

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Disertační práce**

**Fuzzy vícekriteriální hodnocení v oblasti krizového řízení**

**Ing. Michal Škoda**

© 2022 ČZU v Praze

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval své školitelce prof. RNDr. Heleně Brožové, CSc., za její vedení při zpracování disertační práce. Současně děkuji doc. Ing. Igoru Krejčímu, Ph.D. za zpracování katedrového posudku, na jehož základě bylo možné disertační práci dále zkvalitnit. Děkuji i všem kolegyním a kolegům z katedry systémového inženýrství za podporu a spolupráci v průběhu celého mého doktorského studia.

# Fuzzy vícekriteriální hodnocení v oblasti krizového řízení

## Abstrakt

Rozhodování a krizové řízení jsou pojmy, které se v dnešním světě skloňují čím dál tím častěji. Krizové řízení je velice široká oblast vyžadující integraci znalostí, které se týkají tvorby krizových plánů, hodnocení rizik, krizové komunikace, vztahů s médii, nebo například řízení reputace. Rozhodování v rámci krizového řízení hraje klíčovou roli. Vyžaduje nadhled a zvážení mnoha různých faktorů a omezení. Rozhodování v krizi je charakteristické časovým tlakem, nedostatkem informací a obecně vysokou mírou nejistoty. Oblast rozhodování a krizového řízení je hojně diskutována a nabízí potenciál pro širší vědeckou činnost.

Z těchto důvodů se práce zabývá problematikou rozhodování v krizovém řízení. Konkrétněji se práce zabývá vícekriteriálním hodnocením v podmínkách charakteristických neurčitostí a nedostatkem informací.

V rámci teoretických východisek jsou podrobněji rozebrána témata jako krize, krizové řízení, systémy, systémové myšlení, rozhodování, metody vícekriteriálního hodnocení, nejistota nebo fuzzy množiny.

Vlastní práce poté nabízí originální princip transformace a princip nahrazení fuzzy čísel. Tyto principy jsou následně zakomponovány do vlastního návrhu metody fuzzy vícekriteriálního hodnocení pro oblast krizového řízení. Navržená metoda je poté otestována na třech případových studiích z oblastí hodnocení rizik, hodnocení mimořádných událostí a hodnocení průjezdností tras po zemětřesení.

Další výzkum by se mohl soustředit na práci s nelineárními fuzzy čísly, na výpočetní náročnost modelu nebo například na porovnávání výsledného hodnocení variant dle navržené metody s výsledným hodnocením dle jiných metod.

**Klíčová slova:** krize, krizové řízení, fuzzy, hodnocení, rozhodování, vícekriteriální, rizika, nejistota, škály, kritéria.

# Fuzzy Multi-Criteria Evaluation in Crisis Management

## Abstract

Terms such as decision-making and crisis management are being used quite haphazardly and ever more frequently in today's world. However, crisis management is a rather broad area that requires integration of knowledge related to the development of crisis plans, risk assessment, crisis communication, media relations, reputation management and more. Decision-making plays a key role in crisis management. It requires insight and consideration of many different factors and constraints. Decision-making in a crisis is characterized by time pressure, a lack of information and a generally high degree of uncertainty. The field of decision-making and crisis management is has been widely discussed and presents considerable potential for wider scholarly activity.

The are the main reasons for this work to deal with the issue of decision-making in crisis management. More specifically, the paper deals with multi-criteria evaluation in conditions characterized by uncertainty and lack of information.

Topics such as crisis, crisis management, systems, systems thinking, decision-making, multi-criteria evaluation methods, uncertainty or fuzzy sets are discussed in more detail within the literature review.

The main part of the work offers an original principle of transformation and the principle of replacing fuzzy numbers. These principles are subsequently incorporated into the original design of a fuzzy multi-criteria evaluation method for the area of crisis management. The proposed method is then tested on three case studies from the areas of risk assessment, assessment of emergencies and assessment of route passability after an earthquake.

Further research could focus on working with non-linear fuzzy numbers, on computational complexity of the model or, for example, on comparing the resulting evaluation of variants according to the proposed method with the resulting evaluation according to other methods.

**Keywords:** Crisis, Crisis Management, Fuzzy, Evaluation, Decision Making, Multicriteria, Risks, Uncertainty, Scales, Criteria.

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>10</b>
2.1 Cíl práce .....	10
2.2 Metodika .....	11
<b>3 Teoretická východiska .....</b>	<b>13</b>
3.1 Krize.....	13
3.1.1 Definice krize.....	13
3.1.2 Typy krizí.....	15
Krize osobní.....	15
Krize sociální a společenská .....	16
Krize ekonomického charakteru .....	16
Krize v důsledku živelných pohrom a havárií .....	17
3.1.3 Fáze krize .....	19
3.2 Krizové řízení.....	20
3.2.1 Historický vývoj krizového řízení .....	20
3.2.2 Vymezení krizového řízení .....	21
Proces krizového managementu .....	22
Krizové řízení a řízení rizik .....	25
3.2.3 Etický aspekt krizového managementu .....	29
3.2.4 IZS, bezpečnostní sbory a orgány krizového řízení.....	30
Integrovaný záchranný systém.....	30
Bezpečnostní sbory .....	31
Orgány krizového řízení .....	32
3.2.5 Komunikace v krizovém řízení.....	32
3.3 Systémy, systémové myšlení a systémový přístup .....	34
3.3.1 Definice systému.....	34
3.3.2 Klasifikace systémů .....	34
3.3.3 Systémové myšlení .....	37
Principy systémového myšlení .....	39
Holismus a redukcionismus .....	39
3.3.4 Systémový přístup.....	40
3.4 Rozhodování .....	44

3.4.1	Typy rozhodování .....	45
3.4.2	Organizační a procesní stránka rozhodování .....	47
	Organizační stránka rozhodování .....	48
	Proces rozhodování .....	50
3.4.3	Rozhodování v krizi .....	53
3.4.4	Vícekriteriální rozhodování .....	54
	Vícekriteriální hodnocení variant .....	55
	Metody stanovení vah kritérií .....	58
	Metody vícekriteriálního hodnocení variant .....	59
3.5	Nejistota a fuzzy množiny .....	61
3.5.1	Nejistota .....	61
3.5.2	Historie fuzzy množin .....	64
3.5.3	Klasické množiny .....	64
3.5.4	Fuzzy množiny .....	66
3.5.5	Fuzzy číslo .....	68
3.5.6	Určení funkce příslušnosti .....	71
3.5.7	Aritmetické operace s fuzzy čísly .....	72
3.5.8	Defuzzifikace fuzzy čísel .....	73
3.5.9	Fuzzy lingvistické škály .....	75
	Příklady jazykových fuzzy škál používaných v hodnocení .....	76
3.5.10	Fuzzy vícekriteriální hodnocení .....	78
<b>4</b>	<b>Vlastní práce .....</b>	<b>80</b>
4.1	Princip transformace fuzzy čísel .....	80
4.2	Princip nahrazení fuzzy čísel .....	83
4.3	Návrh metody vícekriteriálního hodnocení .....	84
4.3.1	Konstrukce modelu .....	84
	<i>Krok K0: Výběr variant</i> .....	84
	<i>Krok K1: Výběr hlavních a podpůrných kritérií</i> .....	84
	<i>Krok K2: Výběr lingvistických škál</i> .....	84
	<i>Krok K3: Výběr substitučního fuzzy čísla</i> .....	85
4.3.2	Realizace hodnocení .....	85
	<i>Krok R1: Primární hodnocení varianty</i> .....	85
	<i>Krok R2: Syntéza hodnocení na základě hlavních kritérií</i> .....	85
	<i>Krok R3: Defuzzifikace <b>Sk</b></i> .....	86

<i>Krok R4: Nahrazení fuzzy čísla <b>Ski</b></i> .....	86
<i>Krok R5: Sekundární hodnocení</i> .....	86
<i>Krok R6: Transformace substitučního fuzzy čísla</i> .....	87
<i>Krok R7: Iterace pro podpůrné kritérium</i> .....	87
<i>Krok R8: Defuzzifikace výsledného fuzzy čísla</i> .....	87
<i>Krok R9: Přepočet na škálu</i> .....	87
<i>Krok R10: Iterace pro počet variant</i> .....	88
<i>Krok R11: Řazení variant</i> .....	88
4.4 Aplikace navržené metody ve vybraných oblastech krizového řízení .....	89
4.4.1 Výběr oblastí v rámci procesu krizového řízení .....	89
4.4.2 Volba vhodných fuzzy škál pro případové studie.....	90
4.4.3 Případová studie - Hodnocení rizik u vybrané farmy .....	91
Konstrukce modelu .....	91
Realizace hodnocení .....	95
4.4.4 Případová studie - Hodnocení závažnosti mimořádné události .....	98
Konstrukce modelu .....	99
Realizace hodnocení .....	102
4.4.5 Případová studie - Určení průjezdnosti tras.....	104
Konstrukce modelu .....	104
Realizace hodnocení .....	108
<b>5 Diskuze</b> .....	<b>121</b>
<b>6 Závěr</b> .....	<b>127</b>
<b>7 Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>129</b>
<b>8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk</b> .....	<b>145</b>
8.1 Seznam obrázků .....	145
8.2 Seznam tabulek .....	146

# 1 Úvod

V chaotických, rychle se měnících a nejistých podmínkách, které charakterizují současný svět, se krizové řízení stává ústředním bodem všech aktivit veřejných i soukromých organizací (Farazmand, 2014).

Proces krizového řízení je velice rozmanitý a vyžaduje integraci znalostí z tak různorodých oblastí, jako je rozhodování, vztahy s médii, hodnocení rizik, krizová komunikace, vypracovávání krizových plánů, nebo řízení reputace (Coombs, 2014).

Rozhodování přitom hraje v procesu krizového řízení klíčovou roli, a to nejen proto, že rozhodovatelé jsou v průběhu krize vystaveni enormnímu tlaku. Často musí být schopni mobilizovat dovednosti různého druhu při nedostatku času, zdrojů i informací. Včasnost a kvalita rozhodnutí přitom může stát za tím, zda krizi překonáme, nebo zda jí podlehneme (Sauvagnargues, 2018).

Škála možných krizových situací je přitom takřka neomezená. Od teroristických útoků, přes přírodní katastrofy, až po ekonomické krize. Wenzel, Stanske a Lieberman (2021) mezi nejvýznamnější krizové situace posledních let řadí například útoky z 11. září 2001, ekonomickou a finanční krizi v roce 2008, jadernou havárii ve Fukušimě v roce 2011, migrační krizi v roce 2015, přetrvávající klimatickou krizi, nebo politickou krizi v podobě Brexitu.

Stále více je také skloňováno téma etiky při rozhodování v krizových situacích. Pandemie COVID-19 nám přinesla bezprecedentní zdravotní krizi, která prověřila naši schopnost činit vhodná a etická rozhodnutí v krizové situaci. Tato rozhodnutí přitom nebyla omezena pouze na jednotlivce nebo úzkou skupinu osob, ale měla výrazný vliv na širší populaci (Gulia a Salins, 2020).

Fagel (2013) připomíná, že krizové řízení není pouze o technologiích, ale především o lidech. Různé podpůrné nástroje hrají při řešení krizových situací významnou roli. V oblasti krizového řízení jsou velice populární nástroje pracující s fuzzy množinami. Fuzzy množiny totiž umožňují vyjádřit neurčitost a vágnost, která je pro krizové situace typická (Farazmand, 2014). Příklady různého využití fuzzy množin při rozhodování v oblasti krizového řízení tak nejsou ojedinělé (Li a kol., 2021; Hsieh a kol., 2018; Wu a kol., 2019).



Problematika vícekriteriálního rozhodování v oblasti krizového řízení byla autorem vybrána nejen kvůli potenciálu pro širší vědeckou činnost, ale především pro svou aktuálnost a různorodost možných krizových situací. Vícekriteriální rozhodování a s ním spojené metody mohou najít uplatnění ve všech fázích krizového řízení od fáze prevence, až po fázi obnovy. Dopady kvalitního výzkumu v této oblasti poté mohou nepřímo souviset s ochranou zdraví, životního prostředí, majetku apod.

Klíčová část této práce by měla spočívat především v návrhu metody vícekriteriálního hodnocení variant, která bude podporovat řešení dílčích rozhodovacích problémů, v rámci vybraných situací, z oblasti krizového řízení. S tím souvisí vytvoření popisu vhodných situací z oblasti krizového řízení, volba vhodných hodnotících kritérií souvisejících s danými situacemi, návrh hodnotících škál, konstrukce samotné metody a v neposlední řadě i ověření funkčnosti navržené metody v rámci vybraných situací z oblasti krizového řízení.

Teoretická východiska této práce byla psána v závislosti na cílech práce popsanych v následující kapitole. Základ východisek tvoří informace čerpané z vědeckých článků a odborných knih. Teoretická východiska podrobně rozebírají oblast týkající se krizí a krizového řízení, kde je kladen důraz na definování krize, identifikaci různých typů krizí a vymezení krizového řízení. Současně jsou v práci blíže rozebrány systémy, systémové myšlení a systémový přístup.

Důležitou částí teoretických východisek je oblast rozhodování, v rámci které jsou představeny typy rozhodování, organizační a procesní stránka rozhodování a především problematika vícekriteriálního rozhodování. V neposlední řadě se v rámci teoretických východisek práce zabývá fuzzy množinami, kde jsou podrobněji představena fuzzy čísla, aritmetické operace s nimi a fuzzy lingvistické škály. Obecně by tedy teoretická východiska měla poskytnout čtenáři dostačující podklady pro jednotné porozumění praktické části práce.

Praktická část této práce představuje originální principy transformace fuzzy čísel a nahrazení fuzzy čísel. Tyto principy jsou poté zakomponovány v návrhu nové metody fuzzy vícekriteriálního hodnocení. Celá metoda je poté otestována na třech rozdílných případových studiích. V rámci diskuse je poté mimo jiné diskutována vhodnost modelu pro oblast krizového řízení, praktická aplikovatelnost navržené metody, přesnost výsledků, ztráta informace v důsledku defuzzifikace, interpretace výsledků, volba lingvistických škál a způsob agregace hodnot.

## 2 Cíl práce a metodika

### 2.1 Cíl práce

Disertační práce se zaměřuje na využití metod pro podporu rozhodování v oblasti krizového řízení a shrnuje výsledky odborné činnosti autora v oblasti rozhodování a teorie fuzzy množin.

Hlavním cílem práce je navrhnout vhodnou metodu vícekriteriálního hodnocení pro podporu řešení dílčích rozhodovacích problémů v oblasti krizového řízení, s důrazem na situace charakterizované neurčitostí a nedostatkem informací.

Hlavní cíl práce vyžaduje splnění následujících dílčích cílů:

- Popis situací souvisejících s krizovým řízením.

V rámci tohoto cíle budou analyzovány vhodné oblasti spadající do problematiky krizového řízení, pro které bude vytvořena fuzzy metoda vícekriteriálního hodnocení.

- Volba kritérií vstupujících do rozhodovacího procesu v jednotlivých rozhodovacích problémech.

Výběr vhodných kritérií pro hodnocení různých variant v rámci daných rozhodovacích problémů souvisejících s krizovým řízením.

- Návrh vhodných lingvistických škál.

Výběr vhodných lingvistických škál a fuzzy čísel pro vyjádření neurčitosti a nedostatku informací s ohledem na praktické využití v krizových situacích.

- Formulace metody podporující rozhodování v krizovém řízení.

Konstrukce a specifikace metody vhodné pro předem vybrané oblasti vícekriteriálního hodnocení v krizových situacích s využitím fuzzy množin.

- Návrh vhodného způsobu interpretace.

Identifikace možných způsobů interpretace výsledných hodnot a výběr té nejvhodnější pro potřeby rozhodovacího modelu.

- Ověření funkčnosti navržené metody na případových studiích.

Ověření funkčnosti modelu při vícekritériálním hodnocení v rámci různých situací souvisejících s krizovým řízením.

## **2.2 Metodika**

Metodika této disertační práce se dělí do tří na sebe navazujících kroků, pomocí kterých bude dosaženo stanoveného cíle práce.

### **1. Studium odborné literatury**

Na základě studia odborné literatury bude vypracována literární rešerše, která bude představovat teoretický podklad k problematice krizového řízení. Konkrétně se bude zaměřovat na studium krize, krizových situací a procesu krizového řízení.

Dále se literární rešerše bude zabývat systémovým myšlením a přístupem, rozhodováním a teorií fuzzy množin. V této části budou podrobně rozebrány především systémové atributy, proces rozhodování, fuzzy čísla a metody vícekritériálního hodnocení.

Veškerá výše zmíněná problematika patří do oblastí, které se rychle vyvíjejí, proto je třeba, aby se výzkum neopakoval, ale naopak navazoval na aktuální světovou literaturu. Dále je třeba, aby se v nových výzkumech používaly nejnovější metody a postupy.

Na základě tohoto teoretického podkladu bude postaven výzkum ve vlastní části práce.

### **2. Návrh metody podporující rozhodování v krizovém řízení**

S ohledem na neurčitost a uživatelskou přívětivost bude vytvořena metoda vícekritériálního hodnocení založená na teorii fuzzy množin, vhodná pro použití v oblasti krizového řízení.

Pro účely návrhu fuzzy metody budou ve vztahu ke zjištěným skutečnostem vybrány vhodné oblasti rozhodovacích problémů týkající se krizového řízení. Pro tyto oblasti budou

vybrána vhodná kritéria vstupující do rozhodovacího procesu. Pro tato kritéria budou vybrány vhodné škály a fuzzy čísla tak, aby odpovídala požadavkům daných rozhodovacích problémů a jejich neurčitosti. Jazykové termy přitom musí představovat jazykové hodnoty, které jsou v jazyce obvyklé a mají jasně vymezený význam

Fuzzy lingvistická hodnocení, vyplývající z ohodnocení rozhodovatelů, budou vhodným způsobem agregována pomocí navržených postupů. Získané výsledné ohodnocení poté bude vhodnou metodou interpretováno.

### **3. Testování vytvořené metody**

Navržená metoda bude testována prostřednictvím případových studií v rámci vybraných oblastí krizového řízení. Rozhodovací problémy by se v rámci případových studií měly co nejvíce lišit.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Krize

#### 3.1.1 Definice krize

Pojem krize je ustavičně zkoumán, přesto však neexistuje definice tohoto pojmu, kterou by bylo možné považovat za univerzální (Borodzicz, 2005).

Slovo krize jako takové pochází ze starořeckého slova krino, což v překladu znamená vybírat nebo posuzovat. Z tohoto slova později vzniklo slovo krisis, které by se dalo přeložit jako rozhodnutí nebo nesnáze. Z tohoto slova se poté vyvinulo české slovo krize, anglické slovo crisis, německé slovo krise, či například ruské krizis (Zuzák a Königová, 2009).

O krizi mluvíme, když společenství lidí (např. organizace, město nebo region) pociťuje naléhavé ohrožení základních hodnot nebo život udržující funkce, se kterou je třeba se vypořádat v podmínkách nejistoty (Rosenthal, Boin a Comfort, 2001).

Podobně se na krizi dívají Rosenthal, Charles a Hart (1989), kteří tvrdí, že krize nastává, když jsou vážně ohroženy základní struktury, hodnoty a normy systému, které pod časovým tlakem a vysoce nejistými okolnostmi vyžadují činit zásadní rozhodnutí.

Podle Zuzáka a Königové (2009) by se dnes slovo krize na obecné úrovni dalo definovat jako událost, která přímo ohrožuje existenci subjektu. Autoři ale zdůrazňují, že krizi nemusíme nutně vždy vnímat v jejím negativním významu. Krize může totiž současně představovat i příležitost. Příkladem může být prostředí zdravotní péče, kdy lékaři slovo krize používají, aby popsali stav klienta, kdy dochází k obratu v jeho léčbě. V tomto krizovém stavu může klient směřovat buď k uzdravení, nebo ke smrti.

Dle Rodríguez, Quarantelliho a Dynese (2007) existují tři klíčové složky krize:

- 1) Hrozba – v rámci události dochází k ohrožení základních hodnot, jakými jsou například bezpečnost, blahobyt, zdraví, integrita, základní práva apod. To je i důvod, proč přírodní katastrofa vyvolává hluboký pocit krize. Během nich je totiž obvykle ohroženo více základních hodnot.

2) Nejistota – V krizi je vnímání naléhavé hrozby doprovázeno vysokou mírou nejistoty. Tato nejistota se týká jak povahy, tak potenciálních důsledků hrozby. Celé téma „Nejistota“ je podrobněji rozebráno v kapitole 3.5.1.

3) Naléhavost – krize navozují pocit naléhavosti. Hrozby, které nepředstavují bezprostřední problém (např. změna klimatu, nebo budoucí důchodový deficit), nevyvolávají rozšířený pocit krize.

Borodzicz (2005) upozorňuje na to, že pojem krize úzce souvisí a je také často zaměňovaný s pojmy nouzový stav a katastrofa. Aby autor snížil nejasnost mezi zmíněnými pojmy, vzájemně je vymezil následovně:

- Nouzové stavy lze definovat jako situace vyžadující rychlou a vysoce strukturovanou reakci, kde lze obecně definovat rizika a vhodné a účinné strategie vedoucí k řešení daného stavu. Jinými slovy, nouzový stav představuje ohrožující situaci, na kterou lze reagovat pomocí běžných postupů a opatření. Příkladem může být požár kanceláře, kdy následně dojde k evakuaci budovy a přemístění personálu do předem určených bezpečných prostor.
- Krize, stejně jako nouzové stavy, vyžadují rychlou reakci. Na rozdíl od nouzového stavu je ale v případě krize obtížné definovat rizika a vhodné a účinné strategie vedoucí k řešení situace. Pro krizové situace je typické, že efekt možné reakce je, nebo se v danou chvíli zdá být, nejistý. Jako příklad nouzového stavu byl uveden požár kanceláře, který je zvládnutelný pomocí běžných postupů. Pokud by ale do hry vstoupil komplikující faktor, mohla by se nouzová situace snadno stát krizí. Příkladem takového faktoru může být fakt, že jsou v budově nebezpečné chemikálie, které začnou unikat, nebo že požár založila úmyslně vyšinutá osoba, která vyhrožuje zabitím zaměstnanců nebo záchranářů. Krize mohou být také způsobeny v důsledku katastrof a vyskytnout se dlouho po začátku katastrofy.
- Katastrofa představuje produkt nouzového stavu nebo krize. Katastrofy jsou totiž nevratným a obvykle zdrcujícím výsledkem špatně řešených nouzových stavů a krizí. Důležité je také zdůraznit, že katastrofy, na rozdíl od nouzových stavů či krizí, nemají následky. Účinky jsou to, co nazýváme katastrofou. Reakce na katastrofu může obvykle zahrnovat řešení řady menších probíhajících nouzových situací a krizí.

### 3.1.2 Typy krizí

Přístupů ke kategorizaci krizí je několik. Tomandl a kol. (2020) například dělí krize na:

- krize vyvolané zásahem vyšší moci,
- krize z nedbalosti,
- krize jako důsledek morálního selhání,
- krize jako důsledek útoku zvenčí,
- produktová krize,
- paragrafová krize,
- Strukturální krize,
- krize vyvolaná fámou,
- krize plynoucí ze spotřebitelské nespokojenosti,
- krize z neřešených sporů.

V této práci si ale podrobněji rozebereme rozdělení krizí dle Zuzáka a Königové (2009), kteří krize rozdělují na:

- krize osobní,
- krize sociální a společenské,
- krize ekonomického charakteru,
- krize v důsledku živelných pohrom a havárií.

#### Krize osobní

Osobní krizi může každý jedinec chápat různým způsobem. Tento typ krize může vyvolat nepříznivý vývoj událostí v životě jednotlivce, které přímo působí na jeho psychický stav. Může se jednat o události v důsledku například rozvodu, ztráty blízké osoby, zdravotních problémů či ztráty zaměstnání. Osobní krize může být ale i zdrojem energie a katalyzátorem pro kreativitu (Zuzák a Königová, 2009).

Koppmann, Cantillano a Alessandri (2021) uvádějí, že živé bytosti jsou biologicky navrženy tak, aby dokázaly čelit měnícímu se světu. V našem těle probíhají změny na denní bázi, které mají za cíl řešit nepředvídatelné události. Tento adaptační proces vytváří dynamiku napětí známou jako stres. Pokud je podnět působící změnu danou osobou vnímán

jako traumatický, může to vést ke vzniku náladových, vyhubých, úzkostných a dalších symptomů schopných způsobit významné poškození po různou dobu.

Autoři ve své práci podrobněji rozebírají zdravotníky, kteří se dostali do osobní krize během epidemie infekčního onemocnění COVID-19. V této globální krizové situaci nebylo vždy možné plnit standardy péče kvůli nedostatku zdrojů, často i přes dostatek znalostí nebyly respektovány pokyny a zdravotníci obecně měli malou nebo nulovou možnost danou situací změnit.

### Krise sociální a společenská

Obecně platí, že tento druh krize je znám už odedávna. Vzhledem k rostoucí globalizaci se dnes ale krize, která ohrožuje lidskou společnost, může proměnit z problému jednoho regionu nebo státu, na krizi celého kontinentu či světa. Tento druh krize může být následkem vzpour, státních převratů, hospodářských krizí nebo vojenských konfliktů. V tomto případě si jako příklad můžeme představit období přelomu 80. a 90. let 20. století, kdy došlo k politickým změnám na území východní a střední Evropy, které přerostly ve společenskou a sociální krizi. Dalším příkladem by mohla být sociální a společenská krize způsobená konfliktem na Ukrajině, kde je ohrožena svrchovanost a integrita státu, životní prostředí, kultura, životy obyvatel a v neposlední řadě i chod hospodářství (The PLOS Medicine Editors, 2022; Chaaya a kol., 2022; Zuzák a Königová, 2009; Antušák a Vilášek, 2016).

Konflikty nemusí být jenom příčinou sociálních a společenských krizí, ale i jejich důsledkem. Mezi důsledky sociální a společenské krize může patřit například i mezinárodní terorismus nebo nelegální obchod se zbraněmi. Jako opatření a možnost předcházení těmto hrozbám byla Radou Evropské unie přijata Evropská bezpečnostní strategie, ve které se jako hrozby definují terorismus, šíření zbraní hromadného ničení, regionální konflikty, zhroucení státní moci a organizovaný zločin (Zuzák a Königová, 2009).

### Krise ekonomického charakteru

Krise ekonomického charakteru je možné rozdělit na krize makroekonomické a krize mikroekonomické.

Krise makroekonomické se týkají celých společností. Tento druh krize byl ve středu zájmu ekonomů již v 19. století. Pro stoupající nezaměstnanost, snižování mezd a krach



malých podniků, tehdy ekonomové viděli příčinu v nerovnováze mezi výrobou a spotřebou. Krizí se podle současné konjunkturální teorie označuje přechod národní ekonomiky z fáze recese do fáze deprese, která je spojená s propady akciových trhů, poklesem ekonomické aktivity a růstem nezaměstnanosti. Ve zmíněné fázi deprese se už lze bavit o krizi (Zuzák a Königová, 2009).

Krise mikroekonomické se týkají jednotlivých subjektů, které v tomto případě představují především podniky a domácnosti. Mikroekonomické krize stejně jako makroekonomické krize mají na podniky a domácnosti obecně velice negativní vliv. Podniky se dostávají do finančních problémů, které často řeší masivním propouštěním zaměstnanců, a to může vést až k jejich zániku. Nejvíce ohroženými sektory v tomto případě bývají zpravidla ty, které nejsou nezbytně nutné pro uspokojení základních lidských potřeb, tzn. výroba automobilů, služby, textilní průmysl apod. (Zuzák a Königová, 2009).

Ilustračním příkladem může být celosvětová ekonomická krize, která propukla v roce 2008 a souvisela s rostoucí realitní bublinou, s obrovskými spekulacemi investorů a s bankrotem Lehman Brothers. Tato krize je ukázkou systematického selhání způsobeného člověkem. Aby vlády překonaly krizi, provedly daňové úpravy, zavedly finanční regulace a realizovaly masivní ekonomické dotace (Frankel a Saravelos, 2012).

### Krise v důsledku živelných pohrom a havárií

K živelným pohromám dochází působením přírodních vlivů. Jedná se zejména o povodně, požáry, zemětřesení, sesuvy půdy nebo sopečné erupce. Havárie naopak zapříčiní lidský faktor, nebo selhání technického a technologického zařízení. Vhodným řešením, jak se na krize způsobené havárií nebo živelnou pohromou připravit, je kvalitní a včasné vypracování krizových plánů (Zuzák a Königová, 2009).

Kippenberger (1999) dodává, že na rozdíl od jiných forem krizí, jsou živelné pohromy částečně předvídatelné, a to dává manažerům určitou výhodu. Autor také uvádí, že za živelné pohromy nenesou manažeři odpovědnost. Odpovědní jsou pouze za zvládnutí dané krize způsobené živelnou pohromou. To se ale nedá říci o havárii. Havárie jsou totiž výsledkem lidského selhání (za které lze přiřadit vinu). Vznik krize v důsledku havárie se také obecně setkává s výrazně menším pochopením u veřejnosti.

Krise v důsledku havárií a katastrof lze demonstrovat na reálných událostech historie, které se staly typickými příklady pro tento typ krize a plní funkci odstrašujícího

příkladu. Negativní následky některých fatálních havárií se dostaly do podvědomí lidského myšlení a zapsaly se do dějin.

Například havárie v jaderné elektrárně Černobyl na Ukrajině. Havárie spočívala v rozsáhlém úniku radiace do ovzduší. Bylo to způsobeno selháním lidského faktoru a další řadou okolností, přičemž došlo ke dvěma výbuchům. Výbuchy způsobily rozšíření radioaktivního paliva a hořícího grafitu do okolí. Výbuch usmrtil 31 osob a v oblasti Ukrajiny a Běloruska byly touto havárií odhadem zasaženy 3 miliony lidí. Zasaženo bylo takové množství osob z důvodu neinformovanosti obyvatelstva. Maximální hodnota stupnice, na které se hodnotí havárie jaderných elektráren, je číslo sedm. A právě tímto číslem byla označena havárie v Černobyli (Zuzák a Königová, 2009).

Další významnou havárií si v roce 1982 prošla společnost Johnson & Johnson. Havárie se týkala jejich nejprodávanějšího produktu ve Spojených státech, kterým byla analgetika Tylenol. Po požití Tylenolu zemřelo v důsledku havárie 7 osob, a to na otravu smrtelně jedovatým kyanidem. Po vyšetřování tohoto případu se následně zjistilo, že se nejednalo o kontaminaci výrobku přímo při výrobě, ale k manipulaci došlo až později. Dospělo se k názoru, že kapsle byly vyňaty z původního obalu a naplněny jedovatou látkou, jelikož byly značně poničeny a deformovány v důsledku manipulace. Vadné balení léku bylo zakoupeno v různých prodejnách, tím pádem byla společnost Johnson & Johnson nucena ke stažení Tylenolu z trhu a přerušení jeho výroby. Po zveřejnění informací o situaci se navíc rozmohla panika a nemocnice byly zahlceny pacienty s podezřením na otravu (Zuzák a Königová, 2009).

Aktuálním příkladem živelné pohromy, je propuknutí globální pandemie virové choroby COVID-19, která se rozšířila po celém světě a zasáhla téměř všechny země a území. Ohnisko bylo poprvé identifikováno v prosinci 2019 v čínském Wu-chanu. Strategie veřejné péče zahrnovaly mytí rukou, nošení roušek, fyzické distancování a vyhýbání se masovým shromážděním. Součástí opatření byla i strategie izolace (uzamčení v domově), jako nutná akce vedoucí ke zploštění křivky a kontrole přenosu nemoci (Ciotti a kol., 2020).

Pokhrel a Chhetri (2021) dodávají, že pandemie COVID-19 významně ovlivnila nejen farmaceutický průmysl, obchod a pohyb obyvatelstva, ale například i vzdělávací systém.

### 3.1.3 Fáze krize

Dle Umlaufové a Pfeifera (1995) existují čtyři fáze krize:

- fáze symptomů,
- akutní fáze,
- chronické stádium,
- vyřešení krize.

Ve fázi symptomů, jak už název napovídá, dochází k prvním projevům nestability mezi subjektem a jeho okolím. Tato fáze je charakteristická tím, že i když jsou jednotlivé symptomy krize patrné, souvislost mezi těmito symptomy však ještě obvykle patrná není. Symptomy krize také v této fázi nepůsobí naléhavě a většinou nevyžadují nadstandardní zásah (Pfeifera, 1995).

Akutní fáze nastává v okamžiku, kdy se nesoulad subjektu s jeho okolím prohloubí tak, že je již zcela zřejmý. V této fázi již také dochází k jasným škodám a ohrožení další budoucnosti (Pfeifera, 1995).

Chronické stádium je období, ve kterém subjekt usiluje o znovuzískání rovnováhy. Jedná se tedy o fázi, ve které dochází k reakci na akutní fázi krize. V této fázi se také rozhoduje o budoucím přežití subjektu (může zaniknout nebo opět dosáhnout rovnováhy) (Pfeifera, 1995).

Ve fázi vyřešení krize dochází ke stabilizaci, případně likvidaci subjektu. V této fázi je důležitá dlouhodobá perspektiva znovunabyté rovnováhy a poučení se do budoucna, s cílem předejít budoucím krizím a včas odhalit případné symptomy (Pfeifera, 1995).

Výše uvedené dělení, stejně jako například dělení navržené Bělohlávkem, Šuleřem a Košťanem (2001), se zaměřuje na krizi podniku. O něco univerzálnější a jednodušší variantu dělení nabízí Devlin (2007), který dělí krizi pouze na:

- fázi předkrizovou,
- akutní krizovou fázi,
- post krizovou fázi.

Fáze předkrizová představuje situaci, kdy si je subjekt vědom toho, že se něco děje, případně analyzuje závažnost a potenciál dané situace. V této fázi může prostřednictvím opatření dojít ke zmírnění či vyřešení dané situace (Devlin, 2007).

Akutní krizová fáze nastává v okamžiku, kdy již zasahuje širší okolí a na preventivní opatření je pozdě. V této fázi jsou přijímána opatření zaměřená spíše na kontrolu škod a jejich minimalizaci. Dochází také obvykle k aktivaci (případně sestavení) krizového týmu. V post krizové fázi se subjekt snaží o obnovu a zpětné získání ztrát (Devlin, 2007).

## **3.2 Krizové řízení**

### **3.2.1 Historický vývoj krizového řízení**

Historie pojmu „krizové řízení“ sahá do období studené války. Na vzniku tohoto termínu se podílel tehdejší prezident Spojených států amerických John Fitzgerald Kennedy skrze skupinu pracovníků, která byla nazývána Crisis Management. Měla za úkol analyzovat rizika a předcházet událostem, které by mohly vést ke konfliktu se SSSR (potažmo konfliktu mezi západem a východem). Termín Crisis management byl následně přijat Severoatlantickou aliancí a využíván po celé období studené války (Antušák a Vilášek, 2016).

Mezi události, které poté formovaly a určovaly vývoj krizového řízení, můžeme zařadit Washingtonskou smlouvu, na jímž základě došlo k odstranění amerických i sovětských raket středního doletu, které byly v té době rozmístěny po Evropě. Klíčovým, z pohledu formování krizového řízení, byl také bruselský summit Severoatlantické aliance, konající se roku 1989, na kterém došlo mimo jiné k předložení návrhu na omezení zbrojení (Antušák a Vilášek, 2016).

Události jako pád berlínské zdi, „sametová“ revoluce, reforma politického systému zemí střední a východní Evropy a ukončení Varšavské smlouvy v roce 1991, měly na oblast krizového řízení rovněž značný dopad (Antušák a Vilášek, 2016).

Další událost, která znamenala zlom ve vývoji krizového řízení byly útoky z 11. září 2001. Po těchto útocích došla Spojeným státům trpělivost a společně s dalšími demokratickými státy vyhlásily válku terorismu a radikálně navýšily opatření spojená s ochranou obyvatelstva (Antušák a Vilášek, 2016).

V současné době v oblasti krizového řízení panuje neustále se měnící prostředí do velké míry způsobené novými technologiemi a globalizací. Proces manažerské práce se komplikuje řadou nových hrozeb a krizových jevů. Vojenské hrozby dnes už nepředstavují to největší ohrožení, jak tomu bylo dříve zvykem. Dnes svět čelí asymetrickým a těžko předvídatelným krizím všeho druhu. Navíc se ukazuje, že moderní společnost vykazuje menší ochotu řešit bezpečnost na úkor panujících životních standardů. V současnosti se také čím dál tím víc skloňuje potřeba rozšířit obecnou manažerskou gramotnost o prvek krizové gramotnosti (Antušák a Vilášek, 2016).

Významný dopad na současný vývoj krizového řízení má epidemie nákazy COVID-19, která výrazným způsobem zasáhla celý svět a její dopady například v oblasti zdravotnictví, vzdělávání a obchodu byly drtivé. Pro krizové řízení jednotlivých zemí byly typické kompromisy mezi ekonomickou a zdravotní situací. Země také často kladly důraz na hledání příkladů toho, co se „osvědčilo“ někde jinde. Výjimku z tohoto pohledu tvořil například Nový Zéland, který kladl zdraví obyvatelstva na první místo. V rámci opatření vycházel z nejaktuálnějších vědeckých poznatků a nepolevil v ostražitosti ani v situacích, kdy nákaza ustoupila. Jistou výhodou mu samozřejmě poskytla i jeho geografická poloha (Husted a Sinkovics, 2021).

### **3.2.2 Vymezení krizového řízení**

Krizové řízení patří do skupiny prediktivního projektového managementu. Tedy do oblasti managementu, která se zaměřuje na aktivní předcházení problémům, zvládání krizí a řízení rizik (Antušák a Vilášek, 2016).

Krizové řízení je, stejně jako pojem krize, těžké univerzálně definovat. Jednu z možných definic nabízí například Antušák (2009), který vychází z obecné definice managementu a říká, že krizové řízení představuje ucelený soubor přístupů, názorů, zkušeností, opatření a doporučení, které krizový manažeři či jiní pracovníci užívají ke zvládání specifických aktivit při:

- minimalizaci příčin krizových situací,
- přípravě na činnosti v krizových situacích,
- bránění eskalaci a vzniku krizových situací,
- odstranění následků působení negativních faktorů krizové situace.

Zuzák a Königová (2009) rozdělují pojem krizové řízení na krizové řízení v užším smyslu a krizové řízení v širším smyslu.

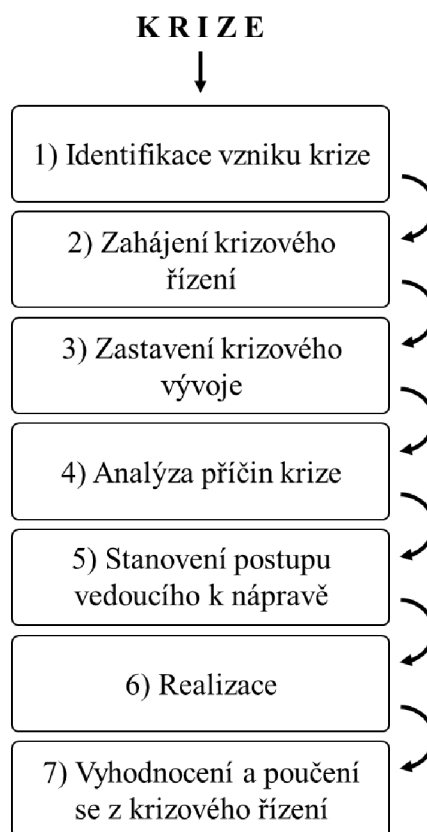
Krizové řízení v užším smyslu se dle autorů zabývá krizí, až když byla identifikována (již nastala) a má pouze reaktivní charakter. Oproti tomu krizové řízení v širším smyslu začíná výrazně dříve, má preventivní charakter a je v podstatě permanentním procesem. Zahrnuje vytváření systému pro identifikaci krize, preventivní opatření vedoucí k omezení vzniku krize, vytváření systému pro zmírnění dopadu krize apod.

Duchu krizového řízení, v širším slova smyslu odpovídá i definice krizového řízení dle zákona č. 240/2000 Sb.: „*krizové řízení je souhrn řídicích činností orgánů krizového řízení zaměřených na analýzu a vyhodnocení bezpečnostních rizik a plánování, organizování, realizaci a kontrolu činností prováděných v souvislosti s přípravou na krizové situace a jejich řešením nebo ochranou kritické infrastruktury*“.

#### Proces krizového managementu

Proces krizového managementu je kontinuální, nikdy nekončící proces. Jak ukazuje historie i zkušenosti, svět bez hrozeb zkrátka neexistuje (Antušák a Vilášek, 2016).

Zuzák a Königová (2009) tvrdí, že proces krizového řízení v užším smyslu, zpravidla postupuje podle obecného algoritmu znázorněného na následujícím obrázku 1.



Obrázek 1 Postup při krizovém řízení v užším smyslu  
Zdroj: Zuzák a Königová (2009)

Podle Antušáka a Viláška (2016) se celý proces krizového managementu dá shrnout do pěti základních funkcí. Konkrétně se jedná o funkce znázorněné na obrázku 2.



Obrázek 2 Proces krizového managementu  
Zdroj: vlastní zpracování

Funkce prevence, jak název napovídá, spočívá v preventivních aktivitách spojených především s realizací činností cílících na zabránění eskalace hrozeb do krizových situací a omezení působení případných škod způsobených potenciální krizovou situací (Antušák a Vilášek, 2016).

Funkce korekce spočívá v přijímání ekonomických, sociálních, právních a jiných norem, s cílem vytvořit podmínky pro minimalizaci zdrojů krizových situací a podpořit připravenost k řešení potenciálních krizových situací (Antušák a Vilášek, 2016).

