

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra systémového inženýrství**



**Bakalářská práce**

**Aplikace metod vícekritériální analýzy variant ve  
výběrovém řízení na nákup notebooků**

**Holý Jan**

**© 2022 ČZU v Praze**



# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Holý

Veřejná správa a regionální rozvoj

Název práce

Aplikace metod vícekriteriální analýzy variant ve výběrovém řízení na nákup notebooků

Název anglicky

Multiple-Criteria Decision-Making Methods Application in the Tender for the Laptops Purchase

---

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat výběrové řízení na nákup notebooků, které proběhlo na základní škole Vítězslava Háška v Odoleně Vodě a porovnat jeho výsledek s kompromisní variantou doporučenou na základě aplikace metod vícekriteriální analýzy variant při shodném zadání.

Metodika

Cíle práce bude dosaženo prostřednictvím následujícího postupu:

### 1. Teoretická část

- Model vícekriteriální analýzy variant
- Metody pro stanovení vah kritérií
- Metody pro určení kompromisní varianty

### 2. Praktická část

- Charakteristika rozhodovatele a jeho požadavků
- Kritéria a stanovení jejich vah
- Výběr kompromisní varianty

### 3. Doporučení, závěr

**Doporučený rozsah práce**

30 – 40 stran

**Klíčová slova**

vícekriteriální analýza variant, kritéria, kompromisní varianta, výběrové řízení, notebook

---

**Doporučené zdroje informací**

JABLONSKÝ, J. a kol. (2007): Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, ISBN 978-80-8694-644-3

ŠUBRT, T. a kol. (2015): Ekonomicko-matematické metody. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, ISBN 978-80-7380-563-0

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – PEF

**Vedoucí práce**

Ing. Martina Houšková Beránková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra systémového inženýrství

---

Elektronicky schváleno dne 24. 11. 2021

doc. Ing. Tomáš Šubrt, Ph.D.

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 30. 11. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 28. 02. 2022

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Aplikace metod vícekritériální analýzy variant ve výběrovém řízení na nákup notebooků" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.3.2022

---

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Martině Houškové Beránkové, PhD. za odborné vedení, ochotu, podnětné rady. Velmi si této spolupráce cením a také děkuji za plynulou komunikaci, která mi byla poskytnuta během tvorby bakalářské práce.

# **Aplikace metod vícekriteriální analýzy variant ve výběrovém řízení na nákup notebooků**

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá praktickou aplikací metod vícekriteriální analýzy variant. Cílem práce je analýza výběrového řízení na nákup notebooků a výběr kompromisní varianty pomocí vybraných modelů vícekriteriální analýzy variant.

Práce je rozdělena na část teoretickou a na část praktickou. V teoretické části je popsána tematika vícekriteriálního rozhodování, zejména metody stanovení vah kritérií a metody výběru kompromisní varianty.

V praktické části je charakterizováno výběrové řízení, popsány nabídky, které se do výběrového řízení přihlásily a definována kritéria výběru. Dále jsou pomocí Saatyho metody vypočteny váhy kritérií. Kompromisní varianta je vybrána pomocí metody bazické varianty a metody TOPSIS. V diskusi jsou výsledky zhodnoceny a porovnány se skutečným výsledkem výběrového řízení. V závěru práce je shrnut celkový výsledek rozhodování a je provedeno zhodnocení dosažených cílů

**Klíčová slova:** vícekriteriální analýza variant, kritéria, kompromisní varianta, výběrové řízení, metoda TOPSIS, metoda bazické varianty, Saatyho metoda

# **Multiple-Criteria Decision-Making Methods**

## **Application in the Tender for Laptops Purchase**

### **Abstract**

This bachelor thesis deals with the practical application of multi-criteria variant analysis methods. The aim of the thesis is to analyse a tender for the purchase of laptops and to select a compromise option using selected models of multi-criteria analysis of variant.

The thesis is divided into a theoretical part and a practical part. In the theoretical part, the topic of multiple-criteria decision making is described, especially the methods of determining the weight of criteria and the methods of selecting a compromise variant.

In the practical part, the selection procedure is characterized, the bids that were submitted to the selection procedure are described and the selection criteria are defined. Furthermore, the weights of the criteria are calculated using the Saaty method. The compromise variant is selected using the base variant method and the TOPSIS method. In the discussion, the results are evaluated and compared with the actual result of the selection procedure. The paper concludes with a summary of the overall decision making process and an evaluation of the objectives achieved is executed.

**Keywords:** multi-criteria variant analysis, compromise variant, selection procedure, TOPSIS method, base variant method, Saaty method



## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika</b> .....	<b>13</b>
2.1	Cíl práce .....	13
2.2	Metodika .....	13
<b>3</b>	<b>Teoretická východiska</b> .....	<b>14</b>
3.1	Rozhodovací proces .....	14
3.2	Vícekritériální rozhodování .....	14
3.3	Vícekritériální analýza variant .....	14
3.3.1	Typy kritérií .....	15
3.3.2	Preference kritérií .....	16
3.3.3	Varianty v rozhodovacím procesu .....	16
3.4	Typy úloh podle cíle řešení .....	17
3.5	Typy úloh podle zpracovávané informace .....	18
3.6	Metody pro stanovení vah kritérií .....	19
3.6.1	Stanovení vah kritérií bez informace o preferencích kritérií .....	20
	Entropická metoda .....	20
3.6.2	Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferencích kritérií ..	21
	Metoda pořadí .....	21
	Metoda Fullerova trojúhelníku .....	22
3.6.3	Stanovení vah z kardinální informace o preferencích .....	23
	Bodovací metoda .....	23
	Saatyho metoda .....	23
3.7	Metody pro výběr kompromisní varianty .....	24
3.7.1	Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií .....	25
	Bodovací metoda .....	25
	Metoda pořadí .....	25
3.7.2	Metody vyžadující aspirační úrovně kritérií .....	25
	Metoda PRIAM .....	26
	Metoda bazické varianty .....	26
3.7.3	Metody využívající ordinální informace .....	27
	Lexikografická metoda .....	27
	Metoda ORESTE .....	27
3.7.4	Metody využívající kardinální informaci .....	28

Metoda váženého součtu .....	28
Metoda AHP .....	29
Metoda TOPSIS.....	30
Metoda ELECTRE I.....	31
Metoda PROMETHEE.....	32
<b>4 Vlastní práce.....</b>	<b>33</b>
4.1 Popis výběrového řízení.....	33
4.2 Varianty výběru.....	33
4.3 Stanovení kritérií.....	36
4.4 Stanovení vah kritérií .....	39
4.5 Výběr kompromisní varianty .....	41
4.5.1 Metoda bazické varianty.....	41
4.5.2 Metoda TOPSIS.....	43
<b>5 Výsledky a diskuse.....</b>	<b>45</b>
<b>6 Závěr .....</b>	<b>47</b>
<b>7 Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>48</b>

### Seznam použitých grafů

Graf 1: Analytický hierarchický proces.....	30
Graf 2: Váhy kritérií .....	41

### Seznam tabulek

Tabulka 1 – Výpočet metodou Fullerova trojúhelníku.....	22
Tabulka 2 – Přehled nabídek .....	36
Tabulka 3 - Přehled kritérií.....	37
Tabulka 4 - Kriteriaální matice .....	39
Tabulka 5 - Saatyho matice .....	40
Tabulka 6 - Váhy kritérií .....	40
Tabulka 7 - Přehled bazických variant .....	41
Tabulka 8 – Aplikace metody bazické varianty .....	42
Tabulka 9 – Pořadí podle metody bazické varianty .....	42
Tabulka 10 - Normalizovaná kriteriaální matice R.....	43

Tabulka 11 - Normalizovaná vážená kritériální matice W.....	44
Tabulka 12 - Pořadí variant dle metody TOPSIS.....	44

# 1 Úvod

S procesem rozhodování se člověk setkává v každodenním životě, většina rozhodnutí je natolik malých a málo významných, že je provádí automaticky. Základem procesu rozhodování je existence více alternativ, mezi kterými má člověk možnost volby. K řešení jednodušších problémů lze využít pouhé intuice nebo rychlého zvážení pozitiv a negativ. Tímto způsobem lze rozhodovat o problémech, kterým není přikládána velká významnost, volba špatného řešení většinou nemá pro rozhodovatele závažné negativní následky. Některá rozhodnutí však mohou být významnější a složitější, mívají dlouhodobý dopad nebo mohou souviset s vynaložením vysokých peněžních prostředků, jedná se například o koupi nového domu, výběr studijního oboru, výběr dodavatele u velkých zakázek. U závažnějších rozhodnutí by měl člověk své rozhodnutí důkladně promyslet, stanovit výhody a nevýhody jednotlivých variant, zvážit možné důsledky rozhodnutí, je taky možné využít pomoci odborníka. K řešení složitějších problémů je možné využít modely vícekritériální analýzy variant, pomocí kterých lze posuzovat řešený problém podle více kritérií. Jedná se o matematické modely sloužící rozhodovateli k zefektivnění procesu rozhodování.

Tato bakalářská práce se zabývá problémem výběru nejvhodnější varianty ve výběrovém řízení na nákup notebooků, které proběhlo na základní škole Vítězslava Háška. Výběr správného typu notebooku určeného pro vlastní používání nebo pro pracovní účely je v poslední době velice běžný. Na trhu existuje velké množství výrobců, kteří nabízejí různé varianty notebooků, je tedy velice složité rozhodnout se na základě vlastních preferencí, který notebook si vybrat. Nákup pracovních notebooků může být pro firmy nákladnou záležitostí, u těchto nákupů je nutné správně určit k čemu bude notebook používán a jaké by měly být jeho minimální parametry.

## **2 Cíl práce a metodika**

### **2.1 Cíl práce**

Cílem práce je analyzovat výběrové řízení na nákup notebooků, které proběhlo na základní škole Vítězslava Háalka v Odoleně Vodě a porovnat jeho výsledek s kompromisní variantou doporučenou na základě aplikace metod vícekriteriální analýzy variant při shodném zadání.

### **2.2 Metodika**

Na základě stanoveného cíle je nutné zvolit způsob, kterým bude tohoto cíle dosaženo. V první části práce je k uvedení do problematiky práce využita literární rešerše, ve které jsou charakterizovány základní pojmy, popsány metody pro stanovení vah a metody pro stanovení kompromisní varianty.

Druhá část se zaměřuje na využití metod vícekriteriální analýzy variant k řešení konkrétního příkladu z praxe. Metody jsou aplikovány ve výběrovém řízení na nákup notebooků, kde je nejprve charakterizováno výběrové řízení, popsány jednotlivé varianty a následně ze získaných informací stanovena kritéria a pomocí Saatyho metody vypočítány jejich váhy. Na základě stanovených kritérií a jejich vah je pomocí metody bazické varianty a metody TOPSIS stanovena kompromisní varianta.

