



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

## Aplikace matematického rozhodování do krizového řízení

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program:

OCHRANA OBYVATELSTVA

**Autor:** Daniel Lepič

**Vedoucí práce:** Ing. Mgr. Marie Charvátová

České Budějovice 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci s názvem Aplikace matematického rozhodování do krizového řízení jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby bakalářské práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé bakalářské práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3. 5. 2017

.....

Daniel Lepič

## **Poděkování**

Rád bych zde poděkoval vedoucí bakalářské práce Ing. Mgr. Marii Charvátové za její cenné rady a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky. V neposlední řadě také děkuji své rodině, která mě podporovala.

# Aplikace matematického rozhodování do krizového řízení

## Abstrakt

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout optimální řešení konkrétního problému pomocí aplikace matematického rozhodování a zpracovat přehled základních matematických metod rozhodování, které lze efektivně využít při řešení praktického rozhodovacího úkolu, který je součástí praktické části bakalářské práce. Přínosem této práce bude strukturovaný postup vybraných metod, které lze aplikovat na jakýkoliv rozhodovací problém. Používáním těchto metod se můžeme efektivněji rozhodovat a tím objevit optimální řešení daného problému. Pro účely naplnění cíle byla stanovena výzkumná otázka: Jaké je optimální řešení konkrétního problému pomocí aplikace matematického rozhodování v krizovém řízení? Práce byla rozdělena na teoretickou část, kde se můžete seznámit s obecnou teorií vícekriteriálního rozhodování, a na část praktickou, kde je uveden konkrétní rozhodovací příklad, který je podrobně vysvětlený.

Teoretická část práce byla sepsána na základě rešerše knižních publikací a zahraničních vědeckých článků, které se zabývaly problematikou vícekriteriálního rozhodování. V první kapitole byl rozebrán pojem rozhodování. Další kapitoly se zabývaly vícekriteriálním rozhodováním, stanovením vah kritérií, stanovením pořadí variant a použitím těchto metod v praxi.

Praktická část práce se zabývala aplikací těchto metod na fiktivním příkladu. Pro účely představení těchto metod byl vybírán automobil pro potřeby velitele stanice HZS kraje. Byla popsána metodika výzkumu, kde byly stanoveny jednotlivé postupy a činnosti pro nalezení optimálního řešení rozhodovacího problému. Výzkumná část spočívala ve stanovení kritérií a jejich vah, v průzkumu automobilového trhu v České republice pro výběr varianty, použití vybraných metod vícekriteriálního rozhodování a nalezení optimálního řešení.

**Klíčová slova:** rozhodování; krizové řízení; metody; kritéria; varianty; řešení

# **The application of mathematical decisions in to crisis management**

## **Abstract**

The aim of the thesis was to design an optimal solution to a specific problem using a mathematical decision-making and to create an overview of basic mathematical decision-making methods that can be effectively used in solving practical decision-making task which is a part of the practical part of the bachelor thesis. The thesis's contribution lies in a structured process of selected methods which can be applied to any decision-making problem. While using these methods, we can make more effective decisions and therefore discover the optimal solution to the given problem. A research question was set for the purpose of fulfilling the goal: What is the optimal solution to a specific problem using a mathematical decision-making in crisis management? The thesis was divided into a theoretical part where you can get acquainted with the general theory of multi-criteria decision-making and a practical part where a specific decision-making example is stated and explained in detail.

The theoretical part of the thesis was based on the research of publications and foreign scientific articles dealing with the problematics of multi-criteria decision-making. The first chapter analysed the decision-making as a term. Following chapters looked into multi-criteria decision-making, determining the weight of criteria, establishing the order of variants and using these methods in practice.

The practical part of the thesis dealt with the application of these methods to a fictitious example. An automobile required for the commander of the region's fire brigade station was chosen for the purpose of demonstrating these methods. It describes the methodology of the research where individual processes and activities for finding the optimal solution of the decision-making problem were set. The research part of the thesis consisted in determining the criteria and its weight, making an automotive market research in the Czech Republic for the choice of a variant, using selected methods of multi-criteria decision-making and finding the optimal solution.

**Keywords:** decision-making; crisis management; methods; criteria; variants; solution

## Obsah

ÚVOD .....	7
1 TEORETICKÁ ČÁST .....	8
1.1 Rozhodování .....	8
1.2 Vícekriteriální rozhodování .....	9
1.2.1 Podstata vícekriteriálního rozhodování .....	10
1.2.2 Základní pojmy vícekriteriálního rozhodování .....	10
1.3 Stanovení vah kritérií.....	12
1.3.1 Metody stanovení vah kritérií.....	12
1.3.1.1 Metoda pořadí .....	14
1.3.1.2 Fullerova metoda.....	14
1.3.1.3 Bodovací metoda.....	16
1.3.1.4 Saatyho metoda .....	16
1.4 Metody stanovení pořadí variant .....	19
1.4.1 Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process) .....	20
1.4.2 Metoda WSA (Weighted Sum Approach).....	22
1.4.3 Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution). 23	
1.5 Metody vícekriteriálního rozhodování v praxi .....	24
2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA.....	27
2.1 Cíl práce.....	27
2.2 Výzkumná otázka .....	27
3 OPERACIONALIZACE POJMŮ POUŽITÝCH V CÍLI PRÁCE.....	28
4 METODIKA .....	29
5 VÝSLEDKY .....	31
5.1 Stanovení kritérií .....	31
5.1.1 Stanovení vah kritérií .....	32
5.2 Identifikace variant .....	38
5.3 Stanovení pořadí variant pomocí metody TOPSIS .....	39
5.4 Stanovení pořadí variant pomocí metody WSA .....	51
6 DISKUZE.....	56
7 ZÁVĚR .....	63
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	65
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	70
SEZNAM TABULEK.....	70
SEZNAM ZKRATEK.....	71

## ÚVOD

Každý z nás se určitě nejednou dostal do situace, kdy nevěděl, jak se rozhodnout, aby neudělal chybu a rozhodnutí nebylo špatné. Během svého života učiníme v osobním či profesním životě mnoho rozhodnutí, z nichž některá mohou být správná a některá špatná. Výsledek pak může ovlivnit krátkodobě i dlouhodobě nejen naši budoucnost. Vybrat správnou variantu není často jednoduché, zejména v případech, kdy máme na výběr z více než dvou možností. Proces rozhodování pro nás představuje každý den jednu z nejdůležitějších a nejvýznamnějších činností, proto v obtížných situacích můžeme využít matematické modely, kde nám nejrůznější metody pomůžou vybrat to správné řešení. Znalost metod vícekritériálního rozhodování nám může výrazně pomoci. Některé z těchto metod jsou dle matematických znalostí jednoduché a mohou tak být aplikovány na širokou škálu rozhodovacích problémů. V ideálním případě je dobré použít více těchto metod a jejich výsledky porovnat.

# 1 TEORETICKÁ ČÁST

V teoretické části bakalářské práce se seznámíme s problematikou vícekritériálního rozhodování a jeho použití v praxi. První dvě kapitoly nás zavedou do teorie rozhodování. Třetí kapitola pojednává o kritériích a o metodách, které nám umožňují stanovit váhu jednotlivých kritérií. Čtvrtá kapitola představuje základní rozdělení metod stanovení pořadí variant a u vybraných metod jejich podrobné vysvětlení. V poslední kapitole jsou uvedené příklady použití těchto metod v praxi, která jsou převážně ze světa, ale i z České republiky. Teoretická část práce by nám měla předat základní informace o metodách vícekritériálního rozhodování a pomoci nám je aplikovat na konkrétní rozhodovací problém.

## 1.1 Rozhodování

Rozhodování je jedna z nejvýznamnějších činností, které manažeři dělají v rámci managementu. Rozhodování může být chápáno jako hlavní část řízení. Manažerské funkce si můžeme rozdělit na dvě skupiny. První skupina je tzv. sekvenční manažerská funkce, která zahrnuje plánování, organizování, výběr a rozmístění pracovníků, vedení lidí a kontrolu. Druhou skupinou jsou funkce, které provází sekvenční manažerskou funkci. Do této skupiny řadíme rozhodování, analýzu činností a komunikaci. Význam rozhodování se hlavně projevuje u kvality a výsledků těchto procesů, které výrazně ovlivňují efektivní funkčnost a budoucí prosperitu. Nekvalitní rozhodnutí může být jednou z příčin neúspěchu. Podstatou rozhodování je výběr alespoň mezi dvěma variantami rozhodování. (Fotr et al., 2010)

„Rozhodovací proces je postup řešení rozhodovacích problémů, ve kterých je nutno zvolit jedno rozhodnutí z více možných variant řešení (Šubrt et al., 2011, s. 116).“ Cílem takového rozhodnutí je výběr té nejvýhodnější varianty. V okamžiku rozhodnutí není přesně známo, jaké důsledky pro rozhodovatele bude mít. V procesu rozhodování se uplatňují postupy z teorie řízení, sociálně-psychologické teorie, teorie z oblasti rozhodování a teorie kvantitativní, která využívá matematické rozhodovací modely. (Šubrt et al., 2011)



## 1.2 Vícekriteriální rozhodování

Vícekriteriální rozhodování, které se často nazývá jako multikriteriální analýza nebo multikriteriální metody pro podporu při rozhodování, se vypořádává s procesem rozhodování v přítomnosti více variant (San Cristóbal, 2011). Také můžeme vícekriteriální rozhodování popsat jako matematické modely, ve kterých máme definovanou množinu variant a soubor kritérií (Křupka et al., 2012). Hlavním cílem použití vícekriteriálních metod je nalezení optimální varianty a uspořádání variant od nejlepší po nejhorší (Borovcová, 2010).

Rozhodování jako proces provází lidstvo od prvopočátku, ale když došlo k rozvoji matematiky a ekonomie v 18. století, začaly se objevovat pokusy o přesnou formulaci těchto procesů. Pojem teorie užitku od Daniela Bernoullio se ve 20. století stal základem v rozvoji vícekriteriálního rozhodování, které bylo založené na funkcích užitku. Respektovat při rozhodování různá kritéria, zmínil italský ekonom Vilfred Pareto, který definoval tzv. paretovskou optimalitu. Od poloviny 20. století dochází k rozvoji v tomto oboru a objevuje se více odborných publikací. Thomas L. Saaty je významným odborníkem, který velice přispěl k rozvoji vícekriteriální analýzy, popsal metodu AHP. V 70. letech minulého století vznikla Mezinárodní společnost pro vícekriteriální rozhodování (International Society on Multiple Criteria Decision Making), ve které působí asi 1470 odborníků z 87 zemí. Tato organizace uskutečňuje v pravidelných intervalech mezinárodní vědecké konference a uděluje ceny, jako např. MCDM Gold Medal.

V roce 1975 byla založena evropská organizace EWG-MCDA (The European Working Group Multicriteria Decision Aiding). Dále se můžeme setkat s touto problematikou ve vědeckých časopisech, jako jsou např. European Journal of Operational Research, Journal of the Operational Research Society a Multi-Criteria Decision Analysis. (Fotr et al., 2003)

### **1.2.1 Podstata vícekriteriálního rozhodování**

Podstatou úloh vícekriteriálního rozhodování je výběr jedné varianty z celého souboru potenciaálních variant na základě jednotlivých kritérií. Soubor kritérií nepřímo definuje cíl rozhodovací analýzy, je podstatné mít k dispozici soubor variant, z nichž rozhodnutí vybíráme. Velmi zřídka se setkáme s jednoznačně definovaným souborem potenciaálních variant. Pokud máme k dispozici soubor kritérií i soubor variant, je potřeba podrobněji uvážit, jakou formou bude konečné rozhodnutí prezentováno. Jestliže je opravdu nutné vybrat pouze jedinou variantu, tak musíme počítat s tím, že v typických případech chceme z nespolehlivých a nedostatečných informací získat, co v nich většinou ani není obsaženo. (Korviny, 2008)

### **1.2.2 Základní pojmy vícekriteriální rozhodování**

V úlohách vícekriteriálního rozhodování je formulována množina rozhodovacích variant  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , které jsou hodnoceny podle kritérií  $Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_k\}$ . Každá varianta  $X_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , je dle těchto kritérií definována vektorem tzv. kriteriálních hodnot  $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik})$ . Matematický model vícekriteriálního rozhodování může být vyjádřen jako kriteriální matice:

$$\begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ X_n \end{array} \begin{array}{ccc} Y_1 & Y_2 & Y_k \\ \left[ \begin{array}{ccc} y_{11} & y_{12} & y_{1k} \\ y_{21} & y_{22} & y_{2k} \\ y_{n1} & y_{n2} & y_{nk} \end{array} \right], \end{array} \quad (1)$$

kde v  $i$ -tém řádku je vektor kriteriálních hodnot varianty. Součástí matematického modelu úloh vícekriteriálního rozhodování musí být stanovena jednotlivá kritéria. (Jablonský, 2007) Předpokládá se, že všechna kritéria jsou stanovena jako maximalizační. Pokud jsou zadány některé hodnoty kritérií jako minimalizační, je třeba je převést na hodnoty maximalizační. (Korviny, 2008)

Jestliže rozhodovatel nemá dodatečné informace při úlohách vícekriteriálního rozhodování, může pouze porovnat vzájemný vztah všech dvojic variant. Porovnání může probíhat v následujících situacích: (Friebelová, Klicnarová, 2007; Jablonský, 2007)

- **dominovaná varianta** - varianta  $X_i$  dominuje variantu  $X_j$ , jestliže jsou kriteriální hodnoty varianty  $X_i$  významnější nebo totožné jako kriteriální hodnoty  $X_j$  a obě varianty nejsou totožně hodnocené dle všech kritérií. Pokud máme situaci, kdy  $X_j$  dominuje variantu  $X_i$ , tak průběh probíhá totožně, akorát naopak;
- **nedominovaná varianta** - pokud neplatí ani jedna z možností z předcházejících dvou možností, tak to znamená, že varianty  $X_i$  a  $X_j$  jsou vzájemně nedominované. Jestli neexistuje žádná jiná varianta k variantě  $X_i$ , tak lze variantu  $X_i$  označit jako nedominovanou variantu;
- **ideální variant** - hypotetická či skutečná varianta, která má ve všech kritériích prvotřídní hodnoty. Ideální varianta je taková varianta, kdy je dominovaná všemi ostatními varianty;
- **kompromisní varianta** - musí být vždy nedominovaná varianta.

### 1.3 Stanovení vah kritérií

Většina metod vícekritériálního rozhodování vyžaduje diferenciaci jednotlivých kritérií podle jejich významnosti (Fotr et al., 2010). Pro stanovení vah kritérií je nutná znalost dané oblasti, ve které rozhodujeme (Borovcová, 2010). Váhy kritérií jsou vyjádřeny subjektivně rozhodovatelem v závislosti na hodnotách nebo jeho názorech. Proto je vhodné, aby se na stanovení vah kritérií podílelo více rozhodovatelů. (Fotr, Souček, 2011) Významnost jednotlivých kritérií lze vyjádřit číselně, pomocí tzv. vah. Váha kritéria je odrazem významnosti daného kritéria k ostatním kritériím v souboru. (Grasseová, 2013) Pro rozhodovatele mohou mít jednotlivá kritéria různou významnost, a proto je potřeba použít metody, které jednotlivou významnost kvantifikují. Vyjádření významnosti jednotlivých kritérií lze označit jako váhy kritérií, které lze vyjádřit jako váhový vektor: (Jablonský, 2007)

$$v = (v_1, v_2, \dots, v_k), \sum v_i = 1, v_i > 0. \quad (2)$$

Čím je dané kritérium významnější, tím je váha kritéria větší (Friebelová, Klicnarová, 2007). Získat přímo hodnoty vah kritérií je velmi obtížné, ale existují metody, které na základě jednodušších subjektivních informací váhy odhadnou (Korviny, 2008).

#### 1.3.1 Metody stanovení vah kritérií

Abychom mohli pracovat s váhami jednotlivých kritérií, které byly stanoveny různými rozhodovateli nebo různými metodami, musíme váhy kritérií vyjadřovat v normovaných hodnotách (Friebelová, Klicnarová, 2007). Normovaná hodnota nabývá pouze hodnot v uzavřeném intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ . Pro práci s metodami vícekritériálního rozhodování je potřeba nenormované hodnoty převést na normované. Normovanou hodnotu lze vyjádřit dle vztahu: (Grasseová, 2013)

$$x_i = \frac{k_i}{\sum_{k=1}^n k_i}, i = 1, 2, \dots, a. \quad (3)$$

$x_i$  - normovaná hodnota  $i$ -tého kritéria

$k_i$  - váha  $i$ -tého kritéria

$n$  - počet kritérií

Metody stanovení vah kritérií lze rozdělit podle informace, kterou o daném souboru kritérií známe: (Friebeľová, Klicnarová, 2007; Šubrt et al., 2011)

- rozhodovatel nemá žádnou informaci, proto nemůže určit významnost kritérií. Pokud rozhodovatel není schopen určit významnost jednotlivých kritérií, tak všem kritériím v souboru přiřadí stejnou váhu;
- rozhodovatel zná nominální informaci, která je vyjádřena pomocí aspiračních úrovní, tj. nejhorších možných hodnot, při nichž může být varianta akceptována, a rozděluje varianty podle kritéria na přijatelné a nepřijatelné;
- rozhodovatel zná ordinální informaci o kritériích. Jestliže rozhodovatel má ordinální informaci o kritériích, tak je schopen určit pořadí kritérií podle významnosti. Mezi metody, které pracují s ordinální informací, řadíme metodu pořadí a metodu Fullerovu;
- rozhodovatel zná kardinální informaci o kritériích. Jestliže rozhodovatel má kardinální informaci, tak zná pořadí, ale i rozestupy v pořadí významnosti jednotlivých kritérií. Mezi metody, které pracují s kardinální informací, řadíme bodovací metodu a Saatyho metodu.

**Tabulka 1 Metody kvantifikace preferencí mezi kritérii a jejich výstupy**

Informace o preferencích mezi kritérii		
Informace	Metoda	Výstup
Žádná	Entropická metoda	Vektor vah kritérií
Nominální	Metoda aspiračních úrovní	Aspirační úroveň kritérií
Ordinální	Metoda pořadí	Vektor vah kritérií
	Fullerova metoda	
Kardiální	Bodovací metoda	
	Saatyho metoda	

Zdroj: Šubrt et al. (2011)

### 1.3.1.1 Metoda pořadí

Podstatou metody pořadí je získání kritérií od zadavatele, která se seřadí od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Kritérium vyhodnocené jako nejdůležitější je přiřazena hodnota  $k$  ( $k$  - počet kritérií). Druhému kritériu přiřadíme hodnotu  $k - 1$  a dále pokračujeme až k nejméně důležitému kritériu. (Jablonský, 2007) V případě, že jsou některá kritéria považována za stejně důležitá, vypočte se aritmetickým průměrem pořadí identických kritérií (Ramzík, Perzina, 2008). Pro výpočet normované váhy  $i$ -tého kritéria s váhou  $k_i$  pak platí vztah: (Friebelová, Klicnarová, 2007)

$$x_i = \frac{k_i}{1 + 2 + \dots + n} = \frac{k_i}{\frac{n(n+1)}{2}}, i = 1, 2, \dots, a. \quad (4)$$

$x_i$  - normovaná hodnota  $i$ -tého kritéria

$k_i$  - váha  $i$ -tého kritéria

$n$  - počet kritérií

### 1.3.1.2 Fullerova metoda

Metoda založena na principu, kde se pro odhad vah používá informace, které ze dvou kritérií je při párovém srovnání významnější. Rozhodovatel postupně srovnává každá dvě kritéria mezi sebou, takže počet srovnání lze vyjádřit dle vztahu: (Korviny, 2008)

$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)}{2}. \quad (5)$$

Srovnání kritérií se může provádět v tzv. Fullerově trojúhelníku, ve kterém jsou pod sebou ve dvou řadách uvedeny postupně jednotlivé dvojice posuzovaných kritérií. Pro zjednodušení orientace mezi kritérii, se jednotlivá kritéria očíslojí. Uspořádání kritérií podle významnosti se nevyžaduje. (Korviny, 2008)

V prvním řádku je uvedeno opakovaně stejné kritérium, ve druhém jsou uvedena postupně všechna kritéria s vyšším číslem. Tímto způsobem se porovnají všechny dvojice kritérií v celém souboru. Při porovnání dvojic kritérií se to významnější jakýmkoliv způsobem označí, aby bylo jasné, jaké kritérium je preferováno. (Ramík, Perzina, 2008) Pokud se rozhodovatel rozhodne, že obě posuzovaná kritéria jsou stejně významná, tak označí obě dvě (Jablonský, 2007).

