

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra systémového inženýrství



Bakalářská práce

**Výběr notebooku pro vlastní potřebu pomocí metod
VAV**

Mgr. Michal Rusnok

© 2023 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Mgr. Michal Rusnok

Ekonomika a management
Provoz a ekonomika

Název práce

Výběr notebooku pro vlastní potřebu pomocí metod VAV

Název anglicky

Selection of a Laptop for Own Use with Multiple-Criteria Decision-Making Methods Application

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vybrat nejvhodnější notebook pro vlastní potřebu autora bakalářské práce. Výběr bude proveden pomocí aplikace metod vícekritériální analýzy variant. Budou porovnány vhodné varianty a na základě výsledků bude doporučen konkrétní notebook.

Metodika

Cíle bude dosaženo pomocí následujícího postupu:

1. rešerše odborné literatury

- model vícekritériální analýzy variant
- metody pro stanovení vah
- metody výběru kompromisní varianty

2. případová studie

- charakteristika potřeb rozhodovatele
- získání variant a určení kritérií
- výběr kompromisního řešení pomocí vybraných metod

3. zhodnocení výsledků

- interpretace a výběr řešení
- závěr a zhodnocení cíle práce



Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slova

vícekriteriální analýza variant, kritérium, varianta, notebook, vícekriteriální rozhodování

Doporučené zdroje informací

JABLONSKÝ, J. (2007): Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování. 3. vyd. Praha: Professional Publishing, ISBN 9788086946443

ŠUBRT, T. (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 29. 11. 2021

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 19. 11. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výběr notebooku pro vlastní potřebu pomocí metod VAV" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí 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 19. 11. 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Martině Houškové Beránkové, Ph.D. za odborné vedení této práce. Dále bych rád poděkoval svému dlouholetému příteli Mgr. Martinovi Zábranskému, Ph.D. za cenné rady a konzultace.

Výběr notebooku pro vlastní potřebu pomocí metod VAV

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá praktickou aplikací metod vícekriteriální analýzy variant. V práci je teoreticky popsán model více kriteriální analýzy variant. Jsou představeny vybrané metody pro stanovení vah kritérií a výběru kompromisní varianty. V praktické části jsou tyto metody, a to metoda váženého součtu, analyticko-hierarchický proces (AHP), TOPSIS a PROMETHEE aplikovány na problém výběru notebooku z variant získaných analýzou trhu pro vlastní potřebu rozhodovatele. Metoda váženého součtu, AHP a PROMETHEE upřednostnily variantu, která byla pro rozhodovatele přijatelná. Metoda TOPSIS naopak jako kompromisní variantu vybrala takovou, která pro rozhodovatele nebyla optimální z důvodu relativně vyšší ceny.

Klíčová slova: vícekriteriální analýza variant, kritérium, varianta, notebook, vícekriteriální rozhodování

Selection of a Laptop for Own Use with Multiple-Criteria Decision-Making Methods Application

Abstract

This bachelor thesis deals with the practical application of Multiple-Criteria Decision-Making Methods. The theoretical model of multi-criteria analysis of variance is described herein. Additionally, selected methods for the determination of criteria weights and compromise variant selection are presented in the theoretical part. In the practical part, these methods, which include weighted sum model, analytic hierarchy process (AHP), TOPSIS and PROMETHEE, are applied to the problem of choosing a laptop for the decision maker's own use. Whereas the compromise variant chosen by the methods of weighted sum model, AHP and PROMETHEE is in a relatively good alignment with the decision maker's own preference, the TOPSIS opts for a variant that is too expensive for a relatively price sensitive decision maker.

Keywords: multi-criteria variant analysis, criterion, variant, notebook, multiple-criteria decision-making

Obsah

Úvod	13
2 Cíl práce a metodika.....	14
2.1 Cíl práce	14
2.2 Metodika	14
3 Teoretická východiska	15
3.1 Model vícekriteriální analýzy variant	15
3.2 Prvky modelu vícekriteriální analýzy variant	15
3.3 Metody stanovení vah kritérií	17
3.4 Metody výběru kompromisní varianty.....	20
3.4.1 Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií.....	20
3.4.2 Metody vyžadující aspirační úroveň kritérií.....	20
3.4.3 Metody vyžadující kardinální informaci o preferenci kritérií	21
4 Praktická část práce	30
4.1 Konstrukce modelu vícekriteriální analýzy variant	30
4.1.1 Charakteristika potřeb rozhodovatele	30
4.1.2 Určení kritérií a získání variant	30
4.1.3 Určení vah kritérií.....	31
4.2 Výběr kompromisní varianty pomocí vybraných metod	32
4.2.1 Metoda váženého součtu.....	32
4.2.2 Metoda TOPSIS	33
4.2.3 Metoda AHP	34
4.2.4 Metoda PROMETHEE	36
5 Zhodnocení výsledků	38
Závěr	40

Seznam použitých zdrojů	41
--------------------------------------	-----------

Seznam obrázků

Obrázek 1 Kriteriační matice.....	16
Obrázek 2 Rozdělení metod stanovení vah kritérií.....	17
Obrázek 3 Schéma Saatyho matice.....	18
Obrázek 4 Hierarchická struktura typického modelu vícekritériální analýzy variant	23
Obrázek 5 Syntéza preferenčních hodnot	24
Obrázek 6 Preferenční funkce Q1	25
Obrázek 7 Preferenční funkce Q ₂	25
Obrázek 8 Preferenční funkce Q ₃	26
Obrázek 9 Preferenční funkce Q ₄	27
Obrázek 10 Preferenční funkce Q ₅	27

Seznam tabulek

Tabulka 1 Tabulka hodnot random indexu	19
Tabulka 2 Získané varianty na základě aspirační úrovně kritérií	31
Tabulka 3 Získané varianty bez dominovaných variant	31
Tabulka 4 Zkrácené názvy variant	31
Tabulka 5 Saatyho matice s vypočítanými váhami kritérií	32
Tabulka 6 Sumarizované údaje o variantách a váhy kritérií	32
Tabulka 7 Určení ideální a bazální varianty	32
Tabulka 8 Matice R, hodnoty užitku a pořadí variant	33
Tabulka 9 Normalizovaná kritériální matice R	33
Tabulka 10 Normalizovaná vážená kritériální matice W	33
Tabulka 11 Určení ideální a bazální varianty z hodnot matice W	33
Tabulka 12 Pořadí variant pro metodu TOPSIS	34
Tabulka 13 Saatyho matice pro kritérium cena	34
Tabulka 14 Saatyho matice pro kritérium harddisk (HDD)	34
Tabulka 15 Saatyho matice pro kritérium RAM	35
Tabulka 16 Saatyho matice pro kritérium hmotnost	35
Tabulka 17 Saatyho matice pro kritérium paměť grafické karty	35
Tabulka 18 Syntéza preferencí a pořadí jednotlivých variant	36
Tabulka 19 Hodnoty GPI, F_i^+ a F_i^-	36
Tabulka 20 Hodnoty F_i a pořadí variant	37
Tabulka 21 Souhrn výsledků	38
Tabulka 22 Parametry notebooku Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003	38
Tabulka 23 Parametry notebooku MSI GF63 Thin 11UC-492CZ	38

Úvod

Bakalářská práce se zabývá praktickou aplikací metod vícekriteriální analýzy variant. Metody vícekriteriální analýzy variant se používají v případech, kdy vyvstává potřeba rozhodovat, a to nikoli nahodile (ad hoc), ale na základě určitých kritérií. Rozhodování bývá ztíženo faktem, že v každém ze zohledňovaných kritérií může vynikat jiná varianta. Subjekty rozhodování navíc zpravidla přiřkládají jednotlivým kritériím různou důležitost. Cílem vícekriteriální analýzy variant je tedy řešit konflikt mezi vzájemně protikladnými kritérii. Konkrétním výsledkem vícekriteriální analýzy variant potom může být výběr jedné varianty, která bude podkladem pro konečné rozhodnutí.

Metody vícekriteriální analýzy variant nacházejí v praxi široké uplatnění. Používají se například při hodnocení uchazečů o veřejnou zakázku, výběru vhodných kandidátů při náboru zaměstnanců, rozhodování o nákupu určitého stroje, apod.

V této práci jsou tyto metody použity při rozhodování spotřebitele, konkrétně nákupu notebooku pro vlastní potřebu rozhodovatele. Tento rozhodovací problém se může jevit na první pohled jako tak jednoduchý, že by při jeho řešení nebylo nutné používat nějaké specializované metody, avšak vzhledem k dnešní nepřehledné nabídce všech možných variant notebooků, je i zde účelné některé metody vícekriteriální analýzy variant použít.

