

Kvantifikace slovního vyjádření důležitosti kritérií v ekonomických rozhodovacích procesech

Adam Borovička¹

¹ Vysoká škola ekonomická v Praze, Fakulta informatiky a statistiky, Katedra ekonometrie, nám. W. Churchilla 4, 130 67 Praha 3; adam.borovicka@vse.cz

Grant: IGA F4/54/2015

Název grantu: Soft metody pro ekonomickou analýzu

Oborové zaměření: BB – aplikovaná statistika, operační výzkum

Grant: GA ČR 13-07350S

Název grantu: Dynamické vytváření cen a alokace zdrojů v sítích

Oborové zaměření: BB – aplikovaná statistika, operační výzkum

© GRANT Journal, MAGNANIMITAS Assn.

Abstrakt Důležitost kritérií v ekonomických rozhodovacích procesech může být vyjádřena slovně. Za účelem kvantifikace této informace může být vyjádřena důležitost pomocí lingvistické proměnné. Pak jednotlivé slovní výrazy vyjadřující důležitost kritérií jsou opsány prostřednictvím trojúhelníkových fuzzy čísel tvořících fuzzy škálu slovních významů. Příspěvek nabízí pohled na proces vytvoření této fuzzy škály. Je představen postup konstrukce trojúhelníkových fuzzy čísel, respektive jejich funkcí příslušnosti v rámci celé fuzzy škály. Pro praktické potřeby je navržena transformace fuzzy škály spočívající v eliminaci „extremálních“ výrazů. Dále jsou definovány základní pojmy teorie fuzzy množin, nechýbí ani představení konceptu lingvistické proměnné. Slovní vyjádření důležitosti kritérií pomocí popsaných přístupů je demonstrováno na případě vytváření investičního portfolia.

Klíčová slova Důležitost kritéria, lingvistická proměnná, trojúhelníkové fuzzy číslo

1. ÚVOD

Při dělení určitého rozhodnutí se většinou řídíme podle několika kritérií. Tato kritéria vždy nemusí mít stejnou váhu. Pak rozlišujeme jejich důležitost, která může být vyjádřena v kvantitativní i kvalitativní podobě. Při využití konceptů teorie rozhodování se většinou setkáváme s požadavkem na kvantitativní vyjádření důležitosti kritérií ve formě vah. Pokud tedy rozhodovatel stanovuje důležitost kritérií slovně (kvalitativně), je třeba tuto informaci převést do kvantitativní podoby.

Za tímto účelem může být důležitost kritéria vyjádřena jakožto lingvistická proměnná. Pak jsou jednotlivé slovní významy opisující stupeň důležitosti kritérií popsány pomocí trojúhelníkových fuzzy čísel, která tvoří celou fuzzy škálu významů. Pokud je tato fuzzy škála sestavena, známe tedy vlastně jakési fuzzy váhy kritérií, je možné pomocí známých konceptů teorie rozhodování získat kvantitativní informaci o důležitosti kritérií ve formě vah. Tento proces ale není předmětem příspěvku. Cílem příspěvku je představit konstrukci škály trojúhelníkových fuzzy čísel, respektive jejich funkcí příslušnosti. Pro praktické účely je pak navržen přístup, který

transformuje původní fuzzy škálu do podoby bez extrémních významů. Vedlejším cílem je pak seznámit čtenáře se základními pojmy z teorie fuzzy množin, jako je universum, (konvexní) fuzzy množina, funkce příslušnosti, α -řez, fuzzy číslo či fuzzy škála, dále s konceptem lingvistické proměnné a metodami na konstrukci funkcí příslušnosti. Slovní vyjádření důležitosti kritérií pomocí popsaných přístupů je demonstrováno na reálném případě vytváření investičního portfolia otevřených podílových fondů Investiční společnosti České spořitelny.

Struktura příspěvku je následující. Po úvodu jsou ve druhé kapitole definovány základní pojmy teorie fuzzy množin. Dále jsou klasifikovány metody na konstrukci funkcí příslušnosti, vybrané metody jsou stručně popsány. Koncept lingvistické proměnné je taktéž popsán. V rámci třetí kapitoly je důležitost kritérií specifikována jakožto lingvistická proměnná. Následně je kladen důraz na způsob vytváření fuzzy škály slovních významů, respektive na metodiku stanovení funkcí příslušnosti fuzzy čísel popisujících slovní významy. Poté je fuzzy škála transformována do navržené podoby. Ve čtvrté kapitole je uvedena reálná aplikace. Závěrem dochází ke stručnému shrnutí příspěvku s námětem pro budoucí výzkum.

