

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

PROVOZNĚ EKONOMICKÁ FAKULTA



ROZHODOVACÍ MODELY S FUZZY OHODNOCENÍM



Autor: Martin Flégl

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Helena Brožová, CSc.

© 2010

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Rozhodovací modely s fuzzy ohodnocením" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

.....

Martin Flégl

Poděkování

Děkuji vedoucí své diplomové práce doc. RNDr. Heleně Brožové, CSc. za odborné vedení a konzultace při vypracování diplomové práce.

Rozhodovací modely s fuzzy ohodnocením

Decision making models with fuzzy values

Souhrn

Přesné rozhodování je v současnosti jednou z klíčových činností každého podniku. S nutností provádět rozhodnutí se setkáváme každý den. Liší se pouze svoji důležitostí a složitostí. Společnosti čelící silně konkurenčnímu prostředí na trzích se při provádění těchto rozhodnutí setkávají s problémy s neurčitostí obsaženou v informacích. Tedy s problémy jak formulovat získané znalosti a informace nutné pro sestavení rozhodovacích modelů. Klíčovým aspektem schopnosti provádět přesnější rozhodnutí, je nalezení cesty jak s touto neurčitostí pracovat. Překročit onu pomyslnou hranici mezi jistotou a nejistotou, posunout naše rozhodování na vyšší úroveň, poskytuje klíčovou výhodu v kvalitě rozhodování.

Klíčová slova

Funkce příslušnosti, fuzzy, ISO 9001, ISO 14001, konkurenceschopnost, kvalita produkce, neurčitost, očekávaná hodnota užitku, ochrana životního prostředí, rozhodování, systém environmentálního managementu, systém řízení kvality.

Summary

Quality decision-making is currently one of the most important managerial activities of each enterprise. We encounter with necessity make a decision every day. It differs only by its importance and complexity. Companies are facing strong competitive environment on their markets and they meet with problems based on uncertainty of information during decision-making processes. The problem is how to express or use obtained knowledge and information. The key element of ability how to make quality decision is to find the way how to work with uncertainty. Crossing the border between certainty and uncertainty and pushing our decisions on higher level give us key competitive advantage.

Key words

Membership function, fuzzy, ISO 9001, ISO 14001, competitiveness, production quality, uncertainty, expected utility value, protection of environment, decision-making, environmental management system, quality management system.

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce a metodika	10
3	Literární rešerše – fuzzy a neurčitost	11
3.1	Klasické množiny a fuzzy množiny	13
3.1.1	Klasické množiny	13
3.1.2	Fuzzy množiny	19
3.2	Vlastnosti funkcí příslušnosti, fuzzifikace a defuzzifikace	27
3.2.1	Znak funkce příslušnosti	27
3.2.2	Fuzzifikace ostrých množin	29
3.2.3	Defuzzifikace do ostrých množin	30
3.2.4	λ -řezy pro fuzzy vztahy	33
3.2.5	Defuzzifikace skalárního součinu	34
3.3	Vývoj funkce příslušnosti	44
3.3.1	Přiřazení hodnot příslušnosti	44
4	Rozhodovací modely s fuzzy ohodnocením	52
4.1	Fuzzy Bayesova rozhodovací metoda	52
4.1.1	Výplatní matice	53
4.1.2	Získání dodatečných informací	54
4.1.3	Dodatečné informace a fuzzy	56
4.1.4	Fuzzy stavy okolností a fuzzy alternativy v rozhodování	58
5	Environmentální kritéria a zavádění ISO norem ve firmě	62
5.1	Důvody zájmu o kvalitu a environment	62
5.1.1	Problematika kvality	64
5.1.2	Problematika životního prostředí	64
5.2	Politika kvality	65
5.2.1	Evropská politika kvality	66
5.2.2	Národní politika kvality	68
5.3	Politika environmentu	69
5.4	Přístupy managementu kvality a environmentu	70
5.4.1	Vývoj přístupu managementu kvality	71
5.4.2	Management kvality podle norem ISO 9000	72
5.4.3	Normy řady ISO 9000	74

5.4.4	System environmentální managementu.....	75
5.4.5	System EMS podle norem ISO 14000.....	76
5.4.6	Normy řady ISO 14000	77
5.4.7	Certifikace systémů QMS a EMS	77
6	Praktická aplikace fuzzy ohodnoceného rozhodovacího modelu.....	80
6.1	Charakteristika společnosti	80
6.1.1	Certifikace	81
6.2	Definice problému	81
6.2.1	Problematika kvality.....	81
6.2.2	Problematika životního prostředí	82
6.3	Zavádění ISO norem (kvantitativní metody výběru)	82
6.3.1	Očekávaná hodnota užitku	88
6.3.2	Očekávaná hodnota výplaty do budoucna	95
7	Závěr.....	96
8	Seznam literatury	99
9	Přílohy	101

1 Úvod

Naše každodenní uvažování se neřídí (ve většině situací) pravidlem typu ano nebo ne, pravda nebo nepravda atd. Neuvažujeme stále pouze o těchto dvou variantách, ale naše smýšlení nás svádí k neurčitosti (vyjadřování se pomocí neurčitých odpovědí, obava přijmout zodpovědnost¹). Tato situace je zapříčiněna mnoha faktory, jako je nerozhodnost nebo neznalost problému (situace). Svět tedy občas vyvolává potřebu neurčitost (vágnost) vyjádřit a formálními prostředky s ní pracovat.

Neurčitost může mít různé příčiny. Může to být tak zvaná stochastická neurčitost (náhoda). Při ní se vychází z určitých statistických dat nebo ze zkušeností, která nám umožní odhadovat pravděpodobnost jevu. Po provedení pokusu nebo výpočtu, dostaneme jednoznačnou odpověď (zjednodušeně řečeno vyjádřenou pomocí booleovské binární logiky²). Pravděpodobnost zde pouze popisovala možnost výsledků dosud neprovedeného pokusu. K popisu této neurčitosti se hodí teorie pravděpodobnosti.

Dalším typem neurčitosti je kvantová neurčitost. Ta je způsobena nevratným ovlivněním jevu měřením. Výsledek je jednoznačný, avšak některé veličiny nelze testovat současně (nelze za stejných podmínek pokus opakovat). Příkladem např. může být změřitelnost úspěchu léčby pacienta určitým lékem. Jiným zdrojem neurčitosti je nepřesnost měření nebo jeho složitost vedoucí k nezvládnutelnosti (i přes znalost algoritmu pro řešení problému se může stát, že provedení tohoto výpočtu bude tak časově náročné, že výsledku není možné dosáhnout v rozumném čase nebo náročnost na paměť neúměrně poroste a výpočet opět nebude moci být realizován (VANÍČEK, 2007)).

Ve většině situací nemůžeme odpovědět jednoznačně, protože nám binární odpověď neposkytuje možnost situaci řádně popsat. Typickým příkladem je situace, kdy budeme

¹ Nechceme se tady zabývat důvody proč tomu tak je z hlediska psychologického nebo sociálního. Ani nás zde nebude zajímat ochota se vyjadřovat s ohledem na naše společenské postavení.

² Booleova logika se zabývá logickými operacemi na množině $\{0, 1\}$, kde pravdivostním hodnotám (výrokům) je přiřazena hodnota 1. Jejím rozšířením je pak Booleova algebra, která modeluje vlastnosti množinových a logických operací.

dotázání, zda rozumíme určitému problému, který nám byl právě vysvětlen. Odpověď pouze pomocí 0 a 1 bude nedostačující. Proto volíme různě stupnice (ano, asi ano...), které nám umožní odpovědět přesněji. Tato neurčitost se obvykle nazývá jako mlhavost (vágnost). Fuzzy množina je prostředek k vyjádření právě této neurčitosti, kde k vyjádření našeho pocitu (odpovědi), můžeme použít jakékoliv reálné číslo z intervalu $(0,1)$.

Tento přístup nám dává velké možnosti našeho vyjadřování za podmínky, že se s tímto přístupem naučíme pracovat (buď v prostředí neurčitosti, nebo po transformaci v prostředí určitosti). Stejně to bude i v situaci, kdy se budeme potřebovat rozhodnout o provedení investice v podmínkách, kdy budoucí přínos je značně nejistý i s ohledem na vývoj trhů. Pokud kdokoliv chce investovat nebo chce zavést novou technologii, vždy bude chtít znát co nejpřesnější výsledek (odhad) dopadu na finanční výsledky podniku nebo na spokojenost zákazníků. Můžeme provést mnoho průzkumů nebo odhadů budoucího vývoje, ale ve většině z nich se stále budeme setkávat s neurčitými odpověďmi.

Najít způsoby jak se rozhodovat za neurčitosti (nejistoty), jak správně nakládat (počítat) s vágními daty, může být naše velká výhoda. Tato výhoda může být zvláště ocenitelná v současné době, kdy se trhy, v rámci hospodářské krize, chovají místy těžko predikovatelná. Pokud se naučíme pracovat s našimi rozhodnutími za nejistoty a naše výsledky budou stále pozitivní, stane se rozhodování za nejistoty naší výhodou a ne překážkou.

2 Cíl práce a metodika

S problémem podchycení nejistoty působící na silně konkurenčních trzích se společností setkávají téměř dennodenně. Proto musí hledat cesty, jak získat větší konkurenční výhodu a tím posílit svoji pozici. Touto cestou může být právě schopnost pracovat s neurčitostí.

Proto je cílem této práce ukázání postupů, jak pracovat s neurčitostí, se kterou se setkáváme při tvorbě našich rozhodnutí. V práci budou ukázány a vysvětleny rozhodovací metody umožňující zahrnutí fuzzy proměnných a fuzzy množin do výpočtů směřujících k nalezení nejlepší alternativy.

Alternativy, které budou používány v rozhodovacích modelech, se týkají certifikace ISO norem. Proto je dalším cílem této práce popsání základních principů, které se musí dodržovat, pokud chce společnost zavést management kvality podle normy ISO 9001 a systém environmentálního managementu podle normy ISO 14001.

Proto by tato práce také chtěla nastínit problematiku kvality produkce a ochrany životního prostředí a to zejména z pohledu společnosti. Jakými nástroji může společnost na kvalitní produkci a na ochraně životního prostředí získat pro sebe onu potřebnou konkurenční výhodu. Jak skloubit tyto dva prvky dohromady, aby se mohla společnost vydat správným směrem k dosažení silnější pozice na trhu. Tento bod bude dán do souvislosti s certifikací ISO norem kvality a environmentu.

Jako podklady pro toto rozhodnutí nám poslouží dostupné analýzy současného trhu z hlediska ISO certifikátů a také výzkumy provedené certifikovanými společnostmi působících na českém trhu. K vyhodnocení rozhodnutí použijeme metody rozhodování vhodné pro rozhodování v podmínkách neurčitosti (fuzzy).

Posledním cílem této práce je pokus o popsání vývoje, kterým se trh může do budoucna ubírat z pohledu orientace firem a zákazníků po certifikovaných systémech.

3 Literární řešerše – fuzzy a neurčitost

Občas máme problém, rozhodnout se, zdali nějaký prvek do množiny patří nebo ne. K tomuto určení můžeme využít počítačovou techniku, kde přesně určíme od jaké hranice je prvek členem dané množiny nebo ne. Problém ale nastává, když prvek se ke členství množiny blíží velmi významně. Příkladem tohoto problém může být určení váhy určitého předmětu. Prvky, jejichž váha překročí 6 kg, budeme označovat těžké. Co se ale stane, pokud věc bude vážit 5,9999 kg??? Tedy rozdíl od dělicí hranice je minimální (nesignifikantní). Proto je užitečné uvažovat o příslušnosti prvku do dané množiny.

Na začátku je důležité vymežit, co si představujeme pod pojem množina. Množina je přesně vymezený soubor vzájemně odlišitelných prvků a je plně určena prvky, které obsahuje. Těmito prvky mohou být jakékoliv předměty, jevy či abstraktní konstrukce (VANÍČEK, 2007).

Klasické množiny obsahují prvky, které přesně odpovídají vlastnostem množiny. Naproti tomu fuzzy množiny obsahují prvky, které splní nepřesné vlastnosti množin. Příslušnost prvků ve fuzzy množině může být přibližná. Množina „výška 180-200 cm“ je precizně určená a víme, jaké prvky budou patřit do této množiny. Naproti tomu množina „okolo 190 cm“ je určena nepřesně (fuzzy).

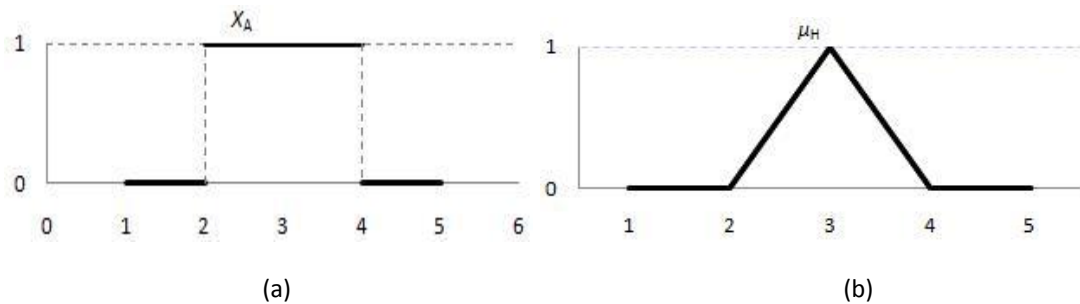
Pro rozpracování, předpokládáme, že máme úplnou kolekci prvků x , které utvářejí prostor (universum) informací (výroků) X . Lépe řečeno, různé kombinace těchto prvků utvářejí množinu, např. A , na prostoru. Prvek x z univerza X je buď členem dané množiny, nebo ne. Tato binární záležitost příslušnosti může být vyjádřena matematicky s indikátory funkce,

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (3.1)$$

Kde symbol $\chi_A(x)$ označuje jednoznačné členství prvku x do množiny A .

Zadeh rozepsal představu binárního členství k přijmutí různého stupně příslušnosti v reálném nepřetržitém intervalu $[0, 1]$, kde koncové body 0 a 1 označují plnou

příslušnost a nepřislušnost. Lépe řečeno, neurčité množství prvků mezi těmito dvěma koncovými body může reprezentovat různé stupně příslušností prvků x určité množiny na univerzu.



Obr. 3.1: Příklady příslušností funkcí (a) ostrá množina (b) fuzzy množina

Klíčový rozdíl mezi ostrou množinou a fuzzy množinou je jejich funkce příslušnosti. U ostré množiny máme pouze jedinou funkci příslušnosti, kdežto fuzzy množina může mít nekonečně mnoho funkcí příslušnosti, které ji reprezentují. Proto je u fuzzy množin obětována jedinečnost, ale na druhou stranu je získána flexibilita, protože funkce příslušnosti může být nastavena na maximum použitelnosti pro konkrétní aplikaci (ROSS, 2004).

Funkce příslušnosti je součástí matematického zobrazení příslušností v množinách a zápis, který bude používán v celé práci pro fuzzy množiny, bude symbol s vlnovkou nad, tj. \tilde{A} , kde funkce přiřazení je značena

$$\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1] \quad (3.2)$$

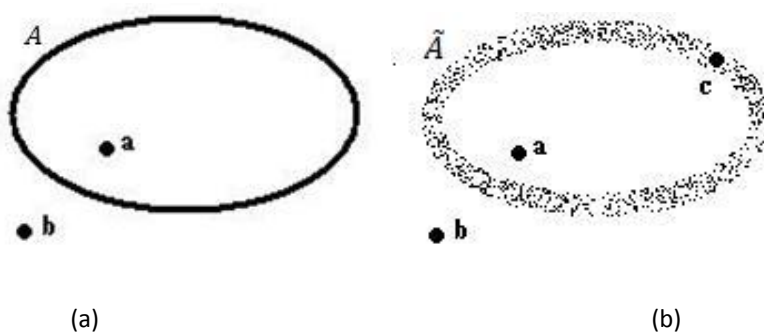
a symbol $\mu_{\tilde{A}}(x)$ značí stupeň příslušnosti prvku x do fuzzy množiny \tilde{A} . Potom $\mu_{\tilde{A}}(x)$ je hodnota na jednotkovém intervalu, která udává stupeň příslušnosti k určitému prvku x , patřící do fuzzy množiny \tilde{A} .

Na závěr této kapitoly je nutné zmínit, že je velmi podstatné znát rozdíl mezi náhodou a neostrotí. Neostrost popisuje nedostatek rozlišení události, kdežto náhoda popisuje nejistotu ve výskytu události. Událost se stane nebo ne, ale popis události musí být zřetelně jasný, abychom mohli změřit jeho výskyt či nevýskyt?

3.1 Klasické množiny a fuzzy množiny

Jak bylo zmíněno výše, všechny výroky, které řekneme o určitém problému, jsou členy univerza. Tedy množiny všech možných informací, které nám daný problém mohou popsat. My budeme popisovat množiny jako matematickou abstrakci k těmto událostem a danému univerzu.

Na obrázku 3.2 jsou ukázány 2 způsoby popisu definování množin na univerzu výroků. Univerzum označíme X a ostrou množinu, která se nachází někde uvnitř univerza, označíme A . U ostré množiny máme jasně definovány hranice a neexistuje zde žádná možnost nejistoty. Můžeme tedy přesně určit, zda prvek a nebo b do množiny patří či ne. Na druhé straně fuzzy množina \tilde{A} je popsána vágně a neurčitě, tudíž její hranice jsou specifikovány neurčitě. Vyšrafovaná (šedivá) hranice fuzzy množiny reprezentuje pouze oblast možných hraničních bodů. Prvek a jistě patří do fuzzy množiny \tilde{A} . Prvek b nacházející se mimo síť není jistě členem fuzzy množiny. Nicméně členství prvku c , který se nachází v hraniční oblasti, je nejasné. Pokud jsme dříve zmínili, že prvku patřícímu do fuzzy množiny náleží hodnota 1 a prvku nenáležícímu hodnota 0, bude hodnota příslušnosti prvku c někde mezi těmito hodnotami. Čím blíže bude prvek ke středu dané množiny, tím mu bude náležet větší příslušnost a naopak.



Obr. 3.2: Hranice ostré množiny (a) a hranice fuzzy množiny (b)

3.1.1 Klasické množiny

U klasických množin můžeme změřit hodnotu prvků číselně a předpokládáme, že je konečná. Může nastat situace, kdy hraniční hodnotu nebylo ještě možné zjistit, ale například z historických zkušeností můžeme znát maximální zaznamenanou hodnotu,

kteřou budeme brát jako hraniční hodnotu. Proto určení univerza, které je rozpojené, konečné nebo nekonečné, záleží na modelované situaci. Výběr ale nealternuje charakteristiku prvků. Pokud prvky množiny jsou plynulé (přetrvávající), bude daná množina definována jako plynulá i za určenou maximální hranici.

Užitečný atribut množin a univerza, na kterém jsou definována, je kardinalita (mohutnost). Celkový součet všech prvků v univerzu X je nazýváno kardinální číslo a je značeno n_x , kde x je značka pro určitý prvek v univerzu. Z toho je zřejmé, že univerza, která jsou utvářeny na počítatelné konečné množině, budou mít konečné kardinální číslo. U nekonečného univerza tomu bude naopak.

Kolekce prvků okolo univerza jsou označovány jako množiny a kolekce prvků okolo množin jsou označovány jako podmnožiny. Množiny a podmnožiny jsou často používány souznačně, když nějaká množina je zároveň podmnožinou univerza X .

Množina A a B jsou založeny na množině nějakých prvků v X :

$$x \in X \Rightarrow x \text{ náleží do } X$$

$$x \in A \Rightarrow x \text{ náleží do } A$$

$$x \notin A \Rightarrow x \text{ nenáleží do } A$$

Základním vztahem mezi množinami je tak zvaná množinová inkluze, značená \subseteq . Vyjadřuje situaci, kdy nějaká množina „je částí“ nebo „je podmnožinou“. Pokud nastane situace $A \neq B$, tedy když existuje alespoň jeden prvek, který se nachází v B , ale neleží v A , budeme psát $A \subset B$, tzn. A je vlastní podmnožinou B .

$$A \subset B \Rightarrow A \text{ je vlastní podmnožinou } B$$

$$A \subseteq B \Rightarrow A \text{ je podmnožinou nebo je stejná k } B$$

$$(A \leftrightarrow B) \Rightarrow A \subseteq B \text{ a } B \subseteq A \text{ (} A \text{ je ekvivalentní k } B \text{)}$$

Zvláštní množinou je tak zvaná prázdná množina, která neobsahuje žádný prvek a je značena \emptyset . Prázdná množina je analogická k nemožné události. Všechny možné množiny z X utvářejí speciální množinu nazývanou silná množina $P(X)$, též označovaná jako potence množiny. Tato množina obsahuje všechny své podmnožiny, prázdnou množinu a sebe sama. Kardinality silných množin je popisována $n_{P(X)}$ a je nalezena jako $n_{P(X)} = 2^{n_X}$. Pokud je kardinalita univerza nekonečná, pak kardinality silné množiny je také nekonečná $n_X = \infty \Rightarrow n_{P(X)} = \infty$.

Operace na klasických množinách

Budeme předpokládat množiny A a B na univerzu X . Sjednocení těchto 2 množin, značeno $A \cup B$, reprezentuje všechny prvky univerza, které patří do množiny A , do množiny B nebo do obou zároveň (tato operace je také nazývána jako *logické or*). Průnik těchto množiny, značen $A \cap B$, reprezentuje všechny prvky v univerzu X , které současně patří do množin A a B . Doplněk množiny A , značen \bar{A} , označuje soubor všechny prvků v univerzu, které nepatří do množiny A . Rozdíl množiny A k B , značen $A|B$, definuje soubor všech prvků v univerzu, které patří do množiny A a současně nepatří do množiny B .

$$\text{Sjednocení} \quad A \cup B = \{x | x \in A \text{ or } x \in B\} \quad (3.3)$$

$$\text{Průnik} \quad A \cap B = \{x | x \in A \text{ and } x \in B\} \quad (3.4)$$

$$\text{Doplněk} \quad \bar{A} = \{x | x \notin A, x \in X\} \quad (3.5)$$

$$\text{Rozdíl} \quad A|B = \{x | x \in A \text{ and } x \notin B\} \quad (3.6)$$

Vlastnosti klasických množin

Jisté vlastnosti množin jsou důležité díky jejich vlivu na matematickou manipulaci s množinami. Nejvhodnější vlastnost pro definování klasických množin a k znázornění jejich podobnosti k fuzzy množinám jsou:

$$\text{Komutativnost} \quad A \cup B = B \cup A$$

$$A \cap B = B \cap A \quad (3.7)$$

Asociativita $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$

$$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C \quad (3.8)$$

Distributivita $A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (3.9)$$

Idempotence $A \cup A = A$

$$A \cap A = A \quad (3.10)$$

Identita $A \cup \emptyset = A$

$$A \cap X = A$$

$$A \cap \emptyset = \emptyset \quad (3.11)$$

$$A \cup X = X$$

Tranzitivita $If A \subseteq B \text{ and } B \subseteq C, \text{ then } A \subseteq C \quad (3.12)$

Involunce $\bar{\bar{A}} = A \quad (3.13)$

Dvě speciální vlastnosti operací s množinami jsou známy jako zákon vyloučeného třetího (*excluded middle axioms*) a De Morganovy zákony (*De Morgan's principles*). De Morganovy principy (zákony) určují vztah mezi sjednocením, průnikem a doplňkem množin. Tyto vlastnosti jsou zde vypočítány pro množiny A a B . Zákony vyloučeného třetího jsou velmi důležité, protože pouze tyto axiomy nejsou platné (dostatečné) pro oba přístupy u ostrých množin a fuzzy množin. První axiom nazývaný zákon vyloučeného třetího (*Axiom of the excluded middle*) popisuje spojení množiny A a jeho doplňku. Druhý nazývaný Axiom o kontradikci (*Axiom of contradiction*) reprezentuje protínání množiny A a jejího doplňku.

$$\text{Zákon vyloučeného třetího} \quad A \cup \bar{A} = X \quad (3.14a)$$

$$\text{Axiom o kontradikci} \quad A \cap \bar{A} = \emptyset \quad (3.14b)$$

De Morganovy zákony jsou důležité díky jejich užitečnosti v dokazování tautologie³ a kontradikce v logice. Stejně tak jako host v jiných množinových operacích a důkazech.

$$\overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B} \quad (3.15a)$$

$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B} \quad (3.15b)$$

Obecně De Morganovy zákony mohou být stanoveny pro n množin:

$$\overline{E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n} = \bar{E}_1 \cap \bar{E}_2 \cap \dots \cap \bar{E}_n \quad (3.16a)$$

$$\overline{E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n} = \bar{E}_1 \cup \bar{E}_2 \cup \dots \cup \bar{E}_n \quad (3.16b)$$

Ze základních rovnic (3.15) získáváme, pro De Morganovy principy, dualitu vztahů. Doplněk spojení nebo protínání je stejný jako protnutí nebo spojení, jednotlivě, z příslušných doplňků. Tento výsledek je velmi významný s ohledem na strukturu množiny poté co často máme informace o doplňcích k množině (události) nebo o doplňku ke kombinacím množin (událostí), spíše než informace o množinách samotných.