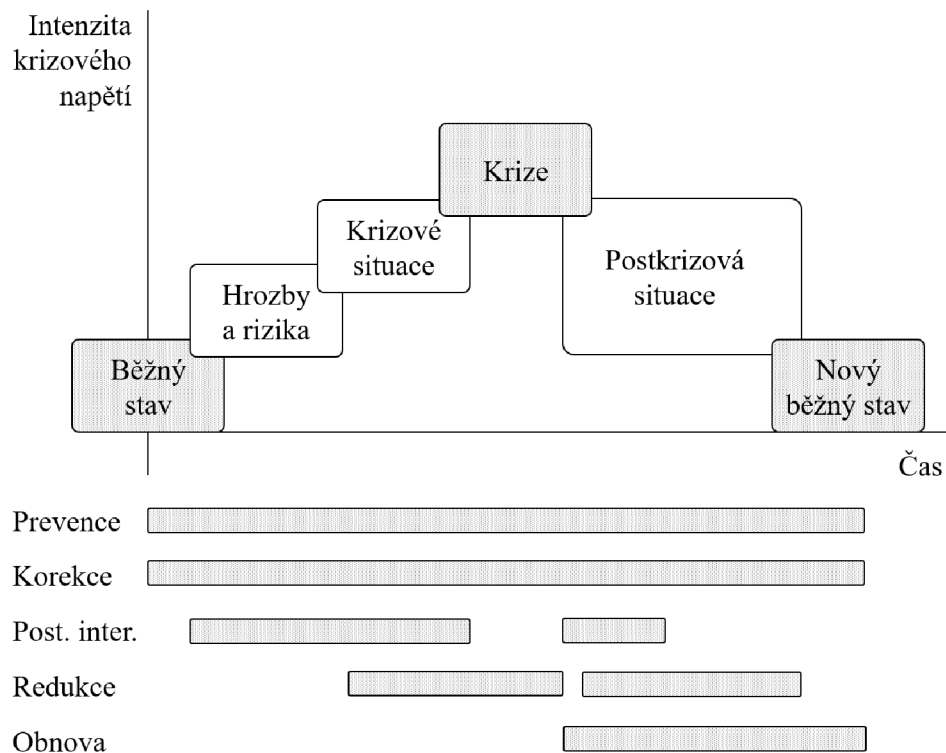
Funkce protikrizová intervence vstupuje do procesu v době nárůstu eskalace hrozeb a v post-krizovém období. Konkrétně spočívá v proaktivních opatřeních, které mají vést k zabránění vzniku krizové situace, případně eskalaci vzniklé krizové situace a k postupnému návratu do běžného stavu tak, aby bylo minimalizováno působení škodlivých krizových faktorů (Antušák a Vilášek, 2016).

Funkce redukce spočívá v aktivní realizaci krizových plánů, v realizaci záchranných opatření, ve využívání složek integrovaného záchranného systému a dalších aktivitách spojených s krizovým obdobím (Antušák a Vilášek, 2016).

Funkce obnova spočívá především v likvidaci škod a dalších následků spojených s působením krize. Tato funkce má také za úkol zabránit vzniku sekundárních krizových situací a převedení subjektu zpět do běžného stavu (Antušák a Vilášek, 2016).

Jak je zřejmé, jednotlivé výše popsané funkce se v rámci procesu krizového řízení vzájemně prolínají a nelze je vnímat jako navazující sub-procesy. Procesy spojené s funkcemi prevence a korekce jsou realizovány neustále, tedy v celém kontinuu krizového prostředí. Proces spojený s funkcí protikrizové intervence je realizován v době eskalace hrozeb a v post-krizovém období (dokud není úroveň rizika přijatelná). Proces, který plní funkci redukce, se primárně uplatňuje v průběhu krize a v post-krizovém období. Proces spojený s funkcí obnovy probíhá v období po zvládnutí dané krize (Antušák a Vilášek, 2016).





Obrázek 3 Proces krizového managementu v kontrastu s probíhající krizí  
Zdroj: Antušák a Vilášek (2016)

### Krizové řízení a řízení rizik

Jak obecně potvrzují například Drennan, McConnell a Stark (2015), Zuzák, Horská a Moulis (1999) nebo Wilhite, Knutson a Smith (2000) proces krizového managementu v širším pohledu lze rozdělit na dvě části, konkrétně na část řešící řízení krizí a část řešící řízení rizik.

Jak už napovídá předchozí text, pod pojmem řízení krizí se skrývá vyšší fáze krizového řízení, která představuje soubor ucelených praktických opatření v propojeném systému, kde na jedné straně stojí fyzické osoby, právnické osoby nebo orgány veřejné správy a na druhé straně jsou složky integrovaného záchranného systému, havarijní služby apod. Všechny zúčastněné strany přitom mají za cíl především dostat pod kontrolu krizovou situaci, redukovat rozsah škod a minimalizovat dobu trvání krize (Antušák a Vilášek, 2016).

Řízení rizik proti tomu představuje kontinuální a složitou záležitost, která má za cíl usměrňovat vývoj rizik a minimalizovat potenciální ztráty plynoucí z existujících nebo i potenciálních rizik (přesněji z hrozeb, které v rámci rizik působí). V rámci řízení rizik probíhají systematické a cílené aktivity zaměřené na identifikaci, analýzu, hodnocení a ošetřování rizik (Antušák a Vilášek, 2016).

Proces řízení rizik je možné dělit různými způsoby, jak uvádějí Srinivase a Hessami (2019), Rodrigues-da-Silva a Crispim (2014) nebo Bahamid a Doh (2017). Obecně ale celý proces obsahuje tři hlavní kroky (Antušák a Vilášek, 2016):

1. Identifikace rizik – tento krok v procesu řízení rizik je obvykle neformální a provádí se různými způsoby v závislosti na organizaci a projektovém týmu. Identifikace rizik se opírá především o minulé zkušenosti a studium podobných subjektů a situací. V rámci identifikace rizik se často používají nástroje jako brainstorming, SWOT analýza, Delfská metoda, diagram příčin a následků apod.
2. Hodnocení (analýza) rizik – druhý krok spočívá ve shromažďování dat o identifikovaných rizicích a jejich hodnocení, které může mít kvalitativní nebo kvantitativní charakter (případně kombinaci obojího). V rámci hodnocení rizik záleží na možnostech a datech, které hodnotitelé mají v daném okamžiku k dispozici. Výsledkem sběru podkladových dat jsou často odhady či předpoklady odborníků. Někdy je možné vycházet z dlouhodobě pečlivě sbíraných záznamů incidentů. K hodnocení míry rizika u jednotlivých rizik lze použít například součtovou matici rizik, kterou ve své práci představuje Smejkal a Raise (2013) (viz obrázek 4).

Dopad	5	6	7	8	9	10
	4	5	6	7	8	9
	3	4	5	6	7	8
	2	3	4	5	6	7
	1	2	3	4	5	6
		1	2	3	4	5
		Pravděpodobnost				

Obrázek 4 Součtová matice rizik

Zdroj: vlastní zpracování

V rámci součtové matice rizik jsou definovány hodnoty pro pravděpodobnosti výskytu rizika (viz tabulka 1).

Pravděpodobnost výskytu		
Stupeň	% za rok	Slovní vyjádření
1	<0; 5>	prakticky nepravděpodobné
2	<5; 20>	málo pravděpodobné
3	<20; 50>	příležitostné
4	<50; 70>	pravděpodobné až časté
5	<70; 100>	velmi časté

Tabulka 1 Pravděpodobnost výskytu rizika  
Zdroj: vlastní zpracování

Dopad je ohodnocen rovněž na stupnici 1-5. Jednotlivé hodnoty tedy vyjadřují příslušnost do dané oblasti, nikoliv hodnotu nebo kvalitu veličiny.

Míra rizika je poté získána součtem ohodnocení pravděpodobnosti výskytu a míry dopadu na subjekt. Přičemž míra rizika je již výstupem rizikové analýzy, na jejímž základě jsou stanovena relevantní bezpečnostní opatření.

Obecně lze říci, že míra rizika od 2 do 4 znamená, že dané riziko je možné akceptovat (stále by mělo být zaznamenáno, ale nemusí být přijata žádná opatření). Ostatní rizika vyžadují přijetí adekvátních opatření. Rizika s mírou 8 až 10 ukazují na kritickou oblast, kde je potřeba jednat bezodkladně (vypracovat krizové plány, akční plány eliminace apod.).

- Ošetření rizik – v rámci tohoto kroku dochází k přijímání nezbytných opatření a strategií. Přístupů vedoucích ke zmírnění či odstranění rizika, může být několik (viz tabulka 2).

Přístup	Popis
Vyhnutí se riziku	Vyhýbání se riziku zahrnuje takovou změnu, která povede k úplné eliminaci hrozby.
Transfer rizika	Transfer rizika spočívá v přesunu části nebo všech negativních dopadů hrozby na třetí stranu. Typicky se zde jedná o převedení rizika na pojišťovnu.
Snížení rizika	Snížení rizika spočívá ve snížení pravděpodobnosti či dopadu rizikové události tak, aby se pohybovala v přijatelných mezích.
Akceptování rizika	Akceptace rizika spočívá v přijetí rizika a nerealizování žádných akcí s cílem zmírnit nebo odstranit dané riziko.

Tabulka 2 Přehled základních přístupů ke zmírnění či odstranění rizika  
Zdroj: vlastní zpracování

Každý subjekt má určitou přijatelnou úroveň rizika (úroveň ohrožení rodiny, podniku, životního prostředí apod.), kterou je ochotný akceptovat. Tato úroveň se také někdy nazývá risk appetite nebo riziková tolerance a vymezuje hranici mezi preventivními a zásahovými opatřeními (potažmo mezi běžnými a krizovými opatřeními) (Srinivas a Hessami, 2019). Power (2009) ale dodává, že vyjadřování naší „chuti riskovat“ prostřednictvím rizikové tolerance není vhodné a často je to jádrem finančních krizí.

Obecně je klíčovou hodnotou aktivního a integrovaného řízení rizik to, že umožňuje osobám s rozhodovací pravomocí vidět celkový obraz všech rizik, kterým je subjekt vystaven, a také efektivněji vyhodnocovat korelace mezi určitými typy rizik (Mikulić a kol., 2018). Existuje totiž velké množství druhů rizik. Kromě asi nejvíce skloňovaných ekonomických rizik existují například bezpečnostní rizika, politická a teritoriální rizika nebo rizika právní (Smejkal a Raise, 2013).

V rámci dělení krizového řízení na řízení krizí a řízení rizik lze do těchto oblastí rozdělit i výše zmíněných pět funkcí, z kterých se skládá celý proces krizového řízení. Do procesu řízení rizik by spadaly funkce prevence a korekce. Funkce protikrizové intervence by se pohybovala na pomezí řízení rizik a řízení krizí. Funkce redukce a obnovy by pak již čistě spadaly pod oblast řízení krizí (viz obrázek 5). Řízení rizik má za cíl minimalizovat nebo zcela eliminovat možnost vzniku krize. Řízení krizí má za cíl minimalizovat dobu trvání krize a redukovat rozsah škod (Antušák a Vilášek, 2016).



Obrázek 5 Rozdělení pěti funkcí krizového řízení mezi řízení rizik a řízení krizí  
Zdroj: Antušák a Vilášek (2016)

### 3.2.3 Etický aspekt krizového managementu

Krize, ať už způsobená vnitřně (například kvůli skandálům, selhání techniky) nebo vnějšími událostmi (například přírodní katastrofou či politickým rozhodnutím), vyvolávají soubor chování, které má sebezáchovnou povahu. Ty mohou rozhodnout, zda daný subjekt nápor úspěšně ustojí, či nikoli (Farazmand, 2014).

Obzvláště při absenci jasně formulovaných zásad pro řešení krizových situací reagují jednotlivci svérázným způsobem, který je specifický pro jejich osobní zájmy a priority. Takové reakce mohou být chaotické a vytvářet příležitost pro neetické chování (Farazmand, 2014).

Pochopení neetických přístupů v reakci na krize má kořeny v Maslowově hierarchii lidských potřeb. Na nejnižších úrovních se ti, kteří potřebují bezpečí, jídlo či přístřeší, budou pravděpodobně snažit uspokojit tyto základní potřeby všemi možnými prostředky, včetně těch neetických. Takovéto naléhavé neetické chování je obvykle chápáno a často i přehlíženo jako extrémní chování subjektu podniknuté za zoufalých okolností a nemusí nutně reprezentovat etický rámec daného subjektu. Naproti tomu ale v krizových situacích můžeme pozorovat neetická chování, která využívají například nedostatku dohledu kvůli kritickému narušení infrastruktury. Příkladem v tomto případě může být rabování v New Orleans během hurikánu Katrina. Takové rabování jednotlivců či organizovaných subjektů, kteří chápali chaos způsobený krizí, jako příležitost obohatit se spíše než uspokojit základní potřeby, spadá do kategorie neetického chování, které je široce odsuzováno veřejností a trestáno příslušnými orgány (Farazmand, 2014).

Alpaslan a Mitroff (2021) doplňují, že náš „intuitivní“ mozek je evolučně starší, a proto je rychlejší a silnější než náš mozek, kterým „záměrně uvažujeme“. To v krizových situacích umocňuje sklony k neetickému chování. Autoři také dodávají, že morální rámec pro subjekty účastnící se krize (a obzvláště pro krizové manažery) by měl být založen především na principech spravedlnosti a starostlivosti. Ty zdůrazňují morální nutnost spravedlivého zacházení s ostatními zúčastněnými stranami a nutnost jejich ochrany před škodami (potenciálními i skutečnými), které krize způsobuje.

Odborníci jako Tomandl a kol. (2020) nebo Frandsen a Johansen (2020) skloňují především důležitost dodržování etických standardů v rámci komunikace. Uvádějí, že žijeme v době polopравd, hoaxů a takzvaných fake news, kde fakta jako by hrála menší roli. Přitom komunikování polopравd, mlžení, překrucování nebo přímo lhaní je nejen neetické,

ale pro subjekt i dlouhodobě nevýhodné. Pokud totiž bude subjekt usvědčen ze lži, může si zničit svou pověst na dlouhou dobu a krizi tím prohloubit. V krizové komunikaci je proto nutné respektovat alespoň základní etická pravidla, mezi která patří především transparentnost, poctivost, empatie a pravdivost.

### **3.2.4 IZS, bezpečnostní sbory a orgány krizového řízení**

#### Integrovaný záchranný systém

Integrovaný záchranný systém (IZS) je poměrně nový pojem, který byl zaveden společně se zákonem o integrovaném záchranném systému (Zákon č. 239/2000 Sb.).

Složky integrovaného záchranného systému jsou hlavním činitelem při provádění záchranných a likvidačních prací. Stěžejní je jejich spolupráce při společném zásahu a vzájemná kooperace při záchranných a likvidačních pracích. V České republice se základními složkami integrovaného záchranného systému rozumí (Vymětal, 2009):

- hasičský záchranný sbor,
- zdravotnická záchranná služba,
- policie.

Do ostatních složek integrovaného záchranného systému, které jsou v případě krizové situace schopny pomoci, se řadí (Vymětal, 2009):

- vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil,
- ostatní ozbrojené bezpečnostní sbory,
- orgány ochrany veřejného zdraví,
- ostatní záchranné sbory,
- zařízení civilní ochrany,
- havarijní, pohotovostní, odborné a jiné služby,
- sdružení občanů a neziskové organizace, které lze využít k záchranným a likvidačním pracím.

Integrovaný záchranný systém je nutné chápat celistvě jako koordinovaný postup jeho složek (dvou a více) při záchranných a likvidačních pracích a přípravě na mimořádné události (Vymětal, 2009).

Jak základní, tak i ostatní složky integrovaného záchranného systému jsou připravovány na samostatné i koordinované řešení mimořádných událostí. Všechny mimořádné události je možné z pohledu integrovaného záchranného systému hodnotit těmito měřítky (Vilášek, Fiala a Vondrášek, 2014):

- Jde-li o mimořádnou událost malého rozsahu, řeší ji jednotlivé složky integrovaného záchranného systému (dle příslušných právních norem vymezujících jejich pravomoci).
- Jedná-li se o mimořádnou událost velkého rozsahu, řeší ji dvě a více složek integrovaného záchranného systému (s využitím připravených scénářů a plánů).
- Jedná-li se o mimořádnou událost (krizovou situaci), kterou nelze odvrátit běžnými postupy správních úřadů a působením složek integrovaného záchranného systému, je situace řešena na úrovni orgánů krizového řízení a musí být vyhlášen některý z krizových stavů.

Z toho jasně vyplývá úzká souvislost mezi krizovým řízením a řízením mimořádných událostí (Vilášek, Fiala a Vondrášek, 2014).

### Bezpečnostní sbory

Pokud zmiňujeme pojem integrovaný záchranný sbor, je důležité zmínit i pojem bezpečnostní sbor. Bezpečnostní sbory, jak název napovídá, zajišťují bezpečnost České republiky a jejich občanů a patří sem vybraní členové základních i ostatních složek integrovaného záchranného systému. Konkrétně se jedná o (Vymětal, 2009):

- Policii ČR,
- Hasičský záchranný sbor ČR,
- Celní správa ČR,
- Vězeňská služba ČR,
- Bezpečnostní informační služba,
- Úřad pro zahraniční styky a informace.

Tyto sbory jsou vymezeny zákonem o služebním poměru příslušníků bezpečnostních sborů a další specifika výkonu jejich práce jsou určena další legislativou (Vymětal, 2009).

## Orgány krizového řízení

Jde o orgány veřejné správy stanovené zákonem, jejichž posláním je řešit krizové situace, jak vojenského, tak i nevojenského charakteru, vzniklé na území České republiky. Orgány krizového řízení na území našeho státu jsou (Vymětal, 2009):

- Vláda České republiky,
- Česká národní banka,
- ministerstva,
- orgány krajů, obcí a obcí s rozšířenou působností.

Tyto orgány jsou konkrétně určeny v zákoně o krizovém řízení. Přirozeně se postup v krizovém řízení každého z výše uvedených orgánů bude lišit. Prvky krizového řízení si vytvářejí dle své působnosti, které spočívají v přípravě na řešení nejrůznějších scénářů krizových situací a řešení samotné krizové situace, která již vznikla (Vymětal, 2009).

Tyto krizové orgány dále zřizují koordinační a pracovní orgány. Za tyto orgány jsou považovány pracoviště krizového řízení, dále bezpečnostní rady a krizové štáby (Vymětal, 2009).

### **3.2.5 Komunikace v krizovém řízení**

Komunikace je obecně chápána jako přenos informačních obsahů prostřednictvím komunikačních systémů. Jedná se o jeden z nejdůležitějších principů k řešení jakékoliv situace. Komunikace může být například verbální a neverbální, jednosměrná a dvousměrná, interní nebo externí, interpersonální nebo intrapersonální (Halada, 2015).

Krizová komunikace je z odborného hlediska považována za specifickou formu sociální komunikace a je neopomenutelným pomocníkem v krizovém řízení. Krizová komunikace je součástí přípravy na krizové situace. Tento typ komunikace je charakteristický pro mezilidskou, veřejnou, skupinovou i masovou komunikaci (Antušák a Vilášek, 2016).

Dříve byla krizová komunikace založena pouze na zkušenostech jednotlivých osob. To se však za posledních několik desítek let dramaticky změnilo. Žijeme ve společnosti, která by se dala nazvat krizovou, kde jedna krize střídá druhou. Příkladem mohou být teroristické útoky v roce 2001, vlna tsunami v roce 2004, finanční krize v roce 2008, krize



ve společnosti Toyota v roce 2010, emisní skandál automobilky Volkswagen v roce 2015, skandál s praním špinavých peněz Danske Bank v roce 2019 a samozřejmě současná krize způsobená onemocněním COVID-19. V rámci všech výše zmíněných krizí hraje krizová komunikace klíčovou roli, i proto se z krizové komunikace stala samostatná oblast, která se dnes řídí vlastními standardy, je podrobně zkoumána a studována (Frandsen a Johansen, 2020).

Krizová komunikace má za cíl především připravenost orgánů a prvků krizového řízení prostřednictvím včasného sdělení hodnotných a důvěrných informací. Dále je za dosažení cíle pokládáno zabránění šíření paniky, eliminace nejistoty a negativního vlivu na image daného podniku, orgánu či prvku systému krizového řízení, který by mohl být považován za tvůrce mimořádné události (Antušák a Vilášek, 2016).

Pro úspěšné poskytování důvěryhodných a hodnotných informací je nezbytné mít povědomí o základních pravidlech krizové komunikace. První zásadou, nebo spíše radou je, aby nezůstala žádná kritika bez odpovědi. V případě, že se například do novin dostane kritický článek, dotčená strana má vždy právo reagovat a požadovat o opravení mylných informací u odpovědných novin. Dalšími zásadami je mít připravený scénář krizové komunikace, jeho pravidelná aktualizace a rozdělení rolí, kdy klíčovou osobou je mluvčí. Postupem času však sdělovacím prostředkům nebude stačit vyjádření ze strany mluvčího a budou ho vyžadovat přímo od řešitelů krizové situace. Na řešitelích závisí, jak bude subjekt reagovat v případě, že je terčem kritik, ať už kvůli konkrétní události, či celkové činnosti. Protože od reakce na takovou kritiku se může odvíjet případná krize, je důležité se vyvarovat klasické chybě krizového řízení – a tou je popírání pravdy (Antušák a Vilášek, 2016).

Dále je občas zapotřebí neříkat a nepodnikat kroky, které bychom chtěli udělat hned, ale je důležité je vědomě neodkládat. V případě, že novináři nedostanou k dispozici žádné informace, které tedy k dispozici jsou, ale firma se je pouze rozhodla zatím nesdělovat, často se stává, že se snaží najít cestu k informacím jiným způsobem. Výrazným rysem chování sdělovacích prostředků v období krize je snaha dostat se do organizace pomocí neoficiálních prostředků. V tomto směru hraje zásadní roli internet a sociální sítě dostupné 24 hodin denně (Antušák a Vilášek, 2016).

### 3.3 Systémy, systémové myšlení a systémový přístup

#### 3.3.1 Definice systému

Podle Langeforse a Dahlboma (1995) lze systém definovat jako uspořádanou množinou prvků, mezi nimiž působí vzájemné vazby. Podobnou definici nabízejí Miller (1995), Gigch (1991) nebo Klir (1991), který říká, že:

$$S = (T, R) \quad (1)$$

kde S reprezentuje systém, T reprezentuje množinu prvků v S a R reprezentuje vztahy (případně množinu vztahů) definované na T.

Skyttner (1996) tuto definici ještě rozšířil a tvrdí, že systém je množina interagujících prvků, které vytvářejí integrovaný celek, za účelem plnění nějaké funkce.

Toto rozporuje například Backlund (2000), který říká, že systém nemusí nutně plnit nějakou funkci a jako příklad uvádí planetární systém, který dle našich současných znalostí nevznikl za účelem plnění nějaké funkce.

Ackoff (1981) nabízí další rozšíření uvedené definice o sérii následujících podmínek, které musí být splněny, aby množina prvků mohla být prohlášena za systém.

- 1) Chování každého prvku má vliv na chování celku.
- 2) Chování prvků je vzájemně závislé.
- 3) Prvky systému jsou tak propojeny, že z nich nelze vytvářet nezávislé podskupiny.

Pro potřeby této práce bude však zcela dostačující definice, kterou na základě analýzy literatury a diskusí vytvořili Dori a kol. (2019, s. 2), a kteří říkají, že „*Systém je uspořádání částí nebo prvků, které společně vykazují chování nebo význam, který jednotlivé části nebo prvky nemají*“.

#### 3.3.2 Klasifikace systémů

Checkland (1981) ve své práci dělí systém na:

- přirozené systémy,
- umělé systémy,

- systémy lidských aktivit,
- transcendentální systémy.

Přirozené systémy tvoří základ okolního světa a dělí se na živé a neživé. Typickým příkladem jsou systémy pozorované na biologických a fyzikálních systémech (Checkland, 1981).

Umělé systémy jsou takové systémy, které s předem daným záměrem vytvořil člověk. Mezi tyto systémy patří jak systémy definované na fyzikálních objektech (např. elektrická síť, auto), tak na objektech abstraktních (např. projekt nebo soustava rovnic) (Checkland, 1981).

Systémy lidských aktivit jsou systémy, v nichž jsou rozhodujícími prvky lidé. Tyto systémy mají primární význam pro oblast managementu a tvoří kategorii, ve které se prolínají systémy přirozené a systémy umělé (Checkland, 1981).

Transcendentní systémy jsou většinou pojímány jako metarovina působící na výše uvedené systémy. Jedná se také o systémy, které přesahují hranice přesné definice systému. Lze je ale pozorovat jako kvalitu vztahů mezi prvky přirozených systémů a systémů lidských aktivit (Checkland, 1981).

Způsobů kategorizace systémů je ale mnoho. Například Klir (1969), Kunc (2018), Eisner (2019) a Mildeová (2013) doplňují Checklanda (1981) a rozšiřují uvedenou kategorizaci a s ní související popisy následovně.

1) Dělení systémů z hlediska vztahu systému k okolí na:

- uzavřené,
- otevřené.

Za uzavřený je považován takový systém, který nepřijímá žádné vstupy z okolí a současně ani neposkytuje svému okolí žádné výstupy. Oproti tomu otevřené systémy mají vždy alespoň jeden vstup ze svého okolí nebo alespoň jeden výstup do svého okolí.

2) Dělení systémů z hlediska charakteru na systémy:

- tvrdé,
- měkké.

U tvrdých systémů jde v drtivé většině o umělé technické systémy, které vytvořil člověk, případně jiný technický systém vytvořený člověkem. Tvrdé systémy jsou charakteristické tím, že zpracovávají přesně strukturovaná data a procesy probíhající v těchto systémech lze algoritmizovat. Obecně také platí, že porozumět tvrdým systémům není tak složité, jako porozumět systémům měkkým. Měkké systémy jsou orientovány na systémy lidských činností, jsou z pravidla adaptabilní k měnícím se vlastnostem okolí a jejich prvky a vazby se mění. Měkké systémy se tedy zabývají špatně strukturovatelnými a algoritmizovanými problémy.

3) Dělení systémů z hlediska spojitosti veličin v čase na:

- diskrétní,
- spojitě.

Diskrétní systémy jsou takové systémy, které mají diskrétní skoky (proměnné se mění v jednotlivých bodech v čase). Příkladem diskrétního systému mohou být hlášení na tísňovou linku. Naopak u spojitých systémů se všechny proměnné mění s časem spojitě (stav může být sledován a zaznamenáván nepřetržitě). Příkladem spojitého systému může být monitorování otřesů půdy na seismografu.

4) Dělení systémů z hlediska náhodnosti proměnných v systému:

- deterministické,
- stochastické.

Stochastické systémy jsou ovlivněny náhodnými proměnnými. Chování stochastického systému tedy může mít při stejných výchozích podmínkách více variant. Příkladem stochastického systému může být šíření nákazy v populaci. Naopak, pokud je chování systému předvídatelné v každém detailu, je systém považován za deterministický. Příkladem deterministického systému může být varovný systém před vlnou tsunami.

5) Dělení systémů z hlediska zapojení člověka na:

- přírodní,
- umělé.

Přírodní systémy existují bez aktivního zapojení člověka. Lidé se zde věnují pouze získání hlubšího pochopení těchto systémů. Příkladem může být Koperníkovo uvažování

o sluneční soustavě, Darwinovy práce související s dědičností a evolučním systémem nebo Maxwellovy objevy v oblasti elektromagnetických systémů.

Umělé systémy jsou oproti tomu takové systémy, které vytvořil člověk. Obecně se nejedná pouze o vědecké systémy, ale především o základní systémy každodenního života, jako například dopravní systémy, bankovní systémy, systémy pěstování a distribuce potravin nebo bezpečnostní a varovné systémy.

Další a zároveň poslední pohled na členění systémů uvedený v této práci nabízí Pelánek (2011), který systémy řadí do tří skupin:

- jednoduché,
- neorganizované,
- komplexní.

Jednoduché systémy se obvykle skládají z malého počtu prvků. Dílčí části systému mohou být komplikovanější, ale interakce mezi těmito částmi jsou jednoduché a snadno popsatelné. Příkladem jednoduchého systému může být ve strojírenství kladkostroj, v ekonomii trh v případě monopolu a ve fyzice pohyb tělesa kolem hvězdy (Pelánek, 2011).

Neorganizované systémy jsou charakteristické velkým počtem neuspořádaných částí s jednoduchými vazbami. Interakce mezi těmito částmi mají přitom náhodný charakter. Typickým příkladem neorganizovaných systémů mohou být plyny, které se skládají z velkého množství částí (molekul), u nichž dochází k náhodným interakcím (Pelánek, 2011).

Komplexní systémy mají obvykle velký počet částí, které na rozdíl od neorganizovaných systémů mají složité vazby a jejich interakce nejsou ani úplně jednoduché, ani úplně náhodné. Příkladem komplexních systémů může být imunitní systém, doprava ve městě nebo mraveniště (Pelánek, 2011).

### **3.3.3 Systémové myšlení**

Myšlení je nejvyšší forma psychického procesu, odehrávajícího se v našich mozcích a každý z nás „myslí jinak“, protože každý jedinec má jiné množství a propojení neuronů a synapsí (Janiček a Marek, 2013).

Obecně rozlišujeme velké množství různých typů myšlení. Příkladem může být 6 následujících typů, které se váží na řešení problému (Janíček a Marek, 2013):

- Analyticko-syntetické myšlení – myšlení jedince charakteristické tím, že je schopen dekomponovat zkoumané entity na prvky, na nich řešit problémy a jednotlivé výsledky opět skládat do celků.
- Produktivní myšlení – myšlení jedince spojené s cílem něco vyprodukovat (vyřešit problém).
- Reaktivní myšlení – myšlení jedince spojené s reakcí na nějaký vnější podnět.
- Divergentní myšlení – myšlení jedince charakteristické tím, že připouští víceznačnost řešení (opakem je myšlení konvergentní).
- Komplexní myšlení – myšlení jedince založené na komplexním posuzování všeho relevantního k řešení problému.
- Environmentální myšlení – myšlení jedince charakteristické tím, že bere v úvahu okolí (environment) jedince.
- Kreativní myšlení – myšlení jedince charakteristické nekonvenčností, otevřeností, tvořivostí, vnímavostí, originalitou nebo například improvizací.

Systémové myšlení je v podstatě staré jako lidstvo samo a jeho původ můžeme vystopovat až do dob před starověkými Řeky (Schiere a kol., 2004). Různých definic systémového myšlení je mnoho. Například Haraldsson (2004) říká, že systémové myšlení je mentálním modelováním a vědou o strukturování logiky a kladením relevantních otázek. Jiný pohled nabízejí Janíček a Marek (2013), který říká, že systémové myšlení je specifický způsob myšlení, který respektuje systémový přístup. Zároveň se odrážejí od výše popsaných typů myšlení a říkají, že systémový přístup je průnikem především kreativního, reaktivního, produktivního a analyticko-syntetického myšlení.

Systémové myšlení pohlíží na systém jako na celek a soustředí se na studium vztahů mezi jednotlivými částmi systému. Příkladem ilustrujícím základní myšlenky systémového myšlení, může být takzvané podobenství o slepých mužích a slonovi. V podobenství pět slepých mužů přijde ke slonovi, aby zjistili, jak vypadá. Každý z nich ohmatá jednu část slona a na základě toho si udělá představu o tom, jak slon vypadá (Janíček a Marek, 2013):

- První slepec ohmatl bok slona a říká: „Slon je jako zed“.
- Druhý slepec ohmatl chobot a říká: „Slon je jako had“.

- Třetí slepec ohmatal ocas a řekl: „Slon je jako lano“.
- Čtvrtý slepec ohmatal nohu a řekl: „Slon je jako strom“.
- Pátý slepec ohmatal ucho a řekl: „Slon je jako vějíř“.

Podobenství ilustruje, jak naše individuální vnímání může vést k chybné komunikaci a konfliktům, a jak je důležité vnímat celé celky (Janíček a Marek, 2013).

### Principy systémového myšlení

Dle základních principů systémového myšlení bychom měli (Pelánek, 2011):

- dívat se z nadhledu na celkový obraz,
- postupovat od obecnějšího ke specifitějšímu,
- soustředit se na dynamiku jednotlivých procesů oproti statickému vnímání,
- klást důraz na vztahy, souvislosti a interakce,
- uvědomovat si důležitou roli zpětné vazby,
- uvědomovat si subjektivnost uvažování pozorovatele.

Autor varuje, že při dogmatickém používání systémového přístupu můžeme skončit u planých řečí o složitosti a provázanosti všeho se vším. V rámci systémového myšlení proto hrají klíčovou roli modely, které nám pomohou formulovat a utřídit si myšlenky, vidět zpětné vazby a hledat vztahy (Pelánek, 2011).

### Holismus a redukcionismus

S pojmem „systémové myšlení“ úzce souvisí pojmy holismus a redukcionismus. Holismus je založen na přesvědčení, že celek představuje víc než pouze součet částí. Nemůžeme tedy porozumět systému pouze studiem jeho jednotlivých částí. Oproti tomu redukcionismus rozděluje problémy na jednotlivé části a řeší je odděleně. Dle tohoto přístupu lze tedy porozumět systému jako celku na základě porozumění jeho částem (Pelánek, 2011).

Autor ale dodává, že každý přístup, případně jejich kombinace, je vhodný pro jiný typ řešeného problému. Při pozorování mraveniště je vhodnější zvolit holistický přístup, ale při navrhování domu je vhodný spíše přístup redukcionistický.

### 3.3.4 Systémový přístup

Pod názvem systémový přístup se skrývá jeden z možných přístupů, který může být zvolen k realizaci nejrůznějších činností, typicky takových, které jsou spojeny s analýzami složitých procesů a objektů (Janiček a Marek, 2013).

Habr a Vepřek (1986, s. 14) říkají, že „*Systémový přístup je možné považovat za rozšíření standardní vědecké metodologie. Shrnuje všechny faktory, které mohou danou situaci ovlivnit a umožňuje z nich vybrat ty nejdůležitější*“.

Burý (2007, s. 3) uvádí, že „*Systémový přístup spočívá v tom, že jevy vyskytující se při řešení vzniklých problémů jsou chápány komplexně, se všemi souvislostmi ve svém dynamickém vývoji*“. Podle Janička a Marka (2013, s. 22) je to ale nedostačující popis a definují systémový přístup jako „*Obecné myšlenkové, vysvětlovací a činnostní schéma jedince ve vztahu k různým činnostem a různým entitám*“. Za předchůdce systémového přístupu přitom považují množinové přístupy a celostní přístupy. V rámci množinového přístupu jsou entity chápány jako množiny prvků. Vazby mezi jednotlivými prvky se zde ale už neuvažují. Celostní přístup zase říká, že o vlastnostech a chování složitých entit (tedy těch, které se skládají z většího množství prvků) je možné usuzovat pouze v kontextu většího celku. To znamená, že jednotlivé prvky a vazby mezi nimi jsou stejně podstatné.

Systémový přístup vytyčuje atributy systémového přístupu, tedy stanovuje východiska, přístupy a vlastnosti entit pro jejich komplexní analýzu. Systémové atributy lze rozdělit do následujících skupin (Janiček a Marek, 2013):

- 1) předpoklady k aplikaci systémového přístupu,
- 2) přístupy k analýzám entit,
- 3) vlastnosti entit k posouzení (dynamičnost, vyváženost, otevřenost apod.),
- 4) metodologie analýzy entit,
- 5) etické aspekty subjektů k entitám a na nich řešených problémech.

Janiček a Marek (2013) atributy v jednotlivých skupinách popisují následovně.

Předpoklady pro aplikaci systémového přístupu jsou tvořeny třemi atributy.

Atribut 1 – vymezení entity zájmu subjektu. Tento atribut říká, že vždy musí být obsahově, lingvisticky i logicky vymezeno to, co je předmětem našeho zájmu.



Atribut 2 – požadavek pojmové čistoty. Tento atribut říká, že pojmy musí být významově a obsahově správně vymezeny.

Atribut 3 – správné vymezení a formulace zájmu. Tento atribut zjednodušeně říká, že je nutné vědět, čeho chceme dosáhnout (obecně se jedná o řešení nějaké problémové situace).

Druhá skupina zabývající se přístupy k analýzám entit, je tvořena pěti atributy.

Atribut 1 - entity posuzovat strukturovaně. Tento atribut říká, že strukturovanost je základní charakteristikou každého systému. Na dané entitě by tedy vždy mělo být možné vymezit alespoň jednu další část, která má charakter entity vyšší rozlišovací úrovně. Jinak řečeno, struktura entity je množina prvků vymezených na entitě na určité rozlišovací úrovni a vazby mezi nimi.

Atribut 2 – entity posuzovat účelově. Tento atribut říká, že zanedbání účelového posouzení nebo přesněji posouzení podstatnosti entity, která významně ovlivňuje jinou entitu, může mít nežádoucí důsledky. Jde o posouzení podstatnosti všeho (na efektivní rozlišovací úrovni), co souvisí s činností subjektu ve vztahu k entitě.

Atribut 3 – entity posuzovat komplexně. Tento atribut říká, že entity je nutné posuzovat z hlediska všech podstatných vazeb (jak interních, tak externích) a na nich probíhajících interakcí.

Atribut 4 – entity posuzovat hierarchicky. Tento atribut říká, že každý prvek (krom nejvyššího) je podřízen právě jednomu nadřazenému prvku. Procesu vytváření hierarchie musí vždy předcházet proces přiřazení té skutečnosti, parametru či charakteristiky entity, pro kterou se daná hierarchie vytváří. U entit se mohou vytvářet například následující hierarchie v podobě:

- vazeb entit na okolí,
- procesů v entitě,
- důležitosti činností (např. v rámci řešení problému),
- projevů entity,
- spolehlivosti k mezním stavům.

Atribut 5 – entity posuzovat orientovaně. Tento atribut říká, že z určitého hlediska se v dané entitě vytváří sledy charakteristik, událostí, skutečností apod. Mezi podstatné patří především:

- příčinná orientovanost,
- časová orientovanost,
- hierarchická orientovanost.

Třetí oblast, která se soustředí na to, jaké vlastnosti se mají u entit posuzovat, obsahuje pět atributů.

Atribut 1 – entity posuzovat z hlediska otevřenosti. Tento atribut říká, že otevřená entita je charakteristická tím, že mezi ní a okolím existují vazby. Otevřenost entity je předpokladem toho, aby se mohly chovat dynamicky, tedy mohly být ovlivněny časově proměnnými faktory z okolí.

Atribut 2 – entity posuzovat z pohledu úrovně vyváženosti. Úrovně vyváženost značí, že v určité množině prvků mají všechny prvky přibližně stejnou kvalitu vlastností, které sledujeme.

Atribut 3 – entity posuzovat z hlediska dynamičnosti. Z pohledu teorie systémů dynamičnost znamená, že při veškerých činnostech s entitami se musí zvažovat časové závislosti. Obecně platí, že nejdříve se vše považuje za dynamické, a až na základě provedené analýzy se časově nepodstatné určí jako časově stálé (statické).

Atribut 4 – entity posuzovat z hlediska determinističnosti a stochastičnosti. Tento atribut říká, že determinističnost a stochastičnost se má v tomto případě chápat ze dvou hledisek. Z hlediska veličin (veličiny určené jedinou hodnotou a veličiny určené množinou čísel) a z hlediska procesů (procesy, které jsou pevně dány a procesy, u kterých na základě počátečního stavu nelze předvídat budoucí charakter).

Atribut 5 – entity posuzovat z hlediska cílového chování. Z množiny všech možných projevů entity je cílovým chováním takové chování, které odpovídá požadavkům, které jsou na entitu kladeny (např. od technických entit požadujeme spolehlivost, funkčnost, efektivnost apod.).

Čtvrtá oblast, která se soustředí na metodologii analýzy entit, obsahuje čtyři atributy.

Atribut 1 – využívat poznatky současné vědy a techniky. Tento atribut zdůrazňuje, že do systémového přístupu by se z oblasti metod, teorií, vědy a techniky, mělo začleňovat vše nové.

Atribut 2 – používat progresivní a heuristické přístupy pro řešení nestandardních situací. Když není možné u entit řešit situace rutinními či známými činnostmi, subjekt při jejich řešení musí používat progresivní a heuristické přístupy.

Atribut 3 – vytvářet „algoritmy činností“. Vědomě vytvářet postupy (posloupnosti činností), které vedou ke splnění určitého cíle.

Atribut 4 – analyzovat výsledky řešení problémů. Analyzovat výsledky a provádět syntézu získaných poznatků.

Pátá oblast se zabývá etickými aspekty subjektů k entitám a obsahuje tři atributy.

Atribut 1 – mít odpovědnost za věrohodnost předávaných výsledků. Tento atribut souvisí s povinností k odpovědnosti za věrohodnost předávaných výsledků dalším subjektům.

Atribut 2 – dodržovat veškeré etické normy. Subjekt, ať už například jako účastník nebo řešitel problému, musí dodržovat etické normy a zásady. A to především charakteru:

- obecného (korektnost, přímost, slušnost apod.),
- osobnostního (poctivost, zodpovědnost, sebekritičnost apod.),
- společenského (povinnost k odpovědnosti apod.),
- a geo-environmentálního (nezatěžovat životní prostředí apod.).

Atribut 3 – sledovat způsob implementace výsledků. I když mnoho odborných problémů končí pro řešitele odevzdáním výsledku, mělo by dojít alespoň k předání zpětné vazby, která ve svém důsledku může výrazně ovlivnit řešitelovu další činnost.

Autor zároveň dodává, že systémový přístup nelze používat dogmaticky, tedy aplikovat za každou cenu všechny atributy na všechny oblasti, v kterých je lze použít. Autor zároveň zmiňuje, že je vhodné zavést něco jako „aplikovatelné atributy“, tedy navrhuje vždy vybrat pouze ty atributy, které jsou pro danou oblast systémového přístupu vhodné.

Po vysvětlení systémového přístupu je tedy jasné, jak by vypadal přístup nesystémový. Charakteristické by pro něj především bylo, že přístup subjektu při řešení problému je volný, subjektivní a bez pravidel.

V souvislosti se systémovým přístupem říkají Daellenbach, McNickle a Dye (2012), že umění související s kvalitní tvorbou (znázorněním) systému zahrnuje:

- Princip Ockhamovy břitvy. Tvůrce by měl být velice selektivní ve vztahu k tomu, co vše do systému zahrne, protože ne všechny aspekty jsou podstatné nebo málo přispívají k přesnosti.
- Iterativní proces obohacování a přeformulování. Začněte s jednoduchou verzí systému a postupným vývojem přejděte k propracovanějšímu systému. Obohacování systému by přitom nemělo měnit jeho základní formu a strukturu.
- Použijte přírůstkový přístup. Pokud je to možné, tak se z počátku soustřeďte pouze na klíčové subsystémy.
- Vypracování numerického příkladu. Prezentace kvantitativně vyjádřeného příkladu může pomoci ilustrovat chování systému při různých scénářích a zásazích do systému.
- Diagramy a grafy. Vizuální reprezentace formou diagramů může usnadnit vymezení systému a pomoci celý systém lépe pochopit. Grafy zase mohou zpřehlednit informace o chování systému.

### **3.4 Rozhodování**

Existují tři formy aplikovaného myšlení (Adair, 2010):

- řešení problémů,
- kreativní myšlení,
- rozhodování.

I když se tyto formy do značné míry překrývají, je možné je rozlišit. Předmětem řešení problému je obvykle překonání nějaké překážky a vytvoření odpovědi nebo závěru. Výsledkem kreativního myšlení jsou naproti tomu nové způsoby řešení. A rozhodování je o výběru nejlepší možnosti mezi více variantami (Adair, 2010).

Pojem rozhodování lze definovat jako proces volby z několika možností a je považováno za klíčový prvek řízení. Souvisí s řadou banálních každodenních činností (např.

„vezmu si deštník nebo ne“), až po ty s těmi vážnějšími následky, kdy správným či špatným rozhodnutím lze ovlivnit kariéru či celý život (Blažek, 2014).

