



**Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně**  
**Fakulta managementu a ekonomiky**

Disertační práce

**Možnosti a meze využití fuzzy logiky pro řešení  
problémů ekonomiky a managementu**

**Possibilities and limits of fuzzy logic to solve problems of  
economics and management**

Autor: **Mgr. Václav Bezděk**

Obor: Management a ekonomika

Školitel: prof. Ing. Zdeněk Molnár, CSc.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce panu prof. Zdeňku Molnárovi, CSc. za čas, který mi ochotně věnoval při konzultacích, cenné rady, které mi vždy a rád poskytl a povzbuzení, když jsem jej potřeboval.

Díky musím vyjádřit i své manželce, Amálce, za zázemí, které mi vytvořila při mém výzkumu a ohromnou trpělivost, kterou projevila, když jsem se jí, kvůli práci, nemohl plně věnovat. Pevně doufám, že ji budu moci toto dočasné strádání v budoucnu vynahradit.

## **ABSTRAKT**

Růst literatury zabývající se fuzzy logikou je v poslední době charakterizován jako explozivní. Doposud však neexistuje ucelený průzkum využívání fuzzy logiky při řešení problémů ekonomiky a managementu. Cílem disertační práce je právě tato analýza. Analýza současného využívání fuzzy logiky v českých podnicích. V předložené práci jsou nejprve popsány hlavní pojmy a principy při práci s fuzzy logikou. Dále popsány buď zcela nové konkrétní možné aplikace, nebo již publikované, ověřené. Dále vyhodnocený výzkum, který mapuje jak moc je fuzzy logika využívána a co brání jejímu většímu rozmachu v českých firmách.

Pro úspěšné setrvání podniku na trhu je zapotřebí, aby si i nadále upevňoval své postavení, měl ujasněný strategický plán pro svou budoucí existenci a nadále si udržoval konkurenční výhodu. Tu by mu mohlo přinést inovativní a zároveň výhodné řešení některých problémů, se kterými se potýká. Uskutečněný výzkum ukazuje, že fuzzy logika je pro řešení řady problémů výhodnější než doposud používané metody. A provedený průzkum zase ukazuje, že aplikace fuzzy logiky by českými podniky byla akceptovatelná. Tato práce tak může plnit roli seznamovacího textu s fuzzy logikou pro všechny, kdo chtějí své problémy řešit jiným, výhodnějším způsobem.

## **ABSTRACT**

The expansion of fuzzy logic concerned literature is characterized as explosive. Yet, there is not any coherent research dealing with using of fuzzy logic in solving economical and management problems to date. This analysis is the aim of the dissertation work – we analyze recent use of fuzzy logic in Czech business companies. The paper describes main terms and principles of fuzzy logic, brand new or already published and verified specific alternatives of application, and concluded research which is mapping the using of fuzzy logic in Czech business companies and difficulties of its expansion among them.

It is necessary for a business company which endeavours to remain in the market to stabilize its position, to have straight strategic plan for its future existence and to maintain a competitive advantage. This advantage could be the innovative and favourable solving of some problems which the company is dealing with. The research we realized shows that fuzzy logic is more advantageous than so far used methods in solving many problems, and that the application of fuzzy logic would be acceptable for Czech business companies. Thus, this paper can play the role of introducing of fuzzy logic for everybody, who wants to solve their problems in another and advantageous way.

## MOTTO

*„Roste-li složitost systému, klesá naše schopnost formulovat přesné a významné soudy o jeho chování, až je dosaženo hranice, za níž jsou přesnost a relevantnost prakticky vzájemně se vylučující charakteristiky.“*

L.A.ZADEH

# OBSAH

|  |    |
|--|----|
| PODĚKOVÁNÍ                                   | 2  |
| ABSTRAKT                                     | 3  |
| ABSTRACT                                     | 4  |
| MOTTO  | 5  |
| ÚVOD   | 10 |
| 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY          | 11 |
| 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA DISERTAČNÍ PRÁCE     | 17 |
| 2.1 Fuzzy množina                            | 17 |
| 2.1.1 Příklady fuzzy množin                  | 18 |
| 2.2 Základní operace s fuzzy množinami       | 19 |
| 2.3 Funkce příslušnosti                      | 20 |
| 2.4 Fuzzy čísla                              | 22 |
| 2.4.1 Fuzzy aritmetika                       | 23 |
| 2.5 Fuzzy logika                             | 25 |
| 2.5.1 Jazyková proměnná                      | 25 |
| 2.5.2 Fuzzy implikace                        | 27 |
| 2.6 Fuzzy systémy                            | 28 |
| 2.6.1 Fuzzifikace                            | 29 |
| 2.6.2 Fuzzy inference                        | 30 |
| 2.6.3 Defuzzifikace                          | 36 |
| 2.7 Některé problémy a omezení fuzzy systémů | 38 |
| 2.8 Vývojové nástroje pro fuzzy logiku       | 38 |
| 2.8.1 Nekomerční nástroje                    | 38 |
| 2.8.2 Komerční nástroje                      | 39 |
| 3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE                      | 40 |
| 4 HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE                  | 41 |
| 5 METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE         | 43 |
| 5.1 Postup řešení disertační práce           | 43 |
| 5.2 Metody využití v disertační práci        | 45 |
| 5.2.1 Logické metody                         | 45 |
| 5.2.2 Metody matematické statistiky          | 46 |
| 5.3 Měření a jeho druhy                      | 51 |
| 5.3.1 Nominální data                         | 52 |
| 5.3.2 Ordinální data                         | 52 |
| 5.3.3 Metrická data                          | 52 |
| 5.4 Způsob sběru dat                         | 53 |
| 5.4.1 Analýza dostupných informačních zdrojů | 53 |
| 5.4.2 Konzultace s odborníky                 | 53 |
| 5.4.3 Dotazníkový průzkum                    | 54 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 6     | HLAVNÍ VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE                     | 57  |
| 6.1   | Výsledky hlavního dotazníkového šetření              | 57  |
| 6.1.1 | Identifikační údaje                                  | 57  |
| 6.1.2 | Využívání fuzzy logiky v českých podnicích           | 60  |
| 6.1.3 | Aktuálnost a způsob řešení konkurenčních tlaků       | 62  |
| 6.1.4 | Problémy, u kterých lze k řešení využít fuzzy logiku | 71  |
| 6.2   | Jaké prémie zvolit                                   | 76  |
| 6.3   | Porovnání 50 českých měst pomocí fuzzy logiky        | 79  |
| 6.4   | Využití fuzzy logiky v databázích                    | 81  |
| 6.5   | Využití fuzzy logiky při hodnocení studentů          | 81  |
| 6.6   | Využití fuzzy logiky při hodnocení                   | 82  |
| 6.7   | Srovnání antivirových programů pomocí fuzzy logiky   | 83  |
| 6.8   | Využití fuzzy logiky v obchodě                       | 83  |
| 6.9   | Využití principů fuzzy logiky při nákupu             | 84  |
| 7     | OVĚŘENÍ HYPOTÉZ                                      | 86  |
| 7.1   | Hypotéza H1  | 86  |
| 7.2   | Hypotéza H2 a Hypotéza H3                            | 88  |
| 7.3   | Hypotéza H4  | 97  |
| 8     | PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE                             | 101 |
| 8.1   | Přínosy pro teorii                                   | 101 |
| 8.2   | Přínos pro praxi                                     | 101 |
| 9     | NÁSTIN DALŠÍHO POKRAČOVÁNÍ PRÁCE                     | 103 |
|       | ZÁVĚR  | 104 |
|       | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY                            | 105 |
|       | SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA                              | 111 |
|       | CURRICULUM VITAE AUTORA                              | 112 |
|       | SEZNAM PŘÍLOH  | 113 |

# SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| <i>Obr. 2.1: L–funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)</i> .....   | 20 |
| <i>Obr. 2.2: <math>\Gamma</math>–funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)</i> .....                                   | 20 |
| <i>Obr. 2.3: <math>\Lambda</math>–funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)</i> .....                                  | 20 |
| <i>Obr. 2.4: <math>\Pi</math> – Funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)</i> .....                                    | 21 |
| <i>Obr. 2.5: <math>S^+</math>–funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)</i> .....                                      | 21 |
| <i>Obr. 2.6: <math>S^-</math>–funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)</i> .....                                      | 21 |
| <i>Obr. 2.7: <math>\Pi</math>–funkce příslušnosti(<math>S^+</math> a <math>S^-</math>) (Bezděk, 2008)</i> ..... | 22 |
| <i>Obr. 2.8: Trojúhelníková fuzzy čísla – „Asi 4“ a „Asi 5“ (Bezděk, 2013)</i> .....                            | 23 |
| <i>Obr. 2.9: Součet trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)</i> .....                                       | 23 |
| <i>Obr. 2.10: Rozdíl trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)</i> .....                                      | 24 |
| <i>Obr. 2.11: Součin trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)</i> .....                                      | 24 |
| <i>Obr. 2.12: Podíl trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)</i> .....                                       | 24 |
| <i>Obr. 2.13: Vztahy mezi fuzzy pojmy (Bojadziev a Bojadziev, 2007, s. 44)</i> .....                            | 25 |
| <i>Obr. 2.14: Jazyková proměnná věk (Bojadziev a Bojadziev, 2007, s. 45)</i> .....                              | 26 |
| <i>Obr. 2.15: Metoda usuzování podle Mamdaniho(Fullér, 1995, s. 100)</i> .....                                  | 32 |
| <i>Obr. 2.16: Metoda usuzování podle Takagi-Sugeno(Fullér, 1995, s. 104)</i> .....                              | 34 |
| <i>Obr. 2.17: Metoda usuzování podle Tsukamoto (Fullér, 1995, s. 101)</i> .....                                 | 35 |
| <i>Obr. 2.18: Možné hodnoty defuzzifikace (Bezděk 2008)</i> .....   | 37 |
| <i>Obr. 5.1: Postup zpracování DDP (Molnár, 2011)</i> .....   | 43 |
| <i>Obr. 6.1: Aktuálnost konkurenčních tlaků (Bezděk, 2013)</i> .....  | 63 |
| <i>Obr. 6.2: Strategie proti stávající konkurenci (Bezděk, 2013)</i> .....                                      | 65 |
| <i>Obr. 6.3: Strategie proti nové konkurenci (Bezděk, 2013)</i> .....   | 66 |
| <i>Obr. 6.4: Strategie proti vlivu odběratelů (Bezděk, 2013)</i> .....  | 68 |
| <i>Obr. 6.5: Strategie proti vlivu dodavatelů (Bezděk, 2013)</i> .....  | 70 |
| <i>Obr. 6.6: Aritmetické průměry – Co by organizace uvítaly (Bezděk, 2013)</i> .....                            | 75 |
| <i>Obr. 6.7: Funkce příslušnosti – prémie (Bezděk, 2011)</i> .....  | 76 |
| <i>Obr. 6.8: Jednotlivá pravidla – prémie (Bezděk, 2011)</i> .....  | 77 |
| <i>Obr. 6.9: Výsledné pravidlo – prémie (Bezděk 2011)</i> .....   | 78 |
| <i>Obr. 6.10: Výsledek pomocí programu Fuzzy Logic Toolbox MATLAB (Bezděk, 2011)</i> .....                      | 79 |
| <i>Obr. 7.1: Funkce příslušnosti – míra rizika (Bezděk, 2011a)</i> .....  | 90 |
| <i>Obr. 7.2: Výsledná pravidla – míra rizika (Bezděk, 2011a)</i> .....  | 92 |
| <i>Obr. 7.3: Výsledné pravidlo – míra rizika (Bezděk, 2011a)</i> .....  | 92 |
| <i>Obr. 7.4: Výsledek pomocí programu Fuzzy Logic Toolbox MATLAB – míra rizika (Bezděk, 2011a)</i> .....        | 93 |



## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| <i>Tabulka 1.1 Průmyslové aplikace využívající fuzzy logiku (Kosko, 1993)</i> .....          | 13 |
| <i>Tabulka 1.2 Počet článků s pojmem „FUZZY“ v názvu: (Bezděk, září 2010)</i> ...            | 15 |
| <i>Tabulka 2.1 Implikace – klasická logika (Bezděk, 2013)</i> .....                          | 27 |
| <i>Tabulka 2.2 Fuzzy implikace (Fullér, 1995, s. 62)</i> .....                               | 28 |
| <i>Tabulka 2.3 Počet rozeznatelných úrovní (Vysoký 1996, s. 55)</i> .....                    | 30 |
| <i>Tabulka 6.1 Velikost firmy (Bezděk, 2013)</i> .....                                       | 58 |
| <i>Tabulka 6.2 Oblast podnikání (Bezděk, 2013)</i> .....                                     | 58 |
| <i>Tabulka 6.3 Typ společnosti – vlastnická struktura (Bezděk, 2013)</i> .....               | 59 |
| <i>Tabulka 6.4 Pozice respondenta ve firmě (Bezděk, 2013)</i> .....                          | 59 |
| <i>Tabulka 6.5 Velikost firmy a pozice respondenta (Bezděk, 2013)</i> .....                  | 60 |
| <i>Tabulka 6.6 Využívání principů fuzzy logiky (Bezděk, 2013)</i> .....                      | 60 |
| <i>Tabulka 6.7 Kde je využita fuzzy logika (Bezděk, 2013)</i> .....                          | 60 |
| <i>Tabulka 6.8 Kde je využívána fuzzy logika (Bezděk, 2013)</i> .....                        | 61 |
| <i>Tabulka 6.9 Proč nevyužíváte fuzzy logiku? (Bezděk, 2013)</i> .....                       | 62 |
| <i>Tabulka 6.10 Odpovědi – Aktuálnost konkurenčních tlaků (Bezděk, 2013)</i> .....           | 63 |
| <i>Tabulka 6.11 Stávající konkurence (Bezděk, 2013)</i> .....                                | 64 |
| <i>Tabulka 6.12 Nástroje vypořádávání se se stávající konkurencí (Bezděk, 2013)</i><br>..... | 64 |
| <i>Tabulka 6.13 Nová konkurence (Bezděk, 2013)</i> .....                                     | 66 |
| <i>Tabulka 6.14 Nástroje vypořádávání se s novou konkurencí (Bezděk, 2013)</i> ....          | 66 |
| <i>Tabulka 6.15 Vliv odběratelů (Bezděk, 2103)</i> .....                                     | 67 |
| <i>Tabulka 6.16 Nástroje vypořádávání se s vlivem odběratelů (Bezděk, 2013)</i> ....         | 68 |
| <i>Tabulka 6.17 Vliv dodavatelů (Bezděk, 2013)</i> .....                                     | 69 |
| <i>Tabulka 6.18 Nástroje vypořádávání se s vlivem dodavatelů (Bezděk, 2013)</i> ...          | 69 |
| <i>Tabulka 6.19 Substituční produkty (Bezděk, 2013)</i> .....                                | 70 |
| <i>Tabulka 6.20 Odpovědi – co by organizace uvítaly (Bezděk, 2013)</i> .....                 | 75 |
| <i>Tabulka 6.21 Výsledná čísla – prémie (Bezděk 2011)</i> .....                              | 78 |
| <i>Tabulka 7.1 Znalost fuzzy logiky v českých podnicích (Bezděk, 2013)</i> .....             | 86 |
| <i>Tabulka 7.2 Znalost pojmu fuzzy logiky (Bezděk, 2013)</i> .....                           | 87 |
| <i>Tabulka 7.3 Výsledná čísla – prémie (Bezděk 2011a)</i> .....                              | 91 |
| <i>Tabulka 7.4 Využívání fuzzy logiky v českých podnicích (Bezděk, 2013)</i> .....           | 98 |
| <i>Tabulka 7.5 Důvody nevyužití fuzzy logiky (Bezděk, 2013)</i> .....                        | 98 |

## ÚVOD

Přirozeným jazykem se hemží vágní a nepřesné koncepty (Novák, 2000, s. 7-15), jako například "Katka je vysoká" nebo "Dnes je velmi horko." Taková prohlášení se těžko překládají do přesnějšího jazyka, aniž by ztratila některé své sémantické hodnoty: například prohlášení "Výška Katky je 152 cm" neuvádí výslovně, že je vysoká, a prohlášení "Katčina výška je 1,2 směrodatné odchylky od střední hodnoty výšky žen v jejím věku v její kultuře" je plné problémů: můžou být ženy 1,199 standardní odchylky nad průměrem také vysoké?; do které kultury Katka patří?; atd.

„Popojed' kousek dopředu, pootoč volant doleva, trošku couvni, vrať volant do původní polohy a popojed'...“, takto by mohl vypadat návod pro řidiče k ještě lepšímu zaparkování vozidla. Pokud by však auto řídil robot či počítač musel by návod vypadat následujícím způsobem: „Autem jed' 3 metry a 45 centimetrů dopředu, natoč volant doleva o 30 stupňů 25 minut, autem jed' zpátky o 2 metry 33 centimetrů, volant natoč doprava o 30 stupňů 25 minut, autem jed' dopředu o 2 metry a 55 centimetrů 20 milimetrů...“. I když je to „přesnější“ návod, je možné, že podle něj robot zaparkuje hůře než člověk s „horším“ návodem.

Uvažujme množinu všech mladých lidí. V klasické teorii množin bychom museli upřesnit, který věk považujeme za mladý a který už ne. Dejme tomu, že stanovíme hranici 30 let. Všechny osoby mladší 30 let považujeme za mladé. Vyvstává otázka, proč věk 31 let už není považován za mladý, když věk 30 ano.

Tyto naznačené problémy (a řadu dalších) dokáže vyřešit zavedení fuzzy logiky ([fazi] = mlhavý, nejasný, neostrý, rozplizlý...):

- člověk je schopen rozhodovat a řídit systémy i na základě nepřesných informací – stroj tak může zvládnout totéž
- fuzzy vede k přirozenějšímu „vnímání“ světa strojem
- fuzzy odstraňuje problémy s ostrou hranicí proměnné

# 1 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Používání přesných popisů nás vede k idealizování skutečností reálného světa a tedy odklonu od reality. Striktní popis vede k popisu skutečnosti pouze pomocí dvouprvkové množiny  $\{0,1\}$ . Proto jsou často citovány myšlenky Bertranda Russella (1923): ...*“Všechny tradiční logiky obvykle předpokládají použití přesných symbolů. Nelze je tedy použít pro tento pozemský život, ale pouze na představu toho nebeského. Zákon o vyloučení třetího platí, pokud jsou použity přesné symboly. Ale neplatí, pokud jsou symboly vágní. A ve skutečnosti všechny symboly jsou vágní. Všechny jazyky jsou vágní. Neurčitost je jistě otázkou míry....”*

Přesnost matematiky vděčí podle Brule (1992) za svůj úspěch ve velké části snahám Aristotela a filozofů působících před ním. Jejich úsilím bylo vytvořit stručnou teorii logiky a pozdější matematiky, takzvané "*Zákony myšlení*" Korner (1967). Jeden z nich, "*Zákon o vyloučeného třetího*" uvádí, že každý problém musí být buď pravda nebo nepravda (True or False). Dokonce, i když Parminedés navrhl první verzi tohoto zákona (kolem 400 př. n. l.), existují silné a okamžité námitky. Například Heraclitus navrhl, aby věci mohly být zároveň pravda i nepravda.

Byl to Platón, kdo položil základ pro to, co by se mohlo stát fuzzy logikou – naznačil, že by mohla být i třetí možnost (mimo pravdy a nepravdy), pokud jsou tyto protiklady "rozházené kolem." Další, moderní filozofové rozvíjeli jeho myšlenku, a to zejména Hegel, Marx a Engels. Ale byl to Łukasiewicz, kdo první navrhl systematickou alternativu k dvouhodnotové logice Aristotela.

Počátkem 1900, Łukasiewicz popsal tří-hodnotovou logiku. Třetí hodnotu navrhl přeložit jako výraz "je to možné" a svěřil mu číselnou hodnotu mezi pravdou a nepravdou. Nakonec navrhl celý axiomatický systém, ze kterého doufal, že se odvodí moderní matematika.

Později prozkoumal čtyř-hodnotovou logiku, pěti-hodnotovou logiku a pak prohlásil, že v zásadě nic nebrání k odvození nekonečně-hodnotové logiky. Łukasiewicz měl pocit, že tří- a nekonečně-hodnotové logiky jsou nejzajímavější, ale nakonec se zabýval čtyř-hodnotovou logikou, protože se zdála být nejvíce přizpůsobivá Aristotelově logice.

Až relativně nedávno se pojem "nekonečné-hodnotové" logiky ujal, když Zadeh (1965) publikoval své vlivné dílo, které popisuje matematiku teorie fuzzy množin a potažmo fuzzy logiky. Tato teorie navrhla, aby funkce příslušnosti měla rozsah hodnot v rozmezí reálných čísel  $[0,0; 1,0]$ . Byly navrženy nové výpočtové operace a ukázalo se, že jsou v zásadě zobecněním klasické logiky.

Za posledních několik let, a to zejména v Japonsku, USA a Německu, bylo podle Fullér (1995, s. 141) úspěšně vyvinuto cca 1.000 obchodních a průmyslových fuzzy systémů. Počty průmyslových a komerčních aplikací se po celém světě v blízké budoucnosti významně zvýší. První aplikace fuzzy logiky je dílem Mamdaniho z University of London (UK), který v roce 1974 navrhl experimentální fuzzy ovládání pro parní stroj. V roce 1980, dánská společnost FL Smidth & Co A/S začala používat fuzzy teorii při kontrole pece. O tři roky později Fuji Electric Co, Ltd. (Japonsko) zavádí fuzzy ovládání chemické injektáže pro vodní čističku.

První fuzzy regulátor byl vystaven na druhém IFSA kongresu v roce 1987. Tento řadič pocházel z Omron Corp., japonské společnosti, která začala výzkum ve fuzzy logice v roce 1984 a od té doby požádala o více než 700 patentů. Také v roce 1987 zahájil provoz metro Sendai Subway Automatic Train Operations Controller, navržený týmem Hitachi v Sendai v Japonsku. Fuzzy logika v tomto metru umožňuje pohodlnější jízdu s hladkým brzděním a akcelerací. V roce 1989 Omron Corp. předvedl fuzzy stanici na obchodní výstavě v Harumi (Japonsko). Taková pracovní stanice je počítač, který je vybaven fuzzy inferenční deskou. Tato fuzzy inferenční deska se používá k ukládání a načítání fuzzy informací a k vyhotovení fuzzy závěrů.

Použití fuzzy teorie ve spotřebitelských výrobcích začalo v roce 1990 v Japonsku. Příkladem je „fuzzy pračka“, která automaticky „zhodnotí“ materiál, objem a nečistotu prádla a zvolí optimální mycí program a průtok vody. Další příklad fuzzy logiky lze nalézt v elektronické kontrole vstřikování paliva a v automatických systémech u tempomatů vozů, což vede ke komplexnější kontrole a efektivnějšímu a snadnějšímu používání až ke snížení spotřeby pohonných hmot. Fuzzy logika se také používá u vysavačů, videokamer, televizorů atd.

V roce 1993 Sony představil Sony PalmTop, který používá fuzzy logiku k rozpoznání znaků napsaných ručně (pomocí počítačového světelného pera Kanji). Jestliže bychom například napsali „253“, pak Sony PalmTop může rozlišit číslo „5“ od písmene „S“.

V dnešní době existuje mnoho výrobků založených na fuzzy logice. Jak již bylo naznačeno, fuzzy logika je obzvláště populární v Japonsku, kde byla zavedena do všech typů spotřebitelských výrobků s velkým počtem rozhodovacích kroků. V dnešní době se „Fuzzy“ v japonštině stalo něco jako pečeť kvality.

Tabulka 1.1 Průmyslové aplikace využívající fuzzy logiku (Kosko, 1993)

| Výrobek                   | Společnost                             | Role fuzzy logiky   |
|---------------------------|--|---|
| Klimatizace               | Hitachi, Matsushita, Mitsubishi, Sharp | Hlídá nedodržení/překročení teploty   |
| Kontrola brzd             | Nissan                                 | Ovládání brzdy v nebezpečných případech, v závislosti na rychlosti vozu   |
| Motor auta                | Nissan                                 | Řídí vstřikování paliva na základě nastavení škrticí klapky, obsahu kyslíku, teploty chladicí vody, množství paliva,... |
| Převodovka auta           | Honda, Nissan, Subaru                  | Zvolí převodový stupeň na základě zatížení motoru, stylu jízdy a stavu vozovky  |
| Kopírka                   | Canon                                  | Upravuje míru napětí vzhledem k hustotě obrázku, teploty a vlhkosti   |
| Tempomat                  | Isuzu Nissan, Mitsubishi               | Upravuje nastavení škrticí klapky pro nastavení rychlosti v závislosti na rychlosti vozu a zrychlení                    |
| Myčka nádobí              | Matsushita                             | Nastaví cyklus čištění, opláchnutí a mycí strategie na základě počtu nádobí, a síle znečištění.                         |
| Sušička                   | Matsushita                             | Strategii sušení nastaví podle druhu tkaniny a hmotnosti prádla   |
| Ovládání výtahu           | Fujitec, Mitsubishi, Electric, Toshiba | Snižuje čekací dobu   |
| Řízení výroby             | Omron                                  | Plány, úkoly a strategie montážní linky   |
| Diagnostický systém golfu | Maruman Golf                           | Vybere golfový klub na základě golfistovy postavy a švihů   |
| Péče o zdraví             | Omron                                  | Přes 500 fuzzy pravidel sleduje a vyhodnocuje zdraví a kondici zaměstnanců  |
| Zvlhčovače                | Casio                                  | Upravuje vlhkost  |
| Ovládání pece             | Mitsubishi Chemical                    | Míchá směsi cementu   |
| Mikrovlnná trouba         | Hitachi, Sanyo, Sharp, Toshiba         | Nastaví sílu a styl vaření  |
| Palmtop computer          | Sony                                   | Rozpoznání znaků napsaných ručně  |
| Papírenský průmysl        | Cellulose do Caima (Portugal)          | Výroba vlákniny   |

|                      |  |   |
|----------------------|--|---|
| Lednička             | Sharp  | Nastaví čas rozmrazování a chlazení vzhledem k používání.                                     |
| Varič rýže           | Matsushita, Sanyo  | Nastaví čas vaření vzhledem k množství páry, teplotě a objemu rýže.                           |
| Sprchový systém      | Matsushita (Panasonic)                                       | Potlačí prudké změny v teplotě vody.  |
| Fotoaparát           | Canon, Minolta   | Najde objekt v záběru, nastavuje automatické zaostřování                                      |
| Obchodování na burze | Yamaichi   | Spravuje portfolio japonských akcií   |
| Řízení metra         | LIFE Institute, Yokohama                                     | Řízení metra ve špičce  |
| Opékač topinek       | Sony   | Nastaví čas opékání a strategii pro každý typ chleba  |
| Vysavač              | Hitachi, Matsushita, Toshiba                                 | Nastaví sací výkon v závislosti na množství prachu a typu podlahy                             |
| Videokamera          | Matsushita (Panasonic)                                       | Mírní chvění rukou a nastavuje automatické zaostřování  |
| Videokamera          | Canon, Sanyo   | Nastavuje automatické zaostřování a osvětlení   |
| Pračka               | Daewoo, Goldstar, Hitachi, Matsushita, Samsung, Sanyo, Sharp | Nastavuje strategii praní založenou na snímaném znečištění, druhu tkaniny a hmotnosti prádla. |

Nejúspěšnější doménou je fuzzy ovládání různých fyzikálních či chemických charakteristik jako je teplota, elektrický proud, průtok kapaliny (plynu, pohyb strojů) apod. Dále mohou být fuzzy systémy použitím principů fuzzy množin a logiky aplikovány do jiných oblastí:

- fuzzy znalostní systémy jako jsou fuzzy expertní systémy, které mohou použít fuzzy IF-THEN pravidla
- fuzzy softwarové inženýrství, pracující s nepřesnostmi v rámci programů a dat
- fuzzy databáze, které ukládají a načítají fuzzy informace
- fuzzy rozpoznávání, které se zabývá fuzzy vizuálními nebo zvukovými signály
- aplikace v medicíně, ekonomice, managementu a problémy, které zahrnují fuzzy informací zpracování.

Tabulka 1.2 Počet článků s pojmem „FUZZY“ v názvu: (Bezděk, září 2010)

| Rok       | Scopus | SpringerLink |
|-----------|--------|--------------|
| 1960-1969 | 44     | 7            |
| 1970-1979 | 692    | 69           |
| 1980-1989 | 4135   | 234          |
| 1990-1999 | 24736  | 3577         |
| 2000-2009 | 83471  | 34775        |

Výčet odborných prací zabývajících se konkrétním využitím fuzzy logiky by obsahoval velký počet článků či materiálů (viz Tabulka 1.2).

- v práci (Bezděk, 2011a) je na sedmi příkladech ukázáno, jaké jsou výhody tzv. fuzzy uvažování, což je myšlenkový postup, který buď zcela, nebo jen částečně využívá k rozhodování fuzzy logiku.
  - volba obchodu k nakupování – kde se mi bude nejlépe nakupovat,
  - volba spropitného v restauraci – pro jaké spropitné se rozhodnout,
  - volba prémie pro zaměstnance – jak vysoké prémie dát svým zaměstnancům,
  - řízení semaforu na křižovatce – zefektivnění práce semaforů
  - model míry finančního rizika klienta, které závisí na jeho (jejím) ročním příjmu a celkovém čistém jmění. Cílem kontroly klienta pro daný model finančního rizika je pro daný pár vstupních proměnných najít odpovídající výstup – hodnotu míry rizika,
  - odhad prodejní ceny bytu – za jakou cenu dát nemovitost na trh,
  - odhad finanční výkonnosti firem (farmaceutický průmysl v Íránu) používá fuzzy logiku. Výsledky získané touto metodou jsou v souladu s očekáváním finančních expertů na akciovém trhu v Íránu.
- v práci (Bezděk a Molnár, 2011) je řešeno, jak může fuzzy logika pomoci při práci v databázích, konkrétně při hledání nejvhodnějšího auta ke koupi z databázového systému největšího autobazaru.
- podle (Dostál, 2008, s. 41) lze za pomoci fuzzy logiky řešit nejrůznější případové studie. Mezi již odzkoušenými projekty jsou uvedeny např. výběr banky klientem, výběr pojišťovny, spořitelny, kampaňky, fondu, realitní kanceláře, koupě nemovitosti, pozemku, podnájmu, auta, mobilu, mobilního operátora, satelitu, zaměstnání, zaměstnance atd.
- článek (Čemerková a Chobotová, 2006) popisuje jako možné aplikační oblasti fuzzy modelování:

- rozhodnutí o budoucí činnosti firmy,
  - rozhodnutí o nákupu strojů a zařízení,
  - konkurzní řízení,
  - hodnocení jakosti,
  - rozhodnutí o zahájení produkce,
  - personální stav – otázka počtu zaměstnanců.
- Existuje řada diplomových prací (Hrnčířová, 2007), (Kremláček, 2009), (Peřinka, 2009), (Pukaj, 2009) snažících se demonstrovat způsob a možnosti praktického využití fuzzy logiky v rámci řešení manažerských rozhodovacích úloh. Cíl užití spočívá především v podpoře a zkvalitnění strategických rozhodovacích procesů.
  - Teorie fuzzy logiky se nyní používá také v celé řadě vědních oborů. Začalo to v obecné teorii systémů a v regulační technice a dnes se fuzzy množiny používají, jak již bylo naznačeno v ekonomii (Shim, Kuo-Lung, Sushil, 2010), dále pak v lékařství (Kolařík, 2009), stavebnictví (Misák a Vymazal, 2007), metrologii, knihovnictví, finančnictví, dalších technických (Davidová, 2001) i humanitních oborech a řadě dalších (Dostál a Orgoník, 2009).

Úspěšné aplikace jsou v řízení a regulaci, aplikace v rozpoznávání obrazů, klasifikaci, rozhodování a v dalších oblastech. Hlavním zdrojem úspěchu je to, že fuzzy logika umožňuje zahrnout nepřesnost a poměrně jednoduchým způsobem pracovat s významy slov přirozeného jazyka, který patří mezi nejdůležitější součásti lidského života.



