

# Využití fuzzy logiky v systému Balanced Scorecard

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B6208 – Ekonomika a management

*Studijní obor:* 6208R085 – Podniková ekonomika

*Autor práce:* **Stanislav Mašek**

*Vedoucí práce:* Ing. Zbyněk Hubínka

**Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta**

<b>PŘEDKLÁDÁ:</b>	<b>ADRESA</b>	<b>OSOBNÍ ČÍSLO</b>
Mašek Stanislav	Vysoká 36 36, Jablonec nad Nisou - Jablonecké Paseky	E14000078

**TÉMA ČESKY:**

Využití fuzzy logiky v systému Balanced Scorecard

**TÉMA ANGLICKY:**

The Usage of Fuzzy Logic in Balanced Scorecard System

**VEDOUCÍ PRÁCE:**

Ing. Zbyněk Hubínka - KIN

**ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Aktuální poznatky o BSC a fuzzy logice
2. Systém BSC a možnosti jeho využití v managementu
3. Použití fuzzy logiky v ekonomických aplikacích
4. Řešení konkrétního problému v systému BSC pomocí fuzzy logiky
5. Zhodnocení práce

**SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:**

Elektronická databáze článků ProQuest (knihovna.tul.cz)

KAPLAN, Robert S. a David P. NORTON. Alignment: systémové vyladění organizace: jak využít Balanced Scorecard k vytváření synergií. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2006. Knihovna světového managementu. ISBN 80-7261-155-0

MENŠÍK, Michal a Miroslav POKORNÝ. Fuzzy Approaches Applied into Balanced Scorecard Customer Perspective. In ICAICTE Congerence Proceedings, Pp: 848-856. Hainan: ATLANTIS PRESS, PARIS 2014

MOHAN, Chander. An introduction to fuzzy set theory and fuzzy logic. London: MV Learning, 2015. ISBN 978-81-309-2751-0.

OLEJ, Vladimír a Petr HÁJEK. Úvod do umělé inteligence: klasická umělá inteligence: distanční opora. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. 112 s. ISBN 978-80-7395-241-9

ORTEGA, M., AVILA, G. a GOMEZ, J. M. Framework to Design a Business Intelligence Solution. in ICT Innovations Conference Proceedings, Ohrid: SPRINGER-VERLAG BERLIN 2011. ISSN 1865-0929

Konzultant bakalářské práce: Ing. Zdeněk Škoda, zaměstnavatel: PYRAMID, s.r.o.

**Podpis studenta:** .....

**Datum:** .....

**Podpis vedoucího práce:** .....

**Datum:** .....

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi využití fuzzy logiky v ekonomii. Matematika v některých oblastech popisování ekonomické reality selhává, protože není schopna pojmut komplexnost lidského chápání. Obtížné je tak popsat např. procesy obsahující faktor neurčitosti, lidské intuitivní chování a pocity. Určitou část těchto problémů je dnes možné vyřešit pomocí pokročilé analytické metody, tzv. fuzzy logiky, která je do jisté míry schopna přiblížit se v některých věcech lidskému myšlení. V této práci jsou představeny možnosti využití fuzzy logiky v ekonomii. Jako příklad pro využití v praxi byl vybrán systém Balanced Scorecard (BSC), který slouží manažerům k měření výkonnosti podniku. Cílem práce je upozornit na možnosti využití fuzzy logiky v oblasti ekonomie a demonstrovat na konkrétním příkladu z praxe její použitelnost.

Klíčová slova: fuzzy logika, systém Balanced Scorecard, neurčitost, dodavatel, expertní systém

# **Annotation**

## **The Usage of Fuzzy Logic in Balanced Scorecard System**

This bachelor thesis deals with the use of fuzzy logic in economics. In some areas of mathematics describing economic reality fails because it is unable to encompass the complexity of human understanding. Hence, it is so difficult to describe things such as processes containing a factor of uncertainty, intuitive human behavior and feelings. Nowadays, some of these problems can be solved by using advanced analytical method, so-called fuzzy logic which is to certain extent able to get closer to the human mind in certain areas. As an example of how it is used in practice the Balanced Scorecard (BSC) has been chosen. It serves managers to measure the performance of the enterprise. In the BSC, the thesis focuses on the area of financial perspective, where a fuzzy expert system is established to determine the suitability of the supplier. The aim is to draw attention to the use of fuzzy logic in economics and demonstrate a concrete example of its practical usefulness.

Keywords: fuzzy logic, the Balanced Scorecard, uncertainty, supplier, expert system

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Zbyňkovi Hubínkovi, za jeho odborné vedení, cenné rady a připomínky k práci. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Zdeňku Škodovi, za poskytnuté informace a možnost zpracovat tuto práci v jeho podniku.

# Obsah

Seznam ilustrací.....	10
Seznam tabulek .....	11
Seznam zkratk.....	12
Úvod .....	13
1 Aktuální poznatky o systému BSC a fuzzy logice .....	15
2 Systém BSC a jeho využití v managementu.....	17
2.1 Rozbor základního schématu metody BSC .....	18
2.1.1 Finanční perspektiva.....	18
2.1.2 Zákaznická perspektiva.....	18
2.1.3 Perspektiva interních procesů.....	18
2.1.4 Perspektiva učení se a růstu.....	19
3 Využití fuzzy logiky v ekonomických aplikacích.....	20
3.1 Úvod do fuzzy logiky.....	21
3.1.1 Fuzzifikace .....	21
3.1.2 Vlastnosti funkce příslušnosti.....	22
3.1.3 Známé funkce příslušnosti.....	23
3.2 Fuzzy inference.....	24
3.2.1 Pravidlo fuzzy implikace .....	24
3.2.2 Implikační metoda typu Mamdani .....	25
3.3 Defuzzifikace.....	26
3.3.1 Metoda středu těžiště .....	26
3.4 Člověk vs. počítačový systém .....	27
4 Fuzzy expertní systém pro stanovení vhodnosti dodavatele v podniku PYRAMID, s.r.o. ....	28
4.1 Představení firmy .....	28
4.1.1 Dodavatelé PYRAMIDu .....	29
4.2 Popis situace a řešení problému .....	31
4.2.1 Představení programu MATLAB .....	31
4.2.2 Postup při tvorbě expertního systému.....	32
4.3 Výběr jazykových proměnných.....	33
4.4 Zavedení hodnot vstupních a výstupní proměnné.....	34
4.5 Tvorba vstupních a výstupní proměnné.....	35



4.6 Tvorba funkcí příslušnosti.....	36
4.7 Tvorba výstupní funkce příslušnosti.....	37
4.8 Tvorba IF-THEN pravidel.....	38
4.9 Vyhodnocení vhodnosti jednotlivých dodavatelů.....	39
4.9.1 Surface Viewer.....	40
4.10 Porovnání odhadů experta a výsledků fuzzy expertního systému.....	41
Závěr.....	42
Citace.....	43
Bibliografie.....	45

## Seznam ilustrací

Obr. 1: Základní schéma metody BSC (Vysušil, 2004, s. 18) .....	17
Obr. 2: Vlastnosti funkce příslušnosti (Mohan, 2015, s. 18) .....	22
Obr. 3: Trojúhelníková funkce příslušnosti (Mohan, 2015, s. 19) .....	23
Obr. 4: Lichoběžníková funkce příslušnosti (Mohan, 2015, s. 20) .....	24
Obr. 5: Protex antibakteriální mýdlo 90g .....	31
Obr. 6: Okno popisu systému (vlastní zpracování) .....	35
Obr. 7: Okno pro tvorbu vstupních jazykových proměnných (vlastní zpracování) .....	36
Obr. 8: Tvorba výstupní jazykové proměnné (vlastní zpracování) .....	37
Obr. 9: Okno pro editaci pravidel expertního systému (vlastní zpracování) .....	38
Obr. 10: Simulace vhodnosti dodavatele ESPACE velkoobchod drogerie, s.r.o. (vlastní zpracování) .....	39
Obr. 11: Surface Viewer (vlastní zpracování) .....	40

## Seznam tabulek

Tab. 1: Parametry fuzzy množin .....	34
Tab. 2: Výsledky hodnocení expertního systému .....	41

## **Seznam zkratek**

BSC – Balanced Scorecard

COG – Center of Gravity

DOS – dostatečný

FIS – fuzzy inferenční systém

FL – fuzzy logika

KOM – komunikace

NAD – nadprůměrná

NHO – nákupní hodnota

NIZ – nízká

PRU – průměrný

STR – střední

UCH – ucházející

VHD – vhodnost dodavatele

VYN – vynikající

VYS – vysoký

ZNN – znevýhodněný nákup

# Úvod

Čím dál více podniků v dnešní době používá pro své nejrůznější potřeby speciální počítačové systémy, které mají usnadnit rozhodování manažerům a ostatním zaměstnancům podniku. Faktem je, že určitá forma umělé inteligence se dnes nachází až na výjimky skoro v každém podniku. Čím dále více podniků využívá pro tvorbu svých dlouhodobých plánů a strategií nejrůznější počítačové systémy, kde jsou složité matematické výpočty prováděny umělou inteligencí. Do oblasti umělé inteligence spadá i tzv. fuzzy logika, která umí pracovat s pojmy, které byly dříve pro umělou inteligenci neuchopitelné. Mezi člověkem a umělou inteligencí se nachází obrovská propast v podobě emocí, lidského usuzování a vyhodnocování situací obsahujících prvek neurčitosti. S trochou nadsázky lze říci, že fuzzy logika do jisté míry tuto propastnou mezeru vyplňuje. Tato práce zkoumá možnosti využití fuzzy logiky v ekonomii.

Téma bylo zvoleno s ohledem na fakt, že oblasti umělé inteligence, jako je fuzzy logika, jsou nyní v rozmachu a je velmi pravděpodobné, že v blízké budoucnosti využití umělé inteligence v oblasti podnikových procesů ještě stoupne. V oblastech, jako třeba strojírenství nebo inženýrství je fuzzy logika již poměrně rozvinutá, a tak je velmi pravděpodobné, že pokud máte doma moderní dražší pračku, bude ji tato pračka využívat. Tato část umělé inteligence v sobě skrývá značný potenciál a na základě prostudované literatury se autor domnívá, že právě fuzzy logika posune vývoj umělé inteligence o stupínek výš.

Cílem práce je upozornit na možnosti využití fuzzy logiky v oblasti ekonomie a demonstrovat na příkladu z praxe její přínosnost. Praktická část práce se zaměřuje na systém Balanced Scorecard, který slouží manažerům k měření výkonnosti podniku. Tento systém se skládá ze čtyř perspektiv – finanční, zákaznické, interních procesů, učení se a růstu. Vzhledem k náročnosti tématu se práce zaměřuje pouze na jednu z těchto perspektiv, a to finanční, která je rozsáhlá a zabývá se tvorbou fuzzy expertního systému pro stanovení vhodnosti dodavatele v podniku PYRAMID, s.r.o. Pro tvorbu expertního systému byl vybrán program MATLAB, verze R2017a.

V úvodu se práce zabývá aktuálními poznatky o systému Balanced Scorecard a fuzzy logice, dále následuje část zabývající se popisem BSC a jeho využitím v managementu. Pátá část práce je rozdělena do dvou částí. Tu první tvoří problematika využití fuzzy logiky v ekonomických aplikacích, která se skládá z nezbytného úvodu do fuzzy logiky a popisu expertního systému.