Další definici nabízí Augier a Teece (2018), kteří říkají, že rozhodování je proces, při kterém jednotlivec, skupina nebo organizace dospívá k závěrům o tom, jaké budoucí kroky podniknout s ohledem na dostupné zdroje.

To potvrzuje Adair (2019), který navíc dodává, že před každým rozhodnutím byste měli vědět, čeho chcete dosáhnout, tedy co je cílem vašeho rozhodování. Bez jasného cíle bude totiž celý proces zahalen v nejasném mraku. Jinými slovy, pokud nevíte, do jakého přístavu plujete, bude každý vítr ten správný vítr.

Odhad možného vyústění daného rozhodnutí je rovněž zásadní. Každé vyústění má různou hodnotu užítka a předpokladem dobrého rozhodovatele je, že je schopen tento užitek, rozlišovat. Užitek v tomto smyslu můžeme chápat, jako směs slastí nebo možnost vyhnout se nejruznějším strastem. Současné ekonomické teorie si pod pojmem užitek představuje subjektivní pocit uspokojení, který vyplývá ze spotřeby nějakého statku. Ilustračním příkladem může být nákup hodinek, kde užitek může být slast z jejich krásy, měření času nebo symbol sociálního statusu (Koukolík, 2016).

Blažek (2014) zdůrazňuje důležitost zapojení dalších osob do přípravy rozhodování, a to obzvláště v případech, kdy se jedná o složitá rozhodnutí. Účast dalších osob na přípravě může usnadňovat pozdější realizaci rozhodnutí a zároveň se tím mohou posílit výstupy přípravy, a to jak po kvalitativní, tak po kvantitativní stránce.

Je také na místě připomenout, že bez ohledu na to, kolik osob, v jakém rozsahu a jakým způsobem se na přípravě rozhodnutí podílí, konečná odpovědnost za rozhodnutí vždy leží na bedrech rozhodovatele (ať už je jím jedna osoba či skupina osob) (Blažek, 2014).

### **3.4.1 Typy rozhodování**

Blažek (2014) ve své knize dělí rozhodování na:

- osobní,
- politické,
- velitelské,

- správní,
- manažerské.

V rámci osobního rozhodování se jedinec rozhoduje sám ve vlastním zájmu, z vlastní iniciativy, o sobě samém, prostřednictvím vlastních aktivit a vlastním úsilím (Blažek, 2014).

Rozhodování politické, velitelské, správní a manažerské je spjato s výkonem určité funkce. Takové rozhodování je charakteristické tím, že člověk rozhoduje v zájmu někoho jiného, a většinou též z jeho popudu o někom jiném (Blažek, 2014).

Výše uvedené typy rozhodování se dají rozlišit také dle stupně determinace. Stupeň determinace stanovuje hranice a prostor pro rozhodování. Zpravidla jej vymezují právní předpisy, vnitřní předpisy organizace a zejména etické zásady rozhodovatele (Blažek, 2014).

Velmi nízká úroveň determinace je charakteristická pro osobní rozhodování. Jedinec se rozhoduje dle vlastní potřeby, na základě svých mravních postojů a se zřetelem na obecně závazné předpisy. Nízká a střední úroveň determinace je typická pro manažerské rozhodování. Manažeři činí rozhodnutí na základě svého nadřízeného a uskuteční ho prostřednictvím jemu podřízených zaměstnanců (Blažek, 2014).

Manažer operuje v oblasti své působnosti a řídí se jak vlastními mravními zásadami, tak vnitřními předpisy organizace a obecně závaznými předpisy. I tak manažerovi zůstává značný prostor pro rozhodování, a to zvláště u vrcholového managementu. Vysoký stupeň determinace je charakteristický obzvláště pro správní rozhodování, kde je pověřená osoba (správní úředník) vázána přísnými předpisy o postupu a časovém rozpětí (Blažek, 2014).

<b>Typ rozhodování</b>	<b>Zájem</b>	<b>Rozhodovatel</b>	<b>Úroveň determinace</b>
Osobní	Vlastní zájem	Daná osoba	Velmi nízká
Manažerské	Zájem jiných lidí	Zpravidla někdo jiný	Nízká až střední
Politické	Zájem jiných lidí	Zpravidla někdo jiný	Nízká až střední
Velitelské	Zájem jiných lidí	Zpravidla někdo jiný	Nízká až vysoká
Správní	Zájem jiných lidí	Zpravidla někdo jiný	Vysoká

Tabulka 3 Typy rozhodování  
Zdroj: vlastní zpracování

Obecně lze ale říci, že existuje mnoho různých pohledů na rozhodování, a tedy i mnoho různých způsobů dělení. Delbecq (1967) na rozhodování hledí z pohledu strategií a dělí ho na:

- rutinní rozhodování,
- kreativní rozhodování,
- vyjednané rozhodování.

Rutinní rozhodování představuje rozhodování „naprogramovatelné“. Máme zde dostatek zdrojů a shodu nad postupem. U kreativního rozhodování již nepanuje shoda nad postupem a vyznačuje se heuristickým přístupem. Vyjednané rozhodování se zabývá vypořádáním protichůdných názorů a je charakteristické absencí monokratické autority (Delbecq, 1967).

Dutilh a Rieskamp (2016) dělí rozhodování zase z pohledu poznávacích funkcí na:

- percepční rozhodování,
- preferenční rozhodování.

Percepční rozhodování probíhá na nízké kognitivní úrovni a je prováděno rychle bez velkého uvažování. Příkladem percepčního rozhodování může být posouzení, zda na semaforu svítí zelená nebo červená. Preferenční rozhodování probíhá na vyšší kognitivní úrovni a vyžaduje více úvah (zde závisí také na cílech subjektu a rozhodovacích pravomocech). Příkladem preferenčního rozhodování může být rozhodování o nákupu nového auta či o investování do akcií (Dutilh a Rieskamp, 2016).

### **3.4.2 Organizační a procesní stránka rozhodování**

Rozhodování je často spjato s výkonem určité funkce, která vymezuje pravomoci a odpovědnost. Krom otázky „Jak rozhodovat?“ se tedy nabízí i otázka „Kdo a o čem má rozhodovat?“. Jinými slovy, rozhodování má dvě stránky (Blažek, 2014):

- stránku organizační,
- stránku procesní.

## Organizační stránka rozhodování

Pro každou organizaci je klíčové správně distribuovat rozhodovací pravomoci. Při určení oblasti a osoby, která bude mít v této oblasti pravomoc rozhodovat, je třeba brát v úvahu následující faktory (Blažek, 2014):

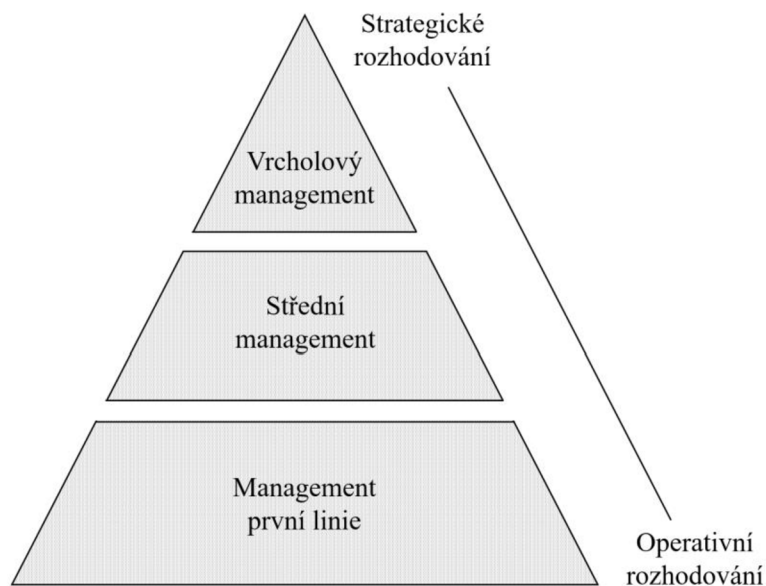
- kvalifikační předpoklady,
- informační zabezpečení,
- zájmovou orientaci.

K efektivnímu rozhodování je zapotřebí, aby dané funkční místo mělo dobrý přístup k formálním i neformálním informacím, které se budou týkat konkrétního předmětu pro rozhodování. Na tomto místě by také měla být zajištěna kvalita informací a tím následně garantována znalost problémů a souvisejících okolností. Dále je předpokládána a vyžadována určitá úroveň schopností a odpovídající kvalifikace pro využívání těchto informací, stejně jako způsobilost řešit různé typy rozhodovacích úloh (Blažek, 2014).

Nelze opomenout, že zájmová orientace rozhodovatele je ovlivněna formálními i neformálními vztahy v organizaci. V praxi je možné se setkat například s představou, že se manažer bude rozhodovat v zájmu svého zaměstnavatele, což je buď čistě formální záměr a respekt vůči zaměstnavateli i přes rozdílné názory na situaci, nebo jsou jejich vlastní zájmy v souladu. V ideálním případě je systém nastaven takovým způsobem, aby naplňoval zájem manažera i zaměstnavatele současně (Blažek, 2014).

Obecně lze říci, že platí vztah mezi charakterem objektu rozhodování a stupněm řízení, který vyplývá z podstaty hierarchického uspořádání organizačních struktur. Základním rysem pro rozhodování na vyšších stupních je strategické rozhodování, tedy rámcové, které působí v dlouhodobém časovém horizontu a jeho důsledky mají velkoplošný dopad. Takovéto rozhodování bývá obtížně algoritmizovatelné. Naopak u nižšího stupně řízení by mělo převládat rozhodování operativní, které působí v kratším časovém horizontu s maloplošným dopadem a bývá lépe algoritmizovatelné. V případě, že je možné danou záležitost rozhodnout na úrovni více stupňů řízení, je doporučeno volit vždy tu nejnižší. A to z toho důvodu, že je tím snížena vzdálenost mezi rozhodovatelem a realizací a současně je to obrana proti samovolným centralizačním tendencím (Blažek, 2014).





Obrázek 6 Vztah stupně řízení a charakteru objektu rozhodování  
Zdroj: Blažek (2014)

Individuální rozhodování nastává při využití principu jediné odpovědné osoby, kdy daná osoba disponuje pravomocí samostatně se rozhodovat v daných záležitostech. Je důležité zdůraznit, že rozhodovací pravomoc je obecně také povinností dané osoby, a to i tehdy, je-li pro ni důsledek rozhodnutí nepříjemnou záležitostí, či si není jista správnou volbou. Pokud obsah rozhodnutí spadá jednoznačně do působnosti této osoby, není možné se rozhodování nijak vyhnout a zároveň nese odpovědnost za veškeré důsledky svého rozhodnutí (Blažek, 2014).

Kolektivní rozhodování se uplatňuje na funkčních místech, kde není uplatněn princip jediné odpovědné osoby. Existuje též kolektivní rozhodování, kde je odpovědnost za důsledky rozhodování a pravomoc rozhodovat rozdělena mezi kolektiv. Je zajištěn podíl na rozhodování všech prvků daného uskupení, který je znakem demokratického myšlení, a proto je neodmyslitelně uplatňován v systému řízení demokratických států, politických stran a v dalších organizacích, kde jsou uplatňovány principy samosprávy (nejrůznější společenské organizace, částečně i vysoké školy, družstva apod.) (Blažek, 2014).

Co se týče využití v oblasti podniků, jedná se zejména o akciové společnosti, a to z důvodu většího počtu vlastníků. Kolektivní rozhodování se tradičně dělí na dvě roviny. Jedná se o primární a sekundární rovinu, přičemž primární rovina zahrnuje do rozhodování všechny členy a v sekundární rovině jsou utvořeny kolektivy neboli orgány, za účelem vymezení rozhodovací pravomoci. V kolektivním rozhodování je rozhodováno podle

předem daných pravidel hlasování, kterým je zajištěn řádný proces výběru a ucelení rozhodnutí jednotlivců do kolektivu (Blažek, 2014).

Kolektiv jako celek nese veškerou odpovědnost za své rozhodnutí. Jsou zde uplatňovány sankce za špatná rozhodnutí, a to i pro členy, kteří mohli při původním rozhodování hlasovat pro správnou variantu. V kolektivu během rozhodování může převažovat jednota názoru a spolupráce všech jednotlivců, nebo naopak může dojít k vytvoření konkurenčních vztahů, což způsobí rozpad kolektivu na menší, proti sobě bojující tábory. Na druhou stranu má i jednota názoru všech členů svou stinnou stránku a to takovou, že se dostatečně nerozvíjí kreativní myšlení. Proto je důležité, aby konkurence i spolupráce byly v rovnováze a byl zde prostor pro svobodné vyjádření svých názorů a jejich vyslechnutí. Současně je tedy potřeba soustředit se na vyřčené názory, nikoliv na jejich interprety a přijímat rozhodnutí formou dialogu (Blažek, 2014).

### Proces rozhodování

Proces rozhodování lze dělit z hlediska složitosti a možnosti algoritmizace na (Blažek, 2014):

- dobře strukturovaný,
- špatně strukturovaný.

Procesy složité, unikátní, nepřehledné, s vysokým nárokem na kreativitu patří mezi rozhodovací procesy špatně strukturované. Obecně platí, že u špatně strukturovaných rozhodovacích procesů není konkrétní postup řešení pro danou situaci k dispozici. Rozhodovatel zde většinou spíše spoléhá na intuici a na své zkušenosti. Tyto procesy jsou většinou spojeny s rozhodováním strategického charakteru a s rozhodnutími majícími velký dopad a typicky s sebou nesou i velké riziko (Blažek, 2014).

Naopak dobře strukturované rozhodovací procesy jsou charakteristické svou přehledností, jednoduchostí a často se opakují. V rámci dobře strukturovaných rozhodovacích procesů je postup řešení obecně známý a má dobré informační zabezpečení. Rozhodnutí realizovaná prostřednictvím dobře strukturovaného rozhodovacího procesu mají často rutinní charakter a zpravidla nebývají spojena s vysokým rizikem (Blažek, 2014).

V literatuře existují různé přístupy, které dělí rozhodovací proces do různých fází. Obecný rámec však zůstává ve většině případů vždy stejný.

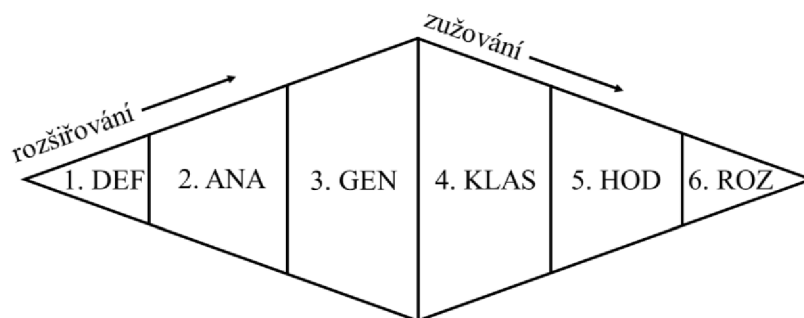
Koziol-Nadolna a Beyer (2021) na základě analýzy odborné literatury rozdělili rozhodovací proces do pěti následujících kroků:

- 1) Identifikace problému nebo cíle. Pokud se chcete rozhodnout, je důležité vědět, jaký je účel daného rozhodnutí.
- 2) Shromáždění relevantních informací a zdrojů. Tento krok spočívá ve sběru relevantních informací, jako jsou například informace o omezeních, která při rozhodování máme a zároveň zde probíhá shromáždění zdrojů (to jsou především peníze, lidé, čas, materiály apod.).
- 3) Identifikace alternativ. V tomto kroku probíhá vyhodnocení alternativních řešení. Obvykle totiž existuje více než jedna možnost, kterou je třeba při rozhodování zvážit.
- 4) Přijetí opatření a provedení rozhodnutí. V tomto kroku dochází k implementaci zvolené alternativy.
- 5) Kontrola rozhodnutí a vyhodnocení výsledků. Tento závěrečný krok spočívá ve zvážení výsledků, rozhodnutí a vyhodnocení, zda došlo k naplnění cíle, který byl identifikován na začátku rozhodovacího procesu.

Blažek (2014) dělí proces rozhodování do šesti kroků. Na rozdíl od Koziol-Nadolna a Beyer (2021) se však při svém dělení soustředí primárně na přípravu rozhodnutí.

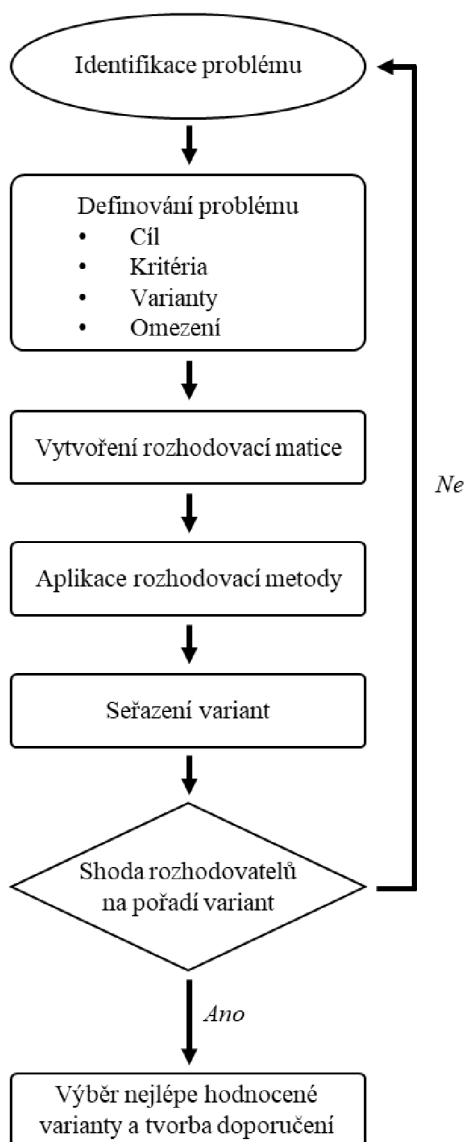
- 1) Krok definování, v němž se jedná o určení problému, který má být řešen, respektive o stanovení cíle, kterého má být dosaženo.
- 2) Krok analyzování je krok, ve kterém dochází k získávání potřebných informací pro řešení daného rozhodovacího problému.
- 3) Krok generování spočívá ve vytvoření dostatečného počtu námětů, vedoucích k dosažení daného cíle.
- 4) Krok klasifikace je založen na formulaci konkrétních hodnotitelných variant, které vedou k dosažení daného cíle.
- 5) Krok hodnocení je posledním krokem, ve kterém je vybrána konkrétní varianta a tento výběr zdůvodněn.
- 6) Krok rozhodnutí, který spočívá v samotném závazném aktu.

První tři kroky uvedeného procesu představují oblast rozšiřování daného řešení. Tyto kroky předpokládají **divergentní myšlení** (viz kapitola 3.3.3). Poslední tři kroky naopak představují zužování, které se primárně opírá o **myšlení konvergentní**.



Obrázek 7 Fáze rozhodovacího procesu  
Zdroj: Blažek (2014)

Přehledné grafické znázornění a opět trochu odlišný pohled na proces rozhodování představuje Thakkar (2021).



Obrázek 8 Proces rozhodování  
Zdroj: Thakkar (2021)

Autor zároveň dodává, že proces rozhodování se stává složitým, vyžaduje-li více kritérií, která jsou svou povahou protichůdná a mají různou váhu. Takové rozhodování vyžaduje vývoj metod, které dokážou přizpůsobit kompromisy mezi kritérii a alternativními a reálnými problémy a zájmy těch, kdo rozhodují.

### **3.4.3 Rozhodování v krizi**

Krizové situace jsou charakteristické obrovským množstvím nejistoty a často je doprovází zmatek a obavy. To vyžaduje především rychlá a samozřejmě i správná rozhodnutí. Vedoucí pracovníci v krizi čelí nespočtu komplikovaných otázek, které vyžadují rychlou odpověď (Sayegh, Anthony a Perrewé, 2004).

Rozhodní manažeři s vůdcovskými schopnostmi a znalostmi krizového managementu jsou v těchto situacích vysoce ceněni, a to především s ohledem na fakt, že v krizových situacích je málo času na sběr a zhodnocení všech dostupných informací o vzniklé situaci. Některé informace mohou být přesné, zatímco některé mohou být matoucí, nepřesné a neúplné. Rozhodnutí musí být také učiněno v kontextu mnoha faktorů a omezení různého druhu. To souvisí i s omezenou schopností plně vyhodnotit důsledky jednotlivých variant rozhodnutí (Sayegh, Anthony a Perrewé, 2004).

V návaznosti na to ale Blažek (2014) zdůrazňuje, že ani v krizových situacích by řešitel neměl daný problém řešit „střelbou od pasu“, ale měl by využít alespoň základní doporučení a pravidla pro realizaci všech kroků v rámci rozhodovacích procesů.

Dle Penuela, Statlera a Hageny (2013) by prvním hlediskem při rozhodování v krizových situacích měla být bezpečnost lidí a veškerá učiněná rozhodnutí by poté měla být rychle a srozumitelně sdělena všem relevantním osobám. V krizové situaci rozhodovatel často čelí enormnímu tlaku, a proto je dobré se vždy co nejlépe připravit na možné krizové situace předem. To zdůrazňují i Zuzák a Königová (2009) a v tomto směru hovoří především o krizových plánech, které mohou výrazně usnadnit a zrychlit rozhodování v krizové situaci.

Krizový plán vymezuje řešení určitých předvídatelných krizových situací a obvykle obsahuje posloupnost zásahů a rozhodnutí, které mají být v dané situaci provedeny. V rámci krizového plánu by měly být uvedeny i další užitečné informace, jako důležitá telefonní čísla, rozsah mimořádných pravomocí pro danou krizovou situaci, složení krizového týmu,

seznam institucí, kterým má být situace nahlášena, zásady krizové komunikace apod. (Zuzák a Königová, 2009).

#### **3.4.4 Vícekriteriální rozhodování**

Rozhodovací problém může být založen na jediném kritériu, jako je minimalizace nákladů nebo maximalizace odbytu. V operačním výzkumu existuje bezpočet dobře zavedených a ověřených optimalizačních postupů, které se jednokriteriálního rozhodování týkají. Reálné situace ale obecně vyžadují vyhodnocení množiny alternativ podle více kritérií a jejich strukturování jako vícekriteriální rozhodovací problém. Vícekriteriální rozhodovací problém představuje hodnotící problém, kde rozhodovatel vybírá z konečné množiny diskrétních alternativ (Köksalan, Wallenius a Zionts, 2011).

Přístupy v rámci vícekriteriálního rozhodování mají za cíl nalezení adekvátního kompromisu mezi protichůdnými kritérii (hmotnými i nehmotnými). Takový vícekriteriální problém je například volba umístění humanitárního tábora, kdy na základě několika alternativ musí rozhodovatel zvážit mnoho protichůdných kritérii, jako jsou například:

- náklady,
- dopravní dostupnost,
- bezpečnost,
- dostupnost inženýrských sítí,
- kulturní zvyklosti v dané oblasti.

Na obecné úrovni mezi hlavní kroky vícekriteriálního rozhodování patří (Thakkar, 2021):

- 1) Identifikace a stanovení hlavního cíle.
- 2) Tvorba kritérií, na základě kterých mají být jednotlivé alternativy posuzovány.
- 3) Vygenerování možných alternativ (konečného počtu alternativních plánů nebo možností), které lze zvolit k dosažení stanoveného cíle. Alternativa ve vícekriteriálním hodnocení je obvykle popsána z hlediska kvantitativních a kvalitativních kritérií.
- 4) Vyhodnocení dopadu každého kritéria na rozhodovací funkci nebo váhy kritérií. Rozhodovatel by měl vyjádřit své preference ve smyslu relativní důležitosti kritérií, přičemž jedním z přístupů je zavedení vah kritérií.

5) Určení pořadí variant a volba nejlepší alternativy.

### Vícekritériální hodnocení variant

V rámci vícekritériálního rozhodování rozlišujeme úlohy vícekritériálního programování a úlohy vícekritériálního hodnocení variant. Pokud je množina přípustných variant omezena množinou podmínek, které dané alternativy musí splňovat, jedná se o úlohu vícekritériálního programování. Pokud je ale množina přípustných variant konečná, hovoříme o úloze vícekritériálního hodnocení variant (Fiala, Jablonský a Mañas, 1994).

Pro potřeby této práce se budeme zabývat prvním typem úloh, tedy vícekritériálním hodnocením variant. V rámci úloh vícekritériálního hodnocení variant je  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  množina rozhodovacích variant. Tyto množiny jsou hodnoceny dle kritérií  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$ . Kritériální hodnoty  $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik})$  poté představují popis každé varianty  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  dle daných kritérií. Vyjádření matematického modelu úlohy vícekritériálního hodnocení variant je poté možné ve tvaru takzvané kritériální matice, kde v každém řádku  $i$  je vektor kritériálních hodnot varianty  $a_i$ . Ohodnocení variant podle jednotlivých kritérií  $f_j$  jsou poté uvedena v každém sloupci  $j$  (Fiala, Jablonský a Mañas, 1994).

$$\begin{array}{c} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{array} \begin{array}{cccc} f_1 & f_2 & \cdots & f_k \\ \left[ \begin{array}{cccc} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{n1} & y_{n2} & \cdots & y_{nk} \end{array} \right] \end{array}$$

Obrázek 9 Kritériální matice

Zdroj: Fiala, Jablonský a Mañas (1994)

Součástí matematického modelu je určení typu jednotlivých kritérií, přičemž kritérium představuje měřítko pro vyjádření míry naplnění daného cíle rozhodování. Kritéria mohou mít charakter (Jablonský, 2007):

- kvalitativní,
- nebo kvantitativní.

Kvalitativní kritéria jsou vyjádřena slovně a mají zpravidla širší pojetí. Příkladem kvalitativního kritéria může být zvýšení bezpečnosti, dopad na životní prostředí, estetický dojem apod. Kvalitativní kritéria jsou charakteristická tím, že nejsou přímo vyhodnotitelná

a k jejich vyhodnocení je potřebujeme prostřednictvím různých transformačních postupů převést na měřitelné veličiny (Jablonský, 2007).

Kvantitativní kritéria je možné vyjádřit číselnou hodnotou. Příkladem kvantitativního kritéria může být výše finanční odměny, doba splacení, cena apod. Taková kritéria jsou sama o sobě přímo vyhodnotitelná a k jejich vyhodnocení není nutné využít transformačních postupů (Jablonský, 2007).

Pro potřeby úloh vícekriteriálního hodnocení dále dělíme kritéria dle charakteru na (Jablonský, 2007):

- maximalizační,
- nebo minimalizační.

U kritérií s maximalizačním charakterem vždy upřednostňujeme vyšší hodnotu kritéria. Příkladem typických maximalizačních kritérií jsou zisk, HDP, mzda apod. (Jablonský, 2007)

U kritérií s minimalizačním charakterem je tomu přesně naopak a vždy tedy upřednostňujeme hodnotu s nižší hodnotou kritéria. Příkladem minimalizačního kritéria mohou být náklady, čas strávený přesunem, nezaměstnanost apod. (Jablonský, 2007).

Kritéria minimalizačního charakteru je vždy možné převést na kritéria maximalizačního charakteru a obráceně. Například minimalizační kritérium lze převést na maximalizační tak, že nově vytvořené kritérium bude udávat rozdíl oproti nejvyšší (tedy nejhorší) kriteriální hodnotě. Tedy dobu trvání jakožto minimalizační kritérium lze převést na minimalizační, pokud ji vyjádříme jako rozdíl ve srovnání s nejdéle trvajícím variantou (Jablonský, 2007).

Při formulaci kritérií je potřeba respektovat následujících pět požadavků (Blažek, 2014):

- Požadavek úplnosti – soubor kritérií musí být úplný. Musí být tedy zajištěno hodnocení všech důsledků, které jednotlivé varianty řešení představují.
- Požadavek operacionality – každé kritérium musí mít svůj srozumitelný a jednoznačný smysl.



- Požadavek měřitelnosti – každé kritérium musí umožňovat změření důsledků, které jednotlivé varianty přinášejí vzhledem k danému kritériu.
- Požadavek neredundance – každé hledisko důsledku, který varianta přináší, vchází do hodnocení pouze jednou.
- Požadavek minimálního rozsahu – s ohledem na přehlednost celého rozhodování by měl být počet kritérií co nejmenší s ohledem na dodržení požadavku úplnosti.

Jablonský (2007) doplňuje, že v rámci vícekritériálního hodnocení variant si rozhodovatel může obecně stanovit tři základní cíle:

- Výběr pouze jedné z variant – volba pouze jedné varianty pro konečné rozhodnutí, která představuje nejlepší kompromis dle předem stanovených kritérií.
- Uspořádání množiny variant – rozhodovatel v tomto případě řadí jednotlivé varianty dle daných kritérií od „nejlepší“ až po „nejhorší“.
- Klasifikace variant – rozhodovatel dělí jednotlivé varianty do několika tříd. Třídy mohou být pouze dvě (například rozhodnutí o přijetí či nepřijetí v rámci výběrového řízení) nebo jich může být více (například při hodnocení bonity klientů v peněžních ústavech).

V rámci úloh vícekritériálního hodnocení variant rozlišujeme varianty ideální a bazální, kdy za ideální variantu považujeme takovou, která je reprezentovaná vektorem nejlepších kritériálních hodnot. Jinými slovy, ideální varianta dosahuje ve všech kritériích nejlepších možných hodnot. Oproti tomu stojí varianta bazální, která je reprezentována vektorem nejhorších kritériálních hodnot. Bazální varianta je tedy opakem varianty ideální (Jablonský, 2007).

Současně, jednotlivé varianty mezi sebou mohou nabývat různých vztahů dominance. U dvou různých variant je možné říci, že jedna je dominovaná (horší), dominující (lepší), nebo že jsou vzájemně nedominované (ani lepší, ani horší).

Varianta  $a_i$  dominuje variantu  $a_j$  v případě, kdy jsou kritériální hodnoty varianty  $a_i$  lepší nebo stejné, jako kritériální hodnoty varianty  $a_j$  a zároveň nejsou dané varianty dle všech kritérií stejně hodnocené (Jablonský, 2007).

Při hledání kompromisní varianty tedy vždy stačí, když v rámci rozhodovacího modelu pracujeme pouze s nedominovanými variantami.

## Metody stanovení vah kritérií

Váhy kritérií vyjadřují relevantní důležitost daného kritéria. Určit tuto důležitost u jednotlivých kritérií v numerické podobě často není pro rozhodovatele snadný úkol. Je proto vhodné využít některého z nástrojů, který rozhodovateli tuto činnost usnadní. Mezi nejpoužívanější nástroje k určení vah kritérií například patří (Jablonský, 2007):

- metoda pořadí,
- bodovací metoda,
- Fullerův trojúhelník,
- Saatyho metoda.

Metoda pořadí patří mezi nejjednodušší metody stanovení vah kritérií, protože vyžaduje od rozhodovatele pouze uspořádání kritérií od toho nejdůležitějšího až po to nejméně důležité (Jablonský, 2007).

Bodovací metoda je o něco přesnější než metoda pořadí a spočívá v tom, že rozhodovatel na předem připravené stupnici (např. 1-10) přiřazuje body jednotlivým kritériím (Jablonský, 2007).

Jak uvádí Blažek (2014), určení váhy jednotlivých kritérií metodami, v rámci kterých hodnotíme všechna kritéria najednou (mezi tyto metody patří například i výše uvedená metoda pořadí a metoda bodovací), může být s rostoucím počtem kritérií obtížné. Pro určení vah většího počtu kritérií bývá doporučováno využít některou z metod párového srovnání. Jablonský (2007) ve své knize představuje dvě hlavní metody založené právě na párovém porovnání:

- Fullerův trojúhelník,
- Saatyho metodu.

Přiřazení vah kritérií pomocí Fullerova trojúhelníku je založeno na vyznačení dvojic kritérií v trojúhelníkovém schématu tak, že každá dvojice kritérií se ve schématu vyskytuje pouze jednou. Rozhodovatel poté zakroužkuje vždy to kritérium z dvojice, které je pro něj důležitější. V případě, že jsou pro rozhodovatele daná dvě kritéria stejně důležitá, označí obě (Jablonský, 2007).

Řekneme-li, že  $p_i$  představuje počet zakroužkování  $i$ -tého kritéria, poté získáme odhad vah kritérií normalizací všech hodnot  $p_i$ . Pokud pro některé kritérium je  $p_i = 0$ , přičteme ke všem  $p_i$  1, aby žádná váha nebyla rovna nule (Jablonský, 2007).

Saatyho metoda, patřící mezi nejpoužívanější metody stanovení vah kritérií, umožňuje určit stupeň důležitosti jednoho kritéria před druhým kritériem. Porovnání kritérií  $f_i$  a  $f_j$  je v rámci této metody stanoveno pomocí stupnice od 1 do 9, kde (Jablonský, 2007):

- 9 - první kritérium ( $f_i$ ) svou důležitostí absolutně převyšuje druhé kritérium ( $f_j$ ),
- 7 - první kritérium ( $f_i$ ) svou důležitostí velmi silně převyšuje druhé kritérium ( $f_j$ ),
- 5 - první kritérium ( $f_i$ ) svou důležitostí značně převyšuje druhé kritérium ( $f_j$ ),
- 3 - první kritérium ( $f_i$ ) svou důležitostí mírně převyšuje druhé kritérium ( $f_j$ ),
- 1 - první kritérium ( $f_i$ ) je stejně důležité, jako druhé kritérium ( $f_j$ ).

V případě, kdy je jedno kritérium méně důležité než druhé kritérium, je pro vyjádření preference užitá převrácená hodnota z výše uvedené stupnice (např.  $1/3$ ,  $1/5$ ,  $1/9$ ) (Jablonský, 2007).

Informace z párového porovnání se zaznamenávají do takzvané Saatyho matice  $S$

$$S = (S_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, k, \quad (2)$$

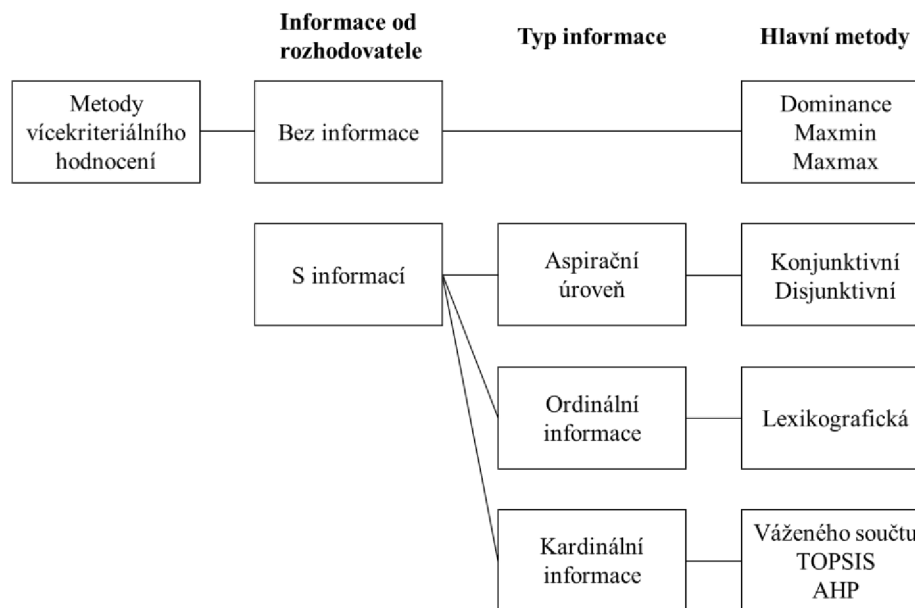
jejíž prvky jsou odhadem podílů vah  $i$ -tého a  $j$ -tého kritéria

$$s_{ij} = \frac{v_i}{v_j}, i, j = 1, 2, \dots, k. \quad (3)$$

Váhy pro jednotlivá kritéria se poté v rámci matice vypočítají jako normalizovaný geometrický průměr řádků (Jablonský, 2007).

#### Metody vícekritériálního hodnocení variant

Přehled vybraných metod vícekritériálního hodnocení nabízí například Chen a kol. (1992). Metody dělí do čtyř skupin dle typu informace (viz obrázek 10).



Obrázek 10 Dělení metod dle typu informace  
Zdroj: Chen a kol. (1992)

Jak potvrzují Munier, Hontoria a Jiménez-Sáeze (2019), existuje velké množství metod pro vícekriteriální hodnocení variant. Mezi metody, které jsou často používané, můžeme zařadit Lexikografickou metodu, metodu Váženého součtu, metodu AHP nebo metodu TOPSIS.

Lexikografická metoda patří mezi nejjednodušší metody vícekriteriálního hodnocení variant. Tato metoda řadí varianty dle nejdůležitějšího kritéria a svou podstatou je podobná hledání ve slovníku. Pokud v rámci nejdůležitějšího kritéria máme více variant se stejnou hodnotou, řadíme tyto varianty dle druhého nejdůležitějšího kritéria. Tímto způsobem se postupuje až do té doby, než nám zůstane pouze jediná varianta, případně skupina variant, kterou není možné dále zúžit (Fiala, 2013).

Podstatou metody Váženého součtu, která je někdy také označována jako metoda WSA (Weighted Sum Approach), je agregace porovnatelných hodnot, například vážený součet hodnot lineární funkce užitku. Funkce užitku může nabývat hodnot od 0 do 1, přičemž užitek 0 má vždy ta nejhorší varianta. Naopak, nejlepší varianta bude mít vždy užitek 1. Zbylé varianty budou mít užitek vždy mezi oběma krajními hodnotami (Triantaphyllou, 2000).

Metoda AHP (Analytic Hierarchy Proces) je hierarchická metoda založená na rozkladu složité a nestrukturované situace na jednodušší komponenty. Na každé z úrovní hierarchické struktury je standardně použito Saatyho párové porovnání. Pomocí párového

porovnání metoda přiřazuje jednotlivým variantám relativní důležitost z hlediska každého kritéria. (Je přípustné stanovit preference i jiným způsobem.) Na základě syntézy těchto ohodnocení je poté vybrána varianta s nejvyšší prioritou (Triantaphyllou, 2000).

Další metoda, metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution), byla vytvořena Hwangem a Yoonem (1981). Podstatou metody je myšlenka, že nejlepší varianta by měla mít nejmenší vzdálenost od ideální varianty (tedy od varianty charakterizované vektorem nejlepších možných hodnot) a zároveň by měla mít největší geometrickou vzdálenost od varianty bazální (tedy od varianty charakterizované vektorem nejhorsích možných hodnot) (Thakkar, 2021).

Další z často používaných metod vícekriteriálního hodnocení variant jsou metody třídy ELEKTRE, metoda PROMETHEE, metoda ORESTE, nebo metoda ANP. Bližší popis těchto metod uvádí například Sixta a Žižka (2009), Jablonský (2007), nebo Thakkar (2021).

### **3.5 Nejistota a fuzzy množiny**

Tato kapitola nabízí základní informace o nejistotě a stručný přehled historie fuzzy množin. Dále přehled klasických množin, za účelem usnadnit a zpřehlednit pochopení fuzzy množin. Také jsou v této kapitole vysvětleny pojmy popisující fuzzy množinu. Jsou zde představena fuzzy čísla, jako konkrétní případ fuzzy množin a základní aritmetické operace s nimi. Následuje představení různých metod defuzzifikace. Na závěr je přiblížena problematika fuzzy lingvistických škál a fuzzy vícekriteriálního hodnocení.

#### **3.5.1 Nejistota**

Různých definic nejistoty je mnoho. Obecným tématem definic zpravidla je, že nejistota souvisí s něčím neznámým nebo s nedostatkem informací. To ale neznamená, že se nejistota odvíjí pouze od dostupnosti nebo nedostupnosti informací. Funtowicz a Ravetz (1990) popisují nejistotu jako situaci, kdy daný subjekt nemá adekvátní informace. Neadekvátní informace přitom dle autorů mohou být trojího druhu:

- nepřesné,
- nespolehlivé,
- nepochopitelné.

Jedu z ucelenějších definic nejistoty nabízí Whaley (2000), který říká, že nejistota nastává v okamžiku, když jsou podrobnosti okolností nejednoznačné, pravděpodobnostní nebo nepředvídatelné, když tedy jednotlivec považuje informace nebo znalosti za nedostupné, konfliktní nebo nestabilní. Brashers (2001) dodává, že prožitek nejistoty je největší, když se všechny možnosti jeví stejné.

O mnoha jevech z reálného života se dá říci, že nastanou někde mezi dvěma extrémy a mají tedy nějaký pravděpodobnostní charakter, kdy je například jejich výskyt zcela vyloučený, až po situaci, kdy je zcela jistý. Pravděpodobnostní povaha jevů je často spojována s lidským faktorem, a to ať už přímo (nevyzpytatelností chování) nebo nepřímo (například pravděpodobnostní povahou ekonomických dějů jako vývojem inflace, vývojem akciových trhů apod.) (Blažek, 2014).

Yoe (2019) uvádí, že pravděpodobnostní povaha jevů souvisí s nutností pracovat s riziky. Pokud by neexistovala nejistota, nebylo by pochyb o tom, zda nebo kdy dojde například ke změně a jak velká bude. Stejně tak bychom vždy věděli, jak daná situace dopadne. Toto v reálném světě ale neplatí, a tak typicky odvětví jako zdravotnictví, bankovníctví, pojišťovnictví nebo distribuce surovin, musí s riziky pracovat. To vede mimo jiné k nezbytnosti v těchto oblastech udržovat různé druhy nákladných rezerv (například lidských nebo materiálních) pro případ vzniku krize, jak už bylo zmíněno výše v kapitole 3.2.

V rozhodovacím procesu je nejistota relevantní, pokud může ovlivnit výsledné rozhodnutí rozhodovatele. Z tohoto pohledu lze nejistotu dělit na (Yoe, 2019):

- instrumentální,
- nebo neinstrumentální.

Instrumentální nejistota může vést ke změně rozhodnutí. Oproti tomu neinstrumentální nejistota by nevedla ke změně rozhodnutí, i kdyby byla snížena (Yoe, 2019).

Yoe (2019) navíc uvádí 10 základních kroků při práci s nejistotou v rámci rozhodovacího procesu.

- Prvním krokem je si uvědomit, že nejistota je relevantní v rámci rozhodovacího problému.

- Druhým krokem je identifikace konkrétních nejistot a jejich konkrétních zdrojů.
- Za třetí, vyberte nejistoty instrumentální.
- Dále komunikujte příslušné nejistoty s manažery rizik a dalšími relevantními osobami.
- Pátým krokem je volba vhodných technik a nástrojů pro řešení daných instrumentálních nejistot.
- Za šesté, dokončete hodnocení a analýzy zahrnující vybrané techniky a nástroje.
- V rámci sedmého kroku by mělo dojít k porozumění výsledkům analýz.
- Identifikovat možnosti snížení zbývající instrumentální nejistoty v budoucnosti.
- Dále sdělit své výsledky a význam nejistoty pro rozhodování a výsledky rozhodování, stejně jako jakékoli možnosti snížení zbytkové nejistoty, relevantním osobám s rozhodovací pravomocí.
- Na závěr oznámit nejistotu a její potenciální dopady na výsledky rozhodnutí všem příslušným zainteresovaným stranám.