## 3 Teoretická východiska

### 3.1 Rozhodovací proces

Proces rozhodování spočívá ve volbě jediného rozhodnutí z několika možných alternativ. Mělo by se jednat o alternativu, která nejlépe naplňuje požadavky rozhodovatele. Příkladem procesu rozhodování je nákup automobilu, kdy se kupující rozhoduje mezi určitými typy automobilů, které porovnává na základě svých preferencí, např. cena, výbava a výkon (Šubrt & kol., 2015).

### 3.2 Vícekriteriální rozhodování

Vícekriteriální rozhodování spočívá ve výběru jediné alternativy na základě více než jednoho rozhodovacího kritéria. Rozhodovací kritéria obvykle nebývají ve vzájemné shodě, alternativa nejlépe hodnocená v jednom z kritérií nebývá nejlépe hodnocená podle jiného kritéria. Např. při koupi osobního automobilu bývá cena přímo úměrná výkonu, tzn. s rostoucím kritériem výkon většinou poroste kritérium cena. Cílem vícekriteriálního rozhodování je řešit problém s protikladnými kritérii následně pomocí těchto kritérií zvolit jednu variantu, která bude podkladem pro konečné rozhodnutí (Jablonský, 2007).

Přístupy k úlohám vícekriteriálního rozhodování se liší podle toho, jakým způsobem je definována množina variant či přístupných řešení. Podle způsobu definice množiny variant lze rozlišit dvě skupiny těchto modelů. Je-li k dispozici seznam s výčtem konkrétních variant a jejich ohodnocení podle jednotlivých kritérií, mluvíme o úlohách vícekriteriálního hodnocení variant, které jsou popsány v následujících kapitolách (Jablonský, 2007).

Varianty mohou být vyjádřeny ale i množinou variant, kterou určuje soustava omezujících podmínek a ohodnocení jednotlivých variant je dáno jednotlivými kritériálními funkcemi, v tomto případě mluvíme o úlohách vícekriteriálního programování (Jablonský, 2007).

### 3.3 Vícekriteriální analýza variant

Úlohy vícekriteriální analýzy variant spočívá ve výběru jedné nebo více variant z množiny rozhodovacích variant  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ , které lze hodnotit podle kritérií  $Y_1, Y_2, \dots, Y_k$  (Jablonský, 2007).

Výběr varianty by měl být ze strany rozhodovatele maximálně objektivní, k tomu slouží různé postupy a metody analýzy variant. Při snaze o nejobektivnější rozhodnutí lze oddělit osobu zadavatele úlohy od osoby řešitele. Řešitel málokdy bývá zainteresován na

výsledku rozhodnutí, postupuje tedy maximálně objektivně. Nevýhodou však může být malá obeznámenost se všemi informacemi o zadaném problému, které pak při modelování úlohy nelze zachytit. Toto řešení sice může být objektivně „nejlepší“, ve skutečnosti by však byla vhodnější jiná varianta (Šubrt & kol., 2015).

V modelech vícekritériální analýzy variant je dána určitá množina  $m$  variant, které jsou hodnoceny podle  $n$  kritérií. Cílem těchto metod je najít variantu, která bude co nejlépe hodnocena podle všech kritérií, popřípadě seřadit varianty od nejlepší po nejhorší (Šubrt & kol., 2015).

### 3.3.1 Typy kritérií

Kritérium je hledisko, podle kterého jsou hodnoceny jednotlivé varianty. Správné stanovení kritérií je pro výsledek metod vícekritériálního hodnocení velmi důležité. Kritéria musí pokrýt celou množinu hledisek výběru a zároveň jich musí být takový počet, aby byl problém přehledný (Šubrt & kol., 2015).

Podle kvantifikovatelnosti lze kritéria rozdělit na kritéria kvantitativní, též nazývaná jako kritéria objektivní, jejichž hodnoty variant podle těchto kritérií tvoří objektivně měřitelné údaje a kritéria kvalitativní, u kterých naopak nelze hodnoty variant objektivně změřit. Jedná se především o hodnoty, které uživatel subjektivně odhadne, označují se také jako kritéria subjektivní (Šubrt & kol., 2015).

Kvantifikované hodnocení variant podle jednotlivých kritérií je možné uspořádat do kritériální matice  $Y$ , kde hodnocení  $i$ -té varianty podle  $j$ -tého kritéria označuje prvek  $y_{ij}$ .

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Počet sloupců v kritériální matici  $Y = (y_{ij})$  značíme  $n$ , v této matici sloupce odpovídají kritériím a řádky hodnoceným variantám, jejichž počet značíme  $m$ . Obsahuje-li matice číselná i slovní hodnocení variant, hovoříme spíše o kritériální tabulce. Kvalitativní hodnoty musíme v tomto případě kvantifikovat pomocí určitých metod, aby bylo možné problém vypočítat (Šubrt & kol., 2015).

Kritéria lze mimo jiné třídit podle povahy na kritéria maximalizační a minimalizační. Pro maximalizační kritérium je nejlepší varianta ta, která má nejvyšší hodnotu, příkladem

může být rychlost procesoru. Naopak u minimalizačního kritéria mají nejlepší varianty nejnižší hodnoty podle tohoto kritéria, např. cena (Jablonský, 2007).

### 3.3.2 Preference kritérií

Při aplikaci metod vícekritériální analýzy variant je velice důležitý vzájemný vztah mezi jednotlivými kritérii, např. zda je nějaké kritérium důležitější než druhé, tento vztah vyjadřuje preference kritéria. Správné stanovení preferencí patří mezi nejobtížnější úkony spojené s vícekritériálním hodnocením variant. Preference závisí na subjektivním názoru rozhodovatele, což může být do jisté míry nevýhoda, pokud však rozhodovatel správně stanoví kritéria a jejich preference, je výsledkem kvalitní rozhodnutí (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

Všechna jednotlivá kritéria jsou porovnávána s ostatními a jejich preference může být znázorněna různým způsobem.

Mohou být nastaveny aspirační úrovně kritérií, což jsou hodnoty stanovené na základě minimálních hodnot daného kritéria, kterých musí být dosaženo. Pro maximalizační kritérium je to nejnižší možná přípustná hodnota, pro minimalizační kritérium je to maximální možná hodnota. Aspirační úroveň vyjadřuje preference jednotlivých kritérií pomocí přísnějšího požadavku v případě důležitého kritéria, naopak čím je kritérium méně důležité, tím se snižuje náročnost požadavku (Šubrt & kol., 2015).

Další možností je vyjádření preference pomocí váhy kritérií. Jsou to hodnoty vyjadřující důležitost jednotlivých kritérií z intervalu od  $(0, 1)$ , čím se váha kritéria blíží k 1, tím je kritérium důležitější. Součet všech vah kritérií musí být roven 1.

Preference kritérií lze také vyjádřit způsobem kompenzace kritériálních hodnot. Tento způsob je vyjádřen mírou substituce mezi kritériálními hodnotami, tzn. zda je možné vynahradit špatné hodnocení u jedné varianty, lepším hodnocením u varianty druhé. U některých úloh nemusí být preference známy vůbec (Šubrt & kol., 2015).

### 3.3.3 Varianty v rozhodovacím procesu

Varianty v rozhodovacím procesu jsou konkrétní rozhodovací možnosti, které musejí být logické, pečlivě stanovené a bylo z nich možné vybrat vhodné řešení pomocí správně stanovených kritérií. (Šubrt & kol., 2015) definují varianty se specifickými vlastnostmi,



kteřé budou níže popisovány za předpokladu, že jsou posuzovány podle kritérií maximalizačního typu.

První variantou se speciálními vlastnostmi je dominující varianta  $a_i$ , která dominuje variantu  $a_j$  platí-li, že dominující varianta je hodnocena alespoň stejně dobře a minimálně podle jednoho kritéria hodnocena lépe než varianta dominovaná, tento vztah lze vyjádřit následovně  $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}) \geq (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$  existuje-li minimálně jedno kritérium  $f_1$ , kde  $y_{ik} > y_{jk}$ .

Jestliže není varianta dominovaná žádnou jinou variantou, označuje se jako nedominovaná varianta, též nazývána efektivní nebo paretoovská. Existuje-li jedno kritérium  $f_i$ , kde  $y_{i1} > y_{j1}$ , pak existuje i jiné kritérium  $f_k$ , kde  $y_{ik} > y_{jk}$ , můžeme varianty  $a_i$  a  $a_j$  pojmenovat jako vzájemně nedominované. U všech nedominovaných variant lze dosáhnout lepšího ohodnocení jen v případě zhoršení jiného kritéria. Jelikož cílem metod vícekritériální analýzy variant je výběr nejlepší varianty, lze vybírat pouze z množiny nedominovaných variant (Šubrt & kol., 2015).

Pro řešený problém je dobré znát prahové hodnoty, které nazýváme ideální a bazální varianta. Obě tyto hodnoty bývají pouze hypotetické a pomáhají řešiteli k lepší orientaci mezi jednotlivými variantami. Ideální varianta je potenciaálně nejlepší hodnota, dosahuje tedy ve všech kritériích nejlepší možné hodnoty a bazální varianta je naopak potenciaálně nejhorší možná varianta dosahující nejnižších hodnot podle jednotlivých kritérií. Pokud by ideální varianta existovala, byla by zároveň variantou optimální, dosahovalo by totiž optimálních hodnot dle všech kritérií (Šubrt & kol., 2015).

Posledním typem je varianta kompromisní, ta je doporučována jako řešení daného problému. Je vybírána z množiny nedominovaných variant pomocí konkrétních postupů. Existuje několik způsobů, jak vybrat kompromisní variantu z množiny všech efektivních variant (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

### 3.4 Typy úloh podle cíle řešení

Úlohy vícekritériální analýzy variant lze členit podle cíle řešení do tří základních oblastí.

První typem jsou úlohy spočívající ve výběru jedné či několika variant, které lze označit jako kompromisní. Cílem těchto úloh je na základě stanovených kritérií zvolit

nejlepší variantu z množiny možných řešení. Řešení označené jako kompromisní je do jisté míry relativní pojem. Tento typ cíle se používá například při výběru osobního automobilu nebo stolního počítače (Jablonský, 2007).

Druhým typem jsou úlohy, ve kterých je množina variant rozdělena na varianty efektivní a neefektivní.