Zobrazení klasických množin k funkcím

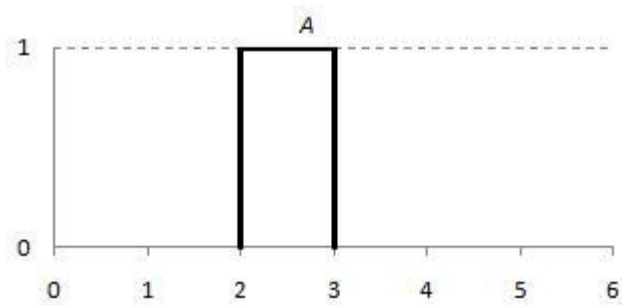
Zobrazení je důležité pojetí, které dává do souvislosti teorii množin a funkční teorii reprezentace informace. V její obecné formě může být použita pro mapování prvků nebo podmnožin na univerzu výroků k prvkům nebo množinám k jinému univerzu. Jednodušeji řečeno zobrazení je v intuitivním chápání pravidlo (předpis), který prvkům jedné množiny (třídy) jednoznačně přiřazuje prvky nějaké jiné množiny (třídy). Takováto pravidla jsou jedním z nejčastějších předmětů studia matematiky. Lze jimi

³ Tautologie je v logice vždy pravdivý složený výrok, bez ohledu na pravdivostní hodnotu jednotlivých částí takového výroku.

popsat všechny funkční závislosti, posloupnosti či transformace (VANÍČEK, 2007). Budeme předpokládat dvě různé množiny výroků (informací) X a Y . Pokud je prvek x členem množiny X a koresponduje s prvkem y , který patří do množiny Y , je to obecné nazváno jako zobrazení z X na Y , $f: X \rightarrow Y$. Jako zobrazení uvažujeme charakteristickou funkci χ_A , která je definována jako

$$\chi_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad (3.17)$$

kde χ_A vyjadřuje členství v množině A pro prvek x v univerzu. Tahle idea členství je přiřazení prvku x z univerza X k jednomu ze dvou prvků v univerzu Y (tj. k prvku 0 nebo 1) jak je ukázáno na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Funkce příslušnosti přiřazená pro ostrou množinu A

Pro jakoukoliv množinu A definovanou na univerzu X existuje funkčně-teoretická množina (function-theoretic set), nazývaná hodnota množiny, značená $V(A)$, pod přiřazením z charakteristické funkce χ . Ale zvyklostí je, že k prázdné množině \emptyset je přiřazena hodnota členství 0 a k celé množině X je přiřazena hodnota příslušnosti 1 (ROSS, 2004).

Příklad 3.1. Vše co bylo právě zmíněno, si popíšeme na následujícím příkladu. Uvažujme univerzum o třech prvcích, $X = \{a, b, c\}$. Chceme zobrazit prvky ze silné množiny z X , $P(X)$, na univerzum Y , skládající se z pouze dvou prvků

$$Y = \{0,1\}$$

Prvky ze silné množiny jsou vyjmenovány

$$P(X) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{b, c\}, \{a, c\}, \{a, b, c\}\}$$

Tudíž prvky v hodnotové množině $V(A)$ jsou ohodnoceny ze zobrazení

$$V\{P(X)\} = \{\{0,0,0\}, \{1,0,0\}, \{0,1,0\}, \{0,0,1\}, \{1,1,0\}, \{0,1,1\}, \{1,0,1\}, \{1,1,1\}\}$$

Např. třetí podmnožinou v silné množině $P(X)$ je prvek b . V téhle podmnožině není žádné a , proto hodnota 0 zaujímá první pozici trojčlenu. Nachází se tam ale prvek b , proto hodnota 1 bude na druhé pozici trojčlenu. A na závěr podmnožina neobsahuje prvek c , proto poslední člen trojčlenu bude 0. Z tohoto důvodu je třetí podmnožina trojčlen $\{0,1,0\}$.

Nyní definujeme dvě množiny, A a B , na univerzu X . Spojení těchto dvou množin v podmínkách funkčně-teoretických výrazů (function-theoretic terms) je dán následovně

$$\text{Spojení} \quad A \cup B \rightarrow \chi_{A \cup B}(x) = \chi_A(x) \vee \chi_B(x) = \max(\chi_A(x), \chi_B(x)) \quad (3.18)$$

Průnik těchto dvou sítí v podmínkách teoretické funkce množiny je dán

$$\text{Průnik} \quad A \cap B \rightarrow \chi_{A \cap B}(x) = \chi_A(x) \wedge \chi_B(x) = \min(\chi_A(x), \chi_B(x)) \quad (3.19)$$

Doplněk z jednotkové množiny na univerzu X , nazveme \bar{A} , je dán

$$\text{Doplněk} \quad \bar{A} \rightarrow \chi_{\bar{A}}(x) = 1 - \chi_A(x) \quad (3.20)$$

Pro dvě množiny na stejném univerzu, nazveme A a B , když jedna množina (A) je obsažena v jiné množině (B), potom

$$\text{Omezení} \quad A \subseteq B \rightarrow \chi_A(x) \leq \chi_B(x) \quad (3.21)$$

3.1.2 Fuzzy množiny

V klasických (ostrých) množinách je přechod pro prvky v univerzu mezi členy a nečleny nesouvislý (nejsou uzpůsobeny k vyjádření neurčitosti) a dobře definovaný nebo lépe řečeno ostrý. Pro prvek v univerzu, který je členem fuzzy množin, je přechod pozvolný. Tento přechod mezi různými stupni příslušnosti může být myšlen jako přizpůsobivý

k faktu, že hranice fuzzy množin jsou vágní a neurčité. Tudíž členství prvku z univerza v této množině je měřitelné funkcí, která se pokouší popsat vágnost a neurčitost.

Fuzzy množina tedy obsahuje prvky, které mají lišící se stupně příslušnosti k množině. Tento přístup je v kontrastu s klasickými (ostrými) množinami, protože prvky v ostrých množinách nemohou být prvky dané množiny, pokud jejich členství nebylo plné (kompletní), tj. jejich členství je vyjádřeno hodnotou 1. Prvky ve fuzzy množině, protože jejich členství nemusí být úplné, mohou být prvky i jiných fuzzy množin na stejném univerzu.

Prvky fuzzy množiny jsou přiřazeny (mapped) k univerzu hodnotou příslušnosti za použití funkčně-teoretické formy (function-theoretic form). Jak již bylo zmíněno dříve, fuzzy množiny jsou značeny symbolem s vlnovkou, tj. \tilde{A} . Tato forma přiřazuje jednotlivým prvkům z fuzzy množiny \tilde{A} reálné hodnoty z intervalu 0 a 1. Pokud prvek z univerza, např. x , je členem fuzzy množiny \tilde{A} , potom přiřazení probíhá podle vztahu (1.2). Toto přiřazení je názorně ukázáno na obrázku 3.3 pro typickou fuzzy množinu.

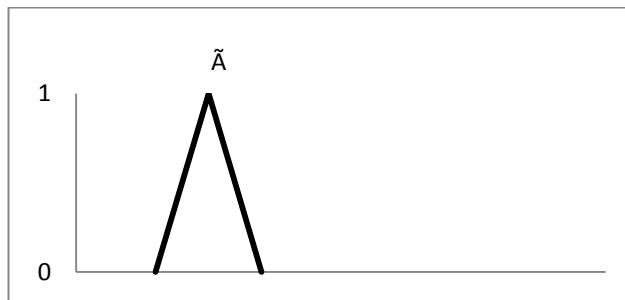
Zvyklost zápisu pro fuzzy množiny když univerzum výroku X je nespojitě a konečné:

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\mu_{\tilde{A}}(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.22)$$

Když je univerzum X nekonečné a spojitě, fuzzy množina \tilde{A} je značena

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\mu_{\tilde{A}}(x)}{x} \right\} \quad (3.23)$$

V obou notacích horizontální.



Obr. 3.4: Funkce příslušnosti pro fuzzy množinu \tilde{A}

Operace s fuzzy množinami

Operace s fuzzy množinami musí být definovány tak, aby stupeň příslušnosti výsledku operace závisel pouze na stupních příslušností operandů. To je zásadní rozdíl oproti stochastické neurčitosti, kde hraje významnou roli závislost či nezávislost jevů (VANÍČEK, 2007).

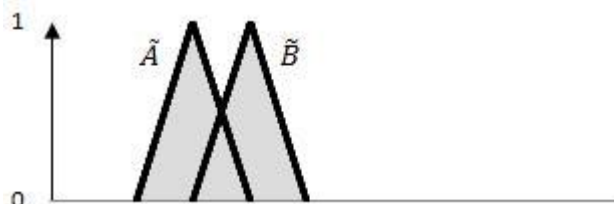
Definujeme si tři fuzzy množiny \tilde{A} , \tilde{B} a \tilde{C} na univerzu X . Nejčastěji užívané standardní operace s fuzzy množinami jsou definovány následovně:

$$\text{Spojení} \quad \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \vee \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (3.24)$$

$$\text{Průnik} \quad \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \mu_{\tilde{A}}(x) \wedge \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (3.25)$$

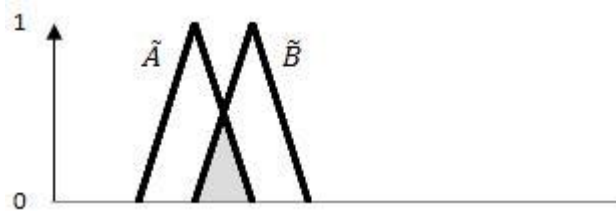
$$\text{Doplněk} \quad \mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x) \quad (3.26)$$

Popsané operace (2.22)-(2.24) jsou známé jako *standardní fuzzy operace*. Samozřejmě existují i další fuzzy operace, ale ty budou popsány později. Pro názornější ukázkou těchto operací použijeme Vennovy diagramy⁴. \tilde{A}

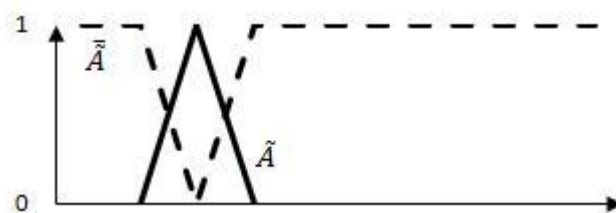


Obr. 3.5: Spojení fuzzy množin \tilde{A} a \tilde{B}

⁴ Vennovy diagramy (Venn diagrams) nebo množinové diagramy jsou diagramy, které ukazují všechny hypoteticky a logicky možné vztahy mezi množinami. John Venn je představil okolo roku 1880. Jejich použití zahrnuje teorii množin a pravděpodobnosti, logiku nebo statistiku.



Obr. 3.6: Průnik fuzzy množin \tilde{A} a \tilde{B}



Obr. 3.7: Doplněk fuzzy množiny \tilde{A}

Jakákoliv fuzzy množina, která je definována na univerzu X je podmnožinou tohoto univerza. Také pomocí definice, stejně jako pro klasické (ostré) množiny, hodnota příslušnosti pro jakýkoliv prvek x v prázdné množině \emptyset je rovna 0 a hodnota příslušnosti pro jakýkoli prvek x z celé množiny X je 1^5 . Vhodný zápis pro tuhle myšlenku je následující:

$$\tilde{A} \subseteq X \Rightarrow \mu_{\tilde{A}}(x) \leq \mu_X(x) \quad (3.27a)$$

$$\text{Pro všechny } x \in X, \mu_{\emptyset}(x) = 0 \quad (3.27b)$$

$$\text{Pro všechna } x \in X, \mu_X(x) = 1 \quad (3.27c)$$

Soubor všech fuzzy množin a fuzzy podmnožin na univerzu X je označován jako síla (mohutnost) fuzzy množiny $\widetilde{P(X)}$. Může být zřejmé, že na základě znalostí, kde všechny fuzzy množiny se mohou překrývat, je kardinalita, $n_{P(X)}$, fuzzy silné množiny nekonečná ($n_{P(X)} = \infty$).

De Morganovy principy pro klasické ostré množiny se také hodí pro fuzzy množiny:

$$\overline{\tilde{A} \cap \tilde{B}} = \tilde{A} \cup \tilde{B} \quad (3.28a)$$

⁵ Prázdná množina a celá množina nejsou v tomto kontextu fuzzy množiny.

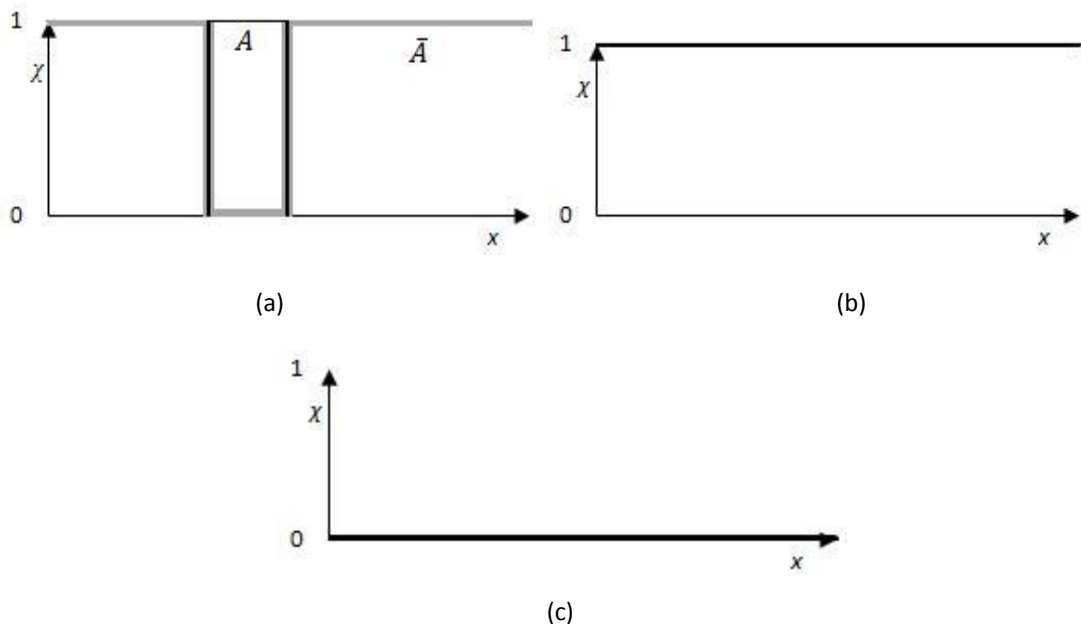
$$\overline{\tilde{A} \cup \tilde{B}} = \tilde{A} \cap \tilde{B} \quad (3.28b)$$

Jak již bylo zmíněno dříve, všechny operace pro klasické množiny jsou použitelné i pro fuzzy množiny, kromě zákona vyloučeného třetího, který popisuje spojení množiny A s jeho doplňkem. Tyto axiomy se nehodí pro fuzzy množiny, protože nejsou v souladu se základní strukturou fuzzy množin. Když se mohou překrývat samotné fuzzy množiny, může se tím pádem překrývat množina a její doplněk. Proto je tento axiom pro fuzzy množiny popsán následovně:

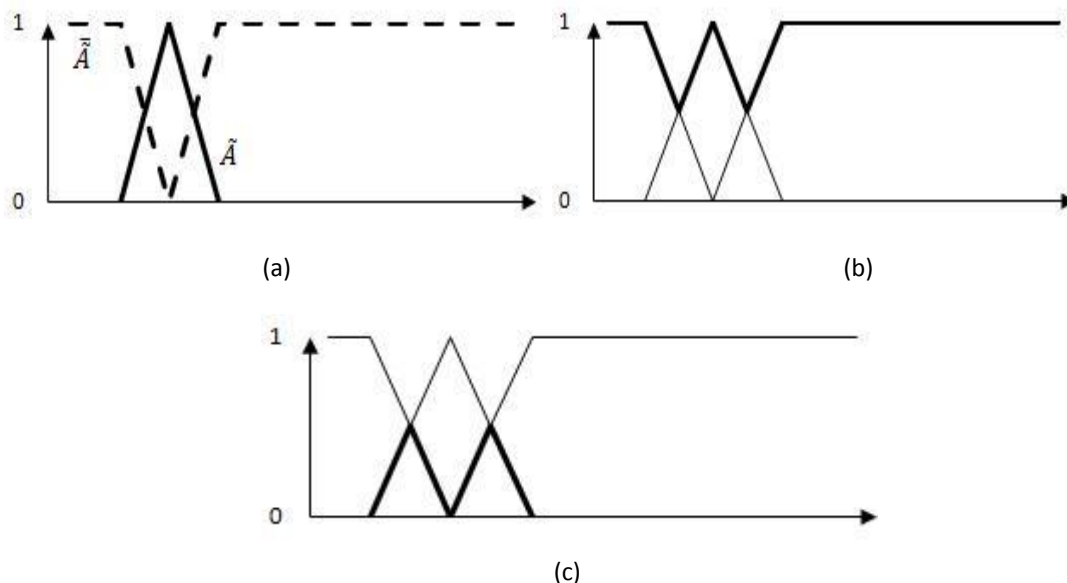
$$\text{Zákon vyloučeného třetího} \quad \tilde{A} \cup \tilde{\tilde{A}} \neq X \quad (3.29a)$$

$$\text{Axiom o kontradikci} \quad \tilde{A} \cap \tilde{\tilde{A}} \neq \emptyset \quad (3.29b)$$

Rozdíl v zákonu vyloučeného třetího mezi ostrými množinami a fuzzy množinami jsou ukázány na obrázku 3.8 a 3.9.



Obr. 3.8: Zákon vyloučeného třetího pro ostré množiny. (a) Ostrá množina A a její doplněk; (b) ostrý $A \cup \bar{A} = X$ (zákon vyloučeného třetího); (c) ostrý $A \cap \bar{A} = \emptyset$ (axiom o kontradikci)



Obr. 3.9: Zákon vyloučeného třetího pro fuzzy množiny. (a) Fuzzy množina \tilde{A} a její doplněk; (b) fuzzy $\tilde{A} \cup \tilde{A} \neq X$ (zákon vyloučeného třetího); (c) fuzzy $\tilde{A} \cap \tilde{A} \neq \emptyset$ (axiom o kontradikci)

Vlastnosti fuzzy množin

Fuzzy množiny se řídí podle stejných vlastností jako klasické (ostré) množiny. Protože tento fakt a protože hodnota příslušnosti klasické množiny je z intervalu $[0,1]$, klasická množina může být speciální příklad fuzzy množiny. Často používané vlastnosti fuzzy množiny jsou popsány níže.

Komutativnost
$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = \tilde{B} \cup \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{B} \cap \tilde{A} \tag{3.30}$$

Asociativita
$$\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cup \tilde{C}$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cap \tilde{C} \tag{3.31}$$

Distributivita
$$\tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C})$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C}) \tag{3.32}$$

Idempotence
$$\tilde{A} \cup \tilde{A} = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{A} = \tilde{A} \quad (3.33)$$

Identita

$$\tilde{A} \cup \emptyset = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap X = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \emptyset = \emptyset \quad (3.34)$$

$$\tilde{A} \cup X = X$$

Tranzitivita

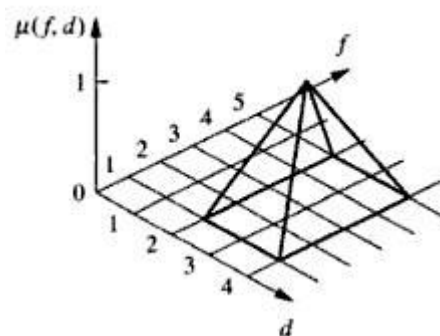
$$\text{If } \tilde{A} \subseteq \tilde{B} \text{ and } \tilde{B} \subseteq \tilde{C}, \text{ then } \tilde{A} \subseteq \tilde{C} \quad (3.35)$$

Involunce

$$\overline{\overline{\tilde{A}}} = \tilde{A} \quad (3.36)$$

Neinteraktivní fuzzy množiny

Vzájemné nepůsobení množin v teorii fuzzy množin může být myšleno jako pokračování k nezávislosti událostí v teorii pravděpodobnosti. Neinteraktivní fuzzy množiny přicházejí do kontextu ve vztazích, nebo v n-dimenzionálním přiřazení (ROSS, 2004).



Obr. 3.10: Trojdimenzionální obraz průniku fuzzy množin (ROSS, 2004)

Budeme předpokládat fuzzy množinu \tilde{A} na karteziánském prostoru $X = X_1 \times X_2$. Množina \tilde{A} je rozdělena do dvou neinteraktivních fuzzy množin, nazvané ortogonální projekce, tedy a pouze tehdy

$$\tilde{A} = Pr_{x_1}(\tilde{A}) \times Pr_{x_2}(\tilde{A}) \quad (3.37a)$$

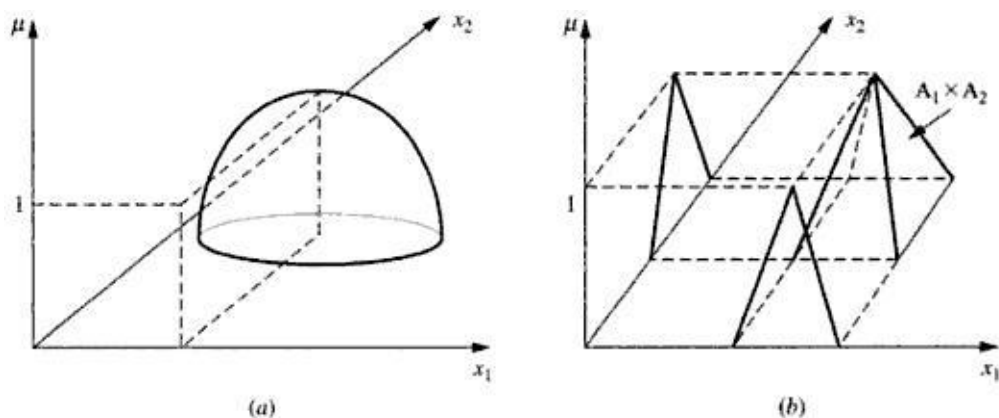
kde

$$\mu_{Pr_{x_1}(\tilde{A})}(x_1) = \max_{x_2 \in X_2} \mu_{\tilde{A}}(x_1, x_2), \forall x_1 \in X_1 \quad (3.37b)$$

$$\mu_{Pr_{x_2}(\tilde{A})}(x_2) = \max_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{A}}(x_1, x_2), \forall x_2 \in X_2 \quad (3.37c)$$

Jsou funkce příslušnosti pro projekce z fuzzy množiny \tilde{A} na univerza X_1 a X_2 . Vzorec (2.37a) slouží pro fuzzy množinu, kdežto funkce příslušnosti $\mu_{Pr_{x_1}(\tilde{A})}(x_1)$ a $\mu_{Pr_{x_2}(\tilde{A})}(x_2)$ popisují neinteraktivní fuzzy množiny. Odloučenost nebo neinteraktivnost fuzzy množiny \tilde{A} popisuje jistý druh nezávislosti prvků (x_1 a x_2). Fuzzy množina \tilde{A} může být výhradně rekonstruována svojí projekcí a prvky fuzzy množiny \tilde{A} se mohou odlišovat (měnit se) bez předpokládání ostatních prvků (ROSS, 2004).

Na obrázku 3.11b můžeme vidět neinteraktivnost fuzzy množin, kde jejich průnik byl konstruován pomocí Karteziánského průniku. Kdežto dvojdimenzionální fuzzy množina obsahující zakřivený povrch bude neoddělitelná, její prvky budou na sebe působit. Interaktivní prvky jsou charakterizovány faktem, že různost (variace) jednoho prvku působí na hodnoty ostatních prvků. Interaktivní fuzzy množina je znázorněno na obr. 3.11a.



Obr. 3.11: Fuzzy množiny (a) interaktivní (b) neinteraktivní

Neinteraktivní fuzzy množiny budou mít velmi důležitou roli ve fuzzy systémové simulaci, kde vstupy z různých univerzí budou agregovány v kolektivní myšlence společného výstupu. Teorie fuzzy množin je popsána také v (NAVARA, OLŠÁK, 2007).

3.2 Vlastnosti funkcí příslušnosti, fuzzifikace a defuzzifikace

Je dobré se zamyslet, jak naložit s fuzzy informací, kterou získáme například při rozhodování. Jak tuto informaci aplikovat na našem okolí. Ačkoli bereme v potaz fakt, že velké množství informací, které přijímáme každý den, jsou neurčité (mlhavé), je většina našich rozhodnutí nebo rozhodnutí přístrojů ostré, přesné nebo binární, hodnotové.

Tento výsledek u matematických nebo inženýrských principů předpokládáme. Proto bude u mnoha aplikací a inženýrských scénářů požadavek na „defuzzifikování“ fuzzy výsledku, který bude vygenerován skrze fuzzy systémy. Měli bychom tedy najít způsob, jak převést fuzzy výsledek na ostrý výsledek. Defuzzifikace bude mít za následek převedení fuzzy množiny na ostrou množinu, fuzzy číslo na ostré číslo atd.

3.2.1 Znak funkce příslušnosti

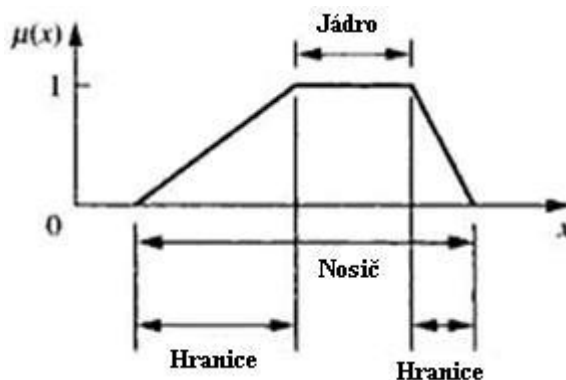
Pokud každá informace obsažená ve fuzzy množině je popsána svojí funkcí příslušnosti, je účelné vytvořit slovník pojmů k popsání různých speciálních znaků této funkce. Všechny níže popsané vlastnosti se budou vztahovat k obrázku 3.12, který popisuje klasickou fuzzy množinu.