2. ZÁKLADY TEORIE FUZZY MNOŽIN

Klasická teorie množin se začala vyvíjet v 2. polovině 19. století. Autorem je George Cantor. Množiny jsou definovány jako striktní. Elementy dané množiny patří či nikoliv. Ohraničení množin je jasně dané, zcela rigidní. Při řešení mnoha reálných situací nebyl tento koncept dostatečným nástrojem. K exaktnímu vyjádření vágních, neurčitých jevů tak byla klasická teorie množin významně modifikována. Zrodila se teorie fuzzy množin, jejímž autorem je matematik L. A. Zadeh (Zadeh, 1965).

V této kapitole budou vymezeny základní pojmy teorie fuzzy množin, které jsou nutné pro pochopení představených přístupů a metod. Dále bude podrobněji rozebrána problematika určení funkce příslušnosti, nakonec bude představen koncept lingvistické proměnné.

2.1 Základní pojmy

V této kapitole je definována fuzzy množina, α -řez, konvexní fuzzy množina, fuzzy číslo a fuzzy škála.

Definice 1 (Talašová, 2003) Necht' je dána množina U , tzv. *univerzum*¹. Pak *fuzzy množina* $\tilde{A}$ na univerzu U je definována zobrazením $\mu_{\tilde{A}}: U \rightarrow \langle 0,1 \rangle$.

Funkci $\mu_{\tilde{A}}$ nazveme *funkcí příslušnosti* fuzzy množiny $\tilde{A}$. Pro každé $x \in U$ nazveme hodnotu $\mu_{\tilde{A}}(x)$ *stupněm příslušnosti* prvku x k fuzzy množině $\tilde{A}$. Čím blíže je hodnota funkce příslušnosti $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 1, tím více přísluší prvek x k množině $\tilde{A}$.

Definice 2 (Talašová, 2003) Necht' je dána fuzzy množina $\tilde{A}$ na univerzu U a reálné číslo $\alpha \in \langle 0,1 \rangle$. Pak α -*řezem* fuzzy množiny $\tilde{A}$ nazveme ostrou množinu $A_{\alpha} = \{x \in U \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}$.

Definice 3 (Talašová, 2003) Fuzzy množina $\tilde{A}$ definovaná na lineárním prostoru U se nazývá *konvexní*, jestliže pro každé $\alpha \in \langle 0,1 \rangle$ je příslušný α -řez A_{α} konvexní množinou, tj. jestliže pro ostrou množinu A_{α} platí $\forall x, y \in A_{\alpha} \forall \lambda \in \langle 0,1 \rangle: \lambda x + (1-\lambda)y \in A_{\alpha}$.

Definice 4 (Dubois a Prade, 1980) *Fuzzy číslo* je konvexní fuzzy množina $\tilde{F}$ taková, že platí

$\exists x_0 \in R, \mu_{\tilde{F}}(x_0) = 1$ a $\mu_{\tilde{F}}(x)$ je po částech spojitá funkce.

Intuitivně fuzzy číslo vnímáme jako hodnotu, která je neurčitá. Tato hodnota může být charakterizována jako "asi x_0 ".

Definice 5 (Talašová, 2003) Řekněme, že jazyková proměnná X definuje na intervalu $\langle a, b \rangle$ jazykovou škálu, jestliže fuzzy čísla $\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_s$ modelující významy s jazykových hodnot tvořící množinu $T(X)$ představují *rozklad intervalu* $\langle a, b \rangle$, tj.

$$\forall x \in \langle a, b \rangle: \sum_{i=1}^s \mu_{\tilde{F}_i} = 1.$$

Definice 6 (Talašová, 2003) Necht' fuzzy čísla $\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_s$ tvoří rozklad na intervalu $\langle a, b \rangle$ a necht' jsou očíslována ve shodě s jejich lineárním uspořádáním $\tilde{F}_1 < \tilde{F}_2 < \dots < \tilde{F}_s$. Pak říkáme, že fuzzy čísla $\tilde{F}_1, \tilde{F}_2, \dots, \tilde{F}_s$ tvoří *fuzzy škálu* na $\langle a, b \rangle$.