V úlohách s cíli tohoto typu nezáleží na pořadí jednotlivých variant, hledí se pouze na to, zda-li je řešení efektivní či nikoliv. Tímto způsobem jsou například rozděleni studenti po výsledku přijímacího řízení, ve kterém je nastaven minimální počet bodů, který musí studenti dosáhnout, aby byli přijati ke studiu, pokud nedosáhli na minimální počet bodů, patří do skupiny nepřijati. Důležitým faktorem je přístup, který si rozhodovatel vybere k hodnocení jednotlivých variant. (Šubrt & kol., 2015) uvádí 2 základní druhy těchto postupů. Jedním z nich je využití aspirační úrovně, která pomocí určených hodnot jednoduše rozdělí množinu variant na efektivní, či neefektivní. Rozhodovatel však musí určit, jestli musí být všechny hodnoty variant podle všech kritérií lepší nebo je možná kompenzace pomocí jiného kritéria s vynikajícími hodnotami. Druhou možností pro rozhodovatele je přidat jednu nebo více fiktivních variant s kritériálními hodnotami odpovídajícími hraničním hodnotám. Při použití více fiktivních hodnot je možné získat více dílů množiny variant, například podprůměrné a nadprůměrné varianty.

Třetím a zároveň posledním typem jsou úlohy, jejichž cílem je úplné uspořádání, tzv. kvaziuspořádání, množiny variant.

Všechny posuzované varianty jsou seřazeny od nejlepší po nejhorší variantu, postupem se částečně podobá první popisované skupině. Nejdříve je možné zvolit nejlepší variantu a tu následně vyloučit z množiny řešení a ve zbylé množině hledat znovu nejlepší variantu, které přiřadíme další místo. Opakováním tohoto postupu, lze dosáhnout úplného uspořádání variant. Jako příklad úlohy s tímto typem cíle, lze uvést určení pořadí závodníků v běhu na 100 metrů (Šubrt & kol., 2015).

### **3.5 Typy úloh podle zpracovávané informace**

Úlohy vícekritériální analýzy variant lze klasifikovat i podle typu informace o preferencích mezi variantami a kritérii, které má řešitel k dispozici. U kritérii bývá

preferenze vyjádřená pomocí vah kritérií a preference variant v podobě hodnot porovnávaných jednotlivými kritérii.

Prvním typem je tzv. žádná informace, informace o preferencích v tomto případě vůbec neexistuje. Tato situace je nepřipustná v případě, že řešitel nemá informace o preferencích mezi jednotlivými variantami, tudíž není možné rozhodnout, která z variant je horší nebo lepší. V případě žádné informace o preferenci mezi kritérii, mají všechna kritéria stejnou váhu (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

Dalším typem je informace nominální. Ta je vyjádřena v podobě aspiračních úrovní, které v úloze stanovují nejhorší možné hodnoty, pro které může být varianta akceptována. Rozděluje je tedy množinu řešení na akceptovatelné a neakceptovatelné řešení. Stejně jako předchozí typ informace je nominální informace přípustná pouze pro kritéria (Šubrt & kol., 2015).

Informace vyjadřující uspořádání jednotlivých kritérií podle důležitosti nebo pořadí variant, které je určeno pomocí hodnocení daným kritériem, nazýváme ordinální informace.

Posledním typem je kardinální informace, která má kvalitativní i kvantitativní charakter. Pomocí kardinální informace je možné vyjádřit jak moc nebo o kolik je jedno hodnocení důležitější než druhé, tedy v případě preference kritérií se jedná o váhy, v případě ohodnocení variant podle kritéria o konkrétní nejčastěji číselné vyjádření tohoto hodnocení, které vlastně nezáleží na množině porovnávaných variant (Šubrt & kol., 2015).

### **3.6 Metody pro stanovení vah kritérií**

Výchozím krokem analýzy modelu vícekritériální analýzy variant bývá stanovení vah kritérií, jedná se o metody používané pro zjednodušení numerického vyjádření důležitosti jednotlivých kritérií. Tyto metody mohou být použity i pro slovní vyjádření hodnocení variant.

Podle (Šubrt & kol., 2015) rozdělujeme metody stanovení vah kritérií podle typů informací, kterou požadují tyto metody na vstupu. Jednotlivé postupy je možné i kombinovat, resp. používat vedle sebe.

### 3.6.1 Stanovení vah kritérií bez informace o preferencích kritérií

Řešitel v tomto případě nerozhoduje o tom, které kritérium je důležitější pro posouzení stanovených variant. I přesto existuje kritériální matice hodnocená pomocí kardinálních hodnot. V tomto případě je možné stanovit všem kritériím stejnou váhu podle vztahu:

$$v_j = \frac{1}{n}, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

kde  $n$  značí počet stanovených kritérií. Nechce-li však řešitel stanovit všem kritériím stejnou váhu, je možné přiřadit kritériím váhy pomocí entropické metody (Šubrt & kol., 2015).

#### Entropická metoda

Řešitel rozhoduje o důležitosti jednotlivých kritérií na základě kritériální matice  $Y = (y_{ij})$  pro množinu variant, která obsahuje určité množství informací. Pokud jsou hodnoty variant podle určitého kritéria podobné, není kritérium pro řešitele příliš důležité. Jsou-li hodnoty dokonce všechny stejné, je možné danému kritériu přidělit váhu 0. Ostatním kritériím se pomocí této metody přidělují váhy na základě velikosti rozdílu mezi hodnotami daného kritéria, čím rozdílnější jsou tyto hodnoty, tím větší váha může být přisouzena danému kritériu. Pojem entropie v teorii informace představuje míru očekávaného informačního obsahu zprávy vyjádřenou s pravděpodobnostmi  $p_j, j = 1, \dots, n$  (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

$$S(p_1, p_2, \dots, p_n) = -k \sum_{j=1}^n p_j \ln p_j \quad (3)$$

kde neznámá  $k$  vyjadřuje kladnou konstantu. Maximální hodnoty  $S(p_1, p_2, \dots, p_n)$  nabývají v případě, že se všechny pravděpodobnosti rovnají, tudíž  $p_j = 1/n$ . Rozdíly velikostí jednotlivých hodnot určují důležitost kritérií. Hodnoty  $y_{ij}$  je nutné transformovat na pravděpodobnosti diskrétní veličiny vztahem:

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{n=1}^m y_{ij}}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Výslednou entropii  $E_j$  množiny očekávaných výstupů vypočteme pomocí vztahu, ve kterém konstanta  $k$  obstarává, aby se hodnota  $E_j$  nacházela v intervalu od 0 do 1:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \forall j, \text{ kde } k = \frac{1}{\ln m} \quad (5)$$

K výpočtu vektoru vah je nutné dopočítat stupeň diversifikace  $d_j$  vztahem:

$$d_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Normalizací vektoru  $d$ , vypočítáme konečný vektor vah pomocí vztahu:

$$v_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Nevýhodou této metody je použitelnost pro kritériální matici, která obsahuje pouze kladné hodnoty.

### 3.6.2 Stanovení vah kritérií z ordinální informace o preferencích kritérií

Tyto metody pracují s ordinální informací o kritériích, řešitel vyjadřuje důležitost přiřazením pořadových čísel jednotlivým kritériím nebo porovnáním všech dvojic kritérií, rozhodovatel určuje, které kritérium je pro něj důležitější. V obou případech je možné označit dvě nebo více kritérií jako rovnocenné (Šubrt & kol., 2015).

#### Metoda pořadí

Metoda pořadí se používá nejčastěji v případech, kdy důležitost jednotlivých kritérií hodnotí několik rozhodovatelů. Každý rozhodovatel uspořádá jednotlivá kritérií od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Nejdůležitějšímu kritériu bude přidělena hodnota  $n$  ( $n$  je počet kritérií), druhému kritériu číslo  $n-1$  a tak dále až nejméně důležitému kritériu číslo jedna. V situaci stejné důležitosti dvou nebo více kritérií, je přiřazena těmto kritériím průměrná pořadová čísla. Výsledná váha každého kritéria je získána součtem pořadových čísel, která získalo od všech rozhodovatelů, a vydělíme ho celkovým součtem pořadových čísel, které rozhodovatelé rozdělili mezi všechna kritéria. Součet vypočítaných vah je roven 1 (Jablonský, 2007).

Označíme-li hodnotu přiřazenou  $j$ -tému kritériu symbolem  $b_j$  (jediná hodnota nebo součet hodnot při hodnocení více rozhodovateli), potom lze vypočítat váhu na základě vztahu:

$$v_i = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (8)$$

### Metoda Fullerova trojúhelníku

Metodu Fullerova trojúhelníku je možné využít v případě, že ordinální informace vyjadřuje pouze vzájemný vztah mezi každou dvojicí hodnocených kritérií. Jedná se tedy o metodu párového porovnání, kde rozhodovatel vzájemně porovnává všechny dvojice jednotlivých kritérií pomocí trojúhelníkového schématu, ve kterém se každá dvojice kritérií vyskytuje pouze jednou. V tomto schématu rozhodovatel zakroužkuje kritérium, které je pro něj důležitější. Pokud jsou pro rozhodovatele obě kritéria stejně důležitá, zakroužkuje obě dvě (Jablonský, 2007).

Označíme-li počet zakroužkování  $j$ -tého prvku  $n_j$  a počet srovnání (zakroužkování)  $N$ , potom lze váhu tohoto kritéria vypočítat podle vzorce:

$$v_j = \frac{n_j}{N}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

Ukázka Fullerova trojúhelníku pro 5 kritérií v následující tabulce. (preferance kritérií je znázorněna

*Tabulka 1 – Výpočet metodou Fullerova trojúhelníku*

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

*Zdroj: Vlastní zpracování*

Z uvedené tabulky vyplývá, že  $n_1 = 3$ ,  $n_2 = 1$ ,  $n_3 = 4$ ,  $n_4 = 2$ ,  $n_5 = 2$ ,  $N = 12$ .  
Výsledné váhy kritérií jsou  $v_1 = 3/12$ ,  $v_2 = 1/12$ ,  $v_3 = 4/12$ ,  $v_4 = 2/12$ ,  $v_5 = 2/12$

### 3.6.3 Stanovení vah z kardinální informace o preferencích

Metody stanovení vah kritérií na základě kardinální informace umožňuje uživateli určit nejen pořadí důležitosti kritérií, ale také poměr důležitosti mezi všemi dvojicemi kritérií. Mezi nepoužívanější metody využívající kardinální informace patří bodovací metoda a Saatyho metoda (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

#### Bodovací metoda

Bodovací metoda patří mezi nejjednodušší metody využívající kardinální informace. Metoda spočívá v tom, že je každému kritériu přiřazen určitý počet bodů z bodovací stupnice, kterou si rozhodovatel může zvolit, je možné bodovat i pomocí desetinných čísel. Běžně se používá bodovací stupnice 0 – 10, kdy důležitost kritéria roste s počtem bodů, přiřadí-li rozhodovatel kritériu 0 bodů, je pro rozhodovatele zcela bezvýznamné, naproti tomu dostane-li kritérium 10 bodů, považuje kritérium za absolutně důležité. Výhodou bodovací metody je stejně jako u metody pořadí, možnost bodování více rozhodovateli. Výsledné váhy z bodového hodnocení získáme stejně jako u metody pořadí podle vzorce:

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Kde  $b_j$  značí součet všech přiřazených bodů  $j$ -tému kritériu od jednotlivých rozhodovatelů,  $n$  je počet všech kritérií (Jablonský, 2007).