Označíme-li počet označení pro  $i$ -té kritérium symbolem  $k_i$ , potom lze odhad vah kritérií vypočítat dle vztahu:

$$x_i = \frac{k_i}{1 + 2 + n} = \frac{k_i}{\frac{n(n+1)}{2}}, i = 1, 2, \dots, a. \quad (6)$$

$x_i$  - normovaná váha  $i$ -tého kritéria

$k_i$  - váha  $i$ -tého kritéria

$n$  - počet kritérií

Schéma Fullerova trojúhelníku:

K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>1</sub>
K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
	K <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>2</sub>
	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
		K <sub>3</sub>	K <sub>3</sub>
		K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>
			K <sub>4</sub>
			K <sub>5</sub>

Přínosem této metody je jednoduchost požadované informace od zadavatele. Po určitých úpravách, lze připustit, že některá kritéria mohou být stejně významná nebo nesrovnatelná. Pokud chceme vyloučit kritéria s nulovou váhou, zvýší se počet zvýrazněných čísel o jedničku, ale musí se zvýšit i hodnota jmenovatele ve vztahu pro výpočet. (Korviny, 2008)

### 1.3.1.3 Bodovací metoda

Bodovací metoda je založena na kvantitativním ohodnocení důležitosti kritérií, kde rozhodovatel si zvolí bodovací stupnici a ohodnotí jednotlivá kritéria hodnotou ze stupnice (Fiala, 2008). Výběr bodovací stupnice závisí na rozdělení významnosti jednotlivých kritérií a na stanovení rozpětí stupnice (Fotr et al., 2010). Čím důležitější kritérium, tím větší počet bodů přiřadíme. Rozhodovatel může přiřadit stejnou hodnotu více kritériím, ale musí zvolit pouze celá čísla ze stupnice. (Fiala, 2008) Jiným případem bodovací metody je alokace 100 bodů, kterou můžeme považovat za obměnu bodovací metody. Metodu lze také nazvat jako metodu Metfesselovy alokace. (Grasseová, 2013) Použitím této metody má rozhodovatel k dispozici 100 bodů. Úkolem rozhodovatele je rozdělit těchto 100 bodů mezi jednotlivá kritéria podle významnosti. Každé kritérium má přidělený určitý počet bodů, kdy součet přidělených bodů musí být roven 100. Označíme-li bodové ohodnocení  $i$ -tého kritéria  $k_i$ , potom lze odhad vah získat dle vztahu: (Olivková, 2011)

$$x_i = \frac{k_i}{1 + 2 + n} = \frac{k_i}{\frac{n(n+1)}{2}}, i = 1, 2, \dots, a. \quad (7)$$

$x_i$  - normovaná hodnota  $i$ -tého kritéria

$k_i$  - váha  $i$ -tého kritéria

$n$  - počet kritérií

### 1.3.1.4 Saatyho metoda

Pro odhad vah kritérií je Saatyho metoda jedna z nejpoužívanějších metod (Nemeček, Janata, 2010). Stanovení vah kritérií je založeno na párovém porovnání kritérií jako u Fullerovy metody. Rozhodovatel neurčuje jen, které z kritérií je z dané dvojice významnější, ale i o kolik je významnější. (Fotr, Souček, 2015)

Významnost kritéria před druhým se zde vyjadřuje v devítistupňové stupnici (1 až 9), kde hodnota 1 odpovídá tomu, že dvojice kritérií je stejně významná, a hodnota 9 tomu, že významnost jednoho kritéria je absolutně převažující nad významností kritéria druhého. (Mikušová, Čopíková, 2015) Jestliže je jedno kritérium méně významné než druhé, použije se pro vyjádření preference převrácená hodnota celých čísel z uvedené stupnice, která se nazývá jako Saatyho matice (Nemeček, Janata, 2010).



Člen matice  $x_{ij}$  lze vyložit jako odhad podílů vah  $i$ -tého a  $j$ -tého kritéria: (Jablonský, 2007)

$$x_{ij} = \frac{k_i}{k_j}, ij = 1,2, \dots, a. \quad (8)$$

Výhodou Saatyho metody je, že umožňuje rozhodovateli vyjadřovat své preference číselnou stupnicí, ale i verbálním způsobem. Verbální stupnici si můžeme představit v následující podobě. (Jablonský, 2007)

**Tabulka 2 Verbální vyjádření významnosti kritérií**

Počet bodů	Významnost kritérií
1	kritéria $k_i$ a $k_j$ jsou stejně významná ( $y_{ij} = y_{ji} = 1$ )
3	kritérium $k_i$ je slabě důležitější než kritérium $k_j$ ( $y_{ij} = 3, y_{ji} = 1/3$ )
5	kritérium $k_i$ je silně důležitější než kritérium $k_j$ ( $y_{ij} = 5, y_{ji} = 1/5$ )
7	kritérium $k_i$ je velmi silně důležitější než kritérium $k_j$ ( $y_{ij} = 7, y_{ji} = 1/7$ )
9	kritérium $k_i$ je absolutně důležitější než kritérium $k_j$ ( $y_{ij} = 9, y_{ji} = 1/9$ )

Zdroj: upraveno dle Jablonského (2007)

Verbální vyjádření se převede na číselnou stupnici tak, jak je uvedeno v Tabulce 2. Jestliže uvedená verbální stupnice není dostačující, tak lze použít ještě mezistupně, které budou odpovídat hodnotám 2, 4, 6 a 8. (Jablonský, 2007)

V matici párových porovnání  $S$  jsou uvedeny preference rozhodovatele. Informace, které má rozhodovatel o preferencích, je potřeba použít pro odhad vah kritérií. Podmínkou je, aby získané informace měly patřičnou kvalitu. Matice párového porovnání musí být dostatečně konzistentní. Matice  $S$  je konzistentní, jestliže pro jakoukoli trojici indexů  $i, j, l$  platí  $x_{il} = x_{ij} s_{jl}$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 \\ 1/2 & 1 & 3 \\ 1/6 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Je plně konzistentní, protože  $s_{13} = s_{12} s_{23}$  a další trojice indexů v matici obsažena není. (Jablonský, 2007)

Pokud máme plně konzistentní matici, lze jednoduše vypočítat váhy jednotlivých kritérií.

Pro získání vah kritérií stačí vyřešit soustavu rovnic: (Jablonský, 2007)

$$\frac{y_1}{y_2} = 2, \quad \frac{y_1}{y_3} = 6, \quad \frac{y_2}{y_3} = 3. \quad (10)$$

$$v_1 + v_2 + v_3 = 1. \quad (11)$$

Řešení této soustavy rovnic je:  $y_1 = 0,6$ ;  $y_2 = 0,3$ ;  $y_3 = 0,1$ .

Pro rozhodovatele je obtížné zadat své preference pro počet kritérií  $k > 3$ , aby vytvořil plně konzistentní matici. Pokud by se jednalo o takový případ, tak rovnice nemá žádné řešení a pro odvození vah se musí použít jiný postup.

Takový případ soustavy rovnic lze řešit odvozením vah kritérií jako vektor matice příslušející největšímu číslu této matice, dle vztahu:  $Sv = \lambda_{max}v$ , kde  $v$  je odhad váhového vektoru a  $\lambda_{max}$  - největší číslo matice. Konzistentní matice odpovídá  $\lambda_{max} = k$ , matice nekonzistentní odpovídá  $\lambda_{max} > k$ . Pokud dochází k porušení konzistence matice, tak rozdíl  $\lambda_{max} - k$  je vyšší. Pro posouzení konzistence matice je definován tzv., index konzistence C. I.: (Jablonský, 2007)

$$C. I. = \frac{\lambda_{max} - k}{k - 1}. \quad (12)$$

Matice s indexem  $< 0,1$  se považuje za dostatečně konzistentní.

Výpočet vah kritérií lze získat normalizovaným geometrickým průměrem prvků v každém řádku dle vztahu: (Jablonský, 2007)

$$v'_i = \left( \prod_{j=1}^k s_{ij} \right)^{\frac{1}{k}}, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (13)$$

Váhy se pak vypočtou normalizací hodnot  $v'_i$ : (Jablonský, 2007)

$$v_i = \frac{v'_i}{\sum_{i=1}^k v'_i}, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (14)$$

Saatyho metoda se dá využít pro stanovení významnosti mezi kritérii, ale také se dá použít mezi variantami (Rydval, 2012).

## 1.4 Metody stanovení pořadí variant

V práci není uveden úplný výčet metod vícekriteriálního hodnocení, existuje řada dalších metod (např. AGREPREF, GAIA, MAPPAC, PRAGMA, Aproximace mlhavé relace či Kompenzační metoda), kterými se však tato práce nezabývá. Následující podkapitoly budou věnovány jednotlivým metodám, které jsou často používané a současně budou dvě metody použity v praktické části práce.

Cílem metod vícekriteriálního hodnocení variant je stanovení pořadí jednotlivých variant z pohledu zvolených kritérií, zároveň varianta s nejlepším hodnocením představuje nejlepší kompromisní variantu (Friebeľová, Klicnarová, 2007).

Metody lze rozdělit dle typu informace, kterou vyžadují: (Friebeľová, Klicnarová, 2007)

### ***1. Metody vyžadující aspirační úroveň kritériálních hodnot:***

- konjunktivní metoda, disjunktivní metoda a metoda Programme utilisatnt l'Intelligence Artificiele en Multicritere (dále jen PRIAM).

### ***2. Metody vyžadující ordinální informaci o variantách podle každého kritéria:***

- metoda pořadí, lexikografická metoda, permutační metoda a metoda ORESTE.

### ***3. Metody vyžadující kardinální informaci o variantách podle každého kritéria***

Tato skupina metod se dělí na podskupiny: (Friebeľová, Klicnarová, 2007)

- maximalizace užitku - metoda váženého součtu (Weighted Sum Approach; WSA), metoda bazické varianty, metoda Analytický hierarchický proces (Analytic Hierarchy Process; AHP) a metoda bodovací;
- minimální vzdálenost od ideální varianty - metoda Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (dále jen TOPSIS);
- preferenční relace - ELECTRE a PROMETHEE;
- metody založené na mezní míře substituce - metoda postupné substituce.

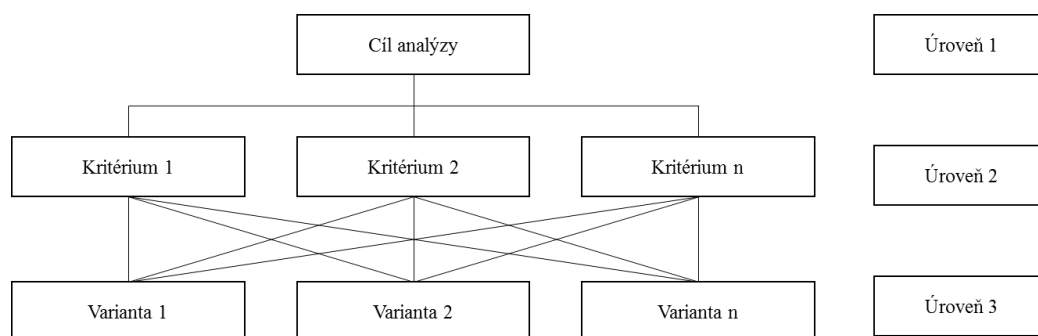
### ***1.4.1 Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process)***

Metoda, která byla navržena profesorem Saatyem (Šubrt et al., 2011). Celosvětově používaná metoda, která se využívá v nejrůznějších rozhodovacích situacích v oblasti průmyslu, obchodu, zdravotnictví, vzdělání nebo ve vládním sektoru (Kilnarová, 2016). Analytický hierarchický proces je řešení komplexních rozhodnutí. Je založena na matematickém postupu a lidské psychologii. (Roháčová, Marková, 2009) Metoda založená na principu párového porovnání členů na jednotlivých úrovních hierarchické struktury, která je modelem daného rozhodovacího problému (Jablonský, 2007). Jakmile je hierarchická struktura vytvořena, na každé z úrovní struktury se provádí kvantitativní párové porovnání s ohledem na jejich dopad na prvek v hierarchii nad nimi (Khosravian, Wood, 2016). Subjektivním hodnocením párového porovnání pak tato metoda přiděluje jednotlivým prvkům kvantitativní charakteristiky, které vyjadřují jejich významnost (Rydval, 2012).

Hierarchická struktura obsahuje několik úrovní, z nich každá úroveň obsahuje několik prvků a představuje část rozhodovacího procesu. Na vrcholu hierarchie je vždy jen jeden prvek, který představuje cíl rozhodování. (Dočkalíková, Klozíková, 2015) Seřazení úrovní hierarchie odpovídá uspořádání od obecného ke konkrétnímu. Čím jsou prvky obecnější ve vztahu k rozhodovacímu problému, tím zastávají v hierarchii vyšší úroveň a naopak. Prvky, které jsou po sobě v následujících úrovních, mají určitou vazbu a vztah. Vytvoření hierarchie na jednotlivé úrovni závisí na typu rozhodovacího problému. (Jablonský, 2007)

Pokud řešíme jednoduchou úlohu při použití metody AHP, můžeme mít hierarchii pouze tří úrovněv:

- úroveň 1 - cíl vyhodnocení, který může být uspořádání variant;
- úroveň 2 - kritéria vyhodnocování;
- úroveň 3 - posuzované varianty.



**Obrázek 1 Hierarchická struktura modelu vícekritériální analýzy variant**

Zdroj: upraveno dle Rydvala (2012)

Saatyho metoda párového porovnání prvků jednotlivých hierarchických úrovní nám pomůže stanovit váhy jednotlivých kritérií, subkritérií a dalších prvků v jednotlivých úrovních. Jestli máme jednoduchou tříúrovňovou hierarchii (jeden cíl,  $n$  kritérií a  $m$  variant), budeme mít na druhé úrovni matici párového porovnání o rozměru  $n \times n$  a na třetí úrovni získáme  $n$  maticí o rozměru  $m \times m$ , kde párově porovnáme varianty podle jednotlivých kritérií. Jestli pro každou variantu vypočteme u všech kritérií součet součinů postupných preferencí v hierarchické úrovni, dostaneme její hodnocení z hlediska všech kritérií. Získáme kompromisní variantu, kterou budeme považovat za variantu, jejíž váha je nejvyšší. (Šubrt et al., 2011)

### 1.4.2 Metoda WSA (Weighted Sum Approach)

Metoda, kterou lze nazvat také jako metodu váženého součtu. Princip této metody vychází z maximalizace užitku, kde se předpokládá lineární funkce užitku. (Korviny, 2008) Nejhorší varianta hodnocená podle daného kritéria má užitek nula, nejlepší varianta užitek jedna a ostatní varianty budou mít užitek mezi těmito krajními body (Valášková et al., 2015). V první řadě si vytvoříme normalizovanou kritériální matici  $R = (r_{ij})$ , jejíž prvky získáme z kritériální matice  $Y = (y_{ij})$ , viz (1), pomocí transformačního vzorce: (Korviny, 2008)

$$r_{ij} = \frac{Y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}. \quad (15)$$

Matrice, která představuje matici hodnot užitku z  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria. Tento vzorec (15) lineárně transformuje kritériální hodnoty tak, že  $r_{ij} \in \langle 0,1 \rangle$ ,  $D_j$  odpovídá minimální hodnota kritéria ve sloupci  $j$  a  $H_j$  odpovídá maximální hodnota kritéria ve sloupci  $j$ . Tento vztah se použije pouze v případě, že kritérium v daném sloupci  $j$  je maximalizační. Pokud se vyskytne minimalizační kritérium, lze provést normalizaci sloupce v matici použitím vztahu: (Korviny, 2008)

$$r_{ij} = \frac{H_j - Y_{ij}}{H_j - D_j}. \quad (16)$$

Jestli potřebujeme mít všechna kritéria v matici jako maximalizační, tak ještě před normalizací matice přepočteme prvky v takovém sloupci dle vztahu:

$$Y_{ij-max} = H_j-min - Y_{ij-min}; i = 1, 2, \dots, n. \quad (17)$$

Při použití aditivního tvaru vícekritériální funkce užitku je pak užitek varianty  $a_i$  roven:

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij}. \quad (18)$$

Varianta, která po provedení výpočtu dle rovnice (18) dosáhne maximální hodnoty užitku, je vybrána jako nejlepší. (Korviny, 2008)

### 1.4.3 Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution)

Metoda TOPSIS je považována za alternativní metodu k metodě ELECTRE. Jedná se o jednu z nejpoužívanějších metod. (Mančev, 2016) Hlavní myšlenkou metody TOPSIS je vybrat variantu, která je nejbližší k ideální variantě a nejdále od varianty bazální (Soufi et al., 2015). Ideální varianta je varianta, která je popisovaná jako vektor nejlepších kritériálních hodnot. Bazální varianta je popisována vektorem nejhorších kritériálních hodnot. (Kahraman et al., 2008) Jednoduše řečeno, ideální řešení se skládá ze všech nejlepších hodnot dosažitelných z kritérií, zatímco negativní řešení se skládá ze všech nejhorších hodnot (Morteza et al., 2016). Vstupními údaji pro metodu TOPSIS jsou kritériální hodnoty pro jednotlivé varianty a váhy jednotlivých kritérií, které se považují za základní číselná data (Kelemenis, Askounis, 2010). Každá varianta je hodnocena s ohledem na všechna  $n$  kritéria (Ju, Wang, 2012). Při použití této metody předpokládáme, že všechna kritéria mají maximalizační charakter. Pokud jsou některá kritéria minimalizační, lze je převést na maximalizační. Postup metody TOPSIS si popíšeme v několika krocích: (Jablonský, 2007)

1. Původní kritériální hodnoty  $y_{ij}$  se změň na hodnoty  $r_{ij}$  dle vztahu:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n y_{ij}^2}}; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k. \quad (19)$$

2. Vypočtou se prvky vážené kritériální matice  $W = (w_{ij})$  jako  $w_{ij} = v_j \cdot r_{ij}$ , kde  $v_j$  je váha  $j$ -tého kritéria.

3. Z členu matice  $W$  se určí ideální varianta s kritériálními hodnotami  $(H_1, H_2, \dots, H_k)$  a bazální varianta s hodnotami  $(D_1, D_2, \dots, D_k)$ , kde  $H_j = \max_i (w_{ij})$  a  $D_j = \min_i (w_{ij})$ ,  $j = 1, 2, \dots, k$ .

4. Dále se vypočtou vzdálenosti variant od ideální a bazální varianty dle vztahu:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (20)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (21)$$

5. Výpočet ukazatele  $c_i$  jako relativní vzdálenost variant od bazální varianty:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, i = 1, 2, \dots, n. \quad (22)$$

Hodnoty  $c_i$  nabývají hodnot z intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Nabývají hodnoty 0 pro bazální variantu a hodnoty 1 pro ideální variantu. Varianty lze seřadit podle klesajících hodnot ukazatele  $c_i$ . (Jablonský, 2007)

## 1.5 Metody vícekriteriálního rozhodování v praxi

Stručný přehled použití metod vícekriteriálního rozhodování v praxi nás seznámí s použitím těchto metod osobami, kteří je při své práci použili. Uvádím zde několik příkladů, které jsou převážně ze zahraničních zdrojů. Cílem této kapitoly je poukázat na použití těchto metod ve světě a u nás v České republice. V České republice se metodami vícekriteriálního rozhodování zabýváme, ale použití těchto metod v oblasti krizového řízení není zastoupený.

Aplikace metody TOPSIS a WSA byla využita k vyřešení problému výběru dodavatele elektřiny v České republice. Cílem tohoto příspěvku bylo vybrat takového dodavatele, který minimalizuje celkové náklady na elektřinu pro danou domácnost, a to v závislosti na tarifu. (Sekničková, Kuncová, 2014)

Autoři výzkumu (Khodashenas, Yarahmadi, 2016) se rozhodli použít pro výběr a ohodnocení nejlepšího místa pro výstavu skladovacích přehrad v Íránu metody vícekriteriálního rozhodování. Důvodem studie byl předpoklad nedostatku vodních zdrojů v Íránu. Vhodná místa byla hodnocena podle nejvhodnějších kritérií, které byly vybrány na základě posudků odborníků. Doporučená místa pro stavbu skladovacích přehrad byla řešena pomocí metod TOPSIS, AHP a DEMATEL.

Metoda AHP byla využita (Erdem, 2016) jako nástroj pro výběr správného kvalifikovaného zaměstnance pro IT společnost. Při hodnocení kandidátů na požadovaný post, je třeba zvážit mnoho aspektů, jako jsou technické dovednosti, individuální schopnosti atd. Lidská rozhodnutí většinou vykazují postupné úsudky, nejasnosti a nepřesnosti, a proto byla metoda AHP použita jako nástroj pro výběr zaměstnanců v oblasti IT.