Jádro funkce příslušnosti pro fuzzy množinu \tilde{A} je definováno jako oblast univerza, která je charakterizována úplným nebo plným členstvím k množině \tilde{A} . Jádro tedy zahrnuje takové prvky x u univerza, které splňují $\mu_{\tilde{A}(x)} = 1$.

Nosič funkce příslušnosti pro fuzzy množinu \tilde{A} je definována jako oblast z univerza, které je charakterizováno jako nenulové členství ve fuzzy množině \tilde{A} . To znamená, že nosič obsahuje ty prvky, které splňují $\mu_{\tilde{A}(x)} > 0$.

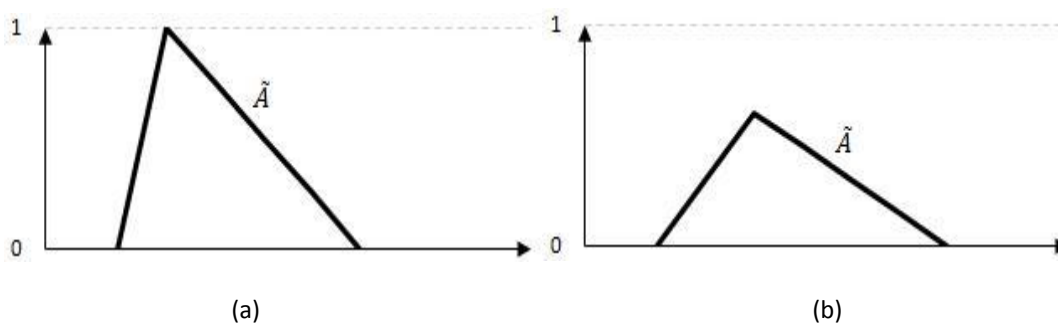
Hranice funkce příslušnosti pro fuzzy množinu \tilde{A} jsou definovány jako oblasti z univerza, které obsahují prvky, které mají nenulové členství, ale zároveň nemají plné

členství k množině. Z toho plyne, že hranice obsahují takové prvky, které splňují $0 < \mu_{\tilde{A}}(x) < 1$. Tyto prvky univerza jsou takové, které mají určitý stupeň nepřesnosti (fuzziness) nebo pouze částečnou příslušnost k fuzzy množině \tilde{A} .



Obr. 3.12: Jádro, hranice a nosič fuzzy množiny.

Normální fuzzy množina je taková množina, kde její funkce příslušnosti obsahuje alespoň jeden prvek x v univerzu jehož hodnota příslušnosti je rovna 1. Pro fuzzy množinu, kde jeden a pouze jeden prvek má hodnotu funkce příslušnosti rovnu 1, bude tento prvek typicky nazýván jako vzor této množiny.

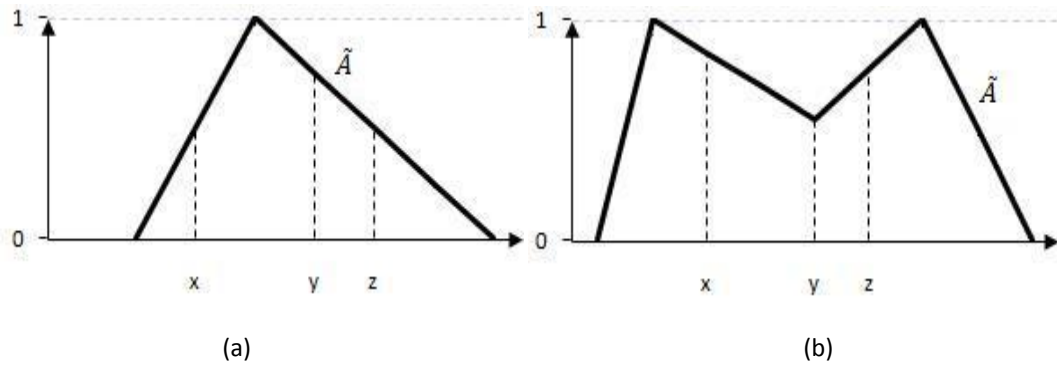


Obr. 3.13: Normální (a) a nenormální (b) fuzzy množina

Konvexní fuzzy množina je charakterizována funkcí příslušnosti, u které příslušnost prvků striktně monotónně stoupá a následně monotónně klesá. Pro prvky x, y a z ve fuzzy množině \tilde{A} , vztah mezi prvky je $x < y < z$ implikuje k

$$\mu_{\tilde{A}}(y) \geq \min[\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{A}}(z)] \quad (3.38)$$

Potom fuzzy množina \tilde{A} může být nazývána jako konvexní. Na obrázku 3.14 můžeme vidět rozdíl mezi konvexní a nekonvexní fuzzy množinou.



Obr. 3.14: Konvexní normální fuzzy množina (a), nekonvexní normální fuzzy množina (b)

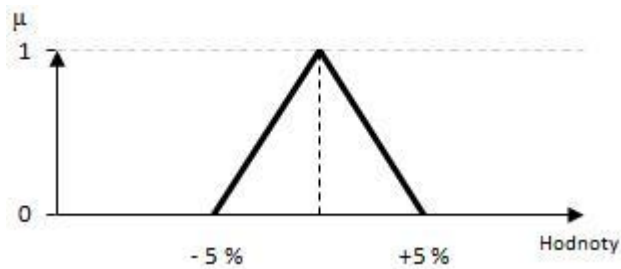
Zvláštní vlastnost dvou konvexních fuzzy množin \tilde{A} a \tilde{B} je, že jejich průnik bude taky konvexní ($\tilde{A} \cap \tilde{B}$ je taky konvexní). (ROSS, 2004)

Výška fuzzy množiny \tilde{A} je maximální hodnota funkce příslušnosti, tj. $hgt(\tilde{A}) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x)\}$. Pokud $hgt(\tilde{A}) < 1$, potom je fuzzy množina nenormální. Výška $hgt(\tilde{A})$ může být viděna jako stupeň oprávněnosti nebo důvěryhodnosti vyjádření fuzzy množinou \tilde{A} .

3.2.2 Fuzzifikace ostrých množin

Fuzzifikace je proces přeměny ostré veličiny v neostrou (fuzzy). Tato přeměna je prováděna z důvodu jednoduchého rozpoznání, že veličiny, u kterých předpokládáme, že jsou ostré (deterministické), vlastně ani ostré nemusí být. Z tohoto důvodu, tyto veličiny přinášejí značnou nejistotu. Pokud forma nejistoty nastane z důvodu nepřesnosti, nejasnosti nebo vágnosti, potom je veličina (proměnná) pravděpodobně fuzzy veličinou. Tato veličina potom může být popsána její funkcí příslušnosti.

Ve skutečném světě okolo nás se setkáváme s případy, kdy přístroje měří hodnoty určité operace a poskytují tak ostrá data. Ve většině případů se připouští měření s určitou odchylkou. Jak je ukázáno na obrázku 3.15, tato odchylka (přípustná chyba měření) může vyjadřovat určitý druh nepřesnosti.



Obr. 3.15: Funkce příslušnosti reprezentující „ostré měření“

Reprezentace nepřesných dat jako fuzzy množina je účelné, ale není to nutné, když jsou tyto data používány ve fuzzy systémech.

3.2.3 Defuzzifikace do ostrých množin

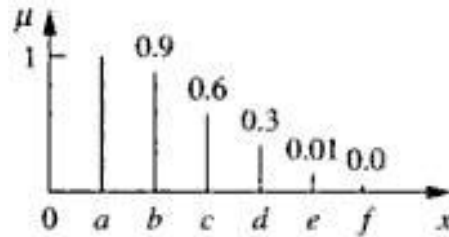
Budeme předpokládat fuzzy množinu \tilde{A} a dále definujeme lambda-řez (lambda-cut) množinu A_λ , kde $0 \leq \lambda \leq 1$. Množina A_λ je ostrá množina nazývaná lambda (λ)-řez (nebo občas nazývána alfa řez) množina z fuzzy množiny \tilde{A} , kde $A_\lambda = \{x | \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \lambda\}$. Je nutno zmínit, že množina λ -řez nemá vlnkou podtržený symbol, protože se jedná o ostrou množinu získanou z její vlastní fuzzy množiny \tilde{A} . Jakákoliv konkrétní fuzzy množina \tilde{A} může být transformována do konečné λ -řez množiny, protože je tam konečný počet hodnot λ v intervalu $[0,1]$.

Jakýkoliv prvek $x \in A_\lambda$ patří do \tilde{A} se stupněm příslušnosti který je větší nebo stejný jako hodnota λ . Tuto situaci snáze pochopíme na následujícím příkladu:

Příklad 3.2. Předpokládejme nespojitou fuzzy množinu, definovanou na universu $X = \{a, b, c, d, e, f\}$,

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{1}{a} + \frac{0.9}{b} + \frac{0.6}{c} + \frac{0.3}{d} + \frac{0.01}{e} + \frac{0}{f} \right\}$$

Tato fuzzy množina je znázorněna na obrázku 3.14. Pomocí lambda-řezů můžeme tuto fuzzy množinu rozdělit na několik λ -řez množin, které budou ostrými množinami. Na příklad můžeme definovat λ -řez množiny pro hodnoty $\lambda = 1, 0.9, 0.6, 0.3, 0^+ a 0$.



Obr. 3.16: Nespojité fuzzy množina \tilde{A} (ROSS, 2004)

$$A_1 = \{a\}$$

$$A_{0.9} = \{a, b\}$$

$$A_{0.6} = \{a, b, c\}$$

$$A_{0.3} = \{a, b, c, d\}$$

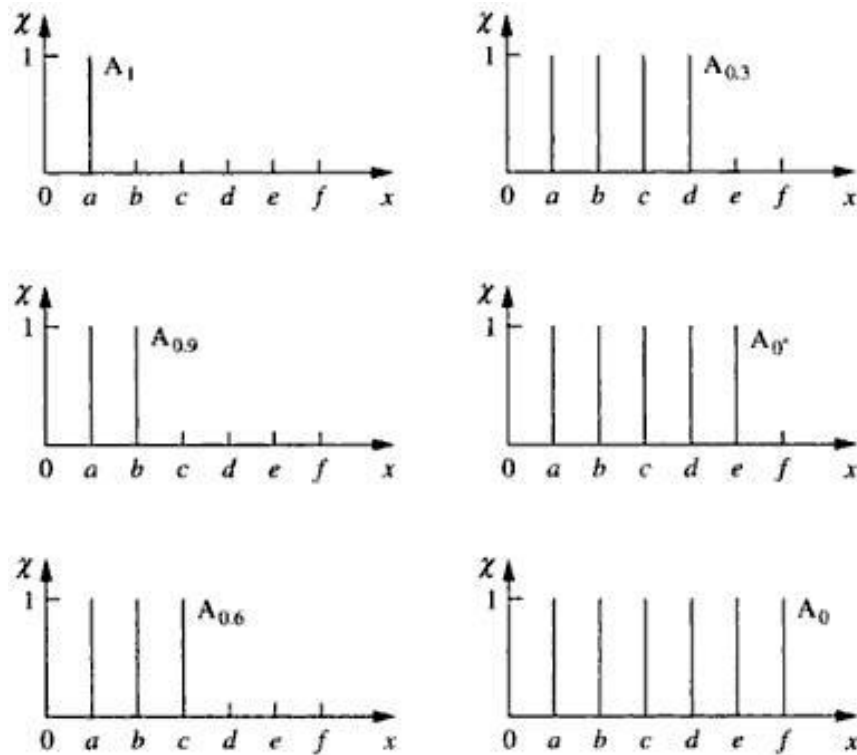
$$A_{0^+} = \{a, b, c, d, e\}$$

$$A_0 = X$$

Hodnota 0^+ je definována jako malá „ ε “ hodnota > 0 tzn. hodnota je větší než nula. Lambda-řez $\lambda = 0$ odkazuje na universum X , protože všechny prvky universa mají nejméně nulovou hodnotu příslušnosti v jakékoliv množině v universu. Poté co A_λ je ostrá množina, budou mít všechny prvky v této množině stejnou hodnotu příslušnosti. Na příklad pro $\lambda = 0.6$ prvky a, b, c mají stejnou hodnotu příslušnosti a to 1. Prvky d, e, f mají hodnotu příslušnosti rovnu 0.

Může vyjádřit λ -řez množinu pomocí Zadehovi notace. Například λ -řez množina pro hodnotu $\lambda = 0.6$ bude následující:

$$A_{0.6} = \left\{ \frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{0}{d} + \frac{0}{e} + \frac{0}{f} \right\}$$



Obr. 3.17: Lambda-řez množiny pro hodnoty $\lambda = 1, 0.9, 0.6, 0.3, 0^+, 0$ (ROSS, 2004)

λ -řez množiny se řídí následujícími 4 speciálními vlastnostmi:

$$1. \quad (\tilde{A} \cup \tilde{B})_\lambda = A_\lambda \cup B_\lambda \quad (3.39a)$$

$$2. \quad (\tilde{A} \cap \tilde{B})_\lambda = A_\lambda \cap B_\lambda \quad (3.39b)$$

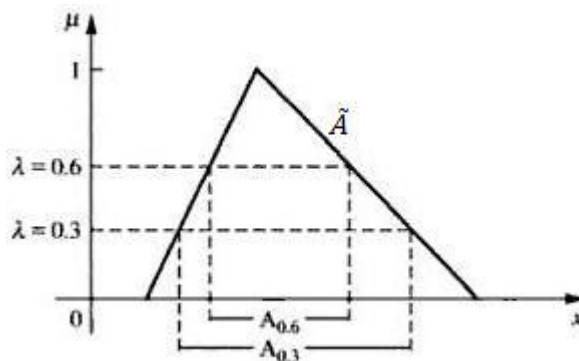
$$3. \quad (\tilde{\tilde{A}})_\lambda \neq \bar{A}_\lambda \text{ vyjma pro hodnotu } \lambda = 0.5 \quad (3.39c)$$

$$4. \quad \begin{array}{l} \text{Pro jakýkoliv } \lambda \leq \alpha, \text{ kde } 0 \leq \alpha \leq 1, \text{ je pravdivé že } A_\alpha \\ \subseteq A_\lambda, \text{ kde } A_0 = X \end{array} \quad (3.39d)$$

Tyto vlastnosti ukazují, že λ -řez na standardních operacích na fuzzy množinách jsou stejné se standardními operacemi na λ -řez množinách. Poslední výše uvedený bod (3.39d) je lepší vysvětlit graficky. Obrázek 3.18 znázorňuje spojitou fuzzy množinu se

dvěma λ -řez hodnotami. Můžeme si povšimnout, že pro $\lambda = 0.3$ a $\alpha = 0.6$ má větší pole působnosti $A_{0.3}$ než $A_{0.6}$, tj. $\lambda \leq \alpha (0.3 \leq 0.6), A_{0.6} \subseteq A_{0.3}$.

V této kapitole bylo popsáno několik definicí funkcí příslušnosti. Mnoho z těchto definicí vystupují, když bude použito λ -řez množin. Například můžeme provést popsané definice pro konvexní fuzzy množinu \tilde{A} .



Obr. 3.18: 2 rozdílné λ -řez množiny pro spojitou fuzzy množinu (ROSS, 2004)

3.2.4 λ -řezy pro fuzzy vztahy

Definujeme proceduru λ -řez vztahy podobně jako bylo využito pro množiny. Předpokládáme fuzzy vztah \tilde{R} , kde každý řádek z matice je přepokládán jako fuzzy množina tj. j -tý řádek v \tilde{R} reprezentuje nespojitou funkci příslušnosti pro fuzzy množinu, \tilde{R}_j . Tudíž může být fuzzy vztah převeden na ostrý vztah následujícím způsobem. Definujeme $R_\lambda = \{(x, y) | \mu_{\tilde{R}}(x, y) \geq \lambda\}$ jako λ -řez vztahu z fuzzy vztahu \tilde{R} .

$$\tilde{R} = \begin{vmatrix} 1 & 0.8 & 0 & 0.1 & 0.2 \\ 0.8 & 1 & 0.4 & 0 & 0.9 \\ 0 & 0.4 & 1 & 0 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0 & 1 & 0.5 \\ 0.2 & 0.9 & 0 & 0.5 & 1 \end{vmatrix}$$

V našem případě \tilde{R} je dvojdímní matice definovaná na univerzech X a Y , potom jakýkoliv pár $(x, y) \in R_\lambda$ patří do \tilde{R} s intenzitou vztahu, která se rovná nebo je větší než je hodnota λ . Tento postup bude ukázán na následujícím příkladu.

Příklad 3.3. Jako počáteční fuzzy vztah bereme matici \tilde{R} uvedenou výše. Na ni předvedeme dva λ -řezy pro hodnotu 0.9 a 0.4 uvedené níže.

$$\lambda = 0.9, R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

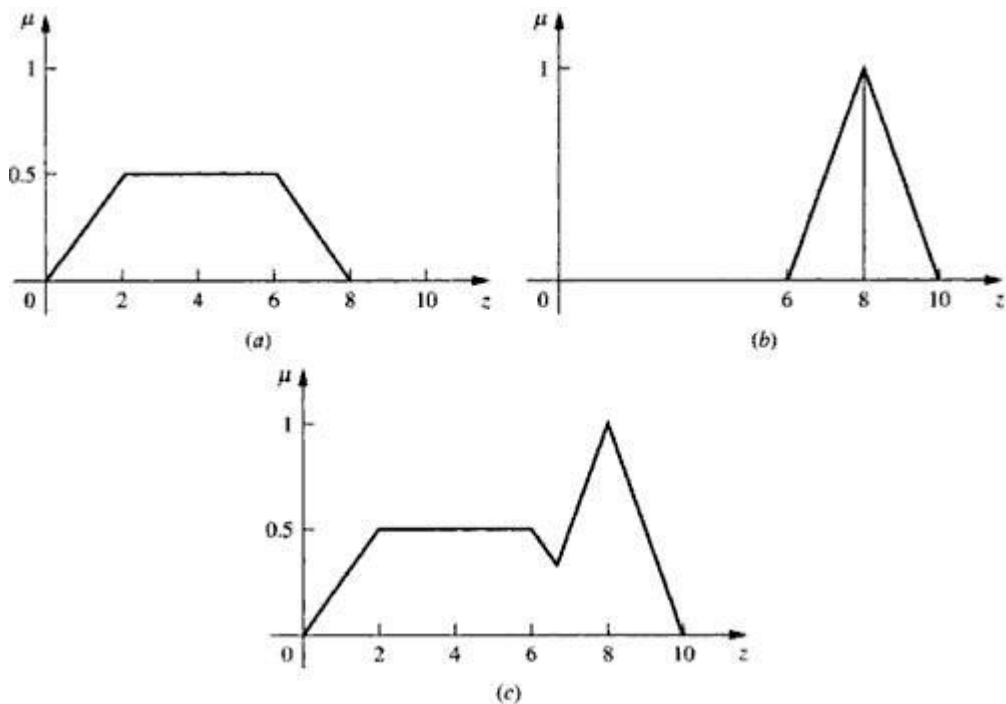
$$\lambda = 0.4, R_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

λ -řezy na fuzzy vztazích se řídí pevnými pravidly podobně jako λ -řezy na fuzzy množinách.

3.2.5 Defuzzifikace skalárního součinu

Jak již bylo zmíněno dříve, existuje mnoho situací, kde výstup s fuzzy procesu potřebuje být jediná skalární hodnota jako protiklad k fuzzy množině. Defuzzifikace je konverze fuzzy veličiny do přesné veličiny, právě jako je fuzzifikace konverze přesné veličiny do fuzzy veličiny. Výstup z fuzzy procesu může být logické spojení dvou nebo více fuzzy funkcí příslušnosti definovaných na universu výroků.

Jako příklad budeme předpokládat fuzzy výstup složený ze dvou částí. První část, \tilde{C}_1 , bude mít trapéziodní tvar a druhá část, \tilde{C}_2 , bude mít trojúhelníkový tvar. Sloučení těchto dvou funkcí příslušnosti, $\tilde{C} = \tilde{C}_1 \cup \tilde{C}_2$, zahrnuje maximální hodnoty z obou množin a graficky je to hraniční oblast obou množin. Tento příklad je ukázán na obrázku 3.19.



Obr. 3.19: Typický výstup z fuzzy operace (a) první část fuzzy výstupu, (b) druhá část fuzzy výstupu, (c) spojení obou částí (ROSS, 2004)

Samozřejmě je možné, aby výstup z fuzzy operace zahrnoval více částí než jenom dvě, jako v našem případě a tvar jejich funkce příslušnosti může mít jiný tvar než trojúhelníkový a trapezoidní. Jak můžeme vidět na obrázku 3.19(a), funkce příslušnosti nemusí být vždycky normální. V následující části si ukážeme šest metod, kde některé z nich budou vysvětleny na příkladech. Obecně pro sloučení funkcí příslušnosti bude používán následující vztah:

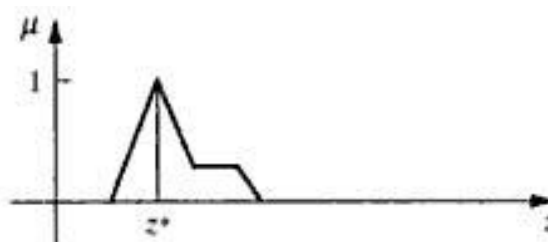
$$\tilde{C}_k = \bigcup_{i=1}^k \tilde{C}_i = \tilde{C} \quad (3.40)$$

Princip maximální příslušnosti (Max membership principle)

Tento princip je limitován k dosažení vrcholu (maxima) výstupní funkce. Je dána algebraickým vyjádřením

$$\mu_{\tilde{C}}(z^*) \geq \mu_{\tilde{C}}(z) \text{ pro všechny } z \in Z \quad (3.41)$$

kde z^* je defuzzifikovaná hodnota a graficky je znázorněna na obrázku 3.20.



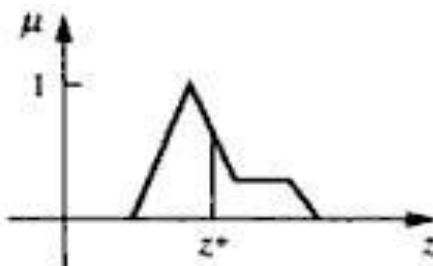
Obr. 3.20: Defuzzifikace pomocí principu maximální příslušnosti (ROSS, 2004)

Metoda středu těžiště (Centroid method)

Tato metoda je jednou z nejvíce fyzicky používaných ze všech metod defuzzifikace. (JURA, 2003) Ostrá hodnota veličiny je určena jako souřadnice těžiště. Algebraické vyjádření je následující

$$z^* = \frac{\int \mu_{\tilde{C}}(z) * zdz}{\int \mu_{\tilde{C}}(z) * dz} \quad (3.42)$$

kde symbol \int značí algebraickou integraci. Metoda je znázorněna na obr. 3.21. Tato metoda nezohledňuje překrytí jednotlivých funkcí, ze kterých je složena výsledná funkce, tj. plocha překrytí je započtena pouze jednou.



Obr. 3.21: Defuzzifikace pomocí metody těžiště (ROSS, 2004)

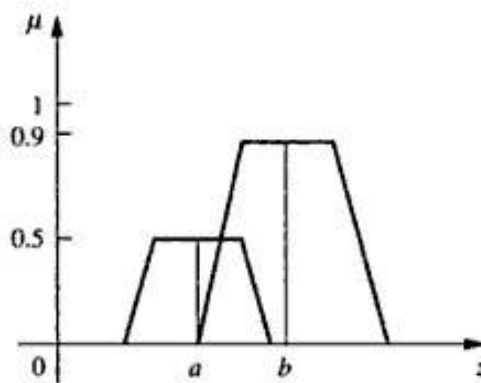
Metoda váženého průměru (Weighted average method)

Metoda váženého průměru je často používaná ve fuzzy aplikacích z důvodu výpočetní efektivity. Bohužel použití je obvykle omezeno na symetrický výstup funkce příslušnosti. Je dána algebraickým vyjádřením

$$z^* = \frac{\sum \mu_C(\bar{z}) * \bar{z}}{\sum \mu_{\bar{C}}(\bar{z})} \quad (3.43)$$

kde symbol \sum značí algebraický součet a kde \bar{z} je těžiště (střed) každé symetrické funkce příslušnosti. Tato metoda je znázorněna na obrázku 3.22. Metoda váženého průměru je formována pomocí vážení každé funkce příslušnosti ve výstupu pomocí jejich příslušné hodnoty maxima funkce příslušnosti. V našem případě bude výsledek pro defuzzifikovanou hodnotu:

$$z^* = \frac{a(0.5) + b(0.9)}{0.5 + 0.9}$$



Obr. 3.22: Defuzzifikace pomocí metody váženého průměru (ROSS, 2004)

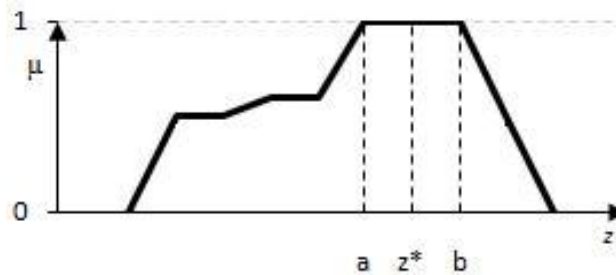
Od té doby co je metoda limitována symetrií funkce příslušnosti, jsou hodnoty a a b středy (těžiště) jejich vlastních tvarů (ROSS, 2004).