Zvláště v době, kdy je spotřební elektronika nezbytná nejenom pro specializované výpočetní úkony, ale i pro běžnou kancelářskou práci, je pro laického spotřebitele užitečné komplexní problém výběru osobního počítače z nepřehledného množství nabízených produktů zjednodušit. Navíc se zejména v posledních letech dynamicky zvětšuje rozsah užití osobních počítačů, zejména mobilních platforem jako jsou právě notebooky a tablety ve vzdělávání. Užití těchto zařízení při zprostředkování mezilidského kontaktu přes sociální informační sítě a při udržování všeobecné informovanosti veřejnosti je dnes již samozřejmostí. Metody vícekriteriální analýzy variant by pak mohly být způsobem podobným tomu prezentovanému zde aplikovány také na výběr ostatní výpočetní techniky každodenní potřeby jako jsou tablety a mobilní telefony.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vybrat nejvhodnější notebook pro vlastní potřebu autora bakalářské práce. Výběr bude proveden pomocí aplikace metod vícekriteriální analýzy variant. Budou zhodnoceny preference autora a podle nich budou vybrána hodnotící kritéria a jejich váhy. Z vhodných variant bude jedna doporučena a ta bude nakonec porovnána s požadavky autora.

2.2 Metodika

Cíle práce bude dosaženo pomocí praktické aplikace metod vícekriteriální analýzy variant níže popsaným postupem:

1. Prostřednictvím rešerše odborné literatury budou vysvětleny:
 - model vícekriteriální analýzy variant
 - metody pro stanovení vah kritérií
 - metody výběru kompromisní varianty
2. Vybrané metody výběru kompromisní varianty budou v praktické části práce aplikovány na řešení problému stanoveného v cíli práce. Bude postupováno v těchto krocích:
 - definice potřeb rozhodovatele
 - získání variant a určení kritérií.
 - výběr kompromisního řešení pomocí vybraných metod
3. Závěr a zhodnocení výsledků zahrnují:
 - interpretaci výsledků a diskuze vybrané kompromisní varianty
 - závěr a zhodnocení dosažení cíle práce

3 Teoretická východiska

Cílem této kapitoly je teoreticky popsat model vícekriteriální analýzy variant. Nejprve jsou vysvětleny jeho jednotlivé prvky. Následně jsou vysvětleny metody stanovení vah kritérií, a to metoda pořadí, metoda bodovací a Saatyho metoda. V poslední části této kapitoly jsou vysvětleny jednotlivé metody výběru kompromisní varianty, přičemž z hlediska této práce jsou nejdůležitější metody vyžadující aspirační úrovně kritérií a metody vyžadující kardinální informaci o preferenci kritérií: metoda váženého součtu, AHP, PROMETHEE a TOPSIS, neboť jsou použity v praktické části práce.

3.1 Model vícekriteriální analýzy variant

Modely vícekriteriální analýzy variant jsou typem vícekriteriálního rozhodování, které je založeno více optimalizačních (rozhodovacích) kritériích. Tato kritéria nebývají zpravidla v souladu, tj. varianta hodnocená nejlépe podle jednoho kritéria nebývá nejlépe hodnocena podle kritéria jiného. Cílem při analýze vícekriteriálních rozhodovacích úloh pak bývá řešit konflikt mezi protikladnými kritérii. Konkrétním cílem pak bývá výběr jedné „nejlepší“ varianty. Úlohy vícekriteriálního rozhodování se dělí na dvě skupiny, podle toho, jak definují množinu rozhodovacích variant. Jsou-li varianty určeny konečným výčtem, jedná se o **modely vícekriteriálních analýz variant**. Jsou-li varianty určeny soustavou omezujících podmínek, jedná se o **modely vícekriteriální optimalizace** (shodně Jablonský, 2007, s. 271 a Šubrt, 2015, s. 150). Tato práce se zabývá teoretickým rozбором a praktickou aplikaci prvně jmenovaného modelu. Modely vícekriteriální analýzy variant se používají např. při řešení problematiky dopravy (Yannis, Kopsacheili, Dragomanovits, Petraki, 2020, s. 413-431), zdravotnictví a farmaceutických dodavatelských řetězců (Lagana, Colapinto, 2021, s. 122-134) a udržitelnosti v městském a územním rozvoji (Mecca, 2023, s.1-16).

3.2 Prvky modelu vícekriteriální analýzy variant

Model vícekriteriální analýzy variant se skládá z **variant**, jejichž výčet je konečnou množinou o počtu m (Šubrt, 2015, s. 150). Varianty jsou nejrůznější prvky, které má smysl vzájemně porovnávat, nebo v užším kontextu, které přicházejí v úvahu pro výběr v určitém procesu rozhodování. Např. zákazník se rozhoduje při koupi mezi výrobky určitého typu (automobily, počítače, apod.) (Ramík, Perzina, 2008, s.12). Jednotlivé varianty jsou hodnoceny podle **kritérií** (jejichž výčet je konečnou množinou o počtu n). Kritéria mají různou povahu od fyzikálních, technologických měřitelných, přes ekonomická kritéria vyjadřována peněžní

částkou až ke neměřitelným kritériím typu krásy, vůně, morálka, apod. (Ramík, Perzina, 2008, s.12).

Model vícekritériální analýzy variant lze graficky znázornit a uspořádat do tzv. kritériální matice Y , v níž odpovídají řádky variantám a sloupce kritériím. (Šubrt, 2015, s. 151):

Obrázek 1 Kritériální matice

$$Y = \begin{matrix} & f_1 & f_2 & \cdots & f_n \\ a_1 & y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ a_2 & y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_m & y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{matrix}$$

Zdroj: Šubrt, 2015, s. 151

Prvky kritériální matice y_{mn} vyjadřují **informace** o variantách podle jednotlivých kritérií (Fiala, Dlouhý, 2006, s. 148). Informace mohou být různou formou. **Kardinální informace** vyjadřují skutečné hodnoty, kterých dosáhly jednotlivé varianty při hodnocení podle jednotlivých kritérií. **Ordinální informace** vyjadřují pořadí dané varianty podle jednotlivých kritérií. **Relativní informace** poměruje párově varianty mezi sebou podle jednotlivých kritérií.

Kritéria podle, nichž se vybírá nejvhodnější varianta, lze třídit podle různých hledisek (Šubrt, 2015, s. 151). Podle povahy lze rozlišovat kritéria **maximalizační** a **minimalizační**. Jak už jejich název napovídá, u maximalizačního kritéria se vychází z toho, že nejlépe hodnocená varianta dosahuje u tohoto kritéria nejvyšší hodnoty a u minimalizačního kritéria se vychází z toho, že nejlépe hodnocená varianta dosahuje u tohoto kritéria nejnižší hodnoty. Pro řešení praktických úloh je však potřeba, aby všechna kritéria byla stejné povahy, tj. buď maximalizační anebo minimalizační, což zpravidla na začátku řešení úlohy takto zadáno není. Proto je zadaná kritéria nutné převést všechna na maximalizační, k čemuž lze využít jeden ze dvou níže uvedených způsobů:

- vynásobení celého sloupce kritériální matice hodnotou -1 , transformace

$$y'_{ij} = -y_{ij},$$

- výpočet hodnot, které udávají zlepšení oproti nejlepší kritériální hodnotě, transformace

$$y'_{ij} = y_{ij} - \max(y_{ij}).$$

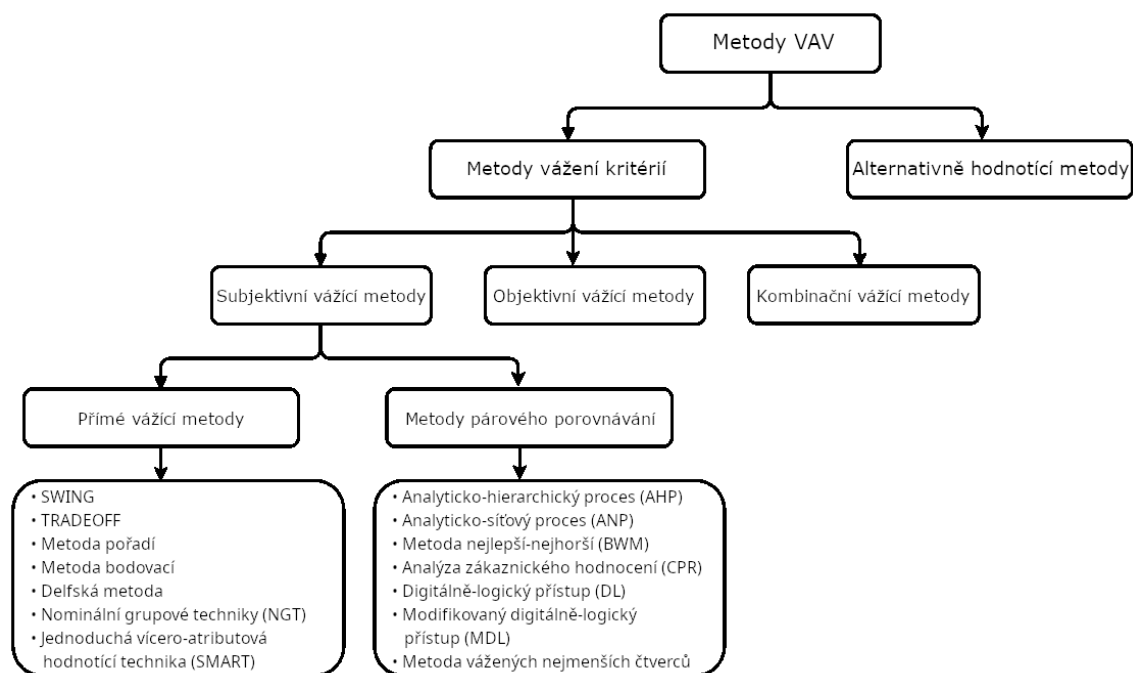
Důležité rozlišení kritérií je **kvantitativní** a **kvalitativní** (Šubrt, 2015, s. 151). Kvantitativní (objektivní) kritérium: hodnoty variant, podle takového kritéria lze vyjádřit objektivně měřitelnými údaji. Kvalitativní (subjektivní) kritérium: hodnoty variant, podle takového kritéria nelze vyjádřit objektivně změřitelnými údaji, většinou se jedná o údaje subjektivně odhadnuté rozhodovatelem.