Pro výběr vhodného zdravotnického vybavení byl proveden výzkum, který byl založen na metodách vícekriteriálního rozhodování. Metody TOPSIS a AHP využili (Barrios et al., 2016) pro výběr vhodného tomografického zařízení ve zdravotnictví. Metodu AHP byla využita pro definování vah jednotlivých kritérií a dílčích kritérií prostřednictvím kvalitativního srovnání. Potom byla použita metoda TOPSIS, která sloužila k vyhodnocení možnosti nákupu. Cílem výzkumu bylo určit nejvhodnější tomografické zařízení prostřednictvím těchto metod.

Metodami vícekriteriálního rozhodování se rozhodli (Dočkalíková, Kložíková, 2015) řešit vhodné místo pro firmu. Cílem bylo analyzovat faktory lokalizace a navrhnout požadovanou variantu umístění podniku v oblasti telekomunikačních služeb. Analýza nastavených faktorů byla provedena metodou AHP, která definovala klíčová kritéria a dílčí kritéria. Pomocí Saatyho metody byly stanoveny váhy a pořadí jednotlivých kritérií. Výsledky významu jednotlivých lokalizačních kritérií byly porovnány pomocí metody TOPSIS a WSA.

Metoda AHP byla použita při navrhování požární ochrany u ocelových konstrukcí, aby byla zajištěna schopnost konstrukce odolávat požáru (Akaa et al., 2016)

Problém s výběrem lokality pro překladiště komunálního odpadu v Istanbulu v Turecku řešili rozhodovatelé (Önüt, Soner, 2008) metodami TOPSIS a AHP. Bylo řešeno pět variant umístění, které bylo zohledněno pěti kritérii. Pro výběr lokality překladiště byla vybrána metoda TOPSIS a váhy kritérií byly stanoveny pomocí metody AHP.

Pro výběr vhodného dvoutaktového maziva byla využita metoda TOPSIS, kde byl testován olej na ricinové bázi, palmový olej a odpadní olej na vaření. Tyto oleje byly testovány ve dvoutaktových benzínových motorech, zkoumaly se účinky na jeho výkon a emise výfukových plynů. Nejbližší k ideální variantě byl palmový olej, a proto byl vybrán jako neoptimálnější mazivo pro tyto motory. (Soufi et al., 2015)

Pro výběr vhodného mobilního telefonu bylo použito vícekriteriální rozhodování. Byly hodnoceny preference, které se zabývaly nejvíce žádoucími vlastnostmi ovlivňující volbu mobilního zařízení. To bylo realizováno prostřednictvím průzkumu mezi cílovou skupinou, zkušenostmi odborníků v sektoru telekomunikací a studiem literatury. Pro stanovení vah hodnotících kritérií byla použita metoda AHP a pro stanovení pořadí metoda TOPSIS. (Isiklar, Buyukozkan, 2007)

Pro strategické plánování ke snižování ztrát vody zejména v rozvojových zemích byly použity metody vícekriteriálního rozhodování (metoda Promethee II). Hlavním problémem byla vodohospodářské zařízení, která mají na celém světě vysoké ztráty vody v distribučních sítích. V tomto případě bylo identifikováno a zkoumáno sedm kritérií v rámci pěti hlavních cílů, které zahrnují spolehlivost dodávky, nákladovou efektivnost, ochranu vody, dostupnost a ochranu veřejného zdraví. (Mutikanga et al., 2011)

## **2 CÍL PRÁCE A VÝZKUMNÁ OTÁZKA**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je navrhnout optimální řešení konkrétního problému pomocí aplikace matematického rozhodování a zpracovat přehled základních matematických metod rozhodování, které lze efektivně využít při řešení praktického rozhodovacího úkolu, který je součástí praktické části bakalářské práce.

### **2.2 Výzkumná otázka**

Jaké je optimální řešení konkrétního problému pomocí aplikace matematického rozhodování v krizovém řízení?

### 3 OPERACIONALIZACE POJMŮ POUŽITÝCH V CÍLI PRÁCE

**Vícekriteriální rozhodování** - proces rozhodování v přítomnosti více variant a v přítomnosti souboru kritérií. Hlavním cílem je nalézt optimální variantu a uspořádat varianty od nejlepší po nejhorší.

**Saatyho metoda** - metoda pomocí, které lze stanovit váhy jednotlivých kritérií. Stanovení vah kritérií je založeno na párovém porovnání kritérií.

**TOPSIS** (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) - metoda, s kterou lze stanovit pořadí jednotlivých variant. Metoda je založena na stanovení relativního ukazatele vzdálenosti varianty od bazální varianty.

**WSA** (Weighted Sum Approach) - metoda, s kterou lze stanovit pořadí jednotlivých variant. Metoda je založena na výpočtu funkce užitku varianty.

## 4 METODIKA

Cílem výzkumné části bylo představit přehlednou metodiku, popsat rozhodovací proces a poskytnout optimální řešení rozhodovacího problému. Mezi dílčí cíle můžeme zařadit využití metod vícekritériálního rozhodování v praxi, a to konkrétně jako efektivní nástroj pro krizové řízení, dále může tento výzkum nabídnout podrobné zpracování využití těchto metod s přehlednými tabulkami, komentáři, a i s výpočty na konkrétním příkladu, který může simulovat skutečnou rozhodovací situaci v krizovém řízení. Ve většině případech rozhodování rozhoduje pořizovací cena dané věci, ale abychom se rozhodovali efektivně a zhodnotili problém komplexně, je lepší pracovat s více kritérii. Jednotlivé postupy u jednotlivých metod lze aplikovat po určitých úpravách na jakýkoliv rozhodovací problém. Jako příklad rozhodovacího problému jsem zvolil výběr automobilu pro potřeby velitele stanice HZS kraje. Pro správný výběr automobilu bylo předem stanoveno devět kritérií. Zvolená kritéria jsou následující: cena, záruka, bezpečnost pasažérů, maximální výkon, maximální točivý moment, světlá výška, brodivost, užitečná hmotnost, objem zavazadlového prostoru. Zároveň se zvolenými kritérii byly stanoveny minimální požadované hodnoty jednotlivých kritérií z důvodu užšího výběru daného automobilu. Váhy kritérií byly stanoveny pomocí Saatyho metody neboli metody kvantitativního srovnání. Tato metoda stanovila preference mezi kritérii a váhu, tím jsem zjistil, jak jsou pro mě jednotlivá kritéria důležitá. Dalším úkolem ve výzkumné části práce bylo provést průzkum automobilového trhu v České republice. Vybral jsem varianty, které splňovaly zadaná kritéria. Vhodnými varianty se ukázaly užitkové vozy od automobilových výrobců Ford, Toyota, Mitsubishi, Isuzu a Nissan. Užitkové automobily byly vhodnou variantou z důvodu jejich předurčení na obtížnější práce. Běžné osobní automobily jsou konstruovány pouze na provoz po silničních komunikacích, proto nebyly vhodnými variantami. Tento příklad byl pouze směřován na výběr automobilu v základním provedení, který poskytují automobilový výrobci bez dalších úprav pro potřeby velitele stanice HZS kraje. Úprava vozidla v souladu s vyhláškou č. 35/2007 Sb., o technických podmínkách požární techniky, ve znění vyhlášky č. 53/2010 Sb. a vyhláškou č. 247/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů není řešena v rámci tohoto příkladu.

Kompletní přestavba velitelského automobilu na požadované vybavení je další možnou variantou pro rozhodovací příklad, kde bych hodnotil firmu, která tyto přestavby provede za co nejnižší cenu a v požadované výbavě. Tento příklad nebyl vhodný pro použití metod vícekritériálního rozhodování, protože bych hodnotil pouze podle jednoho kritéria, kterým je cena.

Pro výběr optimálního řešení, v mém případě výběr správného automobilu, jsem použil metody stanovení pořadí variant. Vybral jsem dvě nejpoužívanější metody. První metodou byla metoda TOPSIS, která posuzuje varianty z hlediska jejich vzdálenosti od ideální a bazální varianty. Výstup této metody vychází z výpočtu relativního ukazatele vzdáleností variant od bazální varianty. Variantu s nejvyšší hodnotou ukazatele považujeme za řešení problému. Druhou metodou byla metoda WSA, která hledá funkci užitku. Výstup této metody vychází z výpočtu agregované funkce užitku variant. Varianta, která dosahuje maximální hodnoty užitku, je vybrána jako nejlepší. Výsledky těchto metod jsou následně analyzovány na základě znalostí daných metod, je předloženo řešení problému, kterým je optimální varianta automobilu pro potřeby velitele stanice HZS kraje.

Použité postupy a metody mohou být aplikovány obecně na jakýkoliv rozhodovací problém. Výsledné rozhodnutí pak bude pro každého rozhodovatele jiné, nicméně optimální pro jeho konkrétní podmínky rozhodovacího problému.

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Stanovení kritérií

Pro výběr automobilu pro potřeby velitele stanice HZS kraje byly stanoveny požadavky na jeho technické vybavení. Stanovil jsem několik kritérií, podle kterých se budou jednotlivé varianty automobilů hodnotit. Automobil musí být vybaven sedadly pro pět osob, pěti dveřmi, pohonem všech čtyř kol, převodovkou mechanickou šestistupňovou a vznětovým motorem. Pro účel rozhodování bylo stanoveno devět kritérií. U některých kritérií byly stanoveny minimální hodnoty. První kritérium je cena, jelikož chceme vybrat ten nejlepší automobil, a to za co nejnižší cenu. Maximální pořizovací cena byla stanovena na 850 000,-. Druhé kritérium je záruka, ta nám může zaručit, že po určitou dobu provozu automobilu máme jistotu, že pokud dojde k jeho poruše, dodavatel zajistí jeho bezplatnou opravu. Třetím kritériem je bezpečnost pasažérů, toto kritérium je důležité pro bezpečnost velitele při jízdě v provozu. Čtvrtým kritériem je maximální výkon automobilu, u kterého byla stanovena minimální hranice 80 kW. Výkon nám udává, kolik práce automobil vykoná za jednotku času. Páté kritérium je maximální točivý moment, u kterého byla stanovena minimální hranice 260 Nm. Točivý moment nám udává vlastní sílu motoru. Výkon a točivý moment jsou kritéria, která spolu úzce souvisí a zajišťují akceleraci, maximální rychlost a sílu motoru, což nám zajistí rychlý dojezd k zásahu. Šesté kritérium je světlá výška automobilu, její minimální výška byla stanovena na 180 mm. Světlá výška nám stanovuje nejnižší bod automobilu nad vozovkou při jeho zatížení maximální přípustnou hmotností, tato výška nám určuje prostupnost automobilu v terénu. Sedmé kritérium je brodivost. Určuje výšku hladiny vody, kterou je automobil schopen překonat, aniž by došlo k jeho poškození. Osmé kritérium je užitečná hmotnost automobilu, toto kritérium nám udává, pro jakou hmotnost nákladu je automobil konstruován. Byla stanovena minimální užitečná hmotnost automobilu na 800 kg. Posledním kritériem je objem zavazadlového prostoru, toto kritérium nám udává, jak objemný náklad lze autem bezpečně převézt. Minimální objem zavazadlového prostoru byl stanoven na 750 litrů. Užitečná hmotnost a objem zavazadlového prostoru jsou kritéria, která spolu úzce souvisí a udávají nám možnosti, jak prostor automobilu pro účely velitele dále dovybavit potřebným zařízením. Podle těchto kritérií budeme posuzovat pět variant.

Bylo vybráno pět užitkových automobilů. Varianta ( $X_1$ ) Isuzu D-Max, varianta ( $X_2$ ) Mitsubishi L200, varianta ( $X_3$ ) Ford Ranger, varianta ( $X_4$ ) Toyota Hilux a varianta ( $X_5$ ) Nissan Navara.

**Tabulka 3 Přehled jednotlivých kritérií, typů kritérií, jednotek a zdrojů informací**

Kritérium	Název kritéria	Typ kritéria	Jednotky	Zdroj informací
K <sub>1</sub>	cena	min.	[Kč]	oficiální ceník
K <sub>2</sub>	záruka	max.	[rok]	nabídka výrobce
K <sub>3</sub>	bezpečnost pasažérů	max.	[%]	EURO NCAP
K <sub>4</sub>	maximální výkon	max.	[kW]	technická specifikace vozu
K <sub>5</sub>	maximální točivý moment	max.	[Nm]	technická specifikace vozu
K <sub>6</sub>	světlá výška	max.	[mm]	technická specifikace vozu
K <sub>7</sub>	brodivost	max.	[mm]	technická specifikace vozu
K <sub>8</sub>	užitečná hmotnost	max.	[kg]	technická specifikace vozu
K <sub>9</sub>	objem zavazadlového prostoru	max.	[l]	technická specifikace vozu

Zdroj: vlastní výzkum

### 5.1.1 Stanovení vah kritérií

Váhy jednotlivých kritérií si stanovíme pomocí Saatyho metody neboli metody kvantitativního párového srovnání. Tato metoda je vhodná pro určování vah jednotlivých kritérií, pokud proces rozhodování provádí pouze jeden rozhodovatel. Vzájemně porovnáme všechna kritéria a sestavíme si matici párových srovnání. Kromě výběru preferovaného kritéria si určíme pro každou dvojici kritérií také velikost preference. K vyjádření velikosti preference použijeme doporučenou bodovou stupnici, která nabývá hodnot 1 až 9. V následujících několika krocích bude podrobně vysvětlen postup určení vah kritérií pomocí Saatyho metody.

**Tabulka 4 Verbální vyjádření významnosti kritérií**

Počet bodů	Významnost kritérií
1	kritéria $k_i$ a $k_j$ jsou stejně významná.
3	kritérium $k_i$ je slabě důležitější než kritérium $k_j$ .
5	kritérium $k_i$ je silně důležitější než kritérium $k_j$ .
7	kritérium $k_i$ je velmi silně důležitější než kritérium $k_j$ .
9	kritérium $k_i$ je absolutně důležitější než kritérium $k_j$ .

Zdroj: upraveno dle Jablonského (2007)

Pro citlivější vyjádření velikosti preference můžeme použít i mezistupně (2, 4, 6, 8).



Porovnáme každou dvojici kritérií a velikost preference  $i$ -tého kritéria vzhledem k  $j$ -tému kritériu zapíšeme do Saatyho matice  $S = (s_{ij})$ .

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{12} & \cdots & 1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Matice je čtvercového řádu, reciproká, tj. platí, že  $s_{ij} = 1/s_{ji}$ , a vyjadřuje vlastně odhad podílů vah  $i$ -tého a  $j$ -tého kritéria. Na diagonále matice jsou vždy hodnoty 1, každé kritérium je samo o sobě rovnocenné. Matice párových porovnání obsahuje kvantifikované informace o vztahu jednotlivých dvojic prvků.

Prvky této matice nebývají často konzistentní. Proto je potřeba výpočtu míry konzistence matice. Míru konzistence vypočteme pomocí indexu konzistence, který byl Saatyem definován jako:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (23)$$

kde  $\lambda_{max}$  je největší vlastní číslo Saatyho matice a  $n$  je počet kritérií. Saatyho matice je považována za dostatečně konzistentní, jestliže je index konzistence  $< 0,1$ . Pro lepší znázornění byla Saatyho matice zapsána ve formě tabulky, která lépe znázorní jednotlivé preference mezi kritérii.

**Tabulka 5 Saatyho matice párového porovnání**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>
K <sub>1</sub>	<b>1</b>	2	2	2	3	4	4	5	5
K <sub>2</sub>	1/2	<b>1</b>	3	3	3	4	5	5	5
K <sub>3</sub>	1/2	1/3	<b>1</b>	2	5	5	6	7	7
K <sub>4</sub>	1/2	1/3	1/2	<b>1</b>	1	3	4	5	5
K <sub>5</sub>	1/3	1/3	1/5	1	<b>1</b>	3	4	5	5
K <sub>6</sub>	1/4	1/4	1/5	1/3	1/3	<b>1</b>	2	3	3
K <sub>7</sub>	1/4	1/5	1/6	1/4	1/4	1/2	<b>1</b>	4	4
K <sub>8</sub>	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/4	<b>1</b>	1
K <sub>9</sub>	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/4	1	<b>1</b>

Zdroj: vlastní výzkum

### ***Výpočet míry konzistence matice:***

Výpočet míry konzistence matice, lze vypočítat indexem konzistence dle vztahu:

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{7 - 9}{9 - 1} = \frac{-2}{8} = -0,25$$

Matice je dostatečně konzistentní, protože byla splněna podmínka konzistence  $< 0,1$ .

### ***Určení vah kritérií z geometrického průměru řádku:***

Dle Saatyho bylo navrženo několik způsobů, podle kterých lze odhadnout váhy jednotlivých kritérií. Nejčastěji se používá postup výpočtu vah jako normalizovaného geometrického průměru řádku Saatyho matice. Způsob určení vah kritérií ze zadané matice  $S$  spočítáme výpočtem geometrického průměru každého řádku této matice dle vztahu:

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k s_{ij}}, \quad i, j = 1, 2, \dots, k. \quad (24)$$

### ***Výpočet geometrického průměru všech řádků Saatyho matice:***

$$\begin{aligned} g_1 &= \sqrt[k]{s_{11} \cdot s_{12} \cdot s_{13} \cdot s_{14} \cdot s_{15} \cdot s_{16} \cdot s_{17} \cdot s_{18} \cdot s_{19}} \\ &= \sqrt[9]{1 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5} = \sqrt[9]{9600} = \mathbf{2,77} \\ g_2 &= \sqrt[k]{s_{21} \cdot s_{22} \cdot s_{23} \cdot s_{24} \cdot s_{25} \cdot s_{26} \cdot s_{27} \cdot s_{28} \cdot s_{29}} \\ &= \sqrt[9]{1/2 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5} = \sqrt[9]{6750} = \mathbf{2,66} \\ g_3 &= \sqrt[k]{s_{31} \cdot s_{32} \cdot s_{33} \cdot s_{34} \cdot s_{35} \cdot s_{36} \cdot s_{37} \cdot s_{38} \cdot s_{39}} \\ &= \sqrt[9]{1/2 \cdot 1/3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 7} = \sqrt[9]{2450} = \mathbf{2,38} \\ g_4 &= \sqrt[k]{s_{41} \cdot s_{42} \cdot s_{43} \cdot s_{44} \cdot s_{45} \cdot s_{46} \cdot s_{47} \cdot s_{48} \cdot s_{49}} \\ &= \sqrt[9]{1/2 \cdot 1/3 \cdot 1/2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5} = \sqrt[9]{25} = \mathbf{1,43} \\ g_5 &= \sqrt[k]{s_{51} \cdot s_{52} \cdot s_{53} \cdot s_{54} \cdot s_{55} \cdot s_{56} \cdot s_{57} \cdot s_{58} \cdot s_{59}} \\ &= \sqrt[9]{1/3 \cdot 1/3 \cdot 1/5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5} = \sqrt[9]{6,67} = \mathbf{1,23} \\ g_6 &= \sqrt[k]{s_{61} \cdot s_{62} \cdot s_{63} \cdot s_{64} \cdot s_{65} \cdot s_{66} \cdot s_{67} \cdot s_{68} \cdot s_{69}} \\ &= \sqrt[9]{1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/5 \cdot 1/3 \cdot 1/3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3} = \sqrt[9]{0,03} = \mathbf{0,68} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g_7 &= \sqrt[k]{S_{71} \cdot S_{72} \cdot S_{73} \cdot S_{74} \cdot S_{75} \cdot S_{76} \cdot S_{77} \cdot S_{78} \cdot S_{79}} \\
&= \sqrt[9]{1/4 \cdot 1/5 \cdot 1/6 \cdot 1/4 \cdot 1/4 \cdot 1/2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 4} = \sqrt[9]{0,004} = \mathbf{0,54} \\
g_8 &= \sqrt[k]{S_{81} \cdot S_{82} \cdot S_{83} \cdot S_{84} \cdot S_{85} \cdot S_{86} \cdot S_{87} \cdot S_{88} \cdot S_{89}} \\
&= \sqrt[9]{1/5 \cdot 1/5 \cdot 1/7 \cdot 1/5 \cdot 1/5 \cdot 1/3 \cdot 1/4 \cdot 1 \cdot 1} = \sqrt[9]{0,00002} = \mathbf{0,30} \\
g_9 &= \sqrt[k]{S_{91} \cdot S_{92} \cdot S_{93} \cdot S_{94} \cdot S_{95} \cdot S_{96} \cdot S_{97} \cdot S_{98} \cdot S_{99}} \\
&= \sqrt[9]{1/5 \cdot 1/5 \cdot 1/7 \cdot 1/5 \cdot 1/5 \cdot 1/3 \cdot 1/4 \cdot 1 \cdot 1} = \sqrt[9]{0,00002} = \mathbf{0,30}
\end{aligned}$$

dále musíme provést normalizaci určených vah tak, aby byla splněna podmínka:

$$\sum_{i=1}^k v_i = 1; \quad v_i \geq 0. \quad (25)$$

Normalizaci určených vah provedeme dle vztahu:

$$v_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^k g_i}; \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (26)$$