Blažek (2014) doplňuje, že krom pravděpodobnostních vztahů se v oblasti nejistoty můžeme setkat se vztahy vágními. Nejasná definice není v běžném světě ojedinělý jev, a to i přesto, že se při řízení systémů vždy snažíme o srozumitelné definice, přesné vyjadřování a jasné metriky. To souvisí s principem inkompatibility, který formuloval Zadeh (1973, s. 28): „*Roste-li složitost systému, klesá naše schopnost formulovat přesné a významné soudy o jeho chování, až je dosaženo hranice, za níž jsou přesnost a relevantnost prakticky vzájemně se vylučující charakteristiky*“. S tímto principem například souvisí i myšlenka, že není možné absolutně přesně formulovat zákony.

I proto se čím dál častěji přechází k výkladu zákonů podle jejich podstaty, a ne podle jejich doslovného znění. Stejně tak lze říci, že každý úkol je v praxi zadán vágně. Snaha o absolutní srozumitelnost a přesnost zadání by pravděpodobně vedla k nekonečně dlouhému předávání informací. V rámci zadání jsou totiž vždy přítomny nevyslovené předpoklady, jako například, že práce bude v souladu s bezpečnostními předpisy a platnými zákony nebo že vykonavatel chápe nákresy stejně jako zadavatel. Vágnost v obecném slova smyslu je předpokladem vzniku a rozvoje samostatnosti a odpovědnosti (Blažek, 2014).

S nepřesností a vágností pracují fuzzy množiny. Problematika těchto množin je blíže rozebrána v následujících kapitolách.

### 3.5.2 Historie fuzzy množin

Jak uvádějí Dubois a Prade (2000), fuzzy logika má své základy už v řecké filosofii. Mezi prvními filozofy, kteří se pokusili kvantifikovat oblast mezi pravdou a nepravdou byl Platon. Ten navrhl jakousi třetí oblast, která se pohybuje mezi pravdou a nepravdou, a ve které se „potácejí protiklady“.

V moderní době toto téma formálně posunul polský matematik Lukasiewicz (1920), který navrhl logiku na základě tří hodnot. První hodnotou byla pravda a poslední nepravda. Mezi těmito hodnotami poté byla hodnota nazvaná „possible“. Pro tuto logiku Lukasiewicz (1930) také vyvinul celou sadu notací a axiomatický systém. Zabýval se i pěti až šesti hodnotovou logikou, přičemž také prohlásil, že nic nestojí v cestě logice s nekonečným počtem hodnot.

Lukasiewicz ale nebyl jediný, kdo pracoval na konceptu, který by pomohl opustit klasickou binární logiku. Peirce, Hartshorne a Weiss (1931) upozorňovali na fakt, že vědci příliš zanedbávají studium vágnosti. Přitom dle těchto autorů hraje zásadní roli v matematickém myšlení. Wittgenstein (1953) poukázal na to, že lingvistické pojmy v přirozeném jazyce nemají jasné hranice, které by je definovaly. Jejich definice jsou široké a jejich příslušnost k určité kategorii není vždy jednoznačná.

Samotný zrod fuzzy logiky se však většinou spojuje s prací Zadeha (1965), který v roce 1965 zveřejnil příspěvek s názvem Fuzzy množiny. V této publikaci Zadeh popsal matematiku fuzzy podmnožin a v širším smyslu i matematiku fuzzy logiky. Vše Zadeh rozpracoval a doplnil ještě ve své práci z roku 1968 (Zadeh, 1968).

Ve svých pracích Zadeh pracoval s myšlenkou, že lidé zakládají své myšlení a rozhodování na nepřesných a nenumerických informacích. Věřil, že příslušnost prvku k množině nemusí být omezena na pravda nebo nepravda (na 1 nebo 0), ale může být rozšířena tak, aby zahrnovala všechny hodnoty v intervalu mezi pravdou a nepravdou (mezi 1 a 0). S cílem rozšířit tuto myšlenku navrhl i soubor operací podporujících tuto novou logiku.

### 3.5.3 Klasické množiny

Jak uvádí Peckol (2021), klasické množiny nebo ostré množiny se v našem každodenním životě vyskytují zcela běžně. Příkladem mohou být všechny osoby uvedené v seznamu



klientů, všichni zaměstnanci ve firmě, všechny značky nabízené v obchodě atd. V rámci každé množiny existuje vlastnost, která nám umožňuje definovat hranice množiny a posuzovat objekty jako celek. Objekty v množině se nazývají prvky nebo členy množiny. Prvky označujeme malými písmeny  $a, b, c, \dots, z$  a množiny velkými písmeny  $A, B, C, \dots, Z$ .

Základním pojmem v teorii množin je členství. Patří-li prvek  $r$  do množiny  $M$ , píšeme  $r \in M$ . Pokud  $r$  není prvkem z množiny  $M$ , píšeme  $r \notin M$ . Jinak řečeno, prvek  $r$  může buď do ostré množiny  $M$  patřit, nebo do ostré množiny  $M$  nepatřit (Peckol, 2021).

Existují dvě základní metody, jak popsat množinu (Peckol, 2021):

- Metoda výčtu, kde je množina popsána úplným výčtem jejích prvků ve složených závorkách. Členy klasických neboli ostrých množin, jsou prvky, které splňují přesné vlastnosti. Pro ilustraci řekněme, že  $M$  je množina celých reálných čísel od 4 do 6.  $M$  lze v takovém případě matematicky vyjádřit jako:

$$M = \{r \in Z | 4 \leq r \leq 6\}$$

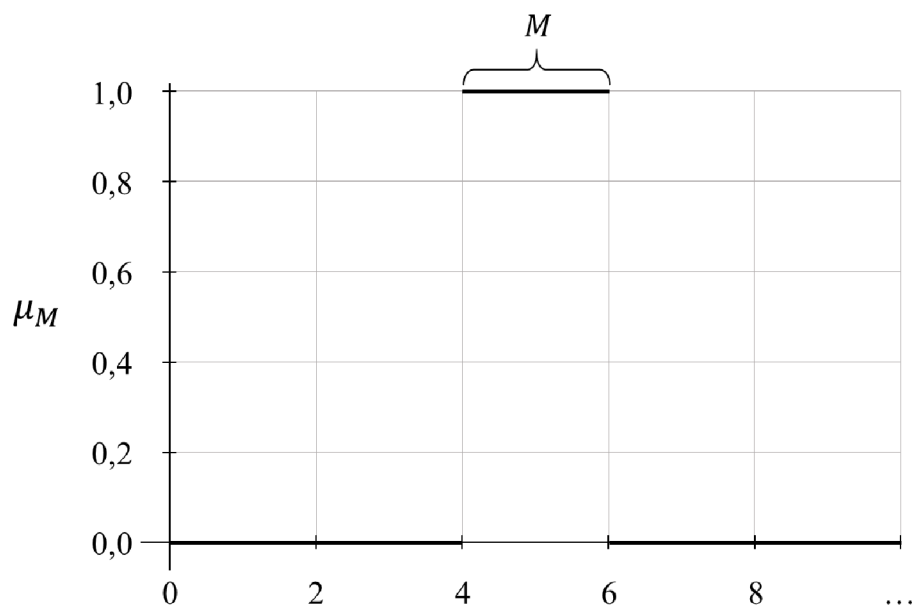
$$M = \{4,5,6\}$$

- Lze také definovat funkci  $\mu_M(r)$  nazvanou funkce příslušnosti, která specifikuje míru, s jakou přísluší hodnota  $r$  do množiny  $M$ ,

$$\mu_M(r) = 1 \quad 4 \leq r \leq 6$$

$$\mu_M(r) = 0 \quad r < 4 \text{ nebo } r > 6.$$

Jinak řečeno,  $r$  je prvkem z množiny  $M$ , pokud nabývá hodnot 4, 5, nebo 6. V ostatních případech  $r$  není prvkem z množiny  $M$ . Grafickou reprezentaci tohoto příkladu můžete vidět na obrázku 11.



Obrázek 11 Příklad ostré množiny  
Zdroj: Peckol (2021)

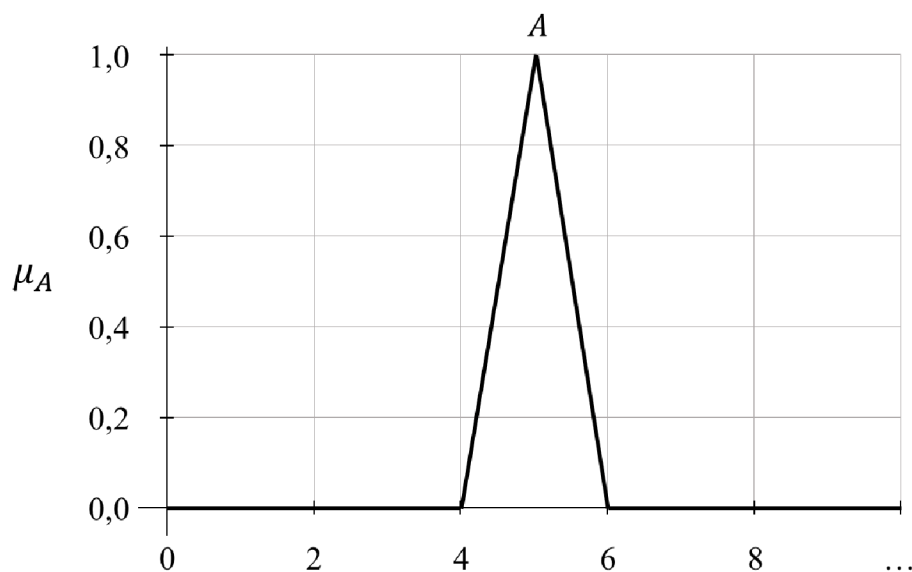
Z ilustračního příkladu i jeho grafické reprezentace je jasné, že  $r$  v dané množině buď je, nebo v množině není. Neexistuje nic mezi tím.

### 3.5.4 Fuzzy množiny

Peckol (2021) dále říká, že fuzzy množiny na rozdíl od ostrých množin neurčují přesnou hranici. Příslušnost k množině je zde odstupňována. Příkladem může být situace, kdy řekneme, že  $A$  je množina reálných čísel blízká pěti.

$A$  je v tomto případě fuzzy podmnožinou množiny reálných čísel a může být reprezentována pomocí funkce příslušnosti  $\mu_A$ . Hodnota  $\mu_A$  je poté rozsah nebo stupeň příslušnosti každého reálného čísla  $r$  v podmnožině čísel blízkých hodnotě 5. S takovou konstrukcí je zřejmé, že fuzzy podmnožiny odpovídají spojitě oceňované logice, a že jakýkoli prvek může mít různé stupně příslušnosti k podmnožině (Peckol, 2021).

Pokud řekneme, že čím blíže je  $r$  k 5, tím bližší by mělo být  $\mu_A(r)$  k 1,00 a naopak, mohla by vypadat funkce příslušnosti pro  $A$  například následovně (viz obrázek 12) (Peckol, 2021).



Obrázek 12 Možná podoba funkce příslušnosti

Zdroj: Peckol (2021)

Talašová (2003) potvrzuje výše uvedené a zároveň doplňuje pojmy popisující fuzzy množinu.

**„Definice 1.1.** *Necht' je dána množina  $U$ , tzv. univerzum. Pak fuzzy množina  $A$  na univerzu  $U$  je definována zobrazením*

$$\mu_A : U \rightarrow [0, 1] \quad (4)$$

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

*Současně, s ohledem na zjednodušení zápisu nebude dále funkci příslušnosti značenou jako  $\mu_A$ , ale jako  $A(\cdot)$ . Stupeň příslušnosti  $\mu_A(x)$  budeme poté tedy značit jako  $A(x)$ , kde  $x \in U$ .*

**Definice 1.2.** *Necht' je dána fuzzy množina  $A$  definovaná na univerzu  $U$  a reálné číslo  $\alpha \in [0,1]$ . Pak  $\alpha$ -řezem fuzzy množiny  $A$  nazýváme (ostrou) množinu*

$$A_\alpha = \{x \in U \mid A(x) \geq \alpha\}. \quad (5)$$

**Definice 1.3.** *Jádrem fuzzy množiny  $A$  na univerzu  $U$  rozumíme (ostrou) množinu*

$$\text{Ker}A = \{x \in U \mid A(x) = 1\}. \quad (6)$$

**Definice 1.4.** *Nosičem fuzzy množiny  $A$  na univerzu  $U$  nazýváme (ostrou) množinu*

$$\text{Supp}A = \{x \in U \mid A(x) > 0\}. \quad (7)$$

**Definice 1.5.** Výška  $\text{hgt}(A)$  fuzzy množiny  $A$  na univerzu  $U$  je definovaná formulí

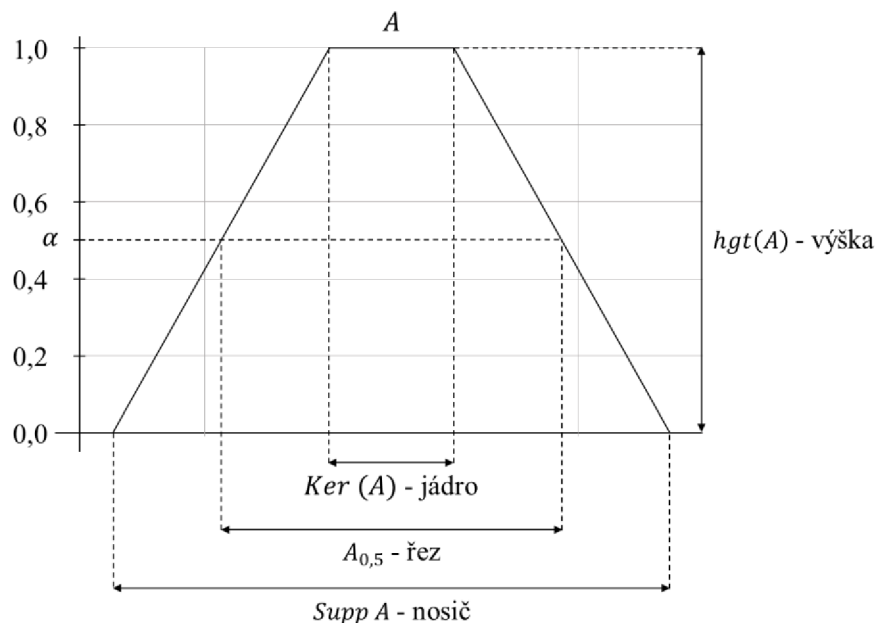
$$\text{hgt}(A) = \sup\{A(x) \mid x \in U\} \quad (8)$$

**Definice 1.6.** Fuzzy množina  $A$  na univerzu  $U$  se nazývá normální, jestliže

$$\text{Ker}A \neq \emptyset \quad (9)$$

(Talašová, 2003, s. 16).

Na obrázku 13 jsou znázorněny jednotlivé pojmy ve vztahu k fuzzy množině  $A$ .



Obrázek 13 Vybrané charakteristiky fuzzy množin  
Zdroj: Talašová (2003)

### 3.5.5 Fuzzy číslo

Jak uvádí Novák (2002) fuzzy čísla reprezentují hodnoty, které jsou nepřesné a představují tak speciální fuzzy množiny v množině reálných čísel. Nepřesnou hodnotou je přitom myšlena taková hodnota, kterou lze slovně charakterizovat například jako „přibližně  $r$ “, „asi  $r$ “ apod.

Taková čísla nejsou v reálném světě nic výjimečného. Měříme-li rozlohu bytu pomocí běžného metru, výsledkem pak může být například  $60 \text{ m}^2$ . To ale ve skutečnosti

znamená „zhruba 60 m<sup>2</sup>“. Naše měření je totiž hrubé a daná hodnota může být tedy rozdílná, například 60,01 m<sup>2</sup> apod. (Novák, 2002).

Talašová (2003) ve své publikaci definuje fuzzy číslo následovně.

**Definice 1.6.** Fuzzy množina  $A$  definovaná na množině reálných čísel  $\mathbb{R}$  se nazývá fuzzy číslo, pokud má následující vlastnosti:

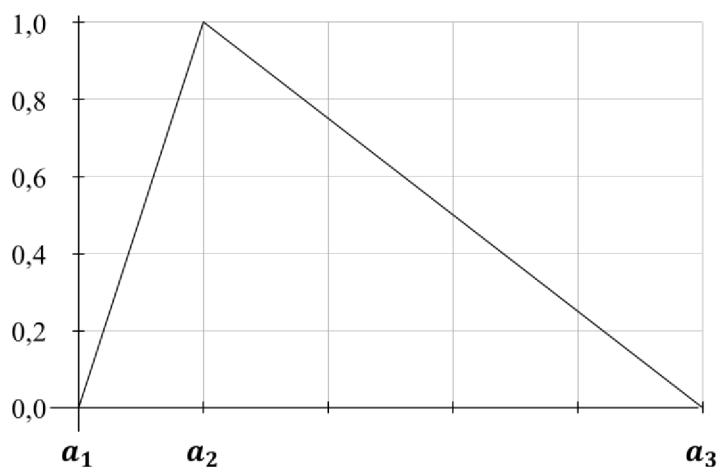
- 1)  $A$  je normální fuzzy množina,
- 2) Nosič  $SuppA$  je ohraničený,
- 3)  $\alpha$ -řezy  $A_\alpha$  jsou pro všechna  $\alpha \in (0, 1]$  uzavřené intervaly.

Jak tvrdí Novák (2002) speciálním a nejpoužívanějším typem fuzzy čísel jsou trojúhelníková fuzzy čísla. Klir a Yuan (1995) definují trojúhelníkové fuzzy číslo následovně.

**Definice 1.7.** Trojúhelníkové fuzzy číslo  $A$  je takové fuzzy číslo, kde  $a_1, a_2, a_3$  jsou reálná čísla, mezi kterými platí vztah  $a_1 \leq a_2 \leq a_3$  a jehož funkce příslušnosti je:

$$A(x, a_1, a_2, a_3) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} & \text{if } a_1 \leq x < a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2} & \text{if } a_2 < x \leq a_3 \\ 0 & \text{if } x > a_3 \end{cases} \quad (10)$$

Ilustrační příklad trojúhelníkového fuzzy čísla můžete vidět na obrázku 14.



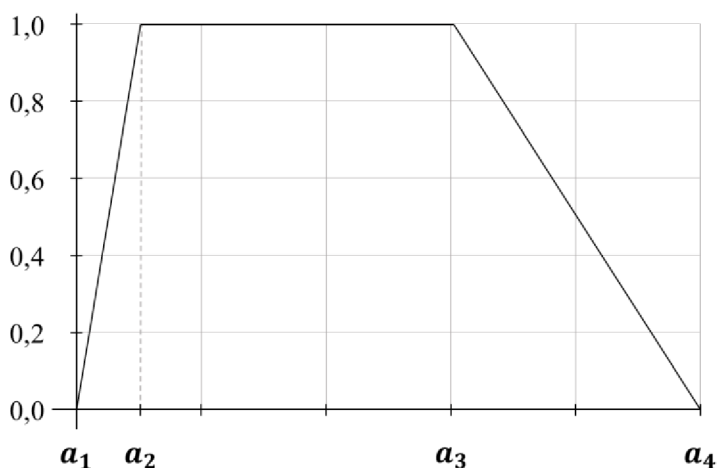
Obrázek 14 Trojúhelníkové fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Dalším, často používaným fuzzy číslem, je trapezoidní fuzzy číslo, které Klir a Yuan (1995) vymezují následovně.

**Definice 1.8.** Trapezoidní fuzzy číslo  $B$  je takové fuzzy číslo, kde  $b_1, b_2, b_3, b_4$  jsou reálná čísla, mezi kterými platí vztah  $b_1 \leq b_2 \leq b_3 \leq b_4$  a jehož funkce příslušnosti je:

$$B(x, b_1, b_2, b_3, b_4) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < b_1 \\ \frac{x - b_1}{b_2 - b_1} & \text{if } b_1 \leq x < b_2 \\ 1 & \text{if } b_2 \leq x \leq b_3 \\ \frac{b_4 - x}{b_4 - b_3} & \text{if } b_3 < x \leq b_4 \\ 0 & \text{if } x > b_4, \end{cases} \quad (11)$$

Ilustrační příklad trapezoidního fuzzy čísla můžete vidět na obrázku 15.



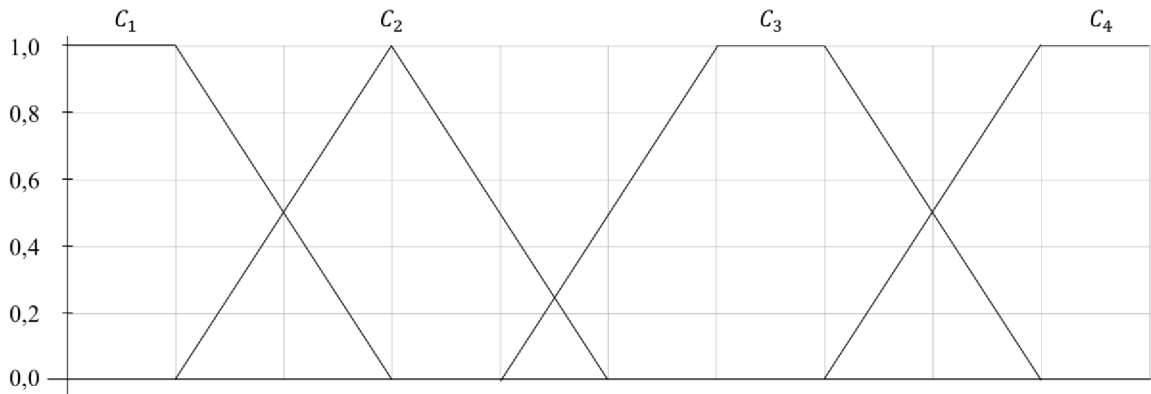
Obrázek 15 Trapezoidní fuzzy číslo

Zdroj: Vlastní zpracování

Jak doplňuje Talašová (2003), další speciální případ fuzzy čísla představuje číslo reálné, kde

$$b_1 = b_2 = b_3 = b_4.$$

Autorka současně rozšiřuje výčet různých typů fuzzy čísel o fuzzy čísla typu  $Z$  a fuzzy čísla typu  $S$ . Grafické znázornění těchto čísel můžete vidět na obrázku 16, kde  $C_1$  představuje možnou podobu fuzzy čísla typu  $Z$  a  $C_4$  představuje možnou podobu fuzzy čísla typu  $S$ .



Obrázek 16 Různé druhy lineárních fuzzy čísel  
Zdroj: vlastní zpracování

### 3.5.6 Určení funkce příslušnosti

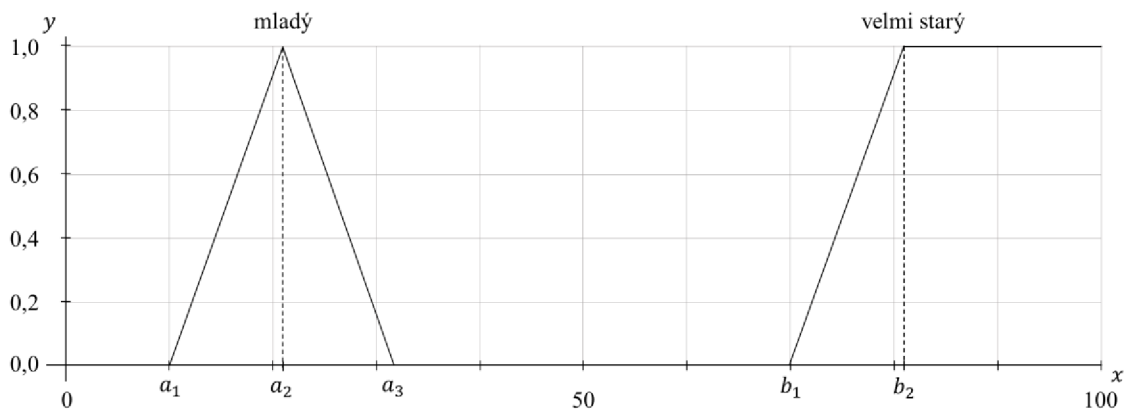
Podle Nováka (1986) existují dva přístupy k určení tvaru (funkce příslušnosti) fuzzy čísla:

- na základě expertních odhadů,
- na základě charakteristik prvků universa.

Přístupy na základě vnějších charakteristik prvků universa jsou aplikovány především v těch případech, kdy jsou fuzzy množiny použity pouze jako prostředek bez jazykového základu. Přístupy na základě expertních odhadů jsou poté aplikovány především při modelování sémantiky slov přirozeného jazyka (Novák, 1986).

V rámci obou výše zmíněných přístupů existuje mnoho metod, které se navzájem liší nejen přesností výstupů. Metoda Parametric specification, kterou popisuje Kuz'min (1981), je jednou z nejjednodušších obecně aplikovatelných metod k určení tvaru fuzzy čísla, které je přiřazeno určitému jazykovému termu. Metoda spočívá v tom, že na univerzu  $U$  danému termu přiřazuje tři body  $(a_1, a_2, a_3)$ . Bod  $a_2$  je bod, který s jistotou spadá pod daný term, tedy patří do dané fuzzy množiny se stupněm příslušnosti 1. Bod  $a_1$  vyjadřuje hranice vlevo, kdy daný bod do množiny ještě nepatří (stupeň příslušnosti 0) a bod  $a_2$  vyjadřuje naopak hranice vpravo, kdy daný bod do množiny už nepatří (stupeň příslušnosti 0). Funkci příslušnosti (tvar fuzzy čísla) poté dostaneme spojením přímkou bodu  $a_1$  s bodem  $a_2$  a bodu  $a_2$  s bodem  $a_3$ .

Autor uvádí příklad na lingvistických termech „mladý“ a „velmi starý“. V rámci příkladu je na ose  $x$  uveden počet let a na ose  $y$  stupeň příslušnosti.



Obrázek 17 Fuzzy vyjádření termů „mladý“ a „velmi starý“  
Zdroj: vlastní zpracování

Bod  $a_2$  na ose  $x$  představuje věk, který dle expertního odhadu s nejvyšší jistotou spadá pod pojem „mladý“. Obdobně, bod  $b_2$  na ose  $x$  představuje věk, který dle expertního odhadu s nejvyšší jistotou spadá pod pojem „velmi starý“. Hranice zleva a zprava pro jednotlivé výrazy jsou určeny body  $a_1$ ,  $b_1$  a  $a_3$ . Je důležité upozornit na fakt, že výraz „velmi starý“ nemá hranici zprava (bod  $b_3$ ). To znamená, že jakýkoliv věk nad věk označený bodem  $b_2$  spadá pod term „velmi starý“ se stupněm příslušnosti 1 (Kuz'min, 1981).

Konstrukcí funkce příslušnosti se dále zabývají například Novák (2002) nebo Chen a kol. (1992).

### 3.5.7 Aritmetické operace s fuzzy čísly

Funkce s fuzzy čísly a operace s fuzzy čísly jsou klasicky definovány na základě principu rozšíření, který popsal Zadeh jako přirozené rozšíření operací s crisp čísly (Ross, 2010).

Řekněme, že  $A = (a_1, a_2, a_3)$  a  $B = (b_1, b_2, b_3)$  jsou trojúhelníková fuzzy čísla. Poté lze dle Thakkar (2021) vymezit základní aritmetické operace na těchto číslech následovně:

Sčítání fuzzy čísel:

$$A + B = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3). \quad (12)$$

Odečítání fuzzy čísel:

$$A - B = (a_1 - b_3, a_2 - b_2, a_3 - b_1). \quad (13)$$

Násobení fuzzy čísel:

$$A \times B = (a_1 \times b_1, a_2 \times b_2, a_3 \times b_3), \quad a_1 \geq 0, b_1 \geq 0. \quad (14)$$



Násobení fuzzy čísla konstantou  $k$ :

$$k \times A = (k \times a_1, k \times a_2, k \times a_3), \quad k \in K, k \geq 0.73. \quad (15)$$

Dělení fuzzy čísel:

$$A \div B = (a_1/b_3, a_2/b_2, a_3/b_1), \quad a_1 \geq 0, b_1 \geq 0. \quad (16)$$

Komplexnější pohled na aritmetické operace s fuzzy čísly nabízí například Mareš (1997) nebo Syropoulos a Grammenos (2020).

### 3.5.8 Defuzzifikace fuzzy čísel

Typicky se v určitém okamžiku musí fuzzy výstup  $A$  převést na ostrý výstup  $z$ . Tato operace se nazývá defuzzifikace. Defuzzifikace má schopnost redukovat fuzzy čísla na jasnou nejčastěji jednohodnotovou veličinu (Alavala, 2008).

Defuzzifikaci lze také s nadsázkou vnímat jako formu zaokrouhlování, protože během ní s ohledem na použitou metodu dochází v menší nebo větší míře ke ztrátě informace (Alavala, 2008).

Existuje téměř nepřeberné množství různých metod defuzzifikace používaných k převodu fuzzy veličin na ostré veličiny. Mezi jedny z nejnámějších patří:

- FOM (First of Maxima),
- LOM (Last of Maxima),
- MOM (Middle of Maxima),
- COG (Center of Gravity).

Metody FOM, LOM a MOM představují například Leekwijck a Kerre (1999) dodávají, že patří mezi nejjednodušší metody defuzzifikace.

Metoda FOM je definována pouze pro universum s ordinálním měřítkem. Navíc vyžaduje, aby  $core(A)$  fuzzy čísla  $A$  mělo jediný nejmenší prvek a tento prvek vybere jako výslednou hodnotu defuzzifikace pro dané číslo (Leekwijck a Kerre, 1999).

$$FOM(A) = \min core(A) \quad (17)$$

Metoda LOM je definována rovněž pro universum s ordinálním měřítkem a vyžaduje, aby  $core(A)$  fuzzy čísla  $A$  mělo jediný největší prvek a tento prvek vybere jako výslednou hodnotu defuzzifikace pro dané číslo (Leekwijck a Kerre, 1999).

$$LOM(A) = \max core(A) \quad (18)$$

Metoda MOM je definována rovněž pro universum s ordinálním měřítkem a vybírá střední hodnotu mezi prvky s maximálním stupněm příslušnosti (Leekwijck a Kerre, 1999).

$$MOM(A) = \frac{FOM(A) + LOM(A)}{2} \quad (19)$$

Jak uvádějí Užga-Rebrovs a Kuļešova (2017) hlavní nevýhodou výše uvedených metod je, že defuzzifikovaná hodnota závisí pouze na hodnotách s extrémními hodnotami příslušnosti. Všechny ostatní hodnoty, které nejsou součástí  $core$  nejsou brány v úvahu a výsledek defuzzifikace tak může být do značné míry zkreslený.

Metoda COG jak popisují například Novák (2002) nebo Ross (2010) patří mezi nejpoužívanější metody defuzzifikace. Tato metoda vrací hodnotu středu plochy pod křivkou vytvořenou funkcemi příslušnosti.

Vzorec pro výpočet COG je

$$z = COG(A) = \frac{\int_{a_1}^{a_4} A(x)xdx}{\int_{a_1}^{a_4} A(x)dx} \quad (20)$$

Pokud je  $A$  trapezoidní fuzzy číslo určené čtveřicí bodů  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  poté pro výpočet COG tohoto fuzzy čísla platí vztah:

$$\begin{aligned} z = COG(A) &= \frac{\int_{a_1}^{a_4} A(x)xdx}{\int_{a_1}^{a_4} A(x)dx} \\ &= \frac{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} xdx + \int_{a_2}^{a_3} xdx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} xdx}{\int_{a_1}^{a_2} \frac{x - a_1}{a_2 - a_1} dx + \int_{a_2}^{a_3} 1dx + \int_{a_3}^{a_4} \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3} dx} = \\ &= \frac{\frac{a_2^2}{3} - \frac{a_1 a_2}{6} - \frac{a_1^2}{6} + \frac{a_3^2}{2} - \frac{a_2^2}{2} + \frac{a_4^2}{6} + \frac{a_4 a_3}{6} - \frac{a_3^2}{3}}{\frac{a_2}{2} - \frac{a_1}{2} + a_3 - a_2 + \frac{a_4}{2} - \frac{a_3}{2}} = \end{aligned} \quad (21)$$

$$= \frac{1}{3} \cdot \frac{a_4^2 + a_3^2 - a_2^2 - a_1^2 + a_4 a_3 - a_2 a_1}{a_4 + a_3 - a_2 - a_1}$$

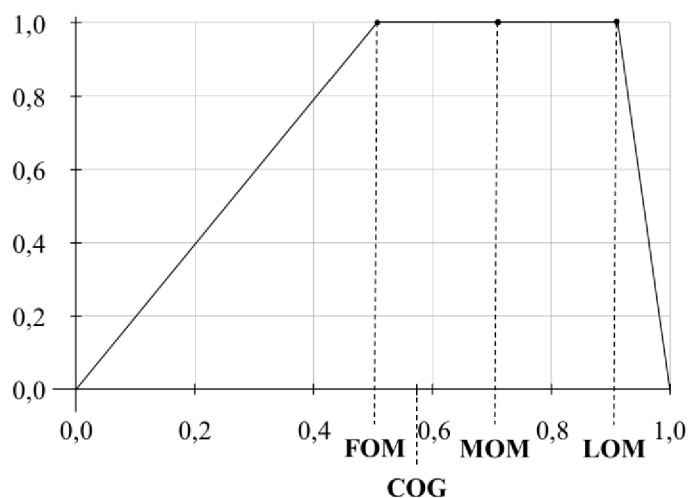
Pokud  $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$  poté  $\text{COG}(A) = a$ .

Výše uvedený vztah může být analogicky uplatněn i na fuzzy číslo trojúhelníkové určené trojicí bodů  $B = (b_1, b_2, b_3)$ :

$$z = \text{COG}(B) = \frac{1}{3} \cdot \frac{b_3^2 - b_1^2 + b_3 b_2 - b_2 b_1}{b_3 - b_1} \quad (22)$$

Pokud  $b_1 = b_2 = b_3$  poté  $\text{COG}(B) = b$ .

Každá z výše uvedených metod je vhodná pro nějaký druh aplikace, avšak žádná z nich nedokáže zabránit zmiňované ztrátě informace. Grafické znázornění možného rozdílu výsledků při použití jednotlivých metod najdete na obrázku 18.



Obrázek 18 Grafické znázornění metod defuzzifikace  
Zdroj: vlastní zpracování

### 3.5.9 Fuzzy lingvistické škály

Jak uvádí Talašová (2003), jazykovou proměnnou jsou jazykové termy interpretované jako fuzzy množiny na reálných číslech (nejčastěji jako fuzzy čísla). Každý stav této proměnné je tedy na jedné straně vyjádřen jazykově pomocí termů jako například „dobrý“, „malý“, „průměrný“ nebo „rozsáhlý“. Na druhé straně je vyjádřen pomocí fuzzy čísel, která popisují význam daných jazykových termů.

**Definice 1.9.** Jazyková proměnná je definována pomocí uspořádané pětice  $(V, T, U, G, M)$ , kde  $V$  je název jazykové proměnné,  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$  představuje množinu jejích jazykových hodnot,  $U$  je univerzum, na němž jsou definovány fuzzy množiny představující významy jazykových hodnot z  $T$  (většinou  $[0,1]$ ),  $G$  je syntaktické pravidlo pro generování jazykových hodnot a  $M$  je sémantické pravidlo pro přiřazování každého termínu ke správné fuzzy množině (fuzzy číslu) definovanému na  $U$  (Zhang, Phillis a Kouikoglou, 2005).

Jak uvádí Menold, Wolf, a Bogner (2018) hodnotící škála obvykle definuje odstupňování v rámci určitého celku, jako je souhlas, intenzita, frekvence nebo spokojenost.

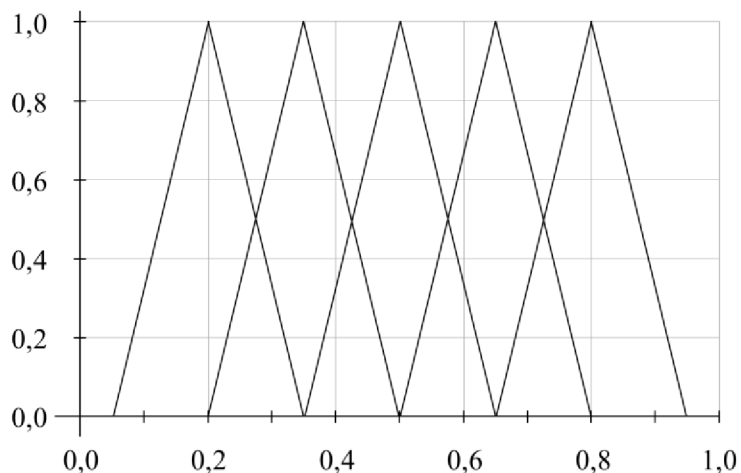
Preston a Colman (2000) uvádějí, že na základě jejich výzkumu respondenti nejvíce preferují desetibodovou škálu. Dodávají ale, že v časové tísní je vhodnější použít spíše tři nebo pětibodovou škálu, která umožňuje přehlednější a snadnější použití. Toto pravidlo se ale nedá užít obecně, a vždy záleží na konkrétním případě. Rodriguez, Martinez a Herrera (2012) doplňují, že nezáleží pouze na počtu lingvistických termů v rámci dané škály, ale i na distribuci lingvistických termů na škále, která může být symetrická nebo nesymetrická.

Základní postup související s definováním fuzzy lingvistické škály popisuje Talašová (2003) ve třech následujících krocích:

- 1) V prvním kroku je definována jazyková hodnotící škála. Jazykové škály se nejčastěji skládají ze tří až sedmi jazykových termů.
- 2) Význam zvolených jazykových termů je následně vyjádřen matematicky pomocí uspořádaných fuzzy čísel.
- 3) V posledním kroku je nutné rozhodnout, zda bude hodnotiteli umožněno vyjádřit menší či větší neurčitost zadaných hodnocení (např. „asi velký“ nebo „víceméně dobrý“). Pokud ano, je nutné použít rozvinutou nebo obohacenou jazykovou škálu. Rozvinuté a obohacené jazykové škály autorka dále přibližuje ve své publikaci.

#### Příklady jazykových fuzzy škál používaných v hodnocení

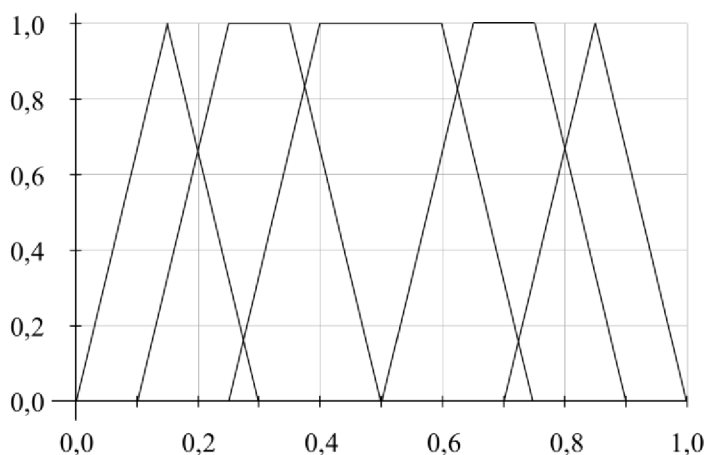
Většina fuzzy rozhodovacích modelů při hodnocení využívá rovnoměrnou fuzzy lingvistickou škálu, jako například Li, Yang a Xiang (2022) nebo Kahraman, Ertay a Büyüközkan (2006). Příkladem rovnoměrné fuzzy škály může být škála znázorněná na obrázku 19.



Obrázek 19 Rovnoměrná fuzzy škála  
Zdroj: vlastní zpracování

Zemková (2006), která se zabývá psychologií hodnocení navrhuje dvě varianty nerovnoměrných fuzzy škál.

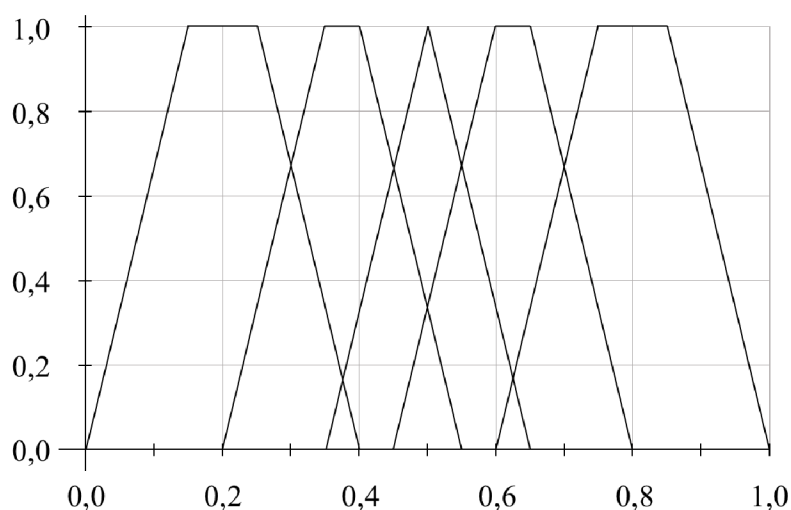
První druh nerovnoměrné fuzzy škály vychází z předpokladu, že lidé mají tendenci vyhýbat se extrémním hodnotám a raději volí střední hodnotu. Pokud respondent v takovém případě zvolí některou z krajních hodnot, předpokládá se, že si je svou odpovědí více jistý než člověk, který na škále volí střední stupeň. Na této škále má tedy největší neurčitost střední hodnota a směrem k extrémům se neurčitost snižuje (Zemková, 2006).



Obrázek 20 Nerovnoměrná fuzzy škála s nejvíce neurčitou střední hodnotou  
Zdroj: vlastní zpracování

Druhá varianta nerovnoměrní fuzzy lingvistické škály najde uplatnění tam, kde je žádoucí větší diferenciace kolem nejpravděpodobnější hodnoty. Je tedy opakem předchozí

varianty a za nejvíce neurčité považuje krajní hodnoty. Střední stupeň škály je poté považován za nejméně neurčitý (Zemková, 2006).



Obrázek 21 Nerovnoměrná fuzzy škála s nejvíce neurčitými krajními hodnotami  
Zdroj: vlastní zpracování

Zemková (2006) současně dodává, že typ použité fuzzy lingvistické škály pro potřeby modelu zcela závisí na povaze modelu. Fuzzy škála by také měla být konstruována ve spolupráci s expertem.

### 3.5.10 Fuzzy vícekriteriální hodnocení

Data vstupující do modelů vícekriteriálního hodnocení mohou být ve formě klasických ostrých čísel. Mohou mít však i charakter pravděpodobnostní či přibližný. V prvním případě je možné využít klasické přístupy, které jsou popsány v kapitole 3.4.4. V druhém případě je možné využít fuzzy množiny.