#### Saatyho metoda

Saatyho metoda patří mezi nepoužívanější metody stanovení vah kritérií, která se na rozdíl od bodovací metody a metody pořadí využívá v případě, že kritéria hodnotí pouze jeden rozhodovatel. Výhoda Saatyho metody spočívá v umožnění vyjádřit své preference verbálním způsobem namísto numerické stupnice. Jedná se o metodu kvantitativního párového porovnání kritérií, využívající tuto devítibodovou stupnici:

1 – rovnocenná kritéria  $i$  a  $j$

- 3 – slabě preferované kritérium
- 5 – silně preferované kritérium  $i$  před  $j$
- 7 – velmi silně preferované kritérium  $i$  před  $j$
- 9 – absolutně preferované kritérium  $i$  před  $j$

K zápisu a následnému výpočtu vah se používá Saatyho matice  $S = (s_{ij})$ , do které rozhodovatel zapisuje párová porovnání každé dvojice kritérií.

$$s = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1n} & 1/s_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Saatyho matice je čtvercová matice řádu  $n \times n$ , je reciproční, tj. platí, že  $s_{ij} = 1/s_{ji}$ , tj. prvky jsou symetrické podle hlavní diagonály. Jelikož je každé kritérium samo sobě rovnocenné, nachází se na diagonále Saatyho matice vždy hodnoty 1 (Fotr, Dědina, & Hružová, 2003).

Výsledné hodnoty  $b_i$  lze dopočítat postupem normalizovaného geometrického průměru řádků Saatyho matice:

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}} \quad (12)$$

Výsledné váhy kritérií se vypočtou normalizací hodnot  $b_i$ :

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (13)$$

### 3.7 Metody pro výběr kompromisní varianty

Metody pro výběr kompromisní varianty jsou založeny na různých principech. (Šubrt & kol., 2015) dělí tyto metody 5 kategorií, které budou popsány v následujících kapitolách. Mezi nejpoužívanější metody patří metoda AHP, metoda váženého součtu, metoda TOPSIS a další.



### 3.7.1 Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií

U těchto metod řešitel nevyžaduje informace o důležitosti jednotlivých kritérií. Všechna kritéria jsou pro řešitele stejně důležitá.

#### Bodovací metoda

Bodovací metoda patří mezi jednodušší metody výběru kompromisní varianty, u které je model zadán pouze pomocí preferencí variant podle jednotlivých kritérií a není zde vyžadován výpočet vah kritérií. Metoda je založena na obodování jednotlivých variant pomocí určené bodovací stupnice, např. 1 až 10, kde 10 bodů odpovídá nejlepšímu ohodnocení. Každému  $i$ -té variantě je podle  $j$ -tého kritéria udělen určitý počet bodů  $b_{ij}$ . Celkové hodnocení varianty zjistíme součtem dílčích hodnot:

$$b_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} \quad (14)$$

Variantu s největším počtem bodů, můžeme označit jako kompromisní variantu. Pokud jsou určeny i váhy kritérií, je možné vypočítat  $b_i$  jako vážené součty (Jablonský, 2007).

#### Metoda pořadí

Metoda pořadí podobně jako bodovací metoda nevyžaduje znalost vah kritérií. Jednotlivým variantám jsou přiřazeny hodnoty podle pořadí od nejlepšího po nejhorší, kdy nejlepší variantě je přiřazena hodnota 1 a nejhorší variantě hodnota  $n$ , kde  $n$  je počet variant. Konečné pořadí zjistíme dílčích hodnot  $b_{ij}$  podle vzorce (14). Kompromisní variantou je varianta, která dosahuje minimálních hodnot  $b_i$  (Šubrt & kol., 2015).

### 3.7.2 Metody vyžadující aspirační úrovně kritérií

Tyto metody využívají nominální informace o preferencích kritérií, nesnaží se tedy přeměnit informace od uživatele do podoby váhového vektoru. Principem těchto metod je porovnávání všech kriteriálních hodnot s nastavenými aspiračními úrovněmi, které rozdělují varianty na „dobré“ neboli akceptovatelné, to jsou varianty s lepšími kriteriálními hodnotami a na straně druhé varianty „špatné“ neboli neakceptovatelné, které mají kriteriální hodnoty

nižší, než je nastavená mez. Postupným zpřísňováním aspirační úrovně je možné získat pouze jednu variantu, kterou lze označit jako kompromisní. (Šubrt & kol., 2015) dělí metody využívající aspirační úroveň na konjunktivní a disjunktivní metodu. Zatímco u konjunktivní metody musí varianta vyhovovat ve všech kritériích nastavené aspirační úrovně, u metod disjunktivních postačuje, pokud varianta splňuje alespoň jeden požadavek aspirační úrovně.

Při nastavování aspirační úrovně je nutné nastavit požadavky tak, aby nebyly buď moc vysoké, což by vedlo k prázdně množině akceptovatelných řešení, anebo nebyly požadavky aspirační úrovně nastavené příliš volně, pak bude množina akceptovatelných řešení příliš široká (Šubrt & kol., 2015).

### **Metoda PRIAM**

Princip metody PRIAM spočívá v heuristickém prohledávání množiny kritérií pomocí aspirační úrovně tak, aby výsledkem byla pouze jedna kompromisní varianta. Postupným zpřísňováním aspirační úrovně se zmenšuje množina akceptovatelných řešení až zůstane jen varianta kompromisní, čehož dosáhneme procedurou backtracking (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

Počet akceptovatelných variant označíme  $d$ . Rozhodovatel následně stanoví aspirační úroveň kritérií  $z^{(s)} = (z_1^{(s)}, z_2^{(s)}, \dots, z_n^{(s)})$ . V závislosti na počtu akceptovatelných variant, které je označeno písmenem  $d$ , nastávají tři případy:

$d > 1$  , musí rozhodovatel zmenšit množinu akceptovatelných řešení zpřísněním aspirační úrovně

$d = 0$  , množina akceptovatelných řešení je prázdná, rozhodovatel musí snížit požadavky aspirační úrovně

$d = 1$  , v množině zůstává pouze jedna akceptovatelná varianta, může být označena jako kompromisní varianta

### **Metoda bazické varianty**

Variantu, která dosahuje nejlepších nebo předem stanovených hodnot ve všech kritériích, označujeme jako bazickou variantu (Fotr, Dědina, & Hrušková, 2003). Samotná metoda spočívá ve vytvoření užitkové funkce, ve které je porovnávána každá varianta

s bazickou variantou. Hodnotu  $j$ -tého kritéria v bazické variantě označíme  $y_j^B$ , pro maximalizační kritéria následně platí vztah:

$$u_{ij} = \frac{y_{ij}}{y_j^B} \quad (15)$$

a u kritérií minimalizačního typu je dílčí užitek dán vztahem:

$$u_{ij} = \frac{y_j^B}{y_{ij}} \quad (16)$$

Výsledné ohodnocení každé varianty je získáno pomocí váženého součtu všech dílčích hodnot, platí tedy vztah:

$$u_i = \sum_{j=1}^k v_j u_{ij} \quad (17)$$

Za kompromisní variantu je zvolena varianta s maximální hodnotou vypočteného agregovaného užitku.

### 3.7.3 Metody využívající ordinální informace

Jedná se o jednoduché metody hledání kompromisní varianty, využívající ordinální informace o kritériích. Výsledek těchto metod je spíše orientační, proto je pro hledání kompromisní metody lepší zvolit komplexnější metodu.

#### Lexikografická metoda

Lexikografická metoda využívá kritéria, která jsou seřazena od nejdůležitějšího po nejméně důležitá kritéria. Vychází následně z principu, že nejdůležitější kritérium má největší vliv na výběr kompromisní varianty. K druhému nejdůležitějšímu kritériu přihlížíme až za předpokladu, že varianty u nejdůležitějšího kritéria jsou hodnoceny stejně. Jestliže ani pomocí druhého kritéria nenalezneme pouze jednu variantu přichází na řadu v pořadí další kritérium atd. Kompromisní varianty jsou pak všechny, které jsou hodnoceny stejně i po použití posledního kritéria (Šubrt & kol., 2015).

#### Metoda ORESTE

Mezi další metody vyžadující na vstupu pouze ordinální informaci. (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014) uvádí metodu ORESTE, která pracuje s úplným kvaziuspořádáním kritérií i

variant podle jednotlivých kritérií. Tato metoda se skládá ze dvou částí. Nejdříve je určena vzdálenost každé varianty podle každého kritéria od fiktivního počátku. Pořadová čísla fiktivního kritéria a fiktivní varianty jsou 0. Následně jsou tyto kritéria seřazeny podle určitých pravidel. V další části je provedena preferenční analýza, kdy lze pro každou dvojici variant provést test jejich preference  $P$ , nesrovnalostí  $N$  nebo indiference  $I$ . Výsledky preferenční analýzy lze zanást do matice, ve které řádky i sloupce označují varianty, kritériální hodnoty matice pak značí vzájemný vztah pro každou dvojici konkrétních variant.

### 3.7.4 Metody využívající kardinální informace

Informace o variantách jsou v této metodě v podobě kritériální matice s kardinálními hodnotami a informace o kritériích v podobě vah. (Šubrt & kol., 2015) uvádí 3 základní přístupy k hodnocení variant, a to podle maximalizace užitku, preferenční relace, minimalizace vzdálenosti od ideální varianty.

#### Metoda váženého součtu

Metoda váženého součtu jinak označována také jako metoda WSA, spočívá v konstrukci lineární funkce užitku, za pomoci stupnice, ve které 1 značí nejlepší variantu podle daného kritéria, 0 značí nejhorší variantu a užitek zbývajících variant se bude pohybovat mezi těmito krajními hodnotami (Jablonský, 2007).