*Výpočet normalizace určených vah:*

$$\begin{aligned}
v_1 &= \frac{g_1}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9} \\
&= \frac{2,77}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{2,77}{12,29} = \mathbf{0,23} \\
v_2 &= \frac{g_2}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9} \\
&= \frac{2,66}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{2,66}{12,29} = \mathbf{0,22} \\
v_3 &= \frac{g_3}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9} \\
&= \frac{2,38}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{2,38}{12,29} = \mathbf{0,19} \\
v_4 &= \frac{g_4}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9} \\
&= \frac{1,43}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{1,43}{12,29} = \mathbf{0,12} \\
v_5 &= \frac{g_5}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9} \\
&= \frac{1,23}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{1,23}{12,29} = \mathbf{0,10}
\end{aligned}$$

$$v_6 = \frac{g_6}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9}$$

$$= \frac{2,77}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{0,68}{12,29} = 0,06$$

$$v_7 = \frac{g_7}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9}$$

$$= \frac{2,77}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{0,54}{12,29} = 0,04$$

$$v_8 = \frac{g_8}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9}$$

$$= \frac{2,77}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{0,30}{12,29} = 0,02$$

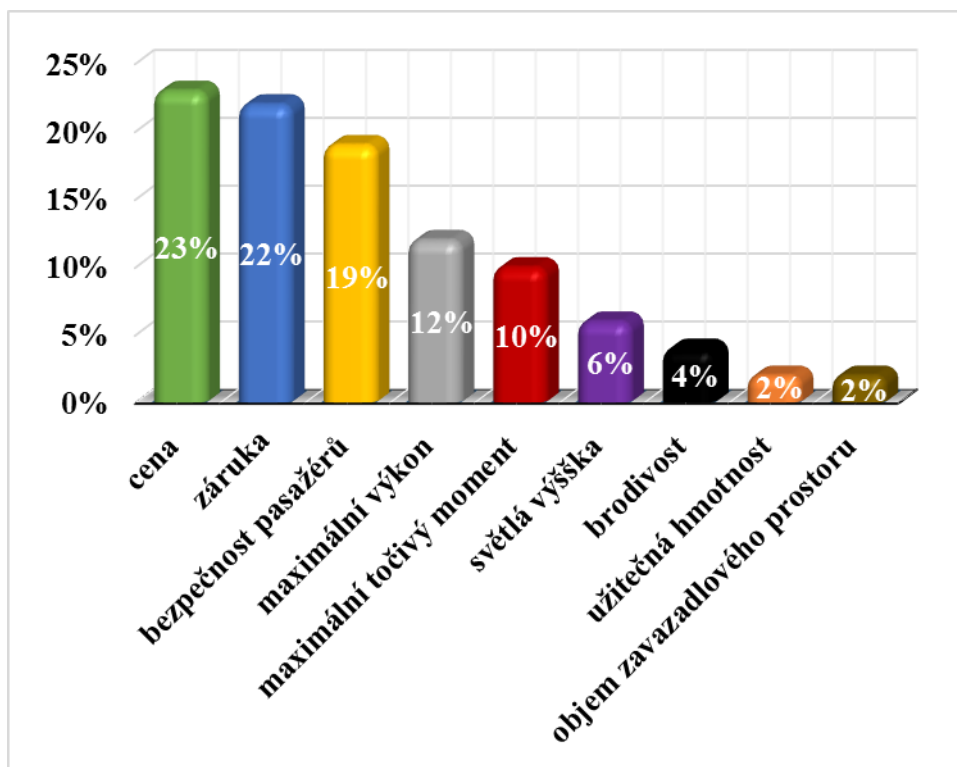
$$v_9 = \frac{g_9}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 + g_7 + g_8 + g_9}$$

$$= \frac{2,77}{2,77 + 2,66 + 2,38 + 1,43 + 1,23 + 0,68 + 0,54 + 0,30 + 0,30} = \frac{0,30}{12,29} = 0,02$$

**Tabulka 6 Saatyho matice párového porovnání a váhy kritérií**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>	<i>g<sub>i</sub></i>	<i>v<sub>i</sub></i>
K <sub>1</sub>	1	2	2	2	3	4	4	5	5	2,77	0,23
K <sub>2</sub>	1/2	1	3	3	3	4	5	5	5	2,66	0,22
K <sub>3</sub>	1/2	1/3	1	2	5	5	6	7	7	2,38	0,19
K <sub>4</sub>	1/2	1/3	1/2	1	1	3	4	5	5	1,43	0,12
K <sub>5</sub>	1/3	1/3	1/5	1	1	3	4	5	5	1,23	0,10
K <sub>6</sub>	1/4	1/4	1/5	1/3	1/3	1	2	3	3	0,68	0,06
K <sub>7</sub>	1/4	1/5	1/6	1/4	1/4	1/2	1	4	4	0,54	0,04
K <sub>8</sub>	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/4	1	1	0,30	0,02
K <sub>9</sub>	1/5	1/5	1/7	1/5	1/5	1/3	1/4	1	1	0,30	0,02

Zdroj: vlastní výzkum



**Obrázek 2 Grafické znázornění vah kritérií v procentech**

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek 2 znázorňuje výsledky výpočtu vah jednotlivých kritérií v procentech. Z celkového počtu (100 %) získalo kritérium 1 (cena) váhu 23 %, kritérium 2 (záruka) váhu 22 %, kritérium 3 (bezpečnost pasažerů) váhu 19 %, kritérium 4 (maximální výkon) váhu 12 %, kritérium 5 (maximální točivý moment) váhu 10 %, kritérium 6 (světlá výška) váhu 6 %, kritérium 7 (brodivost) váhu 4 %, kritérium 8 (užitečná hmotnost) 2 % a kritérium 9 (objem zavazadlového prostoru) váhu 2 %.

## 5.2 Identifikace variant

Jednou z fází vícekritériálního rozhodování je identifikace variant. Varianty, mezi kterými budeme rozhodovat, byly zjištěny průzkumem nabídky trhu užitkových automobilů v České republice a v závislosti na minimálních požadavcích bylo vybráno pět užitkových automobilů. Varianta (X<sub>1</sub>) Isuzu D-Max, varianta (X<sub>2</sub>) Mitsubishi L200, varianta (X<sub>3</sub>) Ford Ranger, varianta (X<sub>4</sub>) Toyota Hilux a varianta (X<sub>5</sub>) Nissan Navara.

*Tabulka 7 Informace o jednotlivých variantách*

Kritéria	Název kritéria	Varianty				
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
		Isuzu D-Max	Mitsubishi L200	Ford Ranger	Toyota Hilux	Nissan Navara
K <sub>1</sub>	cena	836 900,-	819 000,-	784 806,-	825 220,-	750 600,-
K <sub>2</sub>	záruka	3 [roky]	5 [let]	5 [let]	3 [roky]	5 [let]
K <sub>3</sub>	bezpečnost pasažérů	83 [%]	81 [%]	96 [%]	85 [%]	79 [%]
K <sub>4</sub>	maximální výkon	120 [kW]	113 [kW]	96 [kW]	110 [kW]	120 [kW]
K <sub>5</sub>	max. točivý moment	400 [Nm]	380 [Nm]	330 [Nm]	400 [Nm]	403 [Nm]
K <sub>6</sub>	světlá výška	265 [mm]	225 [mm]	232 [mm]	293 [mm]	224 [mm]
K <sub>7</sub>	brodivost	600 [mm]	600 [mm]	800 [mm]	700 [mm]	600 [mm]
K <sub>8</sub>	užitečná hmotnost	956 [kg]	955 [kg]	1096 [kg]	1050 [kg]	1000 [kg]
K <sub>9</sub>	obj. zavazadl. prost.	1104 [l]	1061 [l]	1235 [l]	1127 [l]	835 [l]

Zdroj: vlastní výzkum

### 5.3 Stanovení pořadí variant pomocí metody TOPSIS

Metodu TOPSIS použijeme pro posouzení varianty z hlediska jejich vzdálenosti od ideální a bazální varianty. Tato metoda vyžaduje kardinální hodnocení variant podle jednotlivých kritérií a váhy těchto kritérií. Postup metody bude vysvětlen v následujících krocích.

*Tabulka 8 Výchozí kritériální matice*

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>
X <sub>1</sub>	836 900	3	83	120	400	265	600	1104	956
X <sub>2</sub>	819 000	5	81	113	380	225	600	1061	955
X <sub>3</sub>	784 806	5	96	96	330	232	800	1235	1096
X <sub>4</sub>	825 220	3	85	110	400	293	700	1127	1050
X <sub>5</sub>	750 600	5	79	120	403	224	600	835	1000

Zdroj: vlastní výzkum

První krokem, abychom mohli porovnávat jednotlivé varianty, musíme upravit kritériální matici, aby všechna kritéria byla maximalizační, a to ještě před provedením normalizace. Minimalizačním kritériem je kritérium K<sub>1</sub>. Přepočítání minimalizačního kritéria na maximalizační kritérium provedeme dle vztahu:

$$Y_{ij-max} = H_{j-min} - Y_{ij-min}; \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (27)$$

to znamená, že od stávajícího největšího prvku  $H_{j-min}$  (836 900) v daném sloupci postupně odečteme všechny ostatní prvky a tím převedeme sloupec s minimalizačním kritériem na maximalizační.

*Tabulka 9 Maximalizační kritériální matice*

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>
X <sub>1</sub>	0	3	83	120	400	265	600	1104	956
X <sub>2</sub>	20 900	5	81	113	380	225	600	1061	955
X <sub>3</sub>	55 094	5	96	96	330	232	800	1235	1096
X <sub>4</sub>	14 680	3	85	110	400	293	700	1127	1050
X <sub>5</sub>	89 300	5	79	120	403	224	600	835	1000

Zdroj: vlastní výzkum

### ***Transformace kritériální matice do normalizovaného tvaru:***

V druhém kroku provedeme transformaci kritériální matice, aby byly údaje kritériální matice srovnatelné. Normovaná hodnota nabývá pouze hodnot v uzavřeném intervalu  $\langle 0;1 \rangle$ . Pro práci s touto metodou musíme nenormované hodnoty převést na normované. Jejich transformaci provedeme do normalizovaného tvaru dle vztahu:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (y_{ij})^2}} \quad (28)$$

*Normalizace sloupce kritériální matice  $K_1$ :*

$$r_{11} = \frac{0}{\sqrt{(0^2 + 20900^2 + 55094^2 + 14680^2 + 89300^2)}} = \frac{0}{107991,44} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{21} = \frac{20900}{\sqrt{(0^2 + 20900^2 + 55094^2 + 14680^2 + 89300^2)}} = \frac{20900}{107991,44} = \mathbf{0,19}$$

$$r_{31} = \frac{55094}{\sqrt{(0^2 + 20900^2 + 55094^2 + 14680^2 + 89300^2)}} = \frac{55094}{107991,44} = \mathbf{0,51}$$

$$r_{41} = \frac{14680}{\sqrt{(0^2 + 20900^2 + 55094^2 + 14680^2 + 89300^2)}} = \frac{14680}{107991,44} = \mathbf{0,14}$$

$$r_{51} = \frac{89300}{\sqrt{(0^2 + 20900^2 + 55094^2 + 14680^2 + 89300^2)}} = \frac{89300}{107991,44} = \mathbf{0,83}$$

*Normalizace sloupce kritériální matice  $K_2$ :*

$$r_{12} = \frac{3}{\sqrt{(3^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2 + 5^2)}} = \frac{3}{9,64} = \mathbf{0,31}$$

$$r_{22} = \frac{5}{\sqrt{(3^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2 + 5^2)}} = \frac{5}{9,64} = \mathbf{0,52}$$

$$r_{32} = \frac{5}{\sqrt{(3^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2 + 5^2)}} = \frac{5}{9,64} = \mathbf{0,52}$$

$$r_{42} = \frac{3}{\sqrt{(3^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2 + 5^2)}} = \frac{3}{9,64} = \mathbf{0,31}$$

$$r_{52} = \frac{5}{\sqrt{(3^2 + 5^2 + 5^2 + 3^2 + 5^2)}} = \frac{5}{9,64} = \mathbf{0,52}$$



*Normalizace sloupce kritériální matice K<sub>3</sub>:*

$$r_{13} = \frac{83}{\sqrt{(83^2 + 81^2 + 96^2 + 85^2 + 79^2)}} = \frac{83}{190,10} = \mathbf{0,44}$$

$$r_{23} = \frac{81}{\sqrt{(83^2 + 81^2 + 96^2 + 85^2 + 79^2)}} = \frac{81}{190,10} = \mathbf{0,43}$$

$$r_{33} = \frac{96}{\sqrt{(83^2 + 81^2 + 96^2 + 85^2 + 79^2)}} = \frac{96}{190,10} = \mathbf{0,51}$$

$$r_{43} = \frac{85}{\sqrt{(83^2 + 81^2 + 96^2 + 85^2 + 79^2)}} = \frac{85}{190,10} = \mathbf{0,45}$$

$$r_{53} = \frac{79}{\sqrt{(83^2 + 81^2 + 96^2 + 85^2 + 79^2)}} = \frac{79}{190,10} = \mathbf{0,42}$$

*Normalizace sloupce kritériální matice K<sub>4</sub>:*

$$r_{14} = \frac{120}{\sqrt{(120^2 + 113^2 + 96^2 + 110^2 + 120^2)}} = \frac{120}{250,77} = \mathbf{0,48}$$

$$r_{24} = \frac{113}{\sqrt{(120^2 + 113^2 + 96^2 + 110^2 + 120^2)}} = \frac{113}{250,77} = \mathbf{0,45}$$

$$r_{34} = \frac{96}{\sqrt{(120^2 + 113^2 + 96^2 + 110^2 + 120^2)}} = \frac{96}{250,77} = \mathbf{0,38}$$

$$r_{44} = \frac{110}{\sqrt{(120^2 + 113^2 + 96^2 + 110^2 + 120^2)}} = \frac{110}{250,77} = \mathbf{0,44}$$

$$r_{54} = \frac{120}{\sqrt{(120^2 + 113^2 + 96^2 + 110^2 + 120^2)}} = \frac{120}{250,77} = \mathbf{0,48}$$

*Normalizace sloupce kritériální matice K<sub>5</sub>:*

$$r_{15} = \frac{400}{\sqrt{(400^2 + 380^2 + 330^2 + 400^2 + 403^2)}} = \frac{400}{857,74} = \mathbf{0,47}$$

$$r_{25} = \frac{380}{\sqrt{(400^2 + 380^2 + 330^2 + 400^2 + 403^2)}} = \frac{380}{857,74} = \mathbf{0,44}$$

$$r_{35} = \frac{330}{\sqrt{(400^2 + 380^2 + 330^2 + 400^2 + 403^2)}} = \frac{330}{857,74} = \mathbf{0,38}$$

$$r_{45} = \frac{400}{\sqrt{(400^2 + 380^2 + 330^2 + 400^2 + 403^2)}} = \frac{400}{857,74} = \mathbf{0,47}$$

$$r_{55} = \frac{403}{\sqrt{(400^2 + 380^2 + 330^2 + 400^2 + 403^2)}} = \frac{403}{857,74} = \mathbf{0,47}$$

*Normalizace sloupce kritériální matice K<sub>6</sub>:*

$$r_{16} = \frac{265}{\sqrt{(265^2 + 225^2 + 232^2 + 293^2 + 224^2)}} = \frac{265}{557,40} = \mathbf{0,48}$$

$$r_{26} = \frac{225}{\sqrt{(265^2 + 225^2 + 232^2 + 293^2 + 224^2)}} = \frac{225}{557,40} = \mathbf{0,40}$$

$$r_{36} = \frac{232}{\sqrt{(265^2 + 225^2 + 232^2 + 293^2 + 224^2)}} = \frac{232}{557,40} = \mathbf{0,42}$$

$$r_{46} = \frac{293}{\sqrt{(265^2 + 225^2 + 232^2 + 293^2 + 224^2)}} = \frac{293}{557,40} = \mathbf{0,53}$$

$$r_{56} = \frac{224}{\sqrt{(265^2 + 225^2 + 232^2 + 293^2 + 224^2)}} = \frac{224}{557,40} = \mathbf{0,40}$$

*Normalizace sloupce kritériální matice K<sub>7</sub>:*

$$r_{17} = \frac{600}{\sqrt{(600^2 + 600^2 + 800^2 + 700^2 + 600^2)}} = \frac{600}{1486,61} = \mathbf{0,40}$$

$$r_{27} = \frac{600}{\sqrt{(600^2 + 600^2 + 800^2 + 700^2 + 600^2)}} = \frac{600}{1486,61} = \mathbf{0,40}$$

$$r_{37} = \frac{800}{\sqrt{(600^2 + 600^2 + 800^2 + 700^2 + 600^2)}} = \frac{800}{1486,61} = \mathbf{0,54}$$

$$r_{47} = \frac{700}{\sqrt{(600^2 + 600^2 + 800^2 + 700^2 + 600^2)}} = \frac{700}{1486,61} = \mathbf{0,47}$$

$$r_{57} = \frac{600}{\sqrt{(600^2 + 600^2 + 800^2 + 700^2 + 600^2)}} = \frac{600}{1486,61} = \mathbf{0,40}$$

*Normalizace sloupce kritériální matice K<sub>8</sub>:*

$$r_{18} = \frac{1104}{\sqrt{(1104^2 + 1061^2 + 1235^2 + 1127^2 + 835^2)}} = \frac{1104}{2416,01} = \mathbf{0,46}$$

$$r_{28} = \frac{1061}{\sqrt{(1104^2 + 1061^2 + 1235^2 + 1127^2 + 835^2)}} = \frac{1061}{2416,01} = \mathbf{0,44}$$

$$r_{38} = \frac{1235}{\sqrt{(1104^2 + 1061^2 + 1235^2 + 1127^2 + 835^2)}} = \frac{1235}{2416,01} = \mathbf{0,51}$$

$$r_{48} = \frac{1127}{\sqrt{(1104^2 + 1061^2 + 1235^2 + 1127^2 + 835^2)}} = \frac{1127}{2416,01} = \mathbf{0,47}$$

$$r_{58} = \frac{835}{\sqrt{(1104^2 + 1061^2 + 1235^2 + 1127^2 + 835^2)}} = \frac{835}{2416,01} = \mathbf{0,35}$$

Normalizace sloupce kritériální matice  $K_9$ :

$$r_{19} = \frac{956}{\sqrt{956^2 + 955^2 + 1096^2 + 1050^2 + 1000^2}} = \frac{956}{2264,88} = \mathbf{0,42}$$

$$r_{29} = \frac{955}{\sqrt{956^2 + 955^2 + 1096^2 + 1050^2 + 1000^2}} = \frac{955}{2264,88} = \mathbf{0,42}$$

$$r_{39} = \frac{1096}{\sqrt{956^2 + 955^2 + 1096^2 + 1050^2 + 1000^2}} = \frac{1096}{2264,88} = \mathbf{0,48}$$

$$r_{49} = \frac{1050}{\sqrt{956^2 + 955^2 + 1096^2 + 1050^2 + 1000^2}} = \frac{1050}{2264,88} = \mathbf{0,46}$$

$$r_{59} = \frac{1000}{\sqrt{956^2 + 955^2 + 1096^2 + 1050^2 + 1000^2}} = \frac{1000}{2264,88} = \mathbf{0,44}$$

**Tabulka 10 Normalizovaná kritériální matice**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
$X_1$	0,00	0,31	0,44	0,48	0,47	0,48	0,40	0,46	0,42
$X_2$	0,19	0,52	0,43	0,45	0,44	0,40	0,40	0,44	0,42
$X_3$	0,51	0,52	0,51	0,38	0,38	0,42	0,54	0,51	0,48
$X_4$	0,14	0,31	0,45	0,44	0,47	0,53	0,47	0,47	0,46
$X_5$	0,83	0,52	0,42	0,48	0,47	0,40	0,40	0,35	0,44

Zdroj: vlastní výzkum

**Výpočet vážené kritériální matice:**

V třetím kroku vypočteme váženou kritériální matici  $W$  tak, že každý  $j$ -tý sloupec normalizované kritériální matice násobíme odpovídající vahou  $v_i$ . Výpočet provedeme dle vztahu:  $w_{ij} = v_i \cdot r_{ij}$ , s použitím vypočítaného vektoru  $v = (0,23; 0,22; 0,19; 0,12; 0,10; 0,06; 0,04; 0,02; 0,02)$ , který jsme získali stanovením vah kritérií.