Pro řešení vícekriteriálních problémů pomocí fuzzy množin bylo navrženo mnoho metod. Přehled a srovnání těchto metod lze nalézt například v Chen a kol. (1992). Jak tvrdí Kaya, Çolak a Terzi (2019), fuzzy metody vícekriteriálního rozhodování umožňují získat realističtější výsledky v rozhodovacích problémech. Autoři také uvádějí, že primárně se používají různé fuzzy varianty metod AHP, ANP a TOPSIS.

Van Laarhoven a Pedrycz (1983) jako první navrhli fuzzy AHP přístup s využitím trojúhelníkových fuzzy čísel. V posledních letech se návrhem či zdokonalením fuzzy AHP zabývali například Zeng, An a Smith (2007) nebo Kutlu Gündoğdu a Kahraman (2019). Různé varianty fuzzy AHP jsou poté aplikovány na různé oblasti. Dwi Putra a kol. (2018)

fuzzy AHP využívají k určení kvality drahých kamenů. Rezaei, Fahim a Tavasszy (2014) se ve své práci zaměřují na využití fuzzy AHP při výběru dodavatelů u leteckých společností. Ju, Wang a Liu (2012) využívají fuzzy AHP v oblasti krizového řízení, kdy metodu aplikují na problematiku reakční doby.

Na rozdíl od metody AHP byla aplikace fuzzy množin v rámci metody ANP pozvolnější. Jak uvádí Mikhailov a Singh (2003), hlavním důvodem je, že agregační proces v rámci AHP je velmi jednoduchý a může být prováděn na intervalových nebo fuzzy lokálních prioritách, zatímco proces odvozování priorit supermatice v rámci metody ANP vyžaduje složité maticové operace na reálných číslech.

S Fuzzy množinami v rámci ANP pracují například Asan, Soyer a Serdarasan (2012) a dělí postup v rámci metody pět základních kroků, od párového porovnávání, které pracuje s lingvistickými vstupy, přes agregaci jednotlivých hodnocení, až po defuzzifikaci a řazení.

Fuzzy ANP využívá například Danai a kol. (2019) při hodnocení dodavatelů. Rahiminezhad Galankashi, Mokhtab Rafiei a Ghezelbash (2020) využívají fuzzy ANP při volbě portfolia.

Metodu TOPSIS o trojúhelníková fuzzy čísla rozšířil Chen (2000), který zároveň představil metodu pro výpočet vzdálenosti mezi dvěma trojúhelníkovými fuzzy čísly. Jako předchozí metody je i fuzzy TOPSIS užívána v mnoha oblastech. Taylan a kol. (2014) se zabývají aplikací fuzzy TOPSIS na oblast konstrukčních projektů. Sha a kol. (2021) aplikují fuzzy TOPSIS při rozhodování v krizových situacích.

Z práce Kahramana, Onara a Oztaysiho (2015) ale jasně vychází, že aplikace fuzzy množin se rozhodně netýká pouze metod AHP, ANP a TOPSIS. Mezi metody, které byly rozšířeny o fuzzy složku patří například ELECTRE, PROMETHEE, ORESTE nebo VIKOR.

Kromě toho se při řešení rozhodovacích problémů běžně používají i fuzzy modely rozhodování, které kombinují dvě nebo více fuzzy metod vícekriteriálního hodnocení. Například Chatterjee a Stević (2019) kombinují fuzzy AHP s fuzzy TOPSIS s cílem ohodnotit potenciální dodavatele. Sangaiah, Subramaniam a Zheng (2014) zase kombinují fuzzy DEMATEL a fuzzy TOPSIS k hodnocení v oblasti projektového řízení.

## 4 Vlastní práce

### 4.1 Princip transformace fuzzy čísel

V současnosti využívané postupy běžně neumožňují ve fázi fuzzy inference měnit tvar jednotlivých fuzzy čísel. Obvykle tak existují dvě fuzzy čísla A a B, mezi kterými probíhá interference, na základě které vznikne nové fuzzy číslo C. Příkladem může být práce Zhoua Yanga a Wanga (2015).

Princip transformace fuzzy čísel navržený v této práci umožňuje měnit jednotlivá fuzzy čísla nezávisle na jiných a využít výhod této transformace v rámci dále navrženého postupu pro vícekritériální hodnocení v krizových situacích.

Řekněme, že existuje trojúhelníkové fuzzy číslo  $A = (a_1, a_2, a_3)$  a reálné číslo  $\alpha \in [0,1]$ .

**Definice:** Transformace trojúhelníkového fuzzy čísla  $A = (a_1, a_2, a_3)$  dle hodnoty  $\alpha$  je nové fuzzy číslo  $A_\alpha = (a_1, a_{2\alpha}, a_{3\alpha}, a_4)$ , kde prvek  $a_1$  zůstává stejný a prvek  $a_3$  z původního trojúhelníkového fuzzy čísla se stává prvkem  $a_4$  nového transformovaného fuzzy čísla. Hodnoty prvku  $a_{2\alpha}$  a hodnoty prvku  $a_{3\alpha}$  se poté spočítají na základě vzorce (23) a (24).

$$a_{2\alpha} = a_1 + \alpha \times (a_2 - a_1) \quad (23)$$

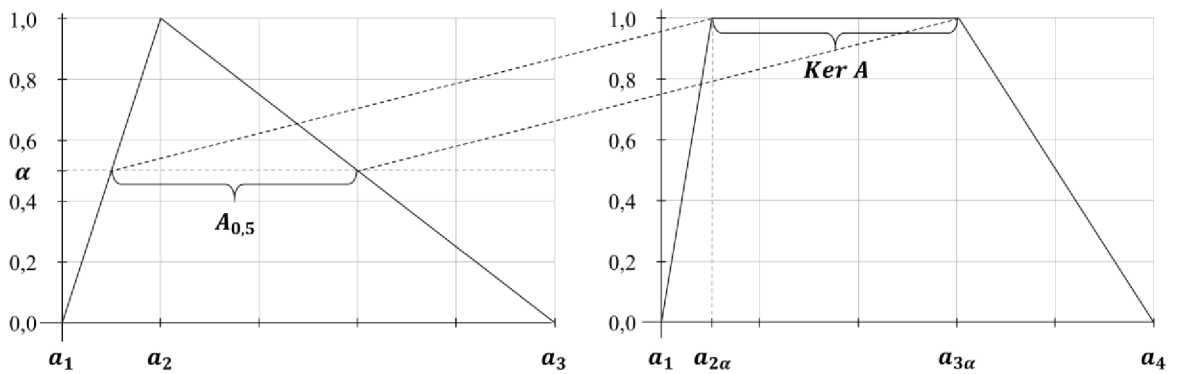
$$a_{3\alpha} = a_3 - \alpha \times (a_3 - a_2) \quad (24)$$

Jinými slovy, uplatňuje se následující rovnost:

$$A_\alpha = (a_1, a_{2\alpha}, a_{3\alpha}, a_4) = (a_1, a_1 + \alpha \times (a_2 - a_1), a_3 - \alpha \times (a_3 - a_2), a_3). \quad (25)$$

Nové trapezoidní fuzzy číslo bude mít kernel roven  $\alpha$ -řezu původního trojúhelníkového fuzzy čísla A. Na obrázku 22 najdete grafickou reprezentaci popsané transformace fuzzy čísel.





Obrázek 22 Transformace trojúhelníkového fuzzy čísla na trapezoidní fuzzy číslo

Zdroj: vlastní zpracování

Pomocí principu transformace je navíc možné transformovat nejen trojúhelníkové fuzzy číslo, ale i jiná fuzzy čísla lineárního charakteru.

Transformace trapezoidního fuzzy čísla by probíhala obdobně. Řekněme, že existuje trapezoidní fuzzy číslo  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  a reálné číslo  $\alpha \in [0,1]$ .

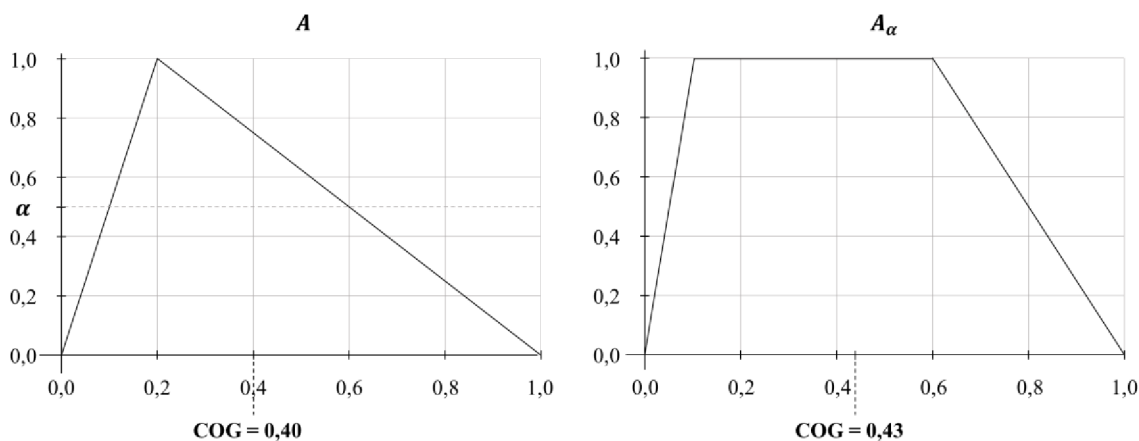
**Definice:** Transformace trapezoidního fuzzy čísla  $A = (a_1, a_2, a_3, a_4)$  dle hodnoty  $\alpha$  je nové fuzzy číslo  $A_\alpha = (a_1, a_{2\alpha}, a_{3\alpha}, a_4)$ , kde prvky  $a_1$  a  $a_4$  zůstávají stejné a prvek  $a_3$  a hodnoty prvku  $a_{2\alpha}$  a hodnoty prvku  $a_{3\alpha}$  se poté spočítají na základě vzorce (23) a (26).

$$a_{3\alpha} = a_4 - \alpha \times (a_4 - a_3) \quad (26)$$

Obecně platí, že čím menší je hodnota  $\alpha$ , tím větší je efekt transformace na dané fuzzy číslo. A samozřejmě obráceně, čím vyšší je hodnota  $\alpha$ , tím menší je efekt transformace na dané fuzzy číslo. V případě, kdy  $\alpha$  odpovídá maximální míře příslušnosti daného fuzzy čísla, je efekt transformace na dané fuzzy číslo nulový.

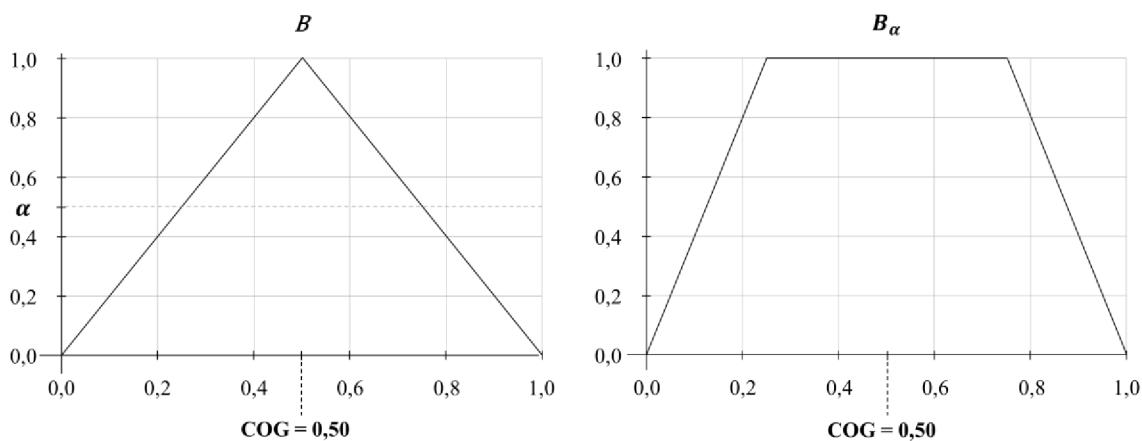
Pro efekt transformace je klíčový i tvar fuzzy čísla, a to především ve vztahu k pozdější defuzzifikaci. Transformace fuzzy čísla, které mají symetrický tvar mohou mít stejnou výslednou hodnotu po defuzzifikaci, jakou mělo číslo původní.

Příkladem může být trojúhelníkové fuzzy číslo  $A$  s hodnotami  $(0,00; 0,20; 1,00)$ , kdy po transformaci dle  $\alpha = 0,5$  vznikne nové trapezoidní fuzzy číslo  $A_\alpha$  s hodnotami  $(0,00; 0,10; 0,60; 1,00)$ . Při použití defuzzifikační metody COG by výsledná hodnota pro fuzzy číslo  $A$  byla 0,40 a pro fuzzy číslo  $A_\alpha$  by byla 0,43. Výsledné hodnoty defuzzifikace by pro fuzzy čísla  $A$  a  $A_\alpha$  byly rozdílné. Transformace fuzzy čísla by tedy měla efekt na výslednou defuzzifikaci. Grafické znázornění můžete vidět na obrázku 23.



Obrázek 23 Efekt transformace fuzzy čísla A  
Zdroj: vlastní zpracování

V případě, že bychom jako trojúhelníkové fuzzy číslo zvolili číslo B s hodnotami  $(0,00; 0,50; 1,00)$ , tak po transformaci dle  $\alpha = 0,5$  vznikne nové trapezoidní fuzzy číslo  $B_\alpha$  s hodnotami  $(0,00; 0,25; 0,75; 1,00)$ . Při použití defuzzifikační metody COG by výsledná hodnota pro fuzzy číslo B byla 0,50 a pro fuzzy číslo  $B_\alpha$  by byla 0,50. Výsledné hodnoty defuzzifikace by pro fuzzy čísla B a  $B_\alpha$  byly shodné. Transformace fuzzy čísla by tedy neměla na výslednou defuzzifikaci efekt. Grafické znázornění můžete vidět na obrázku 24.



Obrázek 24 Efekt transformace fuzzy čísla B  
Zdroj: vlastní zpracování

Stejného výsledku defuzzifikace, tedy rozdílných hodnot u fuzzy čísel A a  $A_\alpha$  a shodných hodnot u fuzzy čísel B a  $B_\alpha$ , bychom dosáhli například při použití defuzzifikační metody MOM. Rozdílné hodnoty po defuzzifikaci u fuzzy čísel B a  $B_\alpha$  by byly ale generovány například při použití defuzzifikačních metod FOM nebo LOM.

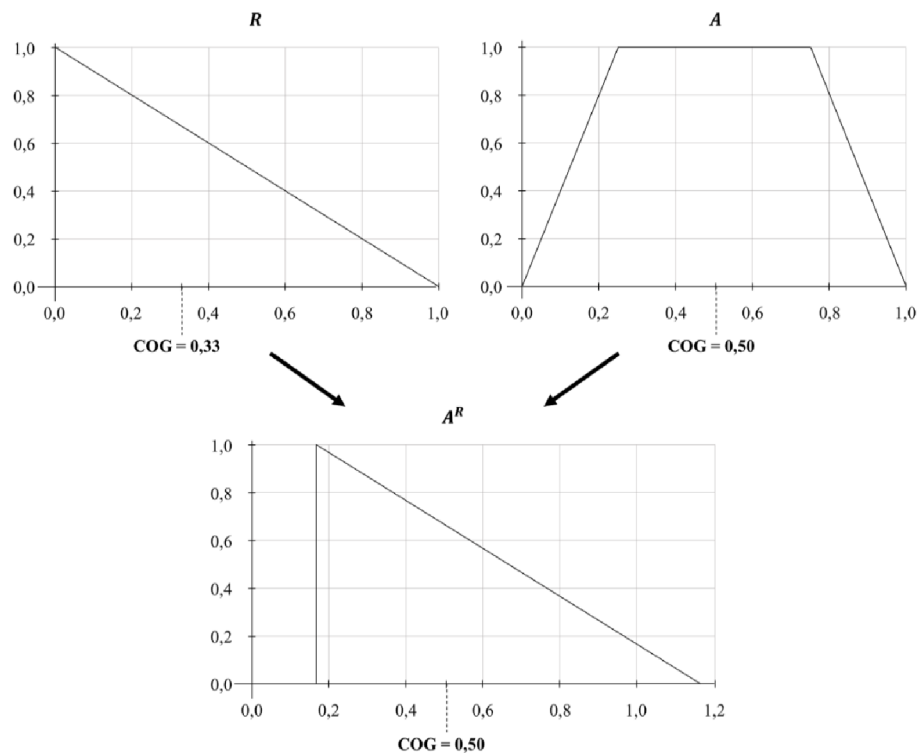
## 4.2 Princip nahrazení fuzzy čísel

V současnosti využívané postupy nenahrazují ve fázi fuzzy inference určitá fuzzy čísla jinými fuzzy čísly. Princip nahrazení fuzzy čísel navržený v této práci umožňuje vytvořit nové fuzzy číslo dle tvaru funkce příslušnosti jednoho fuzzy čísla a současně dle umístění jiného fuzzy čísla na ose  $x$ .

Řekněme, že existují trojúhelníková fuzzy čísla  $A = (a_1, a_2, a_3)$  a  $R = (r_1, r_2, r_3)$ , kde  $R$  je substitučním fuzzy číslem.

**Definice:** Nahrazením fuzzy čísla  $A = (a_1, a_2, a_3)$  substitučním fuzzy číslem  $R = (r_1, r_2, r_3)$  vznikne nové fuzzy číslo  $A^R = (a_1^R, a_2^R, a_3^R)$  tak, že se tvar fuzzy čísla  $R$  umístí na pozici fuzzy čísla  $A$  určenou pomocí COG, přičemž musí platit, že  $COG^A = COG^{A^R}$ . Hodnotu prvků fuzzy čísla  $A^R$  spočítáme pomocí vzorce (27).

$$A^R = (a_1^R, a_2^R, a_3^R) = (r_1 - COG(R) + COG(A), r_2 - COG(R) + COG(A) + COG(A), r_3 - COG(R) + COG(A)) \quad (27)$$



Obrázek 25 Výběr substitučního fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

Jinými slovy, výsledné fuzzy číslo  $A^R$  přebírá pozici dle hodnoty COG fuzzy čísla  $A$  a tvar fuzzy čísla  $R$ . Ilustrační příklad popsaného nahrazení fuzzy čísel je uveden na obrázku 25.

### 4.3 Návrh metody vícekriteriálního hodnocení

Tato část vychází z dřívějších publikací autora a v této části bude do detailu popsána nová fuzzy metoda vícekriteriálního hodnocení variant, která využívá uvedený princip transformace fuzzy čísel.

#### 4.3.1 Konstrukce modelu

##### *Krok K0: Výběr variant*

Tento krok spočívá ve výběru  $m$  variant, které rozhodovatel při svém rozhodování zvažuje.

##### *Krok K1: Výběr hlavních a podpůrných kritérií*

V rámci tohoto kroku dochází k výběru  $n$  hlavních a  $p$  podpůrných kritérií, pomocí kterých budou varianty, vybrané v rámci předchozího kroku, hodnoceny.

Hlavní kritéria hrají klíčovou roli a tvoří základ pro hodnocení jednotlivých variant a na něm založeném rozhodnutí. Na základě podpůrných kritérií dochází ke korekci a upřesnění hodnocení, realizovaného na základě hlavních kritérií tak, aby bylo výsledné hodnocení co nejpřesnější.

##### *Krok K2: Výběr lingvistických škál*

V druhém kroku by měly být vytvořeny následující lingvistické škály:

- Škály pro slovní ohodnocení variant dle hlavních kritérií s přiřazením lineárních fuzzy čísel k odpovídajícím lingvistickým termům.
- Škály pro slovní ohodnocení variant dle podpůrných kritérií s přiřazením příslušné hodnoty  $\alpha$ , k odpovídajícím lingvistickým termům. Dle dané hodnoty  $\alpha$  poté bude docházet k transformaci fuzzy čísel (viz kapitola 4.1).

S ohledem na dále popsané matematické operace v rámci metody je vhodnější, aby na fuzzy lingvistické škále nebyla použita krajní fuzzy čísla typu  $Z$  a  $S$ . Především způsob zvolené defuzzifikace by v takovém případě mohl vést ke zkreslení. To se samozřejmě nevztahuje na situace, kdy by takovéto zkreslení bylo pro rozhodovatele žádoucí a krajní fuzzy čísla (a případně s nimi související lingvistické termy) by v rámci dané škály bylo potřeba od zbylých fuzzy čísel odlišit.

#### *Krok K3: Výběr substitučního fuzzy čísla*

V rámci tohoto kroku bude vybráno fuzzy číslo  $R_k$  nazývané substituční fuzzy číslo, jehož tvar reflektuje vliv podpůrného kritéria na výsledné hodnocení.

$$R_k = (r_{k1}, r_{k2}, r_{k3}), k = 1, \dots, p,$$

kde  $p$  je počet podpůrných kritérií.

Přesněji, substituční fuzzy číslo  $R_k$  bude později v souladu s principem nahrazení fuzzy čísel (viz kapitola 4.2) nahrazovat fuzzy číslo  $S_k^i$  vzešlé z hodnocení na základě hlavních kritérií. Tím vznikne nové fuzzy číslo  $S_k^{Ri}$ .

### **4.3.2 Realizace hodnocení**

#### *Krok R1: Primární hodnocení varianty*

Prvotní hodnocení varianty  $i$  probíhá na základě hlavního kritéria  $j$  za použití předem stanovené fuzzy lingvistické škály. Variantě je přiřazen lingvistický pojem  $H_j^i$ , z dané lingvistické škály pro ohodnocení hlavního kritéria, kterému odpovídá předem určené fuzzy číslo  $Y_j^i$ ,

$$Y_j^i = (y_{j1}^i, y_{j2}^i, y_{j3}^i), i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n,$$

kde  $m$  je počet variant a  $n$  je počet hlavních kritérií.

#### *Krok R2: Syntéza hodnocení na základě hlavních kritérií*

Syntéza  $S_1^i$  prvotního hodnocení varianty  $i$  je spočítána jako součet fuzzy hodnocení dle zvolených hlavních kritérií.

$$S_1^i = \sum_{j=1}^n Y_j^i, i = 1, \dots, m \quad (28)$$

Syntézy založené na aditivní agregaci se běžně používá při rozhodování dle více kritérií (Meier, 1997; Herrera-Viedma a kol., 2007).

*Krok R3: Defuzzifikace  $S_k^i$*

V rámci tohoto kroku proběhne defuzzifikace metodou COG

$$COG(S_k^i), i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p$$

pro výsledné fuzzy číslo

$$S_k^i, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p,$$

kde  $p$  je počet podpůrných kritérií  $k$ .

Tento a následující kroky (až do kroku 8) se opakují pro každé podpůrné kritérium  $k$ ,  $k = 1, \dots, p$ . To znamená, že pro každou z variant proběhne celkem  $p$  iterací dle podpůrných kritérií (viz obrázek 26).

*Krok R4: Nahrazení fuzzy čísla  $S_k^i$*

V tomto kroku je fuzzy číslo

$$S_k^i, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p$$

nahrazeno substitučním fuzzy číslem

$$R_k = (r_{k1}, r_{k2}, r_{k3}), k = 1, \dots, p$$

za použití vzorce 10. Tím vznikne nové fuzzy číslo

$$S_k^{Ri}, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p$$

*Krok R5: Sekundární hodnocení*

Sekundární hodnocení varianty  $i$  probíhá na základě podpůrného kritéria  $k$  na předem připravené lingvistické fuzzy škále  $P_k^i$  s přiřazenými hodnotami  $\alpha$

$$\alpha_k^i, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p.$$

*Krok R6: Transformace substitučního fuzzy čísla*

Transformace substitučního fuzzy čísla

$$S_k^{Ri}, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p$$

na nové transformované fuzzy číslo

$$S_k^{Ti}, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, p$$

Transformace je provedena za použití vzorců 5 a 6, kde substituční fuzzy číslo  $S_k^{Ri}$  je transformováno dle příslušné hodnoty  $\alpha$ , která vyplynula ze sekundárního hodnocení. Princip transformace je podrobně popsán v kapitole 4.1.

*Krok R7: Iterace pro podpůrné kritérium*

Proces nahrazování a transformace musí být realizován  $p$  – krát, protože existuje celkem  $p$  podpůrných kritérií.

Přesněji, pokud  $k < p$ , poté přejděte ke kroku „krok 3“ a pokračujte v po něm následujících krocích. Přitom platí, že pokud existuje více než jedno podpůrné kritérium, uplatňuje se následující rovnost:

$$S_{k+1}^i = S_k^{Ti}, k = 1, \dots, p - 1. \quad (29)$$

Pokud  $k = p$ , poté přejděte ke kroku krok 8.

*Krok R8: Defuzzifikace výsledného fuzzy čísla*

Je spočítáno těžiště

$$COG(S_p^{Ti}), i = 1, \dots, m$$

konečného transformovaného fuzzy čísla  $S_p^{Ti}$  pro danou variantu.

*Krok R9: Přepočítání na škálu*

Přepočítání výsledných hodnot  $COG(S_p^{Ti})$  na škálu (0 – 1) je principiálně založen na stejném postupu jako výpočet užítku variant v rámci metody váženého součtu popsané v kapitole 3.4.4.

$$F^i = \frac{COG(S_p^{Ti}) - COG(S_p^{max})}{COG(S_p^{min}) - COG(S_p^{max})}, i = 1, \dots, m. \quad (30)$$

$S_p^{max}$  představuje nejvyšší teoreticky dosažitelnou hodnotu při dané konstrukci modelu a  $S_p^{min}$  představuje naopak nejnižší teoreticky dosažitelnou hodnotu při dané konstrukci modelu. Spočítá se pomocí stejného postupu, jakým probíhá hodnocení variant, ale vždy se použijí nejhorsí/nejllepší možné lingvistické termy (v závislosti na nastavení škály) pro ohodnocení dle daných kritérií.

*Krok R10: Iterace pro počet variant*

Celý dosavadní proces hodnocení popsany v krocích 1 až 9 musí být realizován  $m$  – krát, protože existuje celkem  $m$  variant.

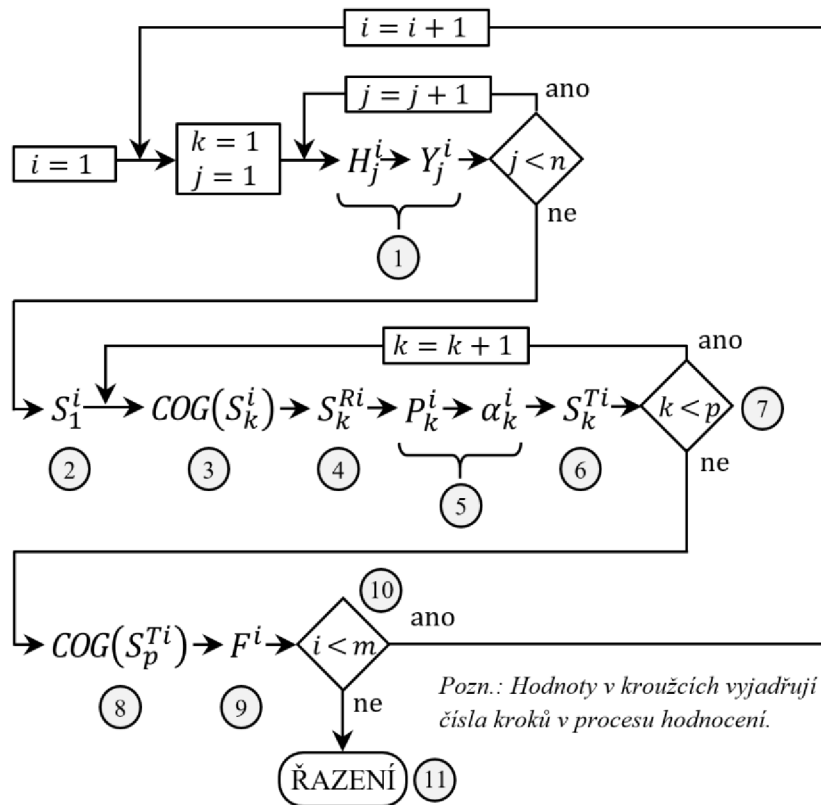
Přesněji, pokud  $i < m$ , poté přejděte ke kroku 1, jinak pokračujte ke kroku 11.

*Krok R11: Řazení variant*

Jednotlivé varianty budou seřazeny dle výsledných hodnot sestupně nebo vzestupně v závislosti na preferenci rozhodovatele.

Zjednodušený pohled na celý proces realizace hodnocení je znázorněn na obrázku 26.





Obrázek 26 Proces realizace hodnocení  
Zdroj: vlastní zpracování

## 4.4 Aplikace navržené metody ve vybraných oblastech krizového řízení

### 4.4.1 Výběr oblastí v rámci procesu krizového řízení

Kapitoly 3.1 a 3.2 uvádějí různé fáze krizového řízení a různé druhy krizových situací s konkrétními příklady. Je možné říci, že navržená metoda je použitelná v široké škále rozhodovacích problémů krizového řízení.

Pro ověření funkčnosti a aplikovatelnosti navržené metody fuzzy vícekritériálního hodnocení variant, byly s ohledem na různorodost vybrány následující oblasti týkající se problematiky krizového řízení:

- hodnocení rizik,
- hodnocení mimořádných událostí,
- hodnocení průjezdnosti tras.

Jak potvrzují Antušák a Vilášek (2016), hodnocení rizik je součástí preventivních aktivit a je klíčové například pro realizaci činností cílících na zabránění eskalace hrozeb do

krizových situací nebo omezení působení případných škod, způsobených potenciální krizovou situací.

Hodnocení mimořádné situace a hodnocení průjezdnosti tras by se dalo zařadit do fáze redukce, kdy dochází k aktivní realizaci krizových plánů a realizaci záchranných opatření.

#### **4.4.2 Volba vhodných fuzzy škál pro případové studie**

V případových studiích jsou použity vždy minimálně třístupňové a maximálně pětistupňové škály v souladu s doporučeními Prestona a Colmana (2000). Takové škály umožňují rychlou odpověď a šetří čas, který během krize hraje klíčovou roli (viz kapitola 3.4.3).

Jak zdůrazňuje Krosnicka (2017) škály by měly využívat jednoduché, přímé a srozumitelné lingvistické výrazy, a naopak by se měly vyhýbat žargonu. Krizové situace a stres s nimi spojený má negativní vliv na kognitivní funkce (Jin, 2009; Kyutoku a kol., 2012; Boin, Hart a Kuipers, 2017). Jednoduchost a srozumitelnost škál je proto zásadní.

I když Montagni a kol. (2019) uvádí, že odpověď „nevím“ za sebou může také skrývat cenné informace, pro potřeby navržených případových studií nebudeme možnost „nevím“ zahrnovat do hodnotící škály. V krizových situacích je často nutné rozhodnutí učinit i s nedostatkem informací, které by možná za normálních okolností opravňovaly respondenta k volbě zmiňované varianty „nevím“.

Škály použité v případových studiích budou mít vždy lichý počet stupňů. Colman, Norris a Preston (1997) lichý počet stupňů preferují, protože umožňuje existenci střední hodnoty. Ta dává možnost osobě, která skutečně zastává neutrální pozici tuto pozici vyjádřit. Nenutí tak danou osobu, aby si vybrala jednu ze stran. Krosnick (1991) dokonce užití škál s lichým počtem stupňů doporučuje. Nadler, Weston a Voyles (2015) sice upozorňují na možné zneužívání střední hodnoty, u navržené metody by ale nemělo docházet k hromadnému sběru dat a odpovídat by měli vždy profesionálové, kteří si uvědomují dopady nezodpovědného hodnocení.

Lingvistické termíny mohou být uspořádány buď ve vzestupném nebo sestupném pořadí. Toto by dle Menold a Bogner (2016) nemělo mít efekt na kvalitu výstupů.

Konstrukce fuzzy lingvistických škál (funkce příslušnosti fuzzy čísel) by měla vycházet z odhadů a úvah expertů, tak jak navrhuje Novák (1986). Ten říká, že expertní

odhady jsou vhodné u modelování sémantiky slov přirozeného jazyka. Toto tvrzení podporuje faktem, že chápání významu slov je do jisté míry u všech lidí stejné.

Trojúhelníková fuzzy čísla jsou nejběžněji užívanou formou fuzzy čísel, a to především kvůli své výpočetní jednoduchosti (Bire, Kasse a Bire, 2021). Toto potvrzuje i Li (2013), který říká, že nejčastěji používanou funkcí příslušnosti je rovnoměrně rozložená trojúhelníková funkce. V rámci fuzzy lingvistických škál budou pro potřeby případových studií využívána právě trojúhelníková fuzzy čísla. Škály tedy nebudou využívat fuzzy čísla typu  $Z$  a typu  $S$  (viz kapitola 3.5.5.). Důvodem je nejen výpočetní jednoduchost, ale i jednoduše a v případě potřeby i možnost posunutí fuzzy škály tak, aby nebylo nutné počítat s nulou. Takovéto fuzzy škály ve svých pracích používají například Yalcin, Bayrakdaroglu a Kahraman (2012) nebo Lin a Yeh (2012).

#### **4.4.3 Případová studie - Hodnocení rizik u vybrané farmy**

Tato případová studie vychází z předchozí publikace Škoda, Brožová a Flegl (2022) a byla vytvořena ve spolupráci s majitelem ekologické farmy v České republice, která se zaměřuje především na rostlinnou výrobu. Velikost farmy je přibližně 23 ha. V průměru na farmě pracují tři stálí a několik sezónních zaměstnanců. Plodiny jsou distribuovány především do místních obchodů a na trhy.

##### Konstrukce modelu

V rámci kroku K0 byly vybrány pouze základní typy rizik, kterým farma čelí, aby byl umožněn obecný a jednoduchý pohled na aplikaci problematiky rizik v rámci navržené metody. Konkrétně se jedná o pět základních typů rizik ( $m = 5$ ), které jsou uvedeny níže a popisují je ve svých publikacích například Komarek, Pinto a Smith (2020), Girdžiūtė (2012) nebo Hardaker a kol. (2004).

- Produkční rizika – vznikají z nejistoty ve vztahu k rostlinné nebo živočišné výrobě a nepředvídatelnosti počasí. Tato rizika nejčastěji vznikají z důvodu výskytu škůdců a chorob, nebo z řady dalších nepředvídatelných faktorů.
- Tržní rizika – rizika růstu cen vstupů nebo poklesu cen výstupů. Mezi zdroje kolísání cen zemědělských komodit patří např. kolísání cen energií. Kromě toho jsou ceny zemědělské produkce jen zřídka známe v době, kdy se zemědělec rozhoduje o nové výsadbě, rozšíření farmy atd.

- Institucionální rizika – souvisí s nepředvídatelnými změnami v předpisech a politikách, které ovlivňují zemědělství. Mezi institucionální rizika patří také riziko nedodržení smluvních ujednání nebo obdržení podpory po splatnosti. Institucionální rizika mohou také zahrnovat legislativu o nakládání se zvířecím hnojem, zvýšení daně z příjmu, přísnější pravidla pro dotace nebo nová omezení používání pesticidů.
- Personální rizika – týkají se především rizika zranění/úmrtní farmářů nebo jejich zaměstnanců a rizika selhání managementu i řadových zaměstnanců při výkonu své práce. Konkrétně do této kategorie rizik může patřit nedbalost ze strany zemědělských pracovníků při manipulaci se zvířaty, negativní účinky na lidské zdraví způsobené pesticidy, přenos nemocí mezi hospodářskými zvířaty a lidmi atd.
- Finanční rizika – vyplývají ze způsobu financování farem. Nejčastějším příkladem finančních rizik jsou změny v dostupnosti úvěrů, úrokových sazeb, změny úvěrových podmínek, ale také například nedostatečná likvidita.

V rámci kroku K1 byla vybrána jako dvě hlavní kritéria ( $n = 2$ ):

- míra dopadu,
- pravděpodobnost výskytu.

Hodnocení rizik na základě těchto dvou kritérií je běžné a jejich použití ve svých publikacích zmiňují například Smejkal a Rais (2013) nebo Girling (2022).

Jako podpůrné kritérium bylo zvoleno kritérium důvěra v hodnocení ( $p = 1$ ), na základě, kterého je vyjádřena víra respondenta ve správnost svého hodnocení dle hlavních kritérií. Roli důvěry a její důležitost ve vztahu k hodnocení rizik zdůrazňují například Bloomfield, Littlewood a Wright (2007).

Dále jsou, dle kroku K2, vytvořeny následující škály, jejichž sestavení vychází z kapitoly 4.4.2. Škály jsou pětistupňové a rovnoměrné v souladu se škálami používanými Fouladgarem, Yazdani-Chamzinim a Zavadskasem (2012) nebo Nlenanyanem a Smadiem (2018).

Fuzzy lingvistická škála uvedená v tabulce 4, je určena pro hodnocení variant na základě hlavního kritéria pravděpodobnost výskytu. Fuzzy lingvistická škála uvedená v tabulce 5, je určena pro hodnocení variant na základě hlavního kritéria míra dopadu.

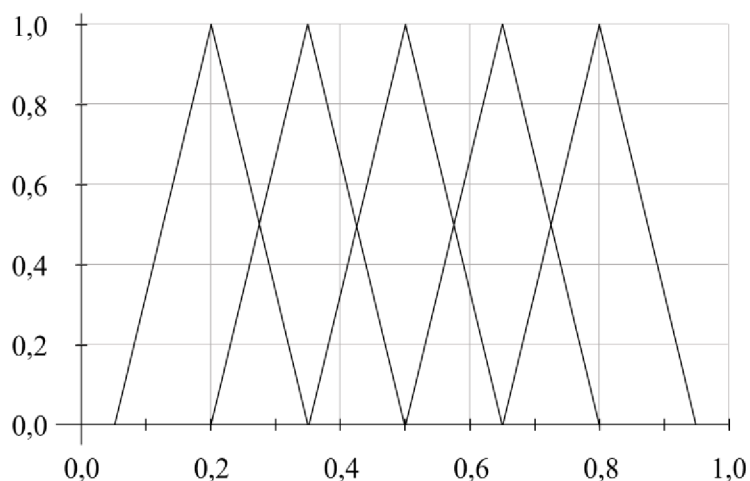
Samotná trojúhelníková fuzzy čísla jsou u obou škál shodná, liší se pouze v lingvistických termech, které vycházejí z publikace Smejkal a Rais (2013).

Pravděpodobnost ( $H_1^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_1^i$ )
1. Nepravděpodobné	(0,05; 0,20; 0,35)
2. Málo pravděpodobné	(0,20; 0,35; 0,50)
3. Příležitostné	(0,35; 0,50; 0,65)
4. Časté	(0,50; 0,65; 0,80)
5. Velmi časté	(0,65; 0,80; 0,95)

Tabulka 4 Škála pro pravděpodobnost výskytu rizika  
Zdroj: vlastní zpracování

Dopad ( $H_2^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_2^i$ )
1. Nezávažný	(0,05; 0,20; 0,35)
2. Málo závažný	(0,20; 0,35; 0,50)
3. Závažný	(0,35; 0,50; 0,65)
4. Velmi závažný	(0,50; 0,65; 0,80)
5. Katastrofický	(0,65; 0,80; 0,95)

Tabulka 5 Škála pro míru dopadu rizika  
Zdroj: vlastní zpracování



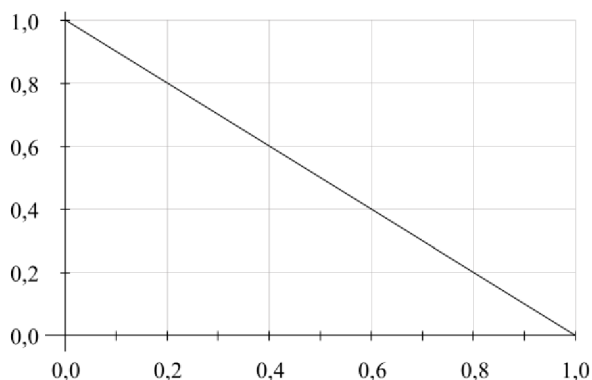
Obrázek 27 Grafické znázornění fuzzy škály přiřazené hlavním kritériím  
Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce 6 je uvedena poslední lingvistická škála s přiřazenými hodnotami  $\alpha$ , která je určena k hodnocení jednotlivých variant na základě podpůrného kritéria důvěra v hodnocení.

Důvěra ( $P_1^i$ )	Hodnota $\alpha$ ( $\alpha_1^i$ )
Velice nízká	0,00
Nízká	0,25
Střední	0,50
Vysoká	0,75
Velmi vysoká	1,00

Tabulka 6 Škála pro výskyt rizika  
Zdroj: vlastní zpracování

Dle kroku K3 v rámci konstrukce modelu bylo pro potřeby hodnocení rizik zvoleno substituční fuzzy číslo  $R_1 = (0,00; 0,00; 1,00)$ . Jeho grafickou reprezentaci můžete vidět na obrázku 28.



Obrázek 28 Substituční fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Tvar čísla  $R_k$ , kde  $r_{11} = r_{12} = 0$  je zvolen tak, aby se dosáhlo vysokého efektu při jeho transformaci. Čím nižší bude zvolená hodnota  $\alpha$ , na základě které bude číslo transformováno, tím více vzroste ohodnocení daného typu rizika na výsledné škále. Majitel farmy tedy volí opatrný přístup, kdy v případě nedůvěry ve své hodnocení (dle pravděpodobnosti výskytu a míry dopadu) vzroste celkové hodnocení daného typu rizika. Orientace sklonu substitučního fuzzy čísla souvisí i s ochotou rozhodovatele riskovat, kterou podrobněji rozebírají například Tubbs, Elrod a Flum (2006).

## Realizace hodnocení

V rámci prvního kroku hodnocení, majitel, dle hlavních kritérií, ohodnotil jednotlivé typy rizik, kterým jeho farma čelí (viz tabulka 7).

Typ rizika	Pravděpodobnost		Dopad	
	Ling. term ( $H_1^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_1^i$ )	Ling. term ( $H_2^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_2^i$ )
Produkční	Příležitostné	(0,35; 0,50; 0,65)	Málo závažný	(0,20; 0,35; 0,50)
Tržní	Příležitostné	(0,35; 0,50; 0,65)	Závažný	(0,35; 0,50; 0,65)
Institucio.	Málo pravděpodobné	(0,20; 0,35; 0,50)	Závažný	(0,35; 0,50; 0,65)
Finanční	Nepravděpodobné	(0,05; 0,20; 0,35)	Nezávažný	(0,05; 0,20; 0,35)
Personální	Příležitostné	(0,35; 0,50; 0,65)	Velmi závažný	(0,50; 0,65; 0,80)

Tabulka 7 Hodnocení dle hlavních kritérií  
Zdroj: vlastní zpracování

Hodnocení pravděpodobnosti výskytu jako „Nepravděpodobné“ a míry dopadu jako „Nezávažný“ v případě finančního typu rizika je dáno zejména dostatkem finančních rezerv, které má farma k dispozici a absencí většího úvěru.