2.2 Metody na konstrukci funkce příslušnosti

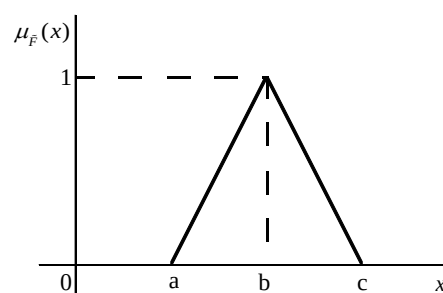
Dle Nováka (1986) můžeme rozlišit dva způsoby určení funkce příslušnosti:

- 1) Sestrojení stupňů příslušnosti na základě vnějších charakteristik prvků univerza.
- 2) Sestrojení funkcí příslušnosti na základě experimentálních odhadů dotazovaných osob (expertů).

Metody z první skupiny jsou aplikovány zejména v případech, kdy fuzzy množiny nemají jazykový základ a jsou použity jen jako prostředek. Určení funkcí příslušnosti vyplývá z vlastností prvků univerza. Čtenář se blíže může s tímto přístupem seznámit například u Nováka (1986). Druhá skupina metod je hlavně aplikována v situaci modelování sémantiky slov přirozeného jazyka. Novák

(1986) se zamýšlí, jestli je vůbec možné takové metody nalézt, protože chápání slov je značně subjektivní, je na člověku samotném. Na druhou stranu je ale patrné, že chápání významu slov je do jisté míry u všech lidí stejné, což nakonec potvrzují i různé experimentální studie.

Obě skupiny zahrnují několikero metod. Jedním z nejjednodušších přístupů k odhadu (tvaru) funkce příslušnosti je tzv. *parametrická metoda* (Kuz'Min, 1981). V rámci zmíněného přístupu určujeme v univerzu U tři body. Bod a vyjadřuje hranici vlevo, respektive bod, který ještě do dané fuzzy množiny nepatří, c je bod nejvíce vpravo, který do příslušné fuzzy množiny už nepatří. Bod b zcela určitě do dané fuzzy množiny patří s přiřazeným stupněm příslušnosti 1. Funkci příslušnosti dostaneme spojením bodů $[a, 0]$, $[b, 1]$ a $[b, 1]$, $[c, 0]$ přímkou, jak zobrazuje následující graf (Obrázek 1).



Obrázek 1 Určení funkce příslušnosti fuzzy množiny tzv. parametrickou metodou
Zdroj: Vlastní zpracování

Jak je zcela patrné, jedná se o trojúhelníkové fuzzy číslo. Výhodou této metody je její jednoduchost, zejména díky většinou bezproblémovému určení zmíněných parametrů a , b , c . Námitkou k této technice by mohl být fakt, že může docházet k přílišné nepřesnosti při opisu sledovaného významu či hodnoty. Na druhou stranu vždy záleží na konkrétní zkoumané situaci.

Popsaný přístup vlastně využívá metodu, kterou budu aplikovat na modelování významu slov. Jedná se o zcela intuitivní metodu, kterou blíže popisuje Novák (1986). Jak již bylo zmíněno, každý člověk má v daném kontextu vlastní představu o významu konkrétního slova, která je ale z velké části společná s ostatními lidmi. Pak můžeme zkonstruovat funkci příslušnosti tak, že hodnoty prvků příslušnosti pro jednotlivé prvky univerza odhadujeme na základě vlastní intuice, jak nám to nejvíce vyhovuje. Průběh funkce lze při tom vyjádřit i graficky, a stupně příslušnosti případně z grafu odměřit. Tímto způsobem vyjadřujeme význam slova tak, jak ho my chápeme. Výsledek se v zásadě o mnoho neliší od chápání ostatních lidí.

Dalšími přístupy na stanovení funkce příslušnosti se zabývá například Bocklisch a kol. (1986), Dubois a Prade (1986), či Zysno (1981).