*Vážená kritériální matice sloupce  $K_1$ :*

$$w_{11} = v_1 \cdot r_{11} = 0,23 \cdot 0,00 = \mathbf{0,0000}$$

$$w_{21} = v_1 \cdot r_{21} = 0,23 \cdot 0,19 = \mathbf{0,0437}$$

$$w_{31} = v_1 \cdot r_{31} = 0,23 \cdot 0,51 = \mathbf{0,1173}$$

$$w_{41} = v_1 \cdot r_{41} = 0,23 \cdot 0,14 = \mathbf{0,0322}$$

$$w_{51} = v_1 \cdot r_{51} = 0,23 \cdot 0,83 = \mathbf{0,1909}$$

*Vážená kritériální matice sloupce  $K_2$ :*

$$w_{12} = v_2 \cdot r_{12} = 0,22 \cdot 0,31 = \mathbf{0,0682}$$

$$w_{22} = v_2 \cdot r_{22} = 0,22 \cdot 0,52 = \mathbf{0,1144}$$

$$w_{32} = v_2 \cdot r_{32} = 0,22 \cdot 0,52 = \mathbf{0,1144}$$

$$w_{42} = v_2 \cdot r_{42} = 0,22 \cdot 0,31 = \mathbf{0,0682}$$

$$w_{52} = v_2 \cdot r_{52} = 0,22 \cdot 0,31 = \mathbf{0,0682}$$

Vážená kritériální matice sloupce  $K_3$ :

$$\begin{aligned} w_{13} &= v_3 \cdot r_{13} = 0,19 \cdot 0,44 = \mathbf{0,0836} \\ w_{23} &= v_3 \cdot r_{23} = 0,19 \cdot 0,43 = \mathbf{0,0817} \\ w_{33} &= v_3 \cdot r_{33} = 0,19 \cdot 0,51 = \mathbf{0,0969} \\ w_{43} &= v_3 \cdot r_{43} = 0,19 \cdot 0,45 = \mathbf{0,0855} \\ w_{53} &= v_3 \cdot r_{53} = 0,19 \cdot 0,42 = \mathbf{0,0798} \end{aligned}$$

Vážená kritériální matice sloupce  $K_5$ :

$$\begin{aligned} w_{15} &= v_5 \cdot r_{15} = 0,10 \cdot 0,47 = \mathbf{0,0470} \\ w_{25} &= v_5 \cdot r_{25} = 0,10 \cdot 0,44 = \mathbf{0,0440} \\ w_{35} &= v_5 \cdot r_{35} = 0,10 \cdot 0,38 = \mathbf{0,0380} \\ w_{45} &= v_5 \cdot r_{45} = 0,10 \cdot 0,47 = \mathbf{0,0470} \\ w_{55} &= v_5 \cdot r_{55} = 0,10 \cdot 0,47 = \mathbf{0,0470} \end{aligned}$$

Vážená kritériální matice sloupce  $K_7$ :

$$\begin{aligned} w_{17} &= v_7 \cdot r_{17} = 0,04 \cdot 0,40 = \mathbf{0,0160} \\ w_{27} &= v_7 \cdot r_{27} = 0,04 \cdot 0,40 = \mathbf{0,0160} \\ w_{37} &= v_7 \cdot r_{37} = 0,04 \cdot 0,54 = \mathbf{0,0216} \\ w_{47} &= v_7 \cdot r_{47} = 0,04 \cdot 0,47 = \mathbf{0,0188} \\ w_{57} &= v_7 \cdot r_{57} = 0,04 \cdot 0,35 = \mathbf{0,0140} \end{aligned}$$

Vážená kritériální matice  $K_9$ :

$$\begin{aligned} w_{19} &= v_9 \cdot r_{19} = 0,02 \cdot 0,42 = \mathbf{0,0084} \\ w_{29} &= v_9 \cdot r_{29} = 0,02 \cdot 0,42 = \mathbf{0,0084} \\ w_{39} &= v_9 \cdot r_{39} = 0,02 \cdot 0,48 = \mathbf{0,0096} \\ w_{49} &= v_9 \cdot r_{49} = 0,02 \cdot 0,46 = \mathbf{0,0092} \\ w_{59} &= v_9 \cdot r_{59} = 0,02 \cdot 0,44 = \mathbf{0,0088} \end{aligned}$$

Vážená kritériální matice sloupce  $K_4$ :

$$\begin{aligned} w_{14} &= v_4 \cdot r_{14} = 0,12 \cdot 0,48 = \mathbf{0,0576} \\ w_{24} &= v_4 \cdot r_{24} = 0,12 \cdot 0,45 = \mathbf{0,0540} \\ w_{34} &= v_4 \cdot r_{34} = 0,12 \cdot 0,38 = \mathbf{0,0456} \\ w_{44} &= v_4 \cdot r_{44} = 0,12 \cdot 0,44 = \mathbf{0,0528} \\ w_{54} &= v_4 \cdot r_{54} = 0,12 \cdot 0,48 = \mathbf{0,0576} \end{aligned}$$

Vážená kritériální matice sloupce  $K_6$ :

$$\begin{aligned} w_{16} &= v_6 \cdot r_{16} = 0,06 \cdot 0,48 = \mathbf{0,0288} \\ w_{26} &= v_6 \cdot r_{26} = 0,06 \cdot 0,40 = \mathbf{0,0240} \\ w_{36} &= v_6 \cdot r_{36} = 0,06 \cdot 0,42 = \mathbf{0,0252} \\ w_{46} &= v_6 \cdot r_{46} = 0,06 \cdot 0,53 = \mathbf{0,0318} \\ w_{56} &= v_6 \cdot r_{56} = 0,06 \cdot 0,40 = \mathbf{0,0240} \end{aligned}$$

Vážená kritériální matice sloupce  $K_8$ :

$$\begin{aligned} w_{18} &= v_8 \cdot r_{18} = 0,02 \cdot 0,46 = \mathbf{0,0092} \\ w_{28} &= v_8 \cdot r_{28} = 0,02 \cdot 0,44 = \mathbf{0,0088} \\ w_{38} &= v_8 \cdot r_{38} = 0,02 \cdot 0,51 = \mathbf{0,0102} \\ w_{48} &= v_8 \cdot r_{48} = 0,02 \cdot 0,47 = \mathbf{0,0094} \\ w_{58} &= v_8 \cdot r_{58} = 0,02 \cdot 0,35 = \mathbf{0,0070} \end{aligned}$$

**Tabulka 11** *Vážená kritériální matice*

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
$X_1$	0,0000	0,0682	0,0836	0,0576	0,0470	0,0288	0,0160	0,0092	0,0084
$X_2$	0,0437	0,1144	0,0817	0,0540	0,0440	0,0240	0,0160	0,0088	0,0084
$X_3$	0,1173	0,1144	0,0969	0,0456	0,0380	0,0252	0,0216	0,0102	0,0096
$X_4$	0,0322	0,0682	0,0855	0,0528	0,0470	0,0318	0,0188	0,0094	0,0092
$X_5$	0,1909	0,0682	0,0798	0,0576	0,0470	0,0240	0,0140	0,0070	0,0088

Zdroj: vlastní výzkum

Určíme ideální variantu (max.)  $H$  s ohodnocením ( $H_i, \dots, H_k$ ) a bazální variantu (min.)  $D$  s ohodnocením ( $D_i, \dots, D_k$ ) vzhledem k hodnotám vážené kritériální matice.

$$H_{(max.)} = (0,1909; 0,1144; 0,0969; 0,0576; 0,0470; 0,0318; 0,0216; 0,0102; 0,0096)$$

$$D_{(min.)} = (0; 0,0682; 0,0798; 0,0456; 0,0380; 0,0240; 0,0140; 0,0070; 0,0084)$$

**Výpočet vzdálenosti od ideální varianty:**

Ve čtvrtém kroku vypočteme vzdálenost od ideální varianty, kterou lze vypočítat dle vztahu:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2} \quad (30)$$

$$H_{(max.)} = (0,1909; 0,1144; 0,0969; 0,0576; 0,0470; 0,0318; 0,0216; 0,0102; 0,0096)$$

*Vzdálenost od ideální varianty pro variantu  $X_1$ :*

$$\begin{aligned} d_1^+ &= \sqrt{(w_{11}-H_1)^2 + (w_{12}-H_2)^2 + (w_{13}-H_3)^2 + (w_{14}-H_4)^2 + (w_{15}-H_5)^2 + (w_{16}-H_6)^2 + (w_{17}-H_7)^2 + (w_{18}-H_8)^2 + (w_{19}-H_9)^2} \\ &= \sqrt{(0 - 0,1909)^2 + (0,0682 - 0,1144)^2 + (0,0836 - 0,0969)^2 + (0,0576 - 0,0576)^2 + (0,0470 - 0,0470)^2 + (0,0288 - 0,0318)^2 + (0,0160 - 0,0216)^2 + (0,0092 - 0,0102)^2 + (0,0084 - 0,0096)^2} \\ &= \sqrt{0,0387} = \mathbf{0,20} \end{aligned}$$

*Vzdálenost od ideální varianty pro variantu  $X_2$ :*

$$\begin{aligned} d_2^+ &= \sqrt{(w_{21}-H_1)^2 + (w_{22}-H_2)^2 + (w_{23}-H_3)^2 + (w_{24}-H_4)^2 + (w_{25}-H_5)^2 + (w_{26}-H_6)^2 + (w_{27}-H_7)^2 + (w_{28}-H_8)^2 + (w_{29}-H_9)^2} \\ &= \sqrt{(0,0437 - 0,1909)^2 + (0,1144 - 0,1144)^2 + (0,0817 - 0,0969)^2 + (0,0540 - 0,0576)^2 + (0,0440 - 0,0470)^2 + (0,0240 - 0,0318)^2 + (0,0160 - 0,0216)^2 + (0,0088 - 0,0102)^2 + (0,0084 - 0,0096)^2} \\ &= \sqrt{0,0222} = \mathbf{0,15} \end{aligned}$$

Vzdálenost od ideální varianty pro variantu  $X_3$ :

$$\begin{aligned} d_3^+ &= \sqrt{(w_{31}-H_1)^2 + (w_{32}-H_2)^2 + (w_{33}-H_3)^2 + (w_{34}-H_4)^2 + (w_{35}-H_5)^2} \\ &\quad + (w_{36}-H_6)^2 + (w_{37}-H_7)^2 + (w_{38}-H_8)^2 + (w_{39}-H_9)^2 \\ &= \sqrt{(0,1173 - 0,1909)^2 + (0,1144 - 0,1144)^2 + (0,0969 - 0,0969)^2 +} \\ &\quad + (0,0456 - 0,0576)^2 + (0,0380 - 0,0470)^2 + (0,0252 - 0,0318)^2 +} \\ &\quad + (0,0216 - 0,0216)^2 + (0,0102 - 0,0102)^2 + (0,0096 - 0,0096)^2 \\ &= \sqrt{0,0056} = \mathbf{0,07} \end{aligned}$$

Vzdálenost od ideální varianty pro variantu  $X_4$ :

$$\begin{aligned} d_4^+ &= \sqrt{(w_{41}-H_1)^2 + (w_{42}-H_2)^2 + (w_{43}-H_3)^2 + (w_{44}-H_4)^2 + (w_{45}-H_5)^2} \\ &\quad + (w_{46}-H_6)^2 + (w_{47}-H_7)^2 + (w_{48}-H_8)^2 + (w_{49}-H_9)^2 \\ &= \sqrt{(0,0322 - 0,1909)^2 + (0,0682 - 0,1144)^2 + (0,0855 - 0,0969)^2 +} \\ &\quad + (0,0528 - 0,0576)^2 + (0,0470 - 0,0470)^2 + (0,0318 - 0,0318)^2 +} \\ &\quad + (0,0188 - 0,0216)^2 + (0,0094 - 0,0102)^2 + (0,0092 - 0,0096)^2 \\ &= \sqrt{0,0274} = \mathbf{0,17} \end{aligned}$$

Vzdálenost od ideální varianty pro variantu  $X_5$ :

$$\begin{aligned} d_5^+ &= \sqrt{(w_{51}-H_1)^2 + (w_{52}-H_2)^2 + (w_{53}-H_3)^2 + (w_{54}-H_4)^2 + (w_{55}-H_5)^2} \\ &\quad + (w_{56}-H_6)^2 + (w_{57}-H_7)^2 + (w_{58}-H_8)^2 + (w_{59}-H_9)^2 \\ &= \sqrt{(0,1909 - 0,1909)^2 + (0,0682 - 0,1144)^2 + (0,0798 - 0,0969)^2 +} \\ &\quad + (0,0576 - 0,0576)^2 + (0,0470 - 0,0470)^2 + (0,0240 - 0,0318)^2 +} \\ &\quad + (0,0140 - 0,0216)^2 + (0,0070 - 0,0102)^2 + (0,0088 - 0,0096)^2 \\ &= \sqrt{0,0025} = \mathbf{0,05} \end{aligned}$$

**Výpočet vzdálenosti od bazální varianty:**

V pátém kroku vypočteme vzdálenost od bazální varianty, kterou lze vypočítat dle vztahu:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2} \quad (31)$$

$$D_{(min.)} = (0; 0,0682; 0,0798; 0,0456; 0,0380; 0,0240; 0,0140; 0,0070; 0,0084)$$

Vzdálenost od bazální varianty pro variantu  $X_1$ :

$$\begin{aligned} d_1^- &= \sqrt{\begin{aligned} &(w_{11}-D_1)^2 + (w_{12}-D_2)^2 + (w_{13}-D_3)^2 + (w_{14}-D_4)^2 + (w_{15}-D_5)^2 \\ &+ (w_{16}-D_6)^2 + (w_{17}-D_7)^2 + (w_{18}-D_8)^2 + (w_{19}-D_9)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{\begin{aligned} &(0-0)^2 + (0,0682-0,0682)^2 + (0,0836-0,0798)^2 + \\ &(0,0576-0,0456)^2 + (0,0470-0,0380)^2 + (0,0288-0,0240)^2 + \\ &(0,0160-0,0140)^2 + (0,0092-0,0070)^2 + (0,0084-0,0084)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{0,0002} = \mathbf{0,01} \end{aligned}$$

Vzdálenost od bazální varianty pro variantu  $X_2$ :

$$\begin{aligned} d_2^- &= \sqrt{\begin{aligned} &(w_{21}-D_1)^2 + (w_{22}-D_2)^2 + (w_{23}-D_3)^2 + (w_{24}-D_4)^2 + (w_{25}-D_5)^2 \\ &+ (w_{26}-D_6)^2 + (w_{27}-D_7)^2 + (w_{28}-D_8)^2 + (w_{29}-D_9)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{\begin{aligned} &(0,0437-0)^2 + (0,1144-0,0682)^2 + (0,0817-0,0798)^2 + \\ &(0,0540-0,0456)^2 + (0,0440-0,0380)^2 + (0,0240-0,0240)^2 + \\ &(0,0160-0,0140)^2 + (0,0088-0,0070)^2 + (0,0084-0,0084)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{0,0041} = \mathbf{0,06} \end{aligned}$$

Vzdálenost od bazální varianty pro variantu  $X_3$ :

$$\begin{aligned} d_3^- &= \sqrt{\begin{aligned} &(w_{31}-D_1)^2 + (w_{32}-D_2)^2 + (w_{33}-D_3)^2 + (w_{34}-D_4)^2 + (w_{35}-D_5)^2 \\ &+ (w_{36}-D_6)^2 + (w_{37}-D_7)^2 + (w_{38}-D_8)^2 + (w_{39}-D_9)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{\begin{aligned} &(0,1173-0)^2 + (0,1144-0,0682)^2 + (0,0969-0,0798)^2 + \\ &(0,0456-0,0456)^2 + (0,0380-0,0380)^2 + (0,0252-0,0240)^2 + \\ &(0,0216-0,0140)^2 + (0,0102-0,0070)^2 + (0,0096-0,0084)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{0,0163} = \mathbf{0,13} \end{aligned}$$

Vzdálenost od bazální varianty pro variantu  $X_4$ :

$$\begin{aligned} d_4^- &= \sqrt{\begin{aligned} &(w_{41}-D_1)^2 + (w_{42}-D_2)^2 + (w_{43}-D_3)^2 + (w_{44}-D_4)^2 + (w_{45}-D_5)^2 \\ &+ (w_{46}-D_6)^2 + (w_{47}-D_7)^2 + (w_{48}-D_8)^2 + (w_{49}-D_9)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{\begin{aligned} &(0,0322-0)^2 + (0,0682-0,0682)^2 + (0,0855-0,0798)^2 + \\ &(0,0528-0,0456)^2 + (0,0470-0,0280)^2 + (0,0318-0,0240)^2 + \\ &(0,0188-0,0140)^2 + (0,0094-0,0070)^2 + (0,0092-0,0084)^2 \end{aligned}} \\ &= \sqrt{0,0016} = \mathbf{0,04} \end{aligned}$$

Vzdálenost od bazální varianty pro variantu  $X_5$ :

$$d_5^- = \sqrt{\begin{aligned} &(w_{51}-D_1)^2 + (w_{52}-D_2)^2 + (w_{53}-D_3)^2 + (w_{54}-D_4)^2 + (w_{55}-D_5)^2 \\ &+ (w_{56}-D_6)^2 + (w_{57}-D_7)^2 + (w_{58}-D_8)^2 + (w_{59}-D_9)^2 \end{aligned}}$$

$$= \sqrt{\begin{aligned} &(0,1909 - 0)^2 + (0,0682 - 0,0682)^2 + (0,0798 - 0,0798)^2 + \\ &(0,0576 - 0,0456)^2 + (0,0470 - 0,0380)^2 + (0,0240 - 0,0240)^2 + \\ &(0,0140 - 0,0140)^2 + (0,0070 - 0,0070)^2 + (0,0088 - 0,0084)^2 \end{aligned}}$$

$$= \sqrt{0,0366} = 0,19$$

**Tabulka 12** *Vzdálenosti variant od ideální a bazální varianty*

Varianta	$d_i^+$	$d_i^-$
$X_1$	0,20	0,01
$X_2$	0,15	0,06
$X_3$	0,07	0,13
$X_4$	0,17	0,04
$X_5$	0,05	0,19

Zdroj: vlastní výzkum

**Výpočet relativního ukazatele vzdáleností variant od bazální varianty:**

V posledním šestém kroku vypočteme relativní ukazatel vzdáleností variant od bazální varianty, který lze vypočítat dle vztahu:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (32)$$

*Relativní ukazatel vzdálenosti varianty od bazální varianty pro variantu  $X_1$ :*

$$c_1 = \frac{d_1^-}{d_1^+ + d_1^-} = \frac{0,01}{0,20 + 0,01} = \frac{0,01}{0,21} = 0,05$$

*Relativní ukazatel vzdálenosti varianty od bazální varianty pro variantu  $X_2$ :*

$$c_2 = \frac{d_2^-}{d_2^+ + d_2^-} = \frac{0,06}{0,15 + 0,06} = \frac{0,06}{0,21} = 0,29$$

*Relativní ukazatel vzdálenosti varianty od bazální varianty pro variantu  $X_3$ :*

$$c_3 = \frac{d_3^-}{d_3^+ + d_3^-} = \frac{0,13}{0,07 + 0,13} = \frac{0,13}{0,20} = 0,65$$



Relativní ukazatel vzdálenosti varianty od bazální varianty pro variantu X<sub>4</sub>:

$$c_4 = \frac{d_4^-}{d_4^+ + d_4^-} = \frac{0,04}{0,17 + 0,04} = \frac{0,04}{0,21} = \mathbf{0,19}$$

Relativní ukazatel vzdálenosti varianty od bazální varianty pro variantu X<sub>5</sub>:

$$c_5 = \frac{d_5^-}{d_5^+ + d_5^-} = \frac{0,19}{0,05 + 0,19} = \frac{0,19}{0,24} = \mathbf{0,79}$$

**Tabulka 13 Relativní ukazatel vzdálenosti variant od bazální varianty**

Varianta	$d_i^+$	$d_i^-$	$c_i$
X <sub>1</sub>	0,20	0,01	0,05
X <sub>2</sub>	0,15	0,06	0,29
X <sub>3</sub>	0,07	0,13	0,65
X <sub>4</sub>	0,17	0,04	0,19
X <sub>5</sub>	0,05	0,19	0,79

Zdroj: vlastní výzkum

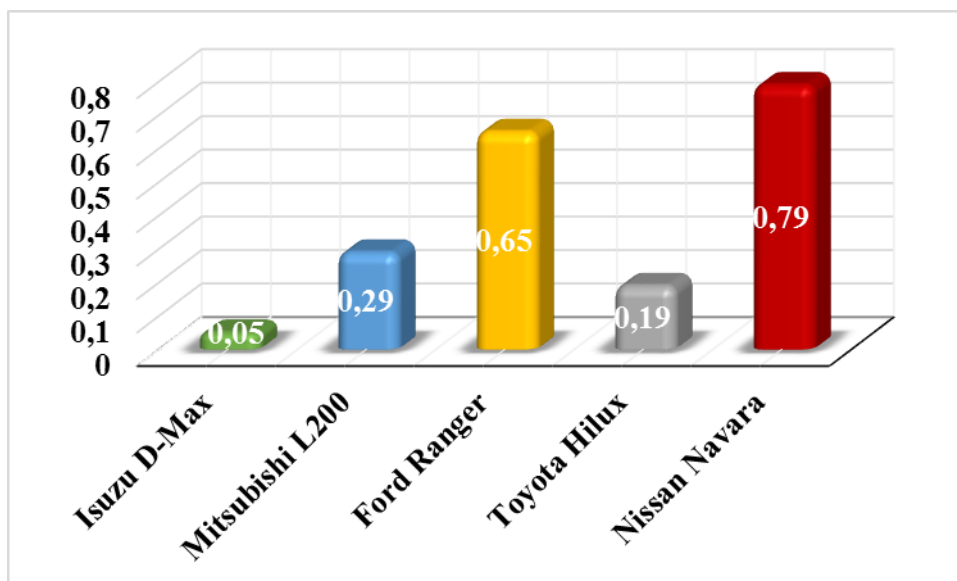
Hodnoty ukazatelů se pohybují mezi 0 a 1, přičemž hodnotu 0 nabývá bazální a hodnotu 1 ideální. Varianty seřadíme sestupně podle hodnot  $c_i$  a potřebný počet variant s nejvyššími hodnotami tohoto ukazatele považujeme za řešení problému.