Druhá část se zabývá tvorbou výše zmíněného expertního systému, který svým obsahem spadá pod oblast finanční perspektivy systému Balanced Scorecard. Zde je nutno podotknout, že vzhledem k tomu, že tato práce si klade za cíl upozornit na možnosti využití fuzzy logiky v ekonomii a demonstrovat její využitelnost na konkrétním případě, se tato práce nebude nijak zvlášť dopodrobna zabývat systémem Balanced Scorecard. V závěru autor probírá výsledky a přínos své práce a nastiňuje možný vývoj a uplatnění fuzzy logiky v oblasti ekonomie.

# 1 Aktuální poznatky o systému BSC a fuzzy logice

Balanced Scorecard (BSC) je systém, který slouží manažerům k měření výkonnosti podniku. Tento systém měří výkonnost podniku pomocí čtyř vyvážených perspektiv. Jedná se o perspektivy finanční, zákaznické, interních podnikových procesů a učení se a růstu. Díky BSC je možné převést vizi a strategii podniku do uceleného a srozumitelného souboru měřítek finanční i nefinanční výkonnosti. Podnik tak pomocí BSC získá rámec pro posouzení (své) podnikové strategie a systému řízení (Kaplan, 2007).

Ve své knize Metoda Balanced Scorecard v souvislostech (2004) mluví prof. Vyskočil o problematice turbulentní ekonomiky, která je charakterizována jako nelineární a nevypočitatelná. Je ale možné ji předvídat a analyzovat. Největší ropná krize roku 1973 dala vznik výše zmiňované turbulentní ekonomice. Ihned tak vyšlo najevo, že finanční účetnictví a účetní výkazy jsou vlastně pohledem dozadu, tedy minulostí, která už nestačí plnit zvýšené nároky tvorby a konkurenční náročnosti. Odborníci tak začali hledat nové pohledy zaměřené dopředu. Tak postupem času vzniklo manažerské účetnictví, controlling, procesní řízení a reinženýring. BSC je nový a mnohem dokonalejší návrh systému řízení, který navíc oproti výše zmíněným čtyřem metodám bere v potaz i podnikovou vizi a strategii.

Dle teorie je ekonomie interdisciplinární věda na pomezí přírodních a společenských věd. Ekonomická realita může být popsána pomocí nejrůznějších matematických disciplín. Problém je ale v tom, že některé ekonomické teorie modelují ekonomickou realitu neúspěšně nebo nepřesně. To je zapříčiněno „ostrou“ matematikou. Např. klasická teorie množin používající dvouhodnotovou logiku je pro využití v ekonomii nevhodná. Je ale možné použít její rozšíření – teorii fuzzy množin, která místo dvou pravdivostních hodnot 0 a 1 používá nekonečně mnoho pravdivostních stupňů z intervalu  $\{0, 1\}$ . Autorem této teorie je prof. Lotfi Zadeh, který stojí také za vznikem fuzzy logiky, která je odvozená od výše zmíněné teorie fuzzy množin (Mohan, 2015).

Fuzzy logika (dále jen FL) vznikla roku 1965, patří mezi tzv. vícedhodnotové logiky a je možné pomocí ní řešit některé obtížnější úlohy obsahující faktor neurčitosti. Nachází tak využití např. v ekonomii, medicíně, robotice, psychologii nebo třeba automobilovém průmyslu (Mohan, 2015).

Jedním z hlavních nedostatků klasické matematické logiky je neschopnost představit nebo posoudit neurčité/nejisté věci. FL operuje na intervalu  $\{0, 1\}$  a zobecňuje tak klasickou logiku pro usuzování neurčitých podmínek. Ve své rozsáhlé knize *An Introduction to Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic* prof. Mohan dále pojednává o vícehodnotových logikách. Charakteristickým prvkem klasické matematické logiky je bivalence. Princip bivalence se dá chápat tak, že každý výrok je buď pravdivý, nebo nepravdivý, existují tedy pouze dvě pravdivostní hodnoty, které můžeme výrokům připsat. Tyto hodnoty se nazývají pravda a nepravda a značí se 1 a 0 (případně T a F). Vícehodnotové logiky ale princip bivalence nespĺňují. Princip bivalence byl zpochybnován již dříve v historii. Mohan se zmiňuje o Aristotelovi, který se ve svém traktátu *O vyjadřování* zabýval tvrzeními o budoucnosti a přišel na to, že některé výroky nemusí být pravdivé, ani nepravdivé. V 19. století se touto problematikou zabývali Peirce a McColl. Stěžejní úvahy ale tvoří práce logiků a filozofů jako jsou W. S. Jevons a Alexander Bain. Ve 20. století tuto problematiku pak dále rozvíjel např. Bertrand Russell. Mezi další významné osobnosti patří Jan Łukasiewicz (práce *O Logice Trójwartościowej* z roku 1920) nebo třeba Kurt Gödel se svojí prací *Zum intuitionistischen Aussagenkalkül* z roku 1932.

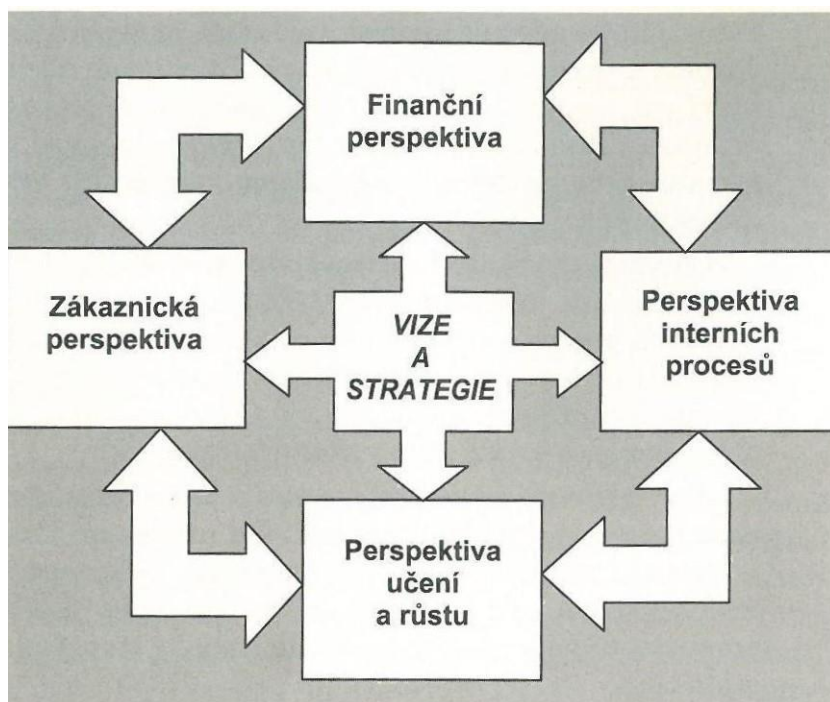
Zavedení FL roku 1965 zpočátku vzbudilo v určitých vědeckých kruzích rozruch. Byla považována za něco rozporuplného a kontroverzního. V 70. letech byla dokonce fuzzy logika označena kanadským matematikem a informatikem Williamem Kahanem jako “kokain vědy.” Další nositel Turingovy ceny Dana Scott ji označil jako pornografii. Tvrzení od takových vědeckých kapacit pochopitelně vytváří mylné představy a staví FL do špatného světla v očích vědecké komunity i veřejnosti. Někteří vědci například tvrdili, že FL poskytuje výsledky, které jsou v rozporu s racionálním lidským usuzováním. Další kritika tvrdila, že některé aspekty, které tvoří klasickou matematickou logiku, která je de facto standardem pro lidské uvažování, ve FL chybí. Všechna tato tvrzení byla ale v budoucnosti odborníky vyvrácena a fuzzy logika je nyní vnímána jako plnohodnotný podobor matematické logiky, hodný dalšího zkoumání (Entemann, 2002).



## 2 Systém BSC a jeho využití v managementu

Jak již bylo zmíněno výše, mají-li se manažeři na všech úrovních řízení správně rozhodovat, musejí umět vyhodnocovat výkonnost podniku a právě k tomuto vyhodnocování slouží systém Balanced Scorecard, který převádí vizi a strategii podniku do uceleného a srozumitelného souboru měřítek finanční i nefinanční výkonnosti (Kaplan, 2007).

Vize a strategie musí být promítnuta do všech oblastí podniku. Pokud se změní vize nebo strategie, nebo obojí, musí se to promítnout opět do všech čtyř oblastí. Níže uvedený obrázek č. 1 znázorňuje základní schéma metody BSC. Šipky, které spojují čtyři okolní části, znamenají více, než jen naznačení toho, že všechny změny transformované do perspektiv, se musí promítnout vždy do sousedních oblastí, ale jde zde o neustálý koloběh vyvažování daných čtyř oblastí. Je nutné věnovat zájem každé z těchto oblastí a nepreferovat pouze jednu (Vysušil, 2004).



Obr. 1: Základní schéma metody BSC (Vysušil, 2004, s. 18)

Jaká je tedy odpověď na otázku proč podniky potřebují Balanced Scorecard? Jak kdysi řekl americký ekonom Peter Drucker: „Když to nemůžeš měřit, nemůžeš to ani řídit.“ Faktem je, že systém měření výkonnosti velmi silně ovlivňuje chování lidí v podniku i mimo něj. Pokud podnik chce v informačním věku a tvrdé konkurenci přežít a prosperovat, musí použít měřicí a řídicí systémy odvozené ze své strategie a schopností (Kaplan, 2007).

## **2.1 Rozbor základního schématu metody BSC**

„I když velké množství měřítek může být v BSC na první pohled matoucí, obsahuje správně sestavený BSC pouze smysluplné údaje, neboť všechna měřítka jsou správně nasměrována k dosažení integrované strategie“ (Kaplan, 2007, s. 33).

### **2.1.1 Finanční perspektiva**

Finanční měřítka popisují jen část příběhu o minulých aktivitách, nikoliv celý příběh, a proto se nemohou stát vodítkem pro současné ani zítřejší aktivity vytvářející budoucí finanční hodnoty. Systém BSC ale finanční perspektivu zachovává. Je tomu tak, protože finanční měřítka jsou důležitá při sumarizaci snadno měřitelných ekonomických důsledků již realizovaných akcí. Měřítka finanční výkonnosti nám ukazují, kdy zavádění a následná realizace strategie podniku vedou k zásadním zlepšením. Obvykle se finanční cíle týkají ziskovosti, kterou můžeme měřit např. pomocí provozního zisku, nebo ukazatelů ROCE a EVA (Kaplan, 2007).

### **2.1.2 Zákaznická perspektiva**

Zákaznická perspektiva BSC se zabývá nejenom problematikou zákaznické a tržní segmentace, ale také měřítka výkonnosti podniku v těchto segmentech. V této perspektivě je obsaženo několik klíčových případně obecně použitelných měřítek úspěšných výstupů z velmi dobře formulované a implementované strategie. Stěžejní výstupní měřítka zahrnují spokojenost a loajalitu zákazníků, získávání nových zákazníků, ziskovost zákazníků a podíl na cílových trzích (Kaplan, 2007).