Metoda středu maxima (Mean max membership)

Tato metoda je hodně podobná principu maximální příslušnosti, kromě toho, že oblast s maximální příslušností může být hladina několika bodů než pouze jeden bod. Z toho plyne, že jako ostrou hodnotu dává aritmetický průměr hodnot metody prvního a posledního maxima

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (3.44)$$

Kde a a b jsou definovány na obrázku 3.23.

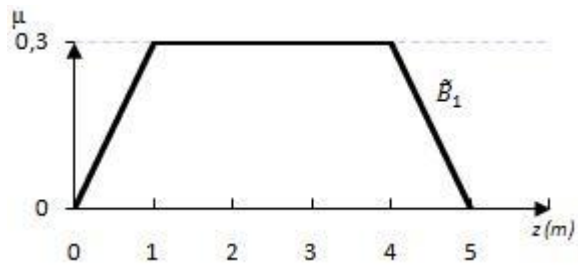


Obr. 3.23: Defuzzifikace pomocí metody Střední maximální hodnoty

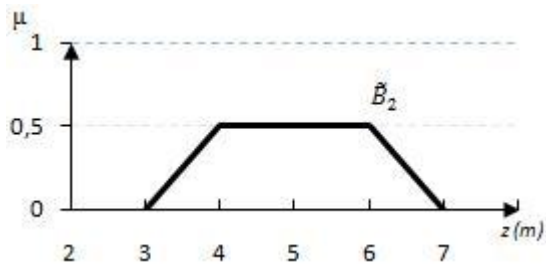
Příklad 3.4. Železniční společnost má v úmyslu položit novou trať na specifickém území (ROSS, 2004). Celá oblast, kudy by měla nová trať vést, musí být vykoupena ze soukromého vlastnictví (veřejná cesta na soukromém pozemku). Byly provedeny tři na sobě nezávislé průzkumy, které byly následně předány k analýze. Shromážděná data jsou rozdělena do třech množin \tilde{B}_1 , \tilde{B}_2 a \tilde{B}_3 , kde množiny jsou definovány na univerzu, které označuje šířku půdy v metrech v soukromém vlastnictví. Před výkupem pozemků musí být vypracován posudek, jaké množství půdy má být vykoupeno. Šířka půdy v soukromém vlastnictví je nejasná, protože železniční společnost už vlastní nějakou půdu podél uvažované trati. Nejednoznačnost zde existuje, protože původní průzkumy byly prováděny již před mnoha lety.

Tři fuzzy množiny \tilde{B}_1 , \tilde{B}_2 a \tilde{B}_3 jsou znázorněny na obrázcích 3.24 – 3.26. Reprezentují nejistotu v provedených průzkumech a přibližnou šířku cesty, která bude potřeba vykoupit ze soukromého vlastnictví.

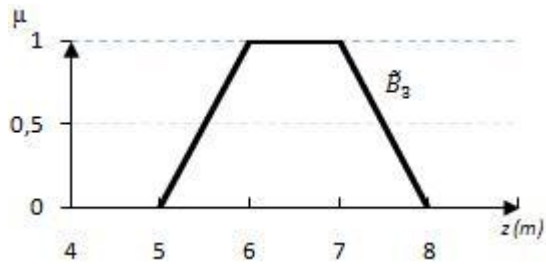
Naším záměrem je agregovat výsledky třech měření a najít jednu nejvíce reprezentativní hodnotu šířky cesty na soukromém pozemku aby mohla odhadnout výkupní hodnotu, tj. chceme najít z^* . K výpočtu budou použity popsané metody (2.40) – (2.43).



Obr. 3.24: Fuzzy množina \tilde{B}_1 šířka (z) veřejného vlastnictví půdy z průřezu 1



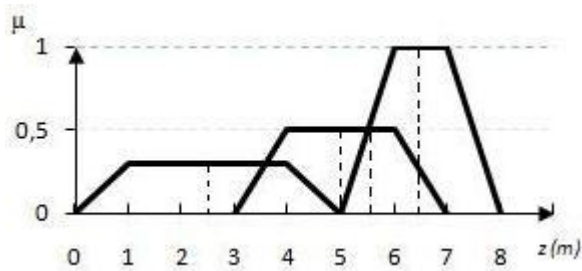
Obr. 3.25: Fuzzy množina \tilde{B}_2 šířka (z) veřejného vlastnictví půdy z průřezu 2



Obr. 3.26: Fuzzy množina \tilde{B}_3 šířka (z) veřejného vlastnictví půdy z průřezu 3

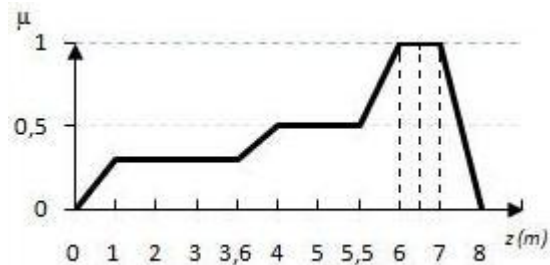
V souladu s metodou váženého průměru (3.43) bude z^* nalezeno následovně

$$z^* = \frac{(0.3 * 2.5) + (0.5 * 5) + (1 * 6.5)}{0.3 + 0.5 + 1} = 5.41 \text{ metrů}$$



Obr. 3.27: Metoda váženého průměru pro nalezení z^*

V souladu s metodou středu maxima (3.44) bude z^* vypočítáno $(6 + 7)/2 = 6.5$ metrů.



Obr. 3.28: Metoda středu maxima pro nalezení z^*

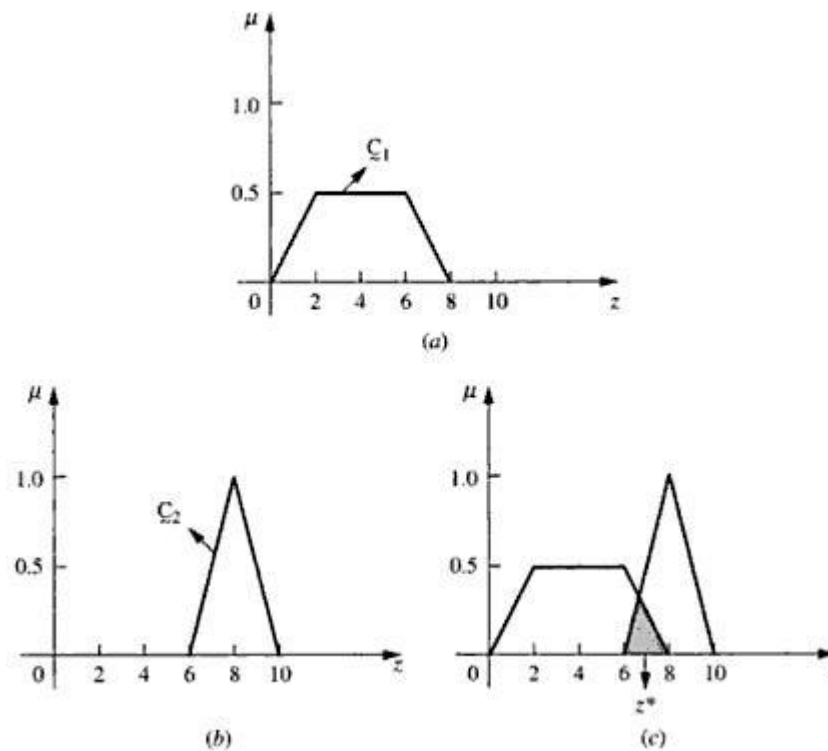
Poslední dvě defuzzifikační metody, které si zde ukážeme, mají své použití v mnohých aplikacích. Jedná se o metodu středu součtů a metodu prvního maxima.

Metoda středu součtů (Centre of sums)

Metoda středu součtů je jistou modifikací Metody těžiště. Tato metoda zohledňuje překryv funkcí příslušnosti, který u metody těžiště je započten pouze jednou. Tato metoda nejdříve spočítá algebraický součet jednotlivých funkcí fuzzy množin, \tilde{C}_1 a \tilde{C}_2 , teprve potom je proveden jejich sjednocení, tj. nalezeno jejich těžiště. Defuzzifikovaná hodnota z^* je dána následujícím vzorcem:

$$z^* = \frac{\int_Z \bar{z} \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{C}_k}(z) dz}{\int_Z \sum_{k=1}^n \mu_{\tilde{C}_k}(z) dz} \quad (3.45)$$

kde symbol \bar{z} je vzdálenost k těžišti z každé funkce příslušnosti. Metoda je znázorněna na obr. 3.29.



Obr. 3.29: Metoda středu součtů, (a) první funkce příslušnosti, (b) druhá funkce příslušnosti a (c) defuzzifikace (ROSS, 2004)

Metoda prvního maxima (First of maxima)

Tato metoda bere jako ostrou hodnotu nejmenší hodnotu univerza X , která dosahuje maximálního stupně příslušnosti k fuzzy množině \tilde{C}_k . Postup pro nalezení z^* je následující:

Zprvė nalezení největší výšky v sjednocené, značené $hgt(\tilde{C}_k)$, je určen

$$hgt(\tilde{C}_k) = \sup \mu_{\tilde{C}_k}(z), \text{ kde } z \in Z \quad (3.46)$$

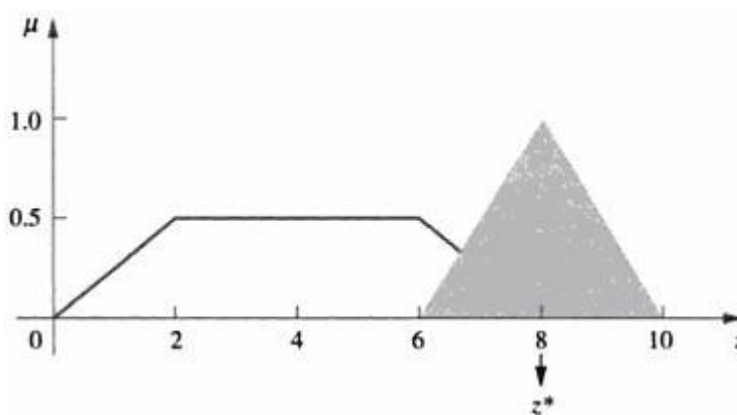
potom první hodnota z z maxima je nalezena

$$z^* = \inf \{z \in Z \mid \mu_{\tilde{C}_k}(z) = hgt(\tilde{C}_k)\} \quad (3.47)$$

Alternativní verzí je metoda nazývaná metoda posledního maxima (Last of maxima), která jako ostrou hodnotu bere největší hodnotu z univerza X , která má maximální stupeň příslušnosti

$$z^* = \sup\{z \in Z \mid \mu_{\tilde{C}_k}(z) = \text{hgt}(\tilde{C}_k)\} \quad (3.48)$$

Graficky je tato metoda znázorněna na obr. 3.30, kde v tomto případě je výsledek pro obě metody stejný, protože první maximum je zároveň i posledním maximem.

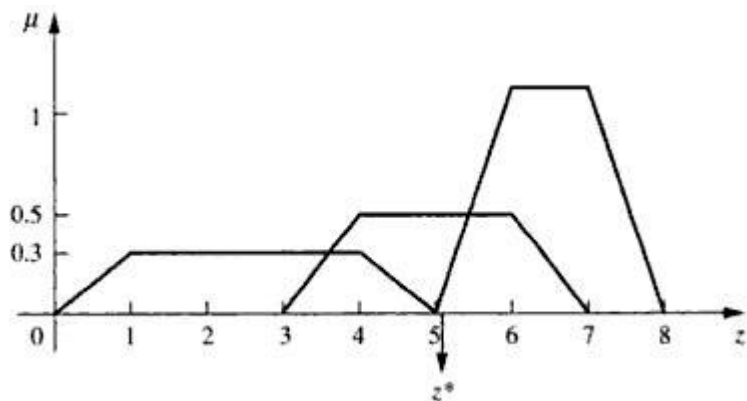


Obr: 3.30: Metoda prvního a posledního maxima (ROSS, 2004)

Příklad 3.5. Pokračováním z příkladu 4 o železniční společnosti, která chce položit novou železniční trať, vypočítáme ostrou hodnotu pomocí metody metoda středu součtů a metoda prvního (posledního) maxima.

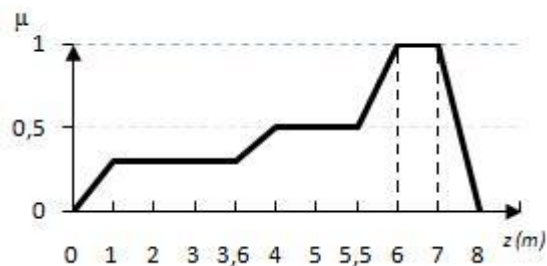
Pomocí vzorce 3.46 bude hodnota z^* vypočtena následovně:

$$z^* = \frac{[2.5 \times 0.5 \times 0.3(2 + 5) + 5 \times 0.5 \times 0.5(2 + 4) + 6.5 \times 0.5 \times 1(3 + 1)]}{[0.5 \times 0.3(3 + 5) + 0.5 \times 0.5(2 + 4) + 0.5 \times 1(3 + 1)]} = 5.0 \text{ metrů}$$



Obr. 3.31: Výsledek pomocí metody středu součtů (ROSS, 2004)

Pomocí vzorců 3.47-3.49 pro metodu prvního maxima bude $z_1^* = 6$ a pro metodu posledního maxima bude hodnota $z_2^* = 7$. Výsledek je ukázán na následujícím obrázku.



Obr. 3.32: Výsledek pomocí Metody prvního (posledního) maxima

Důležitým parametrem každé defuzzifikační metody je její výpočetní náročnost. Tím máme na mysli především časové nároky na dobu výpočtu ostré hodnoty. Tato doba může být v některých aplikacích kritická, blíže (JURA, 2003).

Defuzzifikace je přirozený a ve většině případů nutný proces. Nemůže dát pokyn ke změně stavu nastavení určitého přístroje na základě neostře (neurčité) hodnoty, např. lehce přetížený. Pro naše instrukce je tedy nutné se vyjadřovat přesně (ostře). Právě zde hraje velkou roli proces defuzzifikace.

3.3 Vývoj funkce příslušnosti

Některé věci v normálním životě jsou jisté (přesné) nebo mohou být pohodlně převedeny na axiomy matematických modelů a teorií. Obrazné vyjádření, které reprezentuje tuto myšlenku je známé jako „Zákon pravděpodobného rozptýlení“⁶ nebo přesněji vyjádřeno „Cokoliv narazí do větráku, nebude rovnoměrně rozptýleno“. Tímto chceme říci, že ne všechno co je přírodní, může být charakterizováno jednoduchým nebo vhodným tvarem nebo rozložením.

Funkce příslušnosti vyjadřuje neurčitost (fuzziness) ve fuzzy množině (ať už jsou prvky v množině diskrétní nebo spojité) v grafické podobě pro eventuální použití matematického vyjádření u teorie fuzzy množin. Tvar použitý pro popis neurčitosti má několik omezení, které jsme popsali v předcházejících kapitolách. V této kapitole si popíšeme několik procedur využitelných pro vývoj funkcí příslušností založených na deduktivní intuici nebo na číselných datech. Poté co funkce příslušnosti v podstatě ztělesňuje veškerou neurčitost pro nějakou uvažovanou fuzzy množinu, její popis je základem fuzzy vlastností nebo operací.

Protože důležitost tvaru funkce příslušnosti, zaměříme svoji pozornost právě na vytvoření těchto funkcí.

3.3.1 Přiřazení hodnot příslušnosti

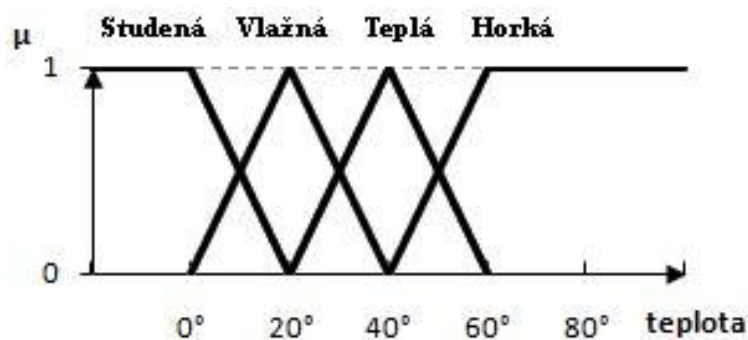
Je zde pravděpodobně více možností jak přiřadit hodnoty příslušnosti nebo funkce k fuzzy proměnným než přiřadit pravděpodobnostní rozptyl funkcí k náhodným proměnným. Tento proces může být intuitivní nebo založený na algoritmech či logických operacích. Následující metody popíší, jak přiřadit hodnoty příslušnosti nebo funkce k fuzzy proměnným. U posledních tří metod (Neuronové sítě, Genetické algoritmy a Induktivní uvažování) pouze nastíníme postup. Podrobnější náhled je mimo rámec této práce, ač je zde prostor pro jejich rozpracování v budoucích pracích.

⁶ „Law of probable dispersal“ přesněji vyjádřeno jako „Whatever it is that hits the fan will not be evenly distributed“

Intuice

Tato metoda potřebuje málo nebo lépe žádnou přípravu. Je lehce odvoditelná od možností lidí vytvořit funkci příslušnosti skrz jejich vrozenou inteligenci a porozumění. Intuice zahrnuje kontextuální nebo sémantickou znalost o problému. Může také zahrnovat lingvistické pravdivostní hodnoty o této znalosti.

Jako názorný příklad, můžeme předpokládat funkce příslušnosti pro fuzzy proměnné vyjadřující teplotu. Na obrázku 3.33 můžeme vidět různé tvary funkcí příslušnosti na universu teplota vody uváděných v stupních Celsia. Každá křivka je funkcí příslušnosti vyjadřující fuzzy proměnné studená, vlažná, teplá a horká. Tyto křivky jsou uzpůsobené lidskému vnímání teploty vody.



Obr. 3.33: Funkce příslušnosti pro fuzzy proměnné teplota

Dále si můžeme všimnout, že za účelem jejich použití ve fuzzy operacích, se jednotlivé křivky navzájem překrývají. Pro další výpočty není tak důležitý tvar funkcí, ale jejich přibližné umístění na universu, počet křivek a překrývání funkcí.

Dedukce

V této metodě používáme znalosti pro provedení deduktivního uvažování. Při vytváření funkce příslušnosti vyvozujeme závěry pomocí faktů a znalostí o tvaru. V literatuře je popsáno mnoho metod jak sestavit funkce pomocí dedukce. My si zde ukážeme metodu související s našimi znalostmi z geometrie a geometrických tvarů.

K identifikaci trojúhelníků budeme předpokládat, že A , B a C budou vnitřní úhly trojúhelníka, v pořadí $A \geq B \geq C \geq 0$ a U bude universum obsahující všechny trojúhelníky, tj.

$$U = \{(A, B, C) | A \geq B \geq C \geq 0; A + B + C = 180^\circ\} \quad (3.49)$$

Dále definujeme počet geometrických tvarů, které si bude přát rozpoznat z jakékoli kombinace úhlů splňující omezení pravidlem (3.49). Zjednodušíme si příklad a budeme chtít rozpoznat pouze přibližně rovnoramenný trojúhelník a ostatní:

\tilde{R} *přibližně rovnoramenný trojúhelník*

\tilde{O} *ostatní trojúhelníky*

Pro přibližně rovnoramenný trojúhelník máme následující algoritmus pro zjištění funkce příslušnosti:

$$\mu_{\tilde{R}(A,B,C)} = 1 - \frac{1}{60^\circ} \min(A - B, B - C) \quad (3.50)$$

Pro všechny ostatní trojúhelníky jednoduše využijeme doplněk k množině \tilde{R} :

$$\tilde{O} = \bar{\tilde{R}} \quad (3.51)$$

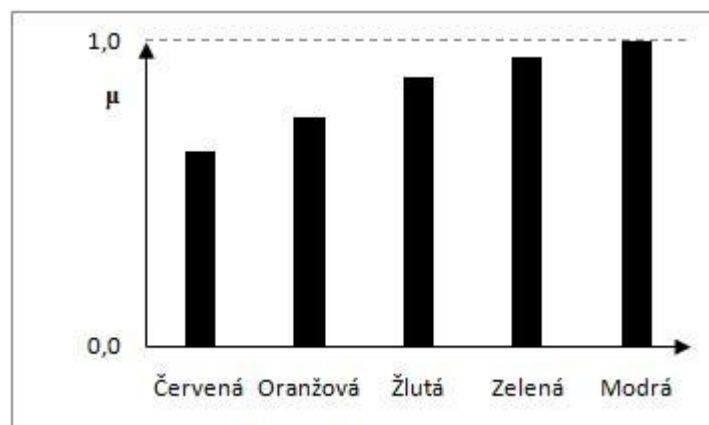
Seřazení pořadí

Stanovení preferencí individuálně, pomocí skupiny, průzkumem nebo dalšími metodami může být použito k přiřazení hodnot příslušnosti k fuzzy proměnným. Preference je zjištěna pomocí párového porovnání, na základě kterého, je určeno pořadí příslušností. Na obrázku 3.34 byly pomocí párového porovnání zjištěny preference barev mezi 1000 lidmi.

		Počet preferencí							
	Červená	Oranžová	Žlutá	Zelená	Modrá	Suma	Procento		
Červená	x	517	525	545	661	2248	22,5	2	
Oranžová	483	x	841	477	576	2377	23,8	1	
Žlutá	475	159	x	534	614	1782	17,8	4	
Zelená	455	523	466	x	643	2087	20,9	3	
Modrá	339	424	386	357	x	1506	15,1	5	
Suma						10000			

Obr. 3.34: Příklad seřazení pořadí

Následně je sloupec s procentuálním zastoupením převeden na normalizovanou škálu na univerzu barev podle stoupající hodnotě příslušnosti. Funkce příslušnosti je znázorněna na obr. 3.35. Alternativně může být funkce sestavena i z posledního sloupce, tj. podle dosaženého pořadí.



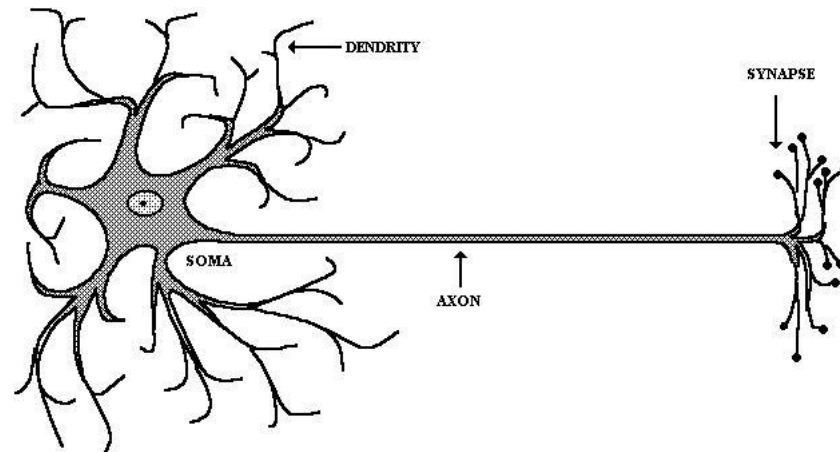
Obr. 3.35: Odvozená funkce příslušnosti pro nejoblíbenější barvu

Neuronové sítě

Neuronová síť je technika (postup), která se snaží vybudovat inteligentní program (implementovat inteligenci) použitím modelů, které simulují práci neuronů v lidském mozku. Tedy jednodušeji řečeno neuronové sítě jsou modelem myšlení lidského mozku. Základem matematického modelu neuronové sítě je umělý neuron.

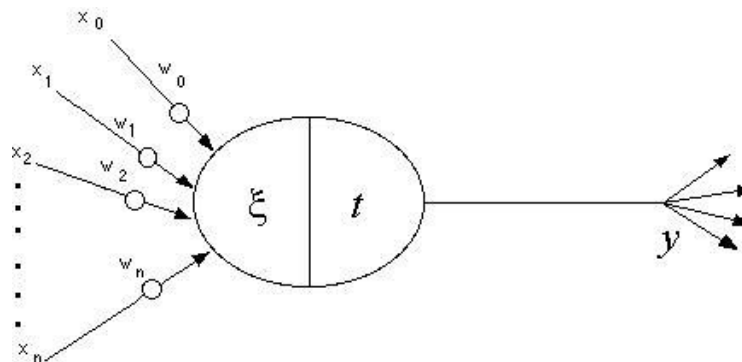
Neuron je složen z těla (Soma). S jinými neurony je spojen pomocí dendritů, které vystupují z těla neuronu a plní tedy vstupní funkci, tj. vedou vzruch směrem k buňce. Jestliže výše přijatých impulsů překročí jistou prahovou hodnotu, vyšle neuron impuls do Axonu. Axon je dlouhý výběžek, který plní výstupní funkci směrem od buňky. Každý

neuron má pouze jeden axon, který se na svém konci větví a je opatřen Synapsemi. Synapse zajišťují přenos informace (vzruchu) na jiné neurony. (ROSS, 2004) a (VANÍČEK, 2007)



Obr. 3.36: Jednoduché schéma lidského neuronu

V celkovém významu tedy neuron přijímá množinu vstupů a rozesílá jiné impulsy, což je funkce výstupních impulsů. To jak pracují neurony v lidském mozku, je použito na provozování výpočtů na počítačích.