## 2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA DISERTAČNÍ PRÁCE

### 2.1 Fuzzy množina

Soubor všech objektů (prvků), které v konkrétní situaci můžeme vzít v úvahu, budeme nazývat univerzální množinou, tzv. univerzem, a budeme označovat  $U$ . Fuzzy podmnožina  $A$  univerza  $U$  (stručně fuzzy množina) je popsána tzv. funkcí příslušnosti:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U, \mu_A(x) \in \langle 0,1 \rangle\}$$

kde  $\mu_A(x)$  upřesňuje stupeň nebo do jaké míry každý prvek  $x$  z  $U$  patří do fuzzy množiny  $A$ .

Konečnou fuzzy množinu pak můžeme zapsat výčtem všech jejích prvků, přičemž každému prvku bude přiřazena příslušná hodnota funkce příslušnosti:

$$A = \left\{ \frac{\mu_A(x_1)}{x_1}, \dots, \frac{\mu_A(x_n)}{x_n} \right\}$$

Prvky s nulovou funkcí příslušnosti se ve fuzzy množinách většinou nevypisují. Klasická množina je speciálním případem fuzzy množiny, kde všechny hodnoty příslušnosti jsou 1.

Následuje výpis některých základních pojmů: (Jura, 2003, s. 25-27) a (Novák, 2000, s. 17-24):

Obor hodnot:  $Range(A) = \{\alpha \in \langle 0,1 \rangle : (\exists x \in U : \mu_A(x) = \alpha)\}$

Výška:  $h(A) = \sup Range(A)$

Nosič (anglicky support):  $Supp(A) = \{x \in U : \mu_A(x) > 0\}$

Jádro (anglicky core):  $core(A) = \{x \in U : \mu_A(x) = 1\}$

$\alpha$ -řez (anglicky  $\alpha$ -cut):  $R_A(\alpha) = \{x \in U : \mu_A(x) \geq \alpha\}$

ostrý  $\alpha$ -řez:  $S_A(\alpha) = \{x \in U : \mu_A(x) > \alpha\}$

$\alpha$ -hladina:  $A^\alpha = \{x \in U : \mu_A(x) = \alpha\}$

Skalární kardinalita:  $|A| = \sum_{x \in U} \mu_A(x)$

Je-li fuzzy množina výšky 1, nazývá se normální, v opačném případě se jí říká subnormální.

Fuzzy množina A je konvexní právě tehdy, když každé  $\alpha$ -řezy jsou konvexní. V takovém případě se každý  $\alpha$ -řez skládá pouze z jednoho segmentu. V opačném případě je nekonvexní. Jiný typ definice říká, že množina A se nazývá konvexní právě tehdy, jestliže pro každé dva prvky  $x, y \in U$  a pro každé  $\lambda \in \langle 0, 1 \rangle$  platí:

$$\mu_A(\lambda \cdot x + (1 - \lambda) \cdot y) \geq \min(\mu_A(x), \mu_A(y))$$

### 2.1.1 Příklady fuzzy množin

Nechť existuje šest kamarádů Karla – jmenují se Adam (který je 170 cm vysoký), Dan (165 cm), Filip (180 cm), Pepa (175 cm), Honza (170 cm) a Jirka (190 cm).

- Klasická podmnožina univerza U (všech lidí) představuje všechny kamarády Karla:  $B = \{\text{Adam, Dan, Filip, Pepa, Honza, Jirka}\}$ .
- Fuzzy množina A může navíc vyjadřovat i blízkost přátelství kamarádů ke Karlovi:  $A = \left\{ \frac{0,1}{\text{Adam}}, \frac{0,5}{\text{Dan}}, \frac{0,3}{\text{Filip}}, \frac{0,8}{\text{Pepa}}, \frac{0,2}{\text{Honza}}, \frac{1}{\text{Jirka}} \right\}$

- Klasická podmnožina univerza U, představuje všechny vysoké kamarády (musíme definovat, že vysoký člověk je pro nás nad 175 cm – „nevýhoda“ klasické množiny, Pepa má přesně 175 cm přesto do naší množiny vysokých kamarádů nepatří):

$$D = \{\text{Filip, Jirka}\}$$

- K definování fuzzy množiny vysokých kamarádů, určíme pravidlo, podle kterého přiřazujeme míru našeho přesvědčení, že daný chlapec je vysoký. Například: pod 160 cm je  $\mu_C(x) = 0$ , nad 180 je  $\mu_C(x) = 1$  a v intervalu (160, 180) je:

$$\mu_C(x) = \frac{x - 160}{180 - 160}$$

$$C = \left\{ \frac{0,5}{\text{Adam}}, \frac{0,25}{\text{Dan}}, \frac{1}{\text{Filip}}, \frac{0,75}{\text{Pepa}}, \frac{0,5}{\text{Honza}}, \frac{1}{\text{Jirka}} \right\}$$

- Výška fuzzy množiny je nejmenší horní hranice fuzzy množiny:

$$h(A) = h(C) = 1$$

- Nosič fuzzy množiny je ostrá množina, pro jejíž prvky platí, že jejich hodnoty funkce příslušnosti jsou rozdílné od nuly:

$$\text{Supp}(A) = \text{Supp}(C) = \{\text{Adam, Dan, Filip, Pepa, Honza, Jirka}\}$$

- Jádro fuzzy množiny je ostrá množina, pro jejíž prvky platí, že jejich hodnoty funkce příslušnosti jsou rovny jedné:

$$\text{Ker}(A) = \{\text{Jirka}\}$$

$$\text{Ker}(C) = \{\text{Filip, Jirka}\}$$

- $\alpha$ -řez je ostrá množina, pro jejíž prvky platí, že jejich hodnoty funkce příslušnosti jsou větší nebo rovny číslu  $\alpha$ .

$$R_A(0,3) = \{\text{Dan, Filip, Pepa, Jirka}\}$$

$$R_C(0,75) = \{\text{Filip, Pepa, Jirka}\}$$

- $\alpha$ -hladina je ostrá množina, pro jejíž prvky platí, že jejich hodnoty funkce příslušnosti jsou rovny  $\alpha$ .

$$A^{0,3} = \{\text{Filip}\} \quad C^{0,5} = \{\text{Adam, Honza}\}$$

- Skalární kardinalita fuzzy množiny je součet hodnot funkce příslušnosti pro všechny dané prvky dané množiny:

$$|A| = 0,1 + 0,5 + 0,3 + 0,8 + 0,2 + 1 = 2,9$$

$$|C| = 0,5 + 0,25 + 1 + 0,75 + 0,5 + 1 = 4$$

## 2.2 Základní operace s fuzzy množinami

Nechť  $A$  a  $B$  jsou dvě fuzzy množiny na univerzu  $U$ :  $A = \{(x, \mu_A(x))\}$  a  $B = \{(x, \mu_B(x))\}$ . Operace na fuzzy množinách  $A$  a  $B$  jsou (Jura, 2003, s. 28-31) a (Novák, 2000, s. 24-25) zavedeny prostřednictvím operací na funkcích příslušnosti.

- Rovnost: Fuzzy množiny  $A$  a  $B$  jsou rovny  $A=B$  právě tehdy, když pro každé  $x \in U$  platí, že  $\mu_A(x) = \mu_B(x)$ .
- Podmnožina: Fuzzy množina  $A$  je zahrnuta ve fuzzy množině  $B$ , značeno  $A \subseteq B$ , jestliže pro každé  $x \in U$ , platí, že  $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ . Potom je  $A$  podmnožinou  $B$ .
- Vlastní podmnožina: Fuzzy množinu  $A$  nazýváme vlastní podmnožinou fuzzy množiny  $B$ , značeno  $A \subset B$ , když  $A$  je podmnožinou  $B$  a  $A \neq B$ .
- Doplněk: Fuzzy množina  $A$  a  $\bar{A}$  jsou doplňky, jestliže:  $\mu_A(x) + \mu_{\bar{A}}(x) = 1$ .
- Průnik: Operace průnik množin  $A$  a  $B$  značeno  $A \cap B$  je definován pro  $x \in U$  následovně:  $\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x))$ .
- Sjednocení: Sjednocení množin  $A$  a  $B$ , značeno  $A \cup B$ , je definováno pro  $x \in U$  následovně:  $\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x))$ .
- $n$ -tá mocnina: Operaci  $n$ -tou mocninou fuzzy množiny  $A$ , kde  $n \in \mathbb{N}$ , rozumíme fuzzy množinu  $A^n$  definovanou vztahem: definujeme následovně:  $\mu_{A^n}(x) = (\mu_A(x))^n \quad \forall x \in U$ .

- Algebraický součet: Operace algebraického součtu množin A a B, značeno  $A+B$ , je definována následovně:

$$\mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x); \forall x \in U.$$

- Omezený součet: Operace omezeného součtu množin A a B, značeno  $A \oplus B$ , je definována následovně:

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \min\{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}; \forall x \in U.$$

- Omezená diference: Operace omezené diference množin A a B, značeno  $A \ominus B$ , je definována následovně:

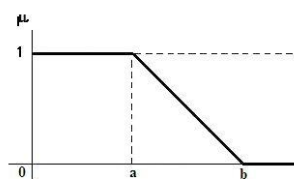
$$\mu_{A \ominus B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}; \forall x \in U.$$

## 2.3 Funkce příslušnosti

K vyjádření míry příslušnosti prvku do fuzzy množiny se používají tzv. funkce příslušnosti. K těm nejznámějším patří:

a) L-funkce:

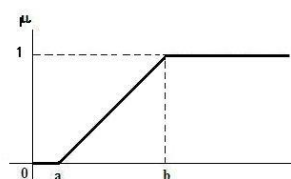
$$L(x, a, b) = \begin{cases} 1 & x < a \\ \frac{b-x}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases}$$



Obr. 2.1: L-funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)

b) Γ-funkce:

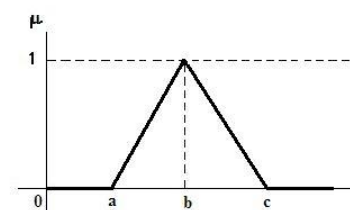
$$\Gamma(x, a, b) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & x > b \end{cases}$$



Obr. 2.2: Γ-funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)

c) Λ-funkce (trojúhelníková funkce):

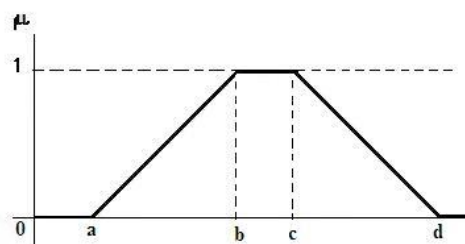
$$\Lambda(x, a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases}$$



Obr. 2.3: Λ-funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)

d)  $\Pi$ -funkce (trapezoidní funkce):

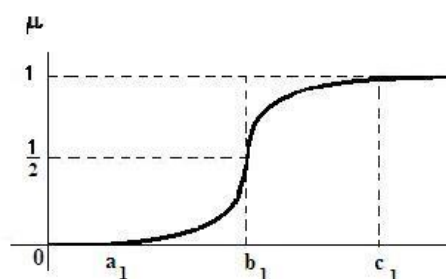
$$\Pi(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases}$$



Obr. 2.4:  $\Pi$  – Funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)

e)  $S^+$ -funkce :

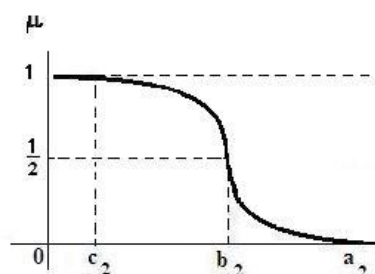
$$S^+(x, a_1, b_1, c_1) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \\ \frac{1}{2} \left( \frac{x-a_1}{b_1-a_1} \right)^2 & a_1 < x < b_1 \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{c_1-x}{c_1-b_1} \right)^2 & b_1 \leq x < c_1 \\ 1 & x \geq c_1 \end{cases}$$



Obr. 2.5:  $S^+$  – funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)

f)  $S^-$ -funkce :

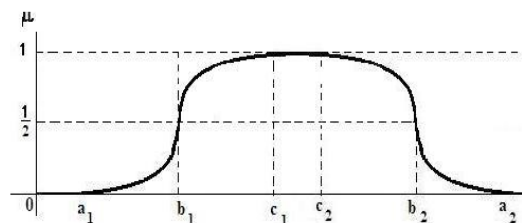
$$S^-(x, a_2, b_2, c_2) = \begin{cases} 1 & x \leq c_2 \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{x-c_2}{b_2-c_2} \right)^2 & c_2 < x < b_2 \\ \frac{1}{2} \left( \frac{a_2-x}{a_2-b_2} \right)^2 & b_2 \leq x < a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases}$$



Obr. 2.6:  $S^-$  – funkce příslušnosti (Bezděk, 2008)

g)  $\Pi$ -Funkce (založená na  $S^+$  a  $S^-$  funkci):

$$\Pi(x, a_1, b_1, c_1, c_2, b_2, a_2) = \begin{cases} 0 & x \leq a_1 \text{ nebo } x \geq a_2 \\ \frac{1}{2} \left( \frac{x-a_1}{b_1-a_1} \right)^2 & a_1 < x < b_1 \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{c_1-x}{c_1-b_1} \right)^2 & b_1 \leq x < c_1 \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{x-c_2}{b_2-c_2} \right)^2 & c_2 < x < b_2 \\ \frac{1}{2} \left( \frac{a_2-x}{a_2-b_2} \right)^2 & b_2 \leq x < a_2 \\ 1 & c_1 \leq x \leq c_2 \end{cases}$$



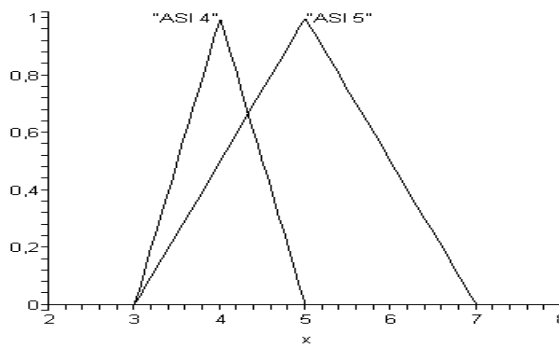
Obr. 2.7:  $\Pi$ -funkce příslušnosti ( $S^+$  a  $S^-$ ) (Bezděk, 2008)

## 2.4 Fuzzy čísla

Fuzzy čísla jsou vágně definované hodnoty, např. „asi 15“, „asi 23“. Při měření např. skládacím metrem lze zjistit, že měřená vzdálenost má velikost 8,6 metrů, ale nejsme v podstatě schopni přesného měření – vždy dosáhneme vágních hodnot. Pokud bychom totiž ještě použili přesnější měřidlo, zjistíme, že délka má velikost 8,57m, přitom přesná hodnota je 8,555m. Naše měření je vždy nepřesné i přes použití nejpřesnějšího typu měřidel, který máme k dispozici. Pokud měříme v metrech, automaticky nám vzniká nepřesnost v dm, cm, mm atd.

Fuzzy čísla jsou definována na univerzu reálných čísel jako konvexní a normální fuzzy množina jedním z následujících možných způsobů:

- po částech kvadratická fuzzy čísla jako  $\Pi$ -funkce (Obr. 2.7) kde ( $c_1=c_2$ )
- trojúhelníková fuzzy čísla jako  $\Lambda$ -funkce příslušnosti (Obr. 2.3). Využití trojúhelníkových fuzzy čísel je popsáno například v (Zopounidis a Pardalos a Baourakis, 2001, s. 35-51)
- trapezoidní fuzzy čísla jako  $\Pi$ -funkce příslušnosti (Obr. 2.4)



Obr. 2.8: Trojúhelníková fuzzy čísla – „Asi 4“ a „Asi 5“ (Bezděk, 2013)

### 2.4.1 Fuzzy aritmetika

Nechť A a B jsou dvě fuzzy čísla. Základní aritmetické operace s těmito fuzzy čísly jsou definovány následovně (Jura, 2003, s. 38-44):

- sčítání

$$\mu_{A+B}(y) = \sup_{x_1, x_2 | y = x_1 + x_2} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(x_2)) = \sup_{x_1 \in R} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(y - x_1))$$

- odčítání

$$\mu_{A-B}(y) = \sup_{x_1, x_2 | y = x_1 - x_2} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(x_2)) = \sup_{x_1 \in R} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(x_1 - y))$$

- součin

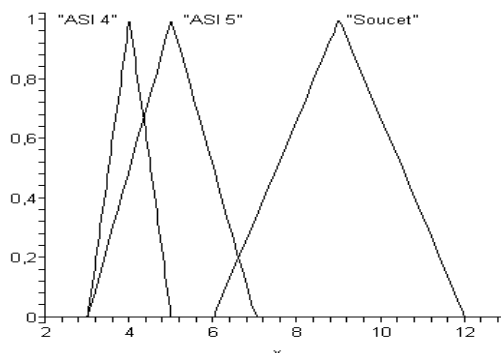
$$\mu_{A \cdot B}(y) = \sup_{x_1, x_2 | y = x_1 \cdot x_2} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(x_2)) = \sup_{x_1 \in R} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(y / x_1))$$

- podíl

$$\mu_{A/B}(y) = \sup_{x_1, x_2 | y = x_1 / x_2} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(x_2)) = \sup_{x_1 \in R} \min(\mu_A(x_1), \mu_B(x_1 / y))$$

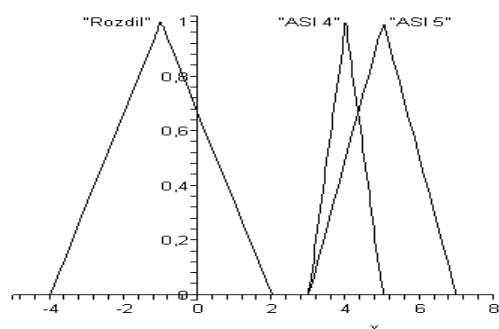
Druhým způsobem, který umožňuje definovat základní aritmetické operace s fuzzy čísly, je využití té skutečnosti, že  $\alpha$ -řez fuzzy čísla je uzavřený interval a na tyto intervaly lze potom využít „intervalovou“ aritmetiku. Nechť  $\langle a, b \rangle$  je  $\alpha$ -řez fuzzy čísla A a  $\langle c, d \rangle$  je  $\alpha$ -řez fuzzy čísla B a potom jsou základní aritmetické operace definovány následovně:

- sčítání:  $\langle a, b \rangle + \langle c, d \rangle = \langle a + c, b + d \rangle$



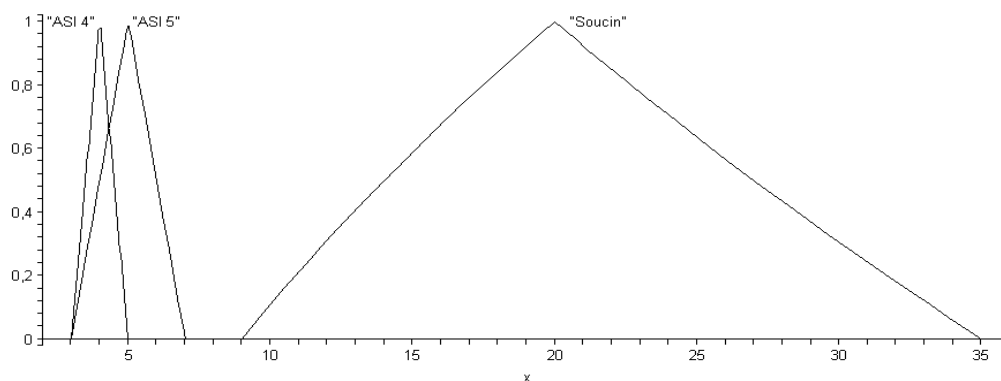
Obr. 2.9: Součet trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)

- odčítání:  $\langle a, b \rangle - \langle c, d \rangle = \langle a - c, b - d \rangle$



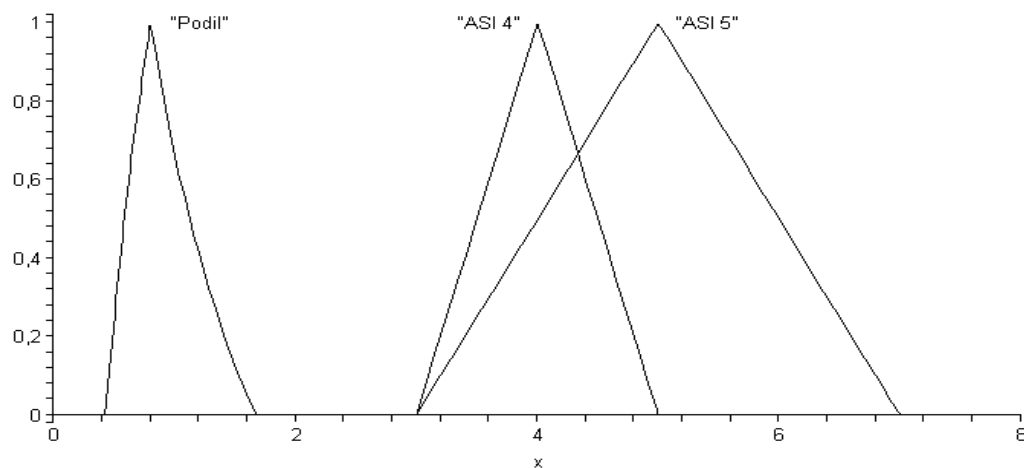
Obr. 2.10: Rozdíl trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)

- součin:  $\langle a, b \rangle \cdot \langle c, d \rangle = \langle \min(ac, ad, bc, bd), \max(ac, ad, bc, bd) \rangle$



Obr. 2.11: Součin trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)

- podíl:  $\langle a, b \rangle / \langle c, d \rangle = \left\langle \min\left(\frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d}\right), \max\left(\frac{a}{c}, \frac{a}{d}, \frac{b}{c}, \frac{b}{d}\right) \right\rangle$



Obr. 2.12: Podíl trojúhelníkových fuzzy čísel (Bezděk, 2013)



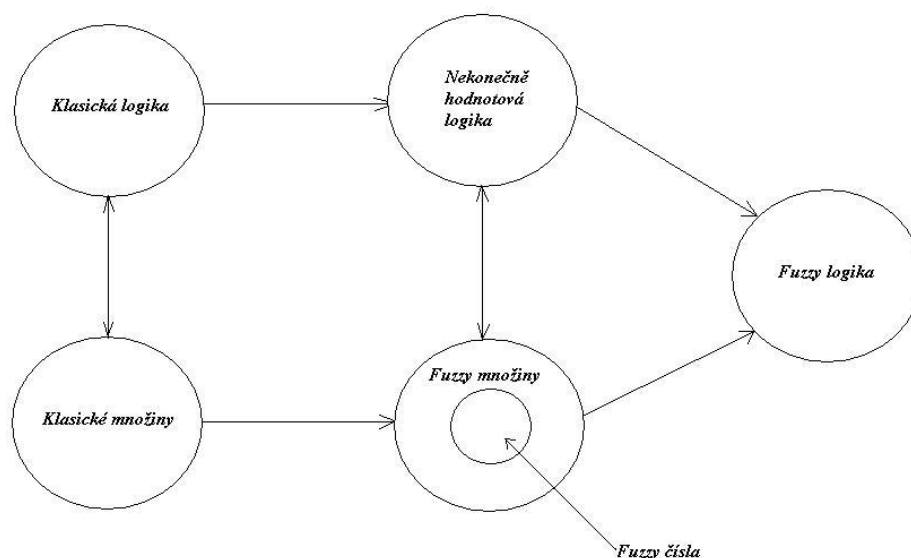
## 2.5 Fuzzy logika

Za zakladatele fuzzy logiky je označován Lotfi Zadeh (\*1921), který udělal značný pokrok při vytváření fuzzy logiky jako vědní disciplíny. Unikátní není systém poznatků nazvaný fuzzy logika, ale škála metod navrhovaných logických úvah o nedokonalé a vágní znalosti. Je to aktivní oblast výzkumu s mnohými tématy k diskusi a zamyšlení.

Fuzzy množiny jsou zobecněním klasických množin a nekonečně-hodnotová logika je zobecněním klasické logiky. Existuje isomorfismus mezi těmito dvěma oblastmi. Fuzzy logika používá jako hlavní nástroj teorii fuzzy množin. Základní matematické myšlenky pro fuzzy logiku se vyvíjejí z nekonečně-hodnotové logiky, takže existuje souvislost mezi oběma logikami. Fuzzy logika může být považována za rozšíření nekonečně-hodnotové logiky ve smyslu zahrnutí fuzzy množin a fuzzy vztahů do systému nekonečně-hodnotové logiky.

Fuzzy logika se zaměřuje na jazykové proměnné v přirozeném jazyce a klade si za cíl poskytnout základ pro přibližné úvahy s nepřesnými návrhy. To odráží i správnost a nejasnost přírodních jazyků v racionálním uvažování.

Vztahy mezi klasickými množinami, klasickou logikou, fuzzy množinami (zejména fuzzy čísla), nekonečně-hodnotovou logikou a fuzzy logikou jsou schématicky zobrazeny na následujícím obrázku.



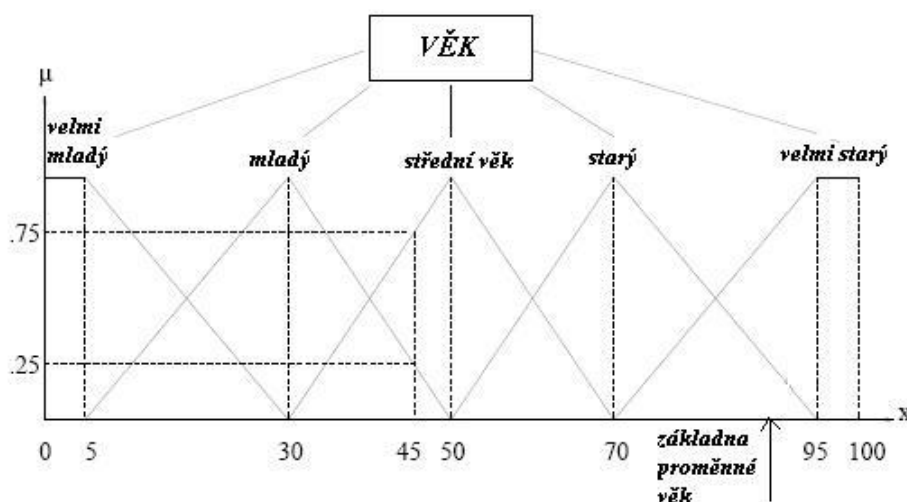
Obr. 2.13: Vztahy mezi fuzzy pojmy (Bojadziev a Bojadziev, 2007, s. 44)

### 2.5.1 Jazyková proměnná

Proměnné, jejichž hodnoty jsou slova nebo věty v přírodních nebo umělých jazycích, se nazývají jazykové proměnné. Pro ilustraci pojmu jazykové proměnné uvažujme slovo „věk“. V přirozeném jazyce je to souhrn zkušeností nesmírně velkého počtu jednotlivců, které nemůžou být charakterizovány

přesně. Použitím fuzzy množin (obvykle fuzzy čísel), můžeme popsat „věk“ přibližně. „Věk“ je jazyková proměnná, jejíž hodnoty jsou slova jako velmi mladý, mladý, středního věku, starý, velmi starý.

Výrazy nebo označení jazykové proměnné „věk“ jsou vyjádřeny fuzzy množinou na univerzální množině  $U = \mathbb{R}^+$ . Každý výraz je definován vhodnou funkcí příslušnosti. Dobrymi kandidáty na funkce příslušnosti jsou  $\Gamma$ -funkce, L-funkce či  $\Pi$ -funkce nebo jejich části.



Obr. 2.14: Jazyková proměnná věk (Bojadziev a Bojadziev, 2007, s. 45)

$$\mu_{\text{velmi mladý}}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 5 \\ \frac{30-x}{25} & 5 \leq x \leq 30 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{mladý}}(x) = \begin{cases} \frac{x-5}{25} & 5 \leq x \leq 30 \\ \frac{50-x}{20} & 30 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{střední věk}}(x) = \begin{cases} \frac{x-30}{20} & 30 \leq x \leq 50 \\ \frac{70-x}{20} & 50 \leq x \leq 70 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{starý}}(x) = \begin{cases} \frac{x-50}{20} & 50 \leq x \leq 70 \\ \frac{95-x}{25} & 70 \leq x \leq 95 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{velmi starý}}(x) = \begin{cases} \frac{x-70}{25} & 70 \leq x \leq 95 \\ 1 & 95 \leq x \end{cases}$$

Například osoba, jejíž stáří je 45 let, je mladá se stupněm příslušnosti 0,25 a má střední věk se stupněm příslušnosti 0,75. Stupně se naleznou, když nahradíme  $x$  číslem 45 ve funkcích příslušnosti pro mladý věk a střední věk.

Lingvistické proměnné hrají důležitou roli v aplikacích a zejména ve finančních a řídicích systémech. Například pravda, důvěra, stres, příjmy, profit, inflace, riziko, investice atd. mohou být chápány jako jazykové proměnné.

### 2.5.1.1 Jazykové modifikátory

Nechť  $x \in U$  a  $A$  je fuzzy množina s funkcí příslušnosti  $\mu_A(x)$ . Označíme  $m$  jako jazykový modifikátor, například: „velmi“, „ne“, „docela“ („více méně“). Potom výrazem  $m_A$  rozumíme modifikovanou fuzzy množinu modifikátorem  $m$  s funkcí příslušnosti  $\mu_{mA}(x)$ . Následující výběr pro  $\mu_{mA}(x)$  se často používá k popisu modifikátorů „velmi“, „ne“, „docela“:

$$\begin{aligned} \text{„ne“: } \quad \mu_{notA}(x) &= 1 - \mu_A(x) \\ \text{„velmi“: } \quad \mu_{velmi A}(x) &= [\mu_A(x)]^2 \\ \text{„docela“: } \quad \mu_{docela A}(x) &= [\mu_A(x)]^{\frac{1}{2}} \end{aligned}$$

### 2.5.2 Fuzzy implikace

Zatímco klasická logika připouští pravdivostní hodnoty pouze 1 nebo 0, pravda nebo lež, tak fuzzy logika připouští jakékoliv pravdivostní hodnoty v intervalu (0,1). Dochází tak k rozšíření možností klasické logiky. Zatímco pojem implikace má v klasické logice podobu (Tab. 2.1):

Tabulka 2.1 Implikace – klasická logika (Bezděk, 2013)

| X | Y | X=>Y |
|---|---|------|
| 1 | 1 | 1    |
| 1 | 0 | 0    |
| 0 | 1 | 1    |
| 0 | 0 | 1    |

Ve fuzzy logice se tak nabízí velké množství podob implikací (tzv. fuzzy implikací). Ty nejznámější jsou v (Tabulka 2.2).

Tabulka 2.2 Fuzzy implikace (Fullér, 1995, s. 62)

| Jméno                     | $X \Rightarrow Y$                     |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Zadeh                     | $\max\{1-x, \min(x,y)\}$              |
| Lukasiewicz               | $\min\{1, 1-x+y\}$                    |
| Mamdani                   | $\min\{xy\}$                          |
| Larsen                    | $xy$                                  |
| Standart Strict           | jestliže $x \leq y$ pak 1 jinak 0     |
| Gödel                     | jestliže $x \leq y$ pak 1 jinak $y$   |
| Gaines                    | jestliže $x \leq y$ pak 1 jinak $y/x$ |
| Kleene-Dienes             | $\max\{1-x,y\}$                       |
| Kleene-Dienes-Lukasiewicz | $1-x+xy$                              |
| Yager                     | $y^x$                                 |

## 2.6 Fuzzy systémy

Tvorba systému s fuzzy logikou obsahuje tři základní kroky:

fuzzifikaci  $\rightarrow$  fuzzy inferenci  $\rightarrow$  defuzzifikaci.