Důležitým pojmem modelu vícekritériální analýzy variant je **dominance** jednotlivých variant (Šubrt, 2015, s. 152-153). Varianta a_i dominuje variantu a_j , pokud platí $(y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{ik}) \geq (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jk})$ a existuje-li alespoň jedno kritérium f_l , pro které platí, že $y_{il} > y_{jl}$. **Dominující** varianta je tedy hodnocena lépe alespoň podle jednoho kritéria a podle ostatních kritérií je hodnocena vždy alespoň stejně nebo lépe než varianta **dominovaná**. Z logiky věci tedy plyne, že při hledání „nejlepší“ tzv. kompromisní varianty lze vyloučit varianty, které jsou dominované.

3.3 Metody stanovení vah kritérií

Aby bylo možné kvantifikovat důležitost jednotlivých kritérií, potřebujeme určit váhy jednotlivých kritérií. K tomuto účelu slouží metody stanovení vah kritérií (shodně Jablonský, 2007, s. 274 a Šubrt, 2015, s. 157). Metody stanovení vah kritérií se dělí na subjektivní, objektivní a na kombinaci subjektivní/objektivní. Subjektivní metody se dále dělí na přímé a na metody založené na párovém porovnání (Sing, Pant, 2020, s. 126-144). Uvedené rozdělení metod je zobrazeno na následujícím obrázku:

Obrázek 2 Rozdělení metod stanovení vah kritérií



Zdroj: Sing, Pant, 2020, s. 128

V této práci bude popsána metoda pořadí, bodovací a Saatyho metoda.

Metoda pořadí spočívá uspořádání kritérií od nejdůležitější po nejméně důležité (shodně Jablonský, 2007, s. 275 a Šubrt, 2015, s. 157-158). Nejdůležitějšímu kritériu je přiřazena hodnota n (n je počet kritérií), druhému kritériu $n-1$, a tak dále až po nejméně důležité kritérium,

jemuž přiřazena hodnota 1. Je-li obecně j-té kritérium hodnoceno b_j , vypočte se jeho váha podle vzorce:

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

Tento postup se nazývá **normalizace vah kritérií**.

Metoda bodovací předpokládá, že rozhodovatel je schopen kvantifikovat důležitost jednotlivých kritérií v nějaké předem stanovené bodovací stupnici např. 1-10 (shodně Jablonský, 2007, s. 275 a Šubrt, 2015, s. 159-160). Čím je kritérium pro rozhodovatele důležitější, tím je bodové ohodnocení vyšší. Výpočet vah kritérií se provede podobně jako u metody pořadí. Hodnoty váhového vektoru se tedy normalizují podle vzorce:

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

Kde b_j počet bodů přidělených rozhodovatelem j-tému kritériu.

Saatyho metoda je založena na párovém kvantitativní porovnávání kritérií (shodně Jablonský, 2007, s. 276-278 a Šubrt, 2015, s. 160-161). Pro porovnání párových kritérií se používá devítibodová stupnice a je možné používat i mezistupně (2, 4, 6, a 8):

- 1 - rovnocenná kritéria i a j
- 3 - slabě preferované kritérium i před j
- 5 - silně preferované kritérium i před j
- 7 - velmi silně preferované kritérium i před j
- 9 – absolutně preferované kritérium i před j

Rozhodovatel porovná každou dvojici kritérií a velikost preference i-tého kritéria vzhledem j-kritériu zapíše do Saatyho matice S (s_{ij}):

Obrázek 3 Schéma Saatyho matice

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/s_{1n} & 1/s_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Zdroj: Šubrt, 2015, s. 160

Je-li i-té kritérium pro rozhodovatele rovnocenné s j-tým kritériem je $s_{ij} = 1$, preferuje-li i-té kritérium slabě před j-tým, je $s_{ij} = 3$, preferuje-li i-té kritérium silně před j-tým je $s_{ij} = 5$ (shodně Jablonský, 2007, s. 276-278 a Šubrt, 2015, s. 160-161). Při velmi silné preferenci i-tého kritéria před j-tým kritériem je $s_{ij} = 7$, při absolutní preferenci platí, že $s_{ij} = 9$. Je-li j-té kritérium preferované před i-tým kritériem, zapíší se do matice převrácené hodnoty ($s_{ij} = 1/3$ při slabé preferenci, $s_{ij} = 1/5$ při silné preferenci, atd.). Saatyho matice je čtvercová $n \times n$, kde n

je počet kritérií a je reciproká, tj. platí, že $s_{ij} = 1/s_{ji}$. Na diagonále této matice jsou hodnoty jedna, neboť každé kritérium je samo vůči sobě rovnocenné. Prvky Saatyho matice nebývají většinou dokonale konzistentní, tedy že neplatí $s_{hj} = s_{hi} \times s_{ij}$.

Míra konzistence se určuje pomocí tzv. consistency ratio (CR) podle vzorce (Saaty, 2008, s.251-318):

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Kde CI je inconsistency index a RI je random index.

CI se určí podle následující vzorce:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (4)$$

Kde λ_{max} je největší vlastní číslo řešené matice a n je rozměr řešené matice. λ_{max} lze vypočítat pomocí kalkulátoru např. na internetové adrese: <https://matrixcalc.org/cs/>. Pro další práci jsou relevantní jen reálná čísla (tj. výsledky, kde není i).

RI se určuje podle následující tabulky:

Tabulka 1 Tabulka hodnot random indexu

rozměr matice	random index (RI)
1	0
2	0
3	0,58
4	0,9
5	1,12

Zdroj: Saaty, 2008, s.251-318

Za dostatečně konzistentní je Saatyho matice považována, pokud platí $CR \leq 0,1$.

Pro výpočet vah se používá normalizovaný geometrický průměr řádků Saatyho matice (shodně Jablonský, 2007, s. 278 a Šubrt, 2015, s. 161). Nejprve se vypočtou hodnoty b_i jako geometrický průměr řádků Saatyho matice:

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{ij}} \quad (5)$$

Váhy se pak vypočtou normalizací hodnot b_i takto:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (6)$$

3.4 Metody výběru kompromisní varianty

Metody výběr kompromisní varianty se rozdělují, podle toho, zda je známa **preferenci jednotlivých kritérií**. Nejprve budou vysvětleny metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií a poté metody, kde je nutné tuto informaci znát.

3.4.1 Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií

Mezi metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií se řadí **metoda pořadí** a **metoda bodovací** (Šubrt, 2015, s. 164-165). Postup je velmi jednoduchý a obdobný u obou metod. Provádí se v níže uvedených třech krocích.

V **první kroku** se provádí ohodnocení každé varianty podle všech kritérií číslem b_{ij} (Šubrt, 2015, s. 164). V případě metody pořadí se provádí hodnocení variant čísly 1 až m , aby m bylo nejlepší hodnocení (m je počet variant). V případě stejného hodnocení se použijí průměrná pořadová čísla. V případě bodovací metody se ohodnotí každá varianta u každého kritéria v rámci vhodné zvolené stupnice, např. 1 až 10, tak aby nejlepší hodnocení odpovídalo číslu 10.

Ve **druhém kroku** se provede celkové hodnocení každé varianty jako součet dílčích hodnot, podle vztahu (Šubrt, 2015, s. 164):

$$b_i = \sum_{j=1}^k b_{ij} \quad (7)$$

Ve **třetím kroku** se varianty uspořádají sestupně podle hodnot b_i a kompromisní varianta se vybere podle vztahu (v případě bodovací metody) (Šubrt, 2015, s. 165):

$$a_i : b_i = \max(b_i) \quad (8) \\ i=1, \dots, s$$

V případě metody pořadí se varianty uspořádají vzestupně podle hodnot b_i a kompromisní varianta je pak ta, která dosahuje nejnižší hodnoty b_i .

3.4.2 Metody vyžadující aspirační úroveň kritérií

Pro nadepsané metody je charakteristické, že se nesnaží informaci o preferovaných kritériích rozhodovatele transformovat do podoby váhového vektoru jako relativního vyjádření důležitosti kritérií (Šubrt, 2015, s. 166). Tyto metody jsou založeny na porovnání všech variant s aspiračními (požadovanými) úrovní všech kritérií. Obvykle je pak množina variant rozdělena na dvě podmnožiny: 1) na varianty, které mají horší kritériální hodnoty než jsou nastavené meze („špatné“ nebo „neefektivní“ nebo „neakceptované varianty“) a 2) na varianty, které mají lepší kritériální hodnoty než nastavené meze („dobré“, „efektivní“ nebo „akceptované“ varianty).