2.3 Lingvistická proměnná

Koncept lingvistické proměnné byl vyvinut L. A. Zadehem (Zadeh, 1975a, Zadeh, 1975b, Zadeh, 1975c). *Lingvistická proměnná* je taková proměnná, jejíž hodnoty jsou slova a význam těchto slov jsou fuzzy množiny definované na universu.

¹ Libovolná, ale pevně daná tzv. univerzální množina.

Hodnoty lingvistické proměnné se nazývají *termy*. Klasickým příkladem lingvistické proměnné je „věk“, „výška“ či „intelligence“. Jejich hodnoty mohou být například „mladý“, „vysoký“ či „chytrý“. Jak uvádí Zimmermann (1991), lingvistická (jazyková) proměnná je charakterizována uspořádanou pěticí $(X, T(X), U, G, M)$, kde X je název proměnné, $T(X)$ označuje množinu termů proměnné X , respektive je to množina jazykových hodnot proměnné X , U se nazývá univerzum, G je syntaktické pravidlo² pro generování hodnot $x \in T(X)$ z množiny $T(X)$, M je pak sémantické pravidlo pro spojení každého termu x s jeho významem $\tilde{M}(x) \subseteq U$. M přiřazuje každému slovnímu vyjádření jeho význam, který je fuzzy množinou v konkrétní bodové škále, neboť psychologické vymezení lidských temperamentů není jednoznačné. Je tedy lepší vymezení významy jako fuzzy množiny než pomocí intervalů na bodové škále, jak to bylo prováděno v minulosti (Novák, 1986).

3. DŮLEŽITOST KRITÉRIÍ JAKOŽTO LINGVISTICKÁ PROMĚNNÁ

Důležitost kritéria může být vyjádřena jako lingvistická proměnná, a to ve výše zmíněné struktuře $(X, T(X), U, G, M)$. Jméno proměnné X může být zvoleno důležitost kritéria, tedy $X = \text{důležitost kritéria}$. Rozhodovatel slovně hodnotí relevanci jednotlivých kritérií na škále (například) tři termů – *nízká*, *střední*, *vysoká*. Pak definujeme množinu $T(X) = \{\text{nízká, střední, vysoká}\}$. Je možné definovat universum U jako množinu $T(X)$ nebo může být formulována v širším pojetí lingvistických výrazů hodnotících důležitost kritérií s tím, že bude určitě obsahovat naše tři používané termy. Syntaktické pravidlo G je pouze redukováno na výčet zmíněných lingvistických termů. Sémantické pravidlo M přiřazuje význam každému slovu, který je vyjádřený pomocí fuzzy množiny na dané škále.

Samozřejmě je možné využít podrobnější škálu, například o pěti termech – *velmi nízká*, *nízká*, *střední*, *vysoká*, *velmi vysoká* či o sedmi termech – *extrémně nízká*, *velmi nízká*, *nízká*, *střední*, *vysoká*, *velmi vysoká*, *extrémně vysoká*. Početnost výrazů v množině termů je do značné míry odvislá na schopnosti příslušného subjektu rozlišit své preference. Podle toho použijeme škálu o třech výrazech, pěti výrazech atd. Také samozřejmě obecně záleží na konkrétní rozhodovací situaci, co je lingvistickou proměnnou, do jaké míry je rozhodovatel znalý situace atd. Obecně si dovoluji vyjádřit, že čím je rozhodovatel blíže vtažen do rozhodovací procedury, tedy zná okolnosti rozhodování, je seznámen s rozhodovacími metodami, přístupy, tím je schopen podrobnějšího rozlišení a vyjádření svých preferencí.

3.1 Slovní význam jako trojúhelníkové fuzzy číslo

Slovní vyjádření je popsáno pomocí trojúhelníkového fuzzy čísla. Tedy každému slovnímu významu přiřazujeme určitou hodnotu ze škály od 0 do 1 s tolerančním pásmem. Dostáváme vlastně mlhavou (fuzzy) váhu, která je vyjádřena pro j -té kritérium jako

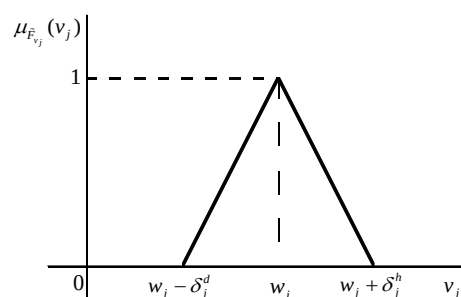
$$\tilde{F}_{v_j} = (w_j - \delta_j^d, w_j, w_j + \delta_j^h),$$

kde w_j ($j=1,2,\dots,k$) je váha nejvíce odpovídající kvalitativnímu vyjádření preference j -tého kritéria, δ_j^d, δ_j^h ($j=1,2,\dots,k$) specifikují toleranční pásmo pro hodnotu váhy j -tého kritéria na intervalu $\langle 0,1 \rangle$.