Hodnoty vstupní kritériální matice  $y_{ij}$  je potřeba nahradit hodnotami  $y_{ij}'$  představující mezní užitek  $X_i$  při hodnocení podle kritéria  $Y_j$ . Pro maximalizační kritérium lze získat hodnoty  $y_{ij}'$  vztahem:

$$y_{ij}' = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \quad (18)$$

Kde  $y_{ij}$  je hodnota vstupní kritériální matice,  $D_j$  označuje nejhorší a  $H_j$  nejlepší kritériální hodnotu kritéria  $Y_j$ . Z následujícího vztahu vyplývá, že užitek  $y_{ij}'$  pro nejlepší kritériální hodnotu  $y_{ij} = H_j$  bude mít hodnotu 1 a pro nejhorší kritériální hodnotu  $y_{ij} = D_j$  bude roven nule. Jedná-li se o minimalizační kritéria musíme předešlý vztah upravit následovně:

$$y_{ij}' = \frac{H_j - y_{ij}}{H_j - D_j} \quad (19)$$

Celkový užitek varianty je následně vyjádřen pomocí váženého součtu dílčích hodnot funkcí užitku:

$$u(X_i) = \sum_{j=1}^k v_j y'_{ij} \quad (20)$$

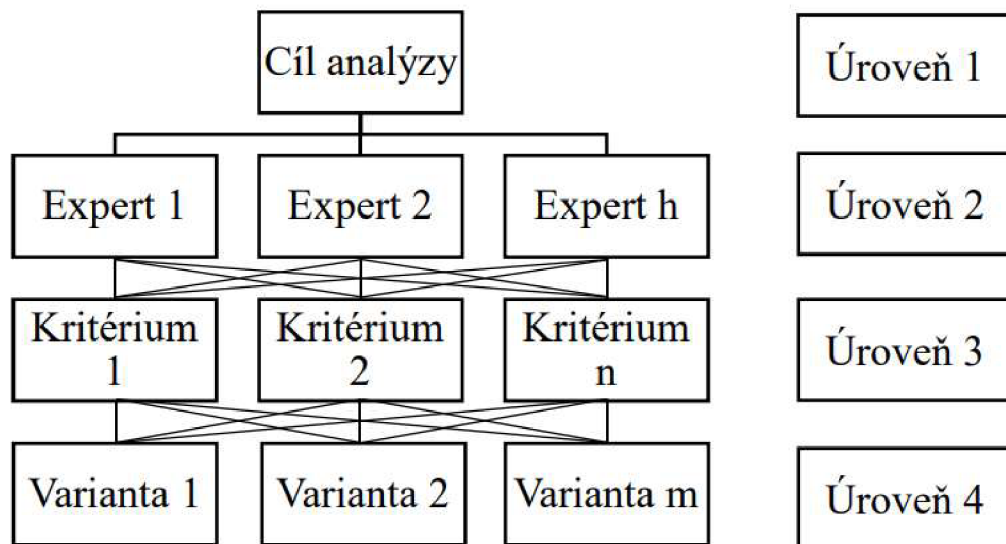
Na závěr je potřeba seřadit sestupně varianty, podle vypočtených hodnot užitků. Kompromisní variantou se stává varianta s nejvyšší hodnotou užitku.

### **Metoda AHP**

Metoda AHP, celým názvem Analytický hierarchický proces, spočívá na principu párového porovnání prvků na jednotlivých úrovních hierarchické struktury. Typická úloha vícekritériální analýzy variant obsahuje následující tři úrovně. První úroveň obsahuje cíl vyhodnocování, čímž může být uspořádání variant a výběr nejlepší varianty. Na cíli vyhodnocování přímo závisí kritéria vyhodnocování, která jsou na druhé úrovni. Na poslední úrovni hierarchie jsou posuzované varianty (Jablonský, 2007).

Mezi hlavní cíle metody AHP patří zjednodušit a zrychlit proces rozhodování, kdy se snaží složité nestrukturované situace rozložit na jednodušší komponenty, čímž vytváří hierarchický systém problému. Pomocí Saatyho metody kvantitativního párového porovnání je každé úrovni hierarchické struktury, přiřazena důležitost jednotlivých komponent. Následnou syntézou získaných preferencí je získána komponenta s nejvyšší prioritou, která slouží rozhodovateli k získání řešení rozhodovacího procesu (Jablonský, 2007).

Graf 1: Analytický hierarchický proces



(Zdroj: Šubrt, 2015, s.174)

## Metoda TOPSIS

Výběr kompromisní varianty pomocí metody TOPSIS spočívá v nalezení varianty, která je nejbližší ideální variantě a zároveň nejdále od bazální varianty (Jablonský, 2007).

Postup metody TOPSIS spočívá ve výpočtu následujících kroků:

Zkonstruuje se normalizovaná kritériální matice  $R = (r_{ij})$  tím, že se transformují původní hodnoty kritériální matice  $y_{ij}$  na hodnoty  $r_{ij}$  podle vztahu:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{(\sum_{j=1}^n y_{ij}^2)^{1/2}} \quad (21)$$

Vypočte se normalizovaná vážená kritériální matice  $W = (w_{ij})$  součinem transformovaných hodnot a vah jednotlivých kritérií jako  $w_{ij} = v_j r_{ij}$ , kde  $v_j$  je váha  $j$ -tého kritéria.

Určí se ideální variantu  $H$  s ohodnocením  $(h_1, h_2, \dots, h_n)$  a bazální varianta  $D$  s kritériálními hodnotami  $(d_1, d_2, \dots, d_n)$  z prvků matice  $W$ .

Vypočtou se vzdálenosti od ideální a bazální varianty podle vztahů:

$$d_i^+ = \left[ \sum_{j=1}^k (w_{ij} - h_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

$$d_i^- = \left[ \sum_{j=1}^k (w_{ij} - d_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

Vypočítají se relativní ukazatele vzdálenosti jednotlivých variant od bazální varianty podle vzorce:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (24)$$

Výsledné hodnoty ukazatelů  $c_i$  se pohybují v intervalu  $\langle 0, 1 \rangle$ . Bazální varianta nabývá hodnoty 0 a ideální varianta hodnotu 1. Podle hodnoty  $c_i$  seřadíme sestupně hodnocené varianty. Řešením problému se stává hodnota s nejvyšší hodnotou  $c_i$  (Jablonský, 2007).

### Metoda ELECTRE I.

Princip metody ELECTRE I. spočívá v rozdělení množiny všech variant na efektivní a neefektivní varianty. Tuto metodu lze využít, zná-li řešitel kritériální matici  $Y$ , vektor normalizovaných vah a stanoví-li dvě prahové hodnoty, tedy prahovou hodnotu preference a dispreference. Každá dvojice variant je rozdělena na dvě množiny, buď na množinu  $C_{ij}$  obsahující indexy kritérií, ve kterých je varianta  $a_i$  hodnocena alespoň tak dobře jako varianta  $a_j$ , pro kterou platí vztah:  $C_{ij} = \{h | y_{ih} > y_{jh}, h = 1, 2, \dots, n\}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, m$ ,

nebo na množinu  $D_{ij}$  obsahující indexy kritérií, z jejichž hlediska je varianta  $a_i$  hůře hodnocená než varianta  $a_j$ :  $D_{ij} = \{h | y_{ih} < y_{jh}, h = 1, 2, \dots, n\}$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, m$

Pomocí normalizovaného vektoru vah je stanoven stupeň preference a dispreference.

Pro stanovení stupně preference  $c_{ij}$ , je nutné sečíst váhy kritérií z množiny  $C_{ij}$ . Pokud je množina  $C_{ij}$  prázdná, hodnota preference je rovna 0. Hodnota  $c_{ij}$ , pro kterou platí  $c_{ij} \in \langle 0, 1 \rangle$ , vyjadřuje stupeň preference varianty  $a_i$  před variantou  $a_j$ . Stupeň dispreference  $d_{ij}$  lze stanovit pomocí vztahu:

$$d_{ij} = \frac{\max_{h \in D_{ij}} (z_{ih} - z_{jh})}{\max_h (z_{ih} - z_{jh})}, i, j = 1, \dots, m \quad (25)$$

Pro hodnoty  $d_{ij}$  platí  $d_{ij} \in \langle 0, 1 \rangle$ , pokud je však množina  $D_{ij}$  prázdná, hodnota  $d_{ij}$  je rovna nule.

Rozhodovatel následně musí stanovit práh preference  $c^*$  a práh dispreference  $d^*$ , pro které platí, že varianta  $a_i$  je preferována před variantou  $a_j$ , pokud  $c_{ij} \geq c^*$  a  $d_{ij} \leq d^*$ . Pomocí prahových hodnot je možné vyplnit matici  $P = (p_{ij})$ , kde  $p_{ij}$  nabývá hodnot 1, jestliže  $a_i$  preferuje  $a_j$ , všechny ostatní mají hodnotu 0. Stanovení prahových hodnot není jednoduché, v některých situacích je doporučováno vycházet z průměrných hodnot prvků v matici  $C$  a  $D$ . Je-li množina efektivních řešení příliš široká, lze prahové hodnoty postupně upravovat a tím získat kompromisní variantu (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).

Pomocí matice  $P = (p_{ij})$  lze rozdělit množinu na efektivní a neefektivní varianty. Variantu je možné označit jako efektivní, pokud není preferována žádnou jinou variantou a zároveň je preferována alespoň před jednou variantou.

### **Metoda PROMETHEE**

Metoda PROMETHEE spočívá v postupném párovém porovnání variant podle všech kritérií, jehož výsledkem je vyjádření intenzity preference mezi každými dvěma kritérii, hodnocené pomocí všech kritérií. Nejdříve je nutné určit koeficienty  $P_i(a_r, a_s)$ , které nabývají hodnot z intervalu  $\langle 0,1 \rangle$  a znázorňují preferenci mezi dvěma variantami  $a_r$  a  $a_s$ , podle kritéria  $j$ . Intenzita preference záleží na rozdílu zadaných kritériálních hodnot  $d_j = y_{rj} - y_{sj}$ . Intenzita u maximalizačního kritéria je přímo úměrná velikosti difference. Vyjádřit intenzitu preferencí při hodnocení dvou variant na základě všech kritérií, lze v podobě preferenční funkce  $Q = (d_j)$ , ve které určíme hodnoty intenzit preference podle dvou vztahů. První vztah  $P_j(a_r, a_s) = Q(d_j)$  se používá, když je intenzita preferencí  $d_j$  nezáporná. Zatímco vztah  $P_j(a_s, a_r) = Q(d_j)$ , pokud je  $d_j$  nekladné. Uživatel metody PROMETHEE má na výběr ze 6 typů preferenčních funkcí (Brožová, Houška, & Šubrt, 2014).



## **4 Vlastní práce**

V této části bakalářské práce budou prakticky aplikovány teoretické poznatky, získané v teoretické části, při výběru nabídky na nákup notebooků pro základní školu Vítězslava Háalka v Odoleně Vodě. Ve spolupráci s pověřeným pracovníkem školy jsou stanovena kritéria výběru a popsány přijaté nabídky.