První krok znamená převedení reálných proměnných na jazykové proměnné. Definování jazykových proměnných vychází ze základních lingvistických proměnných, např. u proměnné riziko lze zvolit následující atributy: žádné, velmi nízké, nízké, střední, vysoké, velmi vysoké. Obvykle se používá tři až sedmi atributů základní proměnné. Stupeň členství atributů proměnné v množině je vyjadřován matematickou funkcí – funkcí příslušnosti (kapitola 0).

Druhý krok definuje chování systému pomocí pravidel typu <KDYŽ>, <POTOM> na jazykové úrovni. V těchto algoritmech se objevují podmínkové věty, vyhodnocující stav příslušné proměnné. Fuzzy logika používá odlišných postupů při vyhodnocování logických operátorů <A><NEBO><POTOM>, které se vyskytují v pravidlech vyjadřovacích podmínkovými větami <KDYŽ><POTOM>. Výsledkem fuzzy inference je jazyková proměnná. V případě analýzy rizika mohou mít atributy hodnotu např.: velmi nízké, nízké, střední, vysoké, velmi vysoké atd., což může vést k výstupům jako investici provést nebo investici neprovést.

Třetí krok převádí výsledek předchozí operace fuzzy inference na reálné hodnoty. Reálnou akcí může být stanovení výše rizika. Cílem defuzzifikace je převedení fuzzy hodnoty výstupní proměnné tak, aby slovně co nejlépe reprezentovala výsledek fuzzy výpočtu. Při postupném zadávání dat funguje systém s fuzzy logikou jako automat. Na vstupu může být mnoho proměnných.

Základní předpoklady pro vytvoření fuzzy (Fullér, 1995, s. 144-145) systému jsou:

- Zjistit, zda fuzzy systém je tou pravou volbou pro problém. Pokud jsou znalosti o chování systému popsány v přibližné podobě nebo pomocí heuristických pravidel, pak fuzzy logika je vhodná. Fuzzy logika může být také užitečná v pochopení a zjednodušení zpracování, pokud chování systému vyžaduje složitý matematický model.
- Identifikovat vstupy a výstupy a jejich rozsahy. Rozsah snímače měření typicky odpovídá rozsahu vstupních proměnných a rozsah kontrolních opatření poskytuje škálu výstupních proměnných.
- Definovat funkci příslušnosti pro každý vstupní a výstupní parametr. Počet nutných funkcí příslušnosti je na zvážení a závisí na chování systému.
- Vytvořit pravidla. Je třeba určit, kolik pravidel je nezbytných.
- Ověřit, zda pravidla pro vstup dávají výstup v daném rozsahu, a dále ověřit, zda je tento výstup správně a také zda je správně podle pravidel pro daný soubor vstupů.

Podrobněji k jednotlivým základním krokům tvorby fuzzy systému:

### 2.6.1 Fuzzifikace

Převod vstupních dat zatížených neurčitostí na fuzzy množiny. Pokrytí univerza nosiči jednotlivých fuzzy množin musí být takové, aby jejich sjednocení nejen pokrylo celé univerzum beze zbytku, ale aby ani jeden bod neměl stupeň příslušnosti 0. To znamená, že pro žádný prvek univerza není funkce příslušnosti menší než jisté  $\varepsilon$ , tedy že funkce příslušnosti se protínají v úrovních  $\geq \varepsilon$ . Tomu se říká  $\varepsilon$  pokrytí. Tato vlastnost zaručuje, že vždy existuje dominantní pravidlo a v extrémním případě jsou aktivována dvě pravidla pro stejnou ostrou hodnotu se stupněm příslušnosti  $\mu = \varepsilon$ . Zpravidla se doporučuje  $\varepsilon$  volit alespoň 0,5.

Základní otázkou je, kolik volit fuzzy množin. Jejich počet se zpravidla volí jako liché číslo 3, 5, 7 nebo 9, zcela výjimečně více než devět. Proč zrovna tato čísla je vysvětleno tím, že informace o procesu, pokud navrhujeme fuzzy model, získáváme od lidské obsluhy ve verbální formě. Člověk pozorující údaje přístrojů či přímo kvalitu procesu pomocí svých smyslů dokáže rozlišit jenom omezený počet úrovní, který je u každého smyslu ještě trochu jiný. Uvedená volba vychází z klasické studie amerického psychologa G.A. Millera

(Miller 1956 cit. podle Vysoký, 1996, s. 54), který zkoumal na souboru většího množství osob, kolik úrovní je člověk kterým smyslem schopen rozlišit.

*Tabulka 2.3 Počet rozeznatelných úrovní (Vysoký 1996, s. 55)*

| Stimulace           | Proměnná   | Aktivní smysl | Počet |
|---------------------|------------|---------------|-------|
| Zvuk                | Výška      | Sluch         | 6     |
| Zvuk                | Hlasitost  | Sluch         | 5     |
| Slanost             | Konc. soli | Chuť          | 4     |
| Bod                 | Poloha     | Zrak          | 10-15 |
| Čtverec             | Obsah      | Zrak          | 5     |
| Světlo              | Barva      | Zrak          | 9     |
| Světlo              | Jas        | Zrak          | 5     |
| Vibrace             | Intensita  | Hmat          | 4     |
| Vibrace             | Trvání     | Hmat          | 5     |
| Vibrace             | Lokace     | Hmat          | 7     |
| Čára                | Délka      | Zrak          | 6-8   |
| Směr                | Úhel       | Zrak          | 7-10  |
| Oblouk              | křivost    | Zrak          | 2-5   |
| Střední hodnota     |            |               | 6,5   |
| Směrodatná odchylka |            |               | 1,5   |

Na základě střední hodnoty a odchylky stanovené z velkého počtu měření je zřejmé, že rozumný počet úrovní, které je člověk schopen rozlišit, je  $7 \pm 2$ , tedy maximálně devět úrovní, pokud jde přímo o vlastnosti jednotlivých smyslů a příslušných smyslových analyzátorů. Pokud pracujeme s abstraktnějšími veličinami, jsme schopni rozlišit ještě méně úrovní.

Máme-li rozhodnuto o počtu fuzzy množin, zbývá otázka, jaký tvar funkce příslušnosti volit. Z mnoha existujících typů funkcí příslušnosti (viz kap. 0) jsou z důvodu snadného funkčního zápisu i rychlejšího závěrečného odvozování nejvíce používané lineární funkce: L-funkce,  $\Gamma$ -funkce a  $\Lambda$ -funkce.

## 2.6.2 Fuzzy inference

Fuzzy podmíněná pravidla jsou využívána prakticky ve všech oblastech rozhodování a rozpoznávání. Fuzzy výrok typu IF-THEN se nazývá fuzzy implikace (podmíněné pravidlo) a je symbolicky vyjádřen takto:

IF (*fuzzy výrok*) THEN (*fuzzy výrok*),

kde:

- fuzzy výrok je buď (jednoduchý nebo složený)
- fuzzy výrok před THEN se nazývá antecedent (předpoklad),
- fuzzy výrok za THEN se nazývá konsekvent (závěr).

Uvedeme nejznámější inferenční mechanismy ve fuzzy logice. Pro jednoduchost budeme předpokládat, že máme dvě fuzzy pravidla tvaru:

|                  |    |                     |   |                     |      |                     |
|------------------|----|---------------------|---|---------------------|------|---------------------|
| R <sub>1</sub> : | IF | x je A <sub>1</sub> | a | y je B <sub>1</sub> | THEN | z je C <sub>1</sub> |
| R <sub>2</sub> : | IF | x je A <sub>2</sub> | a | y je B <sub>2</sub> | THEN | z je C <sub>2</sub> |
|                  |    |                     |   |                     |      |                     |
| skutečnost       |    | x je $\bar{x}_0$    | a | y je $\bar{y}_0$    |      |                     |
| důsledek         |    |                     |   |                     |      | z je C              |

### *Mamdaniho inferenční mechanismus*

Mamdaniho inferenční algoritmus, někdy též uváděn jako Mamdaniho-Assilianův inferenční algoritmus, patří k nejznámějším a nejpoužívanějším inferenčním algoritmům vůbec (Mamdani, 1999 cit. podle Fullér, 1995, s. 99).

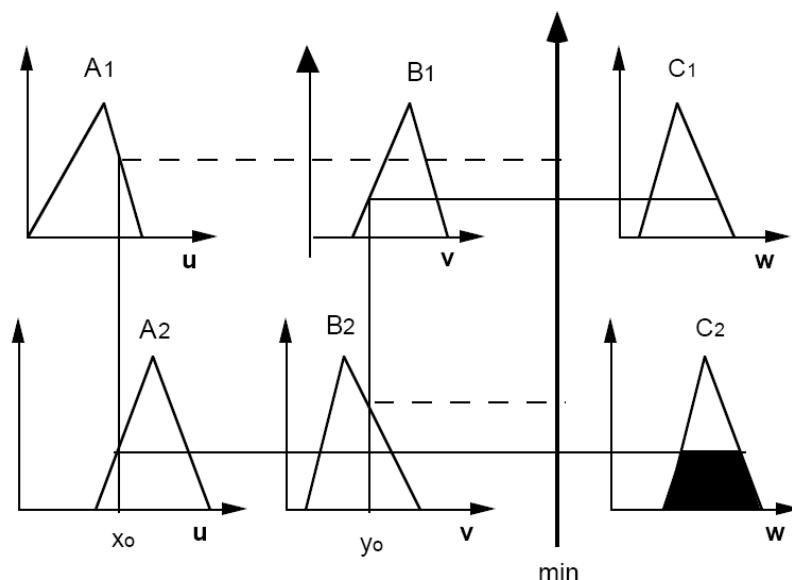
Tento algoritmus je hojně používán jak ve fuzzy regulátorech (v tomto případě jsou pozorování zpravidla modelována pomocí m-tic reálných čísel), tak pro potřeby vícekritériálního hodnocení (potom jsou pozorování modelována m-ticí fuzzy čísel).

- Fuzzy implikace je tvořena Mamdaniho operací minima a spojení výroků „ale také“ je interpretováno jako logický součet a definováno pomocí operace max.
- Síla pravidel, označených  $\alpha_i$ ,  $i=1,2$ , je počítána:
 
$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$
- Jednotlivá výsledná pravidla jsou získána podle:
 
$$C'_1(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w))$$

$$C'_2(w) = (\alpha_2 \wedge C_2(w))$$
- Pak celkový výsledný systém je počítán logickým součtem jednotlivých dílčích pravidel:

$$C(w) = C_1(w) \vee C_2(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(w)).$$



Obr. 2.15: Metoda usuzování podle Mamdaniho (Fullér, 1995, s. 100)

### Larsenův inferenční mechanismus

Tento algoritmus vychází z Mamdaniho inferenčního algoritmu (Larsen, 1980 cit. podle Fullér, 1995, s. 104). Analogicky jako u Mamdaniho inferenčního algoritmu jej lze využít jak pro potřeby fuzzy regulátorů, tak pro vícekritériální hodnocení.

- Fuzzy implikace je tvořena Larsenovým operátorem a spojení výroků „ale také“ je interpretováno jako logický součet a definováno pomocí operace max.
- Síla pravidel, označených  $\alpha_i$ ,  $i=1,2$ , je počítána:

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0)$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

- Funkce příslušnosti odvozená z důsledku C je dána bodově podle:

$$C(w) = (\alpha_1 C_1(w)) \vee (\alpha_2 C_2(w)),$$

- Pokud máme n pravidel, pak výsledek je počítán z:

$$C(w) = \bigcup_{i=1}^n (\alpha_i C_i(w))$$



### Takagi-Sugenův inferenční algoritmus

Takagi-Sugenův inferenční algoritmus vznikl v roce 1985 (Sugeno a Takagi, 1985 cit. podle Fullér, 1995 s. 102). Pravá strana báze pravidel je reprezentována pomocí lineárních funkcí  $f_i(x_1, \dots, x_m)$ ,  $i = 1, \dots, n$ , které nazýváme regulační funkce. Tento inferenční algoritmus se vzhledem ke svým vlastnostem opět používá ve fuzzy regulátorech.

Je tedy využívána následující struktura:

R1: IF x je  $A_1$  a y je  $B_1$  THEN  $z_1 = a_1x + b_1y$

ale také

R2: IF x je  $A_2$  a y je  $B_2$  THEN  $z_2 = a_2x + b_2y$

skutečnost x je  $\bar{x}_0$  a y je  $\bar{y}_0$

---

důsledek

$z_0$

- Síla pravidel, označených  $\alpha_i$ ,  $i=1,2$ , počítána

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0),$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),$$

- jednotlivá výsledná pravidla jsou odvozena ze vztahu:

$$z_1^* = a_1x_0 + b_1y_0$$

$$z_2^* = a_2x_0 + b_2y_0,$$

- a celkový výsledek vyjádřený jako:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1^* + \alpha_2 z_2^*}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

- pokud máme n pravidel pak výsledek je počítán z:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i^*}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

Příklad Takagi-Sugeno rozhodovací metody dle (Fullér, 1995, s. 103):

R<sub>1</sub>: IF x je VELKÉ a y je MALÉ THEN  $z_1 = x + y$

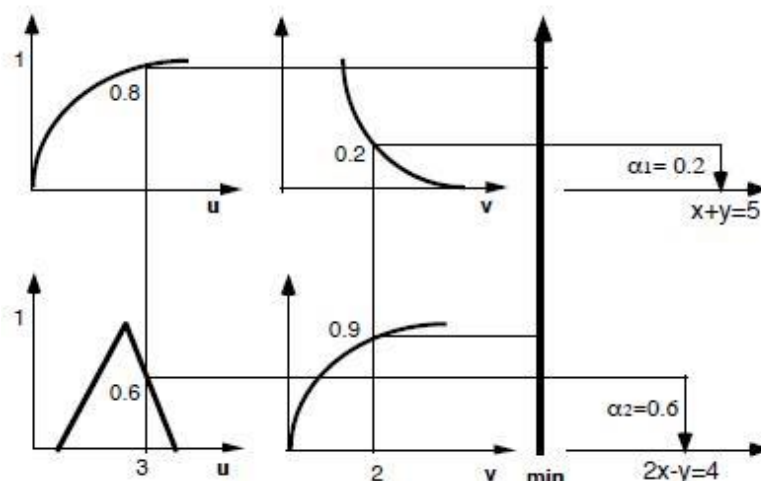
ale také

R<sub>2</sub>: IF x je STŘEDNÍ a y je VELKÉ THEN z<sub>2</sub>=2x-y  
 skutečnost x je 3 a y je 2

---

důsledek

Z<sub>0</sub>



Obr. 2.16: Metoda usuzování podle Takagi-Sugeno (Fuller, 1995, s. 104)

Z obrázku je patrné:

$$\mu_{VELKY}(x_0) = \mu_{VELKY}(3) = 0,8 \quad \mu_{MALY}(x_0) = \mu_{MALY}(3) = 0,2$$

síla prvního pravidla je:

$$\alpha_1 = \min\{\mu_{VELKY}(x_0), \mu_{MALY}(x_0)\} = \min\{0,8; 0,2\} = 0,2$$

a díky:

$$\mu_{STREDNI}(x_0) = \mu_{STREDNI}(3) = 0,6 \quad \mu_{VELKY}(y_0) = \mu_{VELKY}(2) = 0,9$$

následuje síla druhého pravidla:

$$\alpha_2 = \min\{\mu_{STREDNI}(x_0), \mu_{VELKY}(x_0)\} = \min\{0,6; 0,9\} = 0,6$$

jednotlivá výsledná pravidla jsou počítána jako:

$$z_1^* = x_0 + y_0 = 3 + 2 = 5 \quad z_2^* = 2x_0 - y_0 = 2 \times 3 - 2 = 4$$

Výsledek:

$$z_0 = \frac{5 \times 0,2 + 4 \times 0,6}{0,2 + 0,6} = 4,25$$

### *Inferenční mechanismus Tsukamoto*

Všechny jazykové výrazy (Fullér, 1995, s. 100) mají monotónní funkci příslušnosti.

- Síla pravidel, označených  $\alpha_i$ ,  $i=1,2$ , jsou počítána

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0),$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),$$

- V tomto způsobu uvažování jsou jednotlivé ostré výsledky  $z_1$  a  $z_2$  počítány z rovnic:

$$\alpha_1 = C_1(z_1), \quad \alpha_2 = C_2(z_2)$$

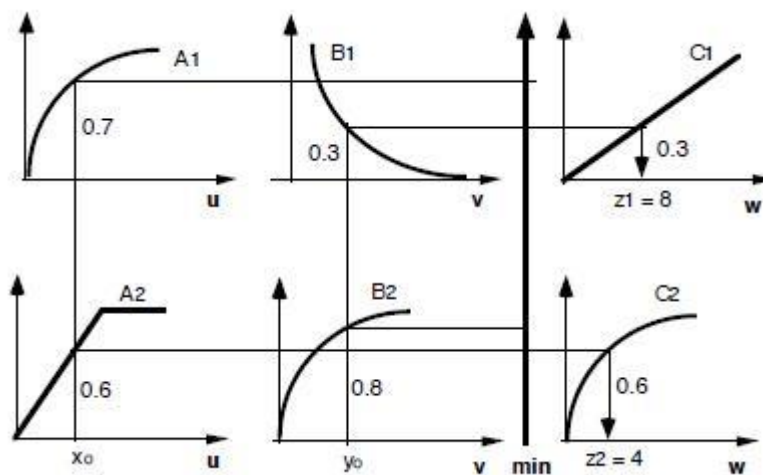
a celkový výsledek je vyjádřen jako:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

- pokud máme  $n$  pravidel pak výsledek je počítán z:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}$$

kde  $\alpha_i$  je síla pravidla a  $z_i$  je ostrý výsledek z  $i$ -tého pravidla,  $i=1, \dots, n$



*Obr. 2.17: Metoda usuzování podle Tsukamoto (Fullér, 1995, s. 101)*

Tsukamoto inferenční mechanismus na konkrétním příkladě (Fullér, 1995, s. 101):

R<sub>1</sub>: IF x je A<sub>1</sub> a y je B<sub>1</sub> THEN z je C<sub>1</sub>

ale také

R<sub>2</sub>: IF x je A<sub>2</sub> a y je B<sub>2</sub> THEN z je C<sub>2</sub>

skutečnost x je  $\bar{x}_0$  a y je  $\bar{y}_0$

---

důsledek

z je C

Z obrázku je patrné:

$$A_1(x_0) = 0,7 \quad B_1(y_0) = 0,3$$

síla prvního pravidla tedy je:

$$\alpha_1 = \min \{A_1(x_0), B_1(y_0)\} = \min \{0,7 ; 0,3\} = 0,3$$

$$A_2(x_0) = 0,6 \quad B_2(y_0) = 0,8$$

následuje síla druhého pravidla:

$$\alpha_2 = \min \{A_2(x_0), B_2(y_0)\} = \min \{0,6 ; 0,8\} = 0,6$$

Jednotlivé výstupy pravidel  $z_1 = 8$  ;  $z_2 = 4$  jsou odvozeny z rovnic:

$$C_1(z_1) = 0,3 ; C_2(z_2) = 0,6$$

Výsledek:

$$z_0 = \frac{8 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,6}{0,3 + 0,6} = 5,33$$

### 2.6.3 Defuzzifikace

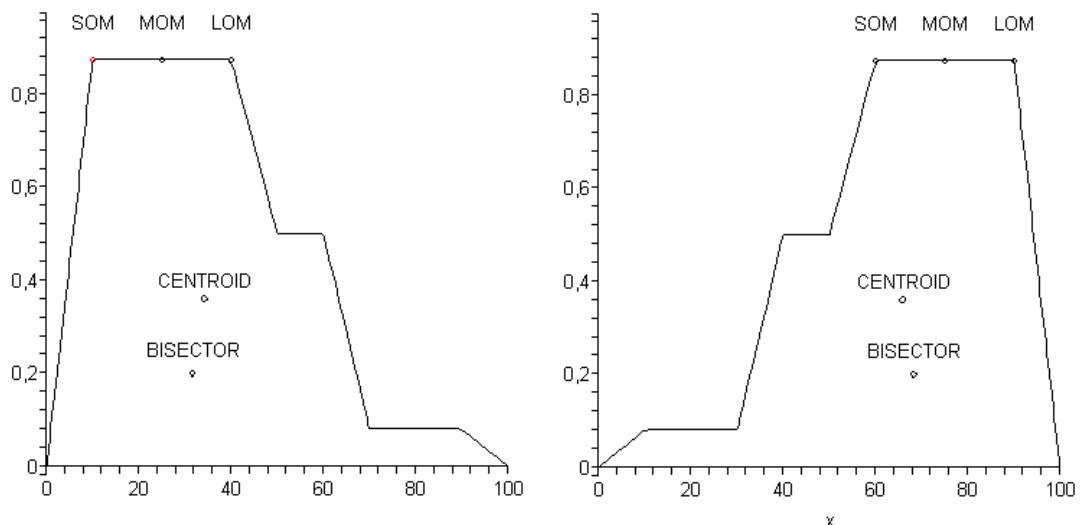
Defuzzifikací rozumíme převod výsledku předchozí operace fuzzy inference na reálné hodnoty. Cílem je převedení fuzzy hodnoty výstupní proměnné tak, aby slovně co nejlépe reprezentovala výsledek fuzzy výpočtu. Defuzzifikačních metod existuje velké množství (Leekwick a Kerre, 1999), mezi nejpoužívanější patří:

- Metoda těžiště CENTROID (COA – center of area) – patří mezi nejčastěji používané metody. Defuzzifikované hodnotě odpovídá hodnota souřadnice těžiště obrazce, vytvořeného výstupní fuzzy množinou. Často se tato metoda používá u fuzzy regulátoru, který zajišťuje její robustnost tím, že bere v úvahu kromě dominantního

pravidla také ostatní aktivní pravidla. Nevýhodou jsou pouze větší početní nároky na určení výsledku.

- Metoda nejmenšího maxima (SOM – smallest of maxim) – jako defuzzifikovaná hodnota se bere nejmenší hodnota, při které výstupní funkce příslušnosti dosahuje svého maxima.
- Metoda středu maxima (MOM – middle of maxima) – defuzzifikovaná hodnota se bere jako střed největšího maxima výstupní funkce příslušnosti.
- Metoda největšího maxima (LOM – largest of maxim) – defuzzifikovaná hodnota se bere jako největší hodnota, v níž má výstupní funkce příslušnosti své maximum.
- Metoda bisector – defuzzifikovanou hodnotou je poloha osy plochy pod křivkou, která rozděluje danou plochu na dvě plochy o stejném plošném obsahu.
- Metoda výšek – metoda výpočtově velmi jednoduchá a tím i rychlá. Tato metoda se vyhýbá výpočtu sjednocení tím, že bere v úvahu výšky jednotlivých uříznutých fuzzy množin (pokud má oříznutá fuzzy množina ploché maximum, bere se v úvahu střed tohoto maxima  $y_{mk}$ ). Každé této hodnotě odpovídá  $\mu_k(y_{mk})$ , kde  $k=1,2,\dots,n$  jsou jednotlivé výstupní fuzzy množiny. Výslednou defuzzifikovanou hodnotu počítáme jako střední hodnotu těchto výšek.

Výše uvedené defuzzifikační metody lze použít pro fuzzy množinu s libovolným tvarem funkce příslušnosti.



Obr. 2.18: Možné hodnoty defuzzifikace (Bezděk 2008)

## 2.7 Některé problémy a omezení fuzzy systémů

Podle (Fullér, 1995, s. 144) je potřeba si uvědomit některé problémy a omezení fuzzy systémů:

- Stabilita – hlavním problémem pro fuzzy řízení. Neexistuje žádná záruka, že obecný fuzzy systém nebude chaotický a zůstane stabilní, i když tato možnost se zmenšuje s nabývajícím zkušenostmi.
- Schopnost učení. Fuzzy systémy postrádají schopnost učení a nemají paměť. To je důvod, proč hybridní systémy, zejména neuro-fuzzy systémy, jsou stále více populární u některých aplikací.
- Stanovení nebo „vyladění“ dobré funkce příslušnosti a fuzzy pravidel není vždy snadné. Dokonce i po rozsáhlém testování je obtížné říci, kolik funkcí příslušnosti je opravdu potřebných. Otázky: „Proč konkrétní fuzzy expertní systém potřebuje tolik pravidel?“, nebo „Kdy může vývojář ukončit přidávání dalších pravidel?“ není snadné zodpovědět.
- Existuje obecné nepochopení pojmu "fuzzy" v tom smyslu, že je nepřesný nebo nedokonalý. Mnozí odborníci si myslí, že fuzzy logika představuje nějaké kouzlo bez pevného matematického základu.
- Verifikace a validace fuzzy expertního systému obecně vyžaduje rozsáhlé testování s hardware ve smyčce. Takový „luxus“ nemusí být přijatelný pro všechny vývojáře.

## 2.8 Vývojové nástroje pro fuzzy logiku

### 2.8.1 Nekomerční nástroje

- FuzzyCOPE: Softwarové prostředí pro platformu Windows, určené pro výzkumníky a vyučující. Slouží k tvorbě a validaci struktur k vytváření inteligentních systémů. Je zde možné pracovat s grafickým uživatelským rozhraním.
- Fuzzy Logic Inferencing Engine (FLIE): obsahuje jednoduchou inferenci. Je dobrý pro výuku, ale je kompatibilní pouze s platformou Macintosh.
- EFCLASS: Tento program slouží k vytváření, testování a vytrénování neuro-fuzzy systémů.

## 2.8.2 Komerční nástroje

- Fuzzy Logic Development Environment for Embedded Systems (FLDE): běží pod platformou Windows.
- Fuzzy Logic Inferencing Toolkit (FLINT): nástroj pro vývoj fuzzy expertních systémů a systémů pro podporu rozhodování. Je distribuován pro platformu MS Win, DOS a Mac.
- Fuzzy Logic Toolbox for MATLAB: nabízí nástroje pro vytváření systémů na bázi fuzzy logiky. Je poskytován pro platformu MS Windows, Unix, Mac. Je ovšem požadované samotné prostředí MATLAB pro práci s toolboxem a doporučené dobré obeznámení s MATLABEM.
- FuzzyTECH: tento program využívá spojení technologií fuzzy logiky a neuronových sítí. Prostředí je provedené zcela graficky a založeno na normě ISO 9000 a IEC 1131-7 fuzzy logic standarts. Jeho speciální verze je zaměřena na finanční a komerční aplikace.

### 3 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Realizace hlavního cíle disertační práce předpokládá naplnění dílčích podpůrných cílů disertační práce.

#### Hlavní cíl

- *Na základě nejnovějších poznatků domácí a světové literatury aplikovat principy fuzzy logiky při řešení konkrétních problémů ekonomiky a managementu.*

#### Dílčí podpůrné cíle

- Provést rešerši poznatků domácí a světové odborné literatury týkající se fuzzy logiky.
- Získat terénním výzkumem informace o využívání principů fuzzy logiky při řešení problémů ekonomiky a managementu.
- Navrhnout konkrétní řešení některého z problémů formou případové studie.



## 4 HYPOTÉZY DISERTAČNÍ PRÁCE

Při stanovení hypotéz disertační práce jsou zohledněny hlavní teoretická východiska disertační práce (Kap. 2). Spolu s hlavním a vedlejším cílem disertační práce (Kap. 3) je možné stanovit následující vědecké hypotézy:

### **H1: Fuzzy logika je známý pojem v České republice.**

V České republice se již vyskytují produkty využívající fuzzy logiku, otázkou však je, nakolik se tento pojem dostal do podvědomí. Na podporu této vědecké hypotézy bude otestována statistická hypotéza, kde bude předpokládána znalost fuzzy logiky z 50 procent respondentů. V případě vyvrácení hypotézy bude pro lepší představu zkonstruován intervalový odhad poměru kladných odpovědí. K ověření této statistické hypotézy budou použity odpovědi z dotazníkových šetření.

### **H2: Fuzzy logiku lze využít k řešení problémů ekonomiky a managementu.**

Na základě studia dostupné české a světové literatury, která se věnují fuzzy logice, se dá předpokládat, že fuzzy logika je uplatnitelná i při řešení problémů, a to i problémů ekonomiky a managementu. Na podporu této vědecké hypotézy budou popsány některé aplikace fuzzy logiky z literatury a budou navrženy některé nové možné aplikace, kde se fuzzy logika dá uplatnit.

### **H3: Řešení problémů ekonomiky a managementu pomocí fuzzy logiky je přínosné.**

Na podporu této vědecké hypotézy bude zkoumáno, zda uplatnění fuzzy logiky je přínosné či nikoliv. Na základě studia dostupné literatury se dá předpokládat, že uplatnění fuzzy logiky je výhodné. U všech aplikací fuzzy logiky z literatury tak bude hodnoceno, zda přináší výhody. A všechny nové aplikace fuzzy logiky budou porovnány s klasickými, doposud používanými metodami.

#### **H4: Problémy v ekonomii a managementu jsou v ČR řešeny pomocí fuzzy logiky.**

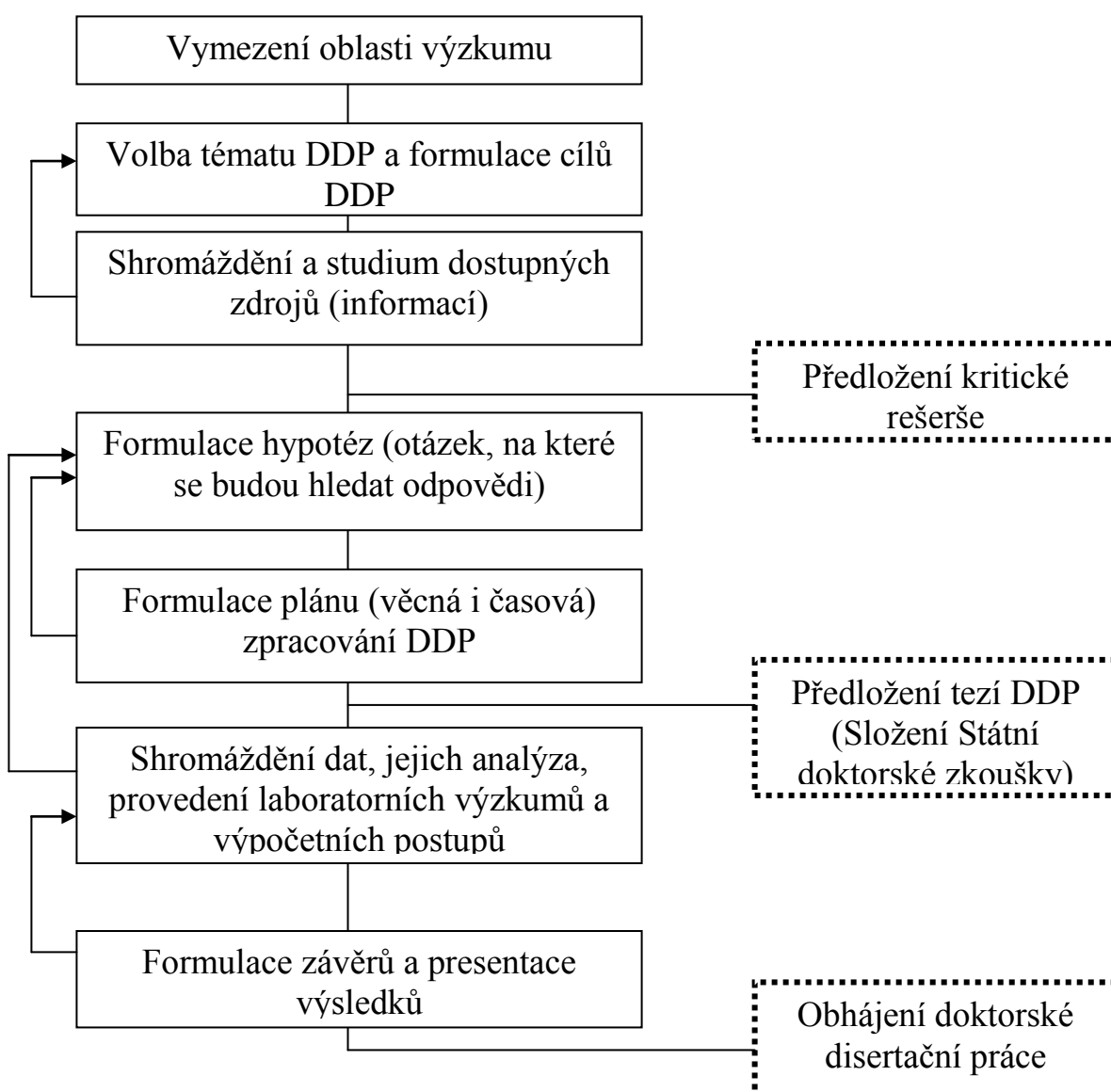
Dalo by se předpokládat, že v organizacích, kde fuzzy logiku znají a jsou si vědomi jejích výhod, ji taky využívají. Na ověření této vědecké hypotézy bude otestována statistická hypotéza – Z těch podniků, které fuzzy logiku znají, ji aktivně využívá 50 %. Budou využita data z hlavního dotazníkového šetření. V případě zamítnutí hypotézy bude pro lepší představu zkonstruován i intervalový odhad poměru kladných odpovědí.