**Tabulka 14 Varianty seřazené sestupně podle hodnoty  $c_i$**

Varianta	$c_i$
X <sub>5</sub>	0,79
X <sub>3</sub>	0,65
X <sub>2</sub>	0,29
X <sub>4</sub>	0,19
X <sub>1</sub>	0,05

Zdroj: vlastní výzkum

Seřazením ukazatele  $c_i$  podle klesající hodnot získáme pořadí: varianta X<sub>5</sub> (Nissan Navara), varianta X<sub>3</sub> (Ford Ranger), varianta X<sub>2</sub> (Mitsubishi L200), varianta X<sub>4</sub> (Toyota Hilux), varianta X<sub>1</sub> (Isuzu D-Max). To znamená, že jako nejlepší varianta vychází varianta X<sub>5</sub> (Nissan Navara) a nejhorší varianta X<sub>1</sub> (Isuzu D-Max).



**Obrázek 3 Grafické znázornění vzdálenosti variant od bazální varianty**

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek 3 znázorňuje vzdálenost variant od bazální varianty. Varianta  $X_1$  (Isuzu D-Max) nabývá hodnotu ukazatele vzdálenosti od bazální varianty  $c_1 = 0,05$ . Varianta  $X_2$  (Mitsubishi L200) nabývá hodnotu ukazatele vzdálenosti od bazální varianty  $c_2 = 0,29$ . Varianta  $X_3$  (Ford Ranger) nabývá hodnotu ukazatele vzdálenosti od bazální varianty  $c_3 = 0,65$ . Varianta  $X_4$  (Toyota Hilux) nabývá hodnotu ukazatel vzdálenosti od bazální varianty  $c_4 = 0,19$ . Varianta  $X_5$  (Nissan Navara) nabývá hodnoty ukazatele  $c_5 = 0,79$ .

## 5.4 Stanovení pořadí variant pomocí metody WSA

Metoda váženého součtu (WSA) vyžaduje kardinální informaci, kritériální matici a vektor vah kritérií. Jedná se o metodu, kde hledáme funkci užitku, předpokládáme pouze lineární funkci užitku. Abychom mohli začít s metodou WSA, musíme vytvořit kritériální matici v normalizovaném tvaru. Prvním krokem je úprava výchozí kritériální matice do maximalizačního tvaru.

**Tabulka 15 Výchozí kritériální matice**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>
X <sub>1</sub>	836 900	3	83	120	400	265	600	1104	956
X <sub>2</sub>	819 000	5	81	113	380	225	600	1061	955
X <sub>3</sub>	784 806	5	96	96	330	232	800	1235	1096
X <sub>4</sub>	825 220	3	85	110	400	293	700	1127	1050
X <sub>5</sub>	750 600	5	79	120	403	224	600	835	1000

Zdroj: vlastní výzkum

Všechna kritéria chceme mít v kritériální matici maximalizační ještě před provedením normalizace kritériální matice, proto převedeme všechny minimalizační kritéria na maximalizační. Tento proces jsme již provedli u metody TOPSIS, proto jí nebudeme znovu podrobně zmiňovat.

**Tabulka 16 Kritériální matice v maximalizačním tvaru**

	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	K <sub>5</sub>	K <sub>6</sub>	K <sub>7</sub>	K <sub>8</sub>	K <sub>9</sub>
X <sub>1</sub>	0	3	83	120	400	265	600	1104	956
X <sub>2</sub>	20 900	5	81	113	380	225	600	1061	955
X <sub>3</sub>	55 094	5	96	96	330	232	800	1235	1096
X <sub>4</sub>	14 680	3	85	110	400	293	700	1127	1050
X <sub>5</sub>	89 300	5	79	120	403	224	600	835	1000

Zdroj: vlastní výzkum

Určíme si ideální variantu (max.)  $H$  s ohodnocením  $(h_i, \dots, h_k)$  a bazální variantu (min.)  $D$  s ohodnocením  $(d_i, \dots, d_k)$  vzhledem k hodnotám vážené kritériální matice.

$$H_{(max.)} = (89300; 5; 96; 120; 403; 293; 800; 1235; 1096)$$

$$D_{(min.)} = (0; 3; 79; 96; 330; 224; 600; 835; 955)$$

### Výpočet normalizovaného tvaru kritériální matice:

Transformace kritériální matice do normalizovaného tvaru dle vztahu:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (33)$$

$$H_{(max.)} = (89300; 5; 96; 120; 403; 293; 800; 1235; 1096)$$

$$D_{(min.)} = (0; 3; 79; 96; 330; 224; 600; 835; 955)$$

Normalizace kritériální matice  $K_1$ :

$$r_{11} = \frac{y_{11} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{0 - 0}{89300 - 0} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{21} = \frac{y_{21} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{20900 - 0}{89300 - 0} = \mathbf{0,23}$$

$$r_{31} = \frac{y_{31} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{55094 - 0}{89300 - 0} = \mathbf{0,62}$$

$$r_{41} = \frac{y_{41} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{14680 - 0}{89300 - 0} = \mathbf{0,16}$$

$$r_{51} = \frac{y_{51} - D_1}{H_1 - D_1} = \frac{89300 - 0}{89300 - 0} = \mathbf{1,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_2$ :

$$r_{12} = \frac{y_{12} - D_2}{H_2 - D_2} = \frac{3 - 3}{5 - 3} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{22} = \frac{y_{22} - D_2}{H_2 - D_2} = \frac{5 - 3}{5 - 3} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{32} = \frac{y_{32} - D_2}{H_2 - D_2} = \frac{5 - 3}{5 - 3} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{42} = \frac{y_{42} - D_2}{H_2 - D_2} = \frac{3 - 3}{5 - 3} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{52} = \frac{y_{52} - D_2}{H_2 - D_2} = \frac{5 - 3}{5 - 3} = \mathbf{1,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_3$ :

$$r_{13} = \frac{y_{13} - D_3}{H_3 - D_3} = \frac{83 - 79}{96 - 79} = \mathbf{0,24}$$

$$r_{23} = \frac{y_{23} - D_3}{H_3 - D_3} = \frac{81 - 79}{96 - 79} = \mathbf{0,12}$$

$$r_{33} = \frac{y_{33} - D_3}{H_3 - D_3} = \frac{96 - 79}{96 - 79} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{43} = \frac{y_{43} - D_3}{H_3 - D_3} = \frac{85 - 79}{96 - 79} = \mathbf{0,35}$$

$$r_{53} = \frac{y_{53} - D_3}{H_3 - D_3} = \frac{79 - 79}{96 - 79} = \mathbf{0,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_4$ :

$$r_{14} = \frac{y_{14} - D_4}{H_4 - D_4} = \frac{120 - 96}{120 - 96} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{24} = \frac{y_{24} - D_4}{H_4 - D_4} = \frac{113 - 96}{120 - 96} = \mathbf{0,71}$$

$$r_{34} = \frac{y_{34} - D_4}{H_4 - D_4} = \frac{96 - 96}{120 - 96} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{44} = \frac{y_{44} - D_4}{H_4 - D_4} = \frac{110 - 96}{120 - 96} = \mathbf{0,58}$$

$$r_{54} = \frac{y_{54} - D_4}{H_4 - D_4} = \frac{120 - 96}{120 - 96} = \mathbf{1,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_5$ :

$$r_{15} = \frac{y_{15} - D_5}{H_5 - D_5} = \frac{400 - 330}{403 - 330} = \mathbf{0,96}$$

$$r_{25} = \frac{y_{25} - D_5}{H_5 - D_5} = \frac{380 - 330}{403 - 330} = \mathbf{0,69}$$

$$r_{35} = \frac{y_{35} - D_5}{H_5 - D_5} = \frac{330 - 330}{403 - 330} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{45} = \frac{y_{45} - D_5}{H_5 - D_5} = \frac{400 - 330}{403 - 330} = \mathbf{0,96}$$

$$r_{55} = \frac{y_{55} - D_5}{H_5 - D_5} = \frac{403 - 330}{403 - 330} = \mathbf{1,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_6$ :

$$r_{16} = \frac{y_{16} - D_6}{H_6 - D_6} = \frac{265 - 224}{293 - 224} = \mathbf{0,59}$$

$$r_{26} = \frac{y_{26} - D_6}{H_6 - D_6} = \frac{225 - 224}{293 - 224} = \mathbf{0,02}$$

$$r_{36} = \frac{y_{36} - D_6}{H_6 - D_6} = \frac{232 - 224}{293 - 224} = \mathbf{0,12}$$

$$r_{46} = \frac{y_{46} - D_6}{H_6 - D_6} = \frac{293 - 224}{293 - 224} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{56} = \frac{y_{56} - D_6}{H_6 - D_6} = \frac{224 - 224}{293 - 224} = \mathbf{0,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_8$ :

$$r_{18} = \frac{y_{18} - D_8}{H_8 - D_8} = \frac{1104 - 835}{1235 - 835} = \mathbf{0,67}$$

$$r_{28} = \frac{y_{28} - D_8}{H_8 - D_8} = \frac{1061 - 835}{1235 - 835} = \mathbf{0,57}$$

$$r_{38} = \frac{y_{38} - D_8}{H_8 - D_8} = \frac{1235 - 835}{1235 - 835} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{48} = \frac{y_{48} - D_8}{H_8 - D_8} = \frac{1127 - 835}{1235 - 835} = \mathbf{0,73}$$

$$r_{58} = \frac{y_{58} - D_8}{H_8 - D_8} = \frac{835 - 835}{1235 - 835} = \mathbf{0,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_7$ :

$$r_{17} = \frac{y_{17} - D_7}{H_7 - D_7} = \frac{600 - 600}{800 - 600} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{27} = \frac{y_{27} - D_7}{H_7 - D_7} = \frac{600 - 600}{800 - 600} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{37} = \frac{y_{37} - D_7}{H_7 - D_7} = \frac{800 - 600}{800 - 600} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{47} = \frac{y_{47} - D_7}{H_7 - D_7} = \frac{700 - 600}{800 - 600} = \mathbf{0,50}$$

$$r_{57} = \frac{y_{57} - D_7}{H_7 - D_7} = \frac{600 - 600}{800 - 600} = \mathbf{0,00}$$

Normalizace kritériální matice  $K_9$ :

$$r_{19} = \frac{y_{19} - D_9}{H_9 - D_9} = \frac{956 - 955}{1096 - 955} = \mathbf{0,01}$$

$$r_{29} = \frac{y_{29} - D_9}{H_9 - D_9} = \frac{955 - 955}{1096 - 955} = \mathbf{0,00}$$

$$r_{39} = \frac{y_{39} - D_9}{H_9 - D_9} = \frac{1096 - 955}{1096 - 955} = \mathbf{1,00}$$

$$r_{49} = \frac{y_{49} - D_9}{H_9 - D_9} = \frac{1050 - 955}{1096 - 955} = \mathbf{0,67}$$

$$r_{59} = \frac{y_{59} - D_9}{H_9 - D_9} = \frac{1000 - 955}{1096 - 955} = \mathbf{0,32}$$

**Tabulka 17 Kritériální matice v normalizovaném tvaru**

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
$X_1$	0,00	0,00	0,24	1,00	0,96	0,59	0,00	0,67	0,01
$X_2$	0,23	1,00	0,12	0,71	0,69	0,02	0,00	0,57	0,00
$X_3$	0,62	1,00	1,00	0,00	0,00	0,12	1,00	1,00	1,00
$X_4$	0,16	0,00	0,35	0,58	0,96	1,00	0,50	0,73	0,67
$X_5$	1,00	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,32

Zdroj: vlastní výzkum

Kritériální matice představuje matici hodnot funkce užitku z  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria, protože prvky této matice jsou přeměněnými kritériálními hodnotami, tak že  $r_{ij} = \langle 0; 1 \rangle$ . Potom bazální variantě odpovídá hodnota nula a ideální variantě hodnota jedna.

### ***Výpočet agregované funkce užítku:***

Posledním výpočtem u metody WSA je výpočet agregované funkce užítku pro jednotlivé varianty, kde pro výpočet použijeme vztah:

$$u(X_i) = \sum_{j=1}^k v_j \cdot r_{ij}, \quad (34)$$

kde  $v_j$  jsou normované váhy jednotlivých kritérií a  $r_{ij}$  normované hodnoty variant. Použité váhy jsou váhy získané Saatyho metodou  $v = (0,23; 0,22; 0,19; 0,12; 0,10; 0,06; 0,04; 0,02; 0,02)$ .

*Výpočet agregované funkce užítku varianty  $X_1$ :*

$$\begin{aligned} u(X_1) &= (v_1 \cdot r_{11}) + (v_2 \cdot r_{12}) + (v_3 \cdot r_{13}) + (v_4 \cdot r_{14}) + (v_5 \cdot r_{15}) + (v_6 \cdot r_{16}) + (v_7 \cdot r_{17}) + \\ &+ (v_8 \cdot r_{18}) + (v_9 \cdot r_{19}) = (0,23 \cdot 0) + (0,22 \cdot 0) + (0,19 \cdot 0,24) + (0,12 \cdot 1) + (0,10 \cdot 0,96) + \\ &+ (0,06 \cdot 0,59) + (0,04 \cdot 0) + (0,02 \cdot 0,67) + (0,02 \cdot 0,01) = \mathbf{0,31} \end{aligned}$$

*Výpočet agregované funkce užítku varianty  $X_2$ :*

$$\begin{aligned} u(X_2) &= (v_1 \cdot r_{21}) + (v_2 \cdot r_{22}) + (v_3 \cdot r_{23}) + (v_4 \cdot r_{24}) + (v_5 \cdot r_{25}) + (v_6 \cdot r_{26}) + (v_7 \cdot r_{27}) + \\ &+ (v_8 \cdot r_{28}) + (v_9 \cdot r_{29}) = (0,23 \cdot 0,23) + (0,22 \cdot 1) + (0,19 \cdot 0,12) + (0,12 \cdot 0,71) + (0,10 \cdot \\ &+ 0,69) + (0,06 \cdot 0,02) + (0,04 \cdot 0) + (0,02 \cdot 0,57) + (0,02 \cdot 0) = \mathbf{0,46} \end{aligned}$$

*Výpočet agregované funkce užítku varianty  $X_3$ :*

$$\begin{aligned} u(X_3) &= (v_1 \cdot r_{31}) + (v_2 \cdot r_{32}) + (v_3 \cdot r_{33}) + (v_4 \cdot r_{34}) + (v_5 \cdot r_{35}) + (v_6 \cdot r_{36}) + (v_7 \cdot r_{37}) + \\ &+ (v_8 \cdot r_{38}) + (v_9 \cdot r_{39}) = (0,23 \cdot 0,62) + (0,22 \cdot 1) + (0,19 \cdot 1) + (0,12 \cdot 0) + (0,10 \cdot 0) + \\ &+ (0,06 \cdot 0,12) + (0,04 \cdot 1) + (0,02 \cdot 1) + (0,02 \cdot 1) = \mathbf{0,64} \end{aligned}$$

*Výpočet agregované funkce užítku varianty  $X_4$ :*

$$\begin{aligned} u(X_4) &= (v_1 \cdot r_{41}) + (v_2 \cdot r_{42}) + (v_3 \cdot r_{43}) + (v_4 \cdot r_{44}) + (v_5 \cdot r_{45}) + (v_6 \cdot r_{46}) + (v_7 \cdot r_{47}) + \\ &+ (v_8 \cdot r_{48}) + (v_9 \cdot r_{49}) = (0,23 \cdot 0,16) + (0,22 \cdot 0) + (0,19 \cdot 0,35) + (0,12 \cdot 0,58) + \\ &+ (0,10 \cdot 0,96) + (0,06 \cdot 1) + (0,04 \cdot 0,5) + (0,02 \cdot 0,73) + (0,02 \cdot 0,67) = \mathbf{0,38} \end{aligned}$$

*Výpočet agregované funkce užítku varianty  $X_5$ :*

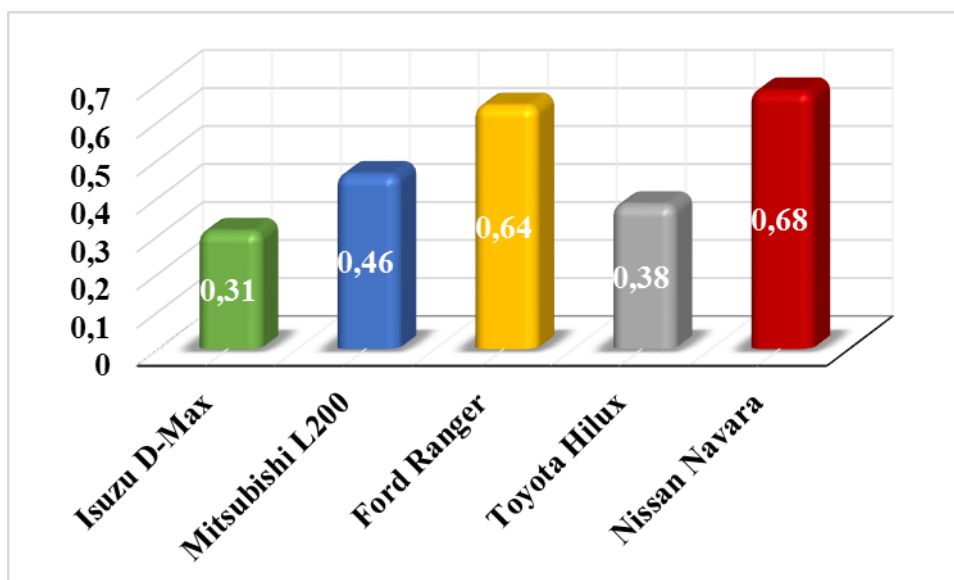
$$\begin{aligned} u(X_5) &= (v_1 \cdot r_{51}) + (v_2 \cdot r_{52}) + (v_3 \cdot r_{53}) + (v_4 \cdot r_{54}) + (v_5 \cdot r_{55}) + (v_6 \cdot r_{56}) + (v_7 \cdot r_{57}) + \\ &+ (v_8 \cdot r_{58}) + (v_9 \cdot r_{59}) = (0,23 \cdot 1) + (0,22 \cdot 1) + (0,19 \cdot 0) + (0,12 \cdot 0,01) + (0,10 \cdot 1) + \\ &+ (0,06 \cdot 0) + (0,04 \cdot 0) + (0,02 \cdot 0) + (0,02 \cdot 0,32) = \mathbf{0,68} \end{aligned}$$

**Tabulka 18 Agregovaná funkce užitku variant**

Varianta	$u(X_i)$
$X_1$	0,31
$X_2$	0,46
$X_3$	0,64
$X_4$	0,38
$X_5$	0,68

Zdroj: vlastní výzkum

Po výpočtu agregované funkce užitku pro každou variantu si seřadíme varianty podle hodnoty od nejlepší po nejhorší. Maximální hodnoty užitku po výpočtu dosahuje varianta  $X_5$  (Nissan Navara) a je vybrána jako nejlepší. Uspořádáním podle hodnot užitku dostaneme pořadí:  $u(X_5) = 0,68$  (Nissan Navara),  $u(X_3) = 0,64$  (Ford Ranger),  $u(X_2) = 0,46$  (Mitsubishi L200),  $u(X_4) = 0,38$  (Toyota Hilux),  $u(X_1) = 0,31$  (Isuzu D-Max).