### **2.1.3 Perspektiva interních procesů**

V perspektivě interních procesů se manažeři zaměřují na kritické interní procesy, ve kterých musí podnik dosahovat výborných výsledků. Díky těmto procesům je podniku umožněno poskytovat hodnotové výhody, které zaujmou zákazníky a pomohou si je udržet, krom toho tyto procesy také umožní podniku naplnit finanční očekávání akcionářů. Měřítka interních procesů se věnují přístupům, které mají největší vliv na spokojenost zákazníků a na dosažení finančních cílů. Tradiční přístupy k měření výkonnosti se snaží sledovat a zlepšovat existující procesy, přístup BSC ale odhaluje úplně nové procesy, ve kterých musí podnik dosahovat výborných výsledků. Krom toho se přístup BSC také snaží o zařazení inovačních procesů (Kaplan, 2007).

#### **2.1.4 Perspektiva učení se a růstu**

Tato perspektiva se zabývá podnikovou infrastrukturou nutnou k vytvoření dlouhodobého růstu a zdokonalování. Silná globální konkurence nutí podniky, aby neustále zvyšovaly své schopnosti vytvářet hodnoty pro své zákazníky a akcionáře. Perspektiva učení se a růstu vychází ze základních zdrojů: lidí, systémy a podnikové procedury. Výše zmíněné perspektivy (finanční, zákaznické, interní procesy) obvykle odhalí velké rozdíly mezi současnými schopnostmi lidí, systémů a procedur a tím, co je nezbytné, aby se výkonnost podniku razantně zvýšila. Pokud chce podnik tyto rozdíly odstranit, musí investovat do rekvalifikace zaměstnanců, vylepšit informační technologie a systémy, dále musí zdokonalit podnikové procedury a rutinní postupy. Právě těmito cíli se zabývá perspektiva učení se a růstu (Kaplan, 2007).

### 3 Využití fuzzy logiky v ekonomických aplikacích

Z určitého úhlu pohledu lze říci, že Fuzzy logika má využití v takových vědních disciplínách, kde se vyskytuje nějaký prvek neurčitosti/nejasnosti nebo je třeba lidského intuitivního chování. Pokud člověk například řídí auto, může stočit volant zlehka doleva. V případě řízení auta počítačovým systémem toto ale představuje problém, protože systém neumí z matematického hlediska klasifikovat, co to znamená zatočit volantem zlehka doleva – chybí mu totiž cit a lidská intuice. Fuzzy logika je nyní v automobilovém průmyslu poměrně rozšířená, jedná se například o systémy automatického parkování, díky kterým auta dosahují vynikajících a dokonce lepších výsledků než člověk. Fuzzy logika také proniká čím dál více i do ostatních vědních oborů, jako je medicína, robotika, psychologie nebo třeba ekonomie.

Z oblasti ekonomie bylo již publikováno několik prací zabývajících se např.: spokojeností zákazníka, hodnocením dodavatele, řešením obchodně-právních sporů, porovnáváním nejrůznějších nabídek nebo vyhodnocením koupě nejvhodnějšího auta a další.

V již zmiňovaném systému BSC lze fuzzy logiku uplatnit na všechny čtyři jeho perspektivy. Perspektiva zákaznická je bezpochyby ovlivněna určitou mírou neurčitosti. Je tomu tak, protože každý zákazník má své vlastní pocity a zkušenosti, tudíž hodnotí nějakou službu nebo produkt subjektivně. Pokud zákazník tedy vyplňuje nějaký dotazník, zkoumající jeho spokojenost, jeho odpověď je neurčitá, je založená na pocitech. Spokojenost zákazníka lze tedy měřit pomocí FL. V oblasti perspektivy učení se a růstu lze FL využít např. při měření produktivity zaměstnance nebo třeba měření motivace, delegování pravomocí a angažovanosti zaměstnance, kde lze pomocí FL stanovit, jak moc je ten či onen zaměstnanec vhodný pro vykonávání odborné činnosti. V perspektivě interních podnikových procesů lze FL využít např. při nejrůznějších inovačních procesech.

Praktická část této práce se zabývá tvorbou fuzzy expertního systému pro stanovení vhodnosti dodavatele v podniku PYRAMID, s.r.o., přičemž veškeré výpočty budou provedeny v programu MATLAB. Abychom ale pochopili, jak takový systém funguje a jaké metody jsou při výpočtech použity, je nezbytné proniknout hlouběji do rozsáhlé problematiky fuzzy logiky. Tomu se věnuje následující kapitola.

## 3.1 Úvod do fuzzy logiky

Klasická Booleova logika je omezená v tom smyslu, že ji nelze použít pro rozhodování o věcech, které obsahují faktor neurčitosti. Fuzzy logika rozšiřuje klasickou Booleovu logiku, tak, aby byla vhodná i pro řešení úloh obsahujících nějaký prvek neurčitosti. Fuzzy logika tedy rozšiřuje ideu pravdivostních hodnot v klasické logice (pravda, nebo lež na stupeň příslušnosti). Výrok ve fuzzy logice může být částečně pravdivý. Ve FL se pravdivostní hodnota nachází v intervalu od 0 do 1, na rozdíl od ostré Booleovy logiky, kde je striktně buď 1, nebo 0 (Mohan, 2015).

Např. výrok „člověk je holohlavý“ může být reprezentován přiřazením vhodné pravdivostní hodnoty na intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Čím menší bude hodnota, tím méně je holohlavý. Hodnota 1 tedy znamená, že je zcela holohlavý, 0 není holohlavý vůbec. FL je rozšířením množinové vícehodnotové logiky, ve které jsou pravdivostní hodnoty jazykové proměnné (Mohan, 2015).

### Postup

Při tvorbě systému založeném na fuzzy logice můžeme rozdělit postup do tří kroků, a to na fuzzifikaci, fuzzy inferenci a defuzzifikaci. Všechny tři kroky si nyní do detailu popíšeme (Mohan, 2015).

#### 3.1.1 Fuzzifikace

Fuzzifikace je proces převádění reálných proměnných na proměnné jazykové. Jedná se v podstatě o „převod do fuzzy logiky“. Jazykové pojmy jsou neurčité a jejich význam je téměř vždy závislý na kontextu. Např. pojmy jako „levný“, „drahý“, „velmi drahý“ atd. závisí nejenom na předmětech, na které jsou aplikovány (např.: auto, dům nebo propiska), ale také třeba na bohatství kupujícího a řadě dalších okolností (Mohan, 2015).

Význam pojmů „mladý“ a „starý“ se mění při hodnocení věku různých živočišných druhů, a nepochybně se změní ještě více v případě hodnocení věku pohoří v geologii nebo hvězd v astronomii. Určitě se všichni shodneme na tom, že pojem „vysoká teplota“ má velmi odlišný význam při měření teploty pacienta a teploty jaderného reaktoru. Stejně tak pojmy jako „krásný“, „příjemný“, „bolestivý“ nebo „talentovaný“, mají mnoho různých významů, které se liší od člověka k člověku i za jinak stejných okolností (Mohan, 2015).

Jak uvádí Bezděk (2012), definice jazykových proměnných vychází ze základní lingvistické proměnné, např. u proměnné „kvalita“ lze zvolit následující atributy: špatná, průměrná,

výborná. U základní proměnné se obvykle používá tři až sedmi atributů. Stupeň členství atributů proměnné v množině je vyjádřen matematickou funkcí, tzv. funkcí příslušnosti. Měli bychom vybrat tu nejjednodušší, což znamená pokud možno funkci složenou z lineárních úseků (trojúhelníková či lichoběžníková funkce). Podle Mohana (2015) je pro pochopení funkcí příslušnosti nezbytné definovat si pojem fuzzy množina, což je množina, která na rozdíl od klasické množiny není ostře ohraničena.

Definice: Pokud  $X$  je soubor objektů označovaných obecně jako  $x$ , pak fuzzy množina  $A$  v množině  $X$  je množina uspořádaných dvojic  $\{x, \mu_A(x)\}$ , kde  $\mu_A(x)$  je funkce příslušnosti  $x$ . Podle vztahu (1) lze toto symbolicky zapsat jako:

$$\tilde{A} = \left\{ \left( x, \mu_A(x) \right) \mid x \in X \right\} \quad (1)$$

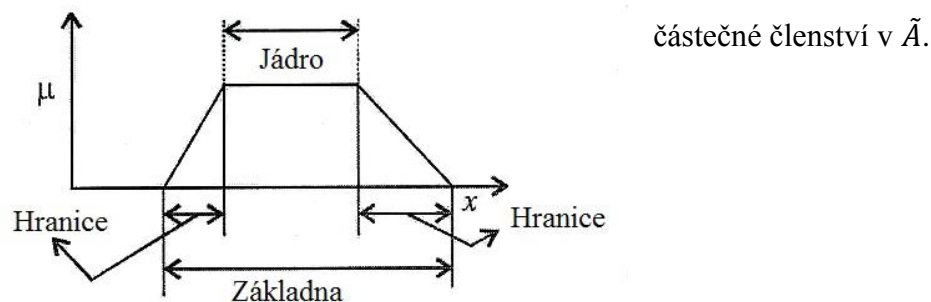
Symbol „ $\sim$ “ nad  $A$  se obvykle používá ke zdůraznění, že se jedná o fuzzy množinu. Funkce příslušnosti se také někdy nazývá stupeň příslušnosti či stupeň pravdy  $x$  v  $\tilde{A}$  která mapuje  $X$  do členství prostor  $M$ . Pokud  $M$  obsahuje pouze dva body 0 a 1, pak se fuzzy množina  $\tilde{A}$  stává ostrou množinou (Mohan, 2015).

### 3.1.2 Vlastnosti funkce příslušnosti

Jádro (Kernel) fuzzy množiny  $\tilde{A}$  se skládá pouze z těch jejích prvků, jejichž stupeň příslušnosti je roven 1, což lze podle vztahu (2) zapsat také jako:

$$\text{Ker}(\tilde{A}) = \{x \in \tilde{A} \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (2)$$

Prvky náležící do  $\tilde{A}$ , které mají nenulové stupně příslušnosti nerovné jedné, představují hranice fuzzy množiny  $\tilde{A}$ . Prvky se stupněm příslušnosti  $\mu_A(x) = 1$  které tvoří jádro fuzzy množiny  $\tilde{A}$ , mají kompletní členství, zatímco prvky, které patří k hranicím  $\tilde{A}$  mají



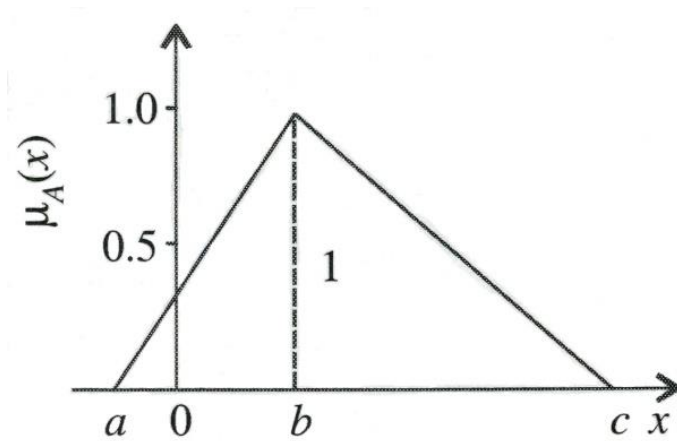
Obr. 2: Vlastnosti funkce příslušnosti (Mohan, 2015, s. 18)

### 3.1.3 Známé funkce příslušnosti

Jak uvádí Mohan (2015), výběr typu funkce příslušnosti je plně v rukou uživatele, který musí ale zároveň brát v potaz praktické požadavky řešeného problému. Uživatel si vybere tu funkci, která nejlépe odpovídá praktickým požadavkům řešeného problému, nebo může navrhnout svou vlastní, pokud žádná z nich neodpovídá požadavkům. Určité častěji používané typy funkcí příslušnosti si nyní uvedeme.