## 5 METODY ZPRACOVÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Tato kapitola objasňuje postupy a metody, které jsou použity při zpracování disertační práce. Je použita celá řada metod a technik, označovaných jako logické (teoretické) metody a metody využívané v rámci kvantitativního a kvalitativního výzkumu.

### 5.1 Postup řešení disertační práce

Postup při zpracování disertační práce vychází ze zásad pro zpracování doktorské disertační práce. Ten může být zobrazen následujícím schématem:



Obr. 5.1: Postup zpracování DDP (Molnár, 2011)

Při řešení disertační práce byly tedy stanoveny tyto postupné kroky:

#### I. Definování problému a cílů disertační práce, přípravné práce, rešerše:

- Definování východisek disertační práce a na základě nich stanovení její pracovní hypotézy.
- Určení hlavního cíle a vedlejších cílů disertační práce, jejichž naplnění povede k obohacení jak teorie, tak i praxe.
- Provedené literární rešerše, studium pramenů.
- Oslovení českých odborníků v oboru fuzzy logiky.

#### II. Vlastní zkoumání

- Systematický přehled a popis některých případových studií využívající fuzzy logiku.
- Systematický přehled a popis některých příkladů „fuzzy“ uvažování.
- Provedení srovnání vhodnosti použití fuzzy přístupu k řešení problému.

#### III. Práce v terénu – využití fuzzy logiky v českých firmách

- Provedení průzkumu využívání fuzzy logiky pro řešení problémů ekonomiky a managementu ve vybraných českých firmách. Bude probíhat ve dvou následujících fázích:
  - určení dotazníkového formátu (tematické zaměření, klíčové otázky pro  $\chi^2$ -testy, sled otázek a celkové provedení),
  - práce v terénu – provedení výzkumu na hlavním vzorku respondentů.
- Analýza výsledků průzkumu pomocí statistických metod (popisná statistika a statistická indukce – testování statistických hypotéz).

#### IV. Podrobné zaznamenání závěrů

- Stanovení závěrů. Zhodnocení přínosu pro teoretické poznání a praxi.
- Přijmutí či zamítnutí stanovených hypotéz.

## 5.2 Metody využití v disertační práci

V disertační práci byly využité následující metody:

- logické metody,
- metody matematické statistiky (popisná statistika, testování statistických hypotéz).

### 5.2.1 Logické metody

K použitým logickým metodám v disertační práci patří:

- abstrakce – je myšlenkový proces, kdy se oddělují podstatné charakteristiky od nepodstatných. Je uplatněna při formulaci výzkumných úkolů,
- konkretizace – myšlenkový proces, kdy vyhledáváme konkrétní výskyt určitého objektu. V rámci konkretizace se specifikuje použití obecného jevu v konkrétních podmínkách,
- analýza – proces rozdělení zkoumaného jevu na dílčí části. Využívána hlavně v analytické části disertační práce při formulaci výzkumného problému,
- syntéza – jedná se o postup od dílčích částí k obecnému celku. (spojování poznatků). Využívána např. při formulaci závěrů disertační práce,
- indukce – při této metodě budou na základě sledování jednotlivých skutečností a poznatků vyvozovány všeobecné závěry. Bude tedy postupováno od konkrétního k obecnému. Využita v disertační práci byla především při formulaci hypotéz,
- dedukce – je opakem indukce. Definuje se jako postup kdy je od všeobecných závěrů (globálního pohledu) postupováno k méně všeobecným. Dedukce je v disertační práci využita při ověřování platnosti hypotéz,
- komparace – metoda srovnání je použita při vědecko-výzkumné části, zejména při srovnání teoretických základů s praktickými příklady.

## 5.2.2 Metody matematické statistiky

### *Metody popisné statistiky*

Metody a pojmy popisné statistiky (Řezanková, 2007):

- Absolutní četnost –  $n$

Absolutní četnost je počet prvků se stejnou hodnotou statistického znaku.

- Relativní četnost –  $p$

Relativní četnost je četnost vyjádřena v relativních hodnotách, tj. podílem jednotlivých absolutních četností na rozsahu souboru (desetinným číslem, v %).

- Kumulativní četnost

Udává úhrnnou četnost statistických jednotek s hodnotami znaku menšími, nebo rovnými hodnotě znaku nebo horní hranicí intervalu, při seřazení hodnot nebo intervalů podle pořadí neklesajících hodnot znaku.

- Aritmetický průměr –  $\bar{x}$

Aritmetický průměr řady  $n$  hodnot  $x_1, x_2, \dots, x_n$  se označuje zpravidla jako  $\bar{x}$  a je definován:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

- Modus –  $\hat{x}$

Modus je nejčastěji se vyskytující se hodnotou sledovaného znaku.

- Medián –  $\tilde{x}$

Medián je prostřední hodnotou sledovaného znaku.

- Směrodatná odchylka –  $s$

Udává, jak se v průměru v daném souboru odchyľují hodnoty od aritmetického průměru. Je tedy definovaná jako kvadratický průměr z odchylek jednotlivých hodnot od jejich aritmetického průměru:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

- Šikmost –  $\alpha$

Šikmost vyjadřuje, zda jsou hodnoty symetricky či asymetricky rozloženy kolem průměrné hodnoty. Nulová šikmost značí, že hodnoty náhodné veličiny jsou rovnoměrně rozděleny vlevo a vpravo. Kladná šikmost značí, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vlevo a většina hodnot se nachází blízko vlevo od průměru. U záporné šikmosti je tomu naopak.

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3}$$

- Špičatost –  $\beta$

Špičatost vyjadřuje, jak jsou hodnoty koncentrovány kolem středu. Kladná špičatost značí, že hodnoty jsou koncentrovány kolem středu, záporná nejsou koncentrovány kolem středu. Nulová značí rovnoměrné rozložení kolem středu.

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot s^4} - 3$$

- Variační koeficient –  $V_x$

Variační koeficient je definován jako podíl směrodatné odchylky a aritmetického průměru. Po vynásobení stem udává, z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru. Pokud vychází více jak 50 %, značí to silně nesourodý soubor (odlehlá pozorování).

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}}$$

### ***Grafické metody zobrazení dat***

Pro lepší přehled, byly použity i přehledné tabulky a grafy, které byly získány v statistickém programu Excel 2002 kancelářského balíku MS Office. K použitým grafickým metodám zobrazení dat patří:

- dvourozměrný sloupcový graf
- dvourozměrný pruhový graf
- dvourozměrný výsekový graf

## *Statistické metody použité při testování hypotéz*

Kromě metod popisné statistiky byly při ověření (či zamítnutí) hypotéz, stanovených v disertační práci, použity i metody matematické statistiky (Klímeck a Stríž a Kasal, 2006). Ze všech možných testů byly v disertační práci použity následující:

- Chí-kvadrát test (test dobré shody),
- Wilcoxonův test pro dva závislé výběry,
- Test nezávislosti v kontingenční tabulce,
- Friedmanův test –  $k$ -závislých výběrů.

Testování statistických hypotéz je jednoduchý rozhodovací postup, při němž se na základě výsledků získaných náhodným výběrem vyslovíme buď pro testovanou (nulovou) hypotézu nebo alternativní hypotézu. Statistická hypotéza je určité tvrzení o parametrech (parametrické testy) pozorované náhodné veličiny pocházejícího ze základního souboru nebo o tvaru rozdělení znaku základního souboru (neparametrické testy) na základě pozorované náhodné veličiny. Testování statistických hypotéz je podrobně rozpracovaná teorie v řadě statistických učebnic, kde se postupuje podle následujících 6 kroků.

- 1) Volba nulové (testované) hypotézy  $H_0$  a alternativní hypotézy  $H_1$  (která popírá nulovou hypotézu).
- 2) Na základě vstupních informací učiníme rozhodnutí, kterým testem se bude testovat.
- 3) Sestrojení kritického oboru –  $W$ . Na základě zvoleného testu, alternativní hypotézy a hladině významnosti  $\alpha$  (většinou 5 % – chyba prvního druhu – zamítnutí hypotézy  $H_0$ , ačkoliv je správná) sestrojení intervalu  $W$ , který povede k zamítnutí hypotézy  $H_0$ .
- 4) Sestrojení testového kritéria  $T$ . Testovací (testové) kritérium  $T$  je statistika, jejichž rozdělení pravděpodobnosti známe a která vhodným způsobem souvisí s  $n$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ . ( $\beta$  – chyba druhého druhu, přijmeme hypotézu  $H_0$ , ačkoliv platí  $H_1$ ).
- 5) Rozhodnutí o platnosti hypotézy:  
 $T \notin W$  přijímám  $H_0$ , zamítám  $H_1$   
 $T \in W$  zamítanu  $H_0$  a přijmu  $H_1$
- 6) Učiním závěr. Vhodným způsobem okomentuji výsledek.



- **Chí-kvadrát test (test dobré shody)**

Velice populární a jednoduchý test. Díky malému počtu předpokladů se řadí mezi neparametrické testy. Testujeme hypotézu, zda na základě vypočítaných četností platí naše předpoklady. Jedná se o porovnání *Pozorovaných* a *Očekávaných* hodnot četností v jednotlivých (k) skupinách.

- 1)  $H_0$ : platí naše předpoklady                       $H_1$ : neplatí naše předpoklady
- 2) Test dobré shody ( $\chi^2$  - test)
- 3)  $W = (\chi^2_{1-\alpha}(k-1), \infty)$ ,                      kde  $\chi^2_{1-\alpha}(k-1)$  je  $1-\alpha$  procentní kvantil  $\chi^2$  rozdělení pro  $k-1$  stupňů volnosti
- 4)  $T = \chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(P_i - O_i)^2}{O_i}$                       T má za platnosti hypotézy  $\chi^2$  – rozdělení s  $(k-1)$  stupni volnosti.  
 $P_i$  – pozorované četnosti  
 $O_i$  – očekávané četnosti
- 5) Rozhodnutí o platnosti hypotézy.
- 6) Učinění závěru. Naše předpoklady buď zamítneme, nebo přijmeme. Podmínkou pro použití testu dobré shody je, že očekávané četnosti musí být dostatečně velké (alespoň 5).

Pro přesnější interpretaci výsledků byl spočítán i intervalový odhad parametrů.

$$\left( p - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}; p + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \right)$$

- **Wilcoxonův test pro dva závislé výběry**

Je testem dvou závislých výběrů (párová měření), neparametrickou obdobou t-testu pro párová pozorování. Použijeme rozdíly hodnot, potom nechť  $X_1, X_2, \dots, X_n$  je náhodný výběr ze spojitého rozdělení s distribuční funkcí  $F(x)$ . Seřadíme  $X_1, X_2, \dots, X_n$  do rostoucí posloupnosti podle absolutní hodnoty, tj.:  $|X|^{(1)} < |X|^{(2)} < \dots < |X|^{(n)}$ . Nechť  $R_i$  je pořadí  $X_i$  při tomto uspořádání. Zavedeme veličiny:  $S^+ = \sum_{X_i \geq 0} R_i$ ,  $S^- = \sum_{X_i < 0} R_i$ . Přitom platí  $S^+ + S^- = \frac{n \cdot (n+1)}{2}$ .

- 1)  $H_0$ : oba soubory mají shodné rozdělení (mediány obou souborů jsou shodné).

$H_1$ : oba soubory nemají shodné rozdělení (mediány obou souborů nejsou shodné).

2) Wilcoxonův test pro dva závislé výběry.

3)  $W = (0, w_n)$  kde  $w_n$  je tabelovaná hodnota  
(např. Klímek, Stříž, Kasal, 2006)

4)  $T = \min(S^+, S^-)$

5) Rozhodnutí o platnosti hypotézy.

6) Učinění závěru. Pro větší hodnoty  $n$  lze využít toho, že za platnosti hypotézy má veličina  $U$  asymptoticky rozdělení  $N(0,1)$ .

$$U = \frac{S^+ - \frac{1}{4} \cdot n \cdot (n+1)}{\sqrt{\frac{1}{24} \cdot n \cdot (n+1) \cdot (2n+1)}}$$

### • **Test nezávislosti v kontingenční tabulce**

Použití: Při vyšetřování možné závislosti dvou nominálních proměnných. Výsledky pozorování zapisujeme pro přehlednost do tzv. kontingenční tabulky. Ta vznikne, třídíme-li soubor podle variant 2 kvalitativních znaků  $X$  a  $Y$ , kdy  $X$  má  $R$  různých variant a  $Y$  má  $C$  různých variant.

1)  $H_0$ :  $X$  a  $Y$  jsou nezávislé

$H_1$ :  $X$  a  $Y$  jsou závislé

2) Test nezávislosti v kontingenční tabulce

3)  $W = (\chi^2_{1-\alpha}(R-1)(C-1), \infty)$  kde  $\chi^2_{1-\alpha}(R-1)(C-1)$  je  $1-\alpha$  procentní kvantil  $\chi^2$  rozdělení pro  $(R-1)(C-1)$  stupňů volnosti

$$4) \quad T = \chi^2 = \sum_{i=1}^R \sum_{j=1}^C \frac{(n_{ij} - \frac{n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j}}{n})^2}{\frac{n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j}}{n}}$$

$T$  má za platnosti hypotézy  $\chi^2$  - rozdělení s  $(R-1)(C-1)$  stupni volnosti.

$n_{i \cdot}$  ... řádkový (marginální) součet

$n_{\cdot j}$  ... sloupcový (marginální) součet

5) Rozhodnutí o platnosti hypotézy.

6) Učinění závěru. Podmínkou použití testu je, méně jak 20 % očekávaných četností  $\frac{n_{i \cdot} \cdot n_{\cdot j}}{n}$  menších než 5 a žádná menší než 1.

- **Friedmanův test – k-závislých výběrů**

Nechť  $X_{ij}$  ( $i=1,\dots,n$ ;  $j=1,\dots,k$ ) jsou nezávislé náhodné veličiny se spojitými distribučními funkcemi. Chceme testovat hypotézu, že distribuční funkce veličin  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ik}$  jsou totožné.

1)  $H_0$ : Distribuční funkce jsou totožné

$H_1$ : Distribuční funkce nejsou totožné

2) Friedmanův test

3)  $W = (\chi^2_{1-\alpha}(k-1), \infty)$  kde  $\chi^2_{1-\alpha}(k-1)$  je  $1-\alpha$  procentní

kvantil  $\chi^2$  rozdělení pro  $(k-1)$  stupňů volnosti

$$4) \quad T = Q = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{j=1}^k \left( \sum_{i=1}^n R_{ij} \right)^2 - 3n(k+1)$$

$T$  má za platnosti hypotézy  $\chi^2$  – rozdělení s  $(k-1)$  stupni volnosti.

$R_{ij}$  je pořadí hodnoty  $X_{ij}$  v dané  $i$ -té skupině.

5) Rozhodnutí o platnosti hypotézy.

6) Učinění závěru.

### 5.3 Měření a jeho druhy

Podle charakteru získávání dat můžeme v disertační práci rozlišit typy měření. Jsou-li obměny určité proměnné vyjádřeny slovy nebo určitými čísly, dělíme proměnné na (Pavelka a Klímek, 2000):

- slovní (alfabetické, kategoriální) – někdy také kvalitativní,
- číselné (numerické) - někdy také kvantitativní.

Podle toho, zda proměnné nabývají v daném statistickém souboru dvou nebo více než dvou obměn, dělíme proměnné na:

- alternativní (nabývají pouze dvou hodnot),
- množné (nabývají více než dvou variant).

Podle toho, zda varianty numerické proměnné mohou nabýt v intervalu, v němž se reálně pohybují, všech reálných čísel nebo jen izolovaných číselných hodnot, se číselné proměnné dělí na:

- nespojité (diskrétní),
- spojité (kontinuální).

Podle hlediska typu vztahů mezi variantami, a tím i hodnotami proměnných, dělíme je na nominální, ordinální a metrické.

### 5.3.1 Nominální data

Nominální proměnné jsou ty kategoriální proměnné, u jejichž variant nelze objektivně jednoznačně stanovit jedno určité pořadí tak, že by varianta s vyšším pořadím vyjadřovala vyšší stupeň vlastnosti než jiná varianta s nižším pořadím. O dvou hodnotách nominální proměnné lze pouze konstatovat, že jsou buď stejné, nebo že jsou různé. Můžeme použít následující numerické operace a statistiku (Chráska, 2007):

- sčítat a odčítat počty případů v každé kategorii,
- určovat modus,
- je použitelná statistika chí-kvadrát,
- výpočet procent atd.

### 5.3.2 Ordinální data

Ordinální proměnné jsou ty, o jejichž variantách lze konstatovat nejen, že jsou různé, ale lze je jednoznačně seřadit od nejmenší po největší. Rozdíl dvou obměn nebo hodnot ordinální proměnné značí rozdíl v pořadí těchto variant nebo hodnot. Nemá však smysl srovnávání ordinální proměnné podílem. Lze použít následující numerické operace a statistiku:

- je možné počítat medián některé míry variability,
- Spearmanův koeficient pořadové korelace,
- Wilcoxonův test,
- U-test,
- Kolmogorov-Smirnonov test,
- Kruskal-Wallis test apod.

### 5.3.3 Metrická data

Metrické (měřitelné) proměnné jsou ty, o jejichž dvou obměnách lze říci nejen, že jsou různé (jako u nominálních proměnných) a že jedna z nich je větší než druhá (jako u ordinálních proměnných), ale lze i přesně změřit, o kolik je jedna obměna větší než druhá. Metrické proměnné jsou vždy číselné. Vyjadřují přitom nejen seřazení, ale i velikost měřených vlastností statistických jednotek daného statistického souboru. Lze použít následující numerické operace a statistiku:

- je možné určovat aritmetický průměr a směrodatnou odchylku,
- je možné používat chí-kvadrát test dobré shody,
- t-test,
- párový t-test,
- F-test,
- analýza rozptylu,
- Pearsonův koeficient korelace apod.

## **5.4 Způsob sběru dat**

V disertační práci byly použity následující metody sběru dat:

- analýza dostupných informačních zdrojů,
- konzultace s odborníky,
- dotazníkový průzkum.

### **5.4.1 Analýza dostupných informačních zdrojů**

Cílem analýzy informačních zdrojů bylo zjištění odpovědí na následující otázky:

- Čím se vyznačují fuzzy množiny?
- Jak jsou definovány základní operace s fuzzy množinami?
- Jak je definována funkce příslušnosti?
- Jak se definují fuzzy čísla?
- Co znamená pojem fuzzy logika?
- Jak se definují, jak se chovají a jak pracují fuzzy systémy

Analyzované informační zdroje jsou seřazené v seznamu použité literatury, uvedeném na konci disertační práce. Výsledkem této analýzy je formulování teoretických východisek disertační práce (kapitola 2).

### **5.4.2 Konzultace s odborníky**

Byli osloveni odborníci z České republiky zabývající se problematikou fuzzy logiky, fuzzy množin. Konkrétně byli osloveni:

– Prof. Ing. Petr Dostál, CSc., – VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky.

– Prof. RNDr. Jiří Ivánek, CSc., – VŠE v Praze, Katedra informačního a znalostního inženýrství.

– Doc. RNDr. Zdeněk Karpíšek, CSc., – VUT v Brně, Fakulta Strojního inženýrství, Ústav matematiky, Odbor statistiky a optimalizace.

– Prof. Ing. Vilém Novák, DrSc., – Ostravská univerzita v Ostravě, Ústav pro výzkum a aplikace fuzzy modelování.

– Prof. RNDr. Jaroslav Ramík, CSc. – Slezská univerzita v Opavě, Obchodně podnikatelská fakulta, Katedra matematických metod v ekonomii.

Cílem bylo detailnější proniknutí do problematiky uplatnění fuzzy logiky. Všichni jmenovaní mi sdělili, že se sice zabývají fuzzy logikou, ale nikoliv ve spojitosti s ekonomikou a managementem. Snažili se mě ale nasměřovat a jejich poznatky a rady poskytly poznatky vedoucí k lepšímu pochopení využití fuzzy logiky v praxi, možné další náměty, kde v této široké teorii bádát a kterou literaturu studovat.

### 5.4.3 Dotazníkový průzkum

Kvantitativní přístup umožňuje hlubší poznání skutečnosti v její racionální všeobecnosti. K výhodám kvantitativního přístupu patří hlavně přehlednost, stručnost a systematičnost výsledku (Chrásková 2007). V rámci disertační práce byly realizovány dotazníkové průzkumy jako jedna z metod kvantitativního přístupu.

**Hlavním cílem** hlavního dotazníkového průzkumu bylo analyzování míry znalosti fuzzy logiky v organizacích působících v České republice, míra jejího využívání, případně výhody jejího používání.

**Výběrový soubor** tvořilo celkem 500 ekonomických subjektů, vyhledaných v databázi ARES – Administrativní registr ekonomických subjektů. Jedná se o informační systém, který umožňuje vyhledávání mezi ekonomickými subjekty registrovanými v České republice. Zprostředkovává zobrazení údajů vedených v jednotlivých registrech státní správy, ze kterých čerpá data (tzv. zdrojové registry).

Aby byly subjekty vybrány opravdu náhodně, byl nejprve zvolen vhodný generátor náhodných čísel. Na generátory náhodných čísel jsou přitom kladeny následující podmínky (Bezděk, 2001):

- výstup z generátoru by měl co nejlépe aproximovat zvolený typ rozdělení,
- generátor by měl poskytovat výstup co nejvíce nezávislý a to i vyšších dimenzích,
- generátor by měl být snadno přenosný mezi počítači různých typů,
- generátor by měl zaručovat snadnou opakovatelnost výstupu z jednoduše zadaného počátečního bodu,
- generátor by měl být pokud možno rychlý,
- generátor by měl mít co možná nejdelší periodu

Ze všech generátorů náhodných čísel byl vybrán generátor zabudovaný v programu Excel (jako nejrozšířenější kancelářský software a pro své jednoduché uživatelské prostředí), kde jednoduchou transformací funkce „NÁHČÍSLO()“ docílíme vygenerování náhodného čísla z potřebného intervalu.

Nejprve byl funkcí „=NÁHČÍSLO()\*(224-1)+1“, která vygenerovala náhodné číslo z intervalu (1, 224), vybrán příslušný finanční úřad (z celkového počtu 224 finančních úřadů), ze kterého byl ekonomický subjekt vybrán.

Poté byl funkcí „=NÁHČÍSLO()\*(1697-1)+1“, která vygenerovala náhodné číslo z intervalu (1, 1697), vybrán název ekonomické činnosti (z celkového počtu 1697 ekonomických činností), kterou ekonomický subjekt provozoval.

Pokud byl počet ekonomických subjektů z daného finančního úřadu provozující ekonomickou činnost větší než jeden (např. 5), opět náhodným výběrem (pomocí funkce „=NÁHČÍSLO()\*(5-1)+1“) byl vybrán právě jeden.

Byl tedy proveden oblastní náhodný výběr, kdy každý ekonomický subjekt měl stejnou pravděpodobnost zahrnutí do výběru. Snahou bylo získat minimálně 100 vyplněných dotazníků, proto při očekávané 20-ti procentní návratnosti bylo vybráno 500 ekonomických subjektů, dohledána jejich emailová adresa a zaslán dotazník.

Konečný počet zpracovaných dotazníků byl 116, tzn. návratnost byla 23,2 %.

**Metodika sběru dat:** Dotazník byl rozeslán e-mailovou poštou. Obsahoval 4 identifikační otázky, 1 otázku vícenásobného výběru, 1 otevřenou otázku a 5 otázek, kde respondent určoval míru souhlasu (1 – plně souhlasím, 5 – plně nesouhlasím).

**Sběr dat** – Výběr ekonomických subjektů probíhal na jaře roku 2013, samotné dotazování probíhalo duben - srpen 2013.

**Způsob zpracování dat** – Dotazník byl vyhodnocen na základě popisné statistiky, zpracován do grafické podoby. Na základě statistických metod pak byly testovány příslušné hypotézy.

**Zhodnocení metody** – Pokud má autor zajištěnou dostatečnou návratnost dotazníků, je možné tuto metodu kvantitativního výzkumu použít. Hlavní výhody dotazníkové metody potom jsou:

- nízké náklady spojené se sběrem údajů,
- možnost pokrytí velkého počtu respondentů,
- relativní nízká časová náročnost.

**Omezení metody** – Pro úspěšnost dotazníkové metody je potřeba zajistit dostatečný počet vrácených dotazníků. V dnešní uspěchané době jsou potencionální respondenti značně pracovně vytížení a jejich postoj k dotazníkovému průzkumu je převážně odmítavý.



## 6 HLAVNÍ VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE

Následuje výčet hlavních výsledků, kterých autor docílil během svého Ph.D. studia. Jedná se především o dotazníkové šetření mezi ekonomickými subjekty a o nové uplatnění principů fuzzy logiky.

### 6.1 Výsledky hlavního dotazníkového šetření

V rámci výzkumu byl navrhnout, zkonzultován a distribuován dotazník (viz příloha A). Hlavním cílem bylo zjištění úrovně znalosti a využívání fuzzy logiky při řešení problémů v podnicích na území České republiky. Vedlejším cílem bylo zjištění aktuálnosti a způsobu řešení konkurenčních tlaků (rivality na trhu). Dalším cílem bylo zjištění, jak moc by podniky uvítaly řešení některých konkrétních problémů, které se dají lépe vyřešit pomocí fuzzy logiky.

Dotazník byl rozdělen do čtyř částí:

- identifikační údaje,
- znalost a způsob využívání fuzzy logiky,
- aktuálnost a způsob řešení konkurenčních tlaků,
  - stávající konkurence,
  - nová konkurence,
  - vliv odběratelů,
  - vliv dodavatelů,
  - substituční produkty,
- možnost využití fuzzy logiky.

#### 6.1.1 Identifikační údaje

V následující kapitole budou použity metody popisné statistiky zmiňované v kapitole 5.2.2 Metody matematické statistiky (Absolutní četnost –  $n$ , Relativní četnost –  $p$ , Kumulativní četnost, Aritmetický průměr –  $\bar{x}$ , Modus –  $\hat{x}$ , Medián –  $\tilde{x}$ , Směrodatná odchylka –  $s$ , Šikmost –  $\alpha$ , Špičatost –  $\beta$ , Variační koeficient –  $V_x$ )

Mezi základní identifikační znaky jsou zahrnuty:

- typ organizace (česká, evropská, světová),
- velikost organizace (podle počtu zaměstnanců),

- oblast podnikání.

Následující tabulka (Tab. 6.1.) znázorňuje zastoupení firem podle počtu zaměstnanců. Jednotlivé intervaly jsou určeny na základě metodiky evropské unie, která rozděluje podniky podle počtu zaměstnanců na mikropodniky (0-9 zaměstnanců), malé podniky (10-49 zaměstnanců), střední podniky (50-250 zaměstnanců) a velké podniky s více než 250 zaměstnanci.

*Tabulka 6.1 Velikost firmy (Bezděk, 2013)*

| <b>Velikost firmy</b>  | <b>n</b> | <b>p(%)</b> |
|------------------------|----------|-------------|
| 0-9 zaměstnanců        | 19       | 16,38       |
| 10-49 zaměstnanců      | 23       | 19,83       |
| 50-249 zaměstnanců     | 30       | 25,86       |
| 250 a více zaměstnanců | 44       | 37,93       |
|                        | 116      | 100,00      |

Z výsledků vyplývá, že největší zastoupení mají v rámci výzkumu velké podniky počtem zaměstnanců nad 250 (37,93 %). Naproti tomu, jen 16,38 % podniků představují mikropodniky. Tato skutečnost je příznivá pro výzkum, jelikož se dá předpokládat vyšší uplatnění fuzzy logiky ve velkém podniku než v mikropodniku.

Dalším zkoumaným znakem byla oblast podnikání, viz (Tabulka 6.2). Největší zastoupení má průmysl (40 podniků), obchod (19 podniků) a jiný typ společnosti (16 podniků).

*Tabulka 6.2 Oblast podnikání (Bezděk, 2013)*

| <b>Oblast podnikání</b> | <b>n</b> | <b>p (%)</b> |
|-------------------------|----------|--------------|
| Průmysl                 | 40       | 34,48        |
| Stavebnictví            | 8        | 6,90         |
| Doprava                 | 5        | 4,31         |
| Energetika              | 8        | 6,90         |
| Obchod                  | 19       | 16,38        |
| Cestovní ruch           | 3        | 2,59         |
| Finanční sektor         | 8        | 6,90         |
| Vzdělávání              | 4        | 3,45         |
| Zdravotnictví           | 5        | 4,31         |
| Jiná                    | 16       | 13,79        |
|                         | 116      | 100,00       |

Mezi respondenty, kteří udávali jiný typ společnosti, se nejčastěji objevila odpověď informační technologie.

Při sběru dat bylo snahou získat informace z českých podniků. Následující tabulka (Tab. 6.3) ukazuje typ jednotlivých organizací. Organizace s českým vlastnictvím tvořily převážnou část a to 66,38 %. Organizace s majoritou evropských vlastníků tvořily 15,52 %, ostatní organizace – 18,10 % – respondenti považovali za světové.

*Tabulka 6.3 Typ společnosti – vlastnická struktura (Bezděk, 2013)*

| <b>Typ společnosti</b> | <b>n</b> | <b>p (%)</b> |
|------------------------|----------|--------------|
| Česká                  | 77       | 66,38        |
| Evropská               | 18       | 15,52        |
| Světová                | 21       | 18,10        |
|                        | 116      | 100,00       |

Posledním zjišťovaným identifikačním znakem byla pozice respondenta ve firmě. Řadový zaměstnanec nemá takový přehled o všech úrovních podniku, nevidí do „vyšších“ pater organizace, jaké jsou problémy a jakým způsobem se řeší. Naproti tomu ředitel či majitel má potřebný nadhled, má přehled o všech úrovních podniku, mohou mu však unikat detaily, co který úsek používá za způsoby řešení. Tabulka 6.4 ukazuje, že nejvíce respondentů (63) bylo řadových zaměstnanců, což činilo 54,31 %, zatímco nejméně (22) bylo respondentů z řad majitelů jednotlivých firem.

*Tabulka 6.4 Pozice respondenta ve firmě (Bezděk, 2013)*

| <b>Pozice ve firmě</b> | <b>n</b> | <b>p (%)</b> |
|------------------------|----------|--------------|
| Majitel                | 22       | 18,97        |
| Vedoucí                | 31       | 26,72        |
| Zaměstnanec            | 63       | 54,31        |
|                        | 116      | 100,00       |

Možným úskalím mohla být souvislost pozice respondenta ve firmě a velikost firmy. U mikropodniků je jednodušší se dostat přímo k majiteli, naproti tomu u velkých firem je obtížné oslovit ředitele či majitele. Proto byla otestována hypotéza o nezávislosti pozice respondenta ve firmě a velikosti firmy (podle testu nezávislosti v kontingenční tabulce v kap. 5.2.2). Vzhledem k podmínce testu byla kategorie majitel a vedoucí sloučena a vznikla Tabulka 6.5.