Obr. 3.37: Jednoduchá umělá neuronová síť

Na obrázku 3.37 je znázorněn umělý neuron jako analogie k lidskému neuronu. Proměnné $x_0, x_1, x_2 \dots x_n$ jsou vstupní hodnoty (dendrity). Proměnné $w_0, w_1, w_2 \dots w_n$ jsou přiřazené váhy k jednotlivým vstupním hodnotám a jejich hodnota vyjadřuje významnost dendritu (změnami těchto hodnot můžeme ovlivňovat jejich význam). Vnitřní potenciál ξ vyjadřuje sumu vstupních hodnot $\sum w_i x_i$. Výstup umělého neuronu určuje přenosová funkce neuronu (aktivační funkce):

$$\xi = \begin{cases} 0 & \text{jestliže } \xi < 0 \\ 1 & \text{jesstliže } \xi > 0 \end{cases}, \text{ kde } \xi = \sum w_i x_i - t \quad (3.52)$$

Je-li $\xi = 0$, říkám, že neuron je v klidovém stavu. Je-li $\xi = 1$, říkáme, že neuron je vybuzeném (excitovaném) stavu.

Programování neuronové sítě spočívá ve vhodném určení vah jednotlivých vstupů. Neuronová síť je učena na tréninkové množině, kde vstupům odpovídá očekávaný výstup (výsledek). V průběhu tohoto procesu se opravují (zpřesňují) jednotlivé váhy s ohledem aby se rozdíl mezi požadovaným výstupem a dosaženým výstupem snížil.

Hlavní odlišností neuronových sítí je jejich schopnost učení. Není nutné, abychom předem něco programovali, neuronová síť totiž sama provádí abstrakci a charakteristiku funkce pomocí učení. Může pomoci řešit i problémy formulované tak neurčitě, že ani nejsme schopni formulovat jejich zadání (VANÍČEK, 2007).

Genetické algoritmy

U neuronových sítí byla popsána analogie k funkci lidského mozku. V tomto případě jsou genetické algoritmy analogií k Darwinově evoluční teorii. Tato teorie v zásadě zdůrazňuje fakt, že přežití všech živých organismů se řídí pravidlem „silnější přežije“⁷. Darwin také stanovil, že nové druhy nebo třídy živých věcí přišly na svět skrz proces reprodukce, křížení a mutací mezi existujícími organismy.

Tento koncept z evoluční teorie byl převeden do algoritmů z důvodů touhy řešit problémy více „přírodní“ cestou. Nejdříve jsou vytvořena rozdílná řešení daného problému. Následně jsou tyto řešení testovány pro jejich vlastnosti (jak dobré řešení dodaly). Mezi všemi možnými řešeními je vybrán pouze zlomek dobrých řešení a ostatní jsou eliminována (silnější přežije). Vybraná řešení podstoupí procesy reprodukce, křížení a mutace s cílem vytvořit novou generaci možných řešení (u těchto nových řešeních je očekáváno dosažení lepších výsledků než u předešlých). Tento proces je opakován do té doby, než se objeví sblížení okolo generací (další generace

⁷ Darwin's theory basically stressed the fact that the existence of all living things is based on the rule of "survival of the fittest" (ROSS, 2004)

nepřinášejí signifikantní posun). Přínos této metody je, že řešení je hledáno v širokém spektru možností namísto striktně určené oblasti, kde by mohlo být řešení normálně očekáváno. Genetické algoritmy se snaží vykonávat inteligentní hledání řešení z téměř nekonečné množiny možných řešení. (ROSS, 2004)

Jak již bylo zmíněno, všechny genetické algoritmy obsahují tři operace (reprodukcí, křížení a mutaci), které jsou analogické k jejich „jmenovcům“ v genetice. Nyní si řekneme něco o samotném procesu. Většina genetických algoritmů pracuje s původní reprezentací chromozomu pomocí nul a jedniček (binární reprezentace). Tyto řetězce většinou představují zakódovaná dekadická čísla (parametry optimalizované funkce). Každému řetězci z množiny možných řešení je přiřazena (vypočtena) jeho fyzická zdatnost. Z této množiny je vybrán určitý počet nejlepších řetězců, které budou použity k vytvoření nové generace s očekávaným lepším výsledkem.

Křížení je proces, ve kterém jsou řetězce schopny zaměňovat a porovnávat své dobré kvality (části) v různých podobách. Křížení probíhá ve třech etapách. Za prvé jsou náhodně vybrány dva řetězce, za druhé je náhodně vybrána oblast uvnitř těchto řetězců. Na závěr jsou tyto části mezi sebou zaměněny, tj. informace je předána do jiného řetězce. Části s velkou kvalitou řešení jsou zaměňovány a kombinovány mezi sebou. Opět je cíl nalezení optimálního řešení. Uvedené křížení může být zdokonalováno vybíráním takových bodů křížení, jež zajistí, že potomci budou odlišní od rodičů.

Reprodukce a křížení dohromady dává algoritmům většinu z jejich prohledávací síly. Poslední z operací (mutace) pomáhá zvýšit tuto sílu. Jeho role přichází, když reprodukce ani křížení nejsou schopny najít optimální řešení problému. Během vytváření nových generací je možné, že celá populace řetězců postrádá podstatný bit informace (např. žádný řetězec neobsahuje hodnotu jedna na čtvrtém místě), který je důležitý k určení správného nebo téměř optimálního řešení. V tomto případě je na tahu mutace, která zamění bit na opačnou hodnotu, než která se tam právě nachází. Mutace je používána zřídka, protože se tím může změnit celá hodnota informace (stejně tomu je i tak v reálném světě).

Genetické algoritmy mohou být použity pro výpočet funkce příslušnosti. Některé funkce příslušnosti a jejich tvary jsou přiřazené k různým fuzzy proměnným definující problém. Funkce jsou poté zakódovány do binárních řetězců, které jsou následně zřetězeny. Následně je ohodnocena jejich „kondice“ a je proveden postup zmíněný výše.

Praktické příklady použití Neuronových sítí a Genetických algoritmů lze najít v (DOSTÁL, 2004)

Induktivní uvažování

Automatické generování funkcí příslušnosti může být také uspokojeno používáním hlavními charakteristikami induktivního uvažování, které odvozuje všeobecný souhlas z detailu nebo lépe řečeno z jednotlivosti (poskytnutí obecnosti ze specifičnosti). Indukce je provedena pomocí principu minimalizace entropie⁸, jejíž shluky mají nejvíce optimální parametry, které odpovídají výstupním třídám.

Tato metoda je založena na ideálním schématu, které popisuje vztah vstup-výstup pro správně zvolenou databázi, tj. tato metoda generuje funkce příslušnosti výhradně na poskytnutých datech. Metoda může být velmi užitečná pro komplexní systémy, kde je velký výskyt statických dat. V situaci, kdy jsou data dynamického rázu, může být tato metoda nepoužitelná, dokud se bude funkce příslušnosti nepřetržitě měnit v čase. Záměrem indukce je tedy objevit pravidlo (postup), které bude mít objektivní přesvědčivost a universální použitelnost. (ROSS, 2004)

V této kapitole bylo probráno šest metod, které jsou používány pro vytvoření funkce příslušnosti. Zdaleka to nejsou všechny metody, které by se daly použít. Tato oblast se rychle rozrůstá, proto mnoho dalších metod zde ani nebylo zmíněno.

⁸ Entropie představuje míru neurčitosti systému nebo náhodného procesu. Ostrá rozdělení pravděpodobnosti mají entropii nízkou, naopak neostrá či rozmazaná rozložení pravděpodobnosti mají entropii vysokou. Proto v našem případě, kdy se bavíme o neurčitosti (fuzzy), bude snaha o minimalizaci entropie.

4 Rozhodovací modely s fuzzy ohodnocením

Rozhodovací proces je nejdůležitější vědecké, sociální a ekonomické snažení. Být schopen udělat odpovídající a správnou volbu je podstata jakéhokoliv rozhodovacího procesu naplněného nejistotou. Mnoho případů ze života, jakkoli triviální, zahrnují rozhodování. Od probuzení až po opětovné uložení k spánku uskutečníme mnoho rozhodnutí. Měli bychom brát na vědomí, že při rozhodování za nejistoty může být nesporný rozdíl mezi dobrým rozhodnutím a špatným.

Musíme mít stále na zřeteli, že v rozhodování za nejistoty bývá zřetelný rozdíl mezi dobrým rozhodnutím a dobrým výsledkem. V rozhodovacím procesu zvažujeme informace o výsledku a vybíráme mezi dvěma nebo více alternativami pro následnou akci. Informace ovlivňující výsledek je často neúplná nebo nejistá, proto i výsledek je nejistý bez ohledu na vybranou alternativu nebo rozhodnutí. Může se určitě stát, že uděláme dobré rozhodnutí, ale výsledek bude nepříznivý, stejně tak i opačně („rozmary“ rozhodování za nejistoty). Z dlouhodobého hlediska, když budeme stále provádět dobrá rozhodnutí, příznivé situace budou nastávat častěji.

Navzdory našemu formálnímu tréninku a smyslu nahlížení na nejistotu se neustále v profesním životě setkáváme s překvapivými výsledky. Jako příklad uveďme rozhodnutí manažera společnosti, které se zprvu jeví jako velmi dobré, ale nakonec přinese neočekávaně katastrofální výsledek. Problémem rozhodování za nejistoty je množství informací, které máme o možném výsledku, o hodnotě nové informace, o hodnotách dynamických proměnných, o užitečnosti jednotlivých variant a v neposlední řadě o našich preferencích, které většinou bývají vágní, dvojsmyslné, jinak řečeno fuzzy.

4.1 Fuzzy Bayesova rozhodovací metoda

Klasické statistické rozhodování zahrnuje pohled, že nejistota v budoucnosti může být charakterizována pravděpodobnostně. Když se chceme rozhodnout mezi více variantami, náš výběr je založen na informaci o budoucím vývoji, který je normálně rozložen do několika stavů okolností. Pokud s jistotou víme budoucí vývoj situace,

nebudeme potřebovat analytické metody k určení pravděpodobnosti výplaty. Bohužel většinou přesně nevíme, jak se bude budoucí situace vyvíjet, proto musíme navrhnout použití nejvhodnější metody k rozhodnutí v podmínkách nejistoty.

Klasická Bayesova rozhodovací metoda předpokládá, že budoucí stav může být charakterizován jako pravděpodobnostní událost. To znamená, že rozdělení pravděpodobnosti uskutečnění jednotlivých možností nám dá dohromady součet jedna, tj. 100 %. Ross (ROSS, 2004) tuto skutečnost popisuje na příkladu, kdy odhadujeme, jestli bude druhý den zamračeno. Tento stav bude pravděpodobnostně rozdělen do tří možností: šance, že bude zamračeno (0,5), že bude polojasno (0,2) a že bude jasno (0,3). Problém ovšem spočívá v tom, že událost je dvousmyslná (nejasná). Kolik mraků musí ubýt, abychom začali tvrdit, že není zamračeno, ale polojasno? A pokud je na obloze jeden malý mrak, je už slunečno? Proto je dobré uvažovat o fuzzy hodnotách a fuzzy funkcích příslušnosti, které mohou lépe vystihnout výše popsanou situaci.

4.1.1 Výplatní matice

Nejdříve budeme uvažovat o pravděpodobnostním rozhodování a až posléze zahrneme neurčité hodnoty do rozhodování. Rozhodovací matice, někdy též označovaná jako výplatní matice, představuje jeden ze základních nástrojů zobrazení důsledků rizikových variant vzhledem ke zvolenému kritériu hodnocení (FLÉGL, 2007). Označíme $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ množinu možných stavů okolností, které mohou nastat. Pravděpodobnostní rozložení těchto stavů bude znázorňovat vektor

$$P = \{p(s_1), p(s_2), \dots, p(s_n)\}, \quad \text{kde} \quad \sum_{i=1}^n p(s_i) = 1 \quad (4.1)$$

Dále předpokládáme, že se můžeme rozhodovat mezi m alternativami. Označíme $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ množinu uvažovaných alternativ, mezi kterými bude vybírat tu nejvhodnější. Z toho plyne, že pro danou alternativu a_j přiřadíme hodnotu užítku u_{ij} , když v budoucnu nastane stav okolností s_i . Tyto hodnoty užítku by měly být rozpoznány samotným rozhodovatelem a vyjadřují hodnotu nebo náklad pro každý pár

z výplatní matice. Tabulka 4.1 znázorňuje možnou podobu této matice (též nazývaná rozhodovací matice).

		Stavy okolností			
		s_1	s_2	...	s_n
Alternativy	a_1	u_{11}	u_{12}	...	u_{1n}
	a_2	u_{21}	u_{22}	...	u_{2n}
	\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
	a_m	u_{m1}	u_{m2}	...	u_{mn}

Tab. 4.1: Rozhodovací matice

V řádcích jsou uvedeny jednotlivé alternativy a ve sloupcích jednotlivé stavy okolností. Pokud se budeme rozhodovat za rizika, budou sloupce doplněny o vektor rizika, který uvádí pravděpodobnosti vzniku jednotlivých stavů. Očekávaná hodnota přiřazená např. j -té alternativě, může být vyjádřena následovně

$$E(u_j) = \sum_{i=1}^n u_{ij} p(s_i) \quad (4.2)$$

Jedno z nejrozšířenějších pravidel pro rozpoznání nejvýhodnější varianty (nejlépe ohodnocené), je pravidlo maximálního očekávaného užitku mezi všemi alternativami, tj.:

$$E(u^*) = \max_j E(u_j) \quad (4.3)$$

O dalších postupech pro vypočtení nejlepší varianty se můžeme dočíst v (BROŽOVÁ, 2005; FOTR, 2005).

4.1.2 Získání dodatečných informací

V mnoha rozhodovacích situacích se ptáme, zda můžeme získat více informací, které by nám mohly zpřesnit rozhodování. Odložení rozhodování na pozdější dobu, kdy budeme

mít více informací, není většinou možné, i s ohledem na měnící se okolní podmínky (cena, inflace atd.). Proto se snažíme získat dodatečné informace, které by potvrdily naše odhady nebo by je doplnily a snížily tak riziko⁹. Novou informaci k stavu okolností je možné získat např. z výzkumu, z experimentu atd. Tyto data jsou zapsány do vektoru $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$. Nové informace mohou být použity k upravení (update) pravděpodobnostnímu rozložení. Nejdříve jsme uvažovali jedno pravděpodobnostní rozložení $p(s_i)$. Nově získané informace jsou posléze použity jako váhy k předchozím informacím, tj. předchozí pravděpodobnost $p(s_i)$ je upravena na $p(s_i|x_k)$. Upravené pravděpodobnosti jsou vypočítány pomocí

$$p(s_i|x_k) = \frac{p(x_k|s_i)}{p(x_k)} p(s_i) \quad (4.4)$$

kde výraz v čitateli, $p(x_k)$, je marginální pravděpodobnost z x_k a je vypočítána za použití celkové pravděpodobnostní věty

$$p(x_k) = \sum_{i=1}^n p(x_k|s_i) \times p(s_i) \quad (4.5)$$

Očekávaná hodnota užitku pro j -té alternativy je vypočítána s použitím nových pravděpodobností

$$E(u_j|x_k) = \sum_{i=1}^n u_{ij} p(s_i|x_k) \quad (4.6)$$

a maximální očekávaný užitek ze všech alternativ je dán

$$E(u^*|x_k) = \max_j E(u_j|x_k) \quad (4.7)$$

⁹ Tento proces může být označován jako snaha o přiblížení rozhodování za rizika k rozhodování za jistoty, když rozhodování za jistoty je v ekonomických podmínkách téměř vyloučeno.

K rozpoznání maxima očekávaného užitku, je potřeba zvážit každý z r podmíněně očekávaných užiteků, dané vzorcem (4.7), příslušnou marginální pravděpodobností $p(x_k)$

$$E(u_x^*) = \sum_{k=1}^r E(u^* | x_k) \times p(x_k) \quad (4.8)$$

Nyní můžeme zmínit nový pojem v rozhodovacím procesu nazývaný hodnota informace, $V(x)$. Výše jsme popisovali, že je možné získat dodatečnou informaci, která nám zpřesňuje původní rozhodování (ROSS, 2004). Hodnota této informace může být ohodnocena jako rozdíl mezi výsledkem očekávaného užitku bez této informace a s hodnotou očekávaného užitku s touto informací

$$V(x) = E(u_x^*) - E(u^*) \quad (4.9)$$

4.1.3 Dodatečné informace a fuzzy

Do teď jsme uvažovali, že získané dodatečné informace pro zpřesnění rozhodování jsou ostrého (přesného) charakteru, tj. nevznikala zde možnost nejistoty. Tato nejistota tady ale vždy může být, proto budeme uvažovat, že nová informace bude mít z podstaty fuzzy rozdělení.

Předpokládáme tedy, že nová informace, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$, je universum výroku jednotek (částí) vhodných pro novou informaci. Poté můžeme definovat fuzzy události, \tilde{M} , na těchto informacích, jako je „dobrá“ informace, „průměrní“ informace a „špatná“ informace. Fuzzy událost bude mít funkci příslušnosti $\mu_{\tilde{M}}(x_k), k = 1, 2, \dots, r$. Nyní definujeme způsob výpočtu pravděpodobnosti fuzzy události

$$P(\tilde{M}) = \sum_{k=1}^r \mu_{\tilde{M}}(x_k) p(x_k) \quad (4.10)$$

Získání dodatečné informace pro upřesnění pravděpodobnostního výskytu fuzzy události \tilde{M} , by byla vypočtena

$$P(s_i|\tilde{M}) = \frac{P(\tilde{M}|s_i)p(s_i)}{P(\tilde{M})} \quad (4.11)$$

kde

$$P(\tilde{M}|s_i) = \sum_{k=1}^r p(x_k|s_i)\mu_{\tilde{M}}(x_k) \quad (4.12)$$

Nyní je potřeba definovat soubor všech fuzzy událostí popisující fuzzy informaci jako ortogonální fuzzy informační systém, $\Phi = \{\tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_g\}$, kde ortogonalitou myslíme, že suma hodnot příslušností pro každou fuzzy událost, \tilde{M}_i , a pro všechny data na univerzu informací, x_k , je rovna jedné (ROSS, 2004), tj.

$$\sum_{t=1}^g \mu_{\tilde{M}_t}(x_k) = 1 \quad \text{pro všechny } x_k \in X \quad (4.13)$$

Jestliže fuzzy události na univerzu informací jsou ortogonální, můžeme rozšířit Bayesův přístup o uvažování o fuzzy informaci. Díky fuzzy informaci budou vzorce (4.6), (4.7) a (4.8) upraveny pro fuzzy událost, \tilde{M}_i , následovně

$$E(u_j|\tilde{M}_t) = \sum_{i=1}^n u_{ij} \times p(s_i|\tilde{M}_t) \quad (4.14)$$

$$E(u^*|\tilde{M}_t) = \max_j E(u_j|\tilde{M}_t) \quad (4.15)$$

$$E(u_\Phi^*) = \sum_{t=1}^g E(u^*|\tilde{M}_t) \times p(\tilde{M}_t) \quad (4.16)$$

A hodnota fuzzy informace bude vypočtena stejným způsobem

$$V(\Phi) = E(u_\Phi^*) - E(u^*) \quad (4.17)$$

4.1.4 Fuzzy stavy okolností a fuzzy alternativy v rozhodování

Bayesova metoda může být dále rozšířena připuštěním možnosti, že stavy okolností budou fuzzy a jednotlivé alternativy podle kterých se bude rozhodovatel rozhodovat, budou taky fuzzy. Pro snazší pochopení si toto rozhodování rovnou vysvětlíme na příkladu převzatém z (ROSS, 2004). Společnost uvažuje o expanzi a nabízí se tři možnosti (fuzzy alternativy), jak velký bude nový projekt:

$$\tilde{A}_1 = \text{malý projekt}$$

$$\tilde{A}_2 = \text{střední projekt}$$

$$\tilde{A}_3 = \text{velký projekt}$$

Tak jako fuzzy množiny jsou definované na univerzu výroků, tak i fuzzy alternativy mohou být definovány na univerzu výroků. V našem případě se jedná o stejný problém, jako s určením přesného počasí, který byl zmíněn dříve, tj. kdy ještě se bavíme o malém projektu a kdy už jeho hranici překročíme? Dále s ohledem na ekonomické klima můžeme předpokládat, že i stavy okolností mohou mít fuzzy rozdělení. Ekonomický výsledek bývá v budoucnu velmi nejistý (špatně odhadnutelný). Proto předpokládáme tři fuzzy stavy okolností:

$$\tilde{F}_1 = \text{malý ekonomický růst}$$

$$\tilde{F}_2 = \text{střední ekonomický růst}$$

$$\tilde{F}_3 = \text{velký ekonomický růst}$$

Tyto stavy jsou definovány na univerzu označující míru ekonomického růstu, S , kde $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ je nespojitě universum ekonomického růstu (např. -4 %, -3 %, ..., 0 %, 1 %, ...). Fuzzy stav \tilde{F}_s bude vyjadřovat ortogonální fuzzy množinu (ROSS, 2004). Tato množina, bude mít stejná omezení, které byly popsány o kapitulu dříve, tj.

$$\sum_{s=1}^3 \mu_{\tilde{F}_s}(s_i) = 1 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.18)$$

Dále jako potřebujeme znát hodnotu užitku k vyjádření vztahu mezi ostrým párovým spojením „alternativa-stav okolnosti“, tak potřebujeme matici užitku k vyjádření hodnoty všech fuzzy spojeních „alternativa-stav okolnosti“.

	\tilde{F}_1	\tilde{F}_2	\tilde{F}_3
\tilde{A}_1	u_{11}	u_{12}	u_{13}
\tilde{A}_2	u_{21}	u_{22}	u_{23}
\tilde{A}_3	u_{31}	u_{32}	u_{33}

Tab. 4.2: Hodnoty užitku pro fuzzy stavy okolností a fuzzy alternativy

Dále budeme následovat podobné kroky jako dříve, ale s rozdílem, že stav okolnosti je fuzzy. Očekávaná hodnota fuzzy alternativy \tilde{A}_j se vypočítá

$$E(u_j) = \sum_{s=1}^3 \mu_{js} p(\tilde{F}_s) \quad (4.19)$$

kde

$$p(\tilde{F}_s) = \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{F}_s}(s_i) p(s_i) \quad (4.20)$$

a maximální užitek se vypočítá

$$E(u^*) = \max_j E(u_j) \quad (4.21)$$

Máme ostré nebo fuzzy informace na univerzu informací $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$, znamenající úroveň růstu hrubého domácího produktu. Fuzzy informace je opět založena na kolekci ortogonálních fuzzy množin na X , $\Phi = \{\tilde{M}_1, \tilde{M}_2, \dots, \tilde{M}_g\}$, které jsou definovány na X . Nyní můžeme odvodit pozdější (posterior) pravděpodobnosti fuzzy stavu okolnosti \tilde{F}_s , který je dán pravděpodobnostní informací x_r (4.22a) a fuzzy informací \tilde{M}_t (4.22b)

$$p(\tilde{F}_s | x_k) = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{F}_s}(s_i) p(x_k | s_i) p(s_i)}{p(x_k)} \quad (4.22a)$$

$$p(\tilde{F}_s | \tilde{M}_t) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^r \mu_{\tilde{F}_s}(s_i) \mu_{\tilde{M}_t}(x_k) p(x_k | s_i) p(s_i)}{\sum_{k=1}^r \mu_{\tilde{M}_t}(x_k) p(x_k)} \quad (4.22b)$$

Podobně očekávaný užitek pravděpodobnostní informace (4.23a) a fuzzy informace (4.23b) jsou vypočteny

$$E(u_j | x_k) = \sum_{s=1}^3 u_{js} p(\tilde{F}_s | x_k) \quad (4.23a)$$

$$E(u_j | \tilde{M}_t) = \sum_{s=1}^3 u_{js} p(\tilde{F}_s | \tilde{M}_t) \quad (4.23b)$$

kde maximum podmíněného očekávaného užitku pro pravděpodobnostní informace (4.24a) a pro fuzzy informace (4.24b)

$$E(u_{x_k}^*) = \max_j E(u_j | x_k) \quad (4.24a)$$

$$E(u_{\tilde{M}_t}^*) = \max_j E(u_j | \tilde{M}_t) \quad (4.24b)$$

Na závěr nepodmíněný očekávaný užitek pro fuzzy stavy okolností a pravděpodobnostní informaci (4.25a) nebo pro fuzzy informaci (4.25b) je vypočten

$$E(u_x^*) = \sum_{k=1}^r E(u_{x_k}^*) p(x_k) \quad (4.25a)$$

$$E(u_{\Phi}^*) = \sum_{t=1}^g E(u_{\tilde{M}_t}^*) p(\tilde{M}_t) \quad (4.25b)$$

Očekávaný užitek vypočtený ze vzorce (4.25) nyní umožňuje vypočítat hodnotu fuzzy informace v kontextu fuzzy stavu okolnosti. Pro pravděpodobnostní informaci bude tato hodnota vypočtena podle vzorce (4.9) a pro fuzzy informaci následovně:

$$V(\Phi) = E(u_{\Phi}^*) - E(u^*) \quad (4.26)$$

Tato kapitola ukázala použití Bayesovy rozhodovací metody s použitím nebo lépe řečeno se zahrnutím neurčitosti do rozhodovacího procesu. Tato neurčitost zde byla reprezentována pomocí pravděpodobnostních a fuzzy proměnných. Byly ukázány postupy, jak s touto neurčitostí počítat a jak zahrnout dodatečné informace ke zpřesnění rozhodování¹⁰ a k dosažení nejvyššího očekávaného užitku.

