

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Srovnání metod vícekriteriálního rozhodování

Richard Götz

Bakalářská práce

2023

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Richard Götz**
Osobní číslo: **E20451**

Téma práce: **Srovnání metod vícekriteriálního rozhodování**

Téma práce anglicky:
Vedoucí práce: **Mgr. Libor Koudela, Ph.D.**
Ústav matematiky a kvantitativních metod

Zásady pro vypracování:

Cíl práce: V práci budou představeny vybrané metody vícekriteriálního rozhodování. Hlavním cílem bude ukázat na příkladu (příkladech) z podnikové praxe užití různých metod a porovnat jejich výhody a nevýhody.

Osnova:

- Rozhodovací úlohy: základní pojmy a metody.
- Vícekriteriální rozhodování. Stanovení vah kritérií.
- Metody vícekriteriálního hodnocení variant.
- Příklady využití vícekriteriálního rozhodování. Srovnání metod.

Seznam doporučené literatury:

BROŽOVÁ, H., HOUŠKA, M., ŠUBRT, T. Modely pro vícekriteriální rozhodování. Praha: Credit, 2003. ISBN 80-213-1019-7.
FIALA, Petr, Josef JABLONSKÝ a Miroslav MAŇAS. Vícekriteriální rozhodování. Praha: Vysoká škola ekonomická [Praha], 1994. ISBN 80-7079-748-7.
FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje. 2., přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 9788086929590.
RAMÍK, Jaroslav. Vícekriteriální rozhodování – analytický hierarchický proces (AHP). Karviná: Slezská univerzita, 1999. ISBN 80-7248-047-2.
TRIANTAPHYLLOU, Evangelos. Multi-criteria decision making methods: a comparative study. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers, 2000. ISBN 0-7923-6607-7.

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum:

Prohlašuji:

Práci s názvem Srovnání metod vícekritériálního rozhodování jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 29. 6. 2023

Richard Götz

Poděkování

Tímto bych rád poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Mgr. Liboru Koudelovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, trpělivost a všestrannou pomoc při zpracování mé práce.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se v první části zaměřila na pojmy rozhodování a rozhodovací proces. Dále byly představeny metody stanovení vah kritérií a byly popsány vybrané metody vícekritériálního rozhodování. Tyto metody byly dále použity při výběru vhodného služebního mobilního telefonu a vhodného místa pro novou prodejnu. Nakonec byly porovnány výsledky jednotlivých metod.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rozhodování, rozhodovací proces, vícekritériální rozhodování

TITLE

Comparison of multi-criteria decision making methods

ANNOTATION

The bachelor's thesis focused on the concepts of decision-making and the decision-making process in its first part. Furthermore, methods for determining the weights of criteria were introduced, and selected methods of multicriteria decision-making were described. These methods were then applied to the selection of an appropriate business mobile phone and a suitable location for a new store. Finally, the results of each method were compared.

KEYWORDS

Decision making, decision-making process, multi-criteria decision making

Obsah

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam zkratk	12
Úvod.....	13
1 Rozhodovací úlohy: základní pojmy a metody	14
1.1 Rozhodování.....	14
1.2 Rozhodovací proces.....	15
1.2.1 Struktura rozhodovacího procesu.....	15
1.2.2 Rozdělení rozhodovacích procesů a problémů.....	17
1.2.3 Normativní a deskriptivní teorie rozhodování.....	18
2 Vícekriteriální rozhodování. Stanovení vah kritérií	19
2.1 Prvky vícekriteriálního rozhodování	19
2.2 Kritéria.....	20
2.2.1 Dělení kritérií	20
2.3 Stanovení vah kritérií.....	20
2.3.1 Metoda pořadí	21
2.3.2 Bodovací metoda.....	21
2.3.3 Metoda Fullerova trojúhelníku.....	22
2.3.4 Saatyho metoda	23
3 Metody vícekriteriálního hodnocení variant	25
3.1 Metody s informací o aspiračních úrovních kritérií	25
3.1.1 Konjunktivní a disjunktivní metoda.....	25
3.1.2 Metoda PRIAM	27
3.2 Metody s ordinální informací o kritériích.....	28
3.2.1 Lexikografická metoda.....	28
3.2.2 Permutační metoda	29
3.2.3 Metoda ORESTE.....	30
3.3 Metody s kardinální informací o kritériích.....	32
3.3.1 Metody založené na principu maximalizace užitku	32
3.3.1.1 Metoda funkce užitku UFA (Utility Function Approach)	33
3.3.1.2 Metoda váženého součtu WSA (Weighted Sum Approach)	34
3.3.1.3 Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process)	35
3.3.2 Metody založené na principu minim	