Tabulka 6.5 Velikost firmy a pozice respondenta (Bezděk, 2013)

| Pozice / velikost firmy | 0-9 | 10 – 49 | 50-249 | > 250 |
|-------------------------|-----|---------|--------|-------|
| Majitel, vedoucí        | 11  | 11      | 13     | 18    |
| Řadový zaměstnanec      | 8   | 12      | 17     | 26    |

Kritickým oborem testu je interval  $(7,815, \infty)$ . Testová statistika  $T=1,655$ . Na hladině 5 % nulovou hypotézu  $H_0$  o nezávislosti pozice respondenta a velikosti firmy nezamítáme. Znamená to, že se podařilo oslovit respondenta na dané pozici ve firmě bez ohledu na velikost dané firmy.

### 6.1.2 Využívání fuzzy logiky v českých podnicích

Nejdůležitější otázky celého dotazníku byly dotazy, zda a jak oslovená organizace při své činnosti využívá principů fuzzy logiky. Případně proč tak nečiní. Možné odpovědi, tak jak ukazuje (Tabulka 6.6), byly tři – ANO – NE – NEVÍM.

Tabulka 6.6 Využívání principů fuzzy logiky (Bezděk, 2013)

| Využíváte fuzzy logiku? | n   | p(%)   |
|-------------------------|-----|--------|
| Ano                     | 12  | 10,35  |
| Ne                      | 74  | 63,79  |
| Nevím                   | 30  | 25,86  |
|                         | 116 | 100,00 |

*Využíváte fuzzy logiku? – odpověď ANO.*

Celkem 12 respondentů (10,35 %) odpovědělo, že jejich organizace využívá principů fuzzy logiky. Odpovědi na otázku, kde přesně využívají fuzzy logiku, jsou v Tabulka 6.7.

Tabulka 6.7 Kde je využita fuzzy logika (Bezděk, 2013)

| Kde využíváte fuzzy logiku? | n  | p(%)   |
|-----------------------------|----|--------|
| Přístroj                    | 1  | 8,33   |
| Proces                      | 10 | 83,33  |
| System                      | 1  | 8,33   |
|                             | 12 | 100,00 |

Všech 12 respondentů mělo popsat, jaké výhody jim používání fuzzy logiky přináší. Odpovědi se podařilo získat pouze od 11 z nich (Tabulka 6.8). Nejčastěji je zmiňována úspora času a úspora nákladů.

Intervalový odhad (95% interval spolehlivosti) pro odpověď ANO (12 odpovědí z celkového počtu 116) by pak vypadal následovně:

$$\left( 0,1035 - 1,96 \cdot \sqrt{\frac{0,1035 \cdot 0,8965}{116}}; 0,1035 + 1,96 \cdot \sqrt{\frac{0,1035 \cdot 0,8965}{116}} \right)$$

$$(0,0752 ; 0,1318)$$

Lze tedy tvrdit, že na 95 % je počet podniků, které využívají fuzzy logiku při své činnosti, mezi 7,52 až 13,18 procenty.

*Tabulka 6.8 Kde je využívána fuzzy logika (Bezděk, 2013)*

| <b>Kde využíváte fuzzy logiku?</b> | <b>Jaké výhody to vaší organizaci přináší?</b>  |
|------------------------------------|---|
| Proces                             | Kvalitativní odlišnost  |
| Proces                             | Zrychlení činností, procesů   |
| Systém                             | Maximální vytížení aut  |
| Proces                             | Úspory nákladů na logistiku   |
| Proces                             | Při plánování strategie   |
| Proces                             | Úspora času, úspora nákladů   |
| Proces                             | Úspora času   |
| Proces                             | Větší produktivita  |
| Proces                             | Přesnost  |
| Proces                             | Zkvalitnění procesu kalibrace měřidel   |
| Proces                             | Automatické postupy při procesu výroby vzorků, zpracování kalkulací a výkresové dokumentace |

*Využíváte fuzzy logiku – odpověď NE.*

Celkem 74 respondentů (63,79 %) odpovědělo, že ve své organizaci nevyužívá fuzzy logiku. Důvody jsou uvedeny v následující Tabulka 6.9:

Tabulka 6.9 Proč nevyužíváte fuzzy logiku? (Bezděk, 2013)

| <b>Proč nevyužíváte fuzzy logiku?</b> | <b>n</b> | <b>p (%)</b> |
|---------------------------------------|----------|--------------|
| Neznáme ji                            | 49       | 66,22        |
| Nenapadlo nás to                      | 17       | 22,97        |
| Je pro nás nevýhodná                  | 3        | 4,05         |
| Je pro nás složitá                    | 1        | 1,35         |
| Jiný důvod                            | 4        | 5,41         |
|                                       | 74       | 100,00       |

Celkem 49 respondentů, což činí 66,22 % z těch, co fuzzy logiku nevyužívají, ale „jen“ 42,24 % ze všech respondentů uvádí, že fuzzy logiku vůbec neznají. Ostatní se s ní buď již setkali, znají ji, nebo dokonce ovládají, ale k jejímu využití jim něco brání. 17 respondentů (22,97 %) to nenapadlo, 3 z nich (4,05 % z těch co fuzzy logiku nevyužívají, ale „jen“ 2,59 % ze všech respondentů) se jeví jako nevýhodná). 1 respondent (0,86 % ze všech respondentů) tvrdí, že je složitá. 4 respondenti uvedli, že proti užívání fuzzy logiky stojí jiný důvod, konkrétní však byli pouze 3 z nich. 2 respondenti neví, zda by fuzzy logika byla v jejich podniku aplikovatelná, jeden se domnívá, že není potřeba ji v podniku zavádět.

### 6.1.3 Aktuálnost a způsob řešení konkurenčních tlaků

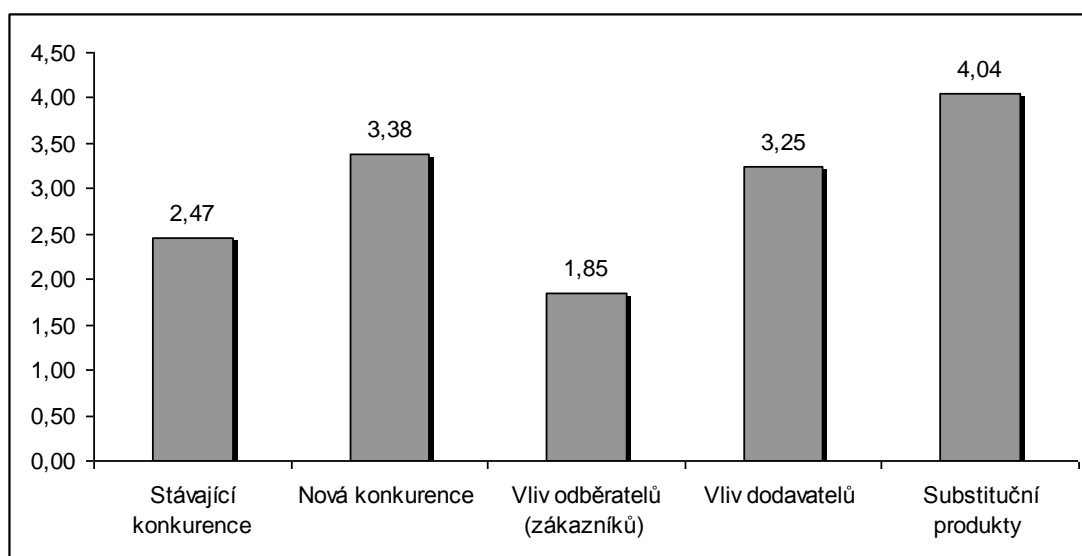
Třetí část dotazníku se týkala zjištění, jak moc si organizace připouští, tzn. jak moc jsou pro ni aktuální, otázky konkurence. Dotazy vycházely z Porterovy analýzy pěti sil (Porter, 1980). Porterův model určuje konkurenční tlaky a rivalitu na trhu. Rivalita trhu závisí na působení a interakci základních sil (stávající konkurence, nová konkurence, vliv odběratelů, vliv dodavatelů, substituční produkty) a výsledkem jejich společného působení je ziskový potenciál odvětví.

Respondenti měli seřadit (1 – nejaktuálnější, 5 – nejméně aktuální) jednotlivé základní síly, podle toho, jak jsou pro jejich organizaci aktuální k řešení. Výsledné odpovědi jsou zaznamenány v (Tabulce 6.10).

Tabulka 6.10 Odpovědi – Aktuálnost konkurenčních tlaků (Bezděk, 2013)

|               | <b>Stávající konkurence</b> | <b>Nová konkurence</b> | <b>Vliv odběratelů</b> | <b>Vliv dodavatelů</b> | <b>Substituční produkty</b> |
|---------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| počet         | 29                          | 9                      | 64                     | 8                      | 2                           |
| počet         | 37                          | 21                     | 22                     | 29                     | 11                          |
| počet         | 25                          | 27                     | 17                     | 24                     | 26                          |
| počet         | 17                          | 35                     | 9                      | 36                     | 18                          |
| počet         | 8                           | 24                     | 4                      | 19                     | 59                          |
| <b>Celkem</b> | <b>116</b>                  | <b>116</b>             | <b>116</b>             | <b>116</b>             | <b>116</b>                  |

Z (Tabulky 6.10) lze vyčíst některé charakteristické rysy odpovědí respondentů. Pro větší přehlednost je v grafu na Obr. 6.1 znázorněn aritmetický průměr jednotlivých odpovědí. Podle aritmetického průměru jsou konkurenční tlaky pro oslovené firmy seřazeny od nejaktuálnějšího po nejméně aktuální následovně: vliv odběratelů, stávající konkurence, vliv dodavatelů, nová konkurence, substituční produkty. Friedmanovým testem pro k-závislých výběrů (tak, jak byl popsán v kapitole 5.2.2) otestujeme, zda aktuálnost problémů se statisticky významně liší, nebo hodnocení jednotlivých konkurenčních sil je stejně aktuální (i přes rozdílnost aritmetických průměrů).



Obr. 6.1: Aktuálnost konkurenčních tlaků (Bezděk, 2013)

Kritický obor testu je  $(9,49, \infty)$ . Testová statistika  $T = 142,28$ . Na hladině významnosti 5 % jsme nuceni zamítnout hypotézu o rovnosti aktuálnosti konkurenčních sil u jednotlivých oslovených firem. Pomocí Neményiho metody

bychom mohli statisticky prokázat, které dvojice konkurencí se co do aktuálnosti pro oslovené podniky liší.

### *Stávající konkurence*

V reálném ekonomickém prostředí (Porter, 1980) mezi sebou firmy zápasí o konkurenční výhodu, která může mít mnoho podob. Podnik má konkurenční výhodu, pokud je schopen dodávat relativně stejně kvalitní výrobek či službu jako konkurence s nižšími náklady nebo kvalita jeho výrobků (resp. služeb) přesahuje kvalitu produktů konkurence. Kvalitou je zde rozuměna jakákoliv přidaná hodnota, může jít třeba i o rychlejší dopravu. Respondenti v dotazníku na otázku, jak moc je pro ně aktuální stávající konkurence, odpověděli následovně (Tabulka 6.11). Stávající konkurenci hodnotili jako druhou nejaktuálnější (viz. Obr. 6.1).

*Tabulka 6.11 Stávající konkurence (Bezděk, 2013)*

| <i>Stávající konkurence</i> | průměr | modus | medián | sm. odchylka | šikmost | špičatost | var. koeficient |
|-----------------------------|--------|-------|--------|--------------|---------|-----------|-----------------|
|                             | 2,47   | 2     | 2      | 1,21         | 0,50    | -0,69     | 0,49            |

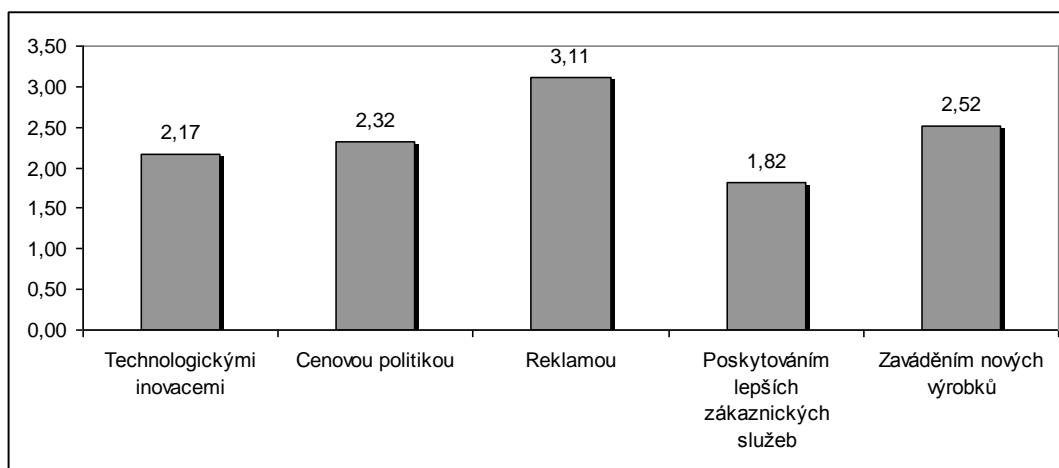
Jsou použity statistické charakteristiky, které byly popsány v kap. 5.2.2. Šikmost (0,50) značí, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vlevo a většina hodnot se nachází blízko vlevo od průměru. Záporná špičatost (-0,69) značí, že hodnoty nejsou koncentrovány kolem středu.

Firmy ve snaze získat co nejvyšší podíl na trhu používají mnoho nástrojů. V dotazníku se firmy měly vyjádřit k těm nejčastěji užívaným. Jak se organizace snaží vypořádat se stávající konkurencí, je naznačeno v (Tabulka 6.12) (1 – Plně souhlasím, 5 – Plně nesouhlasím) a Obr. 6.2, kde je zobrazen aritmetický průměr odpovědí. K této otázce se už bohužel nevyjádřily všechny.

*Tabulka 6.12 Nástroje vypořádávání se se stávající konkurencí (Bezděk, 2013)*

|               | <b>Technologické inovace</b> | <b>Cenová politika</b> | <b>Reklama</b> | <b>Lepší zákaznické služby</b> | <b>Nové produkty</b> |
|---------------|------------------------------|------------------------|----------------|--------------------------------|----------------------|
| počet         | 43                           | 31                     | 11             | 60                             | 36                   |
| počet         | 35                           | 40                     | 32             | 31                             | 28                   |
| počet         | 17                           | 28                     | 28             | 15                             | 20                   |
| počet         | 12                           | 8                      | 20             | 3                              | 12                   |
| počet         | 7                            | 8                      | 23             | 6                              | 17                   |
| <b>Celkem</b> | <b>114</b>                   | <b>115</b>             | <b>114</b>     | <b>115</b>                     | <b>113</b>           |





Obr. 6.2: Strategie proti stávající konkurenci (Bezděk, 2013)

Z grafu jednoznačně plyne, že nejčastěji se oslovené firmy snaží bojovat proti stávající konkurenci poskytováním lepších zákaznických služeb. Naproti tomu reklama je v žebříčku až na posledním místě. Celkem 17 firem se vyslovilo, že se stávající konkurencí bojuje ještě jiným způsobem. Konkrétní odpovědi byly:

- kvalitnější výrobky,
- zkracování dodavatelských termínů zákazníkovi,
- vystupováním zaměstnanců,
- zavádění nových služeb,
- udržení si stálých zákazníků,
- komplexnost poskytovaných služeb,
- důraz na regionalitu,
- design,
- dodržování termínů zakázek,
- lepší kvalita.

### ***Nová konkurence***

Při analýze firemního konkurenčního prostředí (Poter, 1980) je brána v potaz, kromě současné konkurence, také potenciální konkurence z řad podniků působících v jiných odvětvích či firmy zcela nové. Obzvláště odvětví, která se vyznačují velkou ziskovostí, lákají mnoho nových firem. Teoreticky může na trh kdykoliv přibýt nová firma. Existuje řada bariér, které brání vstoupit novým

firmám na trh (regulace vlády, patenty a know-how, aktiva nutná pro vstup na trh (např. distribuční síť), vysoká loajalita zákazníků k zavedeným značkám). Přesto i oslovené firmy jsou si vědomy konkurence z řad nových firem a označily ji jako čtvrtou nejaktuálnější (viz Obr. 6.1). Konkrétní statistické charakteristiky u této odpovědi jsou zaznamenány v (Tabulka 6.13).

*Tabulka 6.13 Nová konkurence (Bezděk, 2013)*

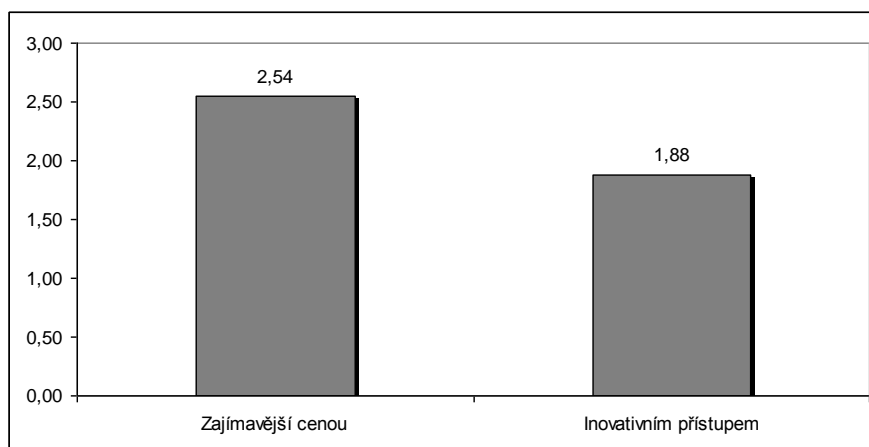
| <i>Nová konkurence</i> | průměr | modus | medián | sm. odchylka | šikmost | špičatost | var. koeficient |
|------------------------|--------|-------|--------|--------------|---------|-----------|-----------------|
|                        | 3,38   | 4     | 4      | 1,22         | -0,33   | -0,87     | 0,36            |

Záporná šikmost (-0,33) značí, že vlevo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vpravo a většina hodnot se nachází blízko vpravo od průměru. Záporná špičatost (-0,87) značí, že hodnoty nejsou koncentrovány kolem středu.

Jakým způsobem se firmy brání proti nové konkurenci je uvedeno v následující tabulce 6.14. (1 – Plně souhlasím, 5 – Plně nesouhlasím).

*Tabulka 6.14 Nástroje vypořádávání se s novou konkurencí (Bezděk, 2013)*

|               | <b>Zajímavější cenou</b> | <b>Inovativním přístupem</b> |
|---------------|--------------------------|------------------------------|
| počet „1“     | 24                       | 58                           |
| počet „2“     | 37                       | 29                           |
| počet „3“     | 31                       | 15                           |
| počet „4“     | 11                       | 7                            |
| počet „5“     | 11                       | 5                            |
| <b>Celkem</b> | <b>114</b>               | <b>114</b>                   |



*Obr. 6.3: Strategie proti nové konkurenci (Bezděk, 2013)*

Z Obr. 6.3, který zobrazuje aritmetický průměr odpovědí, je patrné, že respondenti daleko více dávají přednost v „boji“ proti nové konkurenci inovativnímu přístupu před zajímavější cenou. Celkem 21 firem se přiznalo, že proti nové konkurenci bojuje ještě jiným způsobem. K nejzajímavějším odpovědím pak patřilo:

- rozvojem nových technologií,
- zákaznickým servisem,
- zárukou na výrobky, řešení reklamací a oprav výrobků,
- zkušenostmi, komplexností a jedinečností produktu,
- návrhem řešení,
- zákaznickou péčí,
- důraz na dlouhodobou stabilní spolupráci,
- termínem plnění zakázek,
- důrazem na kvalitu, tradici, referenci,
- službami špičkové úrovně,

#### *Vliv odběratelů*

Vlastní vliv odběratelů (zákazníků) je ovlivněn (Poter, 1980) mnoha aspekty. Důležitá je heterogenita na trhu výrobků a služeb (tedy odběratelů). Jednotliví odběratelé se od sebe liší svou velikostí, svými potřebami, požadovanou kvalitou výrobků (resp. služeb) a potenciálem růstu. Zvláště relativní velikost odběratele vzhledem k ostatním firmám ve stejném segmentu má na zkoumanou firmu velký vliv. Sami oslovení respondenti hodnotí (podle Obr. 6.1) vliv odběratelů jako nejaktuálnější. Detailnější rozbor odpovědí se nachází v následující tabulce (Tabulce 6.15).

*Tabulka 6.15 Vliv odběratelů (Bezděk, 2103)*

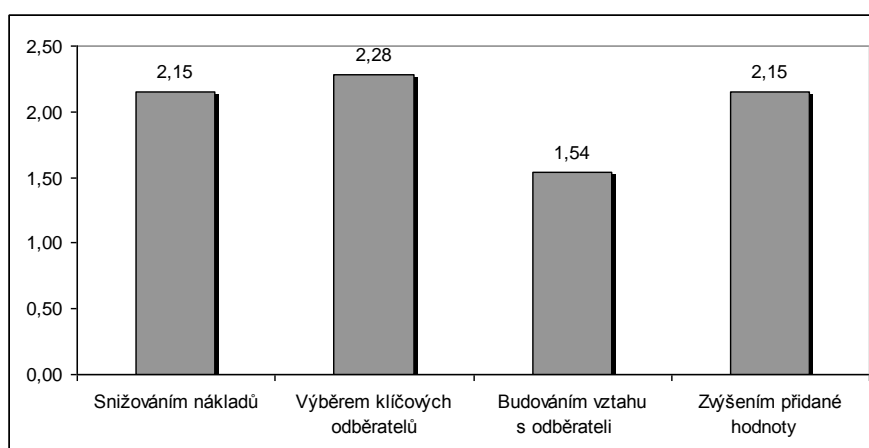
| <i>Vliv odběratelů</i> | průměr | modus | medián | sm.odchylka | šikmost | špičatost | var.koeficient |
|------------------------|--------|-------|--------|-------------|---------|-----------|----------------|
|                        | 1,85   | 1     | 1      | 1,14        | 1,18    | 0,38      | 0,61           |

Kladná šikmost (1,18) značí, že vpravo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vlevo a většina hodnot se nachází blízko vlevo od průměru. Kladná špičatost (0,38) značí, že hodnoty jsou koncentrovány kolem středu. Proti vlivu odběratelů bojují oslovené firmy způsobem, uvedeným v

(Tabulka 6.16) (1 – Plně souhlasím, 5 – Plně nesouhlasím) a na Obr. 6.4. zobrazující aritmetický průměr odpovědí.

*Tabulka 6.16 Nástroje vypořádávání se s vlivem odběratelů (Bezděk, 2013)*

|               | <b>Snižováním nákladů</b> | <b>Výběrem klíčových odběratelů</b> | <b>Budováním vztahu s odběrateli</b> | <b>Zvýšením přidané hodnoty</b> |
|---------------|---------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| počet         | 38                        | 32                                  | 71                                   | 43                              |
| počet         | 43                        | 39                                  | 34                                   | 34                              |
| počet         | 19                        | 26                                  | 6                                    | 22                              |
| počet         | 9                         | 10                                  | 0                                    | 4                               |
| počet         | 6                         | 6                                   | 4                                    | 10                              |
| <b>Celkem</b> | <b>115</b>                | <b>113</b>                          | <b>115</b>                           | <b>113</b>                      |



*Obr. 6.4: Strategie proti vlivu odběratelů (Bezděk, 2013)*

Celkem 10 respondentů odpovědělo, že proti vlivu odběratelů bojují ještě jiným způsobem. Někteří však nebyli konkrétní. K těm nejzajímavějším odpovědím patří:

- snaha neustále hledat nové odběratele,
- spolupráce s firmami spolupracujícími s našimi zákazníky v jiném sektoru,
- získání politické podpory pro produkt,
- design.

### ***Vliv dodavatelů***

Každé průmyslové (Poter, 1980) odvětví vyžaduje k produkci zdroje – pracovní sílu, materiály, již hotové komponenty a jiné zásoby. Tím se vytvářejí

vztahy mezi dodavateli a odběrateli – zásobovací řetězce. Sílu dodavatelů v těchto vztazích ovlivňuje mnoho faktorů. Dodavatelé jsou silní, pokud nastane alespoň jedna z následujících podmínek:

- Odběratelé jsou pouze podružnými zákazníky dodavatelů.
- Na trhu existuje pouze malé množství dodavatelů.
- Hrozí jejich integrace ve větší celky.
- Odběratelé by museli bez produktů dodavatelů zastavit produkci.

Tento vliv oslovené firmy vnímají jako třetí nejaktuálnější (viz Obr. 6.1). Detailnější rozbor odpovědí je (Tabulka 6.17).

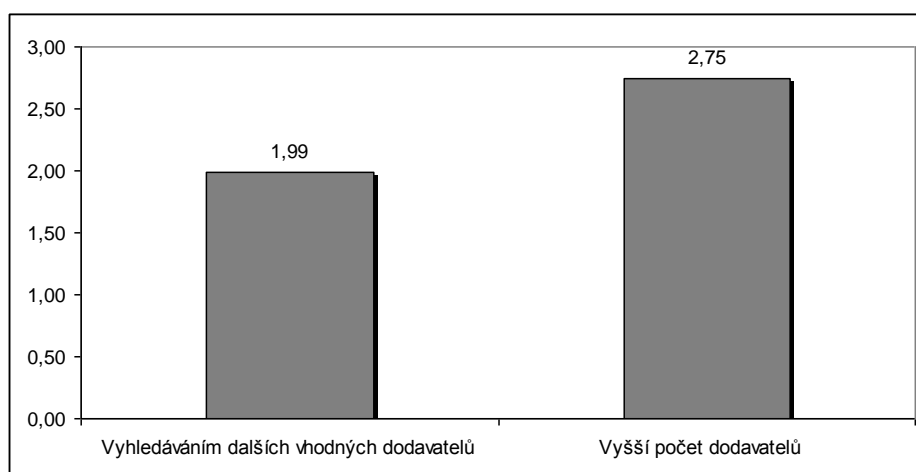
*Tabulka 6.17 Vliv dodavatelů (Bezděk, 2013)*

| <i>Vliv dodavatelů</i> | průměr | modus | medián | sm. Odchylka | šikmost | špičatost | var. koeficient |
|------------------------|--------|-------|--------|--------------|---------|-----------|-----------------|
|                        | 3,25   | 4     | 3      | 1,2          | -0,16   | -1,03     | 0,32            |

Záporná šikmost (-0,16) značí, že vlevo od průměru se vyskytují odlehlejší hodnoty nežli vpravo a většina hodnot se nachází blízko vpravo od průměru. Záporná špičatost (-1,03) značí, že hodnoty nejsou koncentrovány kolem středu. Proti vlivu dodavatelů se oslovení respondenti brání způsobem zobrazeným v Tabulka 6.18 (1 – Plně souhlasím, 5 – Plně nesouhlasím) a na Obr. 6.5, který zobrazuje aritmetický průměr odpovědí.

*Tabulka 6.18 Nástroje vypořádávání se s vlivem dodavatelů (Bezděk, 2013)*

|               | <b>Vyhledáváním dalších vhodných dodavatelů</b> | <b>Vyšší počet dodavatelů</b> |
|---------------|---|-------------------------------|
| počet         | 38  | 32                            |
| počet         | 43  | 39                            |
| počet         | 19  | 26                            |
| počet         | 9   | 10                            |
| počet         | 6   | 6                             |
| <b>Celkem</b> | <b>115</b>                                      | <b>113</b>                    |



Obr. 6.5: Strategie proti vlivu dodavatelů (Bezděk, 2013)

Z Obr. 6.5 je patrné, že oslovené firmy jako strategii proti vlivu dodavatelů vyhledávají častěji nové vhodné dodavatele místo navyšování počtu dodavatelů. Někteří ze 13 respondentů, kteří uvedli, že proto vlivu dodavatelů bojují i jinak, byli konkrétní. K nejzajímavějším odpovědím patří:

- pravidelným prověřováním výhodnosti stávajících dodavatelů,
- budováním vztahu s dodavateli,
- výběrem spolehlivých dodavatelů,
- dobrými vztahy s dodavateli,
- kooperací a vlastní výrobou klíčových prvků,
- cenou.

### **Substituční produkty**

Substitučními produkty jsou v Porterově modelu (Porter, 1980) myšleny produkty z jiného průmyslového odvětví, které mohou dané produkty nahradit. Tedy pro jistou skupinu odběratelů mají stejnou funkci, jen jsou postaveny na jiné technologii. Hrozbou pro firmu je i jejich pouhá existence. Tyto výrobky se pak stávají konkurenčními a jejich cena má velký vliv i pro danou firmu. Substituční produkty jsou však pro oslovené firmy nejméně aktuální, tak jak vypovídá Obr. 6.1. Detailnější rozbor odpovědí pak udává Tabulka 6.19:

Tabulka 6.19 Substituční produkty (Bezděk, 2013)

| <b>Substituční produkty</b> | průměr | modus | medián | sm.odchylka | šikmost | špičatost | var. koeficient |
|-----------------------------|--------|-------|--------|-------------|---------|-----------|-----------------|
|                             | 4,04   | 5     | 5      | 1,12        | -0,79   | -0,59     | 0,28            |

#### 6.1.4 Problémy, u kterých lze k řešení využít fuzzy logiku

V další části dotazníku byly respondentům navrženy situace, které se dají pomocí fuzzy logiky vyřešit lépe (efektivněji, rychleji...). Zjišťovalo se, u které z nabízených situací by organizace uvítala její pomoc. Fuzzy logika je schopna tyto oblasti částečně zjednodušit, zpřehlednit a zrychlit celý systém, proces. Všechny vstupy mohou být navíc definovány přirozeným jazykem a právě fuzzy logika umožňuje modelovat význam slov přirozeného jazyka a pracovat s určitou mírou nepřesnosti.

- A) Úspora času při rozhodování.
  - Úspora času spočívá zejména v tom, že jednou nastavený systém lze využít pro vyhodnocení jakékoliv množiny prvků, lze je jednoduše opravovat, doplňovat, použít opakovaně, aniž by se snížila vypovídací schopnost výsledků. Úsporu času při využití fuzzy logiky potvrzovaly samy některé podniky, které fuzzy logiku využívají.
- B) Zkvalitnění rozhodovacích procesů.
  - Správné rozhodnutí může v dané situaci ovlivnit efektivnost fungování a budoucí prosperitu organizace. Jedná se o rozhodnutí, jak z množiny několika variant řešení vybrat tu nejvhodnější, nejlepší. Rozhodovací proces je však velmi náročný. Je zapotřebí analyzovat a formulovat problém, vytvořit varianty rozhodnutí, stanovit kritéria hodnocení, určit důsledky variant, vyhodnotit a vybrat variantu určenou k realizaci atd. Zkvalitnit rozhodovací procesy by mělo být snahou všech organizací (Fotr, 2006). Jak k tomu může pomoci fuzzy logika, uvádí například (Halásek, 1996).
- C) Zkvalitnění hodnotících procesů.
  - Hodnocení, srovnání či pouhé porovnání pomocí tradičních metod má určité negativní vlastnosti a ne vždy vede k nejlepším výsledkům. Je zde tedy prostor pro nové postupy, které by přinesly zkvalitnění hodnotících procesů.
- D) Rychlejší obsluha zákazníka.
  - Máloco je stále tak aktuální jako Baťův přístup k zákazníkům. Slogan “naš zákazník – náš pán”, který Baťa propagoval, (Morávek, 2013) rozhodně nebyl prázdnou frází, jak lze u některých stávajících podnikatelů vyzorovat. Většinu kroků, postupů a novinek dělal právě s ohledem na zákazníka. V obchodě by měl být tedy i dnes na prvním místě zákazník, uspokojení jeho potřeb a přání. Využití

fuzzy logiky dokáže napomoci ke kvalitnější i rychlejší obsluze zákazníka. To vede k jeho spokojenosti a upevnění konkurenční výhody podniku. Logicky z toho plyne i další prospěch pro podnik: čím rychleji dokáže podnik reagovat a uspokojit požadavky zákazníka, tím více zákazníků je schopen obsloužit a tím větších tržeb může dosáhnout.

E) Výběr správných zaměstnanců.