**Obrázek 4 Grafické znázornění agregované funkce užitku variant**

Zdroj: vlastní výzkum

Obrázek 4 znázorňuje výsledky výpočtu agregované funkce užitku variant. Varianta  $X_1$  (Isuzu D-Max) nabývá hodnotu agregované funkce užitku  $u(X_1) = 0,31$ . Varianta  $X_2$  (Mitsubishi L200) nabývá hodnotu agregované funkce užitku  $u(X_2) = 0,46$ . Varianta  $X_3$  (Ford Ranger) nabývá hodnotu agregované funkce užitku  $u(X_3) = 0,65$ . Varianta  $X_4$  (Toyota Hilux) nabývá hodnotu agregované funkce užitku  $u(X_4) = 0,38$ . Varianta  $X_5$  (Nissan Navara) nabývá hodnotu agregované funkce užitku  $u(X_5) = 0,68$ .

## 6 DISKUZE

V bakalářské práci jsem se zabýval problematikou vícekriteriálního rozhodování. Cílem bakalářské práce bylo navrhnout optimální řešení konkrétního problému pomocí aplikace matematického rozhodování a zpracovat přehled základních matematických metod rozhodování, které lze efektivně využít při řešení praktického rozhodovacího úkolu.

Prvním krokem bylo studium metod vícekriteriálního rozhodování, seznámení se s obecnými základy těchto metod a pochopení jejich principů a smyslu jejich využití. Po důkladném studiu těchto metod jsem vybral a sepsal v teoretické části práce obecné informace o těchto metodách. Zaměřil jsem se na metody, které nám umožní stanovit váhu (významnost) daného kritéria a na metody, které nám umožní stanovit pořadí variant. U metod stanovení vah kritérii jsem konkrétně popsal metodu pořadí, Fullerovu metodu, bodovací metodu, alokaci 100 bodů (Metfesselova alokace) a Saatyho metodu. U metod stanovení pořadí variant jsem představil základní rozdělení těchto metod a konkrétně popsal metodu AHP, metodu TOPSIS a metodu WSA. Na závěr teoretické části práce jsem zmínil příklady použití těchto metod v zahraničí a v České republice. Když jsem prováděl rešerši knižních a zahraničních vědeckých článků, které se zabývali problematikou vícekriteriálního rozhodování, tak jsem se nesetkal s příkladem, který by popisoval využití těchto metod v krizovém řízení v České republice. V zahraničních vědeckých článcích jsem se setkal s použitím těchto metod na velice zajímavá témata, jako např. výstavba skladovacích přehrad v Íránu, výběr tomografického zařízení ve zdravotnictví, výběr místa pro překladiště komunálního odpadu v Istanbulu a plánování na snížení ztrát vody. Na základě této skutečnosti nelze diskuzi provést formou komparace s jinými pracemi. Diskuze odpovídá na otázky: Proč vyšel takový výsledek? Co mohlo ovlivnit výsledky? Výzkumná část práce podléhá vnějším podmínkám, volbě kritérií, přístupu rozhodovatele a řadě dalším faktorům, které níže diskutuji.

### *Analýza a formulace problému*

K etapě rozhodovacího procesu neodmyslitelně patří fáze analýzy a formulace problému, jejíž cílem je poznání problému, který má být řešen. V rámci analýzy je nutné specifikovat podstatné stránky problému, jasně definovat okruh dotčených stran a stanovit si cíle řešení problému. Výsledkem této fáze je vlastní formulace problému, která má zásadní význam pro jeho řešení. Proto byl vytvořen fiktivní příklad,



který se zabýval výběrem automobilu pro potřeby velitele stanice HZS kraje. Tento příklad simuloval výběr automobilu, kdy při rozhodování byly použity metody vícekritériálního rozhodování, které usnadnily proces rozhodování a pomohly najít řešení problému. Cílem takového rozhodování bylo najít vhodný automobil v závislosti na technické specifikaci automobilu.

### ***Přístup rozhodovatele***

Pro řešení rozsáhlejších rozhodovacích problémů je nutné spojit do řešitelského týmu zástupce různých vědních disciplín tak, aby bylo zajištěno kontinuální rozšiřování poznatků v různých oborech, které se dotýkají rozhodovacích problémů. Práce tohoto druhu vyžaduje spojení matematiky nebo analytika, který sestavuje matematický model a odborníky z daného odvětví, kteří se snaží o stanovení reálných omezení a požadavků, které vyplývají z technologického postupu. V případě řešeného úkolu jsem se ujal role analytika a z řad odborníků jsem spolupracoval s řidiči, kteří mají více jak 20 let zkušeností v řízení automobilu, dále s příslušníkem HZS Plzeňského kraje, s kterým jsem konzultoval stanovená kritéria a volbu variant. V oblasti přístupu rozhodovatele mohlo dojít k ovlivnění procesu rozhodování, a tím následně k ovlivnění výsledků rozhodování. Ovlivnění výsledků mohlo způsobit např. nezkušenost rozhodovatele, chybění odborníků v řešitelském týmu, nedostatečné znalosti z dané problematiky.

### ***Tvorba variant rozhodování***

Tato fáze klade vysoké nároky na činnost rozhodovatele, který se snaží o vypracování co nejširšího souboru variant. Čím je počet variantních řešení menší, tím je nižší pravděpodobnost pro nalezení skutečně vhodného řešení. Při řešení této fáze jsem provedl průzkum automobilového trhu v České republice, abych mohl vybrat správné varianty. Výběr jednotlivých variant byl prováděn na základě stanovených kritérií a na jejich minimálních požadavcích. Při průzkumu automobilové trhu jsem hledal výrobce užitkových automobilů karoserie pick-up. Byla tak nalezena tato možná variantní řešení: varianta  $X_1$  (Isuzu D-Max), varianta  $X_2$  (Mitsubishi L200), varianta  $X_3$  (Ford Ranger), varianta  $X_4$  (Toyota Hilux) a varianta  $X_5$  (Nissan Navara). Při průzkumu bylo celkem nalezeno 7 variant, ale jen 5 variant bylo zařazeno do procesu rozhodování. Vyřazenými variantami byly automobily značky Volkswagen a Fiat. Značka Volkswagen byla vyřazena z důvodu vyšší pořizovací ceny, než jaká byla stanovena. Značka Fiat byla vyřazena, protože jejich automobil byl novinkou na trhu užitkových automobilů. Ostatní automobily jsou vyráběny automobilovými výrobci, kteří mají dlouhodobější zkušenosti

na trhu užitkových automobilů karoserie pick-up. Užitkový automobil karoserie pick-up od Fiatu je jedním z prvních automobilů této kategorie. U ostatních výrobců tohoto typu automobilu se jedná o zkušené a ověřené výrobce, kteří vyrábí tyto automobily několik let a poskytují je zákazníkům. V této oblasti mohlo dojít k ovlivnění výsledků z důvodu nevhodného průzkumu trhu, výběrem špatného typu automobilu a omezeným množstvím užitkových automobilů nabízených v České republice.

### ***Stanovení kritérií hodnocení***

Formulace hodnotících kritérií je předpokladem správného hodnocení jednotlivých variantních řešení a výsledného výběru variant určených k realizaci. Stanovil jsem několik kritérií, podle kterých se budou jednotlivé varianty automobilů hodnotit. Automobil musí být vybaven sedadly pro pět osob, pěti dveřmi, pohonem všech čtyř kol, převodovkou mechanickou šestistupňovou a vznětovým motorem. Pro účel rozhodování bylo stanoveno devět kritérií, které byly stanoveny na základě rozhovorů se zkušenými řidiči a s příslušníkem HZS Plzeňského kraje. U některých kritérií byly stanoveny minimální hodnoty. Prvním kritériem je cena, jelikož chceme vybrat ten nejlepší automobil, a to za co nejnižší cenu. Maximální pořizovací cena byla stanovena na 850 000,-. Druhé kritérium je záruka, ta nám může zaručit, že po určitou dobu provozu automobilu máme jistotu, že pokud dojde k jeho poruše, dodavatel zajistí jeho bezplatnou opravu. Třetím kritériem je bezpečnost pasažérů, toto kritérium je důležité pro bezpečnost velitele při jízdě v provozu. Čtvrtým kritériem je maximální výkon automobilu, u kterého byla stanovena minimální hranice 80 kW. Výkon nám udává, kolik práce automobil vykoná za jednotku času. Páté kritérium je maximální točivý moment, u kterého byla stanovena minimální hranice 260 Nm. Točivý moment nám udává vlastní sílu motoru. Výkon a točivý moment jsou kritéria, která spolu úzce souvisí a zajišťují akceleraci, maximální rychlost a sílu motoru, což nám zajistí rychlý dojezd k zásahu. Šesté kritérium je světlá výška automobilu, její minimální výška byla stanovena na 180 mm. Světlá výška nám stanovuje nejnižší bod automobilu nad vozovkou při jeho zatížení maximální přípustnou hmotností, tato výška nám určuje prostupnost automobilu v terénu. Sedmé kritérium je brodivost. Určuje výšku hladiny vody, kterou je automobil schopen překonat, aniž by došlo k jeho poškození. Osmé kritérium je užitečná hmotnost automobilu, toto kritérium nám udává, pro jakou hmotnost nákladu je automobil konstruován. Byla stanovena minimální užitečná hmotnost automobilu na 800 kg. Posledním kritériem je objem zavazadlového prostoru, toto kritérium nám udává, jak objemný náklad lze

automobilem bezpečně převézt. Minimální objem zavazadlového prostoru byl stanoven na 750 litrů. Užitečná hmotnost a objem zavazadlového prostoru jsou kritéria, která spolu úzce souvisí a udávají nám možnosti, jak prostor automobilu pro účely veliteli dále dovybavit potřebným zařízením. V této oblasti mohlo dojít k ovlivnění výsledků hlavně z důvodu nevhodně zvolených kritérií. V případě jiného rozhodovatele, můžeme uvažovat o jiných kritériích.

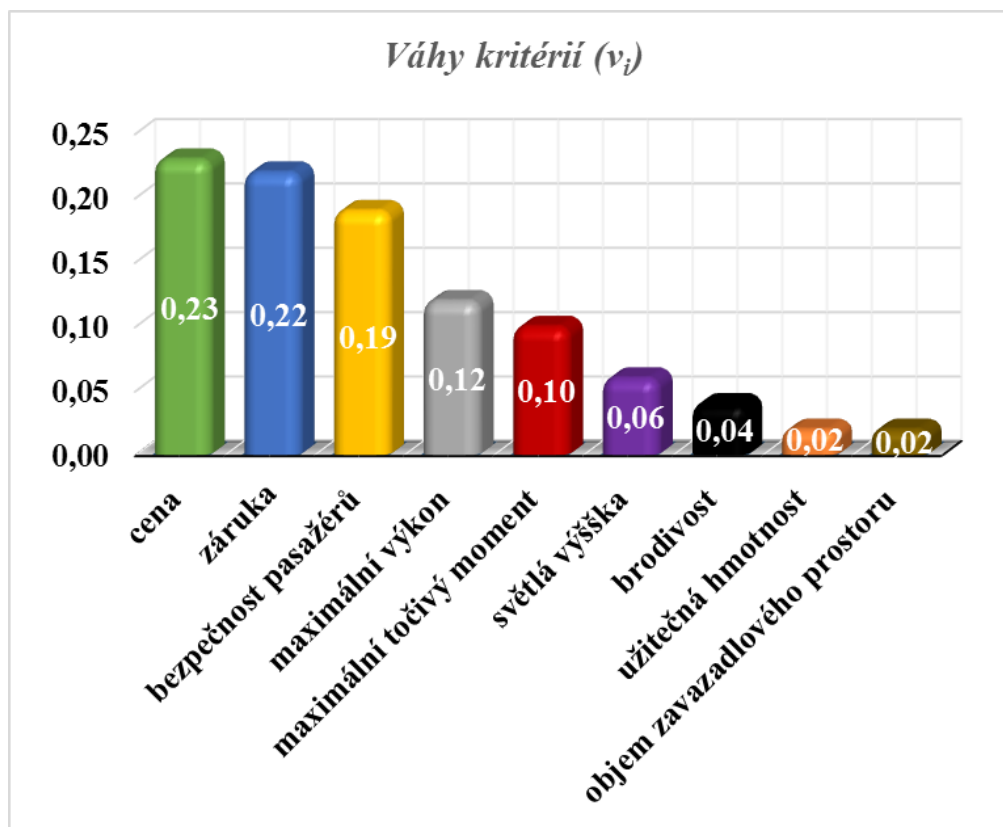
### ***Stanovení vah kritérií***

Na stanovení vah kritérií jsem mohl použít řadu metod. Pokud bych použil jinou metodu na stanovení vah kritérií, s velikou pravděpodobností bych nezískal stejné váhy, jako u Saatyho metody, která byla použita (Tabulka 19). Výsledné váhy kritérií pak ovlivňují samotné hodnocení variant. Mohl jsem použít Fullerovu metodu, kde bych porovnal významnost pouze mezi dvojicí kritérií u celého souboru kritérií. U metody pořadí bych hodnotil kritéria přiřazením bodů, kde nejvýznamnější kritérium získá nejvíce bodů a nejméně významné jeden bod. Bodovací metoda je založena na principu přiřazování bodů danému kritériu podle významnosti v závislosti na stanoveném rozsahu stupnice. Oproti těmto metodám Saatyho metoda pracuje na principu posouzení významnosti dvojice kritérií, ale i vyjádření o kolik je dané kritérium významnější. Tato metoda je více propracovaná a efektivněji hodnotí významnost kritérií. Dále bychom mohli použít pro posouzení významnosti kritérií metody, které nevyžadují váhy kritérií, např. lexikografickou metodu, která vychází z předpokladu, že největší vliv na výběr kompromisní varianty má nejdůležitější kritérium.

***Tabulka 19 Kritéria a jejich váhy***

<b>Kritérium</b>	<b>Název kritéria</b>	<b>Váha kritéria (<math>v_i</math>)</b>
K <sub>1</sub>	cena	0,23
K <sub>2</sub>	záruka	0,22
K <sub>3</sub>	bezpečnost pasažérů	0,19
K <sub>4</sub>	maximální výkon	0,12
K <sub>5</sub>	maximální točivý moment	0,10
K <sub>6</sub>	světla výška	0,06
K <sub>7</sub>	brodivost	0,04
K <sub>8</sub>	užitečná hmotnost	0,02
K <sub>9</sub>	objem zavazadlového prostoru	0,02

Zdroj: vlastní výzkum



**Obrázek 5 Grafické znázornění vah kritérií**

Zdroj: vlastní výzkum

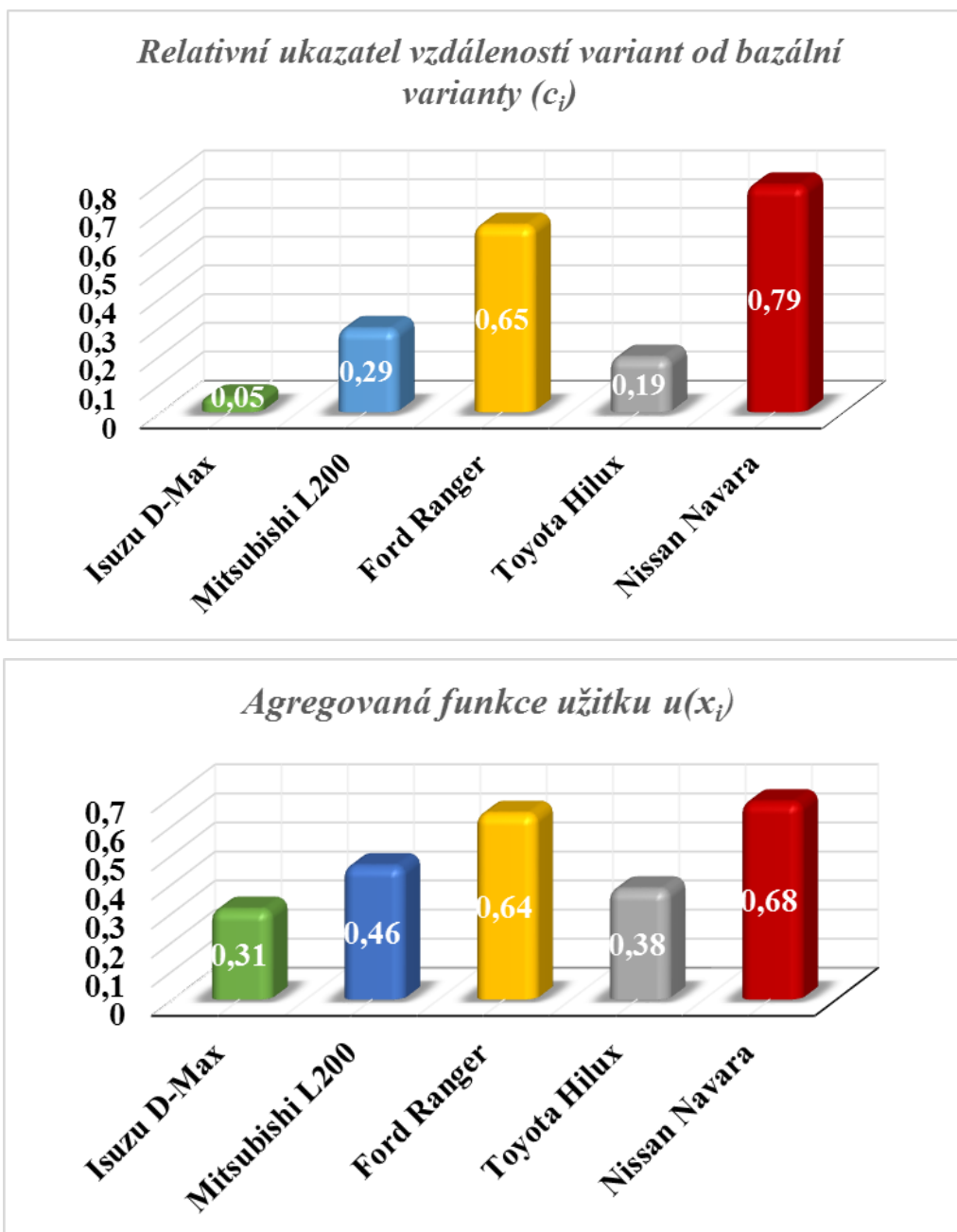
### ***Hodnocení a výběr varianty k realizaci***

Pro správný výběr varianty jsem použil metody, které stanoví pořadí variant v závislosti na kritériích. Hodnocení variant bylo provedeno pomocí metody TOPSIS, kde jsem hledal relativní vzdálenost od bazální varianty, dále pomocí metody WSA, kde jsem zjišťoval agregovanou funkci užitku. Výsledky, které byly zjištěny pomocí těchto metod, jsou znázorněny v Tabulce 20. Porovnání výsledků získaných těmito metodami je v závislosti na jejich rozdílném principu nesrovnatelné. Můžu jen posoudit rozdíl mezi jednotlivými variantami u každé z metod.

**Tabulka 20 Výsledky získané metodou TOPSIS a WSA**

Pořadí	Metoda TOPSIS			Metoda WSA		
	$c_i$	Varianta	Automobil	$u(X_i)$	Varianta	Automobil
1.	0,79	X <sub>5</sub>	Nissan Navara	0,68	X <sub>5</sub>	Nissan Navara
2.	0,65	X <sub>3</sub>	Ford Ranger	0,64	X <sub>3</sub>	Ford Ranger
3.	0,29	X <sub>2</sub>	Mitsubishi L200	0,46	X <sub>2</sub>	Mitsubishi L200
4.	0,19	X <sub>4</sub>	Toyota Hilux	0,38	X <sub>4</sub>	Toyota Hilux
5.	0,05	X <sub>1</sub>	Isuzu D-Max	0,31	X <sub>1</sub>	Isuzu D-Max

Zdroj: vlastní výzkum



**Obrázek 6 Grafické znázornění výsledků zjištěných metodou TOPSIS a WSA**

Zdroj: vlastní výzkum

Tyto grafy nemůžeme hodnotit mezi sebou a to vzhledem k naprosto odlišnému principu vybraných metod. U metody TOPSIS jsou vidět rozdíly mezi jednotlivými variantami, naopak rozdíly mezi variantami u metody WSA nejsou tak patrné. U metody TOPSIS jsem získal pořadí variant v závislosti na relativní vzdálenosti od bazální varianty. Pořadí variant je následující:  $X_5$  (Nissan Navara),  $X_3$  (Ford Ranger),  $X_2$  (Mitsubishi L200),  $X_4$  (Toyota Hilux),  $X_1$  (Isuzu D-Max). To znamená, že jako nejlepší varianta vychází varianta  $X_5$  (Nissan Navara) a nejhorší varianta  $X_1$  (Isuzu D-Max). Z grafu (Obrázek 6) vyplývá, že nejbližše ideální variantě se blíží variant

$X_5$  (Nissan Navara). U metody WSA jsem získal pořadí variant v závislosti na výpočtu agregované funkce užitku. Pořadí variant je stejné jako u metody TOPSIS, ale oproti metodě TOPSIS je u metody WSA vidět menší rozdíl mezi variantami. I u metody WSA je nejlepší variantou varianta  $X_5$  (Nissan Navara). Rozhodnutí o optimální variantě je v tomto případě jednoznačné. V závislosti na výsledcích se obě metody shodly na stejném pořadí variant a také na nejlepší variantě. Zvolená kritéria nejlépe splňuje automobil Nissan Navara. Optimálním řešením rozhodovacího příkladu je varianta  $X_5$  (Nissan Navara).