V mnoha rozhodovacích situacích nejsou cíle, omezení a důsledky zamýšlených alternativ známy s přesností. Mnohé z těchto nepřesností nejsou měřitelné a také nejsou náhodné. Nepřesnost může být v důsledku vágnosti, neurčitosti nebo fuzzy informace. Metody, které s těmito nepřesnostmi umějí počítat (pracovat), jsou důležité v systémech, které pracují na bázi lidských myšlenek (humanistic systems) (ROSS, 2004).

¹⁰ Je důležité zmínit, že zahrnutí dodatečných informací, tj. přeměna prvotních informací, není často aplikováno korektně. Podle provedených psychologických průzkumů vyplývá, že přikládáme velmi malou váhu prvotním informacím a na druhou stranu přikládáme velkou váhu k dodatečným informacím. Máme sklony dávat přednost současným (aktuálním) informacím před dlouhodobě nashromážděnými prvotními zkušenostmi, které mohou mít větší váhu (ROSS, 2004).

5 Environmentální kritéria a zavádění ISO norem ve firmě

V souvislosti se současnou ekonomickou situací ve světě, je důležité nalézat nová východiska, jak být úspěšní, tj. jak si udržet své postavení na trhu nebo ještě lépe jak ho zlepšit. V době, kdy se světová ekonomika vzpamatovává z hluboké recese¹¹ způsobenou zhroucením amerického finančního sektoru¹² a následnou světovou hospodářskou krizí, mohou mít společnosti, z důvodu snížené poptávky, problémy s nedostatkem finančních prostředků. Tedy prostředků nutných pro provedení úsporných opatření (restrukturalizací) nebo investic.

Východiskem k udržení a získání nových zákazníků může být kvalitní produkce a služby poskytované samotnou společností nebo, a v současné době velmi populární, šetrný přístup k životnímu prostředí. Jak ale zákazník může rozpoznat, že výrobky nebo služby jsou kvalitní a společnost je šetrná k životnímu prostředí? Transparentním nástrojem mohou být certifikované systémy kvality a environmentu podle norem ISO.

5.1 Důvody zájmu o kvalitu a environment

Management představuje v současné době značně specializovanou činnost, bez které se neobejde žádný větší organizační celek. Nutnost řízení je pociťována nejen v podnikatelské sféře, ale i v neziskových organizacích, státní a veřejné správě.

Těžiště zájmu většiny manažerů je zaměřeno zejména na dosahování příznivých ekonomických výsledků. Na této orientaci se v podstatě nic nemění (zejména u podnikatelských subjektů), pouze se rozšiřují přístupy, jak těchto výsledků dosáhnout

¹¹ Recese je v makroekonomii definována jako pokles reálného hrubého domácího produktu (HDP) po dvě nebo více následující čtvrtletí v roce. Recese může zahrnovat souběžný pokles souvisejících měřítek celkové ekonomické aktivity, jako jsou zaměstnanost, investice a zisky společností.

¹² Problém vznikl v nadhodnoceném ratingu hypoték, kde se očekával trvalý růst ceny nemovitostí, z toho důvodu banky tyto hypotéky financovaly krátkodobými závazky. Tato prognóza se však ukázala jako chybná. V situaci, kdy banky chtěly prodat zabavené nemovitosti, musely v důsledku snižujících se cen a přesycenosti trhu s nemovitostmi, prodávat pod cenou. Z tohoto důvodu neměly dostatek finančních prostředků ke splácení svých krátkodobých závazků.

a které faktory je třeba v manažerské práci respektovat. Jestliže v minulosti stačilo zaměřit pozornost na kvantitativní a ekonomické aspekty řízení, v současnosti je třeba řídit i kvalitativní a časové aspekty. Jinými slovy, nestačí dodat příslušné množství výrobků za stanovenou cenu, ale je třeba zabezpečit požadovanou kvalitu a termíny dodávek. (VEBER, 2010)

Vedle těchto požadavků je třeba zohlednit v řídicí činnosti i další momenty, které se mohou stát limitujícími nebo dokonce kritickými faktory pro fungování organizace. Takovými momenty mohou být požadavky na ochranu životního prostředí, bezpečnost a ochranu zdraví při práci apod.

Není žádným tajemstvím, že ve vývoji světové ekonomiky se potvrzují některé tendence konce dvacátého století: dále se rozevírají nůžky mezi nabídkou a poptávkou a tím rostou požadavky na konkurenceschopnost, na trhu se objevují noví hráči, není problém si osvojit řadu výrobních postupů díky nákupu špičkových technologií atd. Tyto zhoršující se podmínky podnikání často příliš nezajímají¹³ vlastníky či investory. Oni potřebují profit, aby mohli dále investovat a posilovat své postavení. Navíc očekávají změny rychle, to ovšem zvyšuje riziko podnikání. Všechny tyto skutečnosti nutí podnikatelské subjekty hledat cesty, jak z kola ven.

Jednou z možností řešení vznikající situace je přístup zaměřený na „zeštíhlování“ firem, tj. úspory vnitřních nákladů. Nelze vyloučit, že v zájmu snižování nákladů se mohou objevit opatření, jejichž důsledky jsou více či méně nežádoucí. Je však otázkou, co lze v současných podmínkách a v konkrétním prostředí považovat za přijatelné a co nikoliv. (VEBER, 2010)

Chce-li výrobce udržet konkurenceschopnou cenu, prostor pro snižování nákladů není neomezený. Řada materiálových vstupů je dána světovými cenami surovin a materiálů, mzdové náklady sice mohou představovat významný zdroj úspor, ale též nelze všechny

¹³ Nedá se přímo říci, že zhoršující podmínky vlastníky nezajímají, často je tomu právě naopak. Registrují je i oni sami, proto tlačí své podřízené podnikatelské subjekty do nalezení takových opatření, aby jejich globální profit zůstal minimálně zachován, raději však, aby rostl.

provozy přesouvat do teritorií s nízkými mzdami. Takže nezbyvá než šetřit na ostatních provozních nákladech.

5.1.1 Problematika kvality

Existuje řada důvodů, proč by se podnikatelské, ale i další organizace měly zajímat o kvalitu své produkce. Na prvním místě to asi bude konkurence. Za situace, kdy na trhu je převaha nabídky nad poptávkou, se mnozí výrobci snaží získat pro svou produkci některou konkurenční výhodu. Nejprve byla spatřována v nižší prodejní ceně, později, a výrazně k tomu přispěli Japonci, se konkurenční výhodou stala právě kvalita produkce. Ještě později se přidal faktor času, tzn. pružné reagování na požadavky zákazníků. V současnosti se ukazuje, že nestačí zaměřit se na jeden z výše uvedených konkurenčních atributů, ale že je nutné usilovat o co nejlepší nabídku (kombinaci) všech těchto atributů (cena, kvalita a čas), která by nejlépe vyhovovala zákazníkům.

Svůj nezanedbatelný podíl na kvalitě má i současný často velice dobře informovaný zákazník. Ten díky četné konkurenci má mnohem pestřejší nabídku, je o různých produktech informován z propagačních akcí, navíc si může učinit další srovnání prostřednictvím internetu atd. Všechny tyto skutečnosti značně zvyšují citlivost spotřebitelů nejen vůči kvalitě nabízené produkce, ale i doprovodných služeb, tj. podmínek, za kterých jsou produkty prodávány a užívány.

Kvalitní produkce není jen předpokladem prodejnosti výrobků, kvalita, resp. nekvalita v podobě vadné produkce má i nezanedbatelné dopady na hospodárnost výroby. Ztráty z vadné produkce mohou představovat často významné položky ve finančním hospodaření firmy v rozsahu i několika procent. (VEBER, 2010)

5.1.2 Problematika životního prostředí

Péče o životní prostředí patří k aktuálním celosvětovým problémům. Dosavadní zkušenosti ukazují, že společenský a zvláště technologický rozvoj měl z pravidla negativní dopady do životního prostředí. Nemají-li se naplnit katastrofické scénáře ohrožení životního prostředí na Zemi, musí dojít k výrazným změnám ve vztahu

k ochraně životního prostředí. V této souvislosti prioritní úloha přísluší průmyslové sféře, která patří k největším znečišťovatelům.

V současné době se, zejména ve vyspělých zemích, zaměřuje zvýšená pozornost na kvalitativní stránku rozvoje a v této souvislosti se vyjadřuje potřeba dosáhnout jeho udržitelnosti. Koncem osmdesátých let vydala Komise pro životní prostředí a rozvoj při OSN studii, ve které se konstatuje, že další vývoj společnosti, nemá-li dojít k celosvětovému ohrožení životního prostředí, musí probíhat na základě nového typu hospodářského rozvoje, který byl označován jako „Trvale udržitelný rozvoj“¹⁴ (SPŽP, 2004). Udržitelný rozvoj má tři rozměry (ekonomický, sociální a environmentální) a odpovídá na novou situaci současného světa.

Na toto téma se uskutečnily světové konference, které potvrdily filosofii hospodářského vývoje cestou udržitelného rozvoje, tzn., aniž dojde k ničení přírodních zdrojů, zhoršování životního prostředí, redukci bohatství přírody atd. Mezi nejznámější patří konference v Japonském Kjóto, kde se vypracoval protokol, kterým se země zavazují snížit emise šesti hlavních skleníkových plynů¹⁵.

Protože platnost Kjótského protokolu vyprší na konci roku 2012, uskutečnila se v roce 2009 klimatická konference v Kodani¹⁶, na jejímž závěru byla přijata dohoda Kodaňská dohoda (Copenhagen accord, 2009). Jako největší výzvou byl ustanoven boj proti změnám klimatu, jako je udržení růstu průměrné teploty na Zemi pod hranicí 2°C atd. Dohoda není bohužel závazná a neobsahuje žádné závazky (limity) pro snižování emisí CO₂. Problémům životního prostředí se věnuje (WITTLINGEROVÁ, 2004).

5.2 Politika kvality

V současnosti se ve většině zemí s vyspělou tržní ekonomikou můžeme setkat s různými aktivitami na podporu jakosti, mezi nimiž důležitou roli hrají různá ocenění, at' výrobků nebo výrobců (národní ceny za kvalitu).

¹⁴ Udržitelný rozvoj je takový rozvoj, který zajistí potřeby současných generací, aniž by bylo ohroženo splnění potřeb generací příštích a aniž by se to dělo na úkor jiných národů.

¹⁵ Oxid uhličitý, metan, oxid dusný, fluorované uhlovodíky, polyfluorované uhlovodíky, fluorid sírový.

¹⁶ 2009 United Nations Climate Change Conference, Copenhagen

5.2.1 Evropská politika kvality

EU vyhlásila politiku podpory kvality s cílem podpořit činnosti s vysokou přidanou hodnotou. Politika je logickým pokračováním Rezoluce Rady o Novém přístupu k technické harmonizaci a o Globálním přístupu k hodnocení shody. Uvedené rezoluce přijaté v souvislosti s programem vnitřního trhu významně přispěly k vytvoření podmínek pro nové rozdělení odpovědností za ochranu zdraví, života, bezpečnosti a majetku občanů (regulovaná oblast) mezi státní orgány a ekonomické provozovatele začleněním shody do požadavků Společenství týkajících se nástrojů jakosti (zabezpečování jakosti, certifikace výrobků apod.).

Zpracování politiky podpory kvality je zaměřeno hlavně na podporu evropské konkurenceschopnosti s cílem vzájemného propojení všech aktivit, které byly dosud pro zabezpečení jakosti evropské produkce přijaty (regulovaná oblast, prokazování shody, certifikace systémů jakosti) s novými iniciativami a nástroji.

Vyhlášení politiky podpory kvality (EPQ¹⁷) bylo vynuceno skutečností, že bylo nutno vysvětlit (především podnikatelským subjektům), že shoda se zákonnými požadavky Společenství v regulované oblasti a využívání nástrojů, jako je certifikace systémů jakosti podle norem ISO 9000, jsou sice nezbytnou (v regulované oblasti) anebo obchodně výhodnou podmínkou pro prodej v EU, ale nejsou nutně dostačující, aby zabezpečily odpovídající úroveň konkurenceschopnosti evropského průmyslu na světových trzích.

Vývoj péče o kvalitu v EU

Rada ministrů v roce 1985 rozhodla snížit legislativní překážky Společenství přijetím „Nového přístupu“, tj. omezením legislativy jenom na podstatné požadavky a jejich přerozdělením na ekonomické provozovatele formou orgánů pro normalizaci a úkolů řízení podrobných specifikací.

Rozhodnutí bylo posíleno v letech 1989-90, když Rada rozhodla postoupit požadavky hodnocení shody buď na nezávislé třetí strany, nebo na samotné výrobce a to za

¹⁷ European Organization for Quality

určitých podmínek. Hlavní podmínkou bylo, že prokážou zavedení odpovídajícího systému jakosti.

Tato etapa vývoje vrcholí v roce 1994, kdy zavádí na základě Nového přístupu (podporovaného Globálním přístupem) dva směry:

- **Na jedné straně směr vycházející ze zákonodárné politiky** – shoda s důležitými bezpečnostními požadavky (regulovaná oblast – směrnice);
- **Na druhé straně směr vycházející z tzv. „průmyslové“ politiky** – posílení působení na ekonomiku činnostmi jako např. normalizací, metrologií, prokazováním shody, akreditací, managementem jakosti (ISO 9000) a v neregulované oblasti posílením vzájemné důvěry.

Z uvedeného vyplývá, že evropská politika jakosti postupuje od shody s bezpečnostními předpisy (zejména směrnice) ke konkurenceschopnosti a podnikatelské úspěšnosti za pomoci strategií managementu jakosti. (VEBER, 2010)

Význam, jaký EU přikládá jakosti a zvyšování konkurenční schopnosti, dokládá i dokument podepsaný 23. října 1998 na „Evropském konventu jakosti“ v Paříži. Dokument s názvem „Evropská charta jakosti“ byl podpořený i nejvyšším představitelem EU. Cílem tohoto dokumentu bylo rozhodnutí veřejných autorit, dále pak veřejných a poradenských organizací zavázat se jednat v následujícím rozsahu:

- Všeobecně podporovat přístup jakosti v podnikání a veřejném sektoru;
- Rozvíjet výchovu jakosti na všech úrovních vzdělávání;
- Rozvíjet současně myšlení o metodách a nástrojích jakosti a každému je zpřístupňovat;
- Aktivně šířit zkušenosti z oblasti jakosti;
- Podporovat image „evropské jakosti“ ve světě;
- Během roku usilovat o dosažení nového pokroku v jakosti;
- Představit každoročně v listopadu během Evropského týdne jakosti realizované aktivity, současně iniciativy a budoucí projekty.

5.2.2 Národní politika kvality

Vstup České republiky do EU si vyžádal zásadní změnu přístupu k jakosti ve všech činnostech. Rozhodujícím předpokladem zvyšování jakosti činností např. v oblastech práce a služeb ve veřejném sektoru, ve státní správě, ve veřejné dopravě, energetice, zdravotnictví, školství, policii atd. je zásadní změna myšlení a přístupů k jakosti u všech subjektů, vytvoření prostředí vědomí nezbytnosti jakosti u všech občanů a institucí.

Proto EU považuje vyhlášení Národních politik podpory kvality za jeden z nezbytných úkolů programu přidružování. ČR byla dlouhodobě na existenci Národní politiky podpory jakosti upozorňována. A tak jako důsledek této skutečnosti byl v roce 1998 vypracován nejdříve koncept a následně schválen jako Usnesení vlády ČR č. 458 program „Národní politika podpory jakosti“ (NPJ). Na základě dokumentu „Strategie národní politiky kvality 2008-2013“ (SNPK, 2008) bylo rozhodnuto o změnu názvu na „Národní politika kvality“ (NPK).

Cílem této politiky je spoluvytvářet v České republice prostředí, ve kterém je kvalita trvalou součástí všech oblastí života společnosti i jednotlivých občanů a růst kvality života v ČR je veden cestou udržitelného rozvoje. Mezi další cíle této politiky patří rovněž vytvoření podmínek pro zlepšování ochrany občanů a institucí před nejakostními (nekvalitními) výrobky a službami, zajištění trvalého zvyšování úrovně uspokojování jejich potřeb, optimální využívání dostupných zdrojů a zajištění ochrany životního prostředí ČR.

Pod hlavičkou NPK jsou za účasti státních orgánů realizovány aktivity zaměřené na podporu jakosti, zejména pak:

- **Projekty podpory kvality** – jsou vyhlašovány formou veřejných zakázek a týkají se oblasti vzdělávání, pořádání odborných akcí, seminářů a ostatních aktivit v oblasti kvality v různých sférách života společnosti v ČR;
- **Program Česká kvalita** – sleduje vytvoření jednotného přehledného systému, který umožní zviditelnit důvěryhodné a nezávislé značky kvality;
- **Program Národní ceny kvality ČR** – hodnotí efektivnost a jakost fungování přihlášených firem, které mají zájem získat Národní cenu kvality ČR,

- **Národní informační středisko podpory kvality.**

Hlavními prioritami NPK v letech 2008-2013 je v oblasti kvality vzdělávání nutnost posílení důrazu na morálku, etiku, občanské vědomí a výchovu k toleranci (základní školství), důraz na přípravu k uplatnění na trhu práce (střední a vyšší odborné školy), podporu technického vzdělávání na vysokých školách a podpora dalšího (celoživotního) vzdělávání. V oblasti podnikání jsou prioritami etika v podnikání (Společenská odpovědnost organizací), rozšíření věrohodné certifikace podle norem ISO¹⁸ a směřování subjektů v ekonomické sféře od pouhého plnění norem kvality podle ISO ke skutečnému komplexnímu zvyšování kvality, k promítnutí tohoto úsilí do produktových inovací vyššího řádu a k dalším krokům vedoucím k zvýšení konkurenceschopnosti v mezinárodním měřítku (SNPK, 2008).

5.3 Politika environmentu

Klíčovým dokumentem státní účasti při zabezpečování ochrany životního prostředí je „Státní politika životního prostředí 2004-2010“ (dále jen SPŽP) jako Usnesení vlády ČR č. 235 z roku 2004.

Politika životního prostředí si obecně klade za cíl uchovat a vylepšit kvalitu životního prostředí a života i zdraví obyvatel při respektování požadavku udržitelného rozvoje. Reaguje na potřebu vzájemné integrace dosud často sektorově orientovaných aktivit a zároveň reaguje na všechny závažné změny stavu životního prostředí (SPŽP, 2004).

V současné době se, zejména ve vyspělých zemích, zaměřuje zvýšená pozornost na kvalitativní stránku rozvoje a v této souvislosti se vyjadřuje potřeba dosáhnout jeho udržitelnosti.

SPŽP počítá s následujícími nástroji své realizace:

- **Zvyšování povědomí veřejnosti o otázkách životního prostředí** – zvyšování veřejného povědomí o záležitostech životního prostředí vede veřejnost nejenom k většímu pochopení environmentálních souvislostí hospodářského

¹⁸ K tomuto účelu bylo nově zavedeno České národní certifikační centrum (CNCF).

a sociálního života společnosti, ale rovněž ke zvýšení kvality rozhodování spotřebitelů;

- **Zapojení veřejnosti** – rozhodování by se mělo posunout co nejdříve těm, kteří jsou zamýšlenou činností přímo ovlivněni;
- **Hospodaření se zdroji a udržitelná spotřeba** – udržitelný rozvoj je postaven na vyváženém užívání všech zdrojů, které dělíme na přírodní, ekonomické, sociální a lidské;
- **Princip předběžné opatrnosti** – účinná politika životního prostředí musí být postavena na vědeckých poznatcích, avšak všude, kde tyto poznatky chybí nebo jsou zatíženy vysokou nejistotou, musí být uplatněn tento princip;
- **Znečišťovatel platí** – zahrnutí negativních externalit (např. formou daní a poplatků za ekologické újmy) do nákladů znečišťovatele;
- **Integrace** – ochrana životního prostředí úzce souvisí s většinou sektorových politik a z tohoto zřetele je Státní politika životního prostředí průřezovou politikou, která musí být s ostatními sektorovými politikami jak koordinována, tak do nich integrována.

SPŽP nabízí celou řadu nástrojů k dosažení stanovených cílů. Normativní, ekonomické, institucionální, organizační, informační, dobrovolné a další nástroje by přitom měly být využity v takové kombinaci, která umožní dosáhnout požadovaných cílů s co nejnižšími nároky na finanční, lidské, technické a další zdroje. Pro sledování efektivnosti a účinnosti plnění SPŽP je navržena sada indikátorů, odpovídající ukazatelům sledovaným v rámci Evropské unie a Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD¹⁹).

5.4 Přístupy managementu kvality a environmentu

Ruku v ruce s technickým rozvojem zaměřeným na výrobové a technologické inovace se vyvíjejí i manažerské přístupy. V jejich rámci se zdokonalovaly i postupy řízení jakosti a péče o životní prostředí.

¹⁹ Organization for Economic Co-operation and Development

5.4.1 Vývoj přístupu managementu kvality

Někteří lidé považují za kvalitní takový produkt, který je bezvadný, jiní pak očekávají od takového produktu co nejlepší vlastnosti při jeho používání. Vlastností, které produkt má, můžeme dosáhnout několika způsoby. Jeden z možných způsobů je využívání důsledné vstupní a výstupní kontroly. V současné době se však více využívá způsobu řízení (managementu) kvality. A protože v tomto procesu jde o soubor vzájemně působících prvků, mluvíme o systému řízení kvality (QMS²⁰).

Je nesporné, že zavedení hromadné výroby znamenalo nebývalé zvýšení produktivity práce. Na druhé straně však posílilo anonymitu výrobních pracovníků vzhledem k zákazníkům. Tato skutečnost musela být eliminována zavedením péče o kvalitu jako nedílné součásti řídicích a realizačních činností. (VEBER, 2010)

Přístupy k zajištění požadované kvality prošly v průběhu uplynulého století řadou změn, které do jisté míry kopírovaly změny ve složitosti výrobků a zejména v organizaci jejich výroby. Na počátku průmyslové výroby stačila vizuální kontrola či jednoduchá měřidla (metry váhy apod.), v současnosti se užívají jednak složité a velice přesné měřicí přístroje a také jsou konstruována speciální měřicí zařízení pro vybrané důležité kontrolní operace. Běžným se v posledních dvou případech stává propojení s výpočetní technikou, která usnadňuje a zrychluje vyhodnocení naměřených výsledků a jejich porovnání se stanovenými specifikacemi.

Stejně tak došlo k vývoji řady metod, které měly usnadnit a zejména zlevnit kontrolní a další operace nutné k dosažení požadované kvality. V této souvislosti lze zmínit zejména aplikaci statistických metod pro kontrolu jakosti.

Z časového hlediska lze říci, že v šedesátých letech minulého století se objevují první pokusy využívat vysoké kvality výrobků jako nového atributu, na kterém lze založit konkurenční výhodu firmy. Sedmdesátá léta představují období, v němž se tříbí názory, které se týkají systémového přístupu k řízení kvality (zohledňování kvality ve všech podnikových činnostech). V osmdesátých letech se objevují první signály směřující

²⁰ Quality management system

k odpovědnosti výrobců za kvalitu výrobků. V tomto období je zaveden univerzální standard péče o kvalitu v podobě norem ISO 9000. Devadesátá léta pak jsou vedena ve smyslu bouřlivého rozšiřování přístupů systému managementu kvality ve smyslu zavádění požadavků norem ISO 9000 do praxe.

5.4.2 Management kvality podle norem ISO 9000

Mezinárodní organizace pro normalizaci²¹ vydala již v roce 1987 sadu pěti norem, které se zabývaly systémem managementu kvality. Normy prošly do současnosti dvěma zásadními revizemi (poslední v roce 2000) a označujeme je jako normy řady ISO 9000. Podle těchto norem si mohou organizace vytvářet své systémy managementu kvality.

Některé charakteristické rysy norem řady ISO 9000:

- Normy patří k jedněm z nejrozšířenějších norem používaných pro management kvality (jsou užívány hlavně v evropském prostoru);
- Normy mají univerzální charakter, tzn., nezávisí ani na druhu procesů či produktů (jsou aplikovatelné v organizacích typu výrobních či služeb bez ohledu na velikost firem);
- Normy nejsou závazné, ale pouze doporučující. Teprve v okamžiku podepsání příslušné obchodní smlouvy se dodavatel může zavázat odběrateli, že bude aplikovat QMS, se uvedená norma stává závaznou;
- Normy jsou pouze souborem minimálních požadavků, které musí být v organizacích implementovány (některé obory si vytvářejí samostatné oborové normy pro QMS, které jsou přísnější).

Zásady managementu jakosti

Úspěšné vedení a úspěšná funkce organizace vyžaduje, aby byla směřována a řízena systematickým a jasným způsobem. Úspěch může být výsledkem uplatnění a udržování takového systému managementu kvality, jehož cílem je neustálé zvyšování výkonnosti organizace, a to na základě potřeb zainteresovaných stran.

²¹ International Organization for Standardization (ISO)

Normy řady ISO 9000:2000 jsou založeny na novém pojetí, opírající se o deset zásad managementu kvality, směrodatných jak pro vrcholový management, tak i pro výrobu či administrativu a platných pro jakýkoli typ organizace. Význam těchto zásad spočívá v tom, že určují globální cíle a nástroje pro efektivní řízení jakosti, a to jak v oblasti formulace cílů, tak při vlastním operativním rozhodování a řízení všech procesů.