#### Trojúhelníková funkce příslušnosti

Tento typ funkce je jednou z nejčastěji používaných funkcí příslušnosti. Funkce je určena třemi parametry ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ) tak, že hodnota funkce příslušnosti je 0 pro  $x \leq a$  a  $x \geq c$ . Je lineárně rostoucí z nuly při  $x = a$  až do hodnoty 1 při  $x = b$  a pak od hodnoty 1 lineárně klesá až do 0 při  $x = c$ , jak je znázorněno na Obr. 3. (Mohan, 2015).



Obr. 3: Trojúhelníková funkce příslušnosti (Mohan, 2015, s. 19)

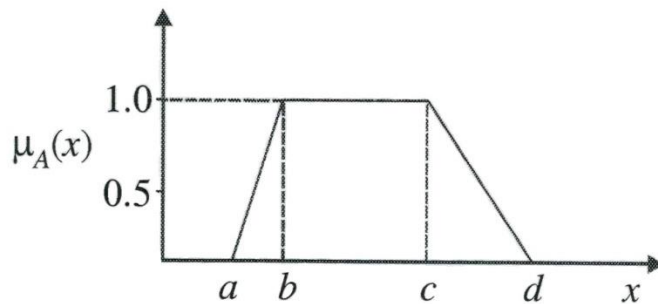
Podle vzorce (3) můžeme matematicky trojúhelníkovou funkci příslušnosti  $\mu_A(x)$  vyjádřit jako:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (3)$$

Jak již bylo řečeno, jedná se o jednu z nejčastěji používaných funkcí příslušnosti, a proto, že při tvorbě fuzzy systému máme používat pokud možno co nejjednodušší funkci, bude právě tento typ funkce použit v programu MATLAB.

## Lichoběžníková funkce příslušnosti

Mezi další nejčastěji používané funkce můžeme zařadit lichoběžníkovou funkci, která je zobrazena na Obr. 4. Tento typ funkce je charakterizován čtyřmi parametry  $a, b, c, d$  s funkcí příslušnosti, kterou můžeme zapsat pomocí vztahu (4).



Obr. 4: Lichoběžníková funkce příslušnosti (Mohan, 2015, s. 20)

Zatímco fuzzy množina s trojúhelníkovou funkcí příslušnosti má pouze jednoho úplného člena ( $x = b$ ), kde hodnota funkce příslušnosti = 1, v lichoběžníkové fuzzy množině mají všichni členové mezi  $x = b$  a  $x = c$  úplné členství (tzn. nabývají hodnoty 1). Členové od  $a$  do  $b$  a poté od  $c$  do  $d$  mají částečné členství s lineárně rostoucí členskou hodnotou od 0 do 1 z  $x = a$  do  $x = b$  a lineárně klesající od 0 do 1 od  $x = c$  to  $x = d$  (Mohan, 2015).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c), & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases} \quad (4)$$

## 3.2 Fuzzy inference

Jak uvádí Bezděk (2012), druhý krok spočívá v definici chování systému pomocí pravidel typu IF-THEN na jazykové úrovni. V těchto algoritmech se objevují podmínkové věty, pomocí kterých je možné vyhodnotit stav příslušné proměnné. Fuzzy logika používá pro vyhodnocení logických operátorů <AND>, <OR>, <THEN> odlišné postupy. Výsledkem procesu fuzzy inference je pak jazyková proměnná.

### 3.2.1 Pravidlo fuzzy implikace

Základem pro jazykové fuzzy modely je množina podmíněných IF-THEN pravidel, která se používají pro formalizaci znalostí ve formě



$$\text{IF } \langle \text{předpoklad, antecedent} \rangle \text{ THEN } \langle \text{konsekvent, důsledek} \rangle \quad (5)$$

Antecedenty a konsekventy jsou neurčité fuzzy výroky, jejichž pravdivostní hodnota leží v intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Typickou formou je výraz  $(X \text{ IS } A)$ , kde  $X$  je jazyková proměnná a  $A$  je její příslušná jazyková hodnota, která je formalizovaná fuzzy množinou. Antecedent a konsekvent jsou v pravidle

$$\text{IF } \langle \text{fuzzy výrok} \rangle \text{ THEN } \langle \text{fuzzy výrok} \rangle \quad (6)$$

spojeny pomocí fuzzy logického funktoru THEN. V souladu s významem pravidla je spojka THEN interpretována obecně jako fuzzy logická implikace. Oproti klasické logice není interpretace fuzzy implikace jednoznačná. V dnešní době je známo asi 40 druhů různých fuzzy implikací (Pokorný, 2014)

Mezi nejčastěji používané implikační metody můžeme zařadit Lukasiewiczovu metodu, Larsenovu metodu a Mamdaniho implikační metodu, která bude použita v praktické části při výpočtech fuzzy expertního systému pro stanovení vhodnosti dodavatele. Implikační metoda typu Mamdani bude nyní detailněji rozebrána.

### 3.2.2 Implikační metoda typu Mamdani

Tato implikační metoda je pojmenována po E. H. Mamdanim, který vyvinul první fuzzy regulátor s použitím tohoto modelu. Jedná se o jednu z nejpoužívanějších implikačních metod. Jak popisuje vztah (7), Mamdaniho implikace používá pravidla, jejichž konsekventní část je fuzzy množina a skládá se z následujících jazykových pravidel, která popisují mapování z  $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_r$  do  $W$ :

$$\tilde{R}_1 : \text{IF } x_1 \text{ is } \tilde{A}_{i1}, \dots, \text{ and } x_r \text{ is } \tilde{A}_{ir} \text{ THEN } y \text{ is } \tilde{C}_i \quad (7)$$

kde  $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, r$ ) jsou vstupní proměnné,  $y$  je výstupní proměnná a  $\tilde{A}_{ij}$  a  $\tilde{C}_i$  jsou fuzzy množiny pro  $x_j$ , respektive  $y$ . Dané vstupy ve formě  $x_1 \text{ is } \tilde{A}'_1, x_2 \text{ is } \tilde{A}'_2, \dots, x_r \text{ is } \tilde{A}'_r$ , kde  $\tilde{A}'_1, \tilde{A}'_2, \dots, \tilde{A}'_r$  jsou fuzzy podmnožiny prostoru  $U_1 \times U_2 \times \dots \times U_r$  (např. fuzzy čísla). Doplněk pravidla  $\tilde{R}_1$  k výstupu Mamdaniho modelu je fuzzy množina, jejíž funkce příslušnosti je vypočtena pomocí vzorce

$$\mu_{C_i}(y) = (a_{i1} \wedge a_{i2} \wedge \dots \wedge a_{in}) \wedge \mu_{C_i}(y) = \alpha_i \quad (8)$$

Kde  $\alpha_i$  je odpovídající stupeň pravidla  $\tilde{R}_i$  a  $\alpha_{ij}$  je odpovídající stupeň mezi  $x_j$  a  $\tilde{R}_i$

$$a_{ij} = \sup_{x_j} (\mu_{A'_i}(x_j) \wedge \mu_{A_{ij}}(x_j)) \quad (9)$$

Zde  $\wedge$  označuje operátor *min* (metoda inferenčního ořezávání). Konečným výstupem modelu je agregace výstupů ze všech pravidel pomocí operátoru *max*.

$$\mu_{C_i}(y) = \max\{\mu_{C_1}(y), \mu_{C_2}(y), \dots, \mu_{C_{i'}}(y)\} \quad (10)$$

Stojí za zmínku, že výstup  $\tilde{C}$  je fuzzy množina. Tento fuzzy výstup může být defuzzifikován na ostrý výstup pomocí jedné z defuzzifikačních metod.

Podle Mohana (2015) jsou díky širokému spektru úspěšných uplatnění IF-THEN pravidla jedny z nejčastěji používaných pravidel. Můžeme se s nimi setkat v nejrůznějších aplikacích, jako jsou řídicí systémy, rozhodování, rozpoznávání vzorů atd. Tyto pravidla hrají také klíčovou roli v průmyslových aplikacích, kam můžeme zařadit robotiku, výrobu, řízení procesů nebo finanční obchodování.

### 3.3 Defuzzifikace

Defuzzifikace je převod výsledku předchozí operace fuzzy inference na reálné hodnoty. Cílem je převedení fuzzy hodnoty výstupní proměnné tak, aby slovně co nejlépe odpovídala výsledku fuzzy výpočtu (Bezděk, 2012).

Existuje velké množství defuzzifikačních metod, ale pro účely této práce bude využita pouze Metoda středu těžiště (často označovaná také jako COG – z anglického: Center of Gravity). Na metodu COG se nyní podíváme detailněji.

#### 3.3.1 Metoda středu těžiště

Metoda COG (také se můžeme setkat s názvem Metoda středu plochy, nebo Centroidní metoda)<sup>1</sup> je populární defuzzifikační metoda. Tato metoda nezohledňuje překrytí (průniky) jednotlivých fuzzy množin výsledného sjednocení (plochy překrytí jsou totiž započteny pouze jednou). Hlavní nevýhodou metody COG je složitost výpočtů, tyto výpočty ale mohou být pro některé fuzzy modely zjednodušeny (Mohan, 2015).

---

<sup>1</sup> V programu MATLAB, ve kterém je řešena praktická část této práce, je Metoda středu těžiště označována jako Centroid (viz str. 35)

### 3.4 Člověk vs. počítačový systém

Odborníci se shodují, že při řešení problémů složitých komplexních systémů, je člověk, který je expertem ve svém oboru stále lepší volbou, než počítačový systém vybavený těmi nejchytřejšími matematickými programy (Pokorný, 2014).

Proč je ale člověk při řešení takto složitých problémů úspěšnější, než počítačový systém, jehož hrubé výpočetní schopnosti jsou na daleko vyšší úrovni, než ty lidské? Odpověď se nachází v přístupu lidského uvažování, které z daných faktů a požadavků vyvozuje rozhodnutí. Na rozdíl od počítačových systémů, člověk při svém uvažování nepracuje s číselnými daty a matematickými vztahy. Člověk své úvahy vede na úrovni slovních, jazykových pojmů a jejich vazeb v jazykových konstrukcích, které obsahují prvek neurčitosti. Na rozdíl od numerických dat, která jsou přesná, jsou slovní pojmy nepřesné. Odborníci se shodují, že právě vysoká schopnost využití nepřesnosti jazykových pojmů je zdrojem vysoké efektivity a kvality lidského uvažování. Nepřesné jazykové pojmy dodané lidským expertem jsou řešeny počítačovým systémem pomocí fuzzy logiky. Tzv. expertní systém pak kombinuje to nejlepší ze znalostí experta o dané problematice a výpočetních možností počítačového systému (Pokorný, 2014).

## **4 Fuzzy expertní systém pro stanovení vhodnosti dodavatele v podniku PYRAMID, s.r.o.**

Pokud chce podnik v dnešní nepříznivé době přežít a dosahovat zisku, musí kromě zákazníků, tvrdé konkurence, domácí ekonomické situace a dalších faktorů brát ohled také na své dodavatele.