Tato metoda se se obvykle používá (a tak tomu je i v této práci) jako způsob „předvýběru“ kompromisní varianty, kdy se pomocí vhodně nastavených aspiračních úrovní vybere do „užšího“ výběru několik málo (např. 4,5) „kandidátů“ na kompromisní variantu, přičemž „vítěz“ – tzn. kompromisní varianta se již pak vybere pomocí nějaké ze sofistikovanějších metod, tak jak jsou popsány v dalším textu práce.

V zásadě mohou být aspirační úrovně kritérii nastaveny buď **konjunktivně** anebo **disjunktivně** (Šubrt, 2015, s. 166). Při použití konjunktivní metody se připustí do množiny akceptovatelných variant jen varianty, které splňují všechna požadované aspirační úrovně kritérii zároveň.

$$M = \{a_i | y_{ij} \geq z_j \text{ pro všechna } j = 1, \dots, n\} \quad (9)$$

Kde z_j je minimální požadované hodnocení varianty podle j -tého kritéria (aspiračního úrovně kritéria).

Při použití disjunktivní metody se připustí do množiny akceptovatelných variant jen varianty, které splňují alespoň jednu požadovanou aspirační úroveň kritérii.

$$M = \{a_i | y_{ij} \geq z_j \text{ pro alespoň jedno } j = 1, \dots, n\} \quad (10)$$

Kde z_j je minimální požadované hodnocení varianty podle j -tého kritéria (aspiračního úrovně kritéria).

Z výše uvedeného plyne, že pokud jsou požadované aspirační úrovně příliš vysoké, přísné, bude podmnožina akceptovatelných variant prázdná (Šubrt, 2015, s. 166). V takovém případě je potřeba snížit požadavky na požadované aspirační úrovně. Naopak, pokud jsou požadované aspirační úrovně příliš nízké, volné, bude podmnožina akceptovatelných variant příliš rozsáhlá. V takovém případě je třeba aspirační úrovně zpřísnit.

3.4.3 Metody vyžadující kardinální informaci o preferenci kritérii

U metod vyžadující **kardinální informaci** jsou k dispozici **váhy** jednotlivých kritérii a kardinální informace o variantách v podobě kriteriální matice s kardinálními hodnotami (Šubrt, 2015, s. 170). Kardinální informace jsou typem informace kvalitativního a kvantitativního charakteru, který vyjadřuje, o kolik nebo jak moc je jedno hodnocení lepší než druhé. V případě preferencí kritérii se jedná o váhy kritérii. V případě hodnocení variant se jedná o číselné vyjádření tohoto hodnocení, které nezávisí na množině porovnávaných variant. Tyto metody jsou buď založeny na funkci **užitku**, anebo **minimalizaci vzdálenosti od ideální varianty**, anebo **preferenční relaci** (Šubrt, 2015, s. 155).

Metoda váženého součtu

Tato metoda je založena na lineární funkci užitku od 0 do 1, což znamená, že nejlepší varianta hodnocená dle daného kritéria bude mít užitek 1, nejhorší varianta užitek 0 a ostatní varianty se budou pohybovat v intervalu (0,1) (Jablonský, 2007, s. 280). V rámci této metody se postupuje v níže uvedených **třech** krocích.

V **prvním** kroku se určí **ideální** varianta H s hodnocení (h_1, \dots, h_n) a **bazální** varianta D s hodnocením (d_1, \dots, d_n) (Šubrt, 2015, s.171). Ideální varianta je taková, která dosahuje nejlepší hodnocení podle všech kritérií, bazální nejhorších.

Ve **druhém** kroku se vytvoří standardizovaná matice **R**, jejíž prvky r_{ij} se vypočtou podle vzorce (Šubrt, 2015, s.171):

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - d_j}{h_j - d_j} \quad (11)$$

Ve **třetím** kroku se pro jednotlivé varianty určí agregová funkci užitku podle vztahu (Šubrt, 2015, s.171):

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^n v_j r_{ij} \quad (12)$$

Varianty se seřadí sestupně podle hodnot $u(a_i)$ a kompromisní varianta je ta s nejvyšší hodnotou užitku.

Metoda AHP – Analyticko-hierarchický proces

Metoda AHP je založena na rozkladu složité nestrukturované situace na jednodušší komponenty, čímž se tedy vytváří hierarchickým systém problému (Šubrt, 2015, s.173). Na každé hierarchické úrovni struktury se použije Saatyho metoda kvantitativního párového porovnání. Syntézou těchto porovnání se pak stanoví komponenta s nejvyšší prioritou, na níž se rozhodovatel zaměří s cílem získat řešení rozhodovaného problému.

Základní prvky a kroky metody AHP jsou:

- konstrukce hierarchie problému,
- párové porovnání prvků v jednotlivých hierarchických úrovních,
- syntéza získaných preferencí a volba nejvhodnější alternativy.

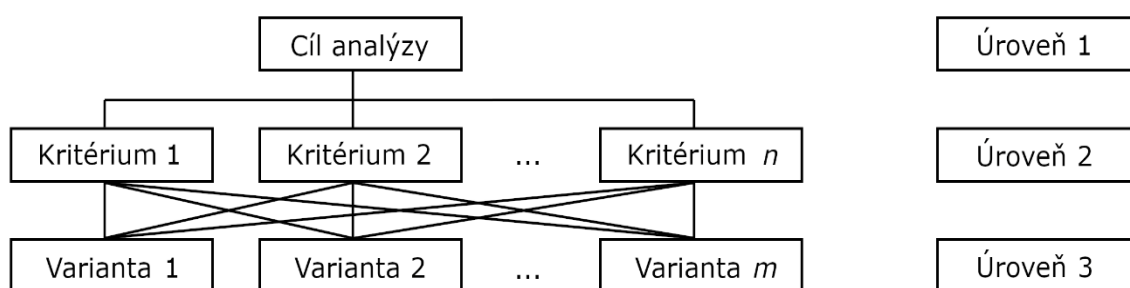
Konstrukce hierarchické struktury problému

Hierarchická struktura je struktura obsahující několik úrovní, přičemž každá z nich obsahuje několik prvků (Šubrt, 2015, s.173). Uspořádání úrovní hierarchické struktury odpovídá uspořádání od obecného ke konkrétnímu. Obecnější prvky ve vztahu k danému

rozhodovacímu problému zaujímají v hierarchii vyšší úroveň, konkrétnější nižší. Nejvyšší úroveň hierarchie zaujímá vždy jeden prvek, který definuje cíl vyhodnocování nebo analýzy. Tomuto prvku lze přiřadit hodnotu jedna, která je potom rozdělena mezi prvky na druhé úrovni. Hodnota každého prvku se dělí na nižší úrovně hierarchie až k ohodnocení prvků nejnižšího stupně – variantám. Typický jednoduchý model vícekriteriální analýzy variant obsahuje tyto úrovně:

- úroveň 1 – cíl vyhodnocování, kterým může být uspořádání variant,
- úroveň 2 – kritéria vyhodnocování,
- úroveň 3 – posuzované varianty.

Obrázek 4 Hierarchická struktura typického modelu vícekriteriální analýzy variant



Zdroj: Šubrt, 2015, s. 174

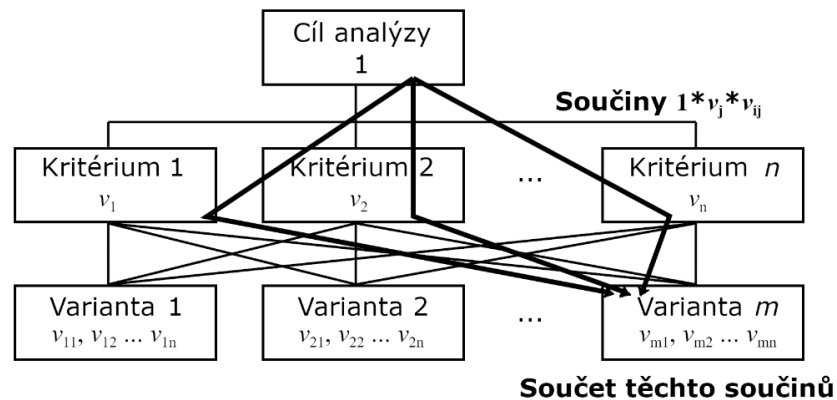
Párové porovnání prvků v jednotlivých hierarchických úrovních

V tomto kroku se stanoví váhy jednotlivých kritérií a dalších prvků v jednotlivých úrovních problému pomocí Saatyho metody párového porovnávání (Šubrt, 2015, s.174). V případě jednoduché tříúrovňové hierarchie (jeden cíl, n kritérií a m variant a_i), bude na druhé úrovni hierarchie matice párového porovnávání rozměru $m \times n$ a na třetí úrovni hierarchie bude n matic rozměru $m \times m$, ve kterých se párově porovnávají varianty podle jednotlivých kritérií.

Syntéza získaných preferencí a volba nejvýhodnější alternativy

Lokální preference prvků hierarchie vyjadřují preference vzhledem k nadřazenému prvku, ukazují např. jak si alternativy rozdělují hodnoty váhy příslušného kritéria (Šubrt, 2015, s.174). Pokud tedy je pro každou variantu vypočítána u všech kritérií součet součinů navazujících preferencí v hierarchické úrovni, je tím dáno její hodnocení z hlediska všech kritérií. Za kompromisní variantu je pak považována ta, jejíž syntetická váha (preference) je nejvyšší.