Kroky R2 až R4 jsou pro zvolené typy rizik realizovány v tabulce 17. V tabulce je tedy uvedena multiplikativní agregace, defuzzifikace výsledného fuzzy čísla a jeho nahrazení substitučním fuzzy číslem.

Typ rizika	Součet ( $S_1^i$ )	Defuzzifikace ( $COG(S_1^i)$ )	Substituční fuzzy číslo ( $R_1^i$ )	Nové fuzzy číslo ( $S_1^{Ri}$ )
Produkční	(0,55; 0,85; 1,15)	0,85	(0,00; 0,00; 1,00)	(0,52; 0,52; 1,52)
Tržní	(0,70; 1,00; 1,30)	1,00		(0,67; 0,67; 1,67)
Institucionální	(0,55; 0,85; 1,15)	0,85		(0,52; 0,52; 1,52)
Finanční	(0,10; 0,40; 0,70)	0,40		(0,07; 0,07; 1,07)
Personální	(0,85; 1,15; 1,45)	1,15		(0,82; 0,82; 1,82)

Tabulka 8 Syntéza a nahrazení fuzzy hodnocení  
Zdroj: vlastní zdroj

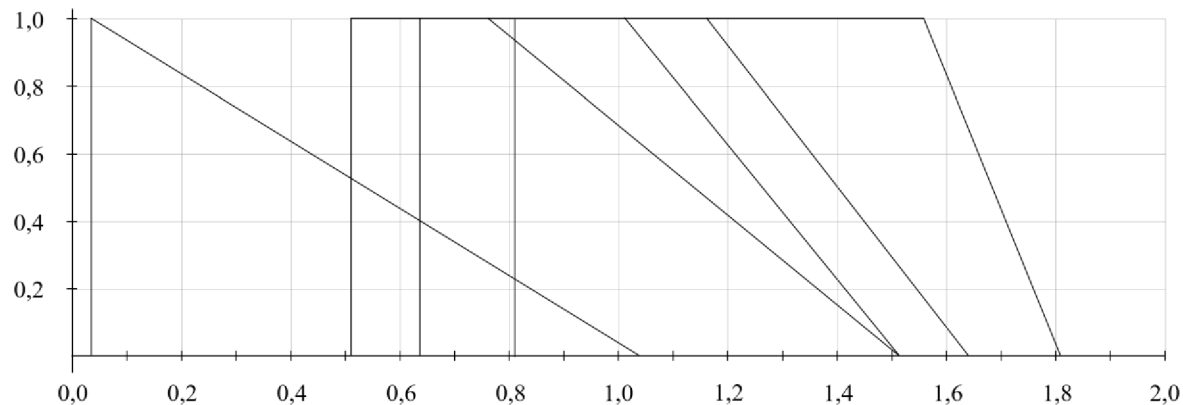
V rámci kroku R5 majitel ohodnotil jednotlivé varianty dle podpůrného kritéria. V souladu s krokem R6 poté došlo k transformaci fuzzy čísel  $S_1^{R1}$  na základě zvolených hodnot  $\alpha$ . Oba realizované kroky jsou uvedeny v tabulce 9.

Typ rizika	Důvěra		Transformované fuzzy číslo ( $S_1^{Ti}$ )
	Ling. term ( $P_1^i$ )	$\alpha$ ( $\alpha_1^i$ )	
Produkční	Vysoká	0,75	(0,52; 0,52; 0,77; 1,52)
Tržní	Střední	0,50	(0,67; 0,67; 1,17; 1,67)
Institucionální	Střední	0,50	(0,52; 0,52; 1,02; 1,52)
Finanční	Velmi vysoká	1,00	(0,07; 0,07; 0,07; 1,07)
Personální	Nízká	0,25	(0,82; 0,82; 1,57; 1,82)

Tabulka 9 Ohodnocení variant dle podpůrného kritéria a transformované fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Nižší míru důvěry v hodnocení tržních, institucionálních a osobních typů rizik majitel farmy odůvodňuje mimo jiné současnou koronavirovou krizí.

Vzhledem k tomu, že v rámci tohoto modelu existuje pouze jediné podpůrné kritérium, jsou transformovaná fuzzy čísla  $S_1^{Ti}$  fuzzy čísla výslednými. Tato čísla budou již pouze defuzzifikována a výsledné hodnoty rozloženy na škálu od 0 do 1. Grafické znázornění výsledných fuzzy čísel  $S_1^{Ti}$  je uvedeno na obrázku 29.



Obrázek 29 Výsledná fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

Konečnou defuzzifikaci a rozložení výsledných hodnot na škále od 0 do 1 v souladu s kroky R8 a R9 můžete vidět v tabulce 10.

Hodnoty 1,77 a 0,40 představují maximální a minimální hodnotu, kterých je v rámci tohoto modelu teoreticky možné dosáhnout a na základě kterých byly hodnoty  $COG(S_1^{Ti})$  rozloženy na škálu od nuly do jedné.

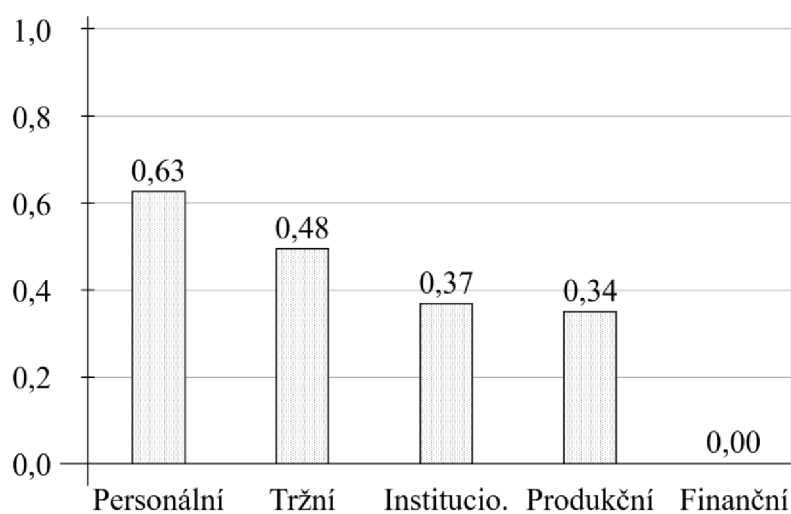


Typ rizika	Defuzzifikace ( $COG(S_1^{T_i})$ )	Výsledná hodnota ( $F^i$ )
Produkční	0,87	<b>0,34</b>
Tržní	1,06	<b>0,48</b>
Institucionální	0,91	<b>0,37</b>
Finanční	0,40	<b>0,00</b>
Personální	1,26	<b>0,63</b>

Tabulka 10 Defuzzifikace a převedení na škálu 0-1

Zdroj: vlastní zpracování

Dle výsledků je tedy farma nejvíce ohrožena riziky personálního typu, naopak finanční rizika pro farmu v současnosti nepředstavují zásadnější ohrožení. Grafická reprezentace seřazeného výsledného ohodnocení jednotlivých typů rizik pro danou farmu je dostupná na obrázku 30.



Obrázek 30 Výsledné hodnocení typů rizik

Zdroj: vlastní zpracování

Po ohodnocení jednotlivých rizik by mělo nastat jejich ošetření. V rámci ošetření rizik dochází k přijímání nezbytných opatření a strategií.

Interpretace výsledných hodnot se může odvíjet i od tolerance majitele farmy k riziku. Majitel si před samotným hodnocením může na škále od nuly do jedné určit úroveň rizik vhodných k akceptaci, úroveň rizik vhodných k monitorování či úroveň rizik, která jsou pro něj a jeho farmu již nepřijatelná a musí k nim tedy vždy být navrženo adekvátní opatření.

Pokud bychom místo fuzzy ohodnocení a výpočtu všech kroků navržené metody použili ostré ohodnocení typů rizik dle hlavních kritérií a zanesli tato ohodnocení do součtové matice rizik, popsaná v kapitole 3.2.2, dostali bychom umístění jednotlivých rizik (obrázek 31), ale těžko bychom rozhodovali o jejich pořadí.

1					
2			Personální		
3		Institucio.	Tržní		
4			Produkční		
5	Finanční				
	1	2	3	4	5

Pravděpodobnost výskytu

Obrázek 31 Součtová matice rizik  
Zdroj: vlastní zpracování

To by bylo velmi obtížné především v případě porovnání rizika institucionálního a produkčního typu. U hodnocení prostřednictvím navrhované metody je například zřejmé, že ohodnocení dle podpůrného kritéria umožnilo upřesnit rozdíl mezi institucionálním a produkčním rizikem ve výsledném ohodnocení těchto rizik hodnotami 0,34 a 0,37, přestože jsou velmi blízké. Použitím součtové matice by míru rizika těchto dvou typů rizik nebylo možné odlišit.

#### 4.4.4 Případová studie - Hodnocení závažnosti mimořádné události

Případová studie uvedená v této podkapitole vychází z předchozí publikace Škoda a Brožová (2019). Navržená metoda byla v rámci této studie aplikována na hodnocení závažnosti reálné mimořádné události v jejích prvních okamžicích. Konkrétně se jedná o mimořádnou událost obecně známou pod názvem Vlakové neštěstí ve Studénce. Vše se odehrálo ve Studénce na Novojičínsku, kde se 8. srpna 2008 do dráhy mezinárodního rychlíku zřítíl silniční most, na kterém probíhaly rekonstrukční práce. Náráz vlaku do zřícené části mostu si vyžádal 7 životů a více než 100 zraněných. Na záchranných pracích se celkem podílelo 151 hasičů,

64 zdravotnických záchranářů a 85 policistů pořádkové, dopravní a cizinecké policie (Kuchyňka a Maikranz, 2008).

### Konstrukce modelu

V rámci kroku K0 byla vybrána pouze jediná varianta ( $m = 1$ ), kterou je již výše zmíněná mimořádná událost Vlakové neštěstí ve Studénce. Rozhodovatel přitom má k dispozici pouze informaci, kterou v 10:32 jako první obdrželo Centrum tísňového volání v Ostravě: „*Vlak EC Comenius byl při průjezdu stanicí Studénka zasažen padající mostní konstrukcí*“ (Humpl, 2008, s. 1).

V rámci kroku K1 byla vybráno pět hlavních kritérií ( $n = 5$ ):

- Míra ohrožení života (dále MO života),
- míra ohrožení zdraví (dále MO zdraví),
- míra ohrožení majetku (dále MO majetku),
- míra ohrožení životního prostředí (dále MO životního prostředí),
- předpokládaný rozsah události.

Volba hlavních kritérií byla inspirována zákonem č. 240/2000 Sb. o krizovém řízení. Jako podpůrné kritérium bylo zvoleno kritérium úplnost informací ( $p = 1$ ), na základě kterého je vyjádřena míra kompletnosti a přesnosti obdržených informací potřebných pro vyhodnocení dané situace.

Problematiku nekompletnosti, případně nepřesnosti informací při rozhodování v mimořádných situacích, rozebírají například Fu a kol. (2021) nebo Gao a kol. (2019).

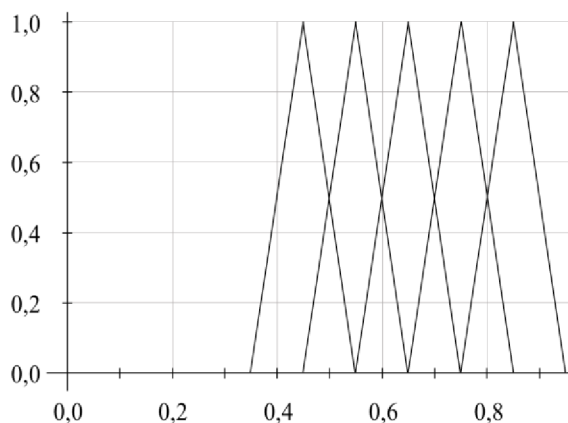
Dále jsou, v souladu s krokem K2, vytvořeny tři fuzzy lingvistické škály pro hodnocení dle hlavních kritérií. Škály jsou stejně jako v předchozí případové studii rovnoměrně rozloženy a jejichž sestavení vychází z kapitoly 4.4.2. Fuzzy lingvistické škály pro první čtyři kritéria jsou navíc rozšířeny o možnost „Žádná“ pro případy, kdy nedochází k ohrožení zdraví, života, majetku nebo životního prostředí.

Fuzzy lingvistická škála uvedená v tabulce 11 je určena pro hodnocení variant na základě hlavních kritérií - předpokládaná míra ohrožení života a předpokládaná míra ohrožení zdraví. Fuzzy lingvistická škála uvedená v tabulce 12 je určena pro hodnocení variant na základě hlavních kritérií - předpokládaná míra ohrožení majetku a předpokládaná

míra ohrožení životního prostředí. Sestavení těchto dvou škál bylo založeno na premise, že velmi vysoké ohrožení majetku či životního prostředí, má stejně vysokou prioritu jako nízké ohrožení života či zdraví.

MO života ( $H_1^i$ ) MO zdraví ( $H_2^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_1^i, Y_2^i$ )
Žádná	(0,00; 0,00; 0,00)
Velmi nízká	(0,35; 0,45; 0,55)
Nízká	(0,45; 0,55; 0,65)
Střední	(0,55; 0,65; 0,75)
Vysoká	(0,65; 0,75; 0,85)
Velmi vysoká	(0,75; 0,85; 0,95)

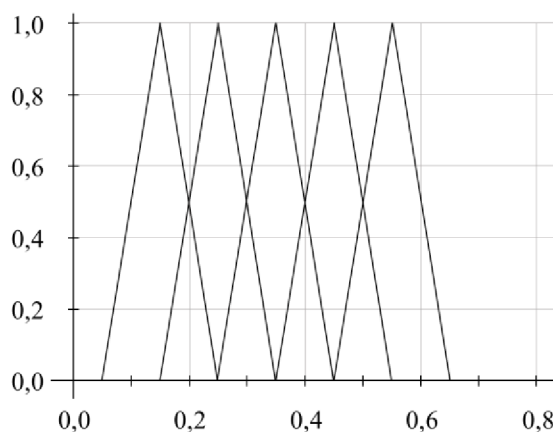
Tabulka 11 Škála pro míru ohrožení života a míru ohrožení zdraví  
Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 32 Grafické znázornění fuzzy škály  $Y_1^i$  a  $Y_2^i$   
Zdroj: vlastní zpracování

MO majetku ( $H_3^i$ ) MO životního proes. ( $H_4^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_3^i, Y_4^i$ )
Žádná	(0,00; 0,00; 0,00)
Velmi nízká	(0,05; 0,15; 0,25)
Nízká	(0,15; 0,25; 0,35)
Střední	(0,25; 0,35; 0,45)
Vysoká	(0,35; 0,45; 0,55)
Velmi vysoká	(0,45; 0,55; 0,65)

Tabulka 12 Škála pro míru ohrožení života a míru ohrožení zdraví  
Zdroj: vlastní zpracování

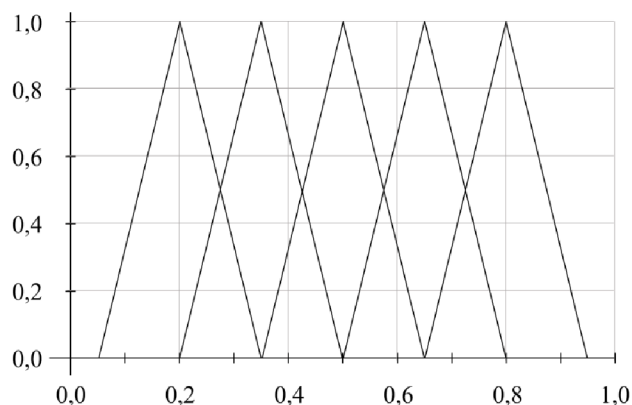


Obrázek 33 Grafické znázornění fuzzy škály  $Y_3^i$  a  $Y_4^i$   
Zdroj: vlastní zpracování

Fuzzy lingvistická škála uvedená v tabulce 13 je určena pro hodnocení variant na základě hlavního kritéria rozsah události.

Rozsah události ( $H_5^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_5^i$ )
Velmi malá	(0,05; 0,20; 0,35)
Malá	(0,20; 0,35; 0,50)
Střední	(0,35; 0,50; 0,65)
Rozsáhlá	(0,50; 0,65; 0,80)
Velmi rozsáhlá	(0,65; 0,80; 0,95)

Tabulka 13 Škála pro míru ohrožení života a míru ohrožení zdraví  
Zdroj: vlastní zpracování



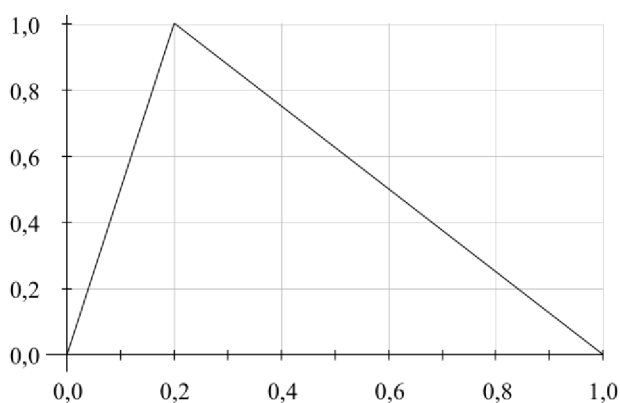
Obrázek 34 Grafické znázornění fuzzy škály  $Y_5^i$   
Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce 14 je uvedena poslední lingvistická škála, s přiřazenými hodnotami  $\alpha$ , která je určena k hodnocení jednotlivých variant na základě podpůrného kritéria úplnost informací.

Úplnost informací ( $P_1^i$ )	Hodnota $\alpha$ ( $\alpha_1^i$ )
Absolutně nedostačující	0,00
Nedostačující	0,25
Spíše nedostačující	0,50
Spíše dostačující	0,75
Dostačující	1,00

Tabulka 14 Škála pro výskyt rizika  
Zdroj: vlastní zpracování

Dle kroku K3, v rámci konstrukce modelu bylo pro potřeby hodnocení mimořádné situace zvoleno substituční fuzzy číslo  $R_1 = (0,00; 0,10; 1,00)$ . Jeho grafickou reprezentaci můžete vidět na obrázku 35.



Obrázek 35 Substituční fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Tvar čísla  $R_k$  je zvolen tak, aby se dosáhlo vysokého efektu při jeho transformaci, ale zároveň aby se efekt transformace na hodnotu  $COG(S_k^{Ti})$  pohyboval vždy maximálně v intervalu od 0,00 do 0,13. Efekt podpůrného kritéria na konečné hodnocení tedy bude spíše spočívat v případném rozlišení mezi dvěma podobně ohodnocenými mimořádnými událostmi, než že by zásadněji ovlivnil výsledné hodnocení. Sklon substitučního fuzzy čísla stejně jako v minulém případě odpovídá rozhodovateli s averzí k riziku. Platí totiž, že čím nižší bude zvolená hodnota  $\alpha$ , na základě které bude číslo transformováno, tím více vzroste hodnocení dané mimořádné události na výsledné škále.

### Realizace hodnocení

V rámci kroku R1 byla mimořádná událost Vlakové neštěstí ve Studénce ohodnocena následovně tak, jak by mohla být ohodnocena centrem tíšňového volání (viz tabulka 15).

Hlavní kritérium	Lingvistický term ( $H_j^1$ )	Fuzzy číslo ( $Y_j^1$ )
PMOŽ	Vysoká	(0,65; 0,75; 0,85)
PMOZ	Velmi vysoká	(0,75; 0,85; 0,95)
PMOM	Vysoká	(0,35; 0,45; 0,55)
PMOŽP	Velmi nízká	(0,05; 0,15; 0,25)
Rozsah události	Velmi rozsáhlá	(0,65; 0,80; 0,95)

Tabulka 15 Hodnocení dle hlavních kritérií  
Zdroj: vlastní zpracování

Kroky R2 až R4 jsou pro danou událost realizovány v tabulce 16. V tabulce je tedy uveden výsledek multiplikativní agregace, defuzzifikace výsledného fuzzy čísla a jeho nahrazení substitučním fuzzy číslem.

Součet ( $S_1^1$ )	Defuzzifikace ( $COG(S_1^1)$ )	Substituční fuzzy číslo ( $R_1^1$ )	Nové fuzzy číslo ( $S_1^{R1}$ )
(2,45; 3,00; 3,55)	3,00	(0,00; 0,10; 1,00)	(2,63; 2,73; 3,63)

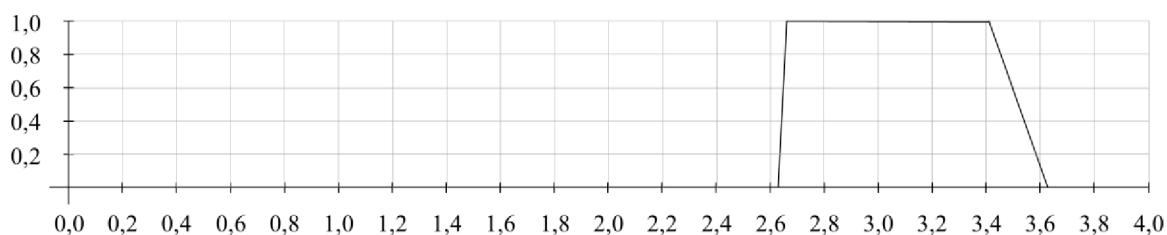
Tabulka 16 Syntéza a nahrazení fuzzy hodnocení  
Zdroj: vlastní zpracování

V rámci kroku R5 byla událost ohodnocena dle podpůrného kritéria. V souladu s krokem R6 poté došlo k transformaci fuzzy čísel  $S_1^{R1}$  na základě zvolených hodnot  $\alpha$ . Oba realizované kroky jsou uvedeny v tabulce 17.

Úplnost informací		Transformované fuzzy číslo ( $S_1^{T1}$ )
Ling. term ( $P_1^1$ )	$\alpha$ ( $\alpha_1^1$ )	
Nedostačující	0,25	(2,63; 2,66; 3,41; 3,63)

Tabulka 17 Ohodnocení na základě podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

Vzhledem k tomu, že v rámci tohoto modelu existuje pouze jediné podpůrné kritérium, je transformované fuzzy číslo  $S_1^{T1}$  fuzzy číslem výsledným. Toto číslo bude již pouze defuzzifikováno a výsledná hodnota bude rozložena na škálu od 0 do 1. Grafické znázornění výsledného fuzzy čísla  $S_1^{T1}$  je uvedeno na obrázku 36.



Obrázek 36 Výsledné fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Konečnou defuzzifikaci a rozložení výsledné hodnoty na škálu od 0 do 1 v souladu s kroky R8 a R9 můžete vidět v tabulce 18.

Hodnoty 3,73 a 1,40 představují maximální a minimální hodnotu, kterých je v rámci tohoto modelu teoreticky možné dosáhnout, a na základě kterých byly hodnoty  $COG(S_1^{T1})$  rozloženy na škálu od nuly do jedné.

Defuzzifikace ( $COG(S_1^{T1})$ )	Výsledná hodnota ( $F^1$ )
3,09	<b>0,72</b>

Tabulka 18 Defuzzifikace a převedení na škálu 0-1  
Zdroj: vlastní zpracování

Výsledná míra závažnosti mimořádné události vlakového neštěstí ve Studénce je za daného ohodnocení 0,72 na škále od 0 do 1. Je důležité zdůraznit, že toto číslo představuje ohodnocení události z pohledu Centra tísňového volání v Ostravě. Toto ohodnocení tedy

primárně reflektuje potenciální zátěž pro integrovaný záchranný sbor a nezohledňuje politické, ekonomické, emoční a jiné faktory. Pokud ohodnocení 0,00 představuje velmi malou mimořádnou událost, kde není nejzásadnějším způsobem ohrožen život, zdraví, majetek či životní prostředí a ohodnocení 1,00 koresponduje s extrémní mimořádnou situací typu nukleární katastrofy, představuje ohodnocení 0,72 velice závažnou mimořádnou situací, která bude pravděpodobně vyžadovat nadstandardní úsilí a přístup ze strany integrovaného záchranného sboru.

Výsledné číslo ale nemusí mít pouze informativní charakter. Na základě výsledné hodnoty by mohly být například spuštěny specifické aktivity v rámci komunikačního plánu, iniciováno setkání předem určených osob, nebo by mohli být automaticky povoláni dobrovolníci.

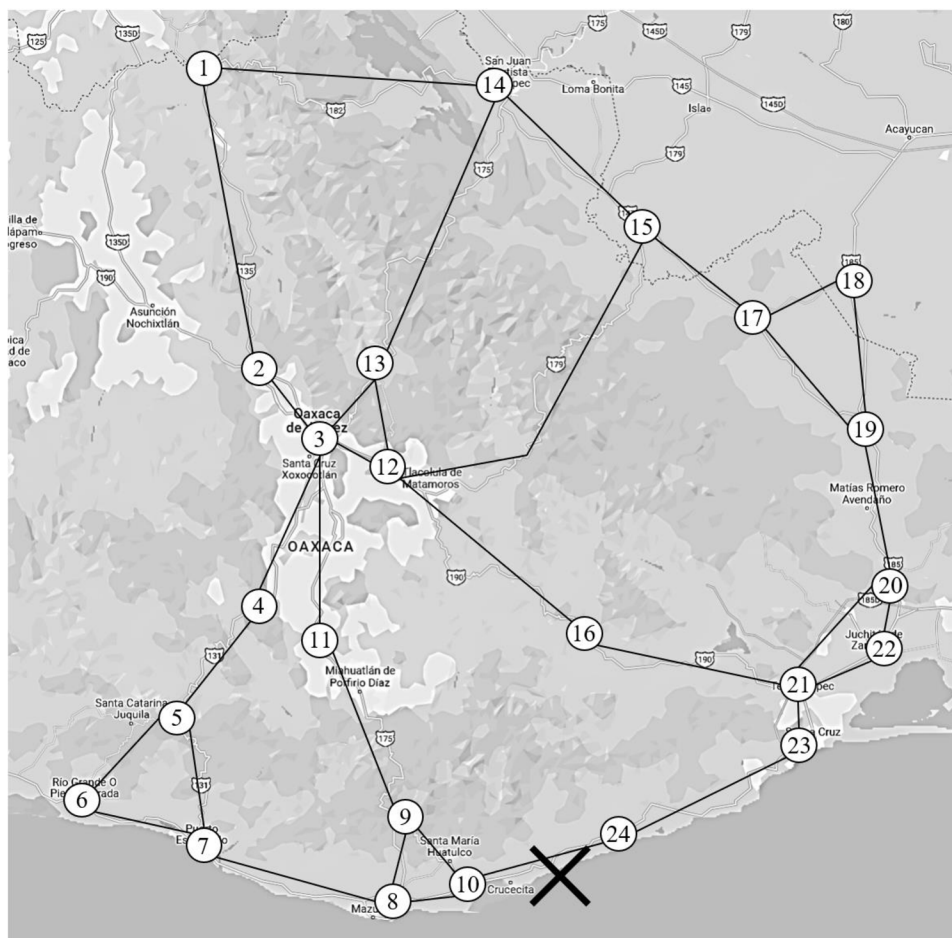
#### **4.4.5 Případová studie - Určení průjezdnosti tras**

Níže popsaná případová studie vychází z předchozí publikace Nehézová a kol. (2022). Navrhovaná metoda je zde aplikována na hodnocení průjezdnosti tras po zemětřesení. Konkrétně bude zkonstruovaný model hodnotit průjezdnost tras po zemětřesení, ke kterému došlo 23. června 2020 v oblasti Oaxaca v Mexiku. Velikost zemětřesení odpovídala 7,4 stupni na Richterově škále a jeho epicentrum se nacházelo přibližně 31 km od San Miguel del Puerto a 12 km od Santa María Zapotitlán. Zemětřesení si přímo vyžádalo několik mrtvých, mnoho zraněných a velké škody na majetku, přičemž samotné otřesy pocítilo zhruba 500 tisíc osob (USGS Science for changing world, 2020; Servicio Sismológico Nacional, 2020).

##### Konstrukce modelu

V rámci kroku K0 byly vybrány jako varianty jednotlivé trasy, které jsou znázorněny na obrázku 37. Celkem se jedná o 33 tras ( $m = 33$ ), které jsou propojeny 24 uzly.





Obrázek 37 Mapa se znázorněním tras  
Zdroj: vlastní zpracování

Jak potvrzují například práce Şengezer, Ansal a Bilen (2008) nebo Jia a Yan (2015), existuje velké množství různých kritérií, které ovlivní úroveň škod způsobených zemětřesením. Níže uvedená kritéria byla zvolena proto, že jsou obecně používána a jsou pro potřeby této studie dostatečně ilustrační a srozumitelná. Jejich výběr vycházel z publikace Lee a kol. (2003), kde jsou mimo jiné zmiňovány i různé metody hodnocení zranitelnosti tras.

V rámci kroku K1 bylo vybráno pouze jediné hlavní kritérium ( $n = 1$ ), kterým je síla zemětřesení v epicentru. Jako podpůrná kritéria jsou zvolena následující čtyři kritéria ( $p = 4$ ):

- vzdálenost od zemětřesení,
- geografické umístění,
- odolnost trasy,
- možnost překážek na cestě.

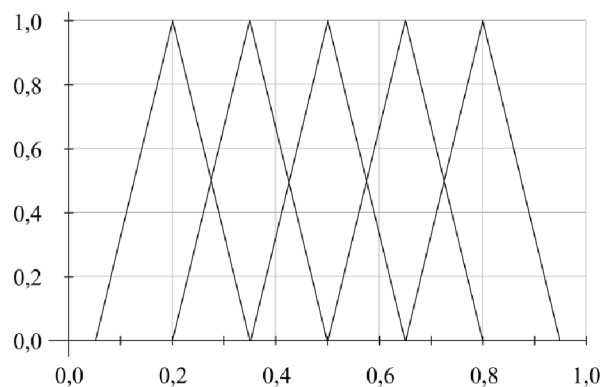
Kritérium „vzdálenost od zemětřesení“ představuje vzdálenost dané trasy od epicentra zemětřesení. Kritérium „geografické umístění“ se vztahuje především ke sklonu terénu a typu podloží, které se pod danou trasou nachází. Odolnost tras představuje ohodnocení toho, jak a z jakých materiálů je trasa zkonstruována. Dle kritéria „možné překážky na cestě“, by měly být trasy ohodnoceny s ohledem na hustotu provozu, okolní zástavbu a vegetaci.

Dále je v souladu s krokem K2 a kapitolou 4.4.2, vytvořeno pět škál (jedna fuzzy škála a čtyři ostré škály), prostřednictvím kterých budou jednotlivé trasy hodnoceny.

Jedinou fuzzy lingvistickou škálou je škála uvedená v tabulce 19, která je určena pro hodnocení síly zemětřesení v epicentru.

Síla zemětřesení ( $H_1^i$ )	Fuzzy číslo ( $Y_1^i$ )
Velmi slabé	(0,05; 0,20; 0,35)
Slabé	(0,20; 0,35; 0,50)
Střední	(0,35; 0,50; 0,65)
Silné	(0,50; 0,65; 0,80)
Velmi silné	(0,65; 0,80; 0,95)

Tabulka 19 Škála pro ohodnocení síly zemětřesení v epicentru  
Zdroj: vlastní zpracování



Obrázek 38 Grafické znázornění fuzzy škály  $Y_1^i$

Zdroj: vlastní zpracování

Alternativou k této škále by mohla být například dvanáctistupňová modifikovaná Mercalliho stupnice (Wood a Neumann, 1931). Její užití by ale bylo v rozporu s pravidly stanovenými v kapitole 4.4.2.

Dalšími vytvořenými škálami jsou tříbodové lingvistické škály s přiřazenými hodnotami  $\alpha$  pro potřeby hodnocení dle podpůrných kritérií. Škála uvedená v tabulce 20 je určena pro hodnocení vzdálenosti od zemětřesení. Škála uvedená v tabulce 21 je určena pro hodnocení geografického umístění. Škála uvedená v tabulce 22 je určena pro hodnocení odolnosti trasy. Škála uvedená v tabulce 23 je určena pro hodnocení možnosti překážek na cestě.

Vzdálenost od zemětřesení ( $P_1^i$ )	Hodnota $\alpha$ ( $\alpha_1^i$ )
Malá	0,00
Střední	0,50
Velká	1,00

Tabulka 20 Škála pro ohodnocení vzdálenosti od zemětřesení  
Zdroj: vlastní zpracování

Geograf. umístění ( $P_2^i$ )	Hodnota $\alpha$ ( $\alpha_2^i$ )
Špatné	0,00
Průměrné	0,50
Dobré	1,00

Tabulka 21 Škála pro ohodnocení geografického umístění  
Zdroj: vlastní zpracování

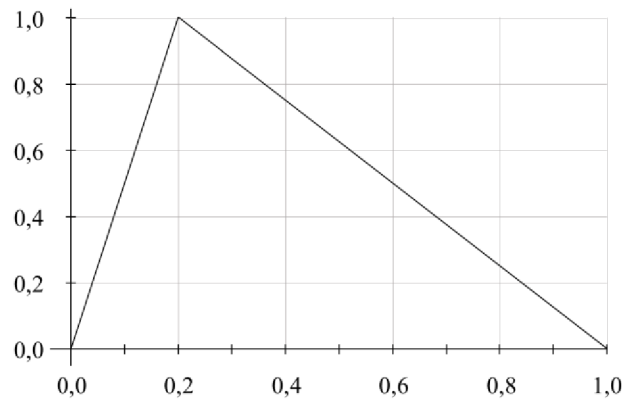
Odolnost trasy ( $P_3^i$ )	Hodnota $\alpha$ ( $\alpha_3^i$ )
Neodolná	0,00
Střední	0,50
Odolná	1,00

Tabulka 22 Škála pro ohodnocení odolnosti trasy  
Zdroj: vlastní zpracování

Možnost překážek ( $P_4^i$ )	Hodnota $\alpha$ ( $\alpha_4^i$ )
Pravděpodobná	0,00
Průměrná	0,50
Nepřavděpodobná	1,00

Tabulka 23 Škála pro ohodnocení možnosti překážek na trase  
Zdroj: vlastní zpracování

Dle kroku K3 v rámci konstrukce modelu bylo pro potřeby hodnocení mimořádné situace zvoleno shodné substituční fuzzy číslo pro všechna podpůrná kritéria. Tímto substitučním fuzzy číslem je  $R_k = (0,00; 0,10; 1,00)$ . Jeho grafickou reprezentaci můžete vidět na obrázku 39.



Obrázek 39 Substituční fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Tvar čísla  $R_k$  je zvolen tak, aby se dosáhlo vysokého efektu při jeho transformaci, ale zároveň aby se efekt transformace na hodnotu  $COG(S_k^{Ti})$  pohyboval vždy maximálně v intervalu od 0,00 do 0,13. Čím nižší bude zvolená hodnota  $\alpha$ , na základě které bude číslo transformováno, tím více vzroste ohodnocení dané trasy.

#### Realizace hodnocení

V rámci prvního kroku hodnocení bylo dané zeměřesení dle hlavního kritéria ohodnoceno jako  $T_1^i = \text{silné}$  s velikostí fuzzy čísla  $Y_1^i = (0,50; 0,65; 0,80)$ . Toto hodnocení dle hlavního kritéria je shodné pro všechny varianty.

Vzhledem k tomu, že tento model má pouze jediné hlavní kritérium, syntéza v souladu s krokem R2 není nutná provádět. Rovněž i hodnoty získané v rámci kroků R3 a R4 budou pro všechny varianty shodné. Defuzzifikace  $COG(Y_1^i) = 0,65$  při použití substitučního fuzzy čísla  $R_1^i = (0,00; 0,10; 1,00)$  bude poté hodnota nového fuzzy čísla  $S_1^{Ri} = (0,32; 0,32; 1,32)$ .

V rámci kroku R5 byly jednotlivé trasy ohodnoceny dle podpůrného kritéria „vzdálenost od zeměřesení“. V souladu s krokem R6 poté došlo k transformaci fuzzy čísla  $S_1^{Ri}$  na základě zvolených hodnot  $\alpha$ , z čehož vzešlo transformované fuzzy číslo  $S_1^{Ti}$ . Realizované kroky jsou uvedeny v tabulce 24.

Trasa	Vzdálenost od zeměměření		Transformované fuzzy číslo ( $S_1^{T_i}$ )
	Ling, term ( $P_1^i$ )	$\alpha$ ( $\alpha_1^i$ )	
x1_2	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x1_14	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x2_3	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x3_4	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x3_11	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x3_12	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x3_13	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x4_5	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x5_6	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x5_7	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x6_7	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x7_8	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x8_9	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x8_10	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x9_10	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x9_11	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x10_24	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x12_13	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x12_15	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x12_16	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x13_14	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x14_15	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x15_17	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x16_21	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x17_18	Velká	1	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x17_19	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x18_19	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x19_20	Střední	0,5	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x20_21	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x20_22	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)

x21_22	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x21_23	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x23_24	Malá	0	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)

Tabulka 24 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

V souladu s krokem R7 se bude proces spojený s realizací kroků R3 až R6 opakovat ještě třikrát, protože počet podpůrných kritérií  $p$  je roven 4.

V tabulce 25 můžete vidět pro jednotlivé varianty defuzzifikaci transformovaného fuzzy čísla  $S_1^{Ti}$  nové fuzzy číslo  $S_2^{Ri}$ , vzniklé na základě substitučního fuzzy čísla  $R_2^i$ .

Trasy	Defuzzifikace ( $COG(S_1^{Ti})$ )	Substituční fuzzy číslo ( $R_2^i$ )	Nové fuzzy číslo ( $S_2^{Ri}$ )
x1_2	0,65	(0,00; 0,10; 1,00)	(0,28; 0,38; 1,28)
x1_14	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x2_3	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x3_4	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x3_11	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x3_12	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x3_13	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x4_5	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x5_6	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x5_7	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x6_7	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x7_8	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x8_9	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x8_10	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x9_10	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x9_11	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x10_24	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)	
x12_13	0,65	(0,28; 0,38; 1,28)	
x12_15	0,65	(0,28; 0,38; 1,28)	
x12_16	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)	
x13_14	0,65	(0,28; 0,38; 1,28)	

x14_15	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x15_17	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x16_21	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x17_18	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x17_19	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x18_19	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x19_20	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x20_21	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x20_22	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x21_22	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x21_23	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x23_24	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)

Tabulka 25 Nová fuzzy čísla vzniklá transformací substitučního fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 26 poté nabízí ohodnocení tras dle podpůrného kritéria „geografické umístění“. V souladu s krokem R6 jsou také v tabulce uvedena transformovaná fuzzy čísla  $S_2^{Ti}$ .

Trasa	Geografické umístění		Transformované fuzzy číslo ( $S_2^{Ti}$ )
	Ling, term ( $P_2^i$ )	$\alpha$ ( $\alpha_2^i$ )	
x1_2	Průměrné	0,50	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x1_14	Dobré	1,00	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x2_3	Dobré	1,00	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x3_4	Průměrné	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x3_11	Průměrné	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x3_12	Dobré	1,00	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x3_13	Průměrné	0,50	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x4_5	Dobré	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x5_6	Průměrné	0,50	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x5_7	Průměrné	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x6_7	Dobré	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x7_8	Průměrné	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x8_9	Dobré	1,00	(0,42; 0,52; 0,52; 1,42)

x8_10	Dobré	1,00	(0,42; 0,52; 0,52; 1,42)
x9_10	Dobré	1,00	(0,42; 0,52; 0,52; 1,42)
x9_11	Špatné	0,00	(0,33; 0,33; 1,33; 1,33)
x10_24	Dobré	1,00	(0,42; 0,52; 0,52; 1,42)
x12_13	Průměrné	0,50	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x12_15	Dobré	1,00	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x12_16	Špatné	0,00	(0,33; 0,33; 1,33; 1,33)
x13_14	Průměrné	0,50	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x14_15	Špatné	0,00	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x15_17	Dobré	1,00	(0,28; 0,38; 0,38; 1,28)
x16_21	Dobré	1,00	(0,42; 0,52; 0,52; 1,42)
x17_18	Průměrné	0,50	(0,28; 0,33; 0,83; 1,28)
x17_19	Dobré	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x18_19	Dobré	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x19_20	Dobré	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x20_21	Špatné	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)
x20_22	Dobré	1,00	(0,42; 0,52; 0,52; 1,42)
x21_22	Průměrné	0,50	(0,42; 0,47; 0,97; 1,42)
x21_23	Průměrné	0,50	(0,42; 0,47; 0,97; 1,42)
x23_24	Špatné	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)

Tabulka 26 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

V Tabulce 27 můžete vidět pro jednotlivé varianty defuzzifikaci transformovaného fuzzy čísla  $S_2^{Ti}$  nové fuzzy číslo  $S_3^{Ri}$ , vzniklé na základě substitučního fuzzy čísla  $R_3^i$ .

Trasy	Defuzzifikace ( $COG(S_2^{Ti})$ )	Substituční fuzzy číslo ( $R_3^i$ )	Nové fuzzy číslo ( $S_3^{Ri}$ )
x1_2	0,69	(0,00; 0,10; 1,00)	(0,33; 0,43; 1,33)
x1_14	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x2_3	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x3_4	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x3_11	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x3_12	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)



x3_13	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x4_5	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x5_6	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x5_7	0,74	(0,37; 0,47; 1,37)
x6_7	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x7_8	0,74	(0,37; 0,47; 1,37)
x8_9	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x8_10	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x9_10	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x9_11	0,83	(0,46; 0,56; 1,46)
x10_24	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x12_13	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x12_15	0,65	(0,28; 0,38; 1,28)
x12_16	0,83	(0,46; 0,56; 1,46)
x13_14	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x14_15	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x15_17	0,65	(0,28; 0,38; 1,28)
x16_21	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x17_18	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x17_19	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x18_19	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x19_20	0,69	(0,33; 0,43; 1,33)
x20_21	0,92	(0,55; 0,65; 1,55)
x20_22	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)
x21_22	0,83	(0,46; 0,56; 1,46)
x21_23	0,83	(0,46; 0,56; 1,46)
x23_24	0,92	(0,55; 0,65; 1,55)

Tabulka 27 Nová fuzzy čísla vzniklá transformací substitučního fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

Tabulka 28 poté nabízí ohodnocení tras dle podpůrného kritéria „geografické umístění“. V souladu s krokem R6 jsou také v tabulce uvedena transformovaná fuzzy čísla  $S_2^{Ti}$ .