### **4.1 Popis výběrového řízení**

V roce v 2021 proběhlo na Základní škole Vítězslava Háalka v Odoleně Vodě výběrové řízení na nákup 2 notebooků do kanceláře vedení školy, pro dvě zástupkyně ředitele školy.

Stanovením požadavků a následný výběr varianty byl pověřen zaměstnanec školy, který má na starosti IT vybavení.

Notebooky by měly sloužit k pracovním účelům, hlavně na práci s programy Bakaláři a dalšími programy související s výkonem práce obou zástupkyň.

Mezi minimální požadavky notebooků, které stanovil rozhodovatel při vypsání výběrového řízení, patřila velikost RAM paměti, která by měla dosahovat velikosti alespoň 8 GB, dále byl požadován alespoň 4 jádrový procesor, minimální velikost pevného disku 256 GB, notebooky muselo být možné nabíjet pomocí kabelu USB-C, paměťová karta musela být dedikovaná a pevný disk musel být typu SSD. Nejnižší cena celkové nabídky byla stanovena na 45000 Kč s DPH. Po stanovení těchto minimálních požadavků se do výběrového řízení přihlásilo 9 soutěžících s 9 různými typy notebooků, které splňovaly minimální požadavky.

Rozhodovatelem byla vybrána nabídka obsahující notebooky HP ZBook Firefly 14 G8, která podle něj nejlépe vyhovovala zadaným požadavkům.

### **4.2 Varianty výběru**

Do výběrového řízení se přihlásilo 9 soutěžících s různými typy notebooků, které splňovaly minimální požadavky, stanovené při zadání výběrového řízení.

#### **Nabídka 1 (N1)**

Prvním soutěžícím nabízel notebooky Dell Vostro 5502 s prodlouženou zárukou na 36 měsíců, cena této nabídky je 55980 Kč s DPH.

Notebook Dell Vostro 5502 obsahuje 4jádrový procesor Intel Core i7 1165G7 Tiger Lake, který pracuje s nízkou spotřebou energie, baterie při běžném používání vydrží až 6,5 hodiny, pevný disk o velikosti 512 GB, 8 GB vysokou operační paměť, Full HD displej o velikosti 15,6 palců s trojstranným úzkým rámečkem nabízející vysoký jas a živé barvy, který podporuje dedikovaná grafická karta NVIDIA GeForce MX330.

### **Nabídka 2 (N2)**

Druhá nabídka obsahuje notebooky HP ENVY 17, soutěžícím byla nabídnuta cena 65980 Kč s DPH a záruka prodloužená záruka 36 měsíců.

Notebook HP ENVY 17 s 17,3 palců velikým HD IPS displejem a rychlým SSD diskem pro systém a data s kapacitou 1000 GB je vybaven procesorem Intel Core i5 1135G7 Tiger Lake, doplněný 16 GB operační paměti DDR4. Při normálním používání je výrobcem uváděná maximální kapacita baterie 8 hodin. Grafické vlastnosti notebooku podporuje grafický čip NVIDIA GeForce MX450.

### **Nabídka 3 (N3)**

Třetím soutěžícím byly nabízeny notebooky Lenovo ThinkBook 15 s běžnou zárukou 24 měsíců a cenou 50580 Kč s DPH.

Lenovo ThinkBook 15 je firemní notebook s výdrží baterie 6 hodin. Je osazen 4jádrovým procesorem Intel Core i7 1165G7 Tiger Lake a operační paměti DDR4 s velikostí 16 GB. Full HD displej o velikosti 15,6 palců s tenkými rámečky a 89 % poměrem obrazovky k tělu je podporován grafickým čipem NVIDIA GeForce MX450. K ukládání dat slouží SSD disk s kapacitou 512 GB.

### **Nabídka (N4)**

Ve čtvrté nabídce se objevuje notebook HP ZBook Firefly G8, u kterého soutěžící nabízí 36 měsíců záruky, cena byla stanovena na 50740 Kč s DPH.

O výpočetní výkon se stará procesor Intel Core i5 1135G7 Tiger Lake, podporován 16 GB DDR4 operační paměti. IPS displej o velikosti 14 palců s širokými pozorovacími úhly má svítivost 400 nitů a antireflexní úpravu. Displej je podporován grafickou kartou NVIDIA

Quadro T500 s vlastní 4 GB pamětí. Baterie při běžném používání vydrží až 9,45 hodiny. O práci s daty se stará SSD disk s kapacitou 512 GB.

#### **Nabídka 5 (N5)**

Cena páté nabídky činí 47980 Kč s DPH, která obsahuje notebooky Dell Vostro 5510 se zárukou 36 měsíců.

Notebook Dell Vostro 5510 je poháněn procesorem Intel Core i5 11300H Tiger Lake a je podporován 8 GB DDR4 operační pamětí. Pevný disk SSD disk s rozhraním datového přenosu M.2 má kapacitu 256 GB. Patnáctipalcový antireflexní displej s Full HD rozlišením je řízen grafickou kartou NVIDIA GeForce MX450 s 2 GB pamětí. Baterie s kapacitou 54 Wh uživateli umožňuje používat bez napájení až 6,5 hodiny.

#### **Nabídka 6 (N6)**

V této nabídce byla dána záruka 24 měsíců a cena 53748 Kč s DPH. Jejím obsahem byly notebooky Dell Inspiron 15.

Dell Inspiron 15 nabízí SSD pevný disk s rozhraním přenosu dat M.2 s kapacitou 1000 GB. O výpočetní výkon se zaslouhuje procesor Intel Core i7 1165G7 Tiger Lake podporující operační pamětí 12 GB. Grafická karta NVIDIA GeForce MX330 s pamětí 2 GB podporuje Full HD WVA 15,6palcový displej. Výrobce uvádí kapacitu baterie až 6 hodin.

#### **Nabídka 7 (N7)**

V další nabídce obsahuje notebooky Lenovo ThinkPad E15 se zárukou 24 měsíců, cena je stanovena na 51980 Kč s DPH

ThinkPad E15 je vybaven procesorem Intel Core i7 1165G7 11. generace, který spolu se 16 GB RAM pamětí poskytuje takt až 4,7 GHz. S kapacitou 45 Wh vydrží až 10,8 hodin, zásluhou podpory rychlého nabíjení se po hodině nabíjení dobije na 80 %. Typem úložiště je SSD disk s kapacitou 512 GB. Full HD 15,6palcový displej je řízen dedikovanou grafickou kartou NVIDIA GeForce MX 450.

### **Nabídka 8 (N8)**

Osmá nabídka obsahuje notebooky Acer TravelMate P2, kde je dána cena 45980 Kč s DPH a záruka 24 měsíců.

Acer TravelMate P2 je řízen procesorem Intel Core i7 10510U Comet Lake a je podporován 8 GB operační pamětí. SSD disk s rozhraním M.2 má kapacitu 512 GB. Grafická karta NVIDIA GeForce MX230 řídí 15,6palcový Full HD IPS displej s úzkými rámečky. Díky 11,5hodinové kapacitě baterie vydrží notebook celý pracovní den.

### **Nabídka 9 (N9)**

V poslední variantě jsou nabízeny notebooky Dell Latitude 5421 za cenu 66580 Kč s DPH se prodlouženou zárukou až na 48 měsíců.

Dell Latitude 5421 je 14palcový notebook ve firemní třídě, který je řízen procesorem 11.generace Intel i5 Tiger Lake s podporou 8 GB operační pamětí. Kapacita baterie 64 Wh přináší uživateli možnost používat notebook bez napájení až 6 hodin. Pevný SSD disk s rozhraním M.2 má kapacitu 256 GB.

*Tabulka 2 – Přehled nabídek*

Nabídky	Notebooky	Označení
Nabídka 1	Dell Vostro 5502	N1
Nabídka 2	HP ENVY 17	N2
Nabídka 3	Lenovo ThinkBook 15 G2	N3
Nabídka 4	HP ZBook Firefly 14 G8	N4
Nabídka 5	Dell Vostro 5510	N5
Nabídka 6	Dell Inspiron 15	N6
Nabídka 7	Lenovo ThinkPad E15	N7
Nabídka 8	Acer TravelMate P2	N8
Nabídka 9	Dell Latitude 5421	N9

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### **4.3 Stanovení kritérií**

Ve spolupráci se zodpovědným pracovníkem odpovědným za výběrové řízení bylo stanoveno 7 kritérií, která jsou relevantní pro výběr notebooků.

*Tabulka 3 - Přehled kritérií*

Kritéria	Označení
Cena (Kč)	K1
Záruka (měsíce)	K2
RAM paměť (GB)	K3
Rychlost procesoru (body)	K4
Pevný disk (GB)	K5
Výdrž baterie (h)	K6
Uhlopříčka displeje (")	K7

*Zdroj: Vlastní zpracování*

### **Cena (K1)**

Cena notebooku je klíčové kritérium. Při používání kritéria ceny notebooků je třeba v zadání výběrového řízení stanovit jejich minimální požadované parametry, aby notebooky, u kterých porovnáváme cenu, měly srovnatelné parametry. Cena je kritérium minimalizačního typu, ve výpočtech je počítáno s celkovou cenou nabídky v Kč s DPH.

### **Záruka (K2)**

Standardní záruka na notebooky je 2 roky. Někteří výrobci či prodejci nabízejí za určitých podmínek prodlouženou záruku až na 5 let. Se zárukou souvisí i tzv. On-Site záruka, což je bezplatný záruční servis přímo u zákazníka. Záruka je u nabídek uváděna v měsících a jedná se o kritérium maximalizačního typu.

### **Velikost RAM paměti (K3)**

RAM (operační paměť) je nedílnou součástí notebooku a slouží k dočasnému uchování všech zpracovávaných dat a spuštěných programů. Velikost RAM ovlivňuje pracovní komfort, protože má vliv na maximální počet současně spuštěných programů nebo otevřených oken prohlížeče. Pro bezproblémové používání operačního systému Windows, kancelářských programů a programů výukových jsou naprostým minimem 4 GB. Pokud je požadavek na používání náročnějších programů nebo více programů současně je doporučeno alespoň 8 GB RAM. U herních a profesionálních notebooků je požadována RAM minimálně 16 GB. Velikost RAM paměti je uvedena v GB, jedná se o maximalizační kritérium.

#### **Rychlost procesoru (K4)**

Procesor je nejdůležitější součástí notebooku. Procesor výrazně ovlivňuje „výkon“ notebooku. Základní volba u procesoru je mezi značkami Intel a AMD.