Funkce příslušnosti takto definované váhy jakožto fuzzy množin $\tilde{F}_{v_j}$ bude mít následující podobu

$$\mu_{\tilde{F}_{v_j}}(v_j) = \begin{cases} 0 & v_j \leq w_j - \delta_j^d \\ \frac{v_j + \delta_j^d - w_j}{\delta_j^d} & w_j - \delta_j^d \leq v_j \leq w_j \\ \frac{\delta_j^h + w_j - v_j}{\delta_j^h} & w_j \leq v_j \leq w_j + \delta_j^h \\ 0 & v_j \geq w_j + \delta_j^h \end{cases}.$$

Graficky lze funkci příslušnosti znázornit následujícím obrázkem (Obrázek 2).



Obrázek 2 Funkce příslušnosti mlhavé váhy $\tilde{F}_{v_j}$

Zdroj: Vlastní zpracování

Uvedený obrázek vystihuje situaci $\delta_j^d = \delta_j^h$. Je ale nepochybné, že trojúhelníkové fuzzy číslo nemusí být definováno symetricky, tedy může platit $\delta_j^d \neq \delta_j^h$.

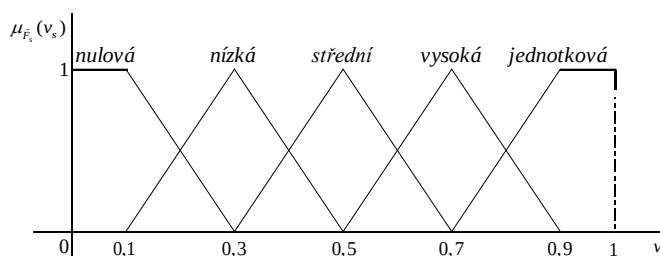
3.2 Fuzzy škála a její transformace

Celá slovní škála je převedena do škály trojúhelníkových fuzzy čísel

$$\tilde{F}_s = (w_s - \delta_s^d, w_s, w_s + \delta_s^h),$$

kde s zastupuje konkrétní slovní výraz (term). Jednotlivé lingvistické výrazy jsou tedy převedeny na tato trojúhelníková fuzzy čísla s funkcí příslušnosti $\mu_{\tilde{F}_s}$.

Pro tři termy je vykreslena původní fuzzy škála na následujícím obrázku (Obrázek 3).



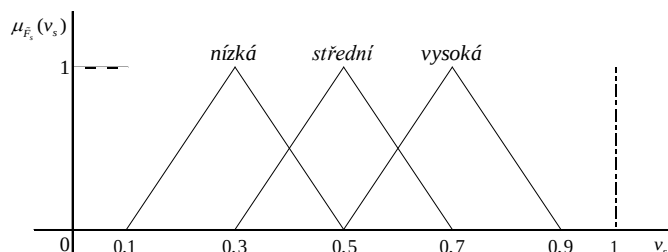
Obrázek 3 Původní fuzzy škála pro 3 termy

Zdroj: Vlastní zpracování

Kromě tří původních slovních vyjádření jsou přidána ještě dvě, a to *nulová* a *jednotková* důležitost (váha), čímž je vytvořena fuzzy škála. Tyto dva extrémy jsou pro rozhodovací situaci nežádoucí. Určitě nechceme, aby váha nějakého kritéria byla nulová, v takovém případě by kritérium ze souboru vypadlo. Stejně tak není možné, aby váha kritéria byla jednotková, pak by se úloha při jednotkovém součtu vah stávala jednokritériální. Tedy pro účely vyjádření důležitosti kritérií rozhodovatelem oba extrémy vynecháváme, což

² Toto pravidlo má obvykle formu gramatiky. Většinou se redukuje jen na výčet stanovených lingvistických hodnot.

zajišťuje aplikovatelnost při kvantifikaci vah kritérií vybranými metodami (např. Borovička, 2015). Poté už nemůžeme mluvit o fuzzy škále, protože není splněna její definice. Nazveme ji transformační škálou trojúhelníkových fuzzy čísel, která vykazuje následující podobu (Obrázek 4).