Trasa	Odolnost tras		Transformované fuzzy číslo ( $S_3^{Ti}$ )
	Ling, term ( $P_3^i$ )	$\alpha$ ( $\alpha_3^i$ )	
x1_2	Neodolná	0,00	(0,33; 0,33; 1,33; 1,33)
x1_14	Střední	0,50	(0,33; 0,28; 0,83; 1,28)
x2_3	Odolná	1,00	(0,38; 0,28; 0,38; 1,28)
x3_4	Střední	0,50	(0,42; 0,37; 0,92; 1,37)
x3_11	Střední	0,50	(0,42; 0,37; 0,92; 1,37)
x3_12	Neodolná	0,00	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x3_13	Střední	0,50	(0,38; 0,33; 0,88; 1,33)
x4_5	Střední	0,50	(0,38; 0,33; 0,88; 1,33)
x5_6	Střední	0,50	(0,38; 0,33; 0,88; 1,33)
x5_7	Neodolná	0,00	(0,37; 0,37; 1,37; 1,37)
x6_7	Odolná	1,00	(0,43; 0,33; 0,43; 1,33)
x7_8	Odolná	1,00	(0,47; 0,37; 0,47; 1,37)
x8_9	Střední	0,50	(0,47; 0,42; 0,97; 1,42)
x8_10	Neodolná	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)
x9_10	Střední	0,50	(0,47; 0,42; 0,97; 1,42)
x9_11	Odolná	1,00	(0,56; 0,46; 0,56; 1,46)
x10_24	Střední	0,50	(0,47; 0,42; 0,97; 1,42)
x12_13	Střední	0,50	(0,38; 0,33; 0,88; 1,33)
x12_15	Neodolná	0,00	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x12_16	Střední	0,50	(0,51; 0,46; 1,01; 1,46)
x13_14	Střední	0,50	(0,38; 0,33; 0,88; 1,33)
x14_15	Střední	0,50	(0,47; 0,42; 0,97; 1,42)
x15_17	Neodolná	0,00	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x16_21	Neodolná	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)
x17_18	Střední	0,50	(0,38; 0,33; 0,88; 1,33)
x17_19	Odolná	1,00	(0,43; 0,33; 0,43; 1,33)
x18_19	Odolná	1,00	(0,43; 0,33; 0,43; 1,33)
x19_20	Odolná	1,00	(0,43; 0,33; 0,43; 1,33)
x20_21	Neodolná	0,00	(0,55; 0,55; 1,55; 1,55)
x20_22	Neodolná	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)
x21_22	Střední	0,50	(0,51; 0,46; 1,01; 1,46)

x21_23	Střední	0,50	(0,51; 0,46; 1,01; 1,46)
x23_24	Odolná	1,00	(0,65; 0,55; 0,65; 1,55)

Tabulka 28 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

V tabulce 29 můžete vidět pro jednotlivé varianty defuzzifikaci transformovaného fuzzy čísla  $S_3^{Ti}$ , nové fuzzy číslo  $S_4^{Ri}$  vzniklé na základě substitučního fuzzy čísla  $R_4^i$ .

Trasy	Defuzzifikace ( $COG(S_3^{Ti})$ )	Substituční fuzzy číslo ( $R_4^i$ )	Nové fuzzy číslo ( $S_4^{Ri}$ )
x1_2	0,83	(0,00; 0,10; 1,00)	(0,46; 0,56; 1,46)
x1_14	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x2_3	0,65		(0,28; 0,38; 1,28)
x3_4	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x3_11	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x3_12	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x3_13	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x4_5	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x5_6	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x5_7	0,87		(0,51; 0,61; 1,51)
x6_7	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x7_8	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x8_9	0,83		(0,46; 0,56; 1,46)
x8_10	0,92		(0,55; 0,65; 1,55)
x9_10	0,83		(0,46; 0,56; 1,46)
x9_11	0,83		(0,46; 0,56; 1,46)
x10_24	0,83		(0,46; 0,56; 1,46)
x12_13	0,74		(0,37; 0,47; 1,37)
x12_15	0,78		(0,42; 0,52; 1,42)
x12_16	0,87		(0,51; 0,61; 1,51)
x13_14	0,74	(0,37; 0,47; 1,37)	
x14_15	0,83	(0,46; 0,56; 1,46)	
x15_17	0,78	(0,42; 0,52; 1,42)	
x16_21	0,92	(0,55; 0,65; 1,55)	
x17_18	0,74	(0,37; 0,47; 1,37)	

x17_19	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x18_19	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x19_20	0,69		(0,33; 0,43; 1,33)
x20_21	1,05		(0,68; 0,78; 1,68)
x20_22	0,92		(0,55; 0,65; 1,55)
x21_22	0,87		(0,51; 0,61; 1,51)
x21_23	0,87		(0,51; 0,61; 1,51)
x23_24	0,92		(0,55; 0,65; 1,55)

Tabulka 29 Nová fuzzy čísla vzniklá transformací substitučního fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

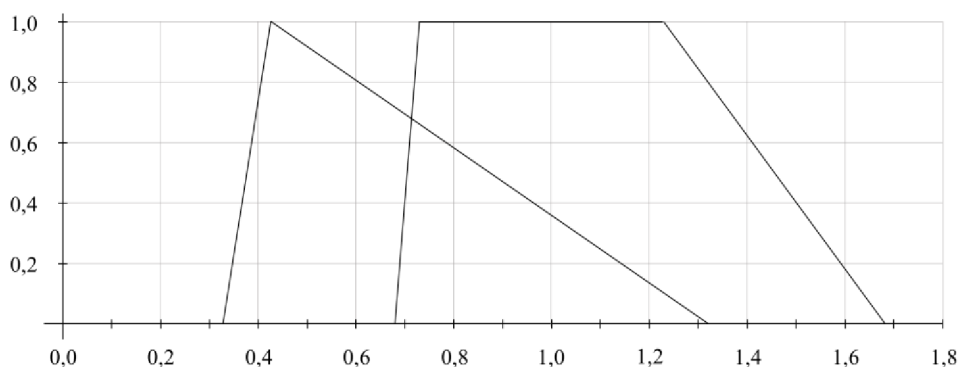
Tabulka 30 poté nabízí ohodnocení tras dle podpůrného kritéria „geografické umístění“. V souladu s krokem R6 jsou také v tabulce uvedena transformovaná fuzzy čísla  $S_2^{Ti}$ .

Trasa	Možnost překážek		Transformované fuzzy číslo ( $S_4^{Ti}$ )
	Ling, term ( $P_4^i$ )	$\alpha$ ( $\alpha_4^i$ )	
x1_2	Průměrná	0,50	(0,46; 0,51; 1,01; 1,46)
x1_14	Průměrná	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x2_3	Pravděpodobná	0,00	(0,28; 0,28; 1,28; 1,28)
x3_4	Průměrná	0,50	(0,42; 0,47; 0,97; 1,42)
x3_11	Pravděpodobná	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)
x3_12	Průměrná	0,50	(0,42; 0,47; 0,97; 1,42)
x3_13	Pravděpodobná	0,00	(0,37; 0,37; 1,37; 1,37)
x4_5	Průměrná	0,50	(0,37; 0,42; 0,92; 1,37)
x5_6	Průměrná	0,50	(0,37; 0,42; 0,92; 1,37)
x5_7	Pravděpodobná	0,00	(0,51; 0,51; 1,51; 1,51)
x6_7	Průměrná	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x7_8	Nepřavděpodobná	1,00	(0,37; 0,47; 0,47; 1,37)
x8_9	Průměrná	0,50	(0,46; 0,51; 1,01; 1,46)
x8_10	Pravděpodobná	0,00	(0,55; 0,55; 1,55; 1,55)
x9_10	Průměrná	0,50	(0,46; 0,51; 1,01; 1,46)
x9_11	Průměrná	0,50	(0,46; 0,51; 1,01; 1,46)
x10_24	Průměrná	0,50	(0,46; 0,51; 1,01; 1,46)
x12_13	Průměrná	0,50	(0,37; 0,42; 0,92; 1,37)

x12_15	Pravděpodobná	0,00	(0,42; 0,42; 1,42; 1,42)
x12_16	Průměrná	0,50	(0,51; 0,56; 1,06; 1,51)
x13_14	Pravděpodobná	0,00	(0,37; 0,37; 1,37; 1,37)
x14_15	Průměrná	0,50	(0,46; 0,51; 1,01; 1,46)
x15_17	Průměrná	0,50	(0,42; 0,47; 0,97; 1,42)
x16_21	Pravděpodobná	0,00	(0,55; 0,55; 1,55; 1,55)
x17_18	Pravděpodobná	0,00	(0,37; 0,37; 1,37; 1,37)
x17_19	Nepravděpodobná	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x18_19	Nepravděpodobná	1,00	(0,33; 0,43; 0,43; 1,33)
x19_20	Průměrná	0,50	(0,33; 0,38; 0,88; 1,33)
x20_21	Průměrná	0,50	(0,68; 0,73; 1,23; 1,68)
x20_22	Pravděpodobná	0,00	(0,55; 0,55; 1,55; 1,55)
x21_22	Průměrná	0,50	(0,51; 0,56; 1,06; 1,51)
x21_23	Pravděpodobná	0,00	(0,51; 0,51; 1,51; 1,51)
x23_24	Nepravděpodobná	1,00	(0,55; 0,65; 0,65; 1,55)

Tabulka 30 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla  
Zdroj: vlastní zpracování

Vzhledem k tomu, že v rámci tohoto modelu existují čtyři podpůrná kritéria, jsou transformovaná fuzzy čísla  $S_4^{T_i}$  fuzzy čísla výslednými. Tato čísla budou již pouze defuzzifikována a výsledné hodnoty rozloženy na škálu od 0 do 1. Grafické znázornění dvou krajních fuzzy čísel  $S_4^{T_i}$  (nejnižší a nejvyšší výsledné fuzzy číslo) je uvedeno na obrázku 40.



Obrázek 40 Nejnižší a nejvyšší výsledné fuzzy číslo  
Zdroj: vlastní zpracování

Konečnou defuzzifikaci a rozložení výsledných hodnot na škále od 0 do 1 v souladu s kroky R8 a R9 můžete vidět v tabulce 31.

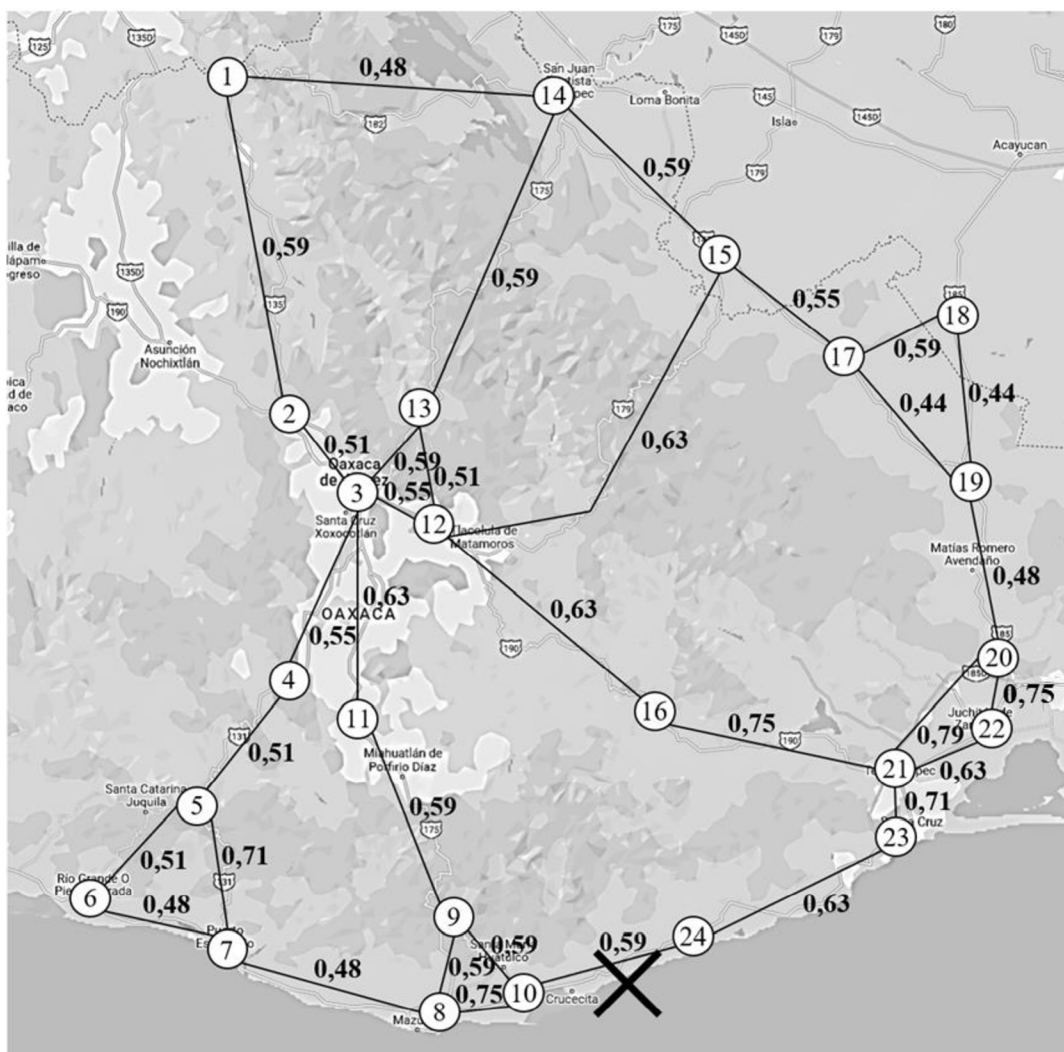
Hodnoty 1,33 a 0,20 představují maximální a minimální hodnotu, kterých je v rámci tohoto modelu teoreticky možné dosáhnout, a na základě kterých byly hodnoty  $COG(S_1^{Ti})$  rozloženy na škálu od nuly do jedné.

Trasy	Defuzzifikace ( $COG(S_4^{Ti})$ )	Výsledná hodnota ( $F^i$ )
x20_21	1,09	<b>0,79</b>
x8_10	1,05	<b>0,75</b>
x16_21	1,05	<b>0,75</b>
x20_22	1,05	<b>0,75</b>
x5_7	1,01	<b>0,71</b>
x21_23	1,01	<b>0,71</b>
x3_11	0,92	<b>0,63</b>
x12_15	0,92	<b>0,63</b>
x12_16	0,92	<b>0,63</b>
x21_22	0,92	<b>0,63</b>
x23_24	0,92	<b>0,63</b>
x1_2	0,87	<b>0,59</b>
x3_13	0,87	<b>0,59</b>
x8_9	0,87	<b>0,59</b>
x9_10	0,87	<b>0,59</b>
x9_11	0,87	<b>0,59</b>
x10_24	0,87	<b>0,59</b>
x13_14	0,87	<b>0,59</b>
x14_15	0,87	<b>0,59</b>
x17_18	0,87	<b>0,59</b>
x3_4	0,83	<b>0,55</b>
x3_12	0,83	<b>0,55</b>
x15_17	0,83	<b>0,55</b>
x2_3	0,78	<b>0,51</b>
x4_5	0,78	<b>0,51</b>
x5_6	0,78	<b>0,51</b>
x12_13	0,78	<b>0,51</b>

x1_14	0,74	<b>0,48</b>
x6_7	0,74	<b>0,48</b>
x7_8	0,74	<b>0,48</b>
x19_20	0,74	<b>0,48</b>
x17_19	0,69	<b>0,44</b>
x18_19	0,69	<b>0,44</b>

Tabulka 31 Defuzzifikace a převedení na škálu 0-1  
Zdroj: vlastní zpracování

Z výsledků je patrné, že v horní polovině škály (tedy od 0,5 do 1) se pohybuje téměř 82 % hodnocených tras. Nejlépe průjezdné jsou trasy x17\_19 a x18\_19. Naopak nejhůře průjezdnou by měla být trasa x20\_21. Na obrázku 41 můžete vidět znázornění jednotlivých tras spolu s ohodnocením jejich průjezdnosti.



Obrázek 41 Mapa se znázorněním tras včetně výsledného ohodnocení  
Zdroj: vlastní zpracování

Na základě výše uvedených ohodnocení tras by mohla být nalezena nejprůjezdnější cesta pro přepravu záchranářů, vyprošťovací techniky nebo například vody a potravin. Tento problém je možno chápat jako úlohu nalezení nejspolehlivější cesty pomocí upraveného Dijkstrova algoritmu. Lze využít i algoritmů, které popisují například Jain a Gopal (1986) nebo Petrovic a Jovanovic (1979). Jinými slovy, výsledné hodnocení představuje spíše mezikrok, na který by měly navazovat další aktivity.



## 5 Diskuze

Všeobecně se očekává, že subjekty mající na starosti řešení krizových situací zajistí v případě potřeby včasnou pomoc dotčeným stranám. Obvykle však musí pracovat ve velice náročných podmínkách, kde jim v cestě stojí mnoho různých překážek (Bosmans a kol., 2022). K tomu se přidává Darling (1994) a říká, že není v lidských silách se připravit na veškeré možné krizové situace. Variant toho, co může nastat je totiž v podstatě nekonečno. To, co je ale pro úspěšné řešení krize důležité, je identifikovat a rozvíjet klíčové procesy a nástroje související s řešením krizových situací. A právě mezi takové nástroje by se dala zařadit i metoda představená v této práci.

### **Vágnost a neurčitost vstupů**

Jak uvádí Shiffrin (2021), v reálném životě pracujeme s hodnotami, které jsou nejisté a obvykle vyjádřeny alespoň částečně nebo zcela vágně. Vágnost a nejistota je přitom obzvláště typická pro krizové situace (Coombs, 1995; Augustine a kol., 2000).

S ohledem na tato fakta byla metoda navržena tak, aby umožňovala práci s vágními termíny. Přesněji řečeno, práci s vágními lingvistickými termíny v navržené metodě umožňuje použití fuzzy množin, které jsou podrobněji popsány v kapitole 3.5. Fuzzy přístupy jsou osvědčené a obecně používané při práci s vágností a nejistotou (Ekel, Pedrycz, a Pereira, 2019). Navíc, použití lingvistických informací zvyšuje spolehlivost a flexibilitu klasických rozhodovacích modelů (Martínez a kol., 2009).

### **Přesnost výsledků**

Typická neurčitost a vágnost provázející krizové situace podtrhává význam přesných informací, které jsou rozhodovateli dostupné, a které jsou klíčové pro řešení krizové situace (Vukajlović a kol., 2019). Navržená metoda přitom může při správné konstrukci modelu nabízet přesné výstupy při použití neurčitých a vágních vstupů.

V případě navrženého modelu je přesnost výsledků ovlivněna především volbou kritérií, volbou lingvistických škál (a k nim přiřazeným fuzzy číslům a hodnotám  $\alpha$ ) a volbou substitučních fuzzy čísel. Na důležitost volby správných kritérií a určení jejich vah upozorňují například Anand, Aggrawal a Agarwal (2022). Jak uvádějí Smithson (1987) nebo Ramos Guajardo, González López a González Ruiz (2015), volba vhodných fuzzy škál je

pro přesnost výstupů modelu zásadní. Nejedná se ale pouze o samotná fuzzy čísla přiřazená k jednotlivým lingvistickým termům, ale i o rozdělení jednotlivých škál. Preston a Colman (2000) uvádějí, že na základě jejich výzkumu respondenti nejvíce preferují desetibodovou škálu. Dodávají ale, že v časové tísní je vhodnější použít spíše tři nebo pětibodovou škálu, která umožňuje přehlednější a snadnější použití.

Novák (2002) doplňuje, že pro člověka je velmi přirozené rozlišovat tři základní pozice, kterými jsou vlevo, uprostřed a vpravo. To například odpovídá tříступňovým škálám typu malý, střední, velký nebo silný, normální, slabý. Na druhou stranu, i když se tyto škály vyznačují přirozeností a snadností volby, nemusí vždy dosahovat požadované přesnosti. I proto byly tříступňové škály v rámci případových studií použity pouze v omezené míře.

Bohužel, využití fuzzy lingvistických škál v krizovém řízení nepatří mezi témata, kterým by byla věnována nadstandardní pozornost. Mezi autory používající fuzzy lingvistické škály v oblastech, které by se daly zařadit pod krizové řízení, patří například Wang, a kol. (2017) nebo Abbassinia a kol. (2020). Zvolenou konstrukci škál ale nijak podrobněji ve svých pracích nerozebírají.

Přesnost výsledků lze diskutovat i v kontrastu s případovými studiemi uvedenými v praktické části této práce. Jak je ukázáno například v kapitole 4.4, kdy postup pomocí součtové matice rizik dává méně přesné výsledky, než jsou výsledky dosažené prostřednictvím navrženého modelu. Stejně tak je možné říci, že například při použití Lexikografické metody bychom ve většině případů došli k méně přesným výsledkům než při použití navrhované metody. Na druhou stranu je nutné dodat, že oproti navržené metodě je Lexikografická metoda výrazně jednodušší (Šimšek, 2020).

### **Zvolený postup v rámci metody**

Přesnost výsledků se odvíjí i od zvoleného postupu v rámci navržené metody. Z tohoto pohledu hraje významnou roli především:

- zvolený způsob syntézy hodnot dle hlavních kritérií.

Pro syntézu hodnot dle hlavních kritérií byla zvolena aditivní agregace. Choo a Wedley (2008) porovnávali aditivní a multiplikativní agregaci v rozhodovacích modelech a doporučují použití aditivní agregace, a to především s ohledem na fakt, že aditivní agregace je pro rozhodovatele srozumitelnější a snadněji použitelná. Podobný názor mají například

i Reichert a kol. (2019). Dle Tofallise (2014) je výhodou aditivní agregace na rozdíl od multiplikační agregace i možnost práce s nulou.

Různými způsoby agregace se v rámci vícekritériálního rozhodování zabývá i Ardil (2021), který se ve výsledku přiklání spíše k multiplikační agregaci. Jako důvod uvádí tzv. rank reversal problémem, který blíže rozebírají například Wang a Luo (2009), a který silně dopadá právě na metody využívající aditivní agregaci.

Bognár a Hegedűs (2022) ve svých závěrech sice jednoznačně nevyzdvihují jeden způsob agregace nad ostatní, jako to dělají výše uvedení autoři, ale upozorňují na to, že i když volba jednoho způsobu agregace namísto jiného nemusí zásadně ovlivnit výsledné hodnocení, může i tak hodnotitele nasměrovat nežádoucím směrem.

- zvolený způsob implementace hodnot dle podpůrných kritérií

Hodnoty dle podpůrných kritérií do rozhodovacího modelu vstupují skrze navržený transformační přístup popsáný v kapitole 4.1. Použití hodnot  $\alpha$  k různým operacím v rámci fuzzy množin není nijak vzácné. Goyal a Bisht (2021) využívají hodnoty  $\alpha$  při analýze trendu časových řad, Wang a Elhag (2006) využívají hodnoty  $\alpha$  při hodnocení rizikovosti mostů a například Rao (2017) využívá hodnoty  $\alpha$  při řazení fuzzy čísel. Výhodou transformačního přístupu je, že prostřednictvím směru sklonu substitučního fuzzy čísla umožňuje v rámci modelu nastavit i směr (snižování/zvyšování) jakým transformace ovlivní výslednou hodnotu pro varianty dle daného kritéria. Velikost nosiče substitučního fuzzy čísla a míra sklonu poté ovlivňuje míru, s jakou transformace dle jednotlivých hodnot  $\alpha$  ovlivní výslednou hodnotu pro danou variantu. Tvarem fuzzy čísel ve spojitosti s rozhodováním se zabývají například Skalna a kol. (2015) nebo Chen a kol. (1992).

- zvolený způsob defuzzifikace

Z pohledu přesnosti výsledků hraje významnou roli i zvolený způsob defuzzifikace. Jak potvrzuje Alavala (2008), defuzzifikací nevyhnutelně dochází ke ztrátě informace. Přičemž míra této ztráty se odvíjí od použité defuzzifikační metody.

V rámci navržené metody byla zvolena defuzzifikace pomocí těžiště fuzzy čísla (metoda Center of Gravity), blíže popsáná v kapitole 3.5.8. Na fakt, že tato metoda patří mezi nejpoužívanější a nejpřirozenější metody defuzzifikace, upozorňuje například Novák (2002).

Chakraverty, Sahoo a Mahato (2019) uvádějí, že neexistuje žádné obecné pravidlo pro výběr vhodné metody defuzzifikace. Defuzzifikační metoda musí být vždy zvolena s ohledem na požadavky daného modelu. Porovnáváním různých metod defuzzifikace se zabývali například Koçak, Toth-Laufer a Pokoradi (2018) a konstatovali, že pro oblast vícekritériálního hodnocení rizik jsou metody Center of Gravity a Mean of Maximum vhodnější než metody Smallest of Maximum a Largest of Maximum. V rámci vícekritériálního rozhodování se defuzzifikací zabývají i Opricovic a Tzeng (2003). Stejně jako jiní autoři však nedošli k jednoznačnému a obecnému doporučení.

### **Interpretace výsledného hodnocení**

Na obecné úrovni nelze říci, že například normalizované vyjádření je vhodnější než relativní vyjádření, nebo že absolutní vyjádření je vhodnější než relativní. Jedním z benefitů navrženého modelu by měla být možnost určovat trend nebo porovnávat výsledky mezi sebou (například ohodnocení různých krizových situací, rizik různých firem v odvětví apod.). Jak potvrzuje Kamat (2019), v takovém případě je nejvhodnější využít relativní vyjádření. Rozdílům ve vnímání absolutních a relativních hodnot se věnují například Weathers, Swain a Carlson (2012) a přiznávají, že stále nedošlo k plnému pochopení toho, proč a jak mohou různé popisy stejných informací vést k rozdílným reakcím testovaných subjektů.

Citrome (2010) uvádí, že není nutné rozumět rozdílu mezi relativním a absolutním vyjádřením k tomu, abychom mohli udělat informované rozhodnutí.

Bez ohledu na to, zda výsledek bude prezentován jako normalizovaná hodnota, procentní podíl z celku, nebo například absolutní hodnota, výstup navrhované metody bude vždy kvantitativně vyjádřen. Jak ale upozorňují Dunn a kol. (1995) pokud máme k dispozici pro rozhodnutí vágní a nepřesné informační vstupy, je obecně snazší také odpovídat pomocí vágních výstupů. Ty jsou pro příjemce výstupu i přirozenější (Shiffirin, 2021).

Za použití vhodné interpretační fuzzy lingvistické škály a Hammingovy vzdálenosti, kterou přibližují například Saad a kol. (2014), je možné dosáhnout interpretace výsledných hodnot pomocí vágních lingvistických termů. Tento postup v rámci rozhodovacího modelu zvolili například Škoda, Flegl a Lozano (2021). Krom případů, kde je výsledné fuzzy číslo identické s některým z fuzzy čísel v rámci interpretační škály, dochází použitím Hammingovi vzdálenosti ke ztrátě informace stejně jako v případě defuzzifikace. Navíc,

porovnání výsledků při použití lingvistických termů by v praxi pravděpodobně neumožňovalo detail, který umožňuje kvantitativní vyjádření.

### **Ověření aplikovatelnosti metody**

Aplikovatelnost navržené metody byla otestována na třech zcela odlišných případových studiích týkajících se oblasti krizového řízení (viz kapitola 4.4). Demonstrace aplikovatelnosti metody pomocí případových studií je běžná a využívají jí ve své práci například Nabeeh a kol. (2019), Abdel-Basset a kol. (2020) a mnoho dalších.

První případová studie se zabývala hodnocením pěti variant dle dvou hlavních a jednoho podpůrného kritéria. V rámci druhé případové studie byla hodnocena pouze jedinou variantou dle pěti hlavních a jednoho podpůrného kritéria. V poslední, třetí případové studii, bylo hodnoceno více než třicet variant dle jednoho hlavního a čtyř podpůrných kritérií.

Rozdíl mezi jednotlivými případovými studiemi ale nebyl pouze v počtu variant, počtu hlavních kritérií a počtu podpůrných kritérií, ale i v cíli rozhodování a oblastech krizového řízení, kterých se daná případová studie týkala.

Na základě výsledků je tak možné tvrdit, že navržená metoda vícekritériálního hodnocení je aplikovatelná na oblast krizového řízení. Obecně se dá také předpokládat, že model je schopen pracovat s neomezeným počtem stupňů jednotlivých škál, variant a hlavních i podpůrných kritérií. Při volbě škál a kritérií, jak upozorňují Novák, Perfilieva a Dvorak (2016), je důležité mít na paměti, že přesnost a relevantnost začnou být od určité úrovně vzájemně se vylučující charakteristiky.

### **Uplatnění metody nejen v oblasti krizového řízení**

Jak uvádí Wątróbski a Jankowski (2015), volba metody rozhodování závisí mimo jiné na druhu informace, se kterou model pracuje. Navržená metoda na vstupu pracuje s vágními pojmy a na výstupu s ostrými hodnotami. Model by tak mohl najít uplatnění při rozhodování především v oblastech, kde vstup do modelu přichází přímo od člověka prostřednictvím lingvistických termů. Jak už bylo uvedeno výše, pro lidi je totiž přirozené přemýšlet ve vágních pojmech. Syropoulos (2016) dokonce tvrdí, že vágnost je vlastnost fyzického světa. Přesné hodnoty jsou poté spíše potrava pro moderní počítače.

Z pohledu stupně rozhodování, tak jak ho uvádí Blažek (2014), by navržená metoda mohla najít uplatnění jak v rámci strategického, tak v rámci operativního rozhodování. Hodnocení typů rizik v rámci první případové studie totiž spadá do strategického rozhodování. Oproti tomu hodnocení v rámci zbývajících dvou případových studií odpovídá spíše hodnocení na operativní úrovni.

Je důležité dodat, že stále mnoho rozhodovatelů upřednostňuje intuitivní rozhodování před použitím některých z postupů vícekriteriálního rozhodování (Ishizaka a Siraj, 2018; Saarelainen a kol., 2006). Jak potvrzují Bernroider a Schmöllerl (2013), i přes nespočet studií zdůrazňujících výhody metod vícekriteriálního rozhodování existuje stále mnoho firem, které se jejich implementaci vyhýbají.

## 6 Závěr

Problematika rozhodování v oblasti krizového řízení byla autorem vybrána nejen kvůli potenciálu pro širší vědeckou činnost, ale především pro svou aktuálnost a různorodost konkrétních krizových situací.

V souladu s hlavním cílem práce byla navržena metoda vícekriteriálního hodnocení variant, která je schopna pracovat s vágními vstupy a generovat ostré výstupy. Klíčové prvky navržené metody představují:

- syntéza ohodnocení variant dle hlavních kritérií,
- nahrazení fuzzy čísel,
- transformace fuzzy čísel.

Syntéza jednotlivých ohodnocení variant dle hlavních kritérií je realizována prostřednictvím aditivní agregace fuzzy čísel. Nahrazení fuzzy čísel umožňuje převzít tvar substitučního fuzzy čísla a umístění nahrazovaného fuzzy čísla na základě COG. Tím je vytvořeno číslo nové, které v rámci navržené metody svým tvarem vždy reprezentuje dané podpůrné kritérium na pozici určené předchozím výpočtem.

Transformací fuzzy čísla je zahrnuto do výsledného hodnocení variant ohodnocení dané varianty dle podpůrného kritéria. Samotná transformace je založena na řezu a rozšíření substitučního fuzzy čísla dle hodnoty  $\alpha$ . Volba vhodného substitučního fuzzy čísla je přitom zásadní pro přesnost ohodnocení variant dle podpůrných kritérií. Stejně tak zásadní je volba vhodných fuzzy lingvistických škál pro ohodnocení variant dle hlavních kritérií.

Pro ověření funkčnosti a aplikovatelnosti metody vícekriteriálního hodnocení v rámci krizového řízení byly vybrány tři oblasti. Konkrétně oblast hodnocení rizik, oblast hodnocení mimořádných situací a oblast hodnocení průjezdnosti tras. V rámci uvedených oblastí byly vždy zvoleny konkrétní reálné scénáře, ve kterých byla navržená metoda otestována. Kritéria a lingvistické škály byly vždy přizpůsobeny potřebám daného scénáře. Tím byly celkově splněny i dílčí cíle související s popisem situací, volbou vhodných kritérií a návrhem škál.

Pro interpretaci výsledků (poslední dílčí cíl) bylo zvoleno rozložení výsledných ostrých hodnot na škálu od 0 do 1 tak, aby výsledky byly přehledné, srozumitelné a snadno porovnatelné i v rámci různých hodnocení.

V rámci dalšího výzkumu by mohlo být zkoumáno uplatnění kvadratických, či jiných nelineárních fuzzy čísel v procesu transformace fuzzy čísel. Nelinearita substitučního fuzzy čísla by ve svém důsledku mohla umožnit přesnější hodnocení dle podpůrných kritérií. Nelineární fuzzy čísla jsou v rozhodovacím procesu běžně používána, jak dokazují například práce Nozariho a kol. (2022) či Goyala, Kaushala a Sangaiaha (2018) a jejich použití by teoreticky mohlo rozšířit i aplikovatelnost celého navrhovaného modelu.

Jak upozorňují Bossaerts a Murawski (2017), důležitou proměnnou v použitelnosti rozhodovacího modelu je jeho výpočetní náročnost. Další výzkum by se tedy mohl soustředit tímto směrem a například zkoumat, jaký efekt by mělo v rámci navržené metody použití výpočetně jednoduššího způsobu defuzzifikace ve vztahu k přesnosti výsledného hodnocení.

Možnost dalšího výzkumu představuje i porovnání výsledného ohodnocení variant dle navržené metody s výsledným hodnocením dle jiných metod. V tomto ohledu se nabízí například metoda TOPSIS, AHP nebo metoda váženého součtu.



## 7 Seznam použitých zdrojů

ABBASSINIA, M., KALATPOUR, O., MOTAMEDZADE, M., SOLTANIAN, A. R., MOHAMMADFAM, I. 2020. A fuzzy analytic hierarchy process-TOPSIS framework for prioritizing emergency in a petrochemical industry. *Archives of Trauma Research*, 9: 35 - 40. [https://doi.org/10.4103/atr.atr\\_85\\_19](https://doi.org/10.4103/atr.atr_85_19).

ABDEL-BASSET, M., GAMAL, A., CHAKRABORTTY, R. K., RYAN, M. 2020. A New Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Approach for Location Selection of Sustainable Offshore Wind Energy Stations: A Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 124462: 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124462>.

ACKOFF, R. L. 1981. *Creating the Corporate Future*. New York: Wiley. 312 s. ISBN 9780471090090.

ADAIR, J. E. 2010. *Decision Making and Problem Solving Strategies*. London: Kogan Page, 104 s. ISBN 9780749458904.

ADAIR, J. E. 2019. *Decision Making and Problem Solving: Break Through Barriers and Banish Uncertainty at Work*. London: Kogan Page, 120 s. ISBN 9780749492809.

ALAVALA, C. R. 2008. *Fuzzy Logic and Neural Networks: Basic concepts & applications*. New Age. 276 s. ISBN 978-8122421828.

ALPASLAN, C. M., MITROFF, I. I. 2021. Exploring the moral foundations of crisis management. *Technological Forecasting and Social Change*, 167: 120713. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120713>.

ANAND, A., AGGRAWAL, D., AGARWAL, M. 2022. *Multiple Criteria Decision-Making Methods: Applications for Managerial Discretion*. 250 s. ISBN 9783110743562.

ANTUŠÁK, E. 2009. *Krizový management. Hrozby, krize, příležitosti*. Praha: Wolters Kluwer. 396 s. ISBN 978-80-7357-488-8.

ANTUŠÁK, E., VILÁŠEK, J. 2016. *Základy teorie krizového managementu*. Praha: Karolinum. 134 s. ISBN 978-80-246-3443-2.

ARDIL, C. 2021. *Military Fighter Aircraft Selection Using Multiplicative Multiple Criteria Decision Making Analysis Method* [online]. World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Mathematical and Computational Sciences, 13(9): 184-193. (PDF). [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: [https://www.academia.edu/50914094/Military\\_Fighter\\_Aircraft\\_Selection\\_Using\\_Multiplicative\\_Multi-Criteria\\_Decision\\_Making\\_Analysis\\_Method](https://www.academia.edu/50914094/Military_Fighter_Aircraft_Selection_Using_Multiplicative_Multi-Criteria_Decision_Making_Analysis_Method).

ASAN, U., SOYER, A., SERDARASAN, S. 2012. A fuzzy analytic network process approach. *Atlantis Computational Intelligence Systems*, 155-179. [https://doi.org/10.2991/978-94-91216-77-0\\_8](https://doi.org/10.2991/978-94-91216-77-0_8).

- AUGIER, M., TEECE, J. T. 2018. Decision-making. *The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management*. London: Palgrave Macmillan. 1846 s. ISBN 9780230537217.
- AUGUSTINE, N. R., SHARMA, A., KESNER, I. F., SMITH, N. C., THOMAS, R. J., QUELCH, J., BRENNEMAN, G., HILL, L. 2000. *Harvard Business Review On Crisis Management*. Harvard Business School Press. 272 s. ISBN 9781578512355.
- BACKLUND, A. 2000. The definition of systém. *Kybernetes*, 29(4): 444-451. <https://doi.org/10.1108/03684920010322055>.
- BAHAMID, R. A., DOH, S. I. 2017. A review of risk management process in construction projects of developing countries. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271: 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/271/1/012042>.
- BĚLOHLÁVEK, F., ŠULERŮ, O., KOŠŤAN, P. 2001. *Management*. 1. vyd. Olomouc: Rubico. 642 s. ISBN 80-85839-45-8.
- BERNROIDER, E. W. N., SCHMÖLLERL, P. 2013. A technological, organisational, and environmental analysis of decision making methodologies and satisfaction in the context of it induced business transformations. *European Journal of Operational Research*, 224(1): 141–153. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.07.025>.
- BIRE, C., KASSE, D., BIRE, R. 2021. Decision support system for selecting tourist attractions using fuzzy analytic hierarchy process. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(3): 1252-1261. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i3.3032>.
- BLAŽEK, L. 2014. *Management: organizování, rozhodování, ovlivňování*. 2., rozš. vyd. Praha: Grada. Expert (Grada). 224 s. ISBN 978-80-247-4429-2.
- BLOOMFIELD, R. E., LITTLEWOOD, B., WRIGHT, D. 2007. Confidence: Its Role in Dependability Cases for Risk Assessment. *37th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN'07)*, 338-346. <https://doi.org/10.1109/dsn.2007.29>.
- BOGNÁR, F., HEGEDŮS, C. 2022. Analysis and consequences on some aggregation functions of Prism (Partial Risk Map) risk assessment method. *Mathematics*, 10(5): 676. <https://doi.org/10.3390/math10050676>.
- BOIN, A., HART, P. 'T., KUIPERS, S. 2017. The crisis approach. *Handbook of Disaster Research*, 23–38. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-63254-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-63254-4_2).
- BORODZICZ, E. P. 2005. Risk, crisis & security management. Chichester: Wiley. 256 s. ISBN 0470867043.
- BOSMANS, M. W. G., BALIATSAS, C., YZERMANS, C. J., DÜCKERS, M. L. A. 2022. A systematic review of rapid needs assessments and their usefulness for disaster decision making: Methods, strengths and weaknesses and value for disaster relief policy. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 71: 102807. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102807>.

- BOSSAERTS, P., MURAWSKI, C. 2017. *Computational Complexity and Human Decision-Making. Trends in Cognitive Sciences*, 21(12): 917–929. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.09.005>.
- BRASHERS, D. E. 2001. Communication and Uncertainty Management. *Journal of Communication*, 51(3). 477–497. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.2001.tb02892.x>.
- BURÝ, A. 2007. *Teorie systémů a řízení*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. 78 s. ISBN 978-80-248-1602-9.
- CIOTTI, M., CICOZZI, M., TERRINONI, A., JIANG, W.-C., WANG, C.-B., BERNARDINI, S. 2020. The COVID-19 pandemic. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 57(6): 365- 388. <https://doi.org/10.1080/10408363.2020.1783198>.
- CITROME, L. 2010. Relative vs. absolute measures of benefit and risk: what's the difference? *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 121(2): 94–102. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0447.2009.01449.x>.
- COLMAN, A. M., NORRIS, C. E., PRESTON, C. C. 1997. Comparing rating scales of different lengths: Equivalence of scores from 5-point and 7-point scales. *Psychological Reports*, 80(2): 355-362. <https://doi.org/10.2466/pr0.1997.80.2.355>.
- COOMBS, W. T. 1995. Choosing the Right Words. *Management Communication Quarterly*, 8(4): 447–476. <https://doi.org/10.1177/0893318995008004003>.
- COOMBS, W. T. 2014. *Ongoing crisis communication: Planning, managing, and responding*. London: SAGE. 256 s. ISBN 9781483322674.
- DAELLENBACH, H. G., MCNICLE, D. C., DYE, S. 2012. *Management Science: Decision Making through Systems Thinking*. 2nd edit. New York: Palgrave Macmillan. 588 s. ISBN 9780230316478.
- DANAI, H., HASHEMNIA, S., AHMADI, R., BAZAZZADEH, S. H. 2019. Application of fuzzy ANP Method to select the best supplier in the supply chain. *International Journal of Operational Research*, 35(1): 1. <https://doi.org/10.1504/ijor.2019.099540>.
- DARLING, J. R. 1994. Crisis Management in International Business. *Leadership & Organization Development Journal*, 15(8): 3–8. <https://doi.org/10.1108/01437739410073047>.
- DELBECQ, A. L. 1967. The management of decision-making within the firm: Three strategies for three types of decision-making. *Academy of Management Journal*, 10(4): 329–339. <https://doi.org/10.2307/255266>.
- DEVLIN, E. S. 2007. *Crisis management planning and execution*. Boca Raton: Auerbach Publications. 504 s. ISBN 9780849322440.
- DORI, D., SILLITTO, H., GRIEGO, R. M., MCKINNEY, D., ARNOLD, E., GODFREY, P., MARTIN, J. N., JACKSON, S., KROB, D. 2019. System Definition, System Worldviews, and Systemness Characteristics. *IEEE Systems Journal*, 1–11. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2019.2904116>.