Hlavními parametry procesoru je pracovní frekvence a počet jader. Frekvence se uvádí v GHz a značí počet instrukcí, které dokáže procesor vykonat za 1 s. Frekvence se v současné době pohybují od 1,6 GHz do 4 GHz. Počet jader procesorů se pohybuje u většiny notebookových procesorů od 4 do 8. Obecně platí, že čím více jader, tím více úloh dokáže procesor zpracovat najednou. Je třeba vzít na vědomí, že počet jader ovlivňuje výdrž na baterii. Rychlost každého procesoru je bodově ohodnocena na základě výsledků testů porovnávající všechny typy procesorů, provozovaných serverem cpubenchmark, jedná se o maximalizační kritérium.

#### **Velikost pevného disku (K5)**

Pevný disk slouží v notebooku k ukládání veškerých dat. Volba správného typu pevného disku současně výrazně ovlivňuje „rychlost“ notebooku. Standardem dnešních notebooků jsou již SSD disky, které jsou oproti dříve používaným HDD diskům mnohonásobně rychlejší. A zároveň jsou vzhledem k větší odolnosti proti otřesům (neobsahuje pohyblivé části) vhodnější pro notebooky. Nevýhodou SSD disků je menší kapacita za stejnou cenu v porovnání s HDD disky.

Důležitým parametrem SSD disků je jejich kapacita. V současné době se na trhu objevují SSD disky s kapacitou od 128 GB až po 8 TB. Velikost pevného disku je kritériem maximalizačním a udává se v GB.

#### **Výdrž baterie (K6)**

Výdrž notebooku na baterii závisí na její kapacitě, celkové výbavě notebooku a zároveň na způsobu jeho používání. U baterií výrobce uvádí výdrž baterie v hodinách, která je u všech notebooků měřena, při standardním zatížení. Výdrž baterie je maximalizačním kritériem.

### Uhlopříčka displeje (K7)

Displej je důležitou součástí každého notebooku. Parametry displeje jsou jeho velikost (úhlopříčka) a rozlišení. Volbu velikosti displeje je třeba volit podle způsobu používání notebooku. Aktuálně se se velikosti displejů pohybují od 13 palců výše. Pro pracovní používání je lepší větší úhlopříčka displeje v palcích, jedná se o kritérium maximalizační.

Všechny varianty a jejich hodnocení podle zvolených kritérií je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 4 - Kriteriační matice

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
N1	55980	36	8	10,608	512	6,5	15,6
N2	65980	36	16	10,153	1000	8	17,3
N3	50580	24	16	10,623	512	6	15,6
N4	50740	36	16	10,623	512	9,45	14
N5	49980	36	8	11,138	256	6,5	15,6
N6	53748	24	12	10,608	1000	6	15,6
N7	51980	24	16	10,608	512	10,8	15,6
N8	45980	24	8	6,868	512	11,5	15,6
N9	66580	48	8	16,153	256	6,5	14
Povaha kritéria	MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX

(Zdroj: Vlastní zpracování)

#### 4.4 Stanovení vah kritérií

Váhy jsou stanoveny pomocí Saatyho metody jedním rozhodovatelem, který je odpovědný za výběrové řízení. K vyplněné Saatyho matice preferencí je rozhodovatelem využita 9-ti bodová stupnice. Na základě určených preferencí je vypočítán geometrický průměr pro každé kritérium v řádce podle vzorce (12), tyto vypočítané hodnoty jsou následně využity k normalizaci na váhy kritérií podle vzorce (13).

Tabulka 5 - Saatyho matice

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	$b_j$	Váhy ( $v_i$ )
K1	1	2	2	1/2	5	5	5	2,2007	0,2806
K2	1/2	1	3	4	1/3	3	1/3	1,1041	0,1408
K3	1/2	1/3	1	1/3	7	3	5	1,2865	0,1640
K4	2	1/4	3	1	5	1/3	3	1,3335	0,1700
K5	1/5	3	1/7	1/5	1	3	5	0,8236	0,1050
K6	1/5	1/3	1/3	3	1/3	1	2	0,6410	0,0817
K7	1/5	3	1/5	1/3	1/5	1/2	1	0,4544	0,0579
								7,8439	1,0000

Zdroj: Vlastní zpracování

Saatyho matice je vyplněna preferencemi podle rozhodovatele zodpovědného za výběrové řízení. Pro rozhodovatele je nejdůležitějším kritériem cena, rychlost procesoru a velikost RAM paměti. Naopak nejméně důležitým kritériem je uhlopříčka displeje a výdrž baterie.

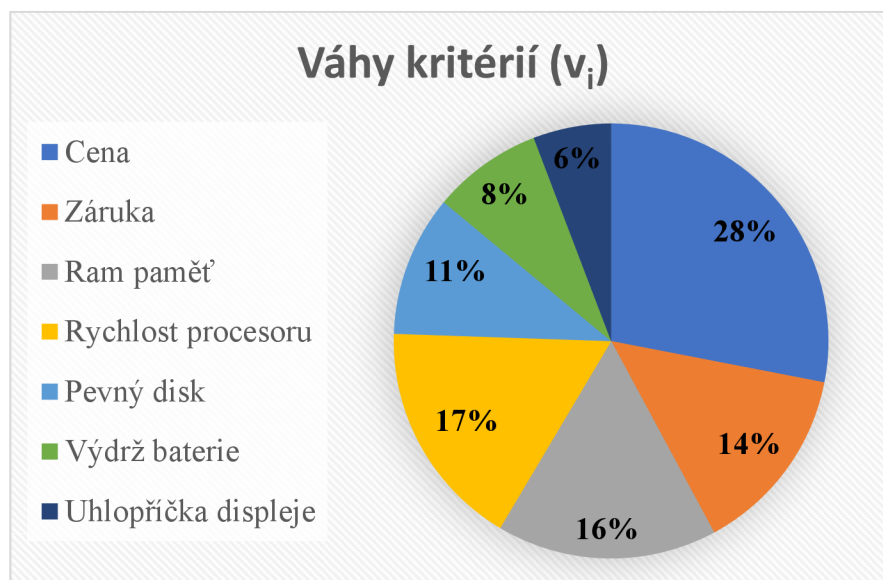
Tabulka 6 - Váhy kritérií

	Váhy kritérií
Cena (Kč)	0,2806
Záruka (měsíce)	0,1408
RAM paměť (GB)	0,1640
Rychlost procesoru (body)	0,1700
Pevný disk (GB)	0,1050
Výdrž baterie (h)	0,0817
Uhlopříčka displeje (")	0,0579

Zdroj: Vlastní zpracování



Graf 2: Váhy kritérií



Zdroj: Vlastní zpracování

#### 4.5 Výběr kompromisní varianty

Kompromisní varianta je zjišťována pomocí metody váženého součtu a metody TOPSIS.

##### 4.5.1 Metoda bazické varianty

Nejdříve je stanovena bazická varianta pro jednotlivá kritéria, která je zvolena jako vektor nejlepších hodnot v daném souboru. Následně je vytvořena užtková funkce s využitím zvolených bazických hodnot, pro kritéria maximalizačního typu podle vzorce (16) a pro kritéria minimalizačního typu podle vzorce (17). Celkové hodnocení každé varianty je získáno podle vzorce (18). Na závěr jsou tato celková hodnocení seřazena sestupně, varianta s největším celkovým hodnocením je označena jako kompromisní.

Tabulka 7 - Přehled bazických variant

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
Bazická varianta	45980	48	16	16,153	1000	11,5	17,3

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 8 – Aplikace metody bazické varianty

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
N1	0,8214	1,0000	0,5000	0,6567	0,5120	0,5652	0,9017
N2	0,6969	1,0000	1,0000	0,6286	1,0000	0,6957	1,0000
N3	0,9091	0,6667	1,0000	0,6576	0,5120	0,5217	0,9017
N4	0,9062	1,0000	1,0000	0,6576	0,5120	0,8217	0,8092
N5	0,9200	1,0000	0,5000	0,6895	0,2560	0,5652	0,9017
N6	0,8555	0,6667	0,7500	0,6567	1,0000	0,5217	0,9017
N7	0,8846	0,6667	1,0000	0,6567	0,5120	0,9391	0,9017
N8	1,0000	0,6667	0,5000	0,4252	0,5120	1,0000	0,9017
N9	0,6906	1,3333	0,5000	1,0000	0,2560	0,5652	0,8092
Váhy	0,2806	0,1408	0,1640	0,1700	0,1050	0,0817	0,0579

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 9 – Pořadí podle metody bazické varianty

	Agregovaný užitek	Pořadí
N1	0,7170	8
N2	0,8269	2
N3	0,7733	4
N4	0,8386	1
N5	0,7234	7
N6	0,7684	5
N7	0,8004	3
N8	0,7164	9
N9	0,7534	6

Zdroj: Vlastní zpracování

Pomocí metody bazické varianty dosáhla největšího agregovaného užítku a umístila se na prvním místě nabídka N4 nabízející notebooky HP ZBook Firefly 14 G8 s prodlouženou zárukou na 36 měsíců a cenou 50740 Kč s DPH, což tuto nabídku řadí mezi levnější varianty. S malým rozdílem agregovaného užítku se na druhém místě umístila nabídka N2 s notebooky HP ENVY 17, tato nabídka je sice druhá nejdražší, ale v parametrech notebooku dosahuje velice dobrých hodnot, mezi jeho výhody patří hlavně velká kapacita pevného disku a větší uhlopříčka displeje. Třetí místo obsadila nabídka N7

nabízející notebooky Lenovo ThinkPad E15. V technických parametrech dosahuje podobných hodnot jako předcházející dva notebooky, nevýhodou je však kratší doba záruky.

#### 4.5.2 Metoda TOPSIS

První krokem metody TOPSIS je konstrukce normalizované matice  $R$  podle vzorce (22). V dalším kroku se vypočte normalizovaná matice vážená kritériální matice  $W$ , z této matice je zvolena ideální varianta  $H$  a bazální varianta  $D$  pro každé kritérium. Následně jsou vypočítány vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty podle vzorce (23) a od bazální varianty podle vzorce (24). Díky těmto vzdálenostem jsou vypočteny relativní ukazatele vzdáleností jednotlivých variant od bazální varianty podle vzorce (25). Na závěr jsou varianty seřazeny podle hodnot  $c_{ij}$ , variantu s nejvyšší hodnotou lze označit za kompromisní variantu.