Obrázek 5 Syntéza preferenčních hodnot



Zdroj: Šubrt, 2015, s. 175

Metoda PROMETHEE

Tato metoda je založena na párovém porovnávání všech variant $a_i \in A$, $i = 1, 2, \dots, n$, podle všech kritérií f_k , $k = 1, 2, \dots, m$ (Ramík, Perzina, 2008, s. 140). Předpokládá se, že kritéria jsou kardinální povahy a jejich relativní významnost je dána pomocí vah v_k . Výsledkem porovnávání variant a_i , $a_j \in A$ podle f_k je číslo $P_k(a_i, a_j) \in [0, 1]$, které vyjadřuje intenzitu preference varianty a_i před variantou a_j podle kritéria f_k . Tato intenzita závisí na rozdílu hodnot kritéria $d_k = f_k(a_i) - f_k(a_j)$. Pro maximalizační kritérium platí, že čím je tato diference větší, tím je daná intenzita preference vyšší. Konkrétní závislost pak vyjadřuje **preferenční funkce** $Q: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$, přitom platí:

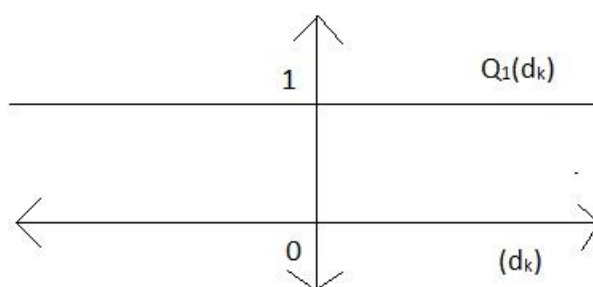
$$P_k(a_i, a_j) = Q[f_k(a_i) - f_k(a_j)] = Q(d_k) \quad (13)$$

Metoda PROMETHEE nabízí rozhodovateli 6 základních tvarů preferenční funkce Q (Ramík, Perzina, 2008, s. 140). Ke každé z nich navíc náleží **práh preference** p , **práh indiference** q a směrodatná odchylka σ . Níže budou popsány tvary a použití prvních pěti preferenčních funkcí.

Preferenční funkce Q_1

Nadepsaná preferenční funkce definuje výsledek párového porovnávání tím způsobem, že hodnota preference je 1, kdykoliv jsou hodnoty kritéria rozdílné (Ramík, Perzina, 2008, s. 140). Pouze v případě, že jsou hodnoty kritéria stejné, je hodnota preference 0, tedy $Q_1(d_k) = 0$, jestliže $d_k = 0$, $Q_1(d_k) = 1$, jinak. Průběh funkce ukazuje obrázek níže:

Obrázek 6 Preferenční funkce Q_1

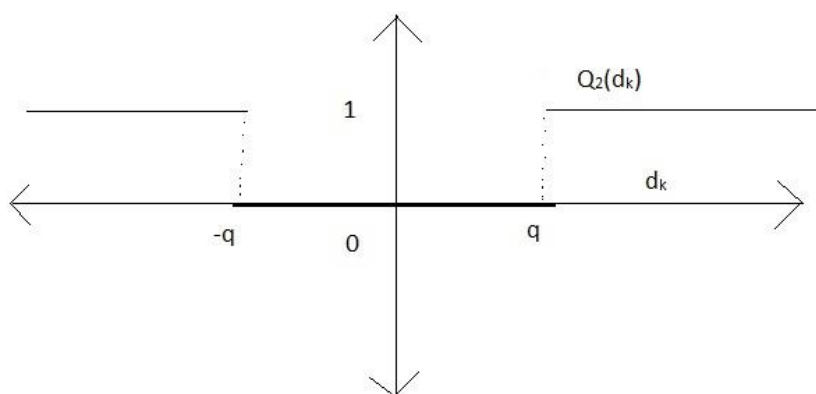


Zdroj: Ramík, Perzina, 2008, s. 140

Preferenční funkce Q_2

Nadepsaná preferenční funkce definuje výsledek párového porovnávání jako Q_1 s tím rozdílem, že pomocí prahu indiference q rozšiřuje pásmo, ve kterém jsou rozdíly mezi hodnotami kritérií považovány za indiferentní, tj. hodnota preference je rovna 0, tedy $Q_2(d_k) = 0$, jestliže $|d_k| \leq q$, $Q_2(d_k) = 1$, jinak (Ramík, Perzina, 2008, s. 140). Průběh funkce ukazuje obrázek níže:

Obrázek 7 Preferenční funkce Q_2



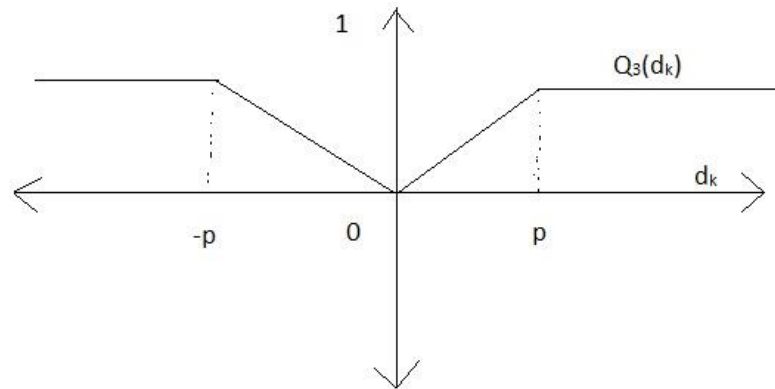
Zdroj: Ramík, Perzina, 2008, s. 141

Preferenční funkce Q_3

Nadepsaná preferenční funkce připouští pro vyjádření stupně preference také ostatní hodnoty intervalu $[0,1]$ (Ramík, Perzina, 2008, s. 141). Rozhodovatel zadává práh preference p . Pokud rozdíl hodnot kritéria nedosáhne prahové hodnoty, je stupeň preference menší než 1

a lineárně klesá až k nulové hodnotě, která nastane až při rovnosti hodnot kritéria, tedy $Q_3(d_k) = \frac{|d_k|}{p}$, jestliže $|d_k| \leq p$, $Q_3(d_k) = 1$, jinak. Průběh funkce ukazuje obrázek níže:

Obrázek 8 Preferenční funkce Q_3



Zdroj: Ramík, Perzina, 2008, s. 141

Preferenční funkce Q_4

Nadepsaná preferenční funkce definuje výsledek párového porovnávání pomocí tří hodnot, kromě hodnot 0 a 1, je to ještě hodnota 0,5 (Ramík, Perzina, 2008, s. 141). Rozhodovatel zadává práh preference p a také práh indiference q , který musí být menší než práh preference. Jestliže rozdíl hodnot kritéria leží mezi těmito prahy, potom je hodnota preferenční funkce rovna 0,5.

Tedy platí, že:

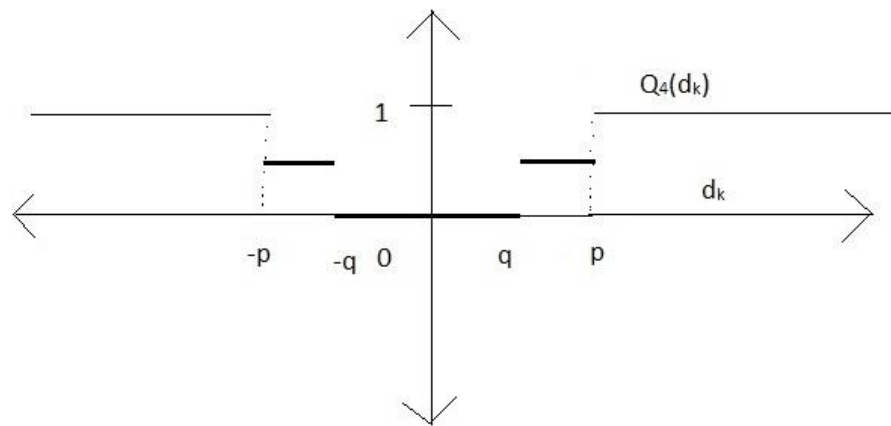
$$Q_4(d_k) = 0, \text{ jestliže } |d_k| \leq q,$$

$$Q_4(d_k) = 0,5, \text{ jestliže } q \leq |d_k| \leq p,$$

$$Q_4(d_k) = 1, \text{ jinak.}$$

Průběh funkce ukazuje následující obrázek:

Obrázek 9 Preferenční funkce Q_4



Zdroj: Ramík, Perzina, 2008, s. 142

Preferenční funkce Q_5

Nadepsaná preferenční funkce slučuje vlastnosti dvou předchozích funkcí (Ramík, Perzina, 2008, s. 142).