- DRENNAN, L. T., MCCONNELL, A., STARK, A. 2015. *Risk and Crisis Management in the Public Sector*. 2. ilustrované vydání. Routledge Taylor & Francis Group. 263 s. ISBN 9780415739696.
- DUBOIS, D., PRADE, H. 2000. *The Handbooks of Fuzzy Sets*. New York: Springer. 647 s. ISBN 978-1-4613-6994-3.
- DUNN, E., KELLER, J., MARKS, L., IKERD, J., GADER, P., GODSEY, L. 1995. Extending the application of fuzzy sets to the problem of agricultural sustainability. *Proceedings of 3rd International Symposium on Uncertainty Modeling and Analysis and Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society*. 497-502. <https://doi.org/10.1109/isuma.1995.527745>.
- DUTILH, G., RIESKAMP, J. 2016. Comparing perceptual and preferential decision making. *Psychon Bull Rev*, 23: 723–737. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0941-1>.
- DWI PUTRA, M. S., ANDRYANA, S., FAUZIAH, GUNARYATI, A. 2018. Fuzzy analytical hierarchy process method to determine the quality of gemstones. *Advances in Fuzzy Systems*, 2018: 1-6. <https://doi.org/10.1155/2018/9094380>.
- EISNER, H. 2019. *Thinking: A Guide to Systems Engineering Problem-Solving*. Boca Raton: CRC Press. 121 s. ISBN 9780429025365.
- EKEL, P., PEDRYCZ, W., PEREIRA JR, J. 2019. *Multicriteria decision-making under conditions of uncertainty: A fuzzy set perspective*. Hoboken: Wiley. 368 s. ISBN 9781119534921.
- FAGEL, M. J. 2013. *Crisis management and emergency planning: Preparing for today's challenges*. Boca Raton: CRC Press. 550 s. ISBN 9781466555051.
- FARAZMAND, A. 2014. Ethics in crisis management. *Crisis and Emergency Management: Theory and Practice, Second Edition*. Routledge: Taylor & Francis Group. 849 s. ISBN 9780849385131.
- FIALA, P. 2013. *Modely a metody rozhodování*. 3., přeprac. vyd. Praha: Oeconomica. 292 s. ISBN 978-80-245-1981-4.
- FIALA, P., JABLONSKÝ, J., MAŇAS, M. 1994. *Vícekritériální rozhodování: Určeno pro stud. všech fakult VŠE Praha*. Praha: Vysoká škola ekonomická. 316 s. ISBN 80-7079-748-7.
- FOULADGAR, M. M., YAZDANI-CHAMZINI, A., ZAVADSKAS, E. K. 2012. Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12(1): 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2012.03.008>.
- FRANDSEN, F., JOHANSEN, J. W. 2020. *Crisis Communication: Handbooks of Communication Science*. Berlin, Boston: De Gruyter Mouton. 601 s. ISBN 978-3110552287.

- FRANKEL, J., SARAVELLOS, G. 2012. Can leading indicators assess country vulnerability? Evidence from the 2008–09 global financial crisis. *Journal of International Economics*, 87(2): 216–231. <https://doi.org/10.1016/j.jinteco.2011.12.009>.
- FU, M., WANG, L., ZHU, J., ZHENG, B. 2021. Emergency optimization decision-making with incomplete probabilistic information under the background of covid-19. *Complexity*, vol. 2021. Article ID 6658006: 1–16. <https://doi.org/10.1155/2021/6658006>.
- FUNTOWICZ, S. O., RAVETZ, J. R. 1990. *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 231 s. ISBN 978-0-7923-0799-0.
- GAO, J., LIANG, Z., LIAO, H., XU, Z. 2019. Expected consistency-based emergency decision making with incomplete probabilistic linguistic preference relations. *Knowledge-Based Systems*, 176: 15–28. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.03.020>.
- GIGCH, J. P. 1991. *System Design Modeling and Metamodeling*. New York: Plenum Press. 453 s. ISBN 978-1-4899-0678-6.
- GIRDŽIŪTĖ, L. 2012. Risks in Agriculture and Opportunities of their Integrated Evaluation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 62: 783–790. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.132>.
- GIRLING, P. X. 2022. *Operational Risk Management a complete guide for banking and Fintech*. 2nd edit. Wiley. 384 s. ISBN 978-1-119-83605-6.
- GOYAL, G., BISHT, D. C. S. 2021. Strong  $\alpha$ -cut and associated membership-based modeling for fuzzy time series forecasting. *International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing*, 12(1): 2050067. <https://doi.org/10.1142/S1793917939623205>.
- GOYAL, R. K., KAUSHAL, S., SANGAIAH, A. K. 2018. The utility based non-linear fuzzy AHP optimization model for network selection in heterogeneous wireless networks. *Applied Soft Computing*, 67: 800–811. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.05.026>.
- GULIA, A., SALINS, N. 2020. Ethics-based decision-making in a COVID-19 pandemic crisis. *Indian Journal of Medical Sciences*, 72(2): 39–40. [https://doi.org/10.25259/IJMS\\_166\\_2020](https://doi.org/10.25259/IJMS_166_2020).
- HABR, J., VEPŘEK, J., 1986. *Systémová analýza a syntéza (zdokonalování a projektování systémů)* 2. přeprac., vyd. Praha: Stát. nakl. techn. lit. 316 s.
- HALADA, J. 2015. *Marketingová komunikace a public relations: výklad pojmů a teorie oboru*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Karolinum. 118 s. ISBN 978-80-246-3075-5.
- HARALDSSON, H. V. *Introduction to System Thinking and Causal Loop Diagrams*. [online]. 2004, Lund: Department of chemical engineering, Lund University. 49 s. [cit. 2022-10-16] Dostupný z: <https://www.researchgate.net/publication/258261003>. ISSN 1104-2877.
- HARDAKER, J. B., HUIRNE, R. B. M., ANDERSON, J. R., LIEN G. 2004. *Coping with risk in agriculture*. 2nd edit. New York: CABI. 352 s. ISBN 9780851998312.

- HERRERA-VIEDMA, E., CHICLANA, F., HERRERA, F., ALONSO, S. 2007. Group Decision-Making Model With Incomplete Fuzzy Preference Relations Based on Additive Consistency. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 37(1): 176–189. <https://doi.org/10.1109/tsmcb.2006.875872>.
- HSIEH, M., WANG, E. M., LEE, W., LI, L., HSIEH, C., TSAI, W., WANG, C., HUANG, J., LIU, T. 2018. Application of HFACS, fuzzy TOPSIS, and AHP for identifying important human error factors in emergency departments in Taiwan. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 67: 171–179. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.05.004>.
- HUMPL, L. 2008. *Tisková zpráva: Vlakové neštěstí ve Studénce*. [online]. Zábřeh- Ostrava: Územní středisko záchranné služby Moravskoslezského kraje. (PDF). [cit. 2022-10-14]. Dostupné z: [https://www.zachrannasluzba.cz/zajimavosti/08\\_studenka.pdf](https://www.zachrannasluzba.cz/zajimavosti/08_studenka.pdf).
- HUSTED, K., SINKOVICS, R. R. 2021. *Management perspectives on the Covid-19 crisis: Lessons from New Zealand*. Cheltenham: Edward Elgar. 207 s. ISBN 9781800882089.
- HWANG, C. L., YOON, K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications: A State-of-the-Art Survey*. Berlin, Heidelberg: Springer. 269 s. ISBN 978-3-540-10558-9.
- CHAAYA, C., DEVI THAMBI, V., SABUNCU, Ö., ABEDI, R., OSMAN AHMED OSMAN, A., UWISHEMA, O., ONYEAKA, H. 2022. Ukraine – Russia crisis and its impacts on the mental health of Ukrainian young people during the covid-19 pandemic. *Annals of Medicine and Surgery*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104033>.
- CHAKRAVERTY, S., SAHOO, D. M., MAHATO, N. R. 2019. Defuzzification. *Concepts of Soft Computing*, 117–127. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7430-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7430-2_7).
- CHATTERJEE, P., STEVIĆ, Ž. 2019. A two-phase fuzzy AHP - fuzzy TOPSIS model for supplier evaluation in manufacturing environment. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 2(1). <https://doi.org/10.31181/oresta1901060c>.
- CHECKLAND, P. 1981. *Systems Thinking, Systems Practice*. Chichester; New York: Wiley, 330 s. ISBN 0 471 27911 0.
- CHEN, C. 2000. Extensions of the Topsis for group decision-making under Fuzzy Environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1): 1-9. [https://doi.org/10.1016/s0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/s0165-0114(97)00377-1).
- CHEN, S. J., HWANG, C. L., BECKMANN, M. J., KRELLE, W. 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*. Berlin, Heidelberg: Springer. 536 s. ISBN 978-3-540-54998-7.
- CHOO, E. U., WEDLEY, W. C. 2008. Comparing fundamentals of additive and multiplicative aggregation in ratio scale multi-criteria decision making. *The Open Operational Research Journal*, 2(1): 1–7. <https://doi.org/10.2174/1874243200802010001>.
- ISHIZAKA, A., SIRAJ, S. 2018. Are multi-criteria decision-making tools useful? An experimental comparative study of three methods. *European Journal of Operational Research*, 264(2): 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.05.041>.

- JABLONSKÝ, J. 2007. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing. 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3.
- JAIN, V. K., GOPAL, K. 1986. An algorithm for determining the most reliable path of a network. *Microelectronics Reliability*, 26(5): 883–884. [https://doi.org/10.1016/0026-2714\(86\)90231-3](https://doi.org/10.1016/0026-2714(86)90231-3).
- JANÍČEK, P., MAREK, J. 2013. *Expertní inženýrství v systémovém pojetí*. Praha: Grada. 592 s. ISBN 978-80-247-4127-7.
- JIA, J., YAN, J. 2015. Analysis about factors affecting the degree of damage of buildings in earthquake. *Journal of Physics: Conference Series*, 628: 012062. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/628/1/012062>.
- JIN, Y. 2009. The effects of public's cognitive appraisal of emotions in crises on crisis coping and strategy assessment. *Public Relations Review*, 35(3): 310–313. <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2009.02.003>.
- JU, Y., WANG, A., LIU, X. 2012. Evaluating emergency response capacity by Fuzzy AHP and 2-tuple fuzzy linguistic approach. *Expert Systems with Applications*, 39(8): 6972–6981. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.061>.
- KAHRAMAN, C., ERTAY, T., BÜYÜKÖZKAN, G. 2006. A fuzzy optimization model for QFD planning process using analytic network approach. *European Journal of Operational Research*, 171(2): 390–411. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.09.016>.
- KAHRAMAN, C., ONAR, S. C., OZTAYSI, B. 2015. Fuzzy multicriteria decision-making: A literature review. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 8(4): 637. <https://doi.org/10.1080/18756891.2015.1046325>.
- KAMAT, P. V. 2019. Absolute, Arbitrary, Relative, or Normalized Scale? How to Get the Scale Right. *ACS Energy Letters*, 4(8): 2005–2006. <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.9b01571>.
- KAYA, I., ÇOLAK, M., TERZI, F. 2019. A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making. *Energy Strategy Reviews*, 24: 207–228. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.03.003>.
- KIPPENBERGER, T. 1999. Facing different types of crisis. *The Antidote*, 4(3): 24–27. <https://doi.org/10.1108/EUM00000000006697>.
- KLIR, G. J. 1969. *An Approach to General Systems Theory*. Michiganská univerzita. Van Nostrand Reinhold. 323 s. ISBN 9780442244620.
- KLIR, G. J. 1991. *Facets of systems science*. 2nd edit. New York: Plenum Press. 664 s. ISBN 0-306-43959-X.
- KLIR, G. J., YUAN, B. 1995. *Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications*. New Jersey: Prentice Hall. 591 s. ISBN 0-13-101171-5.

- KOÇAK, S., TOTH-LAUFER, E., POKORADI, L. 2018. Comparison of the defuzzification methods in risk assessment applications. *2018 IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, 229 – 232. <https://doi.org/10.1109/cinti.2018.8928196>.
- KÖKSALAN, M., WALLENIIUS, J., ZIONTS, S. 2011. *Multiple criteria decision making: From early history to the 21st Century*. Singapore: World Scientific. 212 s. ISBN 9789814462235.
- KOMAREK, A. M., PINTO, A. D., SMITH, V. H. 2020. A review of types of risks in agriculture: What we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 178: 102738. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102738>.
- KOPPMANN, A., CANTILLANO, V. ALESSANDRI, C. 2021. Distrés moral y burnout en el personal de Salud Durante la crisis Por covid-19. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 32(1): 75–80. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2020.12.009>.
- KOUKOLÍK, F. 2016. *Rozhodování: eseje*. Praha: Univerzita Karlova v Praze. Karolinum. 278 s. ISBN 978-80-246-3364-0.
- KOZIOŁ-NADOLNA, K., BEYER, K. 2021. Determinants of the decision-making process in organizations. *Procedia Computer Science*, 192: 2375–2384. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.006>.
- KROSNICK, J. A. 1991. Response strategies for coping with the cognitive demands of attitude measures in surveys. *Applied Cognitive Psychology*, 5(3): 213-236. <https://doi.org/10.1002/acp.2350050305>.
- KROSNICK, J. A. 2017. Questionnaire design. *The Palgrave Handbook of Survey Research*, 439–455. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54395-6\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54395-6_53).
- KUCHYŇKA, L., MAIKRANZ, P. 2008. *Zpráva o výsledcích šetření příčin a okolností vzniku mimořádné události*. [online]. Ostrava: Drážná inspekce. (PDF). [cit. 2022- 10- 14]. Dostupné z: [https://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/MU/DI\\_Studenka.pdf](https://www.dicr.cz/uploads/Zpravy/MU/DI_Studenka.pdf).
- KUNC, M. 2018. *Strategic Analytics: Integrating Management Science and Strategy*. New York: Wiley. 392 s. ISBN 9781118907184.
- KUTLU GÜNDOĞDU, F., KAHRAMAN, C. 2019. A novel spherical fuzzy analytic hierarchy process and its renewable energy application. *Soft Computing*, 24(6): 4607-4621. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04222-w>.
- KUZ'MIN, V. B. 1981. A parametric approach to description of linguistic values of variables and hedges. *Fuzzy Sets and Systems*, 6(1): 27-41. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(81\)90078-6](https://doi.org/10.1016/0165-0114(81)90078-6).
- KYUTOKU, Y., TADA, R., UMEYAMA, T., HARADA, K., KIKUCHI, S., WATANABE, E., LIEGEY-DOUGALL, A., DAN, I. 2012. Cognitive and psychological reactions of the general population three months after the 2011 Tohoku earthquake and Tsunami. *PLoS ONE*, 7(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031014>.



- LANGFORS, B., DAHLBOM, B. 1995. *Essays on Infology: Summing Up and Planning for the Future*. Studentlitteratur. 180 s. ISBN 978-9144613017.
- LEE, W. H. K., KANAMORI, H., JENNINGS, P., KISSLINGER, C. 2003. *International Handbook of Earthquake & Engineering Seismology*. London: Academic Press. 1000. ISBN 9780124406599.
- LEEKWIJCK, W. V., KERRE, E. E. 1999. *Defuzzification: criteria and classification*. *Fuzzy Sets and Systems*, 108(2): 159–178. [https://doi.org/10.1016/s0165-0114\(97\)00337-0](https://doi.org/10.1016/s0165-0114(97)00337-0).
- LI, H., GUO, J.-Y., YAZDI, M., NEDJATI, A., ADESINA, K. A. 2021. Supportive emergency decision-making model towards sustainable development with fuzzy expert system. *Neural Computing and Applications*. 33(22): 15619–15637. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06183-4>.
- LI, H.; YANG, J.; XIANG, Z. 2022. A Fuzzy Linguistic Multi-Criteria Decision-Making Approach to Assess Emergency Suppliers. *Sustainability* 2022, 14(20): 13114. <https://doi.org/10.3390/su142013114>.
- LI, Q. 2013. A novel likert scale based on fuzzy sets theory. *Expert Systems with Applications*, 40(5): 1609–1618. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.09.015>.
- LIN, L.-Z., YEH, H.-R. 2012. Linking Consumer Perception of Store Image Using FANP. *IBusiness*, 04(01): 18–28. <https://doi.org/10.4236/ib.2012.41003>.
- LUKASIEWICZ, J. 1920. O logice trojwartosciowej, *Ruch Filozoficzny*, 270(5): 170–171.
- LUKASIEWICZ, J. 1930. Philosophical remarks on many-valued systems of propositional logic, Reprinted in Selected Works (Borkowski, ed.). *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics*, North-Holland, Amsterdam, 1970: 153–179.
- MAREŠ, M. 1997. Weak arithmetics of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 91(2): 143–153. [https://doi.org/10.1016/s0165-0114\(97\)00136-x](https://doi.org/10.1016/s0165-0114(97)00136-x).
- MARTÍNEZ, L., RUAN, D., HERRERA, F., HERRERA-VIEDMA, E., WANG, P. P. 2009. Including Special Section – Linguistic Decision Making: Tools and Applications. *Information Sciences*, 179(14): 2297–2512. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2008.12.01>.
- MEIER, K. 1997. Methods for decision making with cardinal numbers and additive aggregation. *Fuzzy Sets and Systems*, 88(2): 135–159. [https://doi.org/10.1016/s0165-0114\(96\)00049-8](https://doi.org/10.1016/s0165-0114(96)00049-8).
- MENOLD, N., BOGNER, K. 2016. Design of Rating Scales in Questionnaires. *GESIS Survey Guidelines*. Mannheim, Germany: GESIS – Leibniz Institute for the Social Sciences. [https://doi.org/10.15465/gesis-sg\\_en\\_015](https://doi.org/10.15465/gesis-sg_en_015).
- MENOLD, N., WOLF, C., BOGNER, K. 2018. *Design aspects of rating scales in questionnaires* *Mathematical Population Studies*, 25(2):63–65. <https://doi.org/10.1080/08898480.2018.1439240>.

- MIKHAILOV, L., SINGH, M. 2003. Fuzzy analytic network process and its application to the development of decision support systems. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 33(1): 33-41. <https://doi.org/10.1109/tsmcc.2003.809354>.
- MIKULIĆ, J., SPRČIĆ, D. M., HOLIČEK, H., PREBEŽAC, D. 2018. Strategic crisis management in tourism: An application of integrated risk management principles to the Croatian tourism industry. *Journal of Destination Marketing & Management*, 7: 36–38. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2016.08.001>.
- MILDEOVÁ, S. 2013. System dynamics: Discipline for studying Complex Soft Systems. *Acta Informatica Pragensia*, 2(2): 112–121. <https://doi.org/10.18267/j.aip.28>.
- MILLER, J. G. 1995. *Living Systems*. University Press of Colorado. 1102 s. ISBN 9780870813634.
- MONTAGNI, I., CARIOU, T., TZOURIO, C., GONZÁLEZ-CABALLERO, J.-L. 2019. “I don’t know”, “I’m not sure”, “I don’t want to answer”: A latent class analysis explaining the informative value of nonresponse options in an online survey on Youth Health. *International Journal of Social Research Methodology*, 22(6): 651–667. <https://doi.org/10.1080/13645579.2019.1632026>.
- MUNIER, N., HONTORIA, E., JIMÉNEZ-SÁEZ, F. 2019. *Strategic Approach in Multi-Criteria Decision Making, A Practical Guide for Complex Scenarios*. Cham: Springer. 288 s. ISBN 978-3-030-02725-4.
- NABEEH, N. A., ABDEL-BASSET, M., EL-GHAREEB, H. A., ABOELFETOUH, A. 2019. Neutrosophic Multi-Criteria Decision Making Approach for IoT-Based Enterprises. *IEEE Access*, 7: 59559–59574. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2908919>.
- NADLER, J. T., WESTON, R., VOYLES, E. C. 2015. Stuck in the middle: The use and interpretation of mid-points in items on questionnaires. *The Journal of General Psychology*, 142(2): 71-89. <https://doi.org/10.1080/00221309.2014.994590>.
- NEHÉZOVÁ, T. S., ŠKODA, M., HLAVATÝ, R., BROŽOVÁ, H. 2022. Fuzzy and robust approach for decision-making in disaster situations. *Central European Journal of Operations Research*, 30(2): 617–645. <https://doi.org/10.1007/s10100-021-00790-1>.
- NLENANYA, I., SMADI, O. 2018. Risk management and data needs: A State of the practice survey of state highway agencies. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(44): 55-61. <https://doi.org/10.1177/0361198118782764>.
- NOVÁK, V. 1986. *Fuzzy množiny a jejich aplikace*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, Matematický seminář SNTL. 278 s.
- NOVÁK, V. 2002. *Základy fuzzy modelování*. Praha: BEN - technická literatura. 176 s. ISBN 80-7300-009-1.
- NOVÁK, V., PERFILIEVA, I., DVORAK, A. 2016. *Insight into fuzzy modeling*. Hoboken: Wiley. 272 s. ISBN 978-1-119-19318-0.

- NOZARI, H., GHAHREMANI-NAHR, J., FALLAH, M., SZMELTER-JAROSZ, A. 2022. Assessment of Cyber Risks in an IoT-based Supply Chain using a Fuzzy Decision-Making Method. *International Journal of Innovation in Management, Economics and Social Sciences*. 2: 52-64. <https://doi.org/10.52547/ijimes.2.1.52>.
- OPRICOVIC, S., TZENG, G.-H. 2003. Defuzzification within a Multicriteria Decision Model. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 11(05): 635–652. <https://doi.org/10.1142/s0218488503002387>.
- PECKOL, J. K. 2021. *Introduction to fuzzy logic*. Hoboken: Wiley, 304 s. ISBN 978-1-119-77263-7.
- PEIRCE, C. S., HARTSHORNE, C., WEISS, P. 1931. *Collected Papers of Charles Sanders Peirce*. Cambridge: Harvard University Press. 962 s.
- PELÁNEK, R. 2011. *Modelování a simulace komplexních systémů: jak lépe porozumět světu*. Brno: Masarykova univerzita. 236 s. ISBN 978-80-210-5318-2.
- PENUUEL, K. B., STATLER, M., HAGEN, R. 2013. *Encyclopedia of crisis management*. London: SAGE. 176 s. ISBN 978-1452226125.
- PETROVIC, R., JOVANOVIĆ, S. 1979. Two Algorithms for Determining the Most Reliable Path of a Network. *IEEE Transactions on Reliability*, R-28(2): 115–119. <https://doi.org/10.1109/tr.1979.5220514>.
- POKHREL, S., CHHETRI, R. 2021. A Literature Review on Impact of COVID-19 Pandemic on Teaching and Learning. *Higher Education for the Future*, 8(1): 133–141. <https://doi.org/10.1177/2347631120983481>.
- POWER, M. 2009. The risk management of nothing. *Accounting, Organizations and Society*, 34(6-7): 849–855. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2009.06.001>.
- PRESTON, C. C., COLMAN, A. M. 2000. Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. *Acta Psychologica*, 104(1): 1–15. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(99\)00050-5](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(99)00050-5).
- RAHIMINEZHAD GALANKASHI, M., MOKHATAB RAFIEI, F., GHEZELBASH, M. 2020. Portfolio selection: A fuzzy-ANP approach. *Financial Innovation*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-020-00175-4>.
- RAMOS GUAJARDO, A. B., GONZÁLEZ LÓPEZ, M. J., GONZÁLEZ RUIZ, I. 2015. Analysis of the reliability of the fuzzy scale for assessing the students' learning styles in Mathematics. *IFSA-EUSFLAT*, 17250367. <https://doi.org/10.2991/IFSA-EUSFLAT-15.2015.103>.
- RAO, P. P. B. 2017. Ranking fuzzy numbers using alpha cuts and centroids. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 33(4): 2249–2258. <https://doi.org/10.3233/jifs-171119>.
- REICHERT, P., NIEDERBERGER, K., REY, P., HELG, U., HAERTEL-BORER, S. 2019. The need for unconventional value aggregation techniques: experiences from eliciting

stakeholder preferences in environmental management. *EURO Journal on Decision Processes*, 7 (3-4): 197-219. <https://doi.org/10.1007/s40070-019-00101-9>.

REZAEI, J., FAHIM, P. B., TAVASSZY, L. 2014. Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: Conjunctive Screening Method and Fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 41(18): 8165-8179. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.07.005>.

RODRIGUES-DA-SILVA, L. H., CRISPIM, J. A. 2014. The Project Risk Management Process, a Preliminary Study. *Procedia Technology*, 16: 943-949. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.047>.

RODRÍGUEZ, H., QUARANTELLI, E. L., DYNES, R., R. 2007. *Handbook of Disaster Research. Handbooks of Sociology and Social Research*. New York,: Springer. 611 s. ISBN 978-0-387-73952-6.

RODRIGUEZ, R. M., MARTINEZ, L., HERRERA, F. 2012. Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets for Decision Making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1): 109-119. <https://doi.org/10.1109/tfuzz.2011.2170076>.

ROSENTHAL, U., BOIN, R. A., COMFORT, L. K. 2001. *Managing Crises: Threats, Dilemmas, Opportunities*. Springfield: Charles C Thomas. 366 s. ISBN 0398072248.

ROSENTHAL, U., CHARLES, M. T., HART, P. T. 1989. *Coping with Crises: The Management of Disasters, Riots and Terrorism*. Ilustrované vydání. Springfield: Charles C Thomas. 485 s. ISBN 0398064083.

ROSS, T. J. 2010. *Fuzzy logic with engineering applications*, 3rd edit. Chichester: Wiley. 606 s. ISBN 978-0-470-74376-8.

SAAD, R. MD, AHMAD, M. Z., ABU, M. S., JUSOH, M. S. 2014. Hamming distance method with subjective and objective weights for personnel selection. *The Scientific World Journal*, 2014: 1-9. <https://doi.org/10.1155/2014/865495>.

SAARELAINEN, M., AHONEN, J. J., LINTINEN, H., KOSKINEN, J., KANKAANPÄÄ, I., SIVULA, H., JUUTILAINEN, P., TILUS, T. 2006. Software modernization and replacement decision making in industry: A qualitative study. *Electronic Workshops in Computing*. 1-10. <https://doi.org/10.14236/ewic/ewic2006.3>.

SANGAIAH, A. K., SUBRAMANIAM, P. R., ZHENG, X. 2014. A combined fuzzy DEMATEL and fuzzy TOPSIS approach for evaluating GSD project outcome factors. *Neural Computing and Applications*, 26(5): 1025-1040. <https://doi.org/10.1007/s00521-014-1771-1>.

SAUVAGNARGUES, S. 2018. *Decision-making in crisis situations: Research and innovation for optimal training*. London: Wiley-ISTE. 218 s. ISBN 9781786303431.

SAYEGH, L., ANTHONY, W. P., PERREWÉ, P. L. 2004. Managerial decision-making under crisis: The role of emotion in an intuitive decision process. *Human Resource Management Review*, 14(2): 179-199. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2004.05.002>.

- ŞENGEZER, B., ANSAL, A., BILEN, Ö. 2008. *Evaluation of parameters affecting earthquake damage by decision tree techniques*. *Natural Hazards*, 47(3): 547–568. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9238-2>.
- SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL. 2020. *Sismo del 23 de junio de 2020, costa de Oaxaca (M 7.4): Reporte especial (Grupo de trabajo del Servicio Sismológico Nacional, UNAM)* [online]. Oaxaca: Universidad Nacional Autónoma de México: 2020-06-23. 17 s. (PDF) [cit. 2022-10-19]. Dostupný z: [http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2020/SSNMX\\_rep\\_esp\\_20200623\\_Oaxaca-Costa\\_M75.pdf](http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2020/SSNMX_rep_esp_20200623_Oaxaca-Costa_M75.pdf).
- SHA, X., YIN, C., XU, Z., ZHANG, S. 2021. Probabilistic hesitant Fuzzy Topsis emergency decision-making method based on the cumulative prospect theory. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(3): 4367-4383. <https://doi.org/10.3233/jifs-201119>.
- SHIFFRIN, R. M. 2021. “Is it Reasonable to Study Decision-Making Quantitatively?” *Topics in Cognitive Science*, 14(3): 621-633. <https://doi.org/10.1111/tops.12541>.
- SCHIERE, J. B., GROENLAND, R., VLUG, A., KEULEN, H. V. 2004. System thinking in agriculture: an overview. *Emerging challenges for farming systems: lessons from Australian and Dutch agriculture*. Barton: RIRDC. 243 s. ISBN 0642586209.
- ŞİMŞEK, Ö. 2020. Lexicographic decision rule. *Oxford Research Encyclopedia of Politics*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228637.013.908>.
- SIXTA, J., ŽIŽKA, M. 2009. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer Press. 240 s. ISBN 978-80-251-2563-2.
- SKALNA, I., REBIASZ BOGDAN, GAWEL, B., BASIURA, B., DUDA, J., OPIŁA, J. M., PEŁECH-PILICHOWSKI, T. 2015. *Advances in fuzzy decision making: Theory and practice*. Cham: Springer. 151 s. ISBN 9783319264929.
- SKYTTNER, L. 1996. *General Systems Theory: An Introduction*. Macmillan Press, 290. ISBN 9780333618332.
- SMEJKAL, V., RAIS K. 2013. *Řízení rizik ve firmách a jiných organizacích*. 4. akt. rozš. vyd. Praha: Grada. 488 s. ISBN 978-80-247-4644-9.
- SMITHSON, M. 1987. *Fuzzy Set Analysis for Behavioral and Social Sciences: Recent Research in Psychology*. New York: Springer. 327 s. ISBN 978-0-387-96431-7.
- SRINIVAS, K., HESSAMI, A. G. 2019. *Perspectives on Risk, Assessment and Management Paradigms*. London: IntechOpen. 210 s. ISBN 978-1-83880-133-5.
- SYROPOULOS, A. 2016. On Vague Computers. *Emergence, Complexity and Computation*, 24: 393–402. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46376-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46376-6_17).
- SYROPOULOS, A., GRAMMENOS, T. 2020. *A modern introduction to Fuzzy Mathematics*. Wiley. 384 s. ISBN 9781119445289.
- ŠKODA, M., BROŽOVÁ, H. 2019. Evaluation of an (emergency) situation under uncertainty. In: *13th International Conference on Strategic Management and Its Support by*

*Information Systems*. Ostrava: VSB-Technical University of Ostrava Faculty of Economics. 226-234. ISBN 978-802484306-3.

ŠKODA, M., BROŽOVÁ, H., FLEGL, M. 2022. Fuzzy ranking of risks in agriculture. *International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics*, 8(2): 179 - 199. <https://doi.org/10.1504/ij sami.2022.124582>.

ŠKODA, M., FLEGL, M., LOZANO, C. 2021. Fuzzy approach for group decision-making in crisis situations. *Business: Theory and Practice*, 22(1): 180–189. <https://doi.org/10.3846/btp.2021.12148>.

TALAŠOVÁ, J. 2003. *Fuzzy metody vícekritériálního hodnocení a rozhodování*. Olomouc: Univerzita Palackého. 179 s. ISBN 80-244-0614-4.

TAYLAN, O., BAFAIL, A. O., ABDULAAL, R. M., KABLI, M. R. 2014. Construction projects selection and risk assessment by Fuzzy AHP and Fuzzy Topsis methodologies. *Applied Soft Computing*, 17: 105-116. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.01.003>.

THAKKAR, J. J. 2021. *Multi-Criteria Decision Making*. Singapore: Springer. 390 s. ISBN 9789813347472.

The PLOS Medicine Editors. 2022. Ukraine conflict: Prioritizing lives and health. *The PLOS Medicine Editors*, 19(5): e1004007. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004007>.

TOFALLIS, C. 2014. On constructing a composite indicator with multiplicative aggregation and the avoidance of zero weights in DEA. *Journal of the Operational Research Society*, 65(5). 791–792. <https://doi.org/10.1057/jors.2013.137>.

TOMANDL, J., ČUŘÍK, J., MARŠOVSKÁ, K., FOJTOVÁ, T. 2020. *Krizová komunikace: Principy – zkušenosti – postupy*. Brno: Masarykova univerzita. 221 s. ISBN 978-80-210-9636-3.

TRIANANTAPHYLLOU, E. 2000. *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*. New York: Springer. 290 s. ISBN 978-0-7923-6607-2.

TUBBS, E. P., ELROD, J. A. B., FLUM, D. R. 2006. Risk Taking and Tolerance of Uncertainty: Implications for Surgeons. *Journal of Surgical Research*, 131(1): 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2005.06.010>.

UMLAUFOVÁ, M., PFEIFER, L., 1995. *Prevence a řízení podnikatelské krize v aktuálním českém hospodářském prostředí*. Praha: Victoria Publishing. 99 s. ISBN 80-85865-52-1.

USGS SCIENCE FOR A CHANGING WORLD. 2020. Earthquake Hazards Program of the U.S. *M 7.4 - 9 km SE of Santa María Xadani, Mexico*[online]. [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000ah9t/executive>.

UŽGA-REBROVS, O., KUĽEŠOVA, G. 2017. Comparative analysis of fuzzy set defuzzification methods in the context of ecological risk assessment. *Information Technology and Management Science*, 20(1): 25-29. <https://doi.org/10.1515/itms-2017-0004>.

- VAN LAARHOVEN, P., PEDRYCZ, W. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(1-3): 229-241. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(83\)80082-7](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(83)80082-7).
- VILÁŠEK, J., FIALA, M., VONDRÁŠEK, D. 2014. *Integrovaný záchranný systém ČR na počátku 21. století*. Praha: Karolinum. 190 s. ISBN 978-80-246-2477-8.
- VUKAJLOVIĆ, V., SIMEUNOVIĆ, I., BERAHA, I., BRZAKOVIĆ, M. 2019. Importance of information in crisis management: Statistical analysis. *Industrija*, 47: 37-53. <https://doi.org/10.5937/industrija47-23274>.
- VYMĚTAL, Š. 2009. *Krizová komunikace a komunikace rizika*. 1 vyd. Psyché. Praha: Grada. 176 s. ISBN 978-80-247-2510-9.
- WANG, L., WANG, Y.-M., RODRIGUEZ, R. M., MARTINEZ, L. 2017. A hesitant fuzzy linguistic model for emergency decision making based on fuzzy TODIM method. *2017 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 1-6, <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2017.8015550>.
- WANG, Y. M., ELHAG, T. M. S. 2006. Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment. *Expert Systems with Applications*, 31(2): 309–319. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.09.040>.
- WANG, Y.-M., LUO, Y. 2009. On rank reversal in decision analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 49(5-6): 1221–1229. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2008.06.019>.
- WAŹTRÓBSKI, J., JANKOWSKI, J. 2015. Guideline for MCDA Method Selection in Production Management Area. *Intelligent Systems Reference Library*, 98: 119–138. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23338-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23338-3_6).
- WEATHERS, D., SWAIN, S. D., CARLSON, J. P. 2012. Why consumers respond differently to absolute versus percentage descriptions of quantities. *Marketing Letters*, 23(4): 943–957. <https://doi.org/10.1007/s11002-012-9189-y>.
- WENZEL, M., STANSKE, S., LIEBERMAN, M. B. 2021. Strategic responses to crisis. *Strategic Management Journal*. 42 (2): O16-O27. <https://doi.org/10.1002/smj.3161>.
- WHALEY, B. B. 2000. *Explaining Illness: Research, theory, and strategies*. Lawrence Erlbaum. 360 s. ISBN 0805831118.
- WILHITE, D. A., KNUTSON, M. J., SMITH, K. H. 2000. Planning for drought: Moving from crisis to Risk Management. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(4): 697–710. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04299.x>.
- WITTGENSTEIN, L. 1953. *Philosophical Investigations*, New York: Macmillan. 232 s.
- WOOD, H. O., NEUMANN, F. 1931. Modified mercalli intensity scale of 1931. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 21(4): 277–283. <https://doi.org/10.1785/bssa0210040277>.

WU, J., LIU, X.-D., WANG, Z.-W., ZHANG, S.-T. 2019. Dynamic Emergency Decision-Making Method With Probabilistic Hesitant Fuzzy Information Based on GM (1,1) and TOPSIS. *IEEE Access*, 7: 7054–7066. <https://doi.org/10.1109/access.2018.2890110>.

YALCIN, N., BAYRAKDAROGLU, A., KAHRAMAN, C. 2012. Application of fuzzy multi-criteria decision making methods for financial performance evaluation of Turkish Manufacturing Industries. *Expert Systems with Applications*, 39(1): 350–364. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.07.024>.

YOE, C. E. 2019. *Principles of Risk Analysis: Decision making under uncertainty*. 2nd edit. Boca Raton: CRS Press. 850 s. ISBN 978-1-138-47820-6.

ZADEH, L. A. 1965. *Fuzzy sets*. *Information Control*, 8(3): 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X).

ZADEH, L. A. 1968. Probability measures of fuzzy events. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 23(2): 421-427. [https://doi.org/10.1016/0022-247X\(68\)90078-4](https://doi.org/10.1016/0022-247X(68)90078-4).

ZADEH, L. A. 1973. "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 3(1): 28–44. <https://doi.org/10.1109/tsmc.1973.5408575>.

Zákon č. 239/2000 Sb., o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů.

Zákon č. 240/2000 Sb., o krizovém řízení a o změně některých zákonů (krizový zákon).

ZEMKOVÁ, 2006. Fuzzy škály v psychologii. *Olomoucké dny aplikované matematiky*, [online]. (8): 131-142. (PDF). [cit. 2022-10-16]. Dostupný z: <https://kma.upol.cz/data/xinha/ULOZISTE/odam/odam06sb.pdf#page=131>.

ZENG, J., AN, M., SMITH, N. J. 2007. Application of a fuzzy based decision making methodology to Construction Project Risk Assessment. *International Journal of Project Management*, 25(6): 589-600. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.02.006>.

ZHANG, R., PHILLIS, Y. A., KOUIKOGLU, V. S. 2005. *Fuzzy Control of Queuing Systems*. London: Springer. 175 s. ISBN 978-1-85233-824-4.

ZHOU, J., YANG, F., WANG, K. 2015. Fuzzy arithmetic on LR fuzzy numbers with applications to fuzzy programming. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 30(1): 71–87. <https://doi.org/10.3233/ifs-151712>.

ZUZÁK, R., HORSKÁ, V., MOULIS, P. 1999. Finanční krize podniku: část 1. Teoretická východiska. *Moderní řízení: měsíčník pro vrcholový a střední management, poradce, lektory, personalisty i podnikatelé; měsíčník Hospodářských novin*. Praha: Economia. 34(12): 2-7 s. ISSN 0026-8720.

ZUZÁK, R., KÖNIGOVÁ M. 2009. *Krizové řízení podniku*. 2., aktualizované a rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing. 256 s. ISBN 8024767317.



## 8 Seznam obrázků, tabulek, grafů a zkratk

### 8.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Postup při krizovém řízení v užším smyslu .....	23
Obrázek 2 Proces krizového managementu .....	23
Obrázek 3 Proces krizového managementu v kontrastu s probíhající krizí .....	25
Obrázek 4 Součtová matice rizik .....	26
Obrázek 5 Rozdělení pěti funkcí krizového řízení mezi řízení rizik a řízení krizí .....	28
Obrázek 6 Vztah stupně řízení a charakteru objektu rozhodování .....	49
Obrázek 7 Fáze rozhodovacího procesu .....	52
Obrázek 8 Proces rozhodování .....	52
Obrázek 9 Kriteriační matice .....	55
Obrázek 10 Dělení metod dle typu informace .....	60
Obrázek 11 Příklad ostré množiny .....	66
Obrázek 12 Možná podoba funkce příslušnosti .....	67
Obrázek 13 Vybrané charakteristiky fuzzy množin .....	68
Obrázek 14 Trojúhelníkové fuzzy číslo .....	69
Obrázek 15 Trapezoidní fuzzy číslo .....	70
Obrázek 16 Různé druhy lineárních fuzzy čísel .....	71
Obrázek 17 Fuzzy vyjádření termů „mladý“ a „velmi starý“ .....	72
Obrázek 18 Grafické znázornění metod defuzzifikace .....	75
Obrázek 19 Rovnoměrná fuzzy škála .....	77
Obrázek 20 Nerovnoměrná fuzzy škála s nejvíce neurčitou střední hodnotou .....	77
Obrázek 21 Nerovnoměrná fuzzy škála s nejvíce neurčitými krajními hodnotami .....	78
Obrázek 22 Transformace trojúhelníkového fuzzy čísla na trapezoidní fuzzy číslo .....	81
Obrázek 23 Efekt transformace fuzzy čísla A .....	82
Obrázek 24 Efekt transformace fuzzy čísla B .....	82
Obrázek 25 Výběr substitučního fuzzy čísla .....	83
Obrázek 26 Proces realizace hodnocení .....	89
Obrázek 27 Grafické znázornění fuzzy škály přiřazené hlavním kritériím .....	93
Obrázek 28 Substituční fuzzy číslo .....	94
Obrázek 29 Výsledná fuzzy čísla .....	96
Obrázek 30 Výsledné hodnocení typů rizik .....	97
Obrázek 31 Součtová matice rizik .....	98
Obrázek 32 Grafické znázornění fuzzy škály $Y1i$ a $Y2i$ .....	100
Obrázek 33 Grafické znázornění fuzzy škály $Y3i$ a $Y4i$ .....	100
Obrázek 34 Grafické znázornění fuzzy škály $Y5i$ .....	101
Obrázek 35 Substituční fuzzy číslo .....	101
Obrázek 36 Výsledné fuzzy číslo .....	103
Obrázek 37 Mapa se znázorněním tras .....	105
Obrázek 38 Grafické znázornění fuzzy škály $Y1i$ .....	106
Obrázek 39 Substituční fuzzy číslo .....	108
Obrázek 40 Nejnižší a nejvyšší výsledné fuzzy číslo .....	117
Obrázek 41 Mapa se znázorněním tras včetně výsledného ohodnocení .....	119

## 8.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Pravděpodobnost výskytu rizika.....	27
Tabulka 2 Přehled základních přístupů ke zmírnění či odstranění rizika .....	27
Tabulka 3 Typy rozhodování .....	46
Tabulka 4 Škála pro pravděpodobnost výskytu rizika .....	93
Tabulka 5 Škála pro míru dopadu rizika.....	93
Tabulka 6 Škála pro výskyt rizika .....	94
Tabulka 7 Hodnocení dle hlavních kritérií .....	95
Tabulka 8 Syntéza a nahrazení fuzzy hodnocení .....	95
Tabulka 9 Ohodnocení variant dle podpůrného kritéria a transformované fuzzy číslo .....	96
Tabulka 10 Defuzzifikace a převedení na škálu 0-1 .....	97
Tabulka 11 Škála pro míru ohrožení života a míru ohrožení zdraví .....	100
Tabulka 12 Škála pro míru ohrožení života a míru ohrožení zdraví .....	100
Tabulka 13 Škála pro míru ohrožení života a míru ohrožení zdraví .....	101
Tabulka 14 Škála pro výskyt rizika .....	101
Tabulka 15 Hodnocení dle hlavních kritérií .....	102
Tabulka 16 Syntéza a nahrazení fuzzy hodnocení .....	102
Tabulka 17 Ohodnocení na základě podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla .....	103
Tabulka 18 Defuzzifikace a převedení na škálu 0-1 .....	103
Tabulka 19 Škála pro ohodnocení síly zemětřesení v epicentru.....	106
Tabulka 20 Škála pro ohodnocení vzdálenosti od zemětřesení .....	107
Tabulka 21 Škála pro ohodnocení geografického umístění.....	107
Tabulka 22 Škála pro ohodnocení odolnosti trasy.....	107
Tabulka 23 Škála pro ohodnocení možnosti překážek na trase .....	107
Tabulka 24 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla .....	110
Tabulka 25 Nová fuzzy čísla vzniklá transformací substitučního fuzzy čísla .....	111
Tabulka 26 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla .....	112
Tabulka 27 Nová fuzzy čísla vzniklá transformací substitučního fuzzy čísla .....	113
Tabulka 28 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla .....	115
Tabulka 29 Nová fuzzy čísla vzniklá transformací substitučního fuzzy čísla .....	116
Tabulka 30 Volba podpůrného kritéria a transformace fuzzy čísla .....	117
Tabulka 31 Defuzzifikace a převedení na škálu 0-1 .....	119