Obrázek 4 Transformační škála fuzzy čísel pro 3 termy

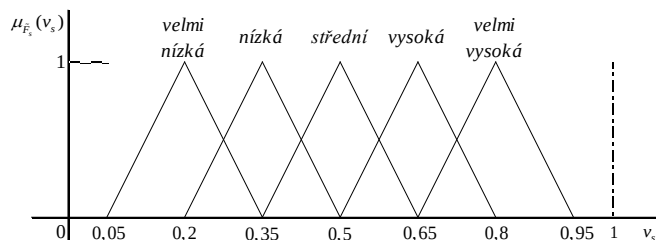
Zdroj: Vlastní zpracování

Trojúhelníková fuzzy čísla odpovídající slovním významům zapíšeme do následující tabulky (Tabulka 1).

Tabulka 1 Termy a příslušná fuzzy čísla – třístupňová škála

Term	Fuzzy číslo
Nízká	$\tilde{F}_{nízká} = (0,1; 0,3; 0,5)$
Střední	$\tilde{F}_{střední} = (0,3; 0,5; 0,7)$
Vysoká	$\tilde{F}_{vysoká} = (0,5; 0,7; 0,9)$

Pro výše zmíněnou škálu o pěti termech dostáváme po eliminaci extrémů následující transformační škálu (Obrázek 5).



Obrázek 5 Transformační škála fuzzy čísel pro 5 termů

Zdroj: Vlastní zpracování

Trojúhelníková fuzzy čísla odpovídající slovním významům můžeme pak zapsat následovně (Tabulka 2).

Tabulka 2 Termy a příslušná fuzzy čísla – pětistupňová škála

Term	Fuzzy číslo
Velmi nízká	$\tilde{F}_{velmi\ nízká} = (0,05; 0,2; 0,35)$
Nízká	$\tilde{F}_{nízká} = (0,2; 0,35; 0,5)$
Střední	$\tilde{F}_{střední} = (0,35; 0,5; 0,65)$
Vysoká	$\tilde{F}_{vysoká} = (0,5; 0,65; 0,8)$
Velmi vysoká	$\tilde{F}_{velmi\ vysoká} = (0,65; 0,8; 0,95)$

Takto bychom mohli konstruovat transformační škálu pro sedm či více termů dle potřeby rozhodovací úlohy.

Asi první otázka, která nás napadne, je určení jednotlivých fuzzy čísel, tedy celé škály, případně množiny škál. Některé postupy rozebírají například Chen (1988), nebo Wenstop (1976). Nejen že řeší samotnou konstrukci transformační (fuzzy) škály fuzzy čísel, ale také počet těchto škál (škál jazykových výrazů). Metod určení

opisu škály jazykových významů do formy fuzzy čísel je celá řada. Vlastně se jedná o určení funkce příslušnosti v kontextu dalších funkcí na předem stanoveném intervalu.

Po seznámení s několika přístupy jsem usoudil, že nejlepší bude použít již zmíněnou intuitivní metodu (Novák, 1986). Východiskem této metody je fakt, že každý člověk má v daném kontextu vlastní představu o významu konkrétního slova, která je ale z velké části společnou s ostatními lidmi. Pak můžeme zkonstruovat funkci příslušnosti tak, že hodnoty prvků příslušnosti pro jednotlivé prvky univerza odhadujeme na základě vlastní intuice, jak nám to nejvíce vyhovuje. Průběh funkce lze při tom vyjádřit i graficky, a stupně příslušnosti případně z grafu odměřit. Tímto způsobem vyjadřujeme význam slova tak, jak ho my chápeme. Výsledek se v zásadě o mnoho neliší od chápání ostatních lidí.