- I v dnešní době, v době velké nezaměstnanosti, je pro podniky velmi složité vybrat správného zaměstnance, přestože uchazečů o zaměstnání na jedno pracovní místo jsou desítky. Nejdříve musí personalisté protřídit velké množství životopisů, kdy mají pevně stanovené hranice, co musí který uchazeč splňovat. Čím více požadavků má vedení firmy na uchazeče, tím je pro personalisty těžší a složitější práce. Již zde hrozí, že výběrem neprojde uchazeč, který nezískal sympatie personalisty, či nesplňuje některý (ostrý) požadavek, ač ve skutečnosti by byl ideálním adeptem. Dost často tak rozhoduje zkušenost, či intuice personalisty, který uchazeče pošle či nepošle do dalších výběrových kol. Správný zaměstnanec je jedním ze základních pilířů úspěšného podniku. Je proto relevantní hledat řešení výběru nových zaměstnanců, která budou méně náročná, s lepšími výsledky.

F) Výběr nejvhodnější investice.

- Podniky jsou si moc dobře vědomy, že špatná investice může vést v dnešní konkurenční době, když ne k likvidaci firmy, tak zcela určitě k vysokým ztrátám, které si podnik nemůže dovolit. Na druhé straně výběr správné investice může zajistit budoucí prosperitu a tím i možné zvyšování hodnoty podniku. Proto podniky věnují výběru nejvhodnější investice patřičnou pozornost. Svě strategie investičního rozhodování musejí zpracovat tak, aby jim nadále zajistily udržení konkurenční výhody. I zde musejí podniky zohlednit celou řadu kritérií. Musí se rozhodnout, kterou oblast svého podnikání bude nejlepší financovat. Zda investovat do lepšího technického zařízení, zajišťujícího lepší kvalitu výrobků, nebo investovat do výzkumu a vývoje. Významnou roli, kterou musejí podniky zohlednit, hraje i riziko (viz dále Zhodnocení investičního rizika), protože investice jsou spojeny s dlouhým časovým horizontem. Dále jsou investice náročné na vysoké peněžní částky, i zde musí podniky uvážit, co si ještě mohou dovolit a co už nikoliv, případně dát přednost např. investici, na kterou dostanou alespoň částečnou dotaci (např. z evropských fondů)(Pavelková, Knápková, 2012, s. 132). Cílem podniku je tedy vybrat nejefektivnější investici,



což je velice náročné. Je tedy na místě hledat i v této oblasti rozhodování alespoň částečná zjednodušení celého procesu.

#### G) Zhodnocení investičního rizika.

- Každá investice podniku skrývá jistou míru rizika, kterou je zapotřebí brát při investicích na zřetel. Je nutné ji vyhodnotit, a na základě výsledků se rozhodnout, zda investici realizovat či nikoliv. Pokud se podnik například rozhoduje, ve které zemi investuje, musí u každé země zvážit riziko politické, finanční, surovinové, prodejní ekologické popřípadě další.

#### H) Volba obchodních partnerů.

- Výběr vhodných dodavatelů je pro podnik velice důležitý a věnují mu pozornost všechny podniky. Cílem je především prevence a získání jistoty, že se nebude nakupovat od partnerů, kteří by nebyli schopni dlouhodobě plnit požadavky odběratelů. Dalšími důvody, proč by podnik neměl tuto oblast opomíjet, jsou např., že správná volba obchodního partnera přispívá k naplňování strategie podniku, dále přispívá ke snižování nákladů obou obchodních partnerů, nebo také podporuje oboustranně efektivní spolupráci. (Nenadál, 2006, str. 89-95). Požadavků, které musí podnik vyhodnotit je celá řada. Norma ČSN EN ISO 9004 (2002 cit. podle Nenadál, 2006, s. 93) pak v souvislosti s procesem hodnocení a výběru dodavatelů doporučuje následující vstupy:

- hodnocení příslušných zkušeností,
- posouzení výkonnosti v porovnání s konkurencí,
- přezkoumání jakosti nakoupeného produktu, ceny, provedení dodávky a odezvy na problémy,
- závěry auditů systémů managementu dodavatelů a hodnocení jejich potencionální způsobilosti poskytovat požadované produkty efektivně a účinně a podle časového harmonogramu,
- prověření referencí o dodavateli a dostupných údajů o spokojenosti zákazníků,
- finanční posouzení životaschopnosti dodavatele v průběhu předpokládané doby dodávek a spolupráce,
- odezvy dodavatele na poptávky, nabídky a výběrová řízení,
- způsobilost dodavatele poskytovat službu, instalaci a podporu a dosavadní průběh výkonnosti ve srovnání s požadavky,
- dodavatelovo uvědomění si závažnosti souladu s příslušnými zákonnými požadavky a požadavky předpisů a skutečná shoda s nimi,
- logistická způsobilost dodavatele, včetně lokalit a zdrojů,

- postavení a úloha dodavatele na veřejnosti, jeho vnímání ve společnosti.

#### I) Zhodnocení bonity klienta.

- Pro všechny podniky je zásadní, aby jim za jejich výrobky či služby bylo zapláceno. Podniky ve finanční sféře mají (musejí mít) dokonce vypracované celé metodiky, kterými hodnotí bonitu zákazníka, klienta. Na jejich základě se rozhodují, zda finanční služby poskytnou či nikoliv. Zásadními otázkami jsou:
  - zda není podnik v insolvenční,
    - zda má uhrazené závazky vůči státu (jestli se jedná o spolehlivého plátce),
    - jaké vykazuje výsledky hospodaření,
    - jak vypadá cash-flow podniku,
    - zda a v jakém rozložení (dle doby) má závazky po splatnosti,
    - o jak velký podnik se jedná,
    - jaké postavení má na trhu,
    - zda má podnik potenciál dalšího růstu,
    - a řadu dalších kritérií, která musí věřitel zhodnotit.

#### J) Volba prémie pro zaměstnance

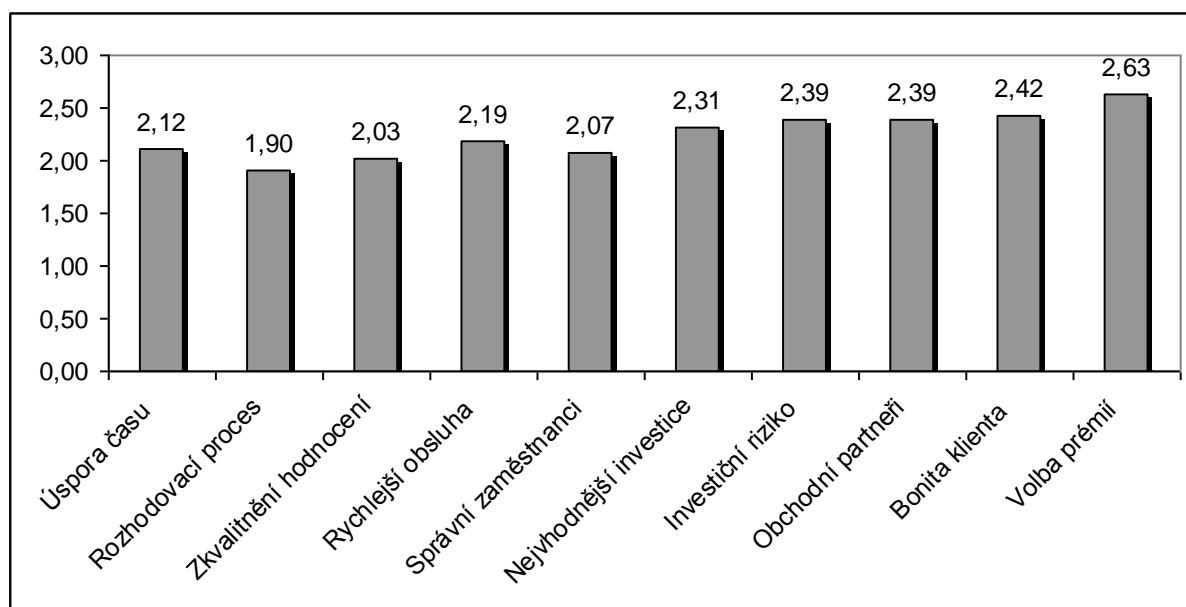
- Mzdová politika většiny podniků má za úkol přilákat a především udržet si schopné zaměstnance. Hlavním prostředkem k splnění tohoto úkolu je odměňování zaměstnanců. Vždy by měl mít každý podnik na paměti, že růst jeho mzdových nákladů by měl jít v ruku ruce s vývojem jeho výkonnosti. Nejlepším způsobem, jak ohodnotit mimořádný osobní výkon zaměstnance, jsou prémie (Ladová, 2008, s. 17-20). Je však důležité, aby podnik při odměňování a volbě výše prémie byl spravedlivý. Musí tedy pečlivě vyhodnotit výkonnost každého zaměstnance.

Uvedené možnosti možného uplatnění fuzzy logiky byly nabídnuty podnikům. Na otázku: „Kterou z nabízených možností by vaše organizace uvítala?“, neodpověděli všichni respondenti. Ti, kteří se vyjádřili, měli každou situaci ohodnotit pomocí škály: 1 – Plně souhlasím až 5 – Plně nesouhlasím. Nejzajímavější statistické charakteristiky jsou uvedeny v (Tabulka 6.20).

Tabulka 6.20 Odpovědi – co by organizace uvítaly (Bezděk, 2013)

|                | A    | B    | C    | D    | E    | F    | G    | H    | I    | J    |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| počet „1“      | 40   | 46   | 38   | 35   | 41   | 37   | 29   | 30   | 31   | 22   |
| počet „2“      | 35   | 40   | 44   | 40   | 32   | 26   | 36   | 30   | 31   | 31   |
| počet „3“      | 23   | 14   | 17   | 22   | 26   | 28   | 26   | 36   | 27   | 33   |
| počet „4“      | 9    | 9    | 9    | 8    | 7    | 14   | 14   | 10   | 13   | 16   |
| počet „5“      | 4    | 1    | 2    | 6    | 3    | 5    | 6    | 6    | 8    | 9    |
| počet          | 111  | 110  | 110  | 111  | 109  | 110  | 111  | 112  | 110  | 111  |
| průměr         | 2,12 | 1,90 | 2,03 | 2,19 | 2,07 | 2,31 | 2,39 | 2,39 | 2,42 | 2,63 |
| modus          | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 1    | 2    | 3    | 1    | 3    |
| medián         | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    | 3    |
| sm. odchylka   | 1,10 | 0,97 | 1,00 | 1,12 | 1,06 | 1,19 | 1,16 | 1,13 | 1,22 | 1,18 |
| šikmost        | 0,80 | 0,99 | 0,90 | 0,87 | 0,75 | 0,50 | 0,54 | 0,46 | 0,53 | 0,33 |
| špičatost      | -    | 0,31 | 0,31 | 0,16 | -    | -    | -    | -    | -    | -    |
| var.koeficient | 0,52 | 0,51 | 0,49 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,48 | 0,47 | 0,50 | 0,45 |

Pro větší přehlednost ještě graf (Obr. 6.6) aritmetických průměrů odpovědí.



Obr. 6.6: Aritmetické průměry – Co by organizace uvítaly (Bezděk, 2013)

Friedmanovým testem pro k-závislých výběrů (tak, jak byl popsán v kapitole 5.2.2) otestujeme, zda mezi odpověďmi není statisticky významný rozdíl, oproti alternativě, že mezi odpověďmi je statisticky významný rozdíl.

Kritický obor testu je  $(16,92, \infty)$ . Testová statistika  $T = 43,33$ . Na hladině významnosti 5 procent jsme nuceni zamítnout hypotézu o rovnosti odpovědí potřeb oslovených firem. Znamená to, že v potřebě řešit předložené situace je v podnicích rozdíl. Některé podniky by rády řešily více, některé méně. Pomocí Neményiho metody bychom mohli statisticky prokázat, které dvojice odpovědí se od sebe liší. To však není v našem průzkumu potřeba, uvědomíme-li si, že aritmetický průměr všech odpovědí je menší než hodnota 3. Znamená to, že všechny situace by oslovené firmy řešit pomocí fuzzy logiky spíše uvítaly. Což je jeden z důležitých závěrů hlavního dotazníkového šetření.

Následuje výčet některých možných nových uplatnění principů fuzzy logiky publikované autorem během Ph.D. studia.

## 6.2 Jaké prémie zvolit

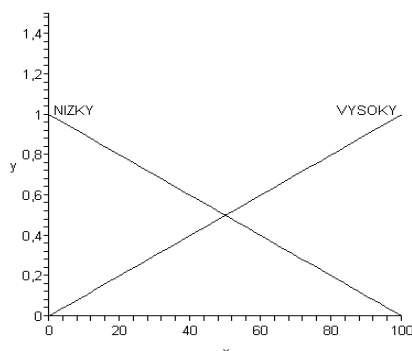
Následuje jednoduchý příklad uplatnění fuzzy logiky – publikován (Bezděk, 2011a). Řeší, pro jaké prémie se má šéf firmy rozhodnout, jestliže při svém rozhodování využívá principů fuzzy logiky. Rozhoduje se na základě intenzity a efektivity práce svých podřízených kdy maximální výše odměn má dosáhnout 4.000,- Kč. Hodnotit se bude zaměstnanec, který pracuje s intenzitou 80 % a efektivitou 60 %.

### o Fuzzifikace

Dvě vstupní proměnné:  $x$  – intenzita práce,  $y$  – efektivita práce, stejně tak výstupní proměnná:  $z$  – výška prémie jsou definované na intervalu  $\langle 0,100 \rangle$ . Každá z uvedených proměnných může nabývat (pro jednoduchost) pouze hodnot nízkých a vysokých definovaných následovně:

$$\text{nizky}(x) = 1 - \frac{x}{100} \qquad \text{vysoky}(x) = \frac{x}{100}$$

V případě hodnot  $\text{nizky}(x)$  se jedná o funkci  $L(x,0,100)$ , v případě hodnot  $\text{vysoky}(x)$  se jedná o funkci  $\Gamma(x,0,100)$ .



Obr. 6.7: Funkce příslušnosti – prémie (Bezděk, 2011)

U hodnoceného zaměstnance je jeho intenzita 80 % hodnocena jako nízká s pravdivostní hodnotou 0,2 a vysoká s pravdivostní hodnotou 0,8. Efektivita práce 60 % hodnocena jako nízká s pravdivostní hodnotou 0,4 a vysoká s pravdivostní hodnotou 0,6.

○ Fuzzy inference

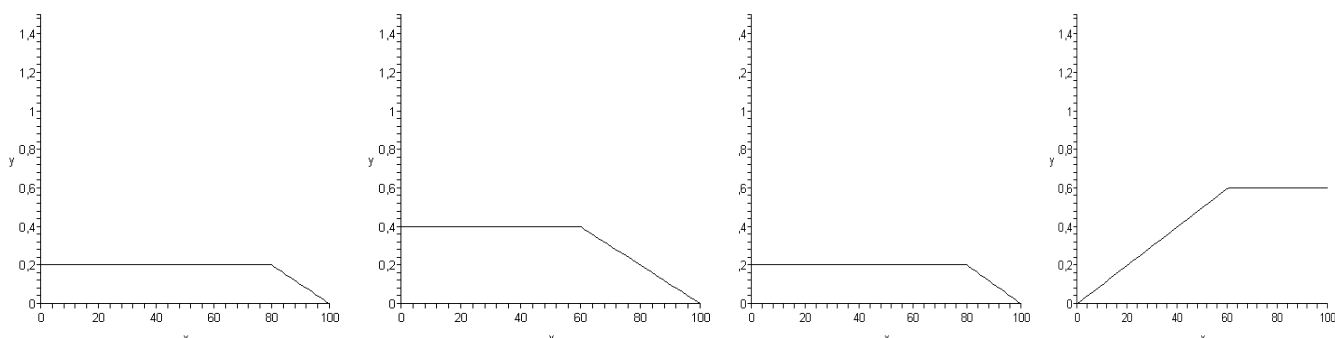
Pro určení výše prémie může majitel firmy používat následující pravidla, která jednoznačně podporují zaměstnance k co největší míře intenzity a efektivity jejich práce:

- pravidlo1: IF x is nizky AND y is nizky THEN z is nizky  
 pravidlo2: IF x is vysoky AND y is nizky THEN z is nizky  
 pravidlo3: IF x is nizky AND y is vysoky THEN z is nizky  
 pravidlo4: IF x is vysoky AND y is vysoky THEN z is vysoky

Pro vybranou hodnotu x=80 a y=60 pomocí operace MIN přiřadíme do výsledné množiny všechny výstupní fuzzy podmnožiny vzniklé z jednotlivých pravidel:

$$pr.1(z) = \begin{cases} 0,2 & z < 80 \\ 1 - \frac{z}{100} & z \geq 80 \end{cases} \quad pr.2(z) = \begin{cases} 0,4 & z < 60 \\ 1 - \frac{z}{100} & z \geq 60 \end{cases}$$

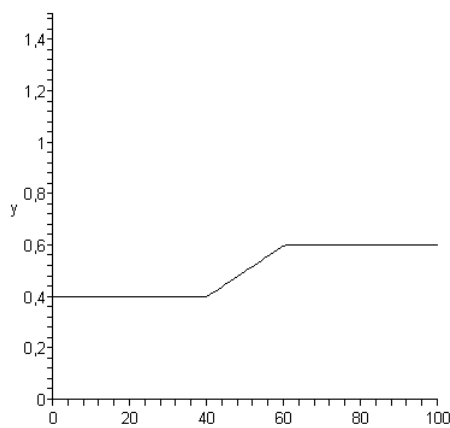
$$pr.3(z) = \begin{cases} 0,2 & z < 80 \\ 1 - \frac{z}{100} & z \geq 80 \end{cases} \quad pr.4(z) = \begin{cases} \frac{z}{100} & z < 60 \\ 0,6 & z \geq 60 \end{cases}$$



Obr. 6.8: Jednotlivá pravidla – prémie (Bezdek, 2011)

Výslednou fuzzy množinu obdržíme při použití kompozice MAX s následující funkcí příslušnosti:

$$vysledna(z) = \begin{cases} 0,4 & z < 40 \\ \frac{z}{100} & 40 \leq z < 60 \\ 0,6 & z \geq 60 \end{cases}$$



Obr. 6.9: Výsledné pravidlo – prémie (Bezděk 2011)

○ Defuzzifikace

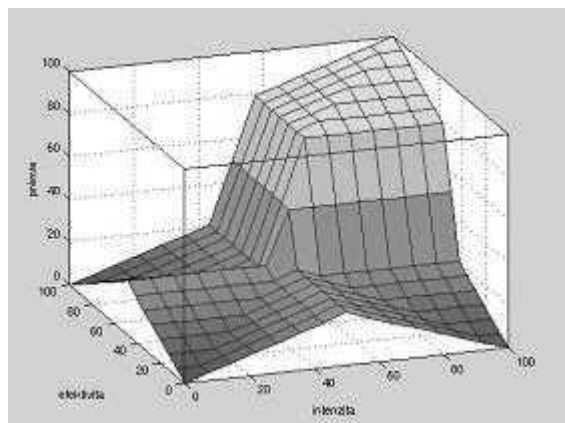
Majitel má nyní několik možností, jak z výsledné fuzzy množiny vyčíslit výslednou hodnotu premií. (viz Kap. 2.6.3). Některé možné výsledky jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 6.21 Výsledná čísla – prémie (Bezděk 2011)

| Použitá metoda   | SOM    | LOM    | MOM    |
|------------------|--------|--------|--------|
| Výsledná hodnota | 0,6    | 0,8    | 1,0    |
| Výsledné prémie  | 2400,- | 3200,- | 4000,- |

○ Závěr

Jednotlivé metody se často vzájemně kombinují, cílem je vybrat tu metodu, která usnadní daný postup, zjednoduší výpočet a nejvíce bude vyhovovat požadovaným výsledkům. Následující obrázek znázorňuje výsledek předcházejícího příkladu v programu MATLAB.



Obr. 6.10: Výsledek pomocí programu Fuzzy Logic Toolbox MATLAB (Bezděk, 2011)

### 6.3 Porovnání 50 českých měst pomocí fuzzy logiky

Společnost MasterCard Europe a Sdružení CZECH TOP 100 přišla v roce 2010 s výsledky 3. ročníku unikátní studie „MasterCard česká centra rozvoje“. Projekt zpracoval tým odborníků z Vysoké školy ekonomické v Praze pod vedením prof. RNDr. René Wokouna, CSc. Bylo srovnáno padesát největších měst České republiky, a to z hlediska kvality života a ekonomické kondice.

Města byla hodnocena v 11 kategoriích, jež byly rozděleny do tří oblastí: ekonomické, sociální a oblasti životního prostředí.

- Ekonomická oblast:
  - Míra nezaměstnanosti (v %) (nejlépe Praha 4,7 – nejhůře Karviná 16,3).
  - Počet ekonomických subjektů na 1000 obyvatel (Praha (391) – Orlová (135,7)).
  - Dostupnost k nejbližší dálnici nebo rychlostní komunikaci v minutách (5 minut – 65 minut).
  - Počet IC, EC, SC, EN (Praha 79 – 30 měst ČR bez spoje).
  
- Sociální oblast:
  - podíl uchazečů o práci, evidovaných nad 12 měsíců, na celkovém počtu uchazečů (Praha (16,1) – Karviná (48)).
  - Cena nájemného bytu 3+1 v nabídce 80 až 100 m<sup>2</sup>, stav velmi dobrý, nezařízený (v Kč) (Děčín (5343) – Praha (16550)).

- Naděje na dožití 2004 až 2008 muži (v letech) (Hradec Králové (75,4) – Chomutov (70,5)).
  - Naděje na dožití 2004 až 2008 ženy (v letech) (Jihlava (80,9) – Teplice (76,9)).
  - Počet zjištěných trestných činů obecné kriminality na 10 tisíc obyvatel za rok 2009 (Hodonín (88,6) – Praha (572,8)).
- Životní prostředí:
    - Dostupnost a rozloha zelených ploch.
    - Emise tuhé v roce 2007, t/km<sup>2</sup> (Břeclav (0,0930) – Ostrava (8,1320)).

Prokázalo se, že porovnávání hodnocených měst (Bezděk, 2011b) pomocí fuzzy logiky dává srovnatelné výsledky, jako porovnání pomocí speciálního vzorec vytvořený týmem odborníků. Navíc:

- Použitý vzorec má zdlouhavější výpočet než metoda založená na fuzzy logice.
- Výpočet je také složitější. Navíc vyžaduje vzorce pro výběrovou směrodatnou odchylku či zdatnost v počítání procent.
- Vynecháním některého města z porovnávání musíme celou řadu výpočtů u odborné studie dělat znovu. Pokud bychom vynechali město, které v některé kategorii dosahuje maximální hodnoty, výpočty musíme provést znovu dokonce všechny. U fuzzy logiky, ať vynecháme jakékoliv město, výpočty nejsou ohroženy.
- Data v odborné studii jsou ovlivněna odlehlými maximálními hodnotami, což u fuzzy logiky není.

Fuzzy logika je tedy lepším i rychlejším způsobem než klasické metody. Vzhledem k tomu, že pomocí fuzzy logiky vyšly srovnatelné výsledky, ale zjištěná pozitiva či negativa jednoznačně hovoří pro fuzzy logiku, domnívám se, že použití fuzzy logiky při porovnávání je výhodné, ba dokonce prospěšné.



## 6.4 Využití fuzzy logiky v databázích

Příspěvek (Bezděk a Molnár, 2011) prokázal vhodnost využití fuzzy logiky při vyhledávání v databázích. Klasický přístup sice vyžaduje „pouze“ nastavení „tvrdých“ kritérií, hrozí však, že výsledky se budou muset ještě ručně vyhodnocovat, či neobdržíme výsledek žádný. Přístup pomocí fuzzy vyžaduje nastavení vah pro jednotlivá kritéria, ale výsledek obdržíme:

- prokazatelně lepší,
- bez nutnosti dalšího manuálního zásahu (a případných chyb z toho plynoucích),
- v rychlejším čase,
- kompletní výsledky, tzn. subjekty vyhodnocené podle všech kritérií a podle vhodnosti pro uživatele.

## 6.5 Využití fuzzy logiky při hodnocení studentů

Na fakultě Aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně jsem dostal za úkol v akademickém roce 2011/2012 vést nový předmět Matematické základy řízení rizik. Cílem studijního předmětu je naučit studenty matematickým metodám hodnocení a řízení rizik, zejména na základě pravděpodobnostního pohledu. Součástí předmětu má být seznámení s podstatou metod analýzy rizik v orientaci na bezpečnostní problematiku. Jelikož se na fakultě jednalo o předmět nový, jeho náplň byla zcela v mojí režii. Mimo vlastní náplň jsem se zabýval i otázkou, jak přimět studenty k aktivitě během semestru. Domluvili jsme se, že výsledná známka bude odrážet jejich celosemestrální snažení a výkon u zkoušky bude jen jedno z hodnotících kritérií. Všechna kritéria budou vyhodnocena pomocí fuzzy logiky, což byla mimo jiné jedna z probíraných kapitol našeho předmětu.

Požadavky na studenty tedy byly následující. Pro získání zápočtu byla nezbytná docházka, alespoň na 50 % napsaná zápočtová práce a seminární práce. Také byli studenti upozorněni, aby do hodin chodili připraveni, pokud možno s vlastními příklady, či alespoň pochopenou a nastudovanou látkou probíranou na poslední přednášce. U zkoušky si studenti, kteří získali zápočet, vylosovali 6 otázek ze 49.

K zápočtu bylo tedy třeba splnit požadavky a právě „rozdílnost udělených zápočtů“ mě přiměla k zamyšlení, jak ohodnotit studenty, kteří si se semestrální prací dají záležet, zápočtovou písemku mají napsanou na první termín a ještě se

během semestru snaží, když výsledek je pro každého stejný – zápočet. Rozhodl jsem se proto, že k závěrečnému hodnocení využiji data a použiji fuzzy logiku, kde nastavím kritéria, podle kterých udělím výslednou známku.

Prokázalo se, že hodnotící systém (Bezděk, 2012a), známkující studenty s využitím fuzzy logiky, je:

- jednoduchý (celý systém je zapsán v programu Excel),
- umožňuje známkovat podle všech stanovených kritérií,
- dodržuje nastavenou laťku pro všechny studenty, i pro následující ročníky,
- dokáže vystihnout skutečnosti, které vážený aritmetický průměr nedokáže,
- je spravedlivější – to potvrdili samotní studenti dotazníkem šetřením, vyplněného po obdržení známky,
- lze využít nejen na akademické půdě. Firma, která vypsala výběrové řízení na obsazení určité pozice může všem kandidátům (a to někdy i v řádu stovek) přiřadit „zápočet“, neboli na základě přijatých životopisů podle zvolených kritérií vyhodnotit nejlepší „zápočet“. K ústnímu pohovoru pak pozvat jen pár nejlepších (podle udělených zápočtů) a provést „zkoušku“. Do hodnotících pravidel si firma samozřejmě určí svoje kritéria podle svých požadavků a potřeb. Uvedený postup tak firmě díky fuzzy logice ušetří nejen čas (k ústnímu pohovoru se dostaví jen pár kandidátů), ale i peníze, což jsou dvě velice ceněné položky.

## 6.6 Využití fuzzy logiky při hodnocení

V příspěvku (Bezděk, 2012b) bylo na třech příkladech z praxe ukázáno, že hodnocení pomocí fuzzy je výhodnější než pomocí klasických metod, neboť:

- je jednoduché,
- lze hodnotit podle všech kritérií, aniž by to zpomalilo výpočet,
- lze zahrnout kvalitu naměřených dat,
- lze jednoduše přidat, či odebrat hodnocený prvek,
- dokáže jednoduchým způsobem hodnotit více skupin navzájem,
- do hodnocení zahrnout i preference a zkušenosti hodnotitele,

## 6.7 Srovnání antivirových programů pomocí fuzzy logiky

Firma AV-Comparatives se věnuje širokému spektru testů všech možných vlastností antivirů. V roce 2011 bylo uveřejněno celkem 9 testů antivirů v různých oblastech. Testů se zúčastnilo celkem 20 výrobců – a to jak jmen světových a zvučných, tak i jmen sice světových, nicméně poněkud méně zvučných. Ze všech testů byl pak vyhlášen nejlepší antivirový program za rok 2011. Příspěvek (Bezděk, 2013a) na základě výsledků jednotlivých testů vybírá nejlepší antivirový program pomocí fuzzy logiky. Ve fuzzy inferenci je využito vhodných fuzzy konjunkcí – založenou na minimu, součinu a Lukasiewiczovu konjunkci. Výsledky použití jednotlivých fuzzy konjunkcí jsou porovnány. Ve srovnání s klasickými, použitými metodami se poté prokázalo, že hodnocení pomocí fuzzy logiky je:

- komplexnější. Udává přímo pořadí jednotlivých programů a nejenom nejlepší program.
- osobitější. Hodnocení si může upravit každý uživatel upravit sám pomocí preferencí zvolených na začátku.
- stabilnější. Pokud přidáme jeden či více hodnocených programů, na postupu se nic nezmění.
- variabilnější. Pokud budeme chtít přidat jednu či více sledovaných vlastností, postup se nezmění.

## 6.8 Využití fuzzy logiky v obchodě

V práci (Bezděk, 2013b) je na využití fuzzy logiky v obchodě pohlíženo ze strany prodejce.

V obchodě by měl být na prvním místě zákazník, uspokojení jeho potřeb a přání. Pokud má prodejce na skladě několik desítek nabízených produktů, je možné, že se v nich jednoduše orientuje a dokáže zákazníkovi dokonale poradit. V době velkých supermarketů, hypermarketů, kdy jednotlivé řetězce nabízejí až několik tisíc položek, to však nelze a je třeba využít počítače. Ty si pamatují velké množství informací, mají však jednu nevýhodu. Pracují v klasické dvouhodnotové logice. Znají jen pravdu a nepravdu. Navíc nebudou rozumět zákaznickovým požadavkům definovaným vágními pojmy jako například: cena kolem, výkon alespoň, příkon maximálně atd. Pokud tedy bude na skladě velké množství položek, není v silách prodejce se ve všech parametrech vyznat, všechny si pamatovat a orientovat se v nich. Nedokáže rychle a kvalitně zákazníkovi poradit a obsluha vázne, je pomalá, nekvalitní. Tento „problém“ lze odstranit pomocí fuzzy logiky.

Osloveno bylo celkem 31 prodejců, prodavačů. Těm byl systém využívající při obsluze zákazníka fuzzy logiku v krátkosti představen, vysvětlen na prodeji elektrických sekaček na trávu. Postupovalo se ve třech krocích (viz kap. 2.6).

Fuzzifikace – vyhodnocení jak která sekačka v jednotlivých parametrech vyhovuje přání zákazníka. K tomu se použijí vhodné funkce příslušnosti viz kap.2.3.

Fuzy inference – vypočítání bodového hodnocení jednotlivých sekaček.

Defuzzifikace – procentuální vyjádření počtu obdržených bodů z celkového možného bodového hodnocení.

Prodejcům bylo zdůrazněno, že není potřeba se nic nového učit. Systém se implementuje do počítače a potom stačí již jen zadat několik čísel (požadavků zákazníka) a systém hned vyhodnotí, který z nabízených výrobků nejlépe vyhovuje přání a potřebám zákazníka.

Výčet některých zajímavých odpovědí prodejců:

- Je podle Vás navržený výběr sortimentu pomocí fuzzy logiky přínosný?
  - 13 z oslovených prodejců odpovědělo ANO (41,9 %)
  - 2 z oslovených odpověděli NE (6,5 %)
  - 16 z oslovených odpovědělo ČÁSTEČNĚ (51,6 %)

Znamená to, že celých 93,5 % oslovených prodejců připouští (třeba jen částečný) přínos fuzzy logiky.

- Zrychlil by navržený výběr pomocí fuzzy logiky obsluhu zákazníka?
  - 14 z oslovených prodejců odpovědělo ANO (45,1 %)
  - 2 z oslovených odpověděli NE (6,5 %)
  - 15 z oslovených odpovědělo ČÁSTEČNĚ (48,4 %)

93,5 % oslovených prodejců tedy připouští, že systém využívající fuzzy logiku zrychlí (byť jen částečně) obsluhu zákazníka.