## 7 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout optimální řešení konkrétního problému pomocí aplikace matematického rozhodování a zpracovat přehled základních matematických metod rozhodování, které lze efektivně využít při řešení praktického rozhodovacího úkolu.

V teoretické části jsem charakterizoval rozhodovací proces a uvedl základní terminologii v této problematice. Následně jsem představil podstatu vícekriteriálního rozhodování, stanovení kritérií a jejich vah, metody stanovení pořadí variant. U metod stanovení vah kritérii jsem konkrétně popsal metodu pořadí, Fullerovu metodu, bodovací metodu, alokaci 100 bodů (Metfesselova alokace) a Saatyho metodu. U metod stanovení pořadí variant jsem představil základní rozdělení těchto metod a konkrétně popsal metodu AHP, metodu TOPSIS a metodu WSA. Na závěr teoretické části jsem představil příklady použití těchto metod na konkrétních příkladech, které řešili rozhodovatelé převážně ve světě, ale i v České republice.

V praktické části jsem si stanovil výzkumnou otázku a podrobně popsal metodiku výzkumu, kde byly sepsány hlavní a dílčí cíle výzkumné části práce. Cílem výzkumné části bylo představit přehlednou metodiku, popsat rozhodovací proces a poskytnout optimální řešení rozhodovacího problému. Mezi dílčí cíle jsem zařadil využití metod vícekriteriálního rozhodování v praxi, a to konkrétně jako efektivní nástroj pro krizové řízení, dále poskytl tento výzkum podrobné zpracování využití těchto metod s přehlednými tabulkami, komentáři, a i s výpočty na konkrétním příkladu, který může simulovat skutečnou rozhodovací situaci v krizovém řízení. Jako příklad jsem uvedl výběr automobilu pro potřeby velitele stanice HZS kraje. Na začátku rozhodovacího procesu jsem stanovil devět kritérií (cena, záruka, bezpečnost pasažérů, maximální výkon, maximální točivý moment, světlá výška, brodivost, užitečná hmotnost, objem zavazadlového prostoru). Váhy jednotlivých kritérií jsem stanovil pomocí Saatyho metody. Sestavil jsem si kritériální matici párových porovnání, určil si významnosti kritéria, významnost mezi dvojicí kritérií a velikost preference jsem vyjádřil pomocí bodové stupnice, která nabývala hodnot od 1 až do 9. Následně jsem vypočítal míru konzistence kritériální matice, určil váhy kritérií pomocí geometrického průměru řádku a provedl normalizaci. Stanovené váhy jednotlivých kritérií: cena ( $K_1$ )  $v_1 = 0,23$ ; záruka ( $K_2$ )  $v_2 = 0,22$ ; bezpečnost pasažérů ( $K_3$ )  $v_3 = 0,19$ ; maximální výkon ( $K_4$ )  $v_4 = 0,12$ ;

maximální točivý moment ( $K_5$ )  $v_5 = 0,10$ ; světlá výška ( $K_6$ )  $v_6 = 0,06$ ; brodivost ( $K_7$ )  $v_7 = 0,04$ ; užitečná hmotnost ( $K_8$ )  $v_8 = 0,02$ ; objem zavazadlového prostoru ( $K_9$ )  $v_9 = 0,02$ . Dalším krokem byla identifikace variant, kde jsem provedl průzkum trhu automobilů v České republice a následně vybral pět variant, které splňovali zadaná kritéria a jejich minimální požadavky. Jako varianty byly vybrány automobily značky Isuzu, Mitsubishi, Ford, Toyota a Nissan. Následovalo stanovení pořadí variant, které jsem provedl pomocí metody TOPSIS a WSA. U metody TOPSIS jsem hledal vzdálenost varianty od ideální a bazální varianty. V několika krocích jsem provedl úpravu výchozí kriteriální matice na maximalizační kriteriální matici, transformoval kriteriální matici do normalizovaného tvaru, vypočetl váženou kriteriální matici, kde jsem použil váhy jednotlivých kritérií, které byly zjištěny pomocí Saatyho metody. Po výpočtu vážené kriteriální matice jsem přistoupil k výpočtu vzdálenosti variant od ideální a bazální varianty a následně vypočítal relativní ukazatel vzdálenosti varianty od bazální varianty. Seřazením relativního ukazatele vzdálenosti od bazální varianty podle klesající hodnoty jsme získali pořadí. Pořadí variant:  $X_5$  (Nissan Navara)  $c_5 = 0,79$ ,  $X_3$  (Ford Ranger)  $c_3 = 0,65$ ,  $X_2$  (Mitsubishi L200)  $c_2 = 0,29$ ,  $X_4$  (Toyota Hilux)  $c_4 = 0,19$ ,  $X_1$  (Isuzu D-Max)  $c_1 = 0,05$ . To znamená, že nejlepší variantou je varianta  $X_5$  a nejhorší varianta  $X_1$ . Metodou WSA jsem hledal funkci užitku variant. Použil jsem upravenou výchozí kriteriální matici z metody TOPSIS. Následně jsem vypočítal normalizovanou kriteriální matici a vypočetl agregovanou funkci užitku. Po výpočtu agregované funkce užitku pro každou variantu jsem seřadil varianty od nejlepší po nejhorší. Maximální hodnoty užitku po výpočtu dosahuje varianta  $X_5$  (Nissan Navara) a je vybrána jako nejlepší. Uspořádáním podle hodnot užitku dostaneme pořadí:  $u(X_5) = 0,68$  (Nissan Navara),  $u(X_3) = 0,64$  (Ford Ranger),  $u(X_2) = 0,46$  (Mitsubishi L200),  $u(X_4) = 0,38$  (Toyota Hilux),  $u(X_1) = 0,31$  (Isuzu D-Max). Po získaných výsledcích můžeme zodpovědět výzkumnou otázku. Optimální řešení problému pomocí aplikace matematického rozhodování je varianta  $X_5$  (Nissan Navara), která podle metody TOPSIS se nejvíce blíží k ideální variantě a podle metody WSA má největší funkci užitku.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AKAA, O. U. et al., 2016. *A group-AHP decision analysis for the selection of applied fire protection to steel structures*. Fire Safety Journal. 86. 95-105 s. DOI: 10.1016/j.firesaf.2016.10.005
2. BARRIOS, M. A. O. et al., 2016. *An AHP-Topsis Integrated Model for Selecting the Most Appropriate Tomography Equipment*. WORLD SCIENTIFIC PUBL CO PTE LTD, 5 TOH TUCK LINK, SINGAPORE 596224, SINGAPORE. 15(4). 861-885 s. DOI: 10.1142/S021962201640006X
3. BOROVCOVÁ, M., 2010. *Metody vícekriteriálního hodnocení variant a jejich využití při výběru produktu finanční instituce*. 5. mezinárodní konference Řízení a modelování finančních rizik [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Ekonomická fakulta, katedra Financí. [cit. 4. 12. 2016] Dostupné z: [https://www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/rmfr/.content/galerie-dokumentu/2014/plne-zneni-prispevku/Borovcova.Martina\\_1.pdf](https://www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/rmfr/.content/galerie-dokumentu/2014/plne-zneni-prispevku/Borovcova.Martina_1.pdf)
4. DOČKALÍKOVÁ, I., KLOZÍKOVÁ, J., 2015. *MCDM Methods in Practice: Localization Suitable Places for Company by the Utilization of AHP and WSA, TOPSIS Method*. In: European Konferencí on Management, Leadership & Governance. Academic Conferences International Limited. 543-552 s. ISSN 2048-9021
5. ERDEM, M. B., 2016. *A Fuzzy Analytical Hierarchy Process Application in Personnel Selection in IT Companies: A Case Study in a Spin-off Company*. Sakarya University Department of Industrial Engineering, Sakarya, Turkey. 130(1), 331-334 s. DOI: 10.12693/APhysPolA.130.331
6. FIALA, P., 2008. *Modely a metody rozhodování*. 2 vyd. Praha: Oeconomica. 292 s. ISBN 978-80-245-1345-4
7. FORD MOTOR COMPANY LIMITED, 2016. *Katalogy a ceníky: Ford Ranger* [online]. Brentwood, Essex, Anglie [cit. 15. 12. 2016]. Dostupné z: <http://www.ford.cz/SBE/KeStazeni/Uzitkove-vozy>
8. FOTR, J. et al., 2010. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. 2. vyd. Praha: Ekopress. 474 s. ISBN 978-80-86929-59-0
9. FOTR, J. et al., 2003. *Manažerské rozhodování*. 3. vyd. Praha: EKOPRESS. 250 s. ISBN 80-86119-69-6

10. FOTR, J., SOUČEK, I., 2011. *Investiční rozhodování a řízení projektů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing. 416 s. ISBN 978-80-247-3293-0
11. FOTR, J., SOUČEK, I., 2015. *Tvorba a řízení portfolia projektů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing. 288 s. ISBN 978-80-247-5275-4
12. FRIEBELOVÁ, J., KLICNAROVÁ, J., 2007. *Rozhodovací modely pro ekonomy*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Ekonomická fakulta. 135 s. ISBN 978-80-7394-035-5
13. GRASSEOVÁ, M., 2013. *Efektivní rozhodování: analyzování, rozhodování, implementace a hodnocení*. 1. vyd. Brno: Edika. 392 s. ISBN 978-80-266-0179-1
14. ISIKLAR, G., BUYUKOZKAN, G., 2007. *Using a multi-criteria decision making approach to evaluate mobile phone alternatives*. COMPUTER STANDARDS & INTERFACES. 29 (2). 265-274 s. DOI: 10.1016/j.csi.2006.05.002. ISSN: 0920-5489
15. ISUZU, 2015. *Ceník a technické údaje: Isuzu D-Max* [online]. Praha [cit. 16. 12. 2016]. Dostupné z: [http://www.isuzumotors.cz/fileadmin/user\\_upload/isuzu/dmax\\_mediadatenbank/V%C3%BDbavy\\_a\\_technick%C3%A1\\_data\\_ISUZU\\_D-MAX\\_01\\_2015.pdf](http://www.isuzumotors.cz/fileadmin/user_upload/isuzu/dmax_mediadatenbank/V%C3%BDbavy_a_technick%C3%A1_data_ISUZU_D-MAX_01_2015.pdf)
16. JABLONSKÝ, J., 2007. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing. 323 s. ISBN 978-80-86946-44-3
17. JU, Y., WANG, A., 2012. *Emergency alternative evaluation under group decision makers: A method of incorporating DS/AHP with extended TOPSIS*. Expert Systems with Applications. 39(1), 1315-1323 s. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.08.012
18. KAHRAMAN, C. et. al., 2008. *Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments*. Springer Science & Business Media. 590 s. ISBN 978-0-387-76812-0
19. KELEMENIS, A., ASKOUNIS, D., 2010. *A new TOPSIS-based multi-criteria approach to personnel selection*. Expert Systems with Applications. 37(7), 4999-5008 s. DOI: 10.1016/j.eswa.2009.12.013
20. KHODASHENAS, S. R., YARAHMADI, N., 2016. *Storage dam's locality placing v by MCDM techniques (case study: three dams in Iran)*. ARABIAN JOURNAL of Geosciences. 9(612), DOI: 10.1007/s12517-016-2636-y

21. KHOSRAVANI, R., WOOD, D. A., 2016. *Selection of high-rate gas well completion designs applying multi-criteria decision making and hierarchy methods*. Journal of Natural Gas Science and Engineering. (34), DOI: 10.1016/j.jngse.2016.07.033. ISSN 18755100
22. KILNAROVÁ, P., 2016. *Multikriteriální hodnocení v urbanismu*. Ústav urbanismu, Fakulta architektury, Vysoké učení technické v Brně, Česká Republika. 95-98 s. DOI: 10.13164/ACAU.FA2016.11
23. KORVINY, P., 2008. *Teoretické základy vícekritériálního rozhodování* [online]. [cit. 9. 1. 2016]. Dostupné z: [http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie\\_mca.pdf](http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie_mca.pdf)
24. KŘUPKA, J. et al., 2012. *Rozhodovací procesy*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní. 69 s. ISBN 978-80-7395-478-9
25. MANČEV, M. D., 2016. *The application of the TOPSIS method in selecting the best Academic Library at the University of Niš*. Journal of Information and Library Science. 40(1), 81-96 s. ISSN 1195096X
26. MIKUŠOVÁ, M., ČOPÍKOVÁ, A., 2015. *Vytvoření modelu kompetencí krizového manažera malého podniku za použití Saatyho metody*. Scientific Papers of the University of Pardubice. Series D, Faculty of Economics. 22(33), 111-121 s. ISSN 1211555X
27. M MOTORS CZ s.r.o., © 2008-2017. *Ceník a parametry L200 DC: Mitsubishi L200* [online]. Praha [cit. 16. 12. 2016]. Dostupné z: <http://www.mitsubishi-motors.cz/modely/ceniky/mitsubishi-l200-dc-cenik.pdf>
28. MOTEZA, Z. et al., 2016. *Selection of the optimal tourism site using the ANP and fuzzy TOPSIS in the framework of Integrated Coastal Zone Management: A case of Qeshm Island*. ELSEVIER SCI LTD, THE BOULEVARD, LANGFORD LANE, KIDLINGTON, OXFORD OX5 1GB, OXON, ENGLAND. (130), 179-187 s. ISSN 0964-5691
29. MUTIKANGA, H., E. et al., 2011. *Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management*. Water Resources Management. 25(14), 3947-3969 s. DOI: 10.1007/s11269-011-9896-9
30. NEMEČEK, A., JANATA, J., 2010. *Oceňování majetku v pojišťovnictví*. 1. vyd. Praha: C. H. Beck. 172 s. ISBN 978-80-7400-144-7
31. NISSAN, © 2016. *Ceník: Nissan Navara* [online]. Praha [cit. 15. 12. 2016]. Dostupné z: [https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Pricelists/NAVARA\\_CZ.pdf](https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/cz/brochures/Pricelists/NAVARA_CZ.pdf)

32. ÖNÜT, S., SONER, S., 2008. *Transshipment site selection using the AHP and TOPSIS approaches under fuzzy environment*. Yildiz Technical University, Mechanical Faculty, Department of Industrial Engineering, 34349 Yildiz, İstanbul, Turkey. 28(9), 1552-1559 s. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.05.019
33. OLIVKOVÁ, I., 2011. *Aplikace metod vícekritériálního rozhodování při hodnocení kvality veřejné dopravy*. Perner's Contact, Univerzita Pardubice. 6(4), 293-303 s. ISSN 1801-674
34. RAMÍK, J., PERZINA, R., 2008. *Moderní metody hodnocení a rozhodování*. 1. vyd. Karviná: Slezská univerzita v Opavě, Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné. 252 s. ISBN 978-80-7248-497-3
35. ROHÁČOVÁ, I., MARKOVÁ, Z., 2009. *The Analysis of AHP method and its potential use in logistics*. ACTA MONTANISTICA SLOVACA. 14(1). 103-112 s. ISSN: 1335-1788
36. RYDVAL, J., 2012. *Využití AHP při analýze informací o produktu*. Doktorská vědecká konference [online]. ČZU v Praze, Provozně ekonomická fakulta [cit. 14. 9. 2016]. Dostupné z www. [http://tt.pef.czu.cz/Files/3\\_printVersion\\_208.pdf](http://tt.pef.czu.cz/Files/3_printVersion_208.pdf)
37. SAN CRISTÓBAL, J. R., 2011. *Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: the Vikor method*. Renewable energy. 36(2), 498-502 s. DOI: 10.1016/j.renene.2010.07.031
38. SEKNIČKOVÁ, J., KUNCOVÁ, M., 2014. *Evaluation of the locality influence on the electricity supplier selection*. Univerzita Palackého v Olomouci. 879-884 s. ISBN:978-80-244-4209-9
39. SOUFI, M. D. et al., 2015. *TOPSIS Multi-Criteria Decision Modeling Approach for Biolubricant Selection for Two-Stroke Petrol Engines*. Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland. 8(12), 13960-13970 s. DOI: 10.3390/en81212408. ISSN 19961073
40. ŠUBRT, T. et al., 2011. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. vyd. Plzeň: Aleš Čeněk. 351 s. ISBN 978-80-7380-345-2
41. TOYOTA CENTRAL EUROPE - CZECH s.r.o., © 2016. *Ceník: Toyota Hilux* [online]. Praha [cit. 17. 12. 2016]. Dostupné z: [https://pdf.sites.toyota.cz/cenik\\_hilux.pdf](https://pdf.sites.toyota.cz/cenik_hilux.pdf)

42. VALÁŠKOVÁ, K. et al., 2015. *Multi Criteria Models Used in Slovak Consumer Market for Bussiness Decision Making*. University of Zilina, Faculty of Operation and Economics of Transport and Communications, Department of Economics. Published by Elsevier B.V. Volume 26. 174-182 s. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)00913-2
43. ZMEŠKAL, Z., 2009. *Vícekritériální hodnocení variant a analýza citlivosti při výběru produktů finančních institucí*. 7. mezinárodní konference Finanční řízení podniků a finančních institucí [online]. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Ekonomická fakulta, katedra Financi [cit. 9. 10. 2016]. Dostupné z: [https://www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/frpfi/cs/archiv/rocnik-2009/prispevky/dokumenty/Zmeskal.Zdenek\\_1.pdf](https://www.ekf.vsb.cz/export/sites/ekf/frpfi/cs/archiv/rocnik-2009/prispevky/dokumenty/Zmeskal.Zdenek_1.pdf)

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Hierarchická struktura modelu vícekritériální analýzy variant .....	21
Obrázek 2 Grafické znázornění vah kritérií v procentech .....	37
Obrázek 3 Grafické znázornění vzdálenosti variant od bazální varianty .....	50
Obrázek 4 Grafické znázornění agregované funkce užitku variant .....	55
Obrázek 5 Grafické znázornění vah kritérií.....	60
Obrázek 6 Grafické znázornění výsledků zjištěných metodou TOPSIS a WSA.....	61

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Metody kvantifikace preferencí mezi kritérii a jejich výstupy .....	13
Tabulka 2 Verbální vyjádření významnosti kritérií .....	17
Tabulka 3 Přehled jednotlivých kritérií, typů kritérií, jednotek a zdrojů informací .....	32
Tabulka 4 Verbální vyjádření významnosti kritérií .....	32
Tabulka 5 Saatyho matice párového porovnání.....	33
Tabulka 6 Saatyho matice párového porovnání a váhy kritérií .....	36
Tabulka 7 Informace o jednotlivých variantách .....	38
Tabulka 8 Výchozí kritériální matice .....	39
Tabulka 9 Maximalizační kritériální matice .....	39
Tabulka 10 Normalizovaná kritériální matice .....	43
Tabulka 11 Vážená kritériální matice .....	44
Tabulka 12 Vzdálenosti variant od ideální a bazální varianty .....	48
Tabulka 13 Relativní ukazatel vzdálenosti variant od bazální varianty .....	49
Tabulka 14 Varianty seřazené sestupně podle hodnoty $c_i$ .....	49
Tabulka 15 Výchozí kritériální matice .....	51
Tabulka 16 Kritériální matice v maximalizačním tvaru .....	51
Tabulka 17 Kritériální matice v normalizovaném tvaru .....	53
Tabulka 18 Agregovaná funkce užitku variant .....	55
Tabulka 19 Kritéria a jejich váhy .....	59
Tabulka 20 Výsledky získané metodou TOPSIS a WSA .....	60

## SEZNAM ZKRATEK

AHP	Analytic Hierarchy Process
HZS	Hasičský Záchranný Sbor
PRIAM	Programme utilisant l'Intelligence Artificielle en Multicritere
WSA	Weighted Sum Approach
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
ELECTRE	ELimination Et Choix Traduisant la REalité
PROMETHEE	Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluation
IT	Informační Technologie
EURO NCAP	the European New Car Assessment Programme
EWG-MCDA	the European Working Group on Multiple Criteria Decision Aiding
MCDM	Multiple Criteria Decision Making