Zásady managementu jakosti

1. **Organizace orientovaná na zákazníka** – organizace je závislá na svých zákaznících a měla by proto rozumět jejich současným i budoucím požadavkům, plnit jejich přání a snažit se překonávat jejich očekávání;
2. **Vedení** – Strategie společnosti - management organizace určuje jednotný cíl a směr vývoje, měl by vytvářet a udržovat takové prostředí, ve kterém by se zaměstnanci organizace mohli plně zasadit o naplnění jejich cílů;
3. **Zapojení zaměstnanců** – zaměstnanci na všech úrovních jsou jádrem organizace a jejich plné zapojení umožňuje využít jejich schopností ve prospěch organizace;
4. **Systémový přístup** – Příručka jakosti – základní dokument QMS. Jeho cílem je určit a řídit systém navzájem souvisejících procesů ke stanovenému cíli a tím zlepšit účinnost a výkonnost organizace;
5. **Procesní přístup** – Organizační směrnice a popisy procesů – požadovaného výsledku je efektivně dosaženo tehdy, jestliže jsou potřebné zdroje a činnosti řízeny jako proces;
6. **Neustálé zlepšování** – cílem organizace by vždy mělo být neustálé zlepšování;
7. **Věcný postup při přijímání rozhodnutí** – účinná rozhodnutí jsou založena na analýze údajů a informací;
8. **Kontrolní a nápravná opatření** – skutečnosti mající vliv na management kvality musí být systematicky kontrolovány a měřeny;
9. **Přezkoumávání managementem organizace** – management musí pravidelně QMS přezkoumávat a hodnotit, aby zjistilo jeho vhodnost a účinnost;

10. **Oboustranně prospěšné dodavatelské – odběratelské vztahy** – organizace a její dodavatelé jsou na sobě navzájem závislí, vzájemně výhodné vztahy proto zvyšují schopnost obou stran vytvářet hodnoty.

5.4.3 Normy řady ISO 9000

- ISO 9000:2000 – popisuje základy a zásady systémů managementu kvality a specifikuje terminologii systémů managementu kvality;
- ISO 9001:2000 – tuto normu lze považovat za stěžejní. Specifikuje požadavky na systém managementu kvality pro případ, že organizace musí prokázat svoji schopnost poskytovat produkty, které splňují požadavky zákazníků a aplikovatelné požadavky předpisů a že organizace má v úmyslu zvýšit spokojenost zákazníků. Lze ji používat pro interní účely, certifikaci nebo pro smluvní účely;
- ISO 9004:2000 – model řízení organizace pro udržitelný úspěch. Účelem této normy je poskytnout doporučením, které může organizace dále zavést nad rámec požadavků uvedených v ISO 9001 v zájmu dalšího rozšíření, zlepšení managementu kvality tak, aby zahrnoval spokojenost nejen zákazníků, ale i dalších zainteresovaných stran a směřoval ke zvyšování výkonnosti společnosti. Tato norma není určena jako nástroj certifikace.

Jak bylo zmíněno výše, Národní politika kvality se snaží směřovat ekonomické subjekty od pouhého plnění norem kvality podle ISO 9001 ke skutečnému komplexnímu zvyšování kvality a k dalším krokům vedoucím k zvýšení konkurenceschopnosti v mezinárodním měřítku (SNPK, 2008). Tím by mělo být zavedení normy ISO 9004, která, i když není určena pro certifikaci, dává návod společnosti jak těchto cílů dosáhnout²².

²² Norma ISO 9004 na rozdíl od ISO 9001 prošla rozsáhlou revizí a došlo i k podstatné změně obsahu normy, která by měla dávat návody směřované k řízení pro udržitelný rozvoj.

5.4.4 Systém environmentálního managementu

Péče o životní prostředí stála donedávna v pozadí zájmu většiny firem. Těžiště zájmu vedoucích pracovníků o životní prostředí spočívalo pouze v dodržování požadavků vyplývajících z platné legislativy. Systémový přístup se uplatňuje až od druhé poloviny devadesátých let, a to v souvislosti s přijetím nových norem ISO řady 14 000.

Organizace ovlivňující svými produkty životní prostředí mají v současnosti příležitost získat konkurenční výhody prostřednictvím systému environmentálního managementu (EMS²³).

EMS je část systému managementu, která zahrnuje organizační strukturu, plánovací činnosti, odpovědnosti, praktiky, postupy a zdroje k vyvíjení, zavádění, dosahování, přezkoumávání a udržování environmentální politiky. (VEBER, 2010)

Přístup k systému environmentálního managementu spočívá ve vytvoření, zavedení a udržování vhodného řídicího systému, který je součástí celkového systému managementu a týká se všech činností organizace vztahujících se k životnímu prostředí. EMS zavádí pořádek a důslednost do konání organizace tím způsobem, že určuje přidělování zdrojů, rozděluje odpovědnosti a neustále vyhodnocuje praxi, postupy a procesy. Systémovými nástroji klade důraz na prevenci vzniku znečišťování a odpadů.

EMS na bázi norem řady ISO 14 001 je normativním doporučením pro koncipování systému environmentálního managementu na základě norem, které jsou od svého prvního zveřejnění deklarovány jako dobrovolné a univerzální. Je na organizaci, zda se rozhodne pro zavedení nebo zda ji k tomu donutí jiné požadavky. Normy jsou aplikovatelné v malých i velkých organizacích, jsou využitelné v různých oborech i v neziskových organizacích apod. Výhodou této normy je její celosvětový charakter (VEBER, 2010).

²³ Environmental management system

5.4.5 Systém EMS podle norem ISO 14000

Organizace zavedením systému environmentálního managementu získá možnost spojovat ekonomické a environmentální zájmy a tím zajistit příslušné zdroje tam, kde přinášejí největší užitek jednak z finančního hlediska tak i z hlediska ochrany životního prostředí.

Základním cílem, který organizace zavedením EMS sleduje:

- Zavedení pořádku;
- Dodržení úplného souladu s právními požadavky;
- Snížení provozních nákladů, úspory energie, surovin a dalších zdrojů;
- Snížení rizika environmentálních havárií, za které nese odpovědnost organizace;
- Zvýšení podnikatelské důvěryhodnosti pro investory, veřejnou správu, peněžní ústavy apod.;
- Zlepšení vztahů s veřejností.

Možno očekávat, že zavedení systému EMS se do budoucna stane nutností. Zřejmě ho budou vyžadovat obchodní partneři od svých dodavatelů a organizace, které si budou chtít udržet své trhy a dále je rozšiřovat budou muset mít systém zavedený.

Zásady environmentálního managementu

- **Environmentální politika** – Programy environmentálního managementu - management organizace se jasně přihlašuje k zodpovědnosti za životní prostředí. Je to základní dokument EMS, který určuje zásady a úkoly pro všechny činnosti příslušné organizace vzhledem k ochraně ŽP;
- **Plánování** – v EMS slouží k neustálému zlepšování systému environmentálního managementu a naplňování environmentální politiky;
- **Zavádění a provoz** – v EMS slouží k uskutečňování změn, vyplývajících z poznání environmentálních aspektů, způsobu jejich řízení a z provádění programu environmentálního managementu. Neustálé zlepšování EMS musí organizace dosáhnout především zlepšováním činností, které ovlivňují nebo mohou ovlivnit ŽP;

- **Registr environmentálních aspektů** – seznam všech aspektů, které mohou v organizaci vzniknout, jejich četnost, významnost a popis jejich řízení. Tyto aspekty v organizaci jsou monitorovány a měřeny;
- **Seznam právních předpisů a požadavků** – seznam veškerých právních norem, které se vztahují k činnosti organizace v oblasti EMS včetně speciálních norem, které musí organizace dodržovat z pohledu environmentu u svých zákazníků. Obsahuje též smlouvy organizace na likvidaci jednotlivých kategorií odpadu;
- **Havarijní připravenost a reakce** – seznam s identifikací možných havarijních situací, reakcí a zodpovědností za řešení a likvidaci jejich následků, pokud by vznikly;
- **Kontrolní a nápravná opatření** – skutečnosti mající vliv na životní prostředí musí být systematicky kontrolovány a měřeny;

Přezkoumání managementem organizace – management musí pravidelně EMS přezkoumávat a hodnotit, aby zjistilo jeho vhodnost a účinnost.

5.4.6 Normy řady ISO 14000

Normy ISO 14 000 představují celosvětově transparentně normativní dokumenty, které slouží jak pro zavedení EMS do podnikové praxe, tak pro certifikaci těchto systémů. Stejně jako v případě QMS byla i pro zavádění certifikace EMS vypracována řada norem:

- **ISO 14 001:2005** – systém environmentálního managementu. Požadavky s návodem pro použití – představuje kritériální normu, podle které je prováděna vlastní certifikace (analogie s normou ISO 9001);
- **ISO 14 004:2005** – systém environmentálního managementu. Všeobecná směrnice k zásadám, systémům a podpůrným metodám – představuje metodickou pomůcku pro zavádění EMS do podnikové praxe.

5.4.7 Certifikace systémů QMS a EMS

Zavedení a rutinní udržování systémů řízení jakosti a environmentu by mělo v organizacích vytvořit prostředí, které bude garantovat standardní manažerské

a provozní praktiky. Osvědčení v podobě certifikátů by mělo být směrodatným signálem (zárukou) zejména pro odběratele, zaměstnance, ale i relevantní okolí, že firma zvládá své provozní procesy.

Certifikace je postup, kterým třetí strana (certifikační orgán) poskytuje písemná ubezpečení, že výrobek, proces nebo služba je ve shodě se specifikovanými požadavky (ŠEBESTOVÁ, 2004).

Vlastní certifikační procedury jsou založeny na výběrové kontrole, která pochopitelně nemůže prověřit ve vší úplnosti zavedené systémy. Vždy půjde o namátkové prověření podstatných skutečností (procesů, environmentálních aspektů a jejich dopadů).²⁴

Přínosy certifikace systému managementu jakosti podle ISO 9001

Hlavními přínosy certifikace managementu jakosti jsou především:

- Vybudovaný samoregulující systém managementu reagující pružně na změny požadavků zákazníků, požadavků zákonných předpisů změn uvnitř organizace;
- Prokázání vhodnosti, účinnosti a efektivnosti systému managementu realizace produktu,
- Kompatibilita systému QMS s praxí v zemích EU, rychlé přizpůsobení českých výrobců požadavkům EU;
- Možnost získání nových zákazníků;
- Možnost účastnit se výběrových řízení u prestižních zákazníků.

Přínosy certifikace systému environmentálního managementu podle ISO 14 001

Hlavními přínosy jsou především:

- Zajištění a vylepšení péče o životní prostředí;
- Uvědomování si vlastní odpovědnosti k ochraně ŽP;
- Zprůhlednění rizik, snížení rizik dopadů vlastních aktivit na ŽP;
- Včasné rozpoznání problémů s životním prostředím;

²⁴ Zde se nabízí analogie k auditu, který se vzhledem k rozsahu dokumentace také zabývá jen vzorky a jeho výsledek tedy neznamená naprostou jistotu, nýbrž jen rozumnou pravděpodobnost konečného hodnocení.

- Více záruk o plnění právních a jiných požadavků.

Problematikou a přínosy certifikace se věnují také (ŠEBESTOVÁ, 2006) nebo (ŠNAJDR, 2006).

6 Praktická aplikace fuzzy ohodnoceného rozhodovacího modelu

V této kapitole se pokusíme kvantitativními metodami vyřešit rozhodovací problém společnosti ohledně zavedení či nezavedení ISO norem do společnosti. Příklad je převzat z (FLÉGL, 2007), kde byl vypočítán pomocí metody očekávané hodnoty výplaty (EMV²⁵) vhodné pro rozhodování za rizika. Blíže k této metodě (BROŽOVÁ, 2005; FOTR, 2003). Protože celá tato práce je zaměřena na rozhodování za neurčitosti (fuzzy), bude příklad upraven do vhodné podoby.

6.1 Charakteristika společnosti

Společnost je spolu s dalšími devíti sesterskými firmami součástí globálního nadnárodního konsorcia, což představuje 1600 zaměstnanců s působností v 10 zemích. Společnost se transformovala v samostatnou nezávislou společnost s cílem flexibilně se přizpůsobit rychle se rozvíjícímu trhu a zaměřit se především na komunikační řešení na míru dle individuálních potřeb i těch nejnáročnějších zákazníků.

Disponuje stabilním týmem čítajícím více než 100 zaměstnanců, kteří jsou základním stavebním kamenem jejího úspěchu. Pozornost je věnována stálému růstu jejich odborné kvalifikace včetně získávání aktuálních informací o novinkách ve vývoji technologií a služeb. Pro speciální projekty společnost vytváří specializované týmy.

Služby

Společnost poskytuje ucelené spektrum komplexních služeb systémové integrace. Součástí nabízených služeb jsou i poradenské služby, analýza stavu a potřeb, plánování a návrh systému, jeho implementace a v neposlední řadě provozní údržba a servis. V případě větších projektů společnost plní roli generálního dodavatele a zastřešuje tak realizaci celého projektu.

Společnost má záměr poskytovat služby vycházející ze schopnosti naplánovat, navrhnout, dodat, integrovat, udržovat a řídit komplexní řešení pro své zákazníky

²⁵ Expected Mean Value

a v případě potřeby být i partnerem při financování těchto projektů. Tím umožnit svým zákazníkům i do budoucna očekávaný rozvoj. Nadále si chce udržet pozici klíčového poskytovatele vyspělých služeb a dodavatele nejmodernějších technologií na českém trhu. Rozvinout spolupráci s nejdůležitějšími partnery v oblasti komunikačních technologií.

6.1.1 Certifikace

Společnost chce dbát i o výkonnost a stabilitu svých vnitřních procesů, aby byla dobrým a spolehlivým partnerem svým zákazníkům. Proto se rozhoduje, jestli zavést systém managementu kvality (QMS) podle standardu ISO 9001 a případně též systém environmentálního managementu (EMS) dle ISO 14001. Společnost se tak chce přiřadit k těm firmám, které dbají o kvalitu svých služeb a zásady ochrany životního prostředí nejen u sebe sama, nýbrž i u svých obchodních partnerů. Tímto krokem očekává zlepšení vnitřních procesů a získání nových možností při dodávkách svých služeb.

6.2 Definice problému

Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.1, tak těžiště zájmu většiny manažerů je zaměřeno zejména na dosahování příznivých ekonomických výsledků. Na této orientaci se v podstatě nic nemění (zejména u podnikatelských subjektů), pouze se rozšiřují přístupy, jak těchto výsledků dosáhnout a které faktory je třeba v manažerské práci respektovat.

6.2.1 Problematika kvality

Existuje řada důvodů, proč by se podnikatelské, ale i další organizace měly zajímat o kvalitu své produkce. Na prvním místě to asi bude konkurence. Za situace, kdy na trhu je převaha nabídky nad poptávkou, se mnozí producenti (výrobci) snaží získat pro svou produkci konkurenční výhodu. Ta nejprve byla spatřována v nižší spotřební ceně, později, a výrazně k tomu přispěli Japonci, se konkurenční výhodou stala právě kvalita produkce. Ještě později se přidal faktor času, tzn. pružné reagování na požadavky zákazníků. V současnosti se ukazuje, že nestačí zaměřit se na jeden z výše uvedených

konkurenčních atributů, ale že je nutné usilovat o co nejlepší nabídku všech těchto atributů (cena, kvalita a čas).

Kvalitní produkce není jen předpokladem prodejnosti výrobků, kvalita, resp. nekvalita v podobě vadné produkce může mít i nezanedbatelné dopady na hospodárnost výroby. Ztráty z vadné produkce mohou představovat často trvalé položky v rozsahu i několika procent.

Zásady managementu kvality

Úspěšné vedení a úspěšná funkce organizace vyžaduje, aby byla směřována a řízena systematickým a jasným způsobem. Úspěch může být výsledkem uplatnění a udržování takového systému managementu kvality (QMS), jehož cílem je neustálé zvyšování výkonnosti organizace, a to na základě vlastních potřeb i na základě znalosti potřeb zainteresovaných stran.

6.2.2 Problematika životního prostředí

Péče o životní prostředí stála donedávna v pozadí zájmu většiny firem. Těžiště zájmu vedoucích pracovníků o životní prostředí spočívalo v dodržování požadavků vyplývajících z platné legislativy. Systémový přístup se uplatňuje až od druhé poloviny devadesátých let a to v souvislosti s přijetím norem ISO řady 14001.

Organizace, které svými produkty šetří životní prostředí, mají v současnosti příležitost získat konkurenční výhodu, zvláště pak, mají-li zaveden systém environmentálního managementu (EMS). Organizace zavedením systému získá možnost spojovat ekonomické a environmentální zájmy a tím zajistit příslušné zdroje tam, kde přinášejí největší užitek jednak z finančního hlediska tak i z hlediska ochrany životního prostředí. Možno očekávat, že zavedení systému EMS se do budoucna stane nutností. Zřejmě ho budou vyžadovat obchodní partneři od svých dodavatelů.

6.3 Zavádění ISO norem (kvantitativní metody výběru)

Společnosti musí hledat nové možnosti jak být více konkurenceschopné. Jednou z cest, kterou se mohou vydat, je zavedení systému managementu kvality podle norem ISO

9001 nebo zavedením systému environmentálního managementu podle norem ISO 14001. Na internetu, ve sdělovacích prostředcích či odborné literatuře se můžeme dočíst, že je nutné se starat o kvalitu produkce či o ekologické aspekty výroby. Z tohoto důvodu lze očekávat, že tyto systémy se do budoucna stanou samozřejmostí, proto bychom mohli o zavedení ISO norem uvažovat už nyní.

Tabulka 9.1 uvedená v příloze znázorňuje, jak byly definovány v (FLÉGL, 2007) stavy okolností, které mohou nastat na trhu (či ve společnosti celkově). Následně byly zvoleny naše strategie, kterými bychom mohli reagovat. Buď nebudeme reagovat a nezavedeme žádnou ISO normu nebo zavedeme QMS a nebo naší poslední strategie bude cíl zavést QMS a EMS dohromady.

Jak bylo z rozhodovací situace zřejmé, nejednalo se o rozhodování za jistoty. Společnost nemůže říci, jaký stav okolností určitě nastane. Kdybychom takovou informaci znali, naše rozhodování by vždy znamenalo největší výplaty (zisky). Na druhé straně se nejednalo ani o rozhodování za úplné nejistoty, kde bychom neměli žádnou představu o tom, který stav okolností nastane v době realizace vybraného rozhodnutí.

Proto jsme situaci, jestli zavést nebo nezavést normu ISO, považovali za rozhodování za rizika. Máme totiž k dispozici více či méně věrohodné zprávy o tom, jak se situace bude vyvíjet. Z těchto zpráv můžeme vyvodit přibližné pravděpodobnosti budoucí realizace jednotlivých stavů okolností.

Tolik zmíněno, jak se postupovalo při rozhodování o zavedení ISO norem v minulé práci (FLÉGL, 2007). Nyní se odkloníme od staré práce a ukážeme, jak postupovat, pokud bude rozhodování na bázi fuzzy stavech okolností, pravděpodobnostních informacích atd.

Na začátku bylo zmíněno, že fuzzy množiny jsou definovány na universu výroků, tj. celkové množině všech možných proměnných, které mohou obsahovat naše stavy okolností. Universum, S , je rozděleno na pět svých podmnožin, $S = (s_1, s_2, s_3, s_4, s_5)$, kde

- s_1 = slabá preference okolí (trhu) po ISO normách

- s_2 = nižší preference, trh se začíná přiklánět k ISO 9001
- s_3 = střední preference, trh vyžaduje ISO 9001
- s_4 = vyšší preference, trh vyžaduje ISO 9001 a přiklání se k ISO 14001
- s_5 = silná preference trhu na ISO 9001 a ISO 14001

Jako dalším bodem je definování stavů okolností, které si myslíme, že mohou nastat při rozhodování, tj.

- \tilde{F}_1 = trh neorientovaný na ISO normy
- \tilde{F}_2 = trh orientovaný pouze na ISO 9001
- \tilde{F}_3 = trh orientovaný pouze na ISO 14001
- \tilde{F}_4 = trh orientovaný současně na ISO 9001 a ISO 14001

Logicky následujícím krokem je definování našich strategií (alternativ), které jsou stejné jako v minulé práci, tj.

- \tilde{A}_1 = nic nezavést
- \tilde{A}_2 = zavést pouze ISO 9001
- \tilde{A}_3 = zavést ISO 9001 a ISO 14001

V kapitole 4 bylo popsáno, že pro zpřesnění rozhodování (snížení rizika) je možné, v určitých případech, získat dodatečné informace. My budeme dodatečných informací také využívat. V našem případě se universum $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ týká počtu společností, které mají certifikované systémy ISO. Uvažujeme tedy následující nespojitě hodnoty

- $x_1 = 100$
- $x_2 = 250$
- $x_3 = 400$
- $x_4 = 550$
- $x_5 = 700$

Na základě tohoto rozdělení, můžeme nyní definovat lingvistickou fuzzy informaci, \tilde{M} , definovanou na universu X , která popisuje množství společností mající certifikované systémy ISO 9001 nebo ISO 14001

- \tilde{M}_1 = malý počet společností (< 400 společností)
- \tilde{M}_2 = průměrný počet společností (okolo 400 společností)
- \tilde{M}_3 = velký počet společností (> 400 společností)

Další krokem je definování pravděpodobností jednotlivých stavů okolností universa. V současné době zákazníci (trh) příliš nevyžadují certifikáty ISO, tj. jejich orientace na certifikované systémy je středně-slabá. Proto se vyšší pravděpodobností budou nacházet ve stavech s_2 a s_3 . Pravděpodobnosti tedy jsou

- $p(s_1) = 0,1$
- $p(s_2) = 0,3$
- $p(s_3) = 0,4$
- $p(s_4) = 0,1$
- $p(s_5) = 0,1$

Nyní na základě výše zmíněných stavech okolností a našich strategiích, sestavíme matici obsahující hodnoty užiteků jednotlivých alternativ, podle daného stavu okolností. Při ohodnocování výplatní matice, se vychází ze stejných údajů, které byly při rozhodování za rizika.

V současné době má v České republice certifikát ISO přibližně 12,54 % firem²⁶. V oblasti Informačních technologií je toto procento vyšší. Můžeme očekávat, že od 2006 se toto číslo zvýšilo, ale relevantní údaje jsou těžko k získání (nejsou k dispozici statistické výkazy a ani se nevede ucelená databáze certifikovaných společností). Přesný počet společností působících na trhu IT se nedá přesně určit, ale v této práci budeme pracovat s hodnotou 830. Certifikovaný systém QMS má cca 250 společností²⁷, takže přibližně 30 % (tento údaj reflektuje universum dodatečné informace, které se pohybuje v rozmezí 0 až cca 700 společností a lingvistická fuzzy informace bere hranici certifikovaných společností okolo 400 společností).

²⁶ GOLA, Petr. Maďaři vsadili na ISO. Lobby. 2006, č. 10, s. 1.

²⁷ Přehled rozdělení vydaných systémových certifikátů ISO 9001 podle průmyslových odvětví vydaný v měsíčníku Svět jakosti 3/2005.

Bez dalších podkladů předpokládáme (z důvodu jednoduchosti a rozsahu práce), že obrat v tomto sektoru se pohyboval okolo 500 mil. korun. Naše společnost má 25% podíl na trhu. Na základě těchto údajů je výplatní matice vyplněna následovně

	\tilde{F}_1	\tilde{F}_2	\tilde{F}_3	\tilde{F}_4
\tilde{A}_1	125	115	115	100
\tilde{A}_2	131	140	138	135
\tilde{A}_3	120	130	140	150

Tab. 6.1: Výplatní matice

Vyplňování matice bylo odvozeno od podílu společnosti na trhu, tj. obrat činí 125 mil. korun ($\tilde{A}_1 - \tilde{F}_1$) a očekávaných plateb při různých stavech okolností a našich volených strategií. Např. pokud se rozhodneme zavést ISO 9001 (\tilde{A}_2) a trh bude orientovaný na ISO 9001 (\tilde{F}_2), porostou společnosti zisky (užitek) na 140 mil. korun ($\tilde{A}_2 - \tilde{F}_2$) atd. Nejvyšší očekávaný užitek bude dosažen, pokud společnosti zvolí alternativu zavedení ISO 9001 a ISO 14001 (\tilde{A}_3) a trh bude silně orientovaný na tyto certifikáty (\tilde{F}_4).

Z výplatní matice můžeme vidět, že varianta \tilde{A}_2 dominuje variantu \tilde{A}_1 podle výplat²⁸. Pokud ale porovnáme všechny alternativy dohromady, tak jsou vzájemně nedominované. Do výše očekávaného růstu zisku (obratu) jsou také promítnuty náklady na pořízení ISO certifikátů²⁹. Bereme v úvahu, že zavedení současně normy ISO 9001 a ISO 14001 je pro společnost nákladná a složitá záležitost (ale levnější než zavádět každé zvlášť). Východiskem proto může být zavedení pouze systému QMS a do budoucna se připravovat na zavedení systému environmentálního managementu EMS. Uvedená tabulka 9.2 v příloze znázorňuje ohodnocenou výplatní matici použitou při

²⁸ Varianta dominuje podle výplat, když poskytuje všechny výplaty lepší nebo stejně dobré jako alternativa dominovaná a aby nejhorší výplata dominující alternativy byla lepší nebo stejná jako nejlepší výplata alternativy dominované.

²⁹ Do nákladů zahrnujeme zavedení systému od konzultační společnosti, platbu za provedení auditu auditorskou společností. Nesmíme opomenout ani péči o zavedené systémy, mezi kterou patří kontrolní audit certifikační společnosti a interní audity.

rozhodování za rizika v (FLÉGL, 2007). Matice byla doplněna o vektor rizika (rozložení pravděpodobností jednotlivých stavů okolností) a nejvyšší očekávané hodnoty výplaty (EMV).