## 6.9 Využití principů fuzzy logiky při nákupu

V práci (Bezděk, 2013c) je na využití fuzzy logiky v obchodě pohlíženo ze strany nakupujícího. Během června 2013 proběhlo dotazníkové šetření, týkající se frekvence a zvyklostí při nakupování. Účastnilo se ho celkem 142 respondentů (47 mužů a 95 žen). Výčet některých zajímavých závěrů:

–Nákup za celkovou hodnotu 500,- Kč a větší, jedenkrát týdně a častěji provádí celkem 87 dotázaných (61,3 %). Jedenkrát měsíčně a častěji 126 dotázaných (88,7 %).

–Jednu položku za více jak 500,- a dražší jedenkrát týdně a častěji nakoupí 27 dotázaných (19,0 %). Jedenkrát do měsíce a častěji je to 101 osob (71,1 %).

–Problémy při výběru dražší položky si nepřipouští 56 (39,4 %) nakupujících. Ostatních 86 (60,4 %) se nedokáže bez problému rozhodnout, který z nabízených produktů nakoupit.

Proto je potřeba zákazníkům pomoci. Pokud nebude spoléhat na pomoc prodejce, je možné při nákupu využít principů fuzzy logiky.

V příspěvku je vzpomenu i několik metod vícekriteriálního hodnocení, zmíněna možnost využití fuzzy logiky jako jedné z možných metod a následně vysvětleno použité minimum teorie fuzzy logiky. Pak byl celý princip vysvětlen na úloze výběru vhodné letní dovolené. K tomuto účelu během července 2013 proběhl další dotazníkový průzkum (zúčastnilo se 201 respondentů), týkající se preferencí při nákupu dovolené. Díky výsledkům bylo možné zvolit funkce příslušnosti (viz kap. 0) k jednotlivým kritériím (cena dovolené, délka dovolené, kvalita ubytování, kvalita nabízených služeb, atraktivita a dostupnost okolí) a také jejich podíl na celkovém hodnocení.

Systém, využívající při obsluze zákazníka fuzzy logiku, byl hodnocen samotnými respondenty z prvního dotazníkového šetření.

- 83 (58,5 %) zákazníků uvedlo, že by takový systém zkvalitnil jejich rozhodování. Mohli by jednoduchým způsobem do svého rozhodování zahrnout všechny nabízené produkty a všechny svoje požadavky.
- 16 z respondentů (11,3 %) by si naopak nepřálo zavedení takového systému.
- 96 (66,2 %) respondentů přiznalo, že daný systém by urychlil jejich rozhodování.

Z výsledků průzkumu vyplynulo, že existuje prostor pro zlepšení a zkvalitnění obsluhy zákazníka. Využití principů fuzzy logiky není samozřejmě jediná možnost, jak toho dosáhnout. Ale i zákazníci, kteří o fuzzy logice nikdy neslyšeli, by takový systém uvítali.

# 7 OVĚŘENÍ HYPOTÉZ

## 7.1 Hypotéza H1

Vědecká hypotéza H1: Fuzzy logika je známý pojem v České republice.

V rámci hypotézy 1 jsme zjišťovali, zda je pojem fuzzy logika známý.

- Největší dotazníkové šetření v rámci výzkumu proběhlo mezi podniky. Celkem 116 odpovědí (viz kapitola 6.1) můžeme, co se týká znalosti fuzzy logiky, shrnout do následující tabulky.

*Tabulka 7.1 Znalost fuzzy logiky v českých podnicích (Bezděk, 2013)*

| <b>Znáte fuzzy logiku?</b> | <b>n</b> | <b>p (%)</b> |
|----------------------------|----------|--------------|
| Ano – využíváme ji         | 12       | 10,35        |
| Ano – nevyžíváme ji        | 25       | 21,55        |
| Ne – neznáme               | 49       | 42,24        |
| Nevím – nemám informace    | 30       | 25,86        |
|                            | 116      | 100,00       |

U těch respondentů, kteří neměli dostatek informací, se dá předpokládat stejné procento odpovědí ANO jako u těch, co mají dostatek informací. (ANO 37x, NE 49x, ANO 43 %, NE 57 %). Počet 30 respondentů, kteří nevěděli, rozdělíme tedy v poměru 43:57 na 13 a 17.

- Výsledné skóre 50x ANO, 66x NE.
- U dotazníkového šetření v rámci prodávajících (viz kapitola 6.8) bylo osloveno celkem 31 prodavačů. 1 prodejce odpověděl ANO, 14 prodejců odpovědělo NE, 16 prodejců odpovědělo ČÁSTEČNĚ. Co se týká prodavačů, ti se s fuzzy logikou měli možnost setkat u některých moderních výrobků, které již fuzzy logiku využívají. Moderní pračky, digitální fotoaparáty s automatickým zaostřováním, některé klimatizace atd.
  - Výsledné skóre 17x ANO, 14x NE.
- U dotazníkového šetření v rámci nakupujících (viz kapitola 6.9) bylo osloveno celkem 142 respondentů. S následujícími výsledky: 46 respondentů (32,4 %) odpovědělo ANO (32 osob bylo dokonce

schopno vysvětlit základní principy fungování fuzzy logiky a 16 respondentů navíc fuzzy logiku aktivně využívá).

- Výsledné skóre 46x ANO, 96x NE.
- V rámci příspěvku (Bezděk, 2012a) (viz kap. 6.5) bylo v letním semestru akademického roku 2011/2012 osloveno 30 studentů 4. ročníku studijního programu Inženýrská informatika Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně s dotazem zda znají či neznají fuzzy logiku. 24 studentů neznalo fuzzy logiku vůbec, 3 připustili částečnou znalost a 3 přiznali, že fuzzy znají.
  - Výsledné skóre 6x ANO, 24x NE.

Výběry pocházejí z různého prostředí, výběr proběhl různou formou, přesto odpovědi budou brány dohromady.

*Tabulka 7.2 Znalost pojmu fuzzy logiky (Bezděk, 2013)*

| <b>Znáte fuzzy logiku?</b> | <b>n</b> | <b>p (%)</b> |
|----------------------------|----------|--------------|
| ANO                        | 119      | 37,54        |
| NE                         | 198      | 62,46        |
|                            | 317      | 100,00       |

Podle postupu, uvedeného v kap. 5.2.2, budeme v rámci vědecké hypotézy H1 testovat statistickou hypotézu:

- 1)  $H_0$ : V České republice pojem fuzzy logiky zná 50 % osob.  
 $H_1$ : V České republice pojem fuzzy logiky nezná 50 % osob.
- 2) Test dobré shody ( $\chi^2$  - test)
- 3)  $W = (\chi^2_{1-\alpha}(k-1), \infty) = (\chi^2_{0,95}(1), \infty) = (3,84, \infty)$
- 4) 
$$T = \chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(P_i - O_i)^2}{O_i} = \frac{(119 - 158,5)^2}{158,5} + \frac{(198 - 158,5)^2}{158,5} = 19,68$$
- 5)  $T \in W \rightarrow$  zamítám  $H_0$ , přijímám  $H_1$
- 6) Na hladině významnosti 5 procent zamítáme hypotézu, že pojem fuzzy logiky zná 50 % osob. Přijímáme alternativní hypotézu, poměr osob znalých fuzzy logiku není 50 %.

Pro lepší představu, kolik lidí zná fuzzy logiku, bude spočítán intervalový odhad. Odhad odpovědí ANO v rámci celé populace na základě našeho výběru podle vzorce:

$$\left( p - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}; p + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \right)$$

$p$  ... poměr kladných odpovědí (v našem výběru 37,54 dle Tabulka 7.2)

$n$  ... počet osob (v našem výběru 317 dle Tabulka 7.2)

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$  ... příslušný kvantil normovaného normálního rozdělení ( $u_{0,975} = 1,96$ )

$$\left( 0,3754 - 1,96 \sqrt{\frac{0,3754 \cdot (1 - 0,3754)}{317}}; 0,3754 + 1,96 \sqrt{\frac{0,3754 \cdot (1 - 0,3754)}{317}} \right)$$

$$(0,3221 ; 0,4287)$$

Na 95 % bude poměr osob z České republiky znalých fuzzy logiku v rozmezí 32,21 % až 42,87 %.

Na základě předložených výsledků, z předcházejících odstavců:

VĚDECKOU HYPOTÉZU H1 – Fuzzy logika je známý pojem v České republice – ZAMÍTÁM.

Poměr subjektů, které pojem fuzzy logiky znají je v České republice na 95 % v rozmezí 32,21 % až 42,87 %.

## 7.2 Hypotéza H2 a Hypotéza H3

Vědecká hypotéza H2: Fuzzy logiku lze využít k řešení problémů ekonomiky a managementu.

Vědecká hypotéza H3: Řešení problémů ekonomiky a managementu pomocí fuzzy logiky je přínosné.

Následuje výčet některých zajímavých publikovaných uplatnění fuzzy logiky v ekonomice a managementu ze zahraniční literatury:



### 7.2.1.1 A Client Financial Risk Tolerance Model

„Model míry finančního rizika klienta“ (Bojadziew a Bojadziew, 2007, s. 130-148). Jaké riziko může klient přijmout? Finanční instituce čelí obtížnému úkolu ve vyhodnocování klientů a míře jejich finančního rizika, což je hlavní složkou pro tvorbu investiční politiky a pochopení případných investičních možností z hlediska bezpečnosti a vhodnosti. Následuje jednoduchý model, pro nalezení míry finančního rizika klienta, které závisí na jeho (jejím) ročním příjmu a celkovém čistém jmění. Cílem kontroly klienta pro daný model finančního rizika je tedy pro daný pár vstupních proměnných najít odpovídající výstup – hodnotu míry rizika.

#### o Fuzzifikace

Finanční odborníci se shodují v tom, jak popsat vstupní proměnné (roční příjem a celkové čisté jmění) a výstupní proměnnou (míru rizika):

Roční příjem a čisté jmění klienta hodnotíme jako nízké, střední nebo vysoké, míru výsledného rizika jako nízké, střední nebo vysoké. Jsou to fuzzy čísla patřící do intervalu z množiny všech možných hodnot:

$$- \text{roční příjem} = \{x \cdot 10^3 \mid 0 \leq x \leq 100\}$$

$$- \text{čisté jmění klienta} = \{y \cdot 10^4 \mid 0 \leq y \leq 100\}$$

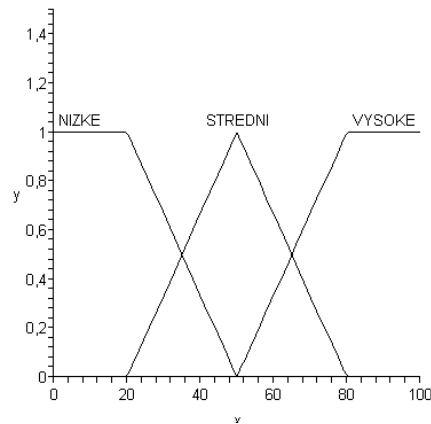
$$- \text{míra rizika} = \{z \mid 0 \leq z \leq 100\}$$

Reálná čísla  $x$  a  $y$  reprezentují tisíce a stovky tisíců dolarů odpovídajícím způsobem, zatímco  $z$  představuje míru rizika na stupnici 0 až 100. Výrazy jazykových proměnných roční příjem, celkové čisté jmění a míra rizika jsou popsány trojúhelníkovými a částmi trapézových čísel, formálně mají stejné funkce příslušnosti (nízké – N, střední – S, vysoké – V):

$$\mu_S(v) = \begin{cases} \frac{v-20}{30} & 20 \leq v \leq 50 \\ \frac{80-v}{30} & 50 \leq v \leq 80 \end{cases}$$

$$\mu_N(v) = \begin{cases} 1 & 0 \leq v \leq 20 \\ \frac{50-v}{30} & 20 \leq v \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu_V(v) = \begin{cases} \frac{v-50}{30} & 50 \leq v \leq 80 \\ 1 & 80 \leq v \leq 100 \end{cases}$$



Obr. 7.1: Funkce příslušnosti – míra rizika (Bezděk, 2011a)

○ Fuzzy inference

Počet „Jestliže...pak“ pravidel je 9 a počet různých výstupů 3. Předpokládejme, že finanční experti rozhodli o pravidlech následujícím způsobem:

Pravidlo 1: Jestliže roční příjem je nízký a čisté jmění klienta je nízké, pak míra rizika je nízká.

Pravidlo 2: Jestliže roční příjem je nízký a čisté jmění klienta je střední, pak míra rizika je nízká.

Pravidlo 3: Jestliže roční příjem je nízký a čisté jmění klienta je vysoké, pak míra rizika je mírná.

Pravidlo 4: Jestliže roční příjem je střední a čisté jmění klienta je nízké, pak míra rizika je nízká.

Pravidlo 5: Jestliže roční příjem je střední a čisté jmění klienta je střední, pak míra rizika je mírná.

Pravidlo 6: Jestliže roční příjem je střední a čisté jmění klienta je vysoké, pak míra rizika je vysoká.

Pravidlo 7: Jestliže roční příjem je vysoký a čisté jmění klienta je nízké, pak míra rizika je mírná.

Pravidlo 8: Jestliže roční příjem je vysoký a čisté jmění klienta je střední, pak míra rizika je vysoká.

Pravidlo 9: Jestliže roční příjem je vysoký a čisté jmění klienta je vysoké, pak míra rizika je vysoká.

Pro názornost pravidla v tabulce:

Tabulka 7.3 Výsledná čísla – prémie (Bezďek 2011a)

|              |         | Čisté jmění |         |        |
|--------------|---------|-------------|---------|--------|
|              |         | nízké       | střední | vysoké |
| Roční příjem | nízké   | nízké       | nízké   | mírné  |
|              | střední | nízké       | mírné   | vysoké |
|              | vysoké  | mírné       | vysoké  | vysoké |

Tato pravidla vycházejí z každodenního života. Je zcela přirozené, že osoba s nízkými příjmy a nízkou hodnotou čistého jmění se může zaručit pouze nízkým rizikem a naopak osoba s vysokým ročním příjmem a vysokým čistým jměním si dovolí vysoké riziko. Nicméně z různých důvodů nemusí být klient tolerantní k vysokému riziku nebo naopak, může být ochoten přijmout riziko bez ohledu na příjmy a čisté jmění. Odborníci po projednání s klientem mohou přepracovat pravidla. Například v prvním případě, kdy by klient nepreferoval vysoké riziko, závěr pravidel může být změněn: v pravidlech 3, 5 a 7 mírné změněno na nízké, v pravidlech 6 a 8 vysoké změněno na mírné. To zajistí nižší míru rizika pro klienty, která povede k více konzervativní investiční politice.

Pro  $x_0=40$  v tisících (roční příjem) a  $y_0=25$  v desítkách tisíc (čisté jmění) jsou porovnány vhodné výrazy. Jsou odvozeny příslušné fuzzy vstupy. Výsledek jsou:

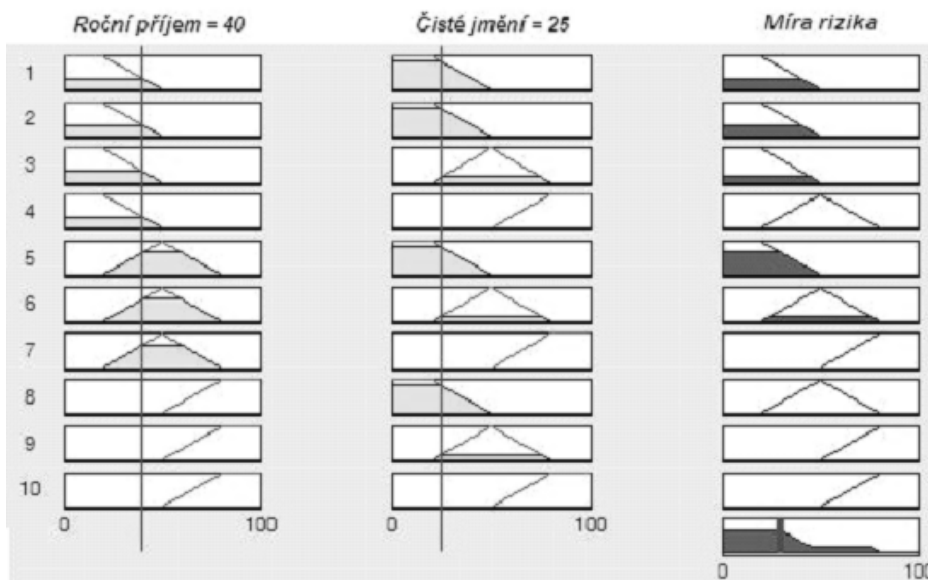
$$\begin{aligned} \text{Roční příjem } x_0=40: & \quad \mu_{STREDNI}(40) = \frac{2}{3} & \quad \mu_{NIZKE}(40) = \frac{1}{3} \\ \text{Čisté jmění } y_0=25: & \quad \mu_{STREDNI}(25) = \frac{1}{6} & \quad \mu_{NIZKE}(25) = \frac{5}{6} \end{aligned}$$

Máme 4 aktivní pravidla 1, 2, 4, 5. Síla těchto pravidel je počítána následovně:

$$\begin{aligned} \alpha_{11} &= \mu_{NIZKE}(40) \wedge \mu_{NIZKE}(25) = \min\left(\frac{1}{3}, \frac{5}{6}\right) = \frac{1}{3} \\ \alpha_{12} &= \mu_{NIZKE}(40) \wedge \mu_{STREDNI}(25) = \min\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{6}\right) = \frac{1}{6} \\ \alpha_{21} &= \mu_{STREDNI}(40) \wedge \mu_{NIZKE}(25) = \min\left(\frac{2}{3}, \frac{5}{6}\right) = \frac{2}{3} \\ \alpha_{11} &= \mu_{STREDNI}(40) \wedge \mu_{STREDNI}(25) = \min\left(\frac{2}{3}, \frac{1}{6}\right) = \frac{1}{6} \end{aligned}$$

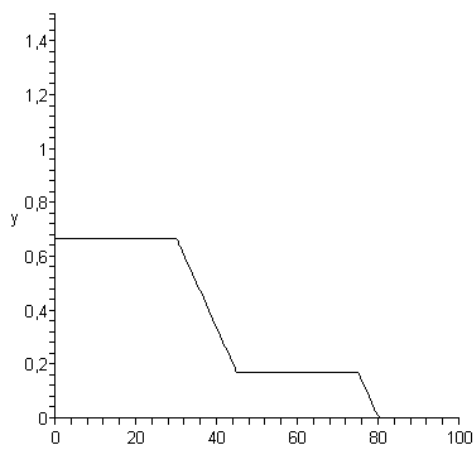
Postup pro získání předcházející tabulky lze shrnout na schéma následujícího obrázku, který se skládá z 12 fuzzy čísel trojúhelníkových či lichoběžníkových. Ta se nacházející ve 4 řádcích a 3 sloupcích.

Operace minimum pro fuzzy vstupy nacházející se v prvních dvou sloupcích obrázku „vytvoří“ odpovídající sílu pravidel, 1/3, 1/6, 2/3, 1/6 v trojúhelnících či trapezoidech ve třetím sloupci.



Obr. 7.2: Výsledná pravidla – míra rizika (Bezděk, 2011a)

Operace minimum dává výsledek v „krájených“ trojúhelnících a lichoběžnících a produkuje tak lichoběžníky v posledním sloupečku.



Obr. 7.3: Výsledné pravidlo – míra rizika (Bezděk, 2011a)

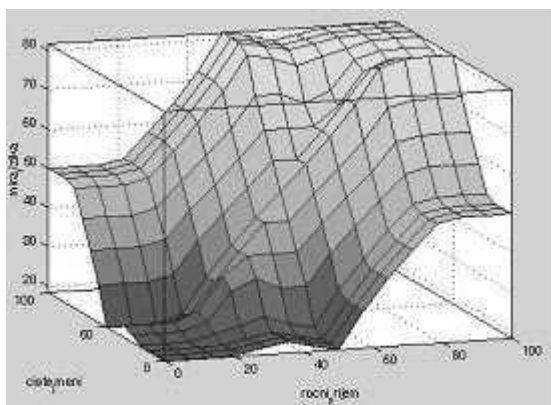
- Defuzzifikace

Různé defuzzifikační metody poskytují rozdílné výsledky, například:

- Metoda středu maxima - (MOM) dává výsledek 15.
- Metoda těžiště – (COA) dává výsledek 29,41.
- Metoda výšek – dává výsledek 22

- Závěr

Finanční experti dokázali odhadnout míru finančního rizika klienta za předpokladu, že jeho (její) roční příjem je právě 40.000 a celkové čisté jmění je 250.000 na stupnici od 0 do 100. V souladu s tím můžou navrhnout konzervativní míru investiční strategie.



Obr. 7.4: Výsledek pomocí programu Fuzzy Logic Toolbox MATLAB – míra rizika (Bezděk, 2011a)

### ***Valuation of efficiency under conditions of uncertainty and subjectivity***

„Ocenění účinnosti v podmínkách nejistoty a subjektivity“ (Mullor, Sansalvador, Trigueros, 2002) – Touto prací je ovlivněna DEA (Data Envelopment Analysis – neparametrický způsob v operačním výzkumu ekonomie pro odhad výrobních hranic), jedna z nejrozšířenějších metod při měření účinnosti. DEA byla upravena na základě fuzzy logiky a její matematické postupy jsou nově prováděny pomocí teorie fuzzy množin a systémů. To umožnilo počítat se všemi nepřesnými a subjektivními proměnnými, které je zapotřebí zohlednit při měření efektivity veřejného i soukromého sektoru.

***Fuzzy association rules for estimating consumer behavior models and their its application to explaining trust in internet shopping***

„Fuzzy asociální pravidla pro odhad modelu chování zákazníka a jejich aplikace na vysvětlení důvěry nákupu přes internet“ (Casillas, Martínez, Martínez-López, 2004) – Akademici a odborníci používali k vysvětlení a porozumění chování spotřebitelů tradiční, komplexní modely marketingu. Prokázalo se, že použití fuzzy systémů jako nástroje získávání znalostí má velký význam pro zlepšení interpretace a porozumění modelů chování spotřebitele. Byl předložen nový postup pro modelování chování spotřebitelů, založen na fuzzy pravidlech (FAS). Ten byl doplňující alternativou k výsledkům získaných pomocí klasické techniky modelu odhadu (SEM). Behaviorální model, který byl zaměřený na vysvětlení přístupu spotřebitelů k internetu a důvěry v nákup přes internet, byl otestován jak FAS tak SEM. Výsledky byly porovnány.

***Using a Fuzzy sets approach to select a portfolio of Greek government bonds***

„Použití fuzzy množin k výběru portfolia dluhopisů řecké vlády“ (Michalopoulos, Thomaidis, Dounias, 2004) – Tento příspěvek se zaměřuje na použití metodiky založené na fuzzy množinách k výběru optimálního portfolia řeckých vládních dluhopisů. Cíle investorů jsou formulovány z fuzzy kvalitativního hlediska pro různé scénáře trhu dluhopisů. Model fuzzy matematického programování se pak používá pro specifikaci portfolia, které optimálně splňuje dané cíle. Spolehlivost výsledků získaných touto metodikou je kontrolována pomocí simulace.

***Modeling of economic uncertainty***

„Modelování ekonomické nejistoty“ (Schjaer-Jacobsen, 2004) – Znázorněním a modelováním ekonomické nejistoty se zabývají různé metody modelování, konkrétně stochastické a pravděpodobnostní proměnné (včetně simulace Monte Carlo), intervalové analýzy a fuzzy čísla. Na základě výsledků cash-flow analýzy je provedeno srovnání mezi modelovacími metodami a jsou diskutovány charakteristiky metod.

***Uncertainty theory applied to optimal selection of personnel in an enterprise***

„Teorie nejistoty uplatněná na optimální výběr personálu v podniku“ (Santoyo, Romero, Farías, Flores, 2004) – Tento příspěvek představuje vylepšenou metodiku pro výběr personálu v soukromých a veřejných podnicích. Navrhovaná metodika používá pojem vzdálenosti (Eukleidovskou, Hamming, Minkowski a Mahalanobis) jako základní prvek pro rozhodování založené na teorii fuzzy logiky. Prostřednictvím těchto mechanismů je docíleno vysoce efektivních výsledků v oblasti získávání lidského kapitálu. Vhodné lidské zdroje přinesou podniku vyšší výkon, zvýší zisk a upevní jeho postavení na trhu.

### ***Application of probabilistic fuzzy set to subjective workload assessment***

„*Použití pravděpodobnostních fuzzy množin k subjektivnímu hodnocení pracovního zatížení*“ (Nait-Said, Loukia, 2004) – Tento článek představuje nový přístup v hodnocení pracovní zátěže pomocí teorie fuzzy množin. Výsledky jsou sestaveny s využitím pravděpodobnostních fuzzy množin jako posuzovacího nástroje vícerozměrné pracovní zátěže.

### ***Fuzzy characterization of uncertainty in financial crises***

„*Fuzzy charakteristika nejistoty ve finanční krizi*“ (Pazzi, Tohmé, 2004) – Některé finanční krize se projeví kvůli slabým základům postižených ekonomik. Jiné se projeví jen kvůli nesprávnému nebo zavádějícímu vnímání ze strany ekonomických subjektů. Příspěvek argumentuje, že hlavním zdrojem těchto nepochopení je způsob, jakým jsou na základě hodnocení vnitřního fungování finančního systému zajišťovány finanční prostředky. Na podporu tohoto tvrzení je zaveden jednoduchý model s fuzzy mírou rizika aktiv.

### ***Evaluating the total costs of purchasing via probabilistic and fuzzy reasoning***

„*Hodnocení celkových nákladů na nákup pomocí pravděpodobnosti a fuzzy usuzování*“ (Costantino, Dotoli, Falagario, Fanti, Iacobellis, 2006) – Analýza transakčních nákladů se zabývá způsoby, jak sladit potřeby režimu správy s atributy ekonomických transakcí. V současné době jsou náklady na transakce všeobecně přijatelné, i přes potíže při měření se vyčísľují. Počítaje obvyklé definice transakčních nákladů, tento příspěvek navrhuje model vztahu pro kupujícího/prodávajícího, se zaměřením na nejistotu charakterizující výměnu a s ní spojené náklady. Zejména v závislosti na známé klasifikaci, náklady na transakci, spojené s nákupní fází, jsou rozděleny do ex ante (vytváření a jednání o dohodách) a ex post (sledování a prosazování smluv) náklady. Navrhuje se, aby se zaměstnaly odpovídající deterministické modely pro hodnocení ex ante nákladů a vhodné statistické distribuce pro ex post náklady. Je zřejmé, že obě tyto nákladové kategorie vyžadují kvantifikaci několika parametry souvisejícími s působením kupujících transakcí a nejistoty, charakterizující vztah kupující/prodávající. Proto, aby se správně vyhodnotilo chování kupujícího, je navržen systém fuzzy logiky systému pro syntetizování, začínající od rozsudků expertů, do požadovaných údajů modelu transakčních nákladů. Ukázané simulační experimenty ukazují účinnost navrhovaného modelu při odhadování transakčních nákladů a celkových nákladů spojených s obecnou transakcí.

### ***A fuzzy decision support system to identify establishments with low paid employees in the british economy***

„*Fuzzy rozhodovací systém pro podporu identifikace zařízení s nízkými mzdami zaměstnanců v britské ekonomice*“ (Beynon, Whitfield, 2006) – Britská ekonomika vyžaduje dodržování národní minimální mzdy (NMW). Mohou však existovat podniky, které by mohly platit značnou část svých zaměstnanců nižší

částkou než je NMW. Ty je potřeba identifikovat. V tomto příspěvku je vytvořen fuzzy systém, který pomáhá odhalit tyto podniky. Navíc umožňuje predikci těchto zaměstnanců v daném podniku. Tento systém umožňuje lidštější, lingvistický přístup k problému. Ten může využít i „netechnická“ osoba, která má za úkol vytipovat podniky pro další inspekci. Celý proces snižuje potřebu vlivu subjektivního posudku. Prokázalo se, že systém je vhodným nástrojem k nelezení podniků, která neodměňují své zaměstnance v souladu s NMW.

#### ***The fuzzy approach to estimation of the index of population life quality***

„*Fuzzy přístup k odhadu indexu kvality života obyvatelstva*“ (Imanov, 2007) – V příspěvku je ukázán alternativní přístup k odhadu indexu kvality života, založený na závěrech fuzzy logiky. Fuzzy model se skládá z pěti oblastí, a to sociální, ekonomické, ekologické, přírodně-klimatické, demografické. Na základě popsaného modelu a dat z roku 2004 byl proveden odhad indexu kvality života obyvatel Ázerbájdžánu.

#### ***Term structure of interest rates analysis in the spanish market***

„*Časová struktura úrokových sazeb*“ (Barbera, Garbajosa, Guercio, 2008) – Časová struktura úrokových sazeb (TSIR) umožňuje analyzovat očekávání investorů o budoucích úrokových sazbách. Tato studie provádí srovnávací analýzu TSIR k určení, zda investoři mají měnit svoje očekávání v neklidném finančním vývoji. TSIR byla odhadnuta v červenci 2007 a červenci 2008, za použití fuzzy regrese.

#### ***The use of fuzzy logic in predicting house selling price***

„*Odhad prodejní ceny domu*“ – Ceny bydlení a faktory, které způsobují nepravidelnou změnu této ceny, byly zkoumány po dlouhou dobu řadou odborníků z různých oborů, jako jsou ekonomové, investoři do nemovitostí, geografové. Tržní hodnota se odhaduje přes použití oceňovacích metod a postupů, které odrážejí charakter majetku a okolnosti, za kterých by dané nemovitosti byly obchodovatelné na volném trhu. V literatuře jsou k odhadu trhu s bydlením doporučovány různé metody. V příspěvku (Kusna, Aytekin, Özdemir, 2010) použili k rozhodnutí o prodejní ceně nemovitosti fuzzy logiku.

#### ***New Method to Evaluate Financial Performance of Companies by Fuzzy Logic : Case Study Drug Industry of Iran***

„*Odhad finanční výkonnosti firem*“ – Jeden z hlavních důvodů, který v současné době brání investorům ke vstupu na rozvíjející se trhy, je nejistota z těchto trhů. Chceme-li vybrat vhodné portfolio na trhu cenných papírů, máme k dispozici dvě techniky: fundamentální analýzu a technickou analýzu. K hodnocení finančního stavu organizací byly v různých výzkumech používány různé metody. V článku (Jamali, Tavakkoli, 2010) je investorům na pomoc



k posouzení finanční výkonnosti firmy, ukázána metoda založená na fuzzy logice. Jsou použita data farmaceutického průmyslu z burzy cenných papírů v Teheránu z roku 2007. Podle průzkumu bylo zjištěno, že výsledky získané touto metodou jsou v souladu s očekáváním finančních expertů na akciovém trhu v Íránu.

Uvedené možnosti jsou jen zlomkem možného využití fuzzy logiky v nejrůznějších oblastech na nejrůznějších úrovních rozhodování v oblasti personální, správní, ekonomické, finanční a dalších oblastech. Jak uvádí i české zdroje (Dostál a Rais a Sojka, 2005, s. 49), lze dále vzpomenout odzkoušené projekty jako je: výběr banky klientem za účelem poskytnutí úvěru a půjčky, vyhodnocení bonity klienta bankou pro poskytnutí úvěru nebo půjčky, výběr pojišťovny, spořitelny, kampeličky, fondu, realitního makléře, koupě nemovitosti, pozemku, pronájmu aut atd. Např.:

### ***Úspěšnost podniku a teorie fuzzy množin***

V příspěvku (Suchánek, 2001) je rozebrána problematika úspěšnosti podniku a zejména měření této úspěšnosti. Vychází se z toho, že úspěšnost je poměrně obtížně uchopitelný pojem, díky své nesmírné variabilitě a šíři. Autor dochází dále k závěru, že je potřeba na zkoumání a analýzu úspěšnosti použít metodu, která by byla schopna syntézovat měřitelné a neměřitelné složky úspěšnosti, resp. složky kvantitativní a kvalitativní. Jedna z možností je v aplikaci teorie fuzzy množin.