### **Hodnocení vhodnosti dodavatele**

V současnosti je úloha hodnocení vhodnosti dodavatele jednou z nejdůležitějších. Existuje velmi mnoho nástrojů a metod pro hodnocení dodavatele, včetně metod tradičních i netradičních. Tradiční metody ale nejsou účinné v podmínkách turbulentního tržního prostředí a neustále se měnících požadavků zákazníků. Podle Pokorného (2014) musí vhodné řešení obsahovat variabilní komplex požadavků na dodavatele (cena, kvalita, flexibilita, logistické aspekty). Dále také tvrdí, že vhodné řešení musí brát v potaz vícekriteriální rozhodování, expertní posouzení a fuzzy hodnocení.

### **Systém BSC a vhodnost dodavatele**

Výběrem vhodného dodavatele může firma ušetřit nemalé finanční prostředky. V případě dodavatelů pro maloobchodní síť (drogerie) ale zpravidla nebyvají cenové rozdíly mezi jednotlivými dodavateli nijak zvlášť vysoké. To je způsobeno velmi dobrou informovaností jednotlivých dodavatelů a jejich snahou nabídnout svým zákazníkům (maloobchodům) atraktivní nákupní ceny a zvýšit počet odebíraného zboží. Kromě nákupní ceny do hry také vstupují ostatní faktory, jako jsou kvalita dodávaného zboží, dodací lhůta, důvěryhodnost dodavatele, komunikace a další. Z pohledu systému BSC můžeme zařadit problematiku výběru vhodnosti dodavatele do perspektivy finanční.

### **4.1 Představení firmy**

Firma PYRAMID, s.r.o. byla založena 6. 4. 1992. Zakladatelem byli bratři Škodovi a dva zahraniční spoluinvestoři. Tito spoluinvestoři byli později vyplaceni a celá firma přešla do vlastnictví bratrů Škodových. Právní formou se jedná o společnost s ručením omezeným. Z hlediska typu prodávaného zboží můžeme firmu rozdělit na dvě části.

V Tanvaldu firma vlastní dům, v jehož přízemí provozuje drogerii a ve zbývajících dvou patrech pronajímá čtyři byty. V Jablonci nad Nisou vlastní firma sklad módních doplňků, které prodává na internetu. V této práci se zaměříme pouze na tanvaldskou prodejnu, a proto nebude situace internetového prodeje módních doplňků nijak dál rozvinuta.

### **Tanvaldská prodejna**

Drogerie v Tanvaldu nabízí základní drogistické potřeby a krom toho se specializuje na prodej barev a laků. Tanvaldská drogerie spadá do franšizové sítě Ráj drogerie. Jedná se o maloobchod s drogistickým a kosmetickým zbožím, který prodává kromě již zmiňovaných barev a laků i další malířské potřeby. Firma má 7 zaměstnanců včetně výše zmíněných dvou majitelů.

#### **4.1.1 Dodavatelé PYRAMIDu**

Firma má přibližně 25 dodavatelů, od kterých odebírá nejrůznější drogistické potřeby, barvy a laky, malířské potřeby nebo úklidové prostředky a ostatní drobné zboží (galanterie). Vzhledem k tomu, že drogerie je franšizou Ráj drogerie, kterou vlastní BARVY A LAKY HOSTIVAŘ a.s., odebírá PYRAMID většinu zboží právě z tohoto velkoskladu.

Mezi 3 nejčastější dodavatele PYRAMIDu patří firmy:

**BARVY A LAKY HOSTIVAŘ a.s.** – tato firma se prezentuje jako tradiční český výrobce nátěrových hmot od roku 1893. Zabývá se prodejem barev a laků a nejrůznějších malířských potřeb. Krom toho ale také prodává nejrůznější drogistické potřeby. Firma má dlouholetou tradici a dodává své výrobky do prodejen po celé republice. Firma BARVY A LAKY HOSTIVAŘ a.s. provozuje franšizovou síť Ráj drogerie, ve které je více než 50 prodejen z celé republiky. Vzhledem k faktu, že PYRAMID je franšizou Ráj drogerie, odebírá prodejna větší část zboží právě od tohoto dodavatele.

**ESPACE velkoobchod drogerie, s.r.o.** – tato firma provozuje velkoobchod s drogistickým zbožím a kosmetikou. Zabývá se distribucí do drogerií, smíšených obchodů, lékáren a podniků. Působí po celé republice a spravuje franšizovou síť Primadrogerie.

**Solvent ČR, s.r.o.** – tato společnost provozuje přibližně 500 maloobchodních prodejen zařazených v řetězci Teta drogerie a je lídrem drogistického trhu v České republice. Počet zaměstnanců v současné době překračuje 1 800 lidí. Teta drogerie a lékárny ČR s.r.o. je

dceřiná společnost 100% vlastněná firmou Solvent ČR, s.r.o., která je největším distributorem drogerie v ČR a SR.

Drogerie má ještě několik dalších dodavatelů, ale odběr zboží od nich neprobíhá v takové míře, jako u výše zmiňovaných. To je způsobeno tím, že tito dodavatelé nabízejí specifické zboží, o které není mezi zákazníky takový zájem. Významná část tržeb podniku plyne právě z prodeje zboží odebíraného od těchto tří dodavatelů. Pro PYRAMID jsou tedy tito dodavatelé klíčoví, a proto se bude tato práce zabývat pouze jimi.

## 4.2 Popis situace a řešení problému

Jak již bylo řečeno, firma nakupuje od svých dodavatelů nejrůznější zboží. Mezi tři nejčastější dodavatele PYRAMIDu, kteří mu dodávají většinu zboží, patří výše zmíněné firmy. Jedním z cílů praktické části této práce je sestavení fuzzy expertního systému pro stanovení vhodnosti dodavatele v podniku PYRAMID, s.r.o. V tomto konkrétním případě se bude jednat o nákup produktu: Protex antibakteriální mýdlo 90g – více druhů.



Obr. 5: Protex antibakteriální mýdlo 90g

Zdroj: <https://www.apotek.cz/protex-antibakterialni-mydlo-fresh-90g>

Tento produkt mají v nabídce pouze výše zmiňovaní tři dodavatelé. U těchto dodavatelů bude porovnána jejich vhodnost pomocí fuzzy logiky. Porovnávání jednotlivých dodavatelů bude probíhat v programu MATLAB, verze R2017a.

### 4.2.1 Představení programu MATLAB

MATLAB je nástroj a interaktivní prostředí pro vědecké a technické výpočty, analýzu dat, vizualizaci a vývoj algoritmů. Tento program lze využít v oblastech, jako jsou aplikovaná matematika, strojové učení, zpracování signálu a komunikace, zpracování obrazu a počítačové vidění, finanční analýza a modelování, návrh řídicích systémů, robotika a mnoha dalších. K MATLABu je také možné nainstalovat velké množství knihoven funkcí, tzv. toolboxů, které rozšiřují použití programu v příslušných vědních a technických oborech.

V této práci bude použit Fuzzy Logic Toolbox, který rozšiřuje výpočetní prostředí MATLABu o nástroje pro návrh systémů na bázi fuzzy logiky.

### **4.2.2 Postup při tvorbě expertního systému**

Tvorbu expertního systému můžeme rozdělit na několik kroků. V první řadě, ještě než začneme pracovat s programem, je třeba vybrat vhodné proměnné a zavést hodnoty vstupních a výstupní proměnné. Zbytek práce již probíhá v MATLABu. Postup v MATLABu můžeme rozčlenit do následujících kroků:

- 1) Tvorba vstupních a výstupní proměnné
- 2) Tvorba funkcí příslušnosti
- 3) Tvorba výstupní funkce příslušnosti
- 4) Tvorba IF-THEN pravidel
- 5) Vyhodnocení vhodnosti jednotlivých dodavatelů



## 4.3 Výběr jazykových proměnných

Při tvorbě expertního systému bylo důležité vytvořit vhodné proměnné, tzn. takové proměnné, jejichž použití je opodstatněné (např.: určitě nemá smysl do systému zahrnovat proměnnou Celní náklady, pokud jsou vztahy mezi dodavateli a PYRAMIDEM pouze na úrovni České republiky). Jazykové proměnné byly vytvořeny na základě znalostí aktuálního dění ve firmě a mají reprezentovat ty nejdůležitější dodavatelsko-firemní procesy. Na základě doporučení experta také nebyly do systému zahrnuty ty proměnné, jejichž hodnoty mezi jednotlivými dodavateli se liší naprosto minimálně, nebo jsou stejné (např.: PYRAMID odebírá od různých dodavatelů stejné zboží, není tedy třeba zahrnovat do systému proměnnou Kvalita produktu, protože ta je u všech dodavatelů stejná).

### Popis jazykových proměnných

Pro tvorbu expertního systému byly vybrány tři proměnné, které jsou dle experta pro hodnocení dodavatele klíčové. Vstupní jazykové proměnné tedy tvoří: Komunikace, Nákupní hodnota a Znevýhodněný nákup. Všechny tři proměnné jsou detailněji popsány níže.

#### Komunikace

Tato jazyková proměnná hodnotí komunikaci dodavatele v oblastech, jako jsou: doba odpovědi na odeslaný mail, dostupnost na telefonu nebo třeba počet návštěv obchodního zástupce dodavatele na prodejně (možnost objednání nového zboží).

#### Nákupní hodnota

Tato proměnná označuje hodnotu, za jakou PYRAMID nakupuje zboží od svých dodavatelů.

#### Znevýhodněný nákup

Tato na první pohled neobvyklá proměnná označuje případ, kdy PYRAMID nakoupí nějaké zboží za příznivou cenu, ta je ale podmíněna nákupem většího množství tohoto zboží než je potřeba. Zboží poté leží delší dobu na skladu a může být obtížné ho za určitou dobu prodat.

## 4.4 Zavedení hodnot vstupních a výstupní proměnné

Nyní se zavedou hodnoty vstupních proměnných a výstupní proměnné. Těmto hodnotám jsou poté přiřazeny parametry na základě níže uvedené tabulky č. 1. Vzhledem k tomu, že jednotlivým hodnotám jsou přiřazovány parametry se souřadnicemi [a, b, c], tak již zde je vidět, že se bude jednat o typ trojúhelníkové funkce příslušnosti.