Škálu tedy sestavuji na základě vlastního úsudku. Jelikož význam mnou použitých termů je chápán lidmi přibližně stejně, nebude se má verze o moc lišit od ostatních. Interval hodnot $<0,1>$ je zvolen s přihlédnutím na fakt, že váha každého kritéria se právě v tomto intervalu pohybuje. Mezi parametry všech fuzzy čísel platí stejné striktní relace, aby nebylo pochyb o porovnatelnosti fuzzy čísel za účelem rozlišení slovních významů. Funkce příslušnosti trojúhelníkových fuzzy čísel se samozřejmě překrývají, čímž jsou také vyjádřeny otevřenější hranice mezi jednotlivými významy.

4. PRAKTICKÁ APLIKACE

Budeme uvažovat situaci, kdy se potenciální investor rozhoduje pro vložení svých volných peněžních prostředků do otevřených podílových fondů Investiční společnosti České spořitelny za účelem dlouhodobějšího spoření na důchodový věk. Aby byla analýza jednotlivých podílových fondů komplexní, hodnotí je dle tří hlavních kritérií – výnos, riziko, náklady. Dle investiční strategie a přístupu rozlišíme dva typy investorů. „Pasivní“ investor není do problematiky investování podrobněji zasvěcen, spoléhá se při tvorbě investičního portfolia na svého investičního (finančního) poradce. Své preference ohledně důležitosti hodnotících kritérií je schopen vyjadřovat na úzké škále slovních výrazů. „Aktivní“ investor je seznámen s problematikou investování podstatně více, o investování se dlouhodoběji zajímá. I proto je schopen rozlišit své preference ohledně důležitosti jednotlivých uvažovaných kritérií na „jemnější“ škále.

„Pasivní“ investor vyjadřuje důležitost kritérií na výše zmíněné škále tří slovních významů (Obrázek 4, Tabulka 1). Jelikož se jedná o dlouhodobou investici, která by měla vést alespoň k částečnému finančnímu zajištění ve vzdálené budoucnosti, jako nejdůležitější kritérium vidí riziko, že investice nenabude očekávaných výnosů. Výnos je samozřejmě také velmi důležitý, nakonec to je přeci smyslem investice, zhodnotit své volné finanční prostředky. Přeci jen ale investor radši část výnosů oželí, pokud budou mít větší šanci na realizaci. Náklady spojené s investicí do podílových fondů vidí jako nejméně podstatné kritérium. Není mu lhostejné, kolik zaplatí na poplatcích, ale není to určitě zdaleka tak podstatné jako výnos a riziko. Přehledně jsou slovně vyjádřené preference zobrazeny v Tabulce 3. Na základě těchto informací je možné aplikovat některou z metod odhadu vah, která převede slovní vyjádření do kvantitativní podoby ve formě vah. Výsledky metody (Borovička, 2015) jsou také vyobrazeny v následující tabulce (Tabulka 3).

Tabulka 3 Preference „pasivního“ investora o důležitosti kritérií

Kritérium	Důležitost	Váha
Výnos	Střední	0,333
Riziko	Vysoká	0,534
Náklady	Nízká	0,133

„Aktivní“ investor je ve stejné investiční situaci jako investor „pasivní“. Je však schopen „jemněji“ rozlišit důležitost kritérií, konkrétně na předložené škále pěti lingvistických významů (Obrázek 5, Tabulka 2). Pořadí kritérií z hlediska důležitosti zůstává stejné, akorát přiřazený stupeň může být jiný, řekněme přesnější. Náklady spojené s investicí jsou stále daleko méně důležité než ostatní dvě kritéria, což lze na pětistupňové škále vyjádřit precizněji. Stejně tak je přesněji vyjádřena podobná důležitost kritérií výnos a riziko. Důležitost kritérií, stejně tak jejich výsledné váhy, jsou zobrazeny v následující tabulce (Tabulka 4).

Tabulka 4 Preference „aktivního“ investora o důležitosti kritérií

Kritérium	Důležitost	Váha
Výnos	Vysoká	0,4
Riziko	Velmi vysoká	0,547
Náklady	Velmi nízká	0,053

Pokud srovnáme hodnoty vah pro oba investory, vidíme vcelku očekávané odlišnosti. Váha kritéria *náklady* se u „aktivního“ investora snížila oproti „pasivnímu“, což je způsobeno tím, že „aktivní“ investor ještě více může akcentovat malou důležitost tohoto kritéria oproti výnosu a riziku díky „jemnější“ škále slovních významů. Stupně důležitosti kritérií *výnos* a *riziko* jsou u obou typů investorů sousední. Ať už vyjádřená důležitost nákladů spojených s investicí „aktivním“ investorem, tak zejména vícestupňová škála způsobuje, že rozdíl mezi hodnotami vah těchto dvou kritérií se zmenší oproti investorovi v „pasivní“ roli.