Na základě předložených výsledků v kapitole 6 a na základě předchozího odstavce:

VĚDECKOU HYPOTÉZU H2 – Fuzzy logiku lze využít k řešení problémů ekonomiky a managementu – NEZAMÍTÁM.

VĚDECKOU HYPOTÉZU H3: Řešení problémů ekonomiky a managementu pomocí fuzzy logiky je přínosné – NEZAMÍTÁM.

## **7.3 Hypotéza H4**

Vědecká hypotéza H4: Problémy v ekonomii a managementu jsou v ČR řešeny pomocí fuzzy logiky.

- V rámci hypotézy 4 jsme zjišťovali, zda jsou problémy v ekonomii a managementu v českých podnicích řešeny pomocí fuzzy logiky (viz. kapitola 6.1). Z celkového počtu 116 odpovědí 37 respondentů přiznalo,

že fuzzy logiku znají. Bude zjišťováno využívání fuzzy logiky jen mezi těmito podniky. K tomu poslouží Tabulka 7.4.

Tabulka 7.4 Využívání fuzzy logiky v českých podnicích (Bezděk, 2013)

| Využívání fuzzy logiky | n  | p (%)  |
|------------------------|----|--------|
| Využíváme              | 12 | 32,43  |
| Nevyužíváme            | 25 | 67,57  |
|                        | 37 | 100,00 |

Důvody, proč není fuzzy logika využívána i v podnicích, kde fuzzy logiku znají, jsou rozebrány v následující Tabulka 7.5.

Tabulka 7.5 Důvody nevyužití fuzzy logiky (Bezděk, 2013)

| Důvody nevyužití fuzzy logiky | n  | p (%)  |
|-------------------------------|----|--------|
| Nenapadlo nás to              | 17 | 68,00  |
| Je pro nás nevýhodná          | 3  | 12,00  |
| Je pro nás složitá            | 1  | 4,00   |
| Jiný důvod                    | 4  | 16,00  |
|                               | 25 | 100,00 |

Podle postupu uvedeného v kap. 5.2.2, budeme testovat statistickou hypotézu:

- 1)  $H_0$ : V České republice jsou problémy v 50 % podniků řešeny pomocí fuzzy.  
 $H_1$ : V České republice nejsou problémy v 50 % podniků řešeny pomocí fuzzy logiky.
- 2) Test dobré shody ( $\chi^2$  - test)
- 3)  $W = (\chi^2_{1-\alpha}(k-1), \infty) = (\chi^2_{0,95}(1), \infty) = (3,84, \infty)$
- 4)  $T = \chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(P_i - O_i)^2}{O_i} = \frac{(12 - 18,5)^2}{18,5} + \frac{(25 - 18,5)^2}{18,5} = 4,56$
- 5)  $T \in W \rightarrow$  zamítám  $H_0$ , přijímám  $H_1$

- 6) Na hladině významnosti 5 procent zamítáme hypotézu, že jsou problémy v České republice řešeny pomocí fuzzy logiky v 50 % podniků. Přijímáme alternativní hypotézu: poměr podniků, které řeší svoje problémy pomocí fuzzy logiky, není 50 %.

Pro představu, kolik procent podniků (z těch, co fuzzy logiku znají) ji používá při řešení problému, bude spočítán intervalový odhad. Odhad odpovědi ANO v rámci těch podniků, které fuzzy logiku znají, na základě našeho výběru podle vzorce:

$$\left( p - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}; p + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \right)$$

$p$  ... poměr kladných odpovědí (v našem výběru 32,43 dle Tabulka 7.4)

$n$  ... počet osob (v našem výběru 37 dle Tabulka 7.4)

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$  ... příslušný kvantil normovaného normálního rozdělení ( $u_{0,975} = 1,96$ )

$$\left( 0,3243 - 1,96 \sqrt{\frac{0,3243 \cdot (1-0,3243)}{37}}; 0,3243 + 1,96 \sqrt{\frac{0,3243 \cdot (1-0,3243)}{37}} \right)$$

$$(0,1735 ; 0,4751)$$

Na 95 % bude poměr podniků, které znají fuzzy logiku a využívají ji při řešení problémů v rozmezí 17,35 % až 47,51 %.

Pro představu, kolik procent všech podniků používá fuzzy logiku při řešení problému, bude spočítán intervalový odhad. Odhad odpovědi ANO v rámci všech podniků, na základě našeho výběru podle vzorce:

$$\left( p - u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}; p + u_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \right)$$

$p$  ... poměr kladných odpovědí (v našem výběru 10,35 dle Tabulka 7.1)

$n$  ... počet osob (v našem výběru 116 dle Tabulka 7.1)

$u_{1-\frac{\alpha}{2}}$  ... příslušný kvantil normovaného normálního rozdělení ( $u_{0,975} = 1,96$ )

$$\left( 0,1035 - 1,96 \sqrt{\frac{0,1035 \cdot (1-0,1035)}{116}}; 0,1035 + 1,96 \sqrt{\frac{0,1035 \cdot (1-0,1035)}{116}} \right)$$

(0,0481 ; 0,1589)

Na 95 % bude poměr podniků v České republice, které využívají fuzzy logiku při řešení problémů v rozmezí 4,81 % až 15,89 %.

Na základě předložených výsledků, z předcházejících odstavců:

VĚDECKOU HYPOTÉZU  $H_4$  – Problémy v ekonomii a managementu jsou v ČR řešeny pomocí fuzzy logiky – ZAMÍTÁM.

Poměr podniků, které využívají fuzzy logiku při řešení problémů je na 95 % v rozmezí 4,81 % až 15,89 %.

Z těch podniků, které fuzzy logiku znají, ji využívá při řešení problémů na 95 % v rozmezí 17,35 % až 47,51 % podniků.

## 8 PŘÍNOSY DISERTAČNÍ PRÁCE

Dílčí závěry výzkumu byly použity při řešení projektu interní grantové agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Závěrečné výsledky budou publikovány v odborných časopisech a na odborných konferencích v České republice, ale i v zahraničí.

### 8.1 Přínosy pro teorii

Z hlediska teorie je hlavním přínosem disertační práce:

- úplný, ucelený přehled pro práci s fuzzy logikou,
- popis nových možností uplatnění fuzzy logiky (při porovnávání, při hodnocení, výběru, práci s databází ...)
- prokázaný přínos fuzzy logiky v otázce např. hodnocení, neboť fuzzy logika při hodnocení je oproti klasickým metodám:
  - rychlejší,
  - kompletnější,
  - uživatelsky příjemnější,
  - spravedlivější,
  - poskytuje kvalitnější výsledky.
- provedený výzkum v otázce využívání fuzzy logiky v českých podnicích,
- vyzkoumány důvody proč fuzzy logika není častěji využívána,
- provedena analýza postoje českých podniků proti konkurenčním silám,
- prokázáno, že české podniky by braly fuzzy logiku jako inovativní řešení svých problémů.

### 8.2 Přínos pro praxi

Součástí řešení disertační práce byl empirický výzkum, který rozšířil poznatky týkající se uplatňování fuzzy logiky v českých podnicích.

Za přínos pro praxi tedy můžeme považovat:

- obeznámení členů oslovených organizací s pojmem fuzzy logika, které může zvýšit povědomí o této problematice,

- zpětnou vazbu pro oslovené organizace, kdy některé z nich si vyžádaly zaslat výsledky průzkumu, popřípadě celou disertační práci,
- navázání konkrétní spolupráce se dvěma organizacemi, které mají zájem o uplatnění fuzzy logiky při řešení některého z vlastních problémů,
- aplikace uplatnění fuzzy logiky při rozhodování, hodnocení, či výběru z databází, které je díky fuzzy logice rychlejší, přesnější a uživatelsky příjemnější,
- konkrétní aplikace využití principů fuzzy logiky při prodeji.

## 9 NÁSTIN DALŠÍHO POKRAČOVÁNÍ PRÁCE

Disertační práce je zaměřená na problematiku využívání fuzzy logiky při řešení problémů ekonomie a managementu. I po obhájení disertační práce bych rád pokračoval ve výzkumu. Nejprve budou osloveni respondenti z jednotlivých firem seznámeni s výsledky dotazníkového šetření a nabídnuta jim spolupráce.

Již dva projekty jsou rozjednány:

- odhad spotřeby elektrické energie při vytápění budov v závislosti na denní době a ročnímu období,
- vstupní diagnóza nově příchozího pacienta pomocí fuzzy logiky.

Osobní zájem bych rád zaměřil na:

- posouzení vhodnosti využití principů fuzzy logiky na akciovém trhu.

A na doporučení pana profesora Molnára bych rád prozkoumal:

- využití fuzzy logiky při měření konkurenceschopnosti podniku.

## ZÁVĚR

Disertační práce je zaměřena na výzkum uplatnění fuzzy logiky při řešení problémů ekonomiky a managementu. Jako celek má přispět ke zlepšení stavu dané problematiky v podmínkách České republiky vytvořením teoretických a praktických základů pro práci s fuzzy logikou.

V disertační práci jsou naplněny tyto hlavní cíle:

- V teoretické části práce jsou na základě literární rešerše definovány základní pojmy fuzzy logiky.
- Dotazníkovým šetřením bylo zmapováno, jak je využívána fuzzy logika v českých podnicích a co brání jejímu většímu využití. Ze šetření vyplynulo, že se fuzzy logika v českém prostředí nevyužívá. Na druhou stranu se prokázalo, že české podniky by jako inovativní řešení svých problémů fuzzy logiku akceptovaly.
- Analyzováním informačních zdrojů bylo prokázáno přínosné uplatnění fuzzy logiky při řešení problémů ekonomiky a managementu.
- Na 8 případových studiích z praxe byla fuzzy logika ukázána jako vhodnější metoda k řešení, než doposud používané metody.

Důvodem, proč podniky fuzzy logiku nevyužívají, je z největší části její neznalost, následně absence odborníků, kteří by byli schopni v podnikové praxi fuzzy logiku zavádět a v neposlední řadě neochota či nedůvěra zaměstnanců učit se něčemu novému. Hlavním problémem zavádění fuzzy logiky do praxe je tedy lidský faktor.



# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

## Použité monografie a odborné publikace

BOJADZIEV, George a Maria BOJADZIEV. *Fuzzy Logic for Business, Finance, and Management*. 2nd Edition. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2007. 232 s. ISBN 13978-981-270-649-2

COX, Earl D. *Fuzzy Logic for Business and Industry*. 1.vyd. Rockland: Charles River Media, 1995. ISBN 18-868-0101-0.

DOSTÁL, Petr. *Pokročilé metody manažerského rozhodování*, Praha: Grada, 2005. 166 s. ISBN 8024713381

DOSTÁL, Petr. *Pokročilé metody analýz a modelování v podnikatelské a veřejné správě*. Brno : Akademické nakladatelství CERM. 2008. 340 s. ISBN 978-80-7204-605-8.

DOSTÁL, Petr a Karel RAIS a Zdeněk SOJKA. *Pokročilé metody manažerského rozhodování: konkrétní příklady využití metod v praxi*. Praha : Grada, 2005. 166 s. ISBN 80-247-1338-1

FOTR, Jiří, et al. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. Praha : Ekopress, 2006. 409 s. ISBN 80-86929-15-9.

FULLÉR, Robert. *Neural Fuzzy Systems*. Åbo Akademi University. 1995. 348 s. ISBN 951-650-624-0. Digitální kopie ve formátu PDF dostupná také z (URL): <http://users.abo.fi/rfuller/ln1.pdf>

HAVEN, Emmanuel. *The use of fuzzy set theory in economics applications in micro-economics and finance*. Ottawa: National Library of Canada = Bibliothèque nationale du Canada, 1996. ISBN 06-121-2034-1.

CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu: základy kvantitativního výzkumu*. Praha: Grada. 2007. ISBN 978-80-247-1369-4.

JURA, Pavel. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. vydání první. Brno : VUITUM. 2003. 132 s. ISBN 80-214-2261-0.

KLÍMEK, Petr a Pavel STRÍŽ a Roman KASAL. *Počítačové zpracování dat v programu Statistica: studijní pomůcka pro distanční studium*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2006, 92 s. ISBN 80-731-8379-X.

KOSKO, Bart. *Fuzzy thinking: the new science of fuzzy logic*. New York: Hyperion, 1993. ISBN 07-868-8021-X.

LADOVÁ, Janka. *Chytře na peníze: studijní opora e-learningového kurzu vzdělávacího programu Pracujeme chytřeji*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2008, 64 s. ISBN 978-80-7318-713-2.

NENADÁL, Jaroslav. *Management partnerství s dodavateli: nové perspektivy firemního nakupování*. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2006, 323 s. ISBN 80-

726-1152-6.

NOVÁK, Vilém. *Základy fuzzy modelování*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura. 2000. 161 s. ISBN 80-7300-009-1.

PAVELKA, František a Petr KLÍMEK. *Aplikovaná statistika*. Zlín: FaME VUT, 2000, 131 s. ISBN 8021415452.

PAVELKOVÁ, Drahomíra a Adriana KNÁPKOVÁ. *Výkonnost podniku z pohledu finančního manažera*. 3. vyd. Praha: Linde, 2012, 333 s. ISBN 978-80-7201-872-7.

PORTER, Michael E. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. New York: Free Press, 1980. ISBN 978-0684841489

ŘEZANKOVÁ, Hana. *Analýza dat z dotazníkových šetření*. Praha: Professional Publishing, 2007, 212 s. ISBN 978-80-86946-49-8.

VON ALTROCK, Constantin. *Fuzzy logic and neuroFuzzy applications in business and finance*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall PTR, c1997, x, 375 p. ISBN 01-359-1512-0.

VYSOKÝ, Petr. *Fuzzy řízení*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT. 1996. 131 s. ISBN 80-01-01429-8.

ZIMMERMANN, H. *Fuzzy set theory: and its applications*. 4th ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, c2001, xxv, 514 s. ISBN 07-923-7435-5.

ZOPOUNIDIS, Constantin a PARDALOS a George BAOURAKIS. *Fuzzy sets in management, economics, and marketing*. River Edge, N.J.: World Scientific, c2001, xiii, 269 p. ISBN 98-102-4753-2.

### **Použité vědecké práce:**

BEZDĚK, Václav. *Testování generátorů náhodných čísel*. Praha, 2001. Diplomová práce. Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky. Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Jaromír Antoch, CSc.

HALÁSEK, Tomáš. *Využití teorie fuzzy množin při rozhodování*. Ostrava, 1996. Diplomová práce. VŠB – Fakulta Strojní. Vedoucí práce Prof. Ing. Antonín Víteček, CSc.

HRNČÍŘOVÁ, Jaroslava.. *Aplikace fuzzy logiky při hodnocení dodavatelů firmy*. Brno. 2007. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta Podnikatelská, Ústav Ekonomiky. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Dostál, CSc. Dostupné z: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=379](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=379)>.

KREMLÁČEK, Petr. *Možnosti využití fuzzy logiky ve firmách*. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta Podnikatelská, Ústav Managementu. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Dostál, CSc. Dostupné z: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=14962](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14962)>.

PEŘINKA, Zdeněk. *Vyhodnocení dodavatelského rizika s pomocí fuzzy logiky*. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta Podnikatelská, Ústav Managementu. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Dostál, CSc.

PUKAJ, Marek. *Aplikace fuzzy logiky pro hodnocení kvality zákazníků*. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT v Brně, Fakulta podnikatelská, ústav Managementu. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Dostál, CSc. Dostupné z: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=14577](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14577)>.

SLABÝ, Jiří. *A fuzzy logic approach to property searching in a property database*. Praha, 2008. Disertační práce. ČVUT Praha, Fakulta stavební, Ústav aplikované informatiky. Vedoucí práce Prof. Ing. Zdeněk Molnár, CSc.

TALÁŠEK, Tomáš. *Fuzzy modely založené na bázích pravidel a jejich aplikace*, Olomouc, 2012. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Katedra matematické analýzy a aplikací matematiky. Vedoucí práce doc. RNDr. Jana Talašová, CSc.

### **Použité vědecké články :**

BARBERA MARINE, M.G., GARBAJOSA CABELLO, M.J., GUERCIO, M.B., 2008, Term structure of interest rates analysis in the spanish market, *Fuzzy Economic Review*, 2008, vol. XIII, iss. 2, s. 53-62 . ISSN 1136-0593

BEYNON, M.J., WHITFIELD, K. A fuzzy decision support system to identify establishments with low paid employees in the british economy, *Fuzzy Economic Review*, 2006, vol. XI, issue 2, s. 66-88.

CASILLAS, J., MARTÍNEZ, F.J, MARTÍNEZ-LÓPEZ, F.J, 2004, Fuzzy association rules for estimating consumer behavior models and their its application to explaining trust in internet shopping. *Fuzzy Economic Review*, 2004, vol. IX, issue 2, s. 3-26. ISSN 1136-0593

CONSTANTINO, N., DOTOLI, M., FALAGARIO, M., FANTI, M.P, IACOBELLIS, G., 2006 Evaluating the total costs of purchasing via probabilistic and fuzzy reasoning, *Fuzzy Economic Review*, 2006, vol. XI, issue 1, s. 69-92. ISSN 1136-0593

ČEMERKOVÁ, Š. a CHOBOTÁ, M. Zavedení inovace do systému řízení v kontextu fuzzy množin. In: *Podmínky podnikatelské úspěšnosti inovace*. Praha. 2006. ISBN 978-80-86744-57-5. Dostupné z: [http://www.svses.cz/skola/akce/konf/inovace06/texty/cemerková\\_chobotova.pdf](http://www.svses.cz/skola/akce/konf/inovace06/texty/cemerкова_chobotova.pdf)

DAVIDOVÁ, Olga. Diagnostikování stavu objektu s využitím fuzzy logiky. *Automa: Časopis pro automatizační techniku* 2001. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au110152.pdf>. ISSN 1210-9592.

DOSTÁL, Petr, ORGONÍK, Martin. Využití fuzzy logiky pro rozhodování o formě řešení obchodně-právních sporů, Dny práva – 2009 – Days of Law: the Conference Proceedings, 1. edition. Brno : Masaryk University, 2009, ISBN 978-80-210-4990-1

IMANOV, G. The fuzzy approach to estimation of the index of population life quality, *Fuzzy Economic Review*, 2007, vol. XII, issue 2, s. 85-93. ISSN 1136-0593

JAMALI, A., TAVAKKOLI, M., New Method to Evaluate Financial Performance of Companies by Fuzzy Logic: Case Study Drug Industry of Iran, *Asia Pacific Journal of Finance and Nankiny*. Research vol 4, No 4., 2010. pp 15-24

KOLAŘÍK, M, 2009. Fuzzy logika na operačním sále. *Žurnál: Univerzity Palackého v Olomouci*. 27. březen 2009, roč. 18, č.21, s. 5. Dostupný z: <http://www.upol.cz/fileadmin/zuparchiv/XVIII/cislo21.pdf>.

KORNER, S. *Laws of thought, Encyclopedia of Philosophy*, MacMillan, New York. 1967. Vol. 4, s. 414-417.

KUSAN, H., AYTEKIN, O., ÖZDEMİR, I. The use of fuzzy logic in predicting house selling price, *Expert Systems with Applications*, vol. 37, Issue 3, 15 March 2010, pp. 1808-1813

LARSEN P. M. Industrial Applications of Fuzzy Logic Control. *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 12, 1980. pp. 3-10.

LEEKWIJCK, V.W a E.E.KERRE., Defuzzification: criteria and classification. *Fuzzy sets and system*. 1999, vol. 108. issue 2, s. 159-178

MAMDANI, E.H., Assilian, S. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Human-Computer Studies*. 1999.

vol. 51, no. 2. s. 135-147.

MICHALOPOULOS, M., THOMAIDIS, N., DOUNAIAS, D ZOPOINIDIS, C. Using a Fuzzy sets approach to select a portfolio of Greek government bonds. 2004. *Fuzzy Economic Review*, vol. IX, issue 2, s. 27-48. ISSN 1136-0593

MILLER G.A. The magical number seven, plus or minus two: Some limits of our capacity of processing information. *Psychol. Rew.* 1956. 63, 2, 81-97

MISÁK, Petr a Tomáš VYMAZAL. Výpočet odhadů pevnostních charakteristik betonu pomocí fuzzy inference systému. In *JUNIORSTAV 2007*. Brno: VUT v Brně, Fakulta Stavební. Dostupné z: [http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce\\_2.5/Misak\\_Petr\\_CL.pdf](http://www.fce.vutbr.cz/veda/JUNIORSTAV2007/Sekce_2.5/Misak_Petr_CL.pdf)

MOLNÁR Zdeněk. *Úvod do základů vědecké práce, Syllabus pro potřeby semináře doktorandů*. 2011. Zlín: FAME UTB. Dostupné z: [http://web.fame.utb.cz/cs/docs/Z\\_klady\\_v\\_deck\\_pr\\_ce.doc](http://web.fame.utb.cz/cs/docs/Z_klady_v_deck_pr_ce.doc)

MULLOR, J.R., SANSALVADOR, M. E., TRIGUEROS, Pina J. A. Valuation of efficiency under conditions of uncertainty and subjectivity. *Fuzzy Economic Review*, 2002, vol. VII, issue 1, pages 81-96. ISSN 1136-0593

NAIT-SAID, R., LOUIKA, H. Application of probabilistic fuzzy set to subjective workload assessment, *Fuzzy Economic Review*, 2004, vol. IX, issue 2, pages 75-112. ISSN 1136-0593

NORMA ČSN EN ISO 9004 Systémy managementu jakosti – Směrnice pro zlepšování výkonnosti. Praha, Český normalizační institut, březen 2002.

PAZZI, J., TOHMÉ, F. A Fuzzy characterization of uncertainty in financial crises, *Fuzzy Economic Review*, 2005, vol. X, issue 2, s. 61-70. ISSN 1136-0593

RUSSEL, Bertrand. Vagueness, *Australian Journal of Psychology and Philosophy*, 1923. s. 84-92.

SANTOYO, F.G., ROMERO, B.F., FARIAS, M.CH., FLORE, J.J. Uncertainty theory applied to optimal selection of personnel in an enterprise, *Fuzzy Economic Review*, 2004, vol. IX, issue 2, pages 75-92. ISSN 1136-0593

SCHJAER-JACOBSEN, H., 2004, Modeling of economic uncertainty, *Fuzzy Economic Review*, vol. IX, issue 2, pages 49-73. ISSN 1136-0593

SUGENO M. a TAKAGI T. Fuzzy Identification of Systems and its Application to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1985. vol. 1, no. 15, pp. 116-132.

SUCHÁNEK, Petr. Úspěšnost podniku a teorie fuzzy množin. In *Faktory úspěšnosti podniku*. 1. vyd. Brno: MU ESF, 2001. s. 140-148. 1. ISBN 80-210-2708-8.

ZADEH, L.A, 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*. Issue 3, Volume 8, s.

**Použité internetové zdroje:**

*ARES - Administrativní registr ekonomických subjektů*. [cit. 2013-02-01].  
Dostupné z : <http://www.info.mfcr.cz/ares/>

BRULE, J.B. *Fuzzy systems - A tutorial* [online] 2.1.1992. Dostupné z:  
<http://www.cs.cmu.edu/Groups/AI/html/doc/fuzzy.html>

MORÁVEK, Daniel. 3 věci, kterými Tomáš Baťa inspiruje podnikatele do dnešních dnů, [online]. [cit. 2013 11-11]. 11.6.2013 Dostupné z:  
<http://www.podnikatel.cz/clanky/3-veci-kterymi-tomas-bata-inspiruje-podnikatele-do-dnesnich-dni/>

SHIH-MING L., KUO-LUNG L., SUSHIL G. *Economic Decision Making Using Fuzzy Numbers*, 2010 Dostupné z:  
[http://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/002/POMS\\_CD/Browse%20This%20CD/PAPERS/002-0634.pdf](http://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/002/POMS_CD/Browse%20This%20CD/PAPERS/002-0634.pdf)

## SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

BEZDĚK, Václav. *Možnosti využití fuzzy logiky při rozhodování*. In: Internet, Competitiveness and Organizational Security: XIII Annual International Conference. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2011a, s. 18-38. ISBN 978-80-7454-012-7.

BEZDĚK, Václav. *Porovnávání 50 českých měst pomocí fuzzy logiky*. Systémová integrace [online]. 2011b, roč. 2011, č. 3. ISSN 1804-2716. Dostupné z: <http://www.cssi.cz/cssi/porovnavan-50-ceskych-mest-pomoci-fuzzy-logiky>

BEZDĚK Václav a Zdeněk MOLNÁR. *Possible use of fuzzy logic in database*. Security Revue [online]. June 2011. ISSN 1336-9717. Dostupné z: <http://www.securityrevue.com/article/2011/06/possible-use-of-fuzzy-logic-in-database/>

BEZDĚK, Václav. *Decision-making procedure in the evaluation of students that uses fuzzy logic*. In: Mezinárodní workshop doktorandských prací. Brno: VUT v Brně, Fakulta podnikatelská Brno, 2012a, Česká republika, 23.11.2012, 6 stran. ISBN 978-80-214-4632-8.

BEZDĚK, Václav. *Využití fuzzy logiky při hodnocení*. Systémová integrace [online]. 2012b, roč. 2012, č. 4, s. 19 [cit. 2013-08-02]. Dostupné z: <http://www.cssi.cz/cssi/vyuziti-fuzzy-logiky-pri-hodnoceni>

BEZDĚK, Václav. *Comparison of Anti-Virus Programs using Fuzzy Logic*. Journal of Systems Integration [online]. 2013a, roč. 2013, No.3, s. 12 [cit. 2013-08-02]. Dostupné z: <http://www.si-journal.org/index.php/JSI/article/view/160>

BEZDĚK, Václav. *Using fuzzy logic in business – SIM 2013 – Challenges and innovation in management and leadership – 11.-12. říjen 2013, Temešvár Rumunsko 2013b*,

BILÍKOVÁ Jana, TARABA Pavel a Václav BEZDĚK. *Holistic Management and the Selection of Members of Corporate Governance Authorities of Organisations in the Czech Republic*. In: /AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research./ 2013, \*3 \*(1), s. 8-11. ISSN 1804-7890.

BEZDĚK, Václav. *Využití principů fuzzy logiky při obchodování – Scientia et Societas 02/2014 – v tisku – vyjde v červenci 2014*

# CURRICULUM VITAE AUTORA

Mgr. Václav Bezděk

Datum narození: 14.01.1978  
Bydliště: Svatováclavská 384, Uherské Hradiště  
Telefon: 603 913 928  
Rodinný stav: ženatý  
E-mail: [bezdek@fai.utb.cz](mailto:bezdek@fai.utb.cz)

## *Dosažené vzdělání:*

2008 – dosud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta managementu a ekonomiky, *doktorský studijní program* Ekonomika a management, obor Management a ekonomika  
1996 – 2001 Matematicko-fyzikální fakulta Univerzita Karlovy v Praze *magisterský studijní program* Matematická statistika  
1992 – 1996 Gymnázium Uherské Hradiště

## *Průběh zaměstnání:*

2006 – doposud Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky Ústav matematiky – lektor  
výuka předmětů:  
Statistika (2. ročník – garance, přednášky a cvičení pro denní i kombinované studium)  
Matematické základy řízení rizik (4. ročník – garance, přednášky a cvičení pro denní i kombinované studium)  
Matematika I – (1. ročník cvičení)  
Matematika II – (1. ročník cvičení)  
2005 – 2006 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Technologická fakulta, Ústav matematiky – lektor  
2002 – 2004 Sportovní škola v Uherském Hradišti, učitel matematika-tělocvik

V Uherském Hradišti dne 1. března 2014



# SEZNAM PŘÍLOH

## Příloha A - Dotazník kvantitativního průzkumu

Vážená paní / Vážený pane,

jmenuji se Václav Bezděk a jsem studentem doktorského studijního programu Fakulty managementu a ekonomiky, Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

V rámci tématu své disertační práce se věnuji problematice uplatnění fuzzy logiky při řešení problémů v ekonomiky a managementu. Důležitou součástí disertační práce je aplikovaný terénní výzkum mapující **současný stav využívání fuzzy logiky v organizacích** působících v České republice.

Tímto bych Vás rád požádal jako zástupce z řad odborné veřejnosti o vyplnění přiloženého dotazníku. **Zdůrazňuji, že dotazník je anonymní.** Získané informace budou statisticky zpracovány a použity pouze pro účely disertační práce.

Děkuji Vám za ochotu a spolupráci.

Mgr. Václav Bezděk  
Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
tel.: 603 913 928  
e-mail: bezdek@fai.utb.cz

### 1.) Typ organizace:

- Česká                                       Evropská                                       Světová

### 2.) Velikost organizace:

- 0 – 9 zaměstnanců                                       10 – 49 zaměstnanců  
 50 – 249 zaměstnanců                                       250 zaměstnanců a více

### 3.) Oblast podnikání, ve které organizace působí:

- průmysl                                       stavebnictví                                       doprava  
 energetika                                       obchod                                       cestovní ruch  
 finanční sektor                                       vzdělávání                                       zdravotnictví

Jiná:.....

### 4.) Vaše pozice ve firmě ?

- Majitel                                       Ředitel                                       Manažer  
 Vedoucí                                       Zaměstnanec                                       Jiné .....

**5.)** Které problémy jsou při řízení Vaší organizace nejaktuálnější ?

( 1 - Plně souhlasím, 5 - Plně nesouhlasím)

a) Velká konkurence

1       2       3       4       5

b) Malý odbyt

1       2       3       4       5

c) Velké náklady

1       2       3       4       5

d) Malé zisky

1       2       3       4       5

e) Málo zákazníků

1       2       3       4       5

f) Málo času na kvalitní práci

1       2       3       4       5

g) Jiné .....

1       2       3       4       5

**6.)** Znáte pojem fuzzy logika ?

Ano

Ne

**7.)** Setkal jste se někdy s výrobkem (systémem, procesem...) využívající principů fuzzy logiky? (pračka, myčka nádobí, fotoaparát, klimatizace....)

Ano

Ne

**8.)** Využívá Vaše organizace při své činnosti principů fuzzy logiky ?

Nevím, nemám informace

Ano

Kde ?

Příklad

Proces

Systém

Jiné .....

Ne

Proč ?

Neznáme fuzzy logiku

Nenapadlo nás využít fuzzy logiku

Fuzzy logiku je pro nás nevýhodná

Fuzzy logika je pro nás složitá

Jiné .....

9.) Pokud využíváte fuzzy logiku, popište prosím, jaké výhody Vaší organizaci to přináší ?

.....

10.) Které oblasti vidíte při činnosti Vaší organizace jako problematické ?

- a.) Výběr správných dodavatelů  
 1       2       3       4       5
- b.) Výběr správných zaměstnanců  
 1       2       3       4       5
- c.) Efektivita obsluhy zákazníka  
 1       2       3       4       5
- d.) Výběr nejvhodnější investice  
 1       2       3       4       5
- e.) Zhodnocení investičního rizika  
 1       2       3       4       5
- f.) Volba obchodních partnerů  
 1       2       3       4       5
- g.) Zhodnocení bonity klienta  
 1       2       3       4       5
- h.) Volba prémie pro zaměstnance  
 1       2       3       4       5
- i.) Jiné .....  
 1       2       3       4       5

11.) Některé problémy jdou vyřešit lépe při využití principů fuzzy logiky. Které z nabízených možností by podle Vás Vaše organizaci uvítala :

( 1 - Plně souhlasím, 5 - Plně nesouhlasím)

- a.) Úsporu času při rozhodovacích procesech  
 1       2       3       4       5
- b.) Zkvalitnění rozhodovacích procesů  
 1       2       3       4       5
- c.) Zkvalitnění hodnotících procesů  
 1       2       3       4       5
- d.) Rychlejší obsluha zákazníka  
 1       2       3       4       5
- e.) Jiné .....

1       2       3       4       5

**Děkuji Vám za Váš čas.**

Výsledky vyhodnocení dotazníkového průzkumu Vám v případě Vašeho zájmu zašlu.