*Tab. 1: Parametry fuzzy množin*

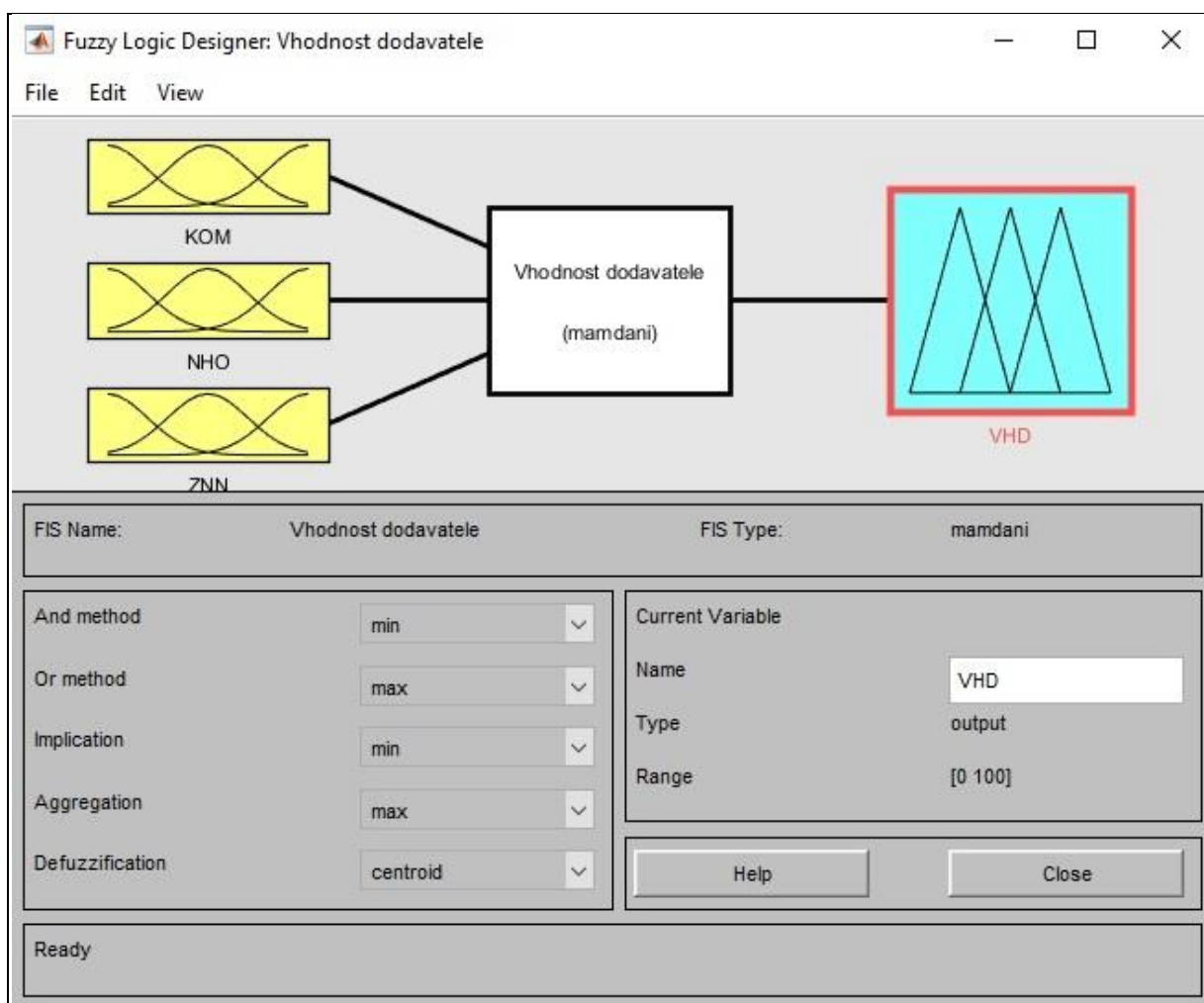
<b>Hodnota vstupní proměnné</b>	<b>Parametry</b>	<b>Identifikátor</b>
Nízká	[0, 0, 50]	NIZ
Střední	[0, 50, 100]	STR
Vysoká	[50, 100, 100]	VYS
<b>Hodnota výstupní proměnné</b>	<b>Parametry</b>	<b>Identifikátor</b>
Dostatečný	[0, 0, 25]	DOS
Ucházející	[0, 25, 50]	UCH
Průměrný	[0, 50, 75]	PRU
Nadprůměrný	[50, 75, 100]	NAD
Vynikající	[75, 100, 100]	VYN

Zdroj: Vlastní zpracování

Další položkou v tabulce je identifikátor. Jeho účelem je poskytnout MATLABu i člověku prostředek k vzájemnému odlišení jednotlivých entit stejné třídy objektů. Výše zmíněná data budou zanesena do MATLABu, ve kterém bude probíhat tvorba celého fuzzy expertního systému.

## 4.5 Tvorba vstupních a výstupní proměnné

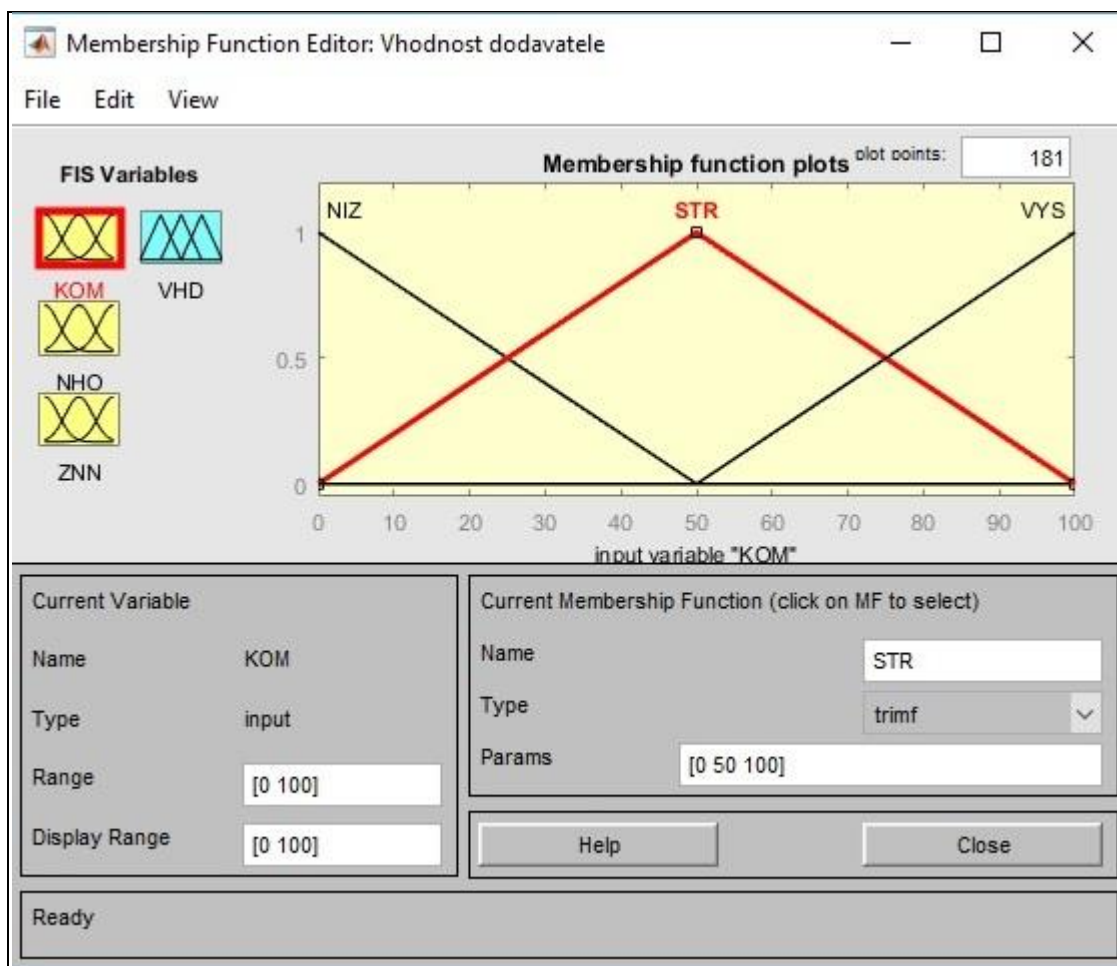
První krok spočívá ve vytvoření vstupních a výstupních proměnných. Na Obr. 6 můžeme vidět tři vstupní jazykové proměnné (Komunikaci, Nákupní hodnotu a Znevýhodněný nákup). Při výpočtech je použita již zmiňovaná Mamdaniho implikační metoda a vpravo můžeme vidět výstupní proměnnou Vhodnost dodavatele. Parametry Mamdaniho implikace jsou na obrázku uvedeny vlevo dole spolu s použitou defuzzifikační metodou (použita je metoda Středu těžiště, zde označována anglicky jako Centroid).



Obr. 6: Okno popisu systému (vlastní zpracování)

## 4.6 Tvorba funkcí příslušnosti

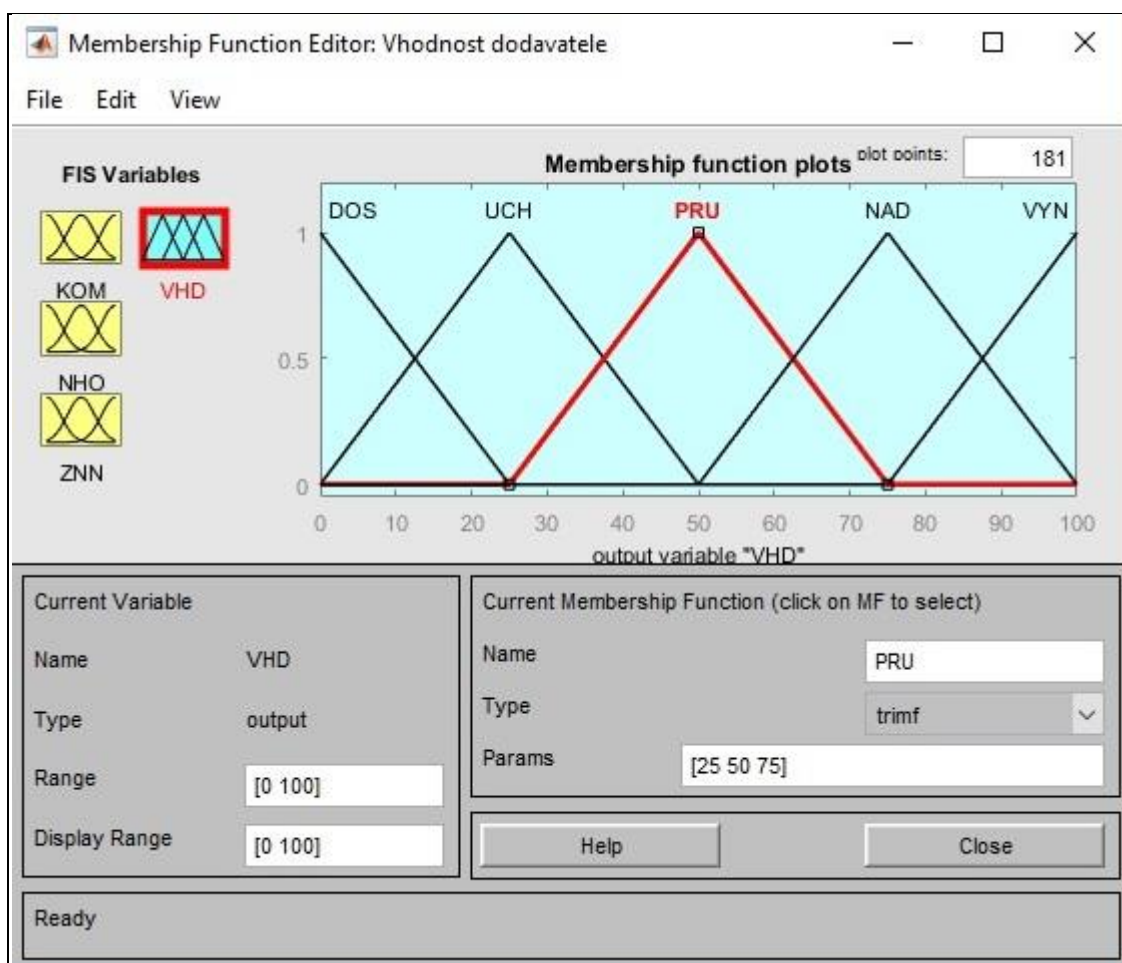
Další krok spočívá ve tvorbě parametrů funkcí příslušnosti. Funkce by měla být co nejjednodušší, tzn., měla by být složena z lineárních úseků, a proto byla vybrána trojúhelníková funkce příslušnosti. Tuto funkci MATLAB označuje jako *trimf* (z anglického Triangular Membership Function). Na Obr. 7 jsou uvedeny trojúhelníkové funkce vstupní jazykové proměnné Komunikace. V okně vlevo dole, kde se nachází informace o aktuální proměnné, může uživatel nastavit libovolný interval pro funkce příslušnosti, zde je nastaven interval  $\langle 0, 100 \rangle$ . Okno vpravo dole informuje uživatele o aktuální zvolené funkci příslušnosti. V tomto případě je vybrána hodnota Střední (STR) s parametry  $[0, 50, 100]$ .