Tedy platí, že:

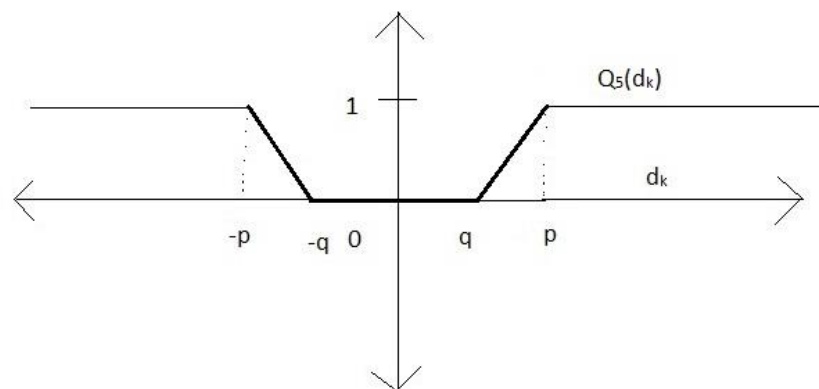
$Q_5(d_k) = 0$, jestliže $|d_k| \leq q$,

$Q_5(d_k) = \frac{|d_k| - q}{p - q}$, jestliže $q \leq |d_k| \leq p$,

$Q_5(d_k) = 1$, jinak.

Průběh funkce ukazuje obrázek níže:

Obrázek 10 Preferenční funkce Q_5



Zdroj: Ramík, Perzina, 2008, s. 142

Nyní se tedy předpokládá, že pro každou dvojici variant a_i, a_j a každé kritérium f_k je pomocí zvolené preferenční funkce Q_k stanovena hodnota preference $P_k(a_i, a_j)$ jakožto číslo z intervalu $[0,1]$ (Ramík, Perzina, 2008, s. 143).

Poté se vypočte globální preferenční index $P(a_i, a_j)$ variant a_i, a_j jako vážený součet hodnot preferencí $P_k(a_i, a_j)$ s využitím vah v_k takto (Ramík, Perzina, 2008, s. 143):

$$P(a_i, a_j) = \sum_{k=1}^m v_k P_k(a_i, a_j) \quad (14)$$

Kde v_k jsou váhy kritérií.

Pozitivní tokem F_i^+ varianty a_i , resp. **negativním tokem** F_i^- varianty a_i je potom aritmetický průměr globálních preferenčních indexů $P(a_i, a_j)$, resp. $P(a_j, a_i)$ (Ramík, Perzina, 2008, s. 143):

$$F_i^+ = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P(a_i, a_j) \quad (15)$$

$$F_i^- = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m P(a_j, a_i) \quad (16)$$

Čistým tokem F_i varianty a_i je potom rozdíl mezi pozitivním a negativním tokem (Ramík, Perzina, 2008, s. 143):

$$F_i = F_i^+ - F_i^- \quad (17)$$

Jako kompromisní varianta je pak vybrána ta s nejvyšší hodnotou čistého toku.

Metoda TOPSIS

Nadepsaná metoda vychází z požadavku, aby kompromisní varianta byla nejbližší ideální variantě (Šubrt, 2015, s.177). Tato metoda posuzuje varianty z hlediska jejich vzdálenosti od ideální a bazální varianty. Vyžaduje kardinální hodnocení variant podle jednotlivých kritérií a váhy kritérií. Postup spočívá v níže uvedených čtyřech krocích.

V **prvním** kroku se vytvoří normalizovaná kriteriální matice $\mathbf{R} = (r_{ij})$ podle vzorce (Šubrt, 2015, s.177):

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^p y_{ij}^2}} \quad (18)$$

Ve **druhém** kroku se vytvoří normalizovaná vážená kriteriální matice $\mathbf{W} = (w_{ij})$ podle vzorce (Šubrt, 2015, s.178):

$$w_{ij} = v_j r_{ij} \quad (19)$$

Dále se určí ideální varianta H s ohodnocením (h_1, \dots, h_m) a bazální varianta D s ohodnocením (d_1, \dots, d_m) vzhledem k hodnotám matice \mathbf{W} .

Ve **třetím** kroku se vypočtou vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty (Šubrt, 2015, s.178):

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - h_j)^2} \quad (20)$$

a od bazální varianty:

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^k (w_{ij} - d_j)^2} \quad (21)$$

Ve **čtvrtém** kroku se vypočtou relativní ukazatele vzdálenosti jednotlivých variant od bazální varianty podle vztahu (Šubrt, 2015, s.178):

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (22)$$

Hodnoty těchto ukazatelů se pohybují od 0 do 1 s tím, že hodnotu 0 nabývá varianta bazální a hodnotu 1 varianta ideální. Varianty se seřadí sestupně podle hodnot c_i a kompromisní varianta je pak ta, která dosahuje nejvyšší této hodnoty.

4 Praktická část práce

Cílem této kapitoly je aplikace metod výběru kompromisní varianty na problém výběru notebooku, a to metody váženého součtu, AHP, TOPSIS a PROMETHEE. K určení vah kritérií je použita Saatyho metoda. Nejprve jsou charakterizovány potřeby rozhodovatele. Poté jsou prostřednictvím definice aspirační úrovně kritérií získány varianty pěti notebooků, ze kterých jsou pak vybírány kompromisní varianty pomocí uvedených metod.

4.1 Konstrukce modelu vícekritériální analýzy variant

4.1.1 Charakteristika potřeb rozhodovatele

Rozhodovatel vybírá notebook, na kterém by šlo hrát i novější počítačové hry. S ohledem na to požaduje notebook s dedikovanou grafickou kartou. Procesor by měl být minimálně Intel Core i5 nebo i7, popřípadě AMD Ryzen 5 nebo 7. Velikost operační paměti (RAM) by měla být minimálně 8 GB. Notebook by měl být s předinstalovaným operačním systémem. Hmotnost notebooku si rozhodovatel přeje do 2 kg, aby mohl s notebookem případně pohodlně cestovat. Rozhodovatel požaduje zbrusu nový notebook, proto vyřadil z výběru notebooky repasované a předváděcí. Má možnost utratit částku do 18.000 Kč. Toto jsou tedy **aspirační úrovně kritérií**.

4.1.2 Určení kritérií a získání variant

Rozhodovatel definoval níže uvedená kritéria:

Cena vyjadřuje částku, kterou by musel rozhodovatel vynaložit k nákupu příslušného notebooku. Je vyjádřena v **korunách českých (Kč)** a je kritériem minimalizačním.

Velikost pevného disku (HDD) vyjadřuje interní kapacitu uložení souborů v příslušném notebooku. Je vyjádřena **gigabytech (GB)** a je kritériem maximalizačním.

Velikost operační paměti (RAM) vyjadřuje kapacitu paměti umožňující čtení i zápis, která je používána pro ukládání dat po dobu běhu programu. Je vyjádřena v **gigabytech (GB)** a je kritériem maximalizačním.

Hmotnost vyjadřuje celkovou hmotnost příslušného notebooku. Je vyjádřena **kilogramech (kg)** a je kritériem minimalizačním.

Paměť grafické karty (paměť GF) zásadním způsobem ovlivňuje výkonnost grafické karty. Je vyjádřena v **gigabytech (GB)** a je kritériem maximalizačním.

Rozhodovatel zadal aspirační úrovně kritérií do vyhledávače internetového srovnávače Heureka.cz, který shromažďuje data z vícero e-shopů a z celkového počtu 4045 prověřovaných notebooku získal těchto 9 variant mezi, kterými vybíral (údaje jsou aktuální k 27. 8. 2023):

Tabulka 2 Získané varianty na základě aspirační úrovně kritérií

varianta	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.004	17639	1024	16	1,7	2
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003	14989	512	16	1,7	2
ASUS X509JP-EJ044T	14990	512	8	1,9	2
Lenovo IdeaPad 3 81WB00H1CK	14390	512	8	1,7	2
HP EliteBook 850	16990	512	8	1,75	2
MSI GF63 Thin 11UC-492CZ	17990	512	16	1,86	4
MSI Thin GF63 12UCX-812XCZ	16490	512	8	1,86	4
MSI GF63 Thin 11UC-618CZ	17990	512	8	1,86	4
MSI GF63 Thin 11SC-498XIT	17950	512	8	1,86	4

Zdroj: Heureka.cz, vlastní zpracování

Jak je patrné z údajů v Tabulce 2, červeně označené varianty rozhodovatel vyřadil z další analýzy, neboť se jednalo o varianty dominované. Po této úpravě rozhodovatel získal níže uvedených 5 variant:

Tabulka 3 Získané varianty bez dominovaných variant

varianta	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.004	17639	1024	16	1,7	2
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003	14989	512	16	1,7	2
Lenovo IdeaPad 3 81WB00H1CK	14390	512	8	1,7	2
MSI GF63 Thin 11UC-492CZ	17990	512	16	1,86	4
MSI Thin GF63 12UCX-812XCZ	16490	512	8	1,86	4

Zdroj: Heureka.cz, vlastní zpracování

Rozhodovatel v dalším textu práce pracoval s těmito zkrácenými názvy notebooků:

Tabulka 4 Zkrácené názvy variant

plný název varianty	zkrácený název
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.004	Acer (004)
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003	Acer (003)
Lenovo IdeaPad 3 81WB00H1CK	Lenovo
MSI GF63 Thin 11UC-492CZ	MSI (492CZ)
MSI Thin GF63 12UCX-812XCZ	MSI (812XCZ)

Zdroj: vlastní zpracování

4.1.3 Určení vah kritérií

Váhy kritérií rozhodovatel vypočítal Saatyho metodou takto:

Tabulka 5 Saatyho matice s vypočítanými váhami kritérií

kritérium	cena	HDD	RAM	hmotnost	Paměť GF	b_i	váhy
cena	1	5	2	9	2	2,825235	0,3938
HDD	1/5	1	1/5	3	1/7	0,443421	0,0618
RAM	1/2	5	1	7	1	1,772587	0,2471
hmotnost	1/9	1/3	1/7	1	1/7	0,237513	0,0331
paměť GF	1/2	7	1	7	1	1,895978	0,2643

Zdroj: vlastní zpracování

Consistency ratio Saatyho matice $CR = 0,03728$, takže lze konstatovat, že matice je konzistentní.