Předvedená investiční situace slouží spíše jako ilustrativní příklad pro demonstraci případu slovního vyjádření důležitosti kritérií a její kvantifikace. Na dvou typech investorů vidíme důsledky schopnosti vyjádření důležitosti na různých významových škálách. Pro jednoduchost jsou zvolena tři základní kritéria. V širším pojetí je možno zahrnout více kritérií, avšak tři zmíněná jsou v investičních situacích nejpodstatnější. Vypočítané váhy jsou dále využity jakožto vstupní informace v procesu vytvoření portfolia otevřených podílových fondů pomocí metod teorie rozhodování (Fiala, 2013).

5. ZÁVĚR

Záměrem příspěvku je představení popisu principu slovně vyjádřené důležitosti kritérií v rozhodovacím procesu prostřednictvím lingvistické proměnné. Je popsán způsob převodu slovních významů do podoby trojúhelníkových fuzzy čísel (fuzzy vah) tvořících komplexní fuzzy škálu. Dále je navržena transformace této škály nezbytná k procesu stanovení finálních hodnot vah kritérií. K pochopení problematiky jsou vysvětleny základní pojmy z teorie fuzzy množin, stejně tak je představen koncept lingvistické

proměnné. V budoucí práci by bylo možné zkoumat opis slovních významů pomocí jiných typů fuzzy čísel (např. trapezodiálních).

Zdroje

- BOCKLISCH, S., ORLOVSKI, S., PESCHEL, M., NISHIWAKI, Y. *Fuzzy Sets Applications, Methodological Approaches, and Results*. Berlín: Academic-Verlag, 1986. ISBN 3-05-500016-1.
- BOROVÍČKA, A. *Vytváření investičního portfolia podílových fondů pomocí fuzzy metod vícekritériálního rozhodování*. Disertační práce, Katedra ekonometrie, Vysoká škola ekonomická v Praze, Praha, 2015.
- DUBOIS, D., PRADÉ, H. Fuzzy sets and statistical data. *Fuzzy Sets and Systems*, roč. 25, č. 3, 1986, s. 345-356.
- DUBOIS, D., PRADÉ, H. *Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications*. New York: Academic Press, Inc., 1980. ISBN 0-12-222750-6.
- FIALA, P. *Modely a metody rozhodování*. 3. přeprac. vyd. Praha: Oeconomica, 2013. ISBN 978-80-245-1981-4.
- CHEN, S. M. A new approach to handling fuzzy decision-making problems. In: *18th International Symposium on Multiple-Valued Logic*. Palma de Mallorca: UIB, 1988, s. 72-76.
- KUZ'MIN, V. B. A Parametric Approach to Description of Linguistic Values of Variables and Hedges. *Fuzzy Sets and Systems*, roč. 6, č. 1, 1981, s. 27-41.
- NOVÁK, V. *Fuzzy množiny a jejich aplikace*. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury, 1986.
- TALAŠOVÁ, J. *Fuzzy metody vícekritériálního hodnocení a rozhodování*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2003. ISBN 80-244-0614-4.
- WENSTOP, F. Fuzzy set simulation models in a systems dynamic perspective. *Kybernetes*, roč. 6, č. 3, 1976, s. 209-218.
- ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, roč. 8, č. 3, 1965, s. 338-353.
- ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - I. *Information Sciences*, roč. 8, č. 3, 1975a, s. 199-249.
- ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - II. *Information Sciences*, roč. 8, č. 4, 1975b, s. 301-357.
- ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - III. *Information Sciences*, roč. 9, č. 1, 1975c, s. 43-80.
- ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy Sets Theory and its Applications*. 2. vyd. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1991. ISBN 0-7923-9075-X.
- ZYSNO, P. Modelling Membership Function. In: B. R. Rieger (ed.) *Empirical Semantics I*, Bochum: Studienverlag Dr. N. Brockmayer, 1981, s. 350-375.