Tabulka 10 - Normalizovaná kritériální matice  $R$

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
N1	0,3391	0,3638	0,2120	0,3201	0,2760	0,2652	0,3363
N2	0,3997	0,3638	0,4240	0,3063	0,5390	0,3263	0,3730
N3	0,3064	0,2425	0,4240	0,3205	0,2760	0,2448	0,3363
N4	0,3073	0,3638	0,4240	0,3205	0,2760	0,3855	0,3018
N5	0,3027	0,3638	0,2120	0,3361	0,1380	0,2652	0,3363
N6	0,3256	0,2425	0,3180	0,3201	0,5390	0,2448	0,3363
N7	0,3149	0,2425	0,4240	0,3201	0,2760	0,4406	0,3363
N8	0,2785	0,2425	0,2120	0,2072	0,2760	0,4691	0,3363
N9	0,4033	0,4851	0,2120	0,4874	0,1380	0,2652	0,3018

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 11 - Normalizovaná vážená kriteriální matice  $W$

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
N1	0,0951	0,0512	0,0348	0,0544	0,0290	0,0217	0,0195
N2	0,1121	0,0512	0,0695	0,0521	0,0566	0,0267	0,0216
N3	0,0860	0,0341	0,0695	0,0545	0,0290	0,0200	0,0195
N4	0,0862	0,0512	0,0695	0,0545	0,0290	0,0315	0,0175
N5	0,0849	0,0512	0,0348	0,0571	0,0145	0,0217	0,0195
N6	0,0913	0,0341	0,0522	0,0544	0,0566	0,0200	0,0195
N7	0,0883	0,0341	0,0695	0,0544	0,0290	0,0360	0,0195
N8	0,0781	0,0341	0,0348	0,0352	0,0290	0,0383	0,0195
N9	0,1131	0,0683	0,0348	0,0829	0,0145	0,0217	0,0175
Váhy	0,2806	0,1408	0,1640	0,1700	0,1050	0,0817	0,0579
H	0,0781	0,0683	0,0695	0,0829	0,0566	0,0383	0,0216
D	0,1131	0,0341	0,0348	0,0352	0,0145	0,0200	0,0175

Zdroj: Vlastní zpracování

Tabulka 12 - Pořadí variant dle metody TOPSIS

		$d_i^+$	$d_i^-$	$c_i$	Pořadí
N1	Dell Vostro 5502	0,0604	0,0347	0,3647	8
N2	HP ENVY 17	0,0503	0,0602	0,5447	2
N3	Lenovo ThinkBook 15 G2	0,0560	0,0503	0,4734	5
N4	HP ZBook Firefly 14 G8	0,0446	0,0542	0,5487	1
N5	Dell Vostro 5510	0,0653	0,0397	0,3779	7
N6	Dell Inspiron 15	0,0528	0,0541	0,5058	3
N7	Lenovo ThinkPad E15	0,0534	0,0516	0,4914	4
N8	Acer TravelMate P2	0,0736	0,0421	0,3642	9
N9	Dell Latitude 5421	0,0671	0,0586	0,4663	6

Zdroj: Vlastní zpracování

Podle metody TOPSIS je pořadí prvních dvou nejlepších nabídek stejné jako na základě metody bazické varianty. Třetí místo pomocí této metody obsadila nabídka N6 s notebooky Dell Inspiron 15, které disponují velkou kapacitou pevného disku. Nabídka N7, která se umístila pomocí metody bazické varianty na třetím místě, je na základě metody TOPSIS na místě čtvrtém.

## 5 Výsledky a diskuse

Na základě preferencí rozhodovatele byly pomocí Saatyho matice vypočteny váhy kritérií, jelikož se jednalo o výběrové řízení probíhající na ZŠ, je pro rozhodovatele nejdůležitějším kritériem celková cena nabídky následovaná rychlostí procesoru a velikostí RAM paměti.

Podle výpočtů dvou vybraných metod vícekritériální analýzy variant byla jako kompromisní varianta zvolena nabídka N4 od prodejce, jejímž obsahem byly dva notebooky HP ZBook Firefly 14 G8, které dosahují nejlepší hodnoty v kapacitě RAM paměti. V ostatních parametrech se hodnoty pohybují kolem průměrných hodnot, zaostává pouze ve velikosti uhlopříčky displeje. Celková cena této nabídky byla stanovena na 50740 Kč s DPH, což tuto nabídku řadí mezi levnější varianty, kritérium „cena“ je pro rozhodovatele nejdůležitějším kritériem, proto tedy dosahuje vyššího celkového hodnocení než nabídky převyšující notebook HP ZBook Firefly 14 G8 v jiných kritériích.

Pro rozhodovatele je dobrou alternativou nabídka N2 nabízející notebooky HP ENVY 17, tato nabídka se umístila na druhém místě pomocí obou vybraných metod vícekritériální analýzy variant. Notebooky HP ENVY 17 dosahují dobrého hodnocení ve všech parametrech týkajících se technického vybavení, největší výhodou těchto typů notebooků je vysoká kapacita pevného disku a velikost uhlopříčky displeje. Celkové hodnocení však snižuje vysoká cena nabídky 65980 Kč s DPH, ceně přitom rozhodovatel přikládá největší váhu.

Další pořadí nabídek se lehce liší, metoda bazické varianty vychází pouze ze vzdálenosti od bazické varianty, zatímco metoda TOPSIS vychází ze vzdálenosti od ideální i bazální varianty. Rozdíly mezi celkovým hodnocením jsou však velice malé.

Na základě výpočtů obou vybraných metod třetí, čtvrté a páté místo obsadily stejné 3 nabídky, pouze v jiném pořadí.

Podle metody bazické varianty se na třetím místě a dle metody TOPSIS na čtvrtém místě umístila nabídka N7 s notebooky Lenovo ThinkPad E15, jejichž parametry jsou podobné vítězné nabídce, disponují stejnou velikostí RAM paměti, stejnou velikostí pevného disku, rychlost procesoru se liší jen v řádu setin, ve velikosti uhlopříčky je na tom dokonce lépe, nabídka zaostává pouze v délce záruky nabízené prodejcem, která činí základních 24 měsíců.

Čtvrté místo dle metody bazické varianty obsadila nabídka N3, dle metody TOPSIS místo páté. Nabídka obsahující notebooky Lenovo ThinkBook 15 G2, ve srovnání s notebookem Lenovo ThinkPad E15, který je nabízen prodejcem v nabídce N7, se v technických parametrech příliš neliší, zaostává hlavně v kapacitě baterie. Až na pátém místě se podle metody bazické varianty umístila nabídka N6 s notebooky Dell Inspiron 15, která se pomocí metody TOPSIS umístila na třetím místě. Celková cena nabídky činí 53748 Kč s DPH, což ji řadí mezi dražší nabídky. Největší výhodou je velká kapacita pevného disku, kde dosahuje nejlepší hodnoty, nevýhodou v porovnání s notebooky umístěnými na prvních pěti příčkách, je menší kapacita RAM paměti a menší kapacita baterie.

V tomto výběrovém řízení byla rozhodovatelem zvolena nabídka N4 s notebooky HP ZBook Firefly 14 G8. Rozhodovatel se ve finálním výběru rozhodoval právě mezi dvěma nabídkami N2 a N4, které obsahují notebooky od značky HP. Oba prodejci nabídli prodlouženou záruku, cena nabídky N2 byla však vyšší o 15240 Kč s DPH než nabídka N4. V technických parametrech byly notebooky velice podobné, výrazně se lišily pouze ve velikosti displeje a velikosti pevného disku.

Rozhodovatel se nakonec přiklonil k nabídce N2 na základě výrazně nižší ceny. Toto rozhodnutí se shoduje s kompromisní variantou, která byla stanovena na základě výpočtů metody bazické varianty a metody TOPSIS.

## 6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo analyzovat výběrové řízení a pomocí zvolených metod vícekriteriální analýzy variant vybrat vhodnou variantu pro ZŠ Vítězslava Háška, která bude nejvíce vyhovovat stanoveným požadavkům a následně toto řešení porovnat se skutečně zvolenou variantou. Pro splnění stanovených cílů bylo nejdříve potřeba prostudovat odbornou literaturu k danému tématu, především postup metod pro stanovení vah kritérií a metody pro výběr kompromisní varianty, tyto poznatky byly shrnuty v teoretické části.

V praktické části bylo charakterizováno konkrétní výběrové řízení a následně popsány nabídky, které se do tohoto výběrového řízení přihlásily. Dále byla stanovena kritéria výběru a s využitím Saatyho metody vypočteny váhy těchto kritérií. Pomocí metody bazické varianty a metody TOPSIS bylo sestaveno pořadí jednotlivých variant, podle celkového užítku.

V obou metodách se na prvním místě umístila nabídka obsahující notebooky HP ZBook Firefly 14 G8, tato nabídka získala největší celkové hodnocení. Vhodnou alternativou by byla nabídka s notebooky HP ENVY 17, které v obou metodách obsadila druhé místo.

Rozhodovatelem zodpovědným za výběrové řízení byla zvolena nabídka s notebooky HP ZBook Firefly, která se shoduje s kompromisní variantou zvolenou na základě výpočtů vybraných metod. Z toho vyplývá, že rozhodovatelem byla zvolena nejlepší varianta, která nejlépe splňuje určené požadavky.

## 7 Seznam použitých zdrojů

**Alza.cz**, a.s. Acer TravelMate P2. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/acer-travelmate-p2?dq=5759256> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. Dell Inspiron 15. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/dell-inspiron-15-5502-silver-kovovy-levne-d6690510.htm> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. Dell Latitude 5421. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/dell-latitude-5420-rugged-touch?dq=6778388> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. Dell Vostro 5502. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/dell-vostro-5581?dq=6342975> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. Dell Vostro 5510. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/dell-vostro-5581?dq=6591877> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. HP ENVY 17. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/hp-envy-17?dq=6488433> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. HP ZBook Firefly 14 G8. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/dell-latitude-5420-rugged-touch?dq=6778388> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. Lenovo ThinkBook 15 G2. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/lenovo-thinkbook-15-g2-itl-d6321901.htm> . [Přístup 10. března 2022].

**Alza.cz**, a.s. Lenovo ThinkPad E15. [ONLINE] Dostupné na: <https://www.alza.cz/lenovo-thinkpad-e15-gen-2-itu-levne-d6361077.htm> . [Přístup 10. března 2022].

**cpubenchmark.net**. Software PassMark. [ONLINE] Dostupné na: [https://www.cpubenchmark.net/cpu\\_list.php](https://www.cpubenchmark.net/cpu_list.php) . [Přístup 10. března 2022].



BROŽOVÁ, Helena, Milan HOUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Praha: Credit, 2003. ISBN 978-80-213-1019-3.

FOTR, Jiří, Jiří DĚDINA a Helena HRŮZOVÁ. *Manažerské rozhodování*. Vyd. 3. upr. a rozš. Praha: Ekopress, 2003. ISBN 80-86119-69-6.

JABLONSKÝ, Josef. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, 2007. ISBN 978-80-86946-44-3.

ŠUBRT, Tomáš. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. upravené vydání. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2015. ISBN 978-80-7380-563-0.