4.2 Výběr kompromisní varianty pomocí vybraných metod

Rozhodovatel poté vybíral kompromisní variantu za použití metody váženého součtu, TOPSIS, AHP a PROMETHEE. Rozhodovatel tedy vybíral z pěti variant a za použití těchto vah kritérií:

Tabulka 6 Sumarizované údaje o variantách a váhy kritérií

kritérium	min	max	max	min	max
váhy	0,3938	0,0618	0,2471	0,0331	0,2643
varianta	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
Acer (004)	17639	1024	16	1,7	2
Acer (003)	14989	512	16	1,7	2
Lenovo	14390	512	8	1,7	2
MSI (492CZ)	17990	512	16	1,86	4
MSI (812XCZ)	16490	512	8	1,86	4

Zdroj: vlastní zpracování

4.2.1 Metoda váženého součtu

Z údajů z Tabulky 6 rozhodovatel odvodil ideální (H) a bazální (D) variantu takto:

Tabulka 7 Určení ideální a bazální varianty

kritérium	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
ideální v. (H)	14390	1024	16	1,7	4
bazální v. (D)	17990	512	8	1,86	2

Zdroj: vlastní zpracování

Matice R a hodnoty užítku u_i a pořadí jednotlivých variant potom vyšly následovně:

Tabulka 8 Matice R, hodnoty užítku a pořadí variant

varianta						u_i	pořadí
Acer (004)	0,0975	1	1	1	0	0,3804	5.
Acer (003)	0,833611	0	1	1	0	0,6084	1.
Lenovo	1	0	0	1	0	0,4269	4.
MSI (492CZ)	0	0	1	0	1	0,5113	2.
MSI (812XCZ)	0,416667	0	0	0	1	0,4283	3.

Zdroj: vlastní zpracování

Podle metody váženého součtu by tedy rozhodovatel vybral jako kompromisní variantu notebook Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003.

4.2.2 Metoda TOPSIS

Z údajů z Tabulky 6 rozhodovatel získal normalizovanou kriteriální matici R:

Tabulka 9 Normalizovaná kriteriální matice R

varianta	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
Acer (004)	0,482142	0,707107	0,534522	0,430563	0,301511
Acer (003)	0,409707	0,353553	0,534522	0,430563	0,301511
Lenovo	0,393334	0,353553	0,267261	0,430563	0,301511
MSI (492CZ)	0,491736	0,353553	0,534522	0,471087	0,603023
MSI (812XCZ)	0,450735	0,353553	0,267261	0,471087	0,603023

Zdroj: vlastní zpracování

a poté normalizovanou váženou kriteriální matici W:

Tabulka 10 Normalizovaná vážená kriteriální matice W

varianta	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
Acer (004)	0,189856	0,043701	0,132059	0,014253	0,079677
Acer (003)	0,161333	0,021851	0,132059	0,014253	0,079677
Lenovo	0,154885	0,021851	0,066029	0,014253	0,079677
MSI (492CZ)	0,193634	0,021851	0,132059	0,015595	0,159353
MSI (812XCZ)	0,177489	0,021851	0,066029	0,015595	0,159353

Zdroj: vlastní zpracování

Rozhodovatel poté odvodil z Tabulky 10 ideální variantu (H) a bazální variantu (D) vzhledem k hodnotám matice W takto:

Tabulka 11 Určení ideální a bazální varianty z hodnot matice W

varianta	cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
ideální v. (H)	0,154885	0,043701	0,132059	0,014253	0,159353
bazální v. (D)	0,193634	0,021851	0,066029	0,015595	0,079677

Zdroj: vlastní zpracování

A konečně, rozhodovatel vypočítal vzdálenosti od ideální varianty d_i^+ a od bazální varianty d_i^- , ze kterých poté vypočítal relativní ukazatele vzdáleností c_i jednotlivých variant od bazální varianty, které byly podkladem pro stanovení pořadí variant:

Tabulka 12 Pořadí variant pro metodu TOPSIS

varianta	d_i^+	d_i^-	c_i	pořadí
Acer (004)	0,087013	0,069666	0,4446	4.
Acer (003)	0,082870	0,073519	0,4701	3.
Lenovo	0,105763	0,038771	0,2683	5.
MSI (492CZ)	0,044505	0,103481	0,6993	1.
MSI (812XCZ)	0,073144	0,081296	0,5264	2.

Zdroj: vlastní zpracování

Metodou TOPSIS by rozhodovatel vybral jako kompromisní variantu notebook MSI GF63 Thin 11UC-492CZ.

4.2.3 Metoda AHP

Rozhodovatel postupně vytvořil Saatyho matice pro jednotlivá kritéria.

Pro kritérium cena:

Tabulka 13 Saatyho matice pro kritérium cena

varianta						b_i	r_i	v_{ij}
Acer (004)	1	1/7	1/7	1	1/3	0,368584	0,049304	0,019415
Acer (003)	7	1	1	7	5	3,004922	0,401958	0,158281
Lenovo	7	1	1	7	5	3,004922	0,401958	0,158281
MSI (492CZ)	1	1/7	1/7	1	3	0,571986	0,076512	0,030129
MSI (812XCZ)	3	1/5	1/5	1/3	1	0,525306	0,070268	0,027670

Zdroj: vlastní zpracování

Matice je konzistentní, neboť $CR=0,1$.

Pro kritérium velikost harddisku (HDD):

Tabulka 14 Saatyho matice pro kritérium harddisk (HDD)

varianta						b_i	r_i	v_{ij}
Acer (004)	1	3	3	3	3	2,408225	0,428571	0,026487
Acer (003)	1/3	1	1	1	1	0,802742	0,142857	0,008829
Lenovo	1/3	1	1	1	1	0,802742	0,142857	0,008829
MSI (492CZ)	1/3	1	1	1	1	0,802742	0,142857	0,008829
MSI (812XCZ)	1/3	1	1	1	1	0,802742	0,142857	0,008829

Zdroj: vlastní zpracování

Matice je konzistentní, neboť $CR = 0$.

Pro kritérium velikost operační paměti (RAM):

Tabulka 15 Saatyho matice pro kritérium RAM

varianta						b_i	r_i	v_{ij}
Acer (004)	1	1	7	1	7	2,177906	0,304348	0,075192
Acer (003)	1	1	7	1	7	2,177906	0,304348	0,075192
Lenovo	1/7	1/7	1	1/7	1	0,311129	0,043478	0,010742
MSI (492CZ)	1	1	7	1	7	2,177906	0,304348	0,075192
MSI (812XCZ)	1/7	1/7	1	1/7	1	0,311129	0,043478	0,010742

Zdroj: vlastní zpracování

Matice je konzistentní, neboť $CR = 0$.

Pro kritérium hmotnost:

Tabulka 16 Saatyho matice pro kritérium hmotnost

varianta						b_i	r_i	v_{ij}
Acer (004)	1	1	1	5	5	1,903654	0,294118	0,009737
Acer (003)	1	1	1	5	5	1,903654	0,294118	0,009737
Lenovo	1	1	1	5	5	1,903654	0,294118	0,009737
MSI (492CZ)	1/5	1/5	1/5	1	1	0,380731	0,058824	0,001947
MSI (812XCZ)	1/5	1/5	1/5	1	1	0,380731	0,058824	0,001947

Zdroj: vlastní zpracování

Matice je konzistentní, neboť $CR=0$.

Pro kritérium paměť grafické karty:

Tabulka 17 Saatyho matice pro kritérium paměť grafické karty

varianta						b_i	r_i	v_{ij}
Acer (004)	1	1	1	1/7	1/7	0,459157	0,058824	0,015545
Acer (003)	1	1	1	1/7	1/7	0,459157	0,058824	0,015545
Lenovo	1	1	1	1/7	1/7	0,459157	0,058824	0,015545
MSI (492CZ)	7	7	7	1	1	3,214096	0,411765	0,108812
MSI (812XCZ)	7	7	7	1	1	3,214096	0,411765	0,108812

Zdroj: vlastní zpracování

Matice je konzistentní, neboť $CR = 0$.

A konečně, součtem dílčích v_{ij} u jednotlivých variant rozhodovatel získal výsledné pořadí jednotlivých variant podle metody AHP:

Tabulka 18 Syntéza preferencí a pořadí jednotlivých variant

varianta	syntéza preferencí	pořadí
Acer (004)	0,1464	5.
Acer (003)	0,2676	1.
Lenovo	0,2031	3.
MSI (492CZ)	0,2249	2.
MSI (812XCZ)	0,1580	4.