Obr. 7: Okno pro tvorbu vstupních jazykových proměnných (vlastní zpracování)

## 4.7 Tvorba výstupní funkce příslušnosti

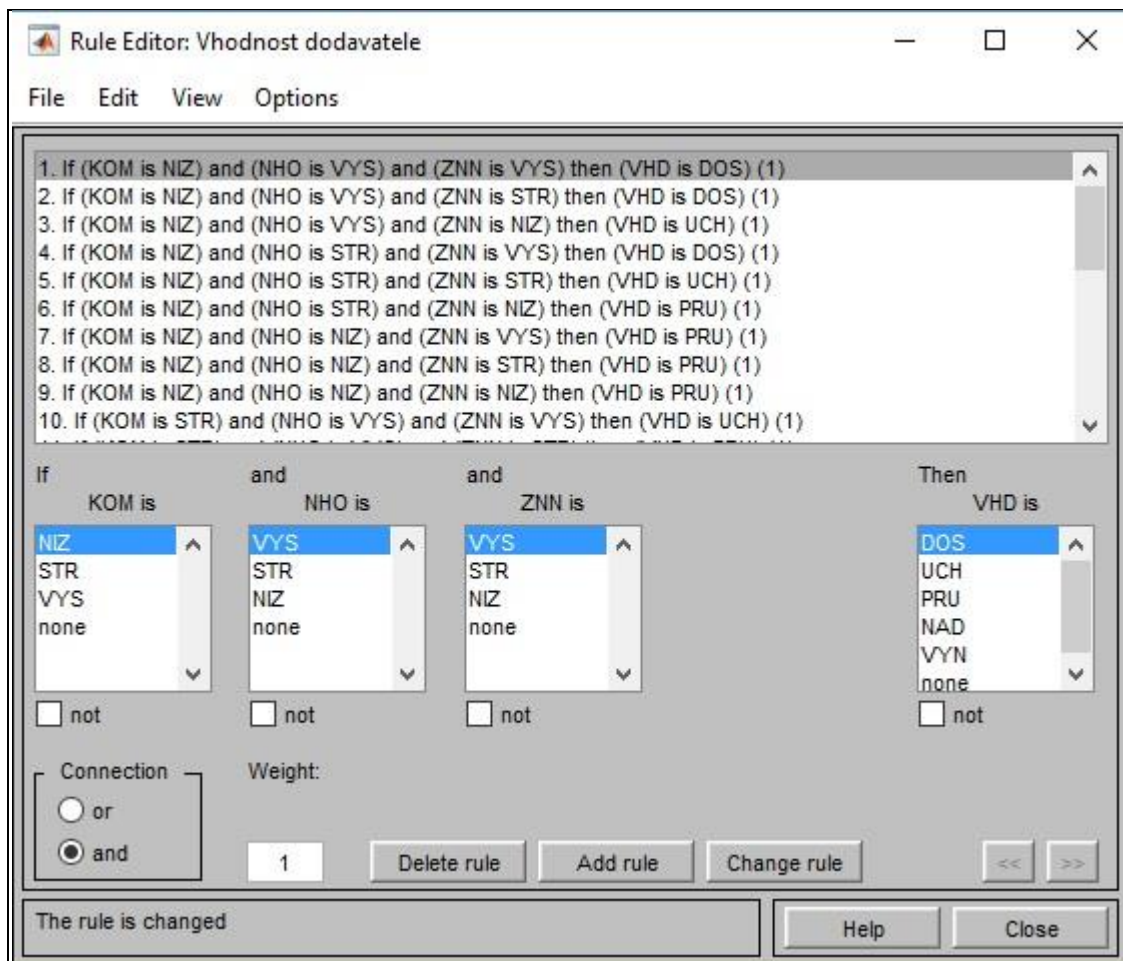
V dalším kroku se nastaví parametry výstupní proměnné. Výstupní proměnná VHD se skládá z pěti jazykových hodnot. Na níže uvedeném obrázku je označena hodnota Průměrný (PRU) s parametry [25, 50, 75]. Na základě doporučení experta byla nejnižší jazyková hodnota stanovena jako Dostatečná (DOS). Bylo by nepřesné označit nejnižší hodnotu výstupní proměnné např. jako Nevhodnou, a to z toho důvodu, že PYRAMID s těmito dodavateli již nějakou dobu spolupracuje a je s nimi víceméně spokojen. S dodavatelem, který by byl označen jako nevhodný byla ukončena spolupráce okamžitě.



Obr. 8: Tvorba výstupní jazykové proměnné (vlastní zpracování)

## 4.8 Tvorba IF-THEN pravidel

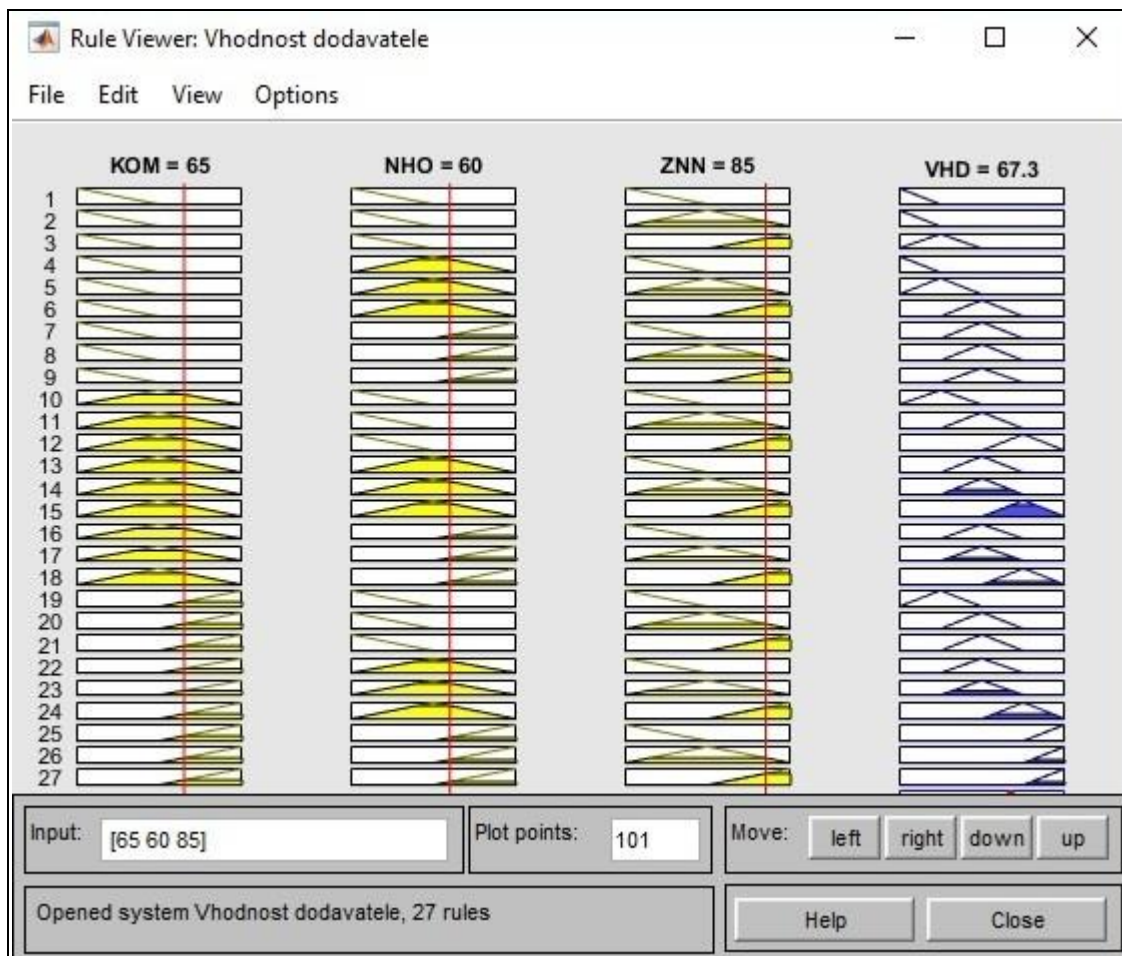
V dalším kroku jsou sestavena IF-THEN pravidla, jejichž sestavení je v kompetenci experta. Na níže uvedeném obrázku č. 9 můžeme vidět prvních deset pravidel. Každé pravidlo se skládá ze tří vstupních a jedné výstupní proměnné. Uživatel si může dále vybrat vztah mezi jednotlivými proměnnými a jejich váhu. Pro tvorbu systému bylo použito 27 pravidel. Zpravidla čím více vstupních proměnných bude systém obsahovat, tím více pravidel je potřeba vytvořit. Tím se může uživatel dostat do problému, kde bude muset vytvořit větší množství pravidel a systém se stane nepřehledným. Ve složitějších systémech je toto řešeno tvorbou subsystémů, díky čemuž se tvorba celého systému zjednoduší.



Obr. 9: Okno pro editaci pravidel expertního systému (vlastní zpracování)

## 4.9 Vyhodnocení vhodnosti jednotlivých dodavatelů

Když už máme nastavena všechna pravidla, můžeme otestovat jednotlivé dodavatele. V programu MATLAB, verze R2017a je postup následující: Fuzzy Logic Designer: View/Rules. V okně Input, vlevo dole nastavíme vstupní parametry. Na základě informací poskytnutých expertem jsou vstupní parametry pro dodavatele ESPACE velkoobchod drogerie, s.r.o. nastaveny takto: [65 60 85], tyto parametry nyní zadáme do MATLABu a jak je uvedeno na Obr. 10, dostáváme výsledek **VHD = 67,3**. U ostatních dodavatelů postupujeme analogicky, proto zde není třeba uvádět postup znovu.