Dalším krokem je definování hodnot příslušnosti pro každý ortogonální fuzzy stav okolností. Tabulka 6.2 znázorňuje podmínky přechodu mezi jednotlivými stavy na jednotlivých množinách na universu S .

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
\tilde{F}_1	1	0,6	0	0	0
\tilde{F}_2	0	0,4	0,7	0	0
\tilde{F}_3	0	0	0,2	0,4	0
\tilde{F}_4	0	0	0,1	0,6	1

Tab. 6.2: Hodnoty příslušnosti pro ortogonální fuzzy stavy

Následuje definování hodnot příslušnosti pro jednotlivé fuzzy lingvistické proměnné \tilde{M} .

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
\tilde{M}_1	1	0,4	0	0	0
\tilde{M}_2	0	0,6	1	0,6	0
\tilde{M}_3	0	0	0	0,4	1

Tab. 6.3: Hodnoty příslušnosti pro lingvistické proměnné

Posledním bodem je definování podmíněných pravděpodobností pro nejistou (nepřesnou) informaci.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
$p(x_k s_1)$	0,44	0,35	0,17	0,04	0,00
$p(x_k s_2)$	0,26	0,32	0,26	0,13	0,03
$p(x_k s_3)$	0,12	0,23	0,30	0,23	0,12
$p(x_k s_4)$	0,03	0,13	0,26	0,32	0,26
$p(x_k s_5)$	0,00	0,04	0,17	0,35	0,44

Tab. 6.4: Podmíněné pravděpodobnosti pro nejistou informaci

6.3.1 Očekávaná hodnota užitku

Nyní přistoupíme k samotným výpočtům hodnoty užitku a to pomocí několika kroků, ve kterých budeme brát v potaz, zda máme k dispozici dodatečné informace (jejich kvalitu) a zda stavy okolností jsou fuzzy nebo ne. Všechna potřebná data jsme si definovali výše a vzorce potřebné k výpočtům jsme definovali v kapitole 4 „Rozhodovací modely s fuzzy ohodnocením“.

Ostré stavy okolností bez využití dodatečných informací

První výpočty, které budou provedeny, se týkají situace, kdy stavy okolností nejsou fuzzy. Protože naše výplatní matice (tab. 6.1) obsahuje fuzzy stavy okolností, je nutné převést tyto stavy na ostré. Tabulka 6.5 obsahuje ostré stavy okolností, které jsou definované na universu $S = (s_1, s_2, s_3, s_4, s_5)$, které již bylo definováno výše. Při převodu byla zohledněna nejvyšší a nejnižší výplata pro každou alternativu a přechod mezi stavy byl rozvržen rovnoměrně.

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5
\tilde{A}_1	125	120	115	110	100
\tilde{A}_2	131	140	136	137	135
\tilde{A}_3	120	126	132	144	150

Tab. 6.5: Výplatní matice pro ostré stavy okolností

Očekávaný užitek je vypočítán pomocí vzorce (4.2) a nejlepší užitek je následně vybrán pomocí vzorce (4.3). Jak můžeme vidět v tabulce 6.6, nejvyšší užitek dostaneme z alternativy \tilde{A}_2 . Tento dosažený užitek bereme jako výchozí užitek, se kterým budeme porovnávat budoucí výsledky dosažené při použití dodatečné informace.

$E(u_1)$	115,5
$E(u_2)$	136,7
$E(u_3)$	132

Tab. 6.6: Očekávaný užitek pro ostré stavy okolností

Ostré stavy okolností s využitím dodatečné informace

Dalším krokem je vypočítání nejvyššího užitku za použití dodatečné informace. Stále se nacházíme v situaci, kdy stavy okolností jsou ostré. Dodatečná informace, tj. informace zpřesňující rozhodování, je založena na neurčitosti.

Prvním krokem je vypočítání marginálních pravděpodobností $p(x_k)$ pomocí vzorce (4.5). Dále je nutné vypočítat podmíněčné pravděpodobnosti pro dodatečnou nejistou informaci za použití vzorce (4.4). Pokud máme vypočítány podmíněčné pravděpodobnosti, můžeme přejít k výpočtu podmíněčných očekávaných užiteků pro jednotlivé alternativy (4.6) a následně optimální (nejvyšší) užitek pro jednotlivé informace z universa $X = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ podle vzorce (4.7). Výsledky jsou obsaženy v tabulce 6.7.

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
$p(x_k)$	0,173	0,240	0,258	0,202	0,127
$p(s_1 x_k)$	0,254	0,146	0,066	0,020	0,000
$p(s_2 x_k)$	0,451	0,400	0,302	0,193	0,071
$p(s_3 x_k)$	0,277	0,383	0,465	0,455	0,378
$p(s_4 x_k)$	0,017	0,054	0,101	0,158	0,205
$p(s_5 x_k)$	0,0	0,017	0,066	0,173	0,346
$E(u^* x_k)$	136,54	136,90	136,91	136,65	140,26
$a_j a_k$	\tilde{A}_2	\tilde{A}_2	\tilde{A}_2	\tilde{A}_2	\tilde{A}_3

Tab. 6.7: Marginální pravděpodobnosti, následné pravděpodobnosti a maximální užitek daný nejistou informací

Na závěr spočítáme celkový nepodmíněný očekávaný užitek pro nejistou informaci za použití (4.8) a hodnotu informace (4.9). Z výsledku je patrné, že dodatečná nejistá informace přinesla zlepšení o 0,524 mil. korun v obratu oproti dosaženému výsledku v tabulce 6.6.

$E(u_{x_p}^*)$	137,224
$V(x_p)$	0,524

Tab. 6.8: Očekávaný užitek a hodnota informace za použití nejisté informace

Fuzzy stavy okolností bez využití dodatečné informace

Nyní se dostáváme do situace, kdy se ostré stavy okolností použité v předchozích výpočtech mění na fuzzy (neostré) stavy. Pro začátek opět budeme uvažovat, že nemáme k dispozici dodatečné informace pro zpřesnění našeho rozhodování. Dostáváme se tedy do situace, která plně odpovídá maticí výplat (tab. 6.1). Prvním

krokem je vypočítání původních pravděpodobností pro fuzzy stavy za použití vzorce (4.20).

$p(\tilde{F}_1)$	0,28
$p(\tilde{F}_2)$	0,4
$p(\tilde{F}_3)$	0,12
$p(\tilde{F}_4)$	0,2

Tab. 6.9: Pravděpodobnosti fuzzy stavů

Očekávaná hodnota užítku je následně vypočtena pomocí vzorce (4.19) a nejlepší užitek je následně vybrán pomocí vzorce (4.21). Nejlepší dosažený výsledek $E(u_2)$ v tabulce 6.10 odpovídá alternativě \tilde{A}_2 . Dostáváme tedy stejný výsledek jako u výpočtu při ostrých stavech okolností s tím rozdílem, že aktuální výsledek je nepatrně horší.

$E(u_1)$	114,8
$E(u_2)$	136,24
$E(u_3)$	132,4

Tab. 6.10: Očekávaný užitek pro fuzzy stavy okolností

Fuzzy stavy okolností při využití dodatečné informace

Logicky následuje krok, kdy při fuzzy stavech okolností budeme využívat dodatečné informace. Tato informace bude založena na neurčitosti, tj. není ostrá. Cílem je opět vypočítat, zda nám dodatečná informace zpřesní (zvýší) očekávaný užitek.

Prvním krokem je vypočtení následných (dodatečných) pravděpodobností pro dodatečnou informaci při fuzzy stavech. Tyto pravděpodobnosti jsou vypočteny vzorcem (4.22a). Očekávaný užitek pro jednotlivou informaci x_k je vypočten pomocí vzorce (4.23a). Hodnoty jsou shrnuty v tabulce 6.12.

	\tilde{F}_1	\tilde{F}_2	\tilde{F}_3	\tilde{F}_4
x_1	0,525	0,375	0,062	0,038
x_2	0,386	0,428	0,098	0,088
x_3	0,247	0,447	0,133	0,173
x_4	0,136	0,396	0,154	0,314
x_5	0,043	0,293	0,157	0,507

Tab. 6.11: Následné pravděpodobnosti pro dodatečnou informaci při fuzzy stavech

	\tilde{A}_1	\tilde{A}_2	\tilde{A}_3
x_1	119,676	134,961	126,139
x_2	117,546	135,893	128,875
x_3	114,880	136,643	132,318
x_4	111,649	136,901	136,465
x_5	107,819	136,767	141,291

Tab. 6.12: Očekávané hodnoty užítku pro fuzzy alternativy s neurčitou informací

Optimální očekávaný užitek je nalezen pomocí vzorce (4.24a) a v tabulce 6.12 je zvýrazněn tučně. Na závěr, očekávaný užitek je vypočten za pomoci vzorce (4.25a). Společně s hodnotou dodatečné informace je uveden v tabulce 6.13.

$E(u_{\Phi}^*)$	136,8146
$V(x)$	0,1146

Tab. 6.13: Očekávaný užitek a hodnota informace za použití nejisté informace

Posledním krokem je výpočet očekávaného užitku v situaci, kdy využijeme fuzzy informaci o počtu společností mající certifikovaný systém ISO 9001 nebo ISO 14001. Nejprve je nutné vypočítat upravené (následné) pravděpodobnosti pro fuzzy stavy okolností. K tomuto výpočtu použijeme vzorec (4.22b). Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.14.

	\tilde{M}_1	\tilde{M}_2	\tilde{M}_3
\tilde{F}_1	0,475	0,260	0,079
\tilde{F}_2	0,394	0,430	0,333
\tilde{F}_3	0,075	0,129	0,156
\tilde{F}_4	0,056	0,182	0,432

Tab. 6.14: Upravené pravděpodobnosti pro fuzzy informaci a fuzzy stavy

Následně můžeme vypočítat očekávané užitky pro jednotlivé alternativy při použití fuzzy lingvistické proměnné. Pomocí vzorce (4.23b) dostáváme hodnoty uvedené v tabulce 6.15. Optimální očekávaný užitek dostáváme za pomoci vzorce (4.24b), který je v tabulce vyznačen tučně.

	\tilde{M}_1	\tilde{M}_2	\tilde{M}_3
\tilde{A}_1	118,916	114,865	109,308
\tilde{A}_2	135,294	136,497	136,819
\tilde{A}_3	127,115	132,331	139,415

Tab. 6.15: Očekávané užitky za použití fuzzy informace

Nyní potřebujeme vypočítat marginální pravděpodobnosti pro jednotlivé fuzzy lingvistické proměnné. Použitím vzorce (4.10) dostáváme

$p(\tilde{M}_1)$	0,269
$p(\tilde{M}_2)$	0,523
$p(\tilde{M}_3)$	0,208

Tab. 6.16: Marginální pravděpodobnosti pro fuzzy lingvistickou proměnnou

Na závěr nepodmíněný očekávaný užitek s použitím fuzzy lingvistické proměnné získáme z (4.25b) a hodnotu fuzzy informace (4.26).

$E(u_\Phi^*)$	136,779
$V(\Phi)$	0,539

Tab. 6.17: Očekávaný užitek při použití fuzzy informace a hodnota této informace

Propočítali jsme několik možných variant, jak vypočítat očekávaný užitek při rozhodování zda zavést či nezavést ISO normu do společnosti. Uvažovali jsme varianty, kdy stavy okolností byly ostrého (přesného) charakteru a varianty, kdy stavy okolností byly fuzzy (neurčité). K tomu jsme ještě uvažovali použití dodatečné informace (pravděpodobnostní a fuzzy), které nám měly zpřesnit naše rozhodnutí.

Z dosažených výsledků je zřejmé, že nejvyšších výplat (užitků) bylo dosaženo při zvolení alternativy \tilde{A}_2 , tj. zavedení ISO 9001. Je to z toho důvodu, že pravděpodobnostní rozložení stavů okolností v současnosti spíše inklinuje k středně-slabé preferenci po certifikaci ISO. Pokud by v budoucnu byl trend posilující, tj. trh a zákazníci budou vyžadovat ISO certifikaci, je zřejmé, že nejvýhodnější bude alternativa \tilde{A}_3 , tj. zavést ISO 9001 a ISO 14001.

Dále z výsledků můžeme vyčíst, že použitím dodatečných informací nám zlepšily (zvýšily) očekávaný užitek. Při fuzzy stavech okolností nám fuzzy informace zvýšila náš obrat o 0,539 mil korun a neurčitá informace o 0,146 mil. korun. Při ostrých stavech okolností nám dodatečná nejistá informace přinesla vyšší obrat o 0,524 mil. korun.

6.3.2 Očekávaná hodnota výplaty do budoucna

Ještě bychom chtěli ukázat, jak se přibližně bude vyvíjet aktuální problematika do budoucna.

Až 40 % manažerů uvádí³⁰, že se jim za poslední 3 roky (od držení certifikátu) zvýšil počet zakázek (zákazníků) a tím i obrat. Tržní přednost „držitelství“ certifikátu systému managementu kvality je poměrně dost silně ze strany malých a středních podniků identifikována (PETŘÍKOVÁ, 2005). Jak je již uvedeno, motivem zavedení systému bývá dost často zákazník. Ale z druhé strany firmy uvádějí, že předložení důkazu o splnění požadavků standardů kvality ovlivnilo 40 % zákazníků při rozhodování o dodavateli. Z uvedeného vyplývá, že zájem společností o zavádění systémů QMS a EMS poroste. Až 43 % manažerů uvádí, že do 1 – 2 let uvažují o certifikaci systému managementu kvality (ŠNAJDR, 2006).

Pokud bychom vzali v úvahu všechny tyto informace, je jasné, že pravděpodobnostní rozložení stavů okolností se změní. Jedna z možných úprav je následující (stavy okolností odpovídají definovaným stavům výše):

- $p(s_1) = 0,05$
- $p(s_2) = 0,1$
- $p(s_3) = 0,3$
- $p(s_4) = 0,4$
- $p(s_5) = 0,15$

Tato změna by významně ovlivnila i výsledné očekávané užítky, kde do popředí by více vystoupila alternativa \tilde{A}_3 , tj. zavést ISO 9001 a ISO 14001.

³⁰ Výstup z projektu podpory jakosti č. 01/24/2006: Vyhodnocení efektivnosti certifikovaných systémů u malých a středních podniků a u jejich odběratelů po 3 letech od vydání certifikátu.

7 Závěr

Cílem rozhodovacích modelů je získat přesné výsledky nebo lépe řečeno dodat přesné podklady pro naše rozhodování. Získat potřebný aparát, který nám toto rozhodování ulehčí, zpřesní a umožní získávat např. přesné odhady budoucího vývoje na trhu znamenající konkurenční výhodu.

Na začátku této práce byla zmíněna současná situace, která panuje na dnešních trzích. Trhy kladou velké nároky na poskytování kvalitních produktů a služeb a ten, kdo těmto požadavkům není schopen vyhovět, nezbyvá, než se smířit se snížením svého postavení na trhu, tj. se snížením svých zisků. Jak zmiňuje Sedláček (SEDLÁČEK, 2009), průmyslová výroba musí pomalu rezignovat na snahu oslovit jedním výrobkem co největší masu zákazníků. Je nutné zajímat se o potřeby individuálních lidí a ne o jejich potřeby. Myslím, že tato slova mluví za vše. Hlavním směrem současnosti je zaměření na poskytovanou kvalitu služeb a výrobků.

Směrem k dosažení požadované kvality je přijetí systému kvality. Jedním z nejprůkaznějších kritérií, jak se na trhu prezentovat kvalitní produkcí, je certifikovaný systém kvality podle normy ISO 9001. Tato norma specifikuje požadavky, kterými se společnost musí řídit. Obsahuje pravidla, kterými je potřeba se držet při zavádění, udržování a v neposlední řadě i prověřování (certifikace)

Dalším nástrojem, jak získat konkurenční výhodu a posílit svoji pozici na trhu, je přihlášení se k principům ochrany životního prostředí. Nemáme tím na mysli hlásání do světa nic neříkajících environmentálních prohlášení, které nebudou založeny na jasně strukturovaných principech. Jedině komplexně implementovaný systém ochrany přírody, lépe řečeno environmentální odpovědnosti, může být prospěšný. Jako u deklarování systému kvality, i zde je možnost přistoupit k zavedení ISO normy. Systém environmentálního managementu podle normy ISO 14001 je transparentním důkazem pro naše okolí, že životní prostředí nám není lhostejné.

Cílem této práce bylo sestavení odpovídajícího rozhodovacího modelu, který měl pomoci nalézt odpověď, jak zmíněné ISO normy do podniku zavést a splnit tak rostoucí,

nebojím se říci nekompromisní, požadavky trhu. V současné době, kdy jsme byli svědkem hospodářské krize, je důležité umět pružně reagovat. Je ale třeba říci, že finanční prostředky společnosti nejsou bezedné. Proto je důležité nalézt takové řešení, které bude optimální v dané situaci a hlavně dosažitelné. Hlavním problémem se ale jeví neurčitost, se kterou se setkáváme při snahách o sestavení odpovídajících modelů.

Byli jsme růstem světového hospodářství v minulých letech tak fascinováni, že jsme zcela zapomněli, jak je ekonomie bezradná v dobách krize. Modely přestávají fungovat. Možností je se od těchto modelů oprostít a čerpat z historických zkušeností (SEDLÁČEK, 2009). Je to ale správný přístup v době, kdy trhy prochází neustálým nikdy nekončícím vývojem? Vývoj je tak rychlý, že se dá říci, že to, co platilo dnes, je zítra nedostačující! Ze všech těchto faktů vyplývá, že je potřeba modely doplnit o intuici, tj. o náhodné složky založených na našich zkušenostech, které nejlépe mohou popsat možnosti, stavy nebo budoucí vývoj.

Dvacátému století dominoval determinismus, tedy přesvědčení, že vývoj trhů je dán jeho současnými a předchozími stavy. Pro determinismus je obtížné vyrovnat se s nahodilostmi (náhodnostmi), spíše si tyto jevy vysvětlujeme neznalostí příčin těchto jevů. Současná krize vnáší do systému prvky nestability, nejistoty a nepřesného vyjadřování, kterého je v současné post-krizové době možná až příliš. Myslím si, že jedno slovo tento stav popisuje přesně. Fuzzy. Tedy slovo těžko přeložitelné, označující neurčitost, vágnost, nebo nepřesnost atd., ale pro těžko popsatelnou současnou situaci velmi užitečné.

Naštěstí ale existují metody, které umožňují s fuzzy počítat a tím i zahrnout naše nepřesné vyjadřování, které ale na druhou stranu přesně vyjadřuje okolnosti. V této práci byla důkladněji probrána Bayesova rozhodovací metoda hodící se pro rozhodování o zavedení ISO norem ve fuzzy prostředí. Tato metoda umožňuje pracovat s nejistými informacemi o budoucím vývoji.

Po nashromáždění dostupných informací týkající se problematiky kvality a environmentu, stavech okolností, stavu trhu, nalezení variant vhodných pro naši společnost a ohodnocení všech možných situacích, byl vypočítán očekávaný užitek.

Užitek, který nám jednotlivé alternativy mohou do budoucna přinést. Protože současná situace na trhu, dána i možnostmi, má spíše sklon k slabší orientaci na ISO přístupy, bylo nejlepší variantou zvoleno zavedení přístupu managementu kvality podle normy ISO 9001. Zde se již nebudeme vracet k důvodům této volby, prostor byl poskytnut v předchozích kapitolách. Tato alternativa by měla společnosti na měnících se trzích zajistit nejlepší očekávaný užitek v nejbližší budoucnosti.

Bylo zmíněno rychlé tempo změn okolo nás, proto by sestavený model neměl být fixovaný pouze pro tento jediný okamžik. Musí umožňovat zahrnutí změn (směrů), kterými se současná situace může dále pohybovat. Tímto potencionálním směrem může být posunutí orientaci více na certifikované systémy QMS a EMS. Tím by došlo k posunutí (změně) nejlepší varianty zavedení ISO 9001 na zavedení ISO 9001 a ISO 14001 současně.

Na úplný závěr lze tedy říci, že znalost metod rozhodování za neurčitosti (nejistoty) nám otevírá nové možnosti k provádění klíčových rozhodnutí (analýz). Tato práce byla limitována svojí velikostí. Problematika fuzzy logiky, fuzzy množin a fuzzy rozhodovacích modelů je velmi obsáhlá a nebylo v možnostech této práce všechno obsáhnout. Vidím zde tedy velké možnosti pro její případné rozšíření. Obsažení fuzzy aritmetiky, která v této práci nebyla rozpracována, dává s metodami fuzzifikace a defuzzifikace velké možnosti k lepšímu popsání neurčitých vyjádřeních.

8 Seznam literatury

- BROŽOVÁ**, Helena. Rozhodovací modely. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, 2005. 54 s. ISBN 80-213-1390-0.
- Copenhagen Accord**. Kodaň : United Nations, 2009. 43 s. Dostupné z WWW: <<http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>>.
- DOSTÁL**, Petr; **RAIS**, Karel; **SOJKA**, Zdeněk. *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, 2005. 168 s. ISBN 80-247-1338-1.
- DRIANKOV**, Dimiter, **HELLENDOORN**, Hans, **REINFRANK**, Michael. *An introduction to Fuzzy Control*. 2nd rev. edition. Mnichov : Springer, 1996. 316 s. ISBN 3-540-60691-2.
- FLÉGL**, Martin. *Modely pro tvorbu optimálních rozhodnutí*. Praha, 2007. 45 s. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- FOTR**, Jiří, **DĚDINA**, Jiří, **HRŮZOVÁ**, Helena. Manažerské rozhodování. 3. přeprac. vyd. Praha : EKOPRESS, 2003. 250 s. ISBN 80-86119-69-6.
- JURA**, Pavel. *Základy fuzzy logiky pro řízení a modelování*. první. Brno : VUTIUM, 2003. 132 s. ISBN 80-214-2261-0.
- NAVARA**, Mirko; **OLŠÁK**, Petr. *Základy fuzzy množin*. druhé přepracované. Praha : ČVUT, 2007. 150 s. ISBN 978-80-01-03668-6.
- PETŘÍKOVÁ**, Růžena, et al. *Nové aspekty v řízení MSP s cílem zvýšení efektivnosti podnikových procesů*. 1. vyd. Praha : Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2005. 146 s. ISBN 80-02-01766-8.
- PŘÍBEK**, Jiří. *Systémy managementu jakosti*. 2004. vyd. Praha : Národní informační středisko podpory jakosti, 2004. 62 s.
- ROSS**, Timothy J. *Fuzzy logic with engineering applications*. 2nd edition. Chichester : Wiley, 2004. 628 s. ISBN 0-470-86075-8.

- SEDLÁČEK, Tomáš.** *Ekonomie dobra a zla : Po stopách lidského tázání od Gilgameše po finanční krizi.* 1. vydání. Praha : 65.pole, 2009. 272 s. ISBN 978-80-903944-3-8.
- Státní politika životního prostředí České republiky (2004 - 2010). (SPŽP)** Praha : Ministerstvo životního prostředí, 2004. 56 s. ISBN 80-7212-283-5.
- Strategie Národní politiky kvality v České republice na období let 2008 až 2013. (SNPK)** Praha : Národní politika kvality, 2008. 12 s. Dostupné z WWW: <http://www.npj.cz/soubory/dokumenty/strategie_doc.pdf>.
- ŠEBESTOVÁ, M. a kol.** *Certifikace pracovníků, výrobků systémů managementu jakosti.* Praha : ČSJ, 2004. 118 s. ISBN 80-02-01685-8.
- ŠNAJDR, Ivo, et al.** *Efektivnost certifikovaných systémů.* 1. vyd. Praha : Národní informační středisko pro podporu jakosti, 2006. 138 s. ISBN 80-02-01862-1.
- VANÍČEK, Jiří, et al.** *Teoretické základy informatiky.* 1. vyd. Praha : Kernberg Publishing, 2007. 436 s. ISBN 978-80-903962-4-1.
- VEBER, Jaromír, et al.** *Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce : Legislativa, metody, systémy, praxe.* 2. aktualizované. Praha : Management Press, 2010. 359 s. ISBN 978-80-7261-210-9.
- WITTLINGEROVÁ, Zdena, JONÁŠ, František.** *Ochrana životního prostředí.* 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Provozně ekonomická fakulta, 2004. 132 s. ISBN 80-213-0754-4.

9 Přílohy

	Okolí (zákazník) vyžaduje ISO		Okolí (zákazník) nevyžaduje ISO	
	Konkurence nemá ISO 9001	Konkurence má ISO 9001	Konkurence nemá ISO 9001	Konkurence má ISO 9001
Nic nezavést				
Zavést ISO 9001				
Zavést ISO 9001 + 14001				

Tab. 9.1: Původní matice výplat pro rozhodování za rizika

	Okolí (zákazník) vyžaduje ISO		Okolí (zákazník) nevyžaduje ISO		EMV
	Konkurence nemá ISO 9001	Konkurence má ISO 9001	Konkurence nemá ISO 9001	Konkurence má ISO 9001	
Nic nezavést	125	106,25	125	115	121,21
Zavést ISO 9001	142,5	130	131,25	128,125	132,84
Zavést ISO 9001 + 14001	146,25	132,5	131,875	127,5	134,03

Riziko	0,21	0,09	0,49	0,21
--------	-------------	-------------	-------------	-------------

Tab. 9.2: Ohodnocená matice výplat, doplněna o vektor rizika a výsledný užitek