Zdroj: vlastní zpracování

Metodou AHP by rozhodovatel vybral jako kompromisní variantu notebook Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003.

4.2.4 Metoda PROMETHEE

Rozhodovatel zvolil pro kritérium cena preferenční funkci Q_3 s tím, že práh preference si stanovil $p=1.500$, neboť všechny varianty se liší svou cenou a rozdíl v ceně ve výši 1.500 Kč a více už byl pro rozhodovatele natolik významný, že při tomto rozdílu volil absolutní preferenci dané varianty podle tohoto kritéria. Pro ostatní kritéria rozhodovatel zvolil preferenční funkci Q_1 , neboť tato kritéria nabývají vždy jen dvou hodnot.

Tabulka výsledných hodnot globálního preferenčního indexu GPI, pozitivního toku F_i^+ a negativního toku F_i^- potom vypadá následovně:

Tabulka 19 Hodnoty GPI, F_i^+ a F_i^-

varianta	Acer (004)	Acer (003)	Lenovo	MSI (492CZ)	MSI (812XCZ)	F_i^+
Acer (004)	x	0,061803	0,308863	0,187051	0,341967	0,2249
Acer (003)	0,393775	x	0,247060	0,426880	0,673939	0,4354
Lenovo	0,393775	0,157248	x	0,426880	0,426880	0,3512
MSI (492CZ)	0,264258	0,264258	0,511317	x	0,247060	0,3217
MSI (812XCZ)	0,565890	0,264258	0,264258	0,393775	x	0,3720
F_i^-	0,4044	0,1869	0,3329	0,3586	0,4225	

Zdroj: vlastní zpracování

Konečně, tabulka čistého toku F_i a tedy i výsledného pořadí variant vypadá následovně:

Tabulka 20 Hodnoty F_i a pořadí variant

varianta	F_i	pořadí
Acer (004)	-0,1795	5.
Acer (003)	0,2485	1.
Lenovo	0,0183	2.
MSI (492CZ)	-0,0369	3.
MSI (812XCZ)	-0,0504	4.

Zdroj: vlastní zpracování

Metodou PROMETHEE by rozhodovatel vybral jako kompromisní variantu notebook Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003.

5 Zhodnocení výsledků

Interpretace výsledků a výběr řešení

Výsledky použitých metod výběru kompromisní varianty lze shrnout v této tabulce:

Tabulka 21 Souhrn výsledků

pořadí dle metody				
varianta	váž. součet	AHP	TOPSIS	PROMETHEE
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.004	5.	5.	4.	5.
Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003	1.	1.	3.	1.
Lenovo IdeaPad 3 81WB00H1CK	4.	3.	5.	2.
MSI GF63 Thin 11UC-492CZ	2.	2.	1.	4.
MSI Thin GF63 12UCX-812XCZ	3.	4.	2.	3.

Zdroj: vlastní zpracování

Podle metody váženého součtu, AHP a PROMETHEE vyšel jako kompromisní varianta notebook Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003 s těmito parametry:

Tabulka 22 Parametry notebooku Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003

cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
14989	512	16	1,7	2

Zdroj: Heureka.cz, vlastní zpracování

Jenom podle metody TOPSIS vyšel jako kompromisní varianta notebook MSI GF63 Thin 11UC-492CZ s těmito parametry:

Tabulka 23 Parametry notebooku MSI GF63 Thin 11UC-492CZ

cena	HDD	RAM	hmotnost	paměť GF
17990	512	16	1,86	4

Zdroj: Heureka.cz, vlastní zpracování

Důvodem, proč podle metody TOPSIS vyšel tento notebook jako kompromisní varianta je skutečnost, že měl nejlepší hodnoty ze všech zvažovaných variant v kritériích paměť grafické karty a velikost operační paměti (RAM), přičemž tato kritéria mají souhrnnou váhu 0,5114 a dosáhl v obou těchto kritériích dvojnásobných hodnot oproti bazálním hodnotám. I když je ze všech uvažovaných variant notebooků nejdražší, tak oproti nejlevnějšímu notebooku je dražší jen o cca 25 %, tj. rozdíl není o násobek dané hodnoty jako u kritérií paměť grafické karty a velikost operační paměti (RAM).

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že metoda TOPSIS je spíše vhodná na úlohy, kde hodnoty kritérií nabývají plynule se měnících hodnot, což je v rámci této práce splněno jen u kritéria cena. Metoda TOPSIS tedy zřejmě není zcela vhodná k řešení úlohy vícekritériální analýzy variant řešené v rámci této práce.

Rozhodovatel vybral jako řešení variantu notebook **Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003**, neboť vyšel jako kompromisní varianta v rámci tří ze čtyřech aplikovaných metod, a také vzhledem k nevhodnosti použití metody TOPSIS k řešení daného problému. Oproti notebooku MSI GF63 Thin 11UC-492CZ je o cca 3.000 Kč levnější. Vybrané řešení rozhodovateli poskytuje solidní poměr „cena/výkon“.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vybrat notebook pro osobní potřebu rozhodovatele pomocí metod vícekriteriální analýzy variant dle kritérií určených rozhodovatelem. Za tímto účelem bylo nejprve nutné provést rešerši odborné literatury a získané poznatky shrnout v teoretické části práce.

V teoretické části byl popsán model vícekriteriální analýzy variant a vysvětleny jeho jednotlivé prvky. Následně byly vysvětleny metody stanovení vah kritérií, a to metoda pořadí, metoda bodovací a Saatyho metoda. Byly vysvětleny jednotlivé metody výběru kompromisní varianty. Podrobně byly popsány metody použité v praktické části práce, a to metody vyžadující aspirační úroveň kritérií a metody vyžadující kardinální informaci o preferenci kritérií: metoda váženého součtu, AHP, PROMETHEE a TOPSIS.

Na začátku praktické části práce byl stanoven profil rozhodovatele, určena a popsána kritéria a stanovena jejich požadovaná aspirační úroveň. Následně byly získány varianty, ze kterých probíhal výběr dle jednotlivých metod výběru kompromisní varianty. Stanovení vah kritérií byly provedeno prostřednictvím Saatyho metody a pomocí consistency ratio (CR) bylo zjištěno, že matice je konzistentní, a tedy ji bylo možné využít pro další výpočty. K určení kompromisní varianty byly použity čtyři metody, a to metoda váženého součtu, AHP, TOPSIS a PROMETHEE.

V poslední části byly zhodnoceny výsledky použitých metod výběru kompromisní varianty. Podle metody váženého součtu, AHP a PROMETHEE vyšel jako kompromisní varianta notebook Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003. Jenom podle metody TOPSIS vyšel jako kompromisní varianta notebook MSI GF63 Thin 11UC-492CZ. Rozhodovatel zdůvodnil, proč podle metody TOPIS vyšel jako kompromisní varianta jiný notebook než u ostatních metod. Rozhodovatel dospěl k závěru, že metoda TOPSIS je spíše vhodná na úlohy, kde hodnoty kritérií nabývají plynule se měnících hodnot a že tedy metoda TOPSIS nebyla vhodná k řešení úlohy vícekriteriální analýzy variant řešené v rámci této práce.

Na základě těchto výsledků vybral rozhodovatel notebook Acer Aspire 5 NX.AUMEC.003. Rozhodovatel je s výsledkem výběru spokojen, neboť vybrané řešení mu poskytuje solidní poměr „cena/výkon“.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že cíle práce bylo dosaženo.

Seznam použitých zdrojů

Monografie

1. FIALA, P. DLOUHÝ, M. 2006. *Základy kvantitativní ekonomie a ekonomické analýzy*. 1. vyd. Praha: Oeconomica. 165 s. ISBN 80-245-1087-1.
2. JABLONSKÝ, J. 2007. *Operační výzkum: kvantitativní modely pro ekonomické rozhodování*. 3. vyd. Praha: Professional Publishing. 323 s. ISBN 978-80-8694-644-3.
3. 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.
4. ŠUBRT, T. a kol. 2015. *Ekonomicko-matematické metody*. 2. vyd. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk. 331 s. ISBN 978-80-7380-563-0.

Články ve vědeckých časopisech

1. LAGANÀ, I. R., COLAPINTO, C. 2022. Multiple criteria decision-making in healthcare and pharmaceutical supply chain management: *A state-of-the-art review and implications for future research*. *Journal of Multiple-Criteria Decision Analysis*, 29: 122-134. <https://doi.org/10.1002/mcda.1778>.
2. MECCA, B. 2023. Assessing the sustainable development: A review of multi-criteria decision analysis for urban and architectural sustainability. *Journal of Multiple-Criteria Decision Analysis*, Early View: 1-16. <https://doi.org/10.1002/mcda.1818>.
3. SAATY, T. L. 2008. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process. *RACSAM*, 102: 251-318. <https://doi.org/10.1007/BF03191825>.
4. SINGH, M., PANT, M. 2021. A review of selected weighing methods in MCDM with a case study. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 12: 126-144. <https://doi.org/10.1007/s13198-020-01033-3>.
5. YANNIS, G., KOPSACHEILI, A., DRAGOMANOVITS, A., PETRAKI, V. 2020. State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 7: 413-431. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>