde jsem si vybrala sushi set s 16 kousky za 220 Kč. Příprava byla rychlá, což se dá čekat, jelikož se jedná v podstatě o fast food. Chuti bych vytkla to, že část sushi byla nasáklá nakládaným zázvorem, který byl k sushi přiložen, jinak bylo chutné. Nabídka sushi je zde v podobě různých setů. Nabídka jiných jídel je široká, protože se nejedná pouze o sushi restauraci. Nabídka nápojů je přiměřená tomu, že jde o fast food. Sushi je možné vzít s sebou.

Obsluha byla příjemná. Prostředí jako takové nijak nenadchne, jedná se o komplex restaurací v obchodním domě, takže nelze ani nic víc očekávat. Parkování je snadné a restaurace je otevřena denně od 9 do 21 hodin. Bez nutnosti rezervace. Hodnoty kritérií jsou prezentovány v Tabulce 5 a výsledné hodnocení můžeme vidět na Obrázku 27.



Obrázek 27: Výsledné hodnocení sushi v Šantovce

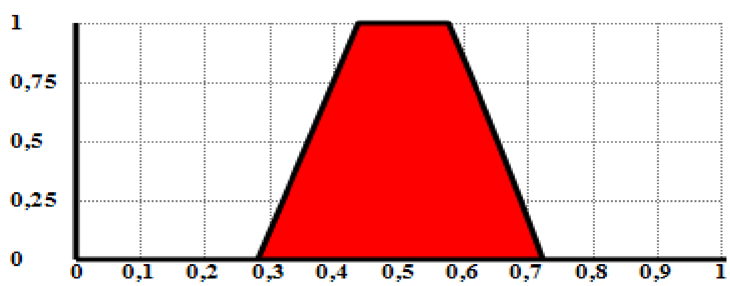
Kritéria	Sushi Šantovka
K1: Chuť	Neutrální
K2: Rozmanitost výběru	Střední až Velká
K3: Vzhled jídla	Špatný
K4: Množství/Kč	Střední
K5: Znalost nabízeného produktu	Malá
K6: Přístup k zákazníkovi	Neutrální až Dobrý
K7: Působení interiéru	Špatné
K8: Komfort při sezení	Malý až Střední
K9: Dostupnost	Dobře dostupné
K10: Nutnost rezervace	Ne
K11: Nabídka nápojů	Střední
K12: Nabídka jiných jídel	Velmi velká
K13: Možnost take away	Ano
K14: Doba přípravy	8

Tabulka 5: Výsledné hodnoty kritérií

Olomouc city sushi

Objednala jsem si zde 2 sety sushi, celkem 12 kousků za 200 Kč. Na sushi jsem čekala asi 12 minut, chuťově bylo sushi dobré, ovšem množství nebylo příliš uspokojivé. Vybrat si můžete z různých sushi setů. Opět je zde široká nabídka jiných jídel a sushi je možné odnést s sebou.

Obsluha této restaurace je trochu chladná a jejich český jazyk trochu pokulhával. Od prostředí se opět nedá nic velkého očekávat. Zaparkovat blízko je snadné a restaurace je otevřena denně od 9 do 21 hodin. Bez nutnosti rezervace. Hodnoty kritérií jsou prezentovány Tabulce 6 a výsledné hodnocení můžeme vidět na Obrázku 28.



Obrázek 28: Výsledné hodnocení Olomouc city sushi

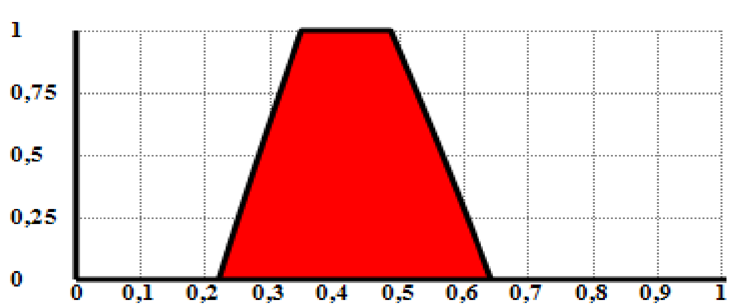
Kritéria	Olomouc city sushi
K1: Chuť	Neutrální
K2: Rozmanitost výběru	Malá až Střední
K3: Vzhled jídla	Dobrý
K4: Množství/Kč	Malé
K5: Znalost nabízeného produktu	Malá
K6: Přístup k zákazníkovi	Špatný až Neutrální
K7: Působení interiéru	Neutrální
K8: Komfort při sezení	Velmi malý až Malý
K9: Dostupnost	Dobře dostupné
K10: Nutnost rezervace	Ne
K11: Nabídka nápojů	Střední
K12: Nabídka jiných jídel	Střední
K13: Možnost take away	Ano
K14: Doba přípravy	12

Tabulka 6: Výsledné hodnoty kritérií

Centrum Haná sushi

Zde jsem si objednala 14 kousků sushi za 205 Kč. Výběr je zde omezen podle toho, co je vyprodáno, a co ne čili jsem si zde moc vybrat nemohla. Sushi mi ani nevonělo, ani nechutnalo a vůbec bych se nezaručila za to, že bylo sushi čerstvé. Je možné si zde vybrat i z jiných jídel a jídlo si můžete vzít s sebou.