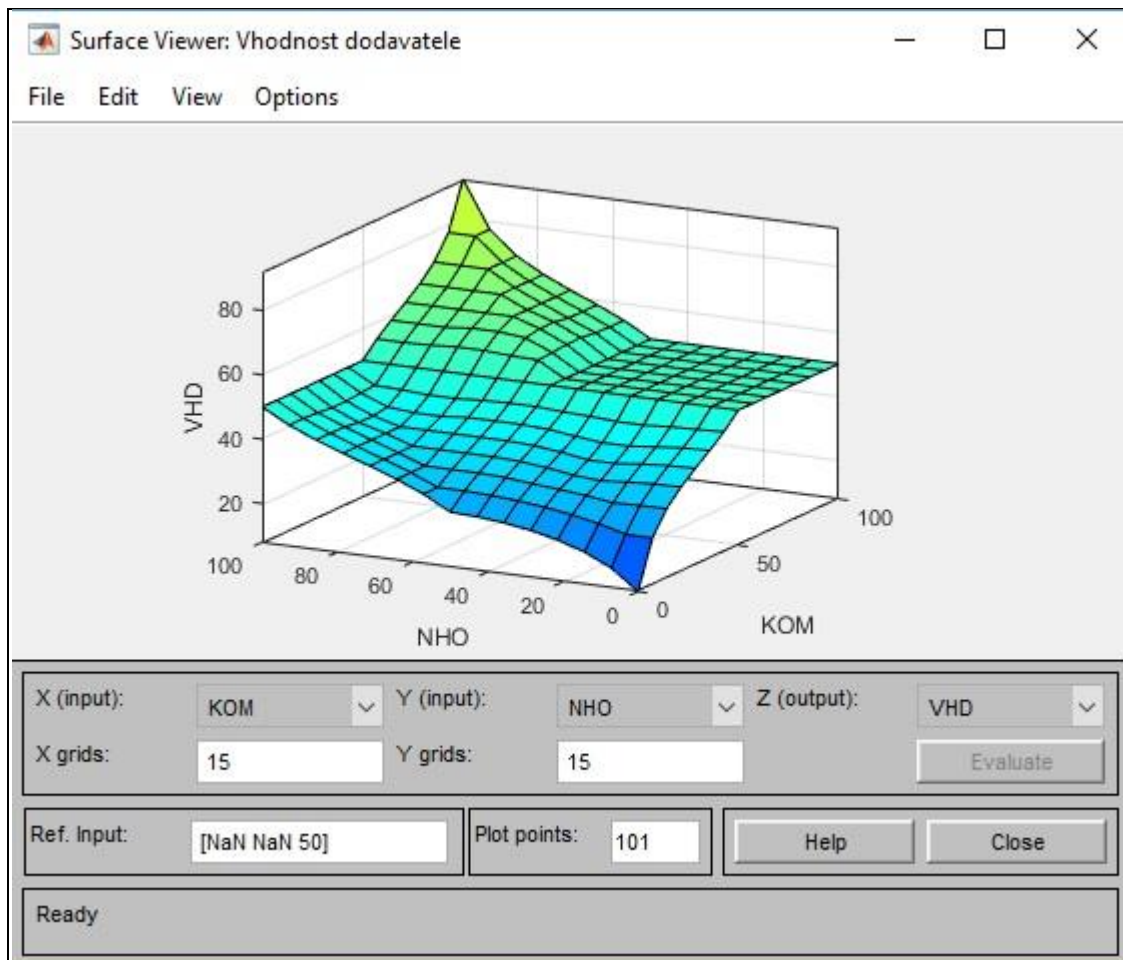


Obr. 10: Simulace vhodnosti dodavatele ESPACE velkoobchod drogerie, s.r.o. (vlastní zpracování)

U dodavatele Solvent ČR, s.r.o. jsou nastaveny parametry [75 80 60] a výsledná hodnota **VHD = 64,1**. Pro dodavatele BARVY A LAKY HOSTIVARŤ a.s. jsou nastaveny hodnoty parametrů [90 90 65], díky čemuž je výsledná hodnota **VHD = 73,5**.

### 4.9.1 Surface Viewer

Dalším nástrojem MATLABu je Surface Viewer. Jedná se o grafické rozhraní, které umožňuje prohlížet výstupní plochu FIS pro jednu nebo dvě vstupní proměnné. Lze pomocí něj zkontrolovat nastavení FIS. Kolonka Plot points slouží k určení počtu bodů v grafu. Čím vyšší hodnota je nastavena, tím hladší plochu bude graf mít. Kliknutím na osy výkresu a přetažením myši lze manipulovat s povrchem tak, aby se dal prohlížet z různých úhlů. Pokud jsou pravidla správně nastavena, bude graf v nejvyšším bodě nabývat maximální hodnoty vstupní proměnné a ve svém nejnižším bodě bude hodnota minimální, což je zde podle Obr. 11 splněno.



Obr. 11: Surface Viewer (vlastní zpracování)



## 4.10 Porovnání odhadů experta a výsledků fuzzy expertního systému

Jako nejvhodnější dodavatel byla expertem označena firma BARVY A LAKY HOSTIVAŘ a.s. a to z toho důvodu, že se jedná o firmu, která PYRAMIDu poskytuje franšizu. Spolupráce s touto firmou je na velmi dobré úrovni, zboží lze objednávat přes internet 2x týdně za velmi dobrou cenu. Jedinou nevýhodou je pouze již zmiňovaná problematika znevýhodněného nákupu. Ten je ale vyvážen nižší nákupní hodnotou pořizovaného zboží. Expert dále předpokládal, že vzhledem k vysoké úrovni všech tří dodavatelů, nebudou rozdíly mezi nimi nijak zvlášť markantní. Jak uvádí tabulka č. 2, všechny tyto domněnky byly prokázány. Tímto byla prokázána využitelnost fuzzy expertního systému v praxi.

*Tab. 2: Výsledky hodnocení expertního systému*

<b>Dodavatel</b>	<b>Počet bodů</b>	<b>Pořadí</b>
BARVY A LAKY HOSTIVAŘ a.s.	73,5	1
ESPACE velkoobchod drogerie, s.r.o.	67,3	2
Solvent ČR, s.r.o.	64,1	3

Zdroj: Vlastní zpracování

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo poukázat na možnosti využití fuzzy logiky v ekonomii a demonstrovat na konkrétním příkladu z praxe její přínosnost. Jako příklad pro využití v praxi byl vybrán systém BSC a jeho finanční perspektiva, kde byl sestaven fuzzy expertní systém pro stanovení vhodnosti dodavatele. Jako nejvhodnější byl vyhodnocen dodavatel BARVY A LAKY HOSTIVAŘ a.s., jehož je PYRAMID franšizant. To odpovídá i původnímu odhadu experta, jelikož se dá předpokládat, že u tohoto dodavatele budou parametry určitých proměnných (např.: komunikace) na vyšší úrovni, než u ostatních dodavatelů. Stejně tak byl potvrzen i nepříliš vysoký rozdíl proměnné VHD mezi jednotlivými dodavateli, což vypovídá o jejich vysoké kvalitě. Výsledky simulace tedy prokázaly využitelnost fuzzy logiky při hodnocení vhodnosti dodavatele.

Pro firmu zde existuje velmi mnoho možností, jak fuzzy logiku uplatnit při svém podnikání (např. pro hodnocení spokojenosti zákazníků, porovnávání potenciálních bankovních půjček, hodnocení kvality zaměstnanců atd...). Pokud by firma chtěla v budoucnosti fuzzy logiku využívat, bude pro ni nezbytné pořídit si nějaký výpočetní program. Pro svoji přehlednost a srozumitelnost byl pro tuto práci vybrán program MATLAB, faktem ale je, že co se týče finančních nákladů na jeho pořízení, pravděpodobně se nejedná o nejvhodnější produkt. Licence pro samotný program a jeho testovací prostředí Simulink totiž přijde na více než 100 000 Kč. Mezi konkurenční nástroje můžeme zařadit např. program fuzzyTECH od firmy INFORM GmbH, dále pak třeba FuzzyLite, jehož autorem je Juan Rada-Vilela, Ph.D. Porovnávání softwaru zabývajícího se fuzzy logikou ale není předmětem této práce. Zakoupení takového softwaru by mělo smysl pouze v tom případě, kdyby ho PYRAMID často využíval a z jeho používání by se dal očekávat nějaký zisk. V případě jednorázového použití pro nějaký konkrétní případ lze toto řešit pomocí demo verze. Program MATLAB je uživatelsky velmi přívětivý a po zhlédnutí doporučených videí na firemních stránkách, či pročtení manuálu, by běžný uživatel neměl mít problém jednodušší fuzzy systém navrhnout.

Dá se předpokládat, že rostoucí rozvoj fuzzy logiky v oblasti ekonomie bude pokračovat, díky čemuž by v budoucnu mohlo být manažerům velmi usnadněno rozhodování v nejrůznějších oblastech, vyžadujících intuitivní chování a odhad situace na základě manažerových pocitů. Již dnes dosahuje umělá inteligence v mnoha oblastech lepších výsledků než člověk. Na základě prostudované literatury se lze domnívat, že fuzzy logika brzy nalezneme v podnikové praxi širší uplatnění.

## Citace

BEZDĚK, Václav. Systémová integrace: Využití fuzzy logiky při hodnocení. [online] 116 – 134 2012 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.cssi.cz/cssi/vyuziti-fuzzy-logiky-pri-hodnoceni>

ENTEMANN, Carl W., 2002. The Artificial Intelligence Review; Dordrecht: Fuzzy Logic: Misconceptions and Clarifications. Proquest. [online] 65 - 84 [cit. 2017-04-10]. ISSN 02692821. Dostupné z: <http://search.proquest.com/docview/198031059/fulltextPDF/4B0BCB7C39C14060PQ/2?accountid=17116>

Firemní webové stránky BARVY A LAKY HOSTIVAŘ [online] [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.bal.cz/o-nas/1b>

Firemní webové stránky SPACE velkoobchod drogerie [online] [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.primadrogerie.cz/o-nas.php>

Firemní webové stránky Solvent ČR [online] [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: [http://www.pksolvent.cz/CZ/o\\_nas.html](http://www.pksolvent.cz/CZ/o_nas.html)

Firemní webové stránky FuzzyLite [online] [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.fuzzylite.com/>

Firemní webové stránky INFORM GmbH [online] [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://www.fuzzytech.com/>

KAPLAN, Robert S. a David P. NORTON. Balanced Scorecard: strategický systém měření výkonnosti podniku. 5. vyd. Praha: Management Press, 2007, 267 s., 29 – 112. ISBN 978-80-7261-1775.

MATLAB – Fuzzy Logic Toolbox [online] [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/fuzzy-logic/features.html>

MOHAN, Chander. An Introduction to Fuzzy Set Theory and Fuzzy Logic. London: MV Learning, 2015, 332 s., 8 – 304. ISBN 978-81-309-2751-0.

POKORNÝ, Miroslav. Nekonvenční metody řešení ekonomických a manažerských úloh. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, 294 s., 11 – 98. Monografie. ISBN 978-80-244-4218-1.

VYSUŠIL, Jiří. Metoda Balanced Scorecard v souvislostech: implementace a úspěšná realizace v řízení podniku. Praha: Profess Consulting, 2004, 120 s., 10 – 45. Poradce controllingu. ISBN 80-7259-005-7.

## Bibliografie

KAPLAN, Robert S. a David P. NORTON. Alignment: Systémové vyladění organizace: Jak využít Balanced Scorecard k vytváření synergií. Vyd. 1. Praha: Management Press, 2006. Knihovna světového managementu. ISBN 80-7261-155-0

MENŠÍK, Michal a Miroslav POKORNÝ. Fuzzy Approaches Applied into Balanced Scorecard Customer Perspective. In ICAICTE Congerence Proceedings, Pp: 848-856. Hainan: ATLANTIS PRESS, PARIS 2014

OLEJ, Vladimír a Petr HÁJEK. Úvod do umělé inteligence: klasická umělá inteligence: distanční opora. Vyd. 1. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2009. 112 s. ISBN 978-80-7395-241-9

ORTEGA, M., AVILA, G. a GOMEZ, J. M. Framework to Design a Business Intelligence Solution. in ICT Innovations Conference Proceedings, Ohrid: SPRINGER-VERLAG BERLIN 2011. ISSN 1865-0929