Obsluha ani prostředí mě nijak nenadchlo, jako celá restaurace. Dostupnost je dobrá, otevřeno je denně od 9 do 21 hodin. Bez nutnosti rezervace. Hodnoty kritérií můžeme vidět v Tabulce 7 a výsledné hodnocení je zobrazeno na Obrázku 29.



Obrázek 29: Výsledné hodnocení Centrum Haná sushi

Kritéria	Centrum Haná sushi
K1: Chuť	Špatná
K2: Rozmanitost výběru	Velmi malá až Malá
K3: Vzhled jídla	Špatný
K4: Množství/Kč	Střední
K5: Znalost nabízeného produktu	Velmi malá
K6: Přístup k zákazníkovi	Špatný až Neutrální
K7: Působení interiéru	Špatné
K8: Komfort při sezení	Velmi malý až Malý
K9: Dostupnost	Dobře dostupné
K10: Nutnost rezervace	Ne
K11: Nabídka nápojů	Střední
K12: Nabídka jiných jídel	Střední
K13: Možnost take away	Ano
K14: Doba přípravy	4

Tabulka 7: Výsledné hodnoty kritérií

Závěrečné srovnání

Na závěr jsem po získání celkových hodnocení všech sushi restaurací porovnala a seřadila sushi restaurace od nejlepší po nejhorší. Metod na porovnání výsledných fuzzy hodnocení existuje více, já jsem sushi restaurace sestupně srovnala pomocí softwaru FuzzME, který k porovnání variant využívá hodnot těžišť výsledných fuzzy hodnocení.

Definice3.1 Nechť je dáno fuzzy číslo C definované na intervalu $\langle 0,1\rangle$, které není číslem reálným. Jeho těžištěm nazveme reálné číslo t $\in$ $\langle 0,1\rangle$ definované formulí

$$t = \frac{\int_0^1 C(x)x dx}{\int_0^1 C(x) dx}.$$

Pokud C je reálné číslo, pak klademe $t = C$.

Definice3.2 Nechť je dána konečná množina hodnocených variant $X = \{x_1, x_2, ..., x_n\}$. Nechť hodnocení variant $x_i, i = 1, 2, ..., n$, jsou vyjádřena fuzzy čísly C_i definovanými na intervalu $\langle 0,1\rangle$, které lze ostře aproximovat těžišti t_i. Pak řekneme, že varianta $x_i \in X$ je lepší než varianta $x_j \in X$ vzhledem k hodnotám těžišť, značíme

$$x_i >_t x_j,$$

jestliže platí

$$t_i > t_j.$$

Podobně

$$x_i <_t x_j \Leftrightarrow t_i < t_j,$$

$$x_i =_t x_j \Leftrightarrow t_i = t_j.$$

Když už jsme si definovali pojem těžiště fuzzy čísla a srovnání pomocí něj, můžeme si ukázat, jak software FuzzME porovnal hodnocení sushi restaurací. Sushi restaurace, seřazené od nejlepší po nejhorší, a hodnoty těžišť jejich výsledných hodnocení můžeme vidět v Tabulce 8. Nejlepší sushi restaurací byla ta, která měla největší hodnotu těžiště, čili Miomi sushi s hodnotou těžiště 0,765, a naopak nejhorší Centrum Haná sushi s hodnotou těžiště 0,426.

Pořadí	Název	Těžiště
1	Miomi sushi	0,765
2	Fishi sushi	0,691
3	Wabi čajovna	0,651
4	Sushi Šantovka	0,585
5	Olomouc city suhsi	0,505
6	Centrum Haná sushi	0,426

Tabulka 8: Výsledné pořádí a hodnoty těžišť

Při srovnání výsledných fuzzy hodnocení sushi restaurací jsem nebrala v potaz jejich neurčitost, jelikož u všech hodnocení byla zhruba stejná, jak můžeme vidět na Obrazcích: 25, 24, 26, 27, 28, 29. Kde je obsažena neurčitost výsledného fuzzy hodnocení můžeme vidět například na Obrázku 25, jedná se o ty oblasti funkce příslušnosti daného fuzzy čísla, v nichž jejich funkční hodnota není rovna jedné (čili oblasti pod lomenými čárami).

Závěrem mohu říci, že aparát teorie fuzzy množin je aplikovatelný i na problematiku běžného života. Což jsem si sama ověřila a dokázala při hodnocení sushi restaurací v Olomouci.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo ukázat možné využití aparátu teorii fuzzy množin pro řešení problému vícekriteriálního hodnocení. Problematika byla ilustrována na modelu hodnocení sushi restaurací nacházejících se v Olomouci.

V první kapitole jsme se seznámili se základními pojmy tykajícími se teorie fuzzy množin, což bylo nutné pro základní orientaci v dané problematice a dalším textu bakalářské práce. Také jsme si zavedli další aspekty teorie fuzzy množin, které byly použity v praktické části mé práce. Nakonec jsme si již mohli zavést pojem fuzzy vážený průměr a ukázat si algoritmus počítání fuzzy váženého průměru. Později jsme si teoreticky ukázali postup, jak stanovit matematický model vícekriteriálního hodnocení, a jak se fuzzy vážený průměr aplikuje ve vícekriteriálním hodnocení.

V hlavní části mé práce jsem představila svůj praktický příklad, na kterém jsem si své získané znalosti ověřila. Ve své práci jsem se rozhodla hodnotit sushi restaurace v Olomouci. Za pomoci kritérií, které jsem popsala a stanovila, jsem jednotlivé restaurace hodnotila. Celý praktický příklad jsem vypracovávala v softwaru FuzzME. V závěru práce jsme se dozvěděli, která sushi restaurace v Olomouci je dle mého hodnocení nejlepší. Uvedeny byly komentáře ke všem alternativám sushi restaurací, hodnocení kriterií a jejich výsledná hodnocení.

Díky své práci jsem se o fuzzy množinách a jejich aplikacích dozvěděla více a ověřila získané znalosti na hodnocení sushi restaurací. Seznámila jsem se se spoustou nových pojmů a naučila se je využít i prakticky a pracovat s nimi. Vypracovávání práce mne velmi bavilo, jelikož jsem velkým milovníkem sushi, to byl také hlavní důvod, proč jsem se rozhodla hodnotit sushi restaurace. Při zhotovování své práce jsem tak měla možnost spojit příjemné s užitečným, dozvědět se spoustu nových poznatků a jako bonus ochutnat mnoho kousků sushi.

Literatura

[1] Bebčáková, I., Talášová, J.: *Fuzzification of aggregation operators based on Choquet integral* Aplimat-Journal of Applied Mathematics, Vol.1, 2008, pp. 463–474.

[2] Bebčáková, I., Talašová, J., Pavlačka, O.: *Fuzzification of Choquet Integral and its application in multiple criteria decision making.* Neural network world, Vol. 20, 2010, pp. 125-137.

[3] Bellman, R. E., Zadeh, L. A.: *Decision-making in fuzzy environment* Management Science 17 (4), 1970, pp. 141–164.

[4] Dubois, D., Prade, H.(Eds.): *Fundamentals of Fuzzy Sets.* Kluwer Academic Publishers, Boston-London-Dordrecht, 2000.

[5] Holeček, P.,Talašová, J.,Müller, I.: *Fuzzy Methods of Multiple-Criteria Evaluation and Their Software Implementation* In Cross-Disciplinary Applications of Artificial Intelligence and Pattern Recognition: Advancing Technologies, Hershey, 2012, pp. 388-411.

[6] Holeček, P.,Talašová, J.: *Multiple-Criteria Fuzzy Evaluation: The FuzzME Software Package in: Proceedings of the Joint 2009 International Fuzzy Systems Association World Congress and 2009 European Society of Fuzzy Logic and Technology Conference*, Lisbon, Portugal, July 20-24, 2009, pp. 681-686.

[7] Kosko, B. Fuzzy thinking: *The new science of fuzzy logic.* Hyperion, New York, 1993.

[8] Pavlačka, O., Talášová, J.,: *Aplication of the Fuzzy Weighted Average of Fuzzy Numbers in Decision Making Models in: New Dimensions in Fuzzy Logic and Related Technologies.* Vol II. (Eds.: Šťepnička, M. Novák, V., Bodenhofer, U.) Proceedings of the 5th EUSFLAT Conference, Ostrava, Czech Republic, September 11-14, 2007. Ostravská univerzita, Ostrava, 2007,pp. 455-462.

[9] Pavlačka, O.: *Metody vícekriteriálního hoodnocení* PhD disertační práce, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007.

[10] Pavlačka, O., Talašová, J.: *The fuzzy weighted average operation in decision making models* Proceedings of the 24th International Conference Mathematical Methods in Economics, Plzeň, September 13-15, 2006 (Ed. L. Lukáš), pp. 419–426.

[11] Talášová, J.: *Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování* 1. vydaní, Univerzita Palackého v Olomouci, 2003.

[12] Talášová, J.: *NEFRIT - Multicriteria Decision Making Based on Fuzzy Approach* Central European Journal of Operations Research, Heidelberg: Springer,8 (4), 2003, pp. 297-320.

[13] Torra, V., Narukawa, Y.: *Modeling Decisions: Information fusion and aggregation operators.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

[14] Yager, R. R.: *On ordered weighted averaging aggregationn operators in multicriteria decision making* IEEE Trans, Systems Man Cybernet. 18, 1988, pp. 183-190.

[15] Zadeh, L. A.: *Fuzzy sets. Information and Control,* vol.8, 1965.