analýza vzdálenosti od ideální varianty.....	38
3.3.2.1 Metoda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution).....	39
3.3.3 Metody vyhodnocování na základě preferenční relace	40
3.3.3.1 Metoda AGREPREF.....	40
3.3.3.2 Metoda ELECTRE I	43
4 Příklady využití vícekritériálního rozhodování. Srovnání metod	45
4.1 Výběr služebního mobilního telefonu pro vybrané zaměstnance.....	45
4.1.1 Kritéria	45
4.1.2 Varianty	46
4.1.3 Stanovení vah kritérií	49
4.1.4 Hodnocení variant	50
4.1.4.1 Metoda PRIAM	50
4.1.4.2 Metoda ORESTE.....	52
4.1.4.3 Metoda WSA	54
4.1.5 Zhodnocení použitých metod	55
4.2 Výběr vhodného místa pro novou prodejnu	56
4.2.1 Kritéria	56
4.2.2 Varianty	57
4.2.3 Stanovení vah kritérií	60
4.2.4 Hodnocení variant	62
4.2.4.1 Lexikografická metoda	62
4.2.4.2 Metoda AHP	63
4.2.4.3 Metoda TOPSIS.....	66
4.2.4.4 Metoda AGREPREF.....	67
4.2.5 Zhodnocení použitých metod	71
Závěr.....	73
Použitá literatura.....	74

Seznam obrázků

Obrázek 1: Realita, model, teorie.....	14
Obrázek 2: Fáze rozhodovacího procesu podle Simona	16
Obrázek 3: 8 fází rozhodovacího procesu	17
Obrázek 4: Lineární funkce užitku.....	34
Obrázek 5: Hierarchická struktura AHP	36

Seznam tabulek

Tabulka 1: Metoda pořadí	21
Tabulka 2: Bodovací metoda.....	21
Tabulka 3: Metoda Fullerova trojúhelníku.....	22
Tabulka 4: Bodová stupnice Saatyho metody	23
Tabulka 5: Saatyho metoda	24
Tabulka 6: Konjunktivní metoda.....	26
Tabulka 7: Lexikografická metoda	28
Tabulka 8: Ohodnocení mobilního telefonu Samsung Galaxy A14	46
Tabulka 9: Ohodnocení mobilního telefonu Sony Xperia 10.....	47
Tabulka 10: Ohodnocení mobilního telefonu Xiaomi Redmi Note S12	47
Tabulka 11: Ohodnocení mobilního telefonu iPhone 11.....	48
Tabulka 12: Ohodnocení mobilního telefonu Samsung Galaxy A34	48
Tabulka 13: Kriteriační matice	49
Tabulka 14: Saatyho matice kritérií pro výměr mobilního telefonu	49
Tabulka 15: Nultá aspirační úroveň	50
Tabulka 16: První aspirační úroveň	51
Tabulka 17: Druhá aspirační úroveň	51
Tabulka 18: Třetí aspirační úroveň	51
Tabulka 19: Pořadí podle metody PRIAM.....	52
Tabulka 20: Matice P metoda ORESTE	53
Tabulka 21: Matice D.....	53
Tabulka 22: Matice R.....	53
Tabulka 23: Pořadí podle r_i	54
Tabulka 24: Ideální a bazální varianty jednotlivých kritérií	54
Tabulka 25: Normalizovaná kriteriační matice.....	55
Tabulka 26: Pořadí variant podle metody WSA	55
Tabulka 27: Ohodnocení varianty Pardubice	58
Tabulka 28: Ohodnocení varianty Hradec Králové.....	58
Tabulka 29: Ohodnocení varianty Brno	59
Tabulka 30: Ohodnocení varianty Plzeň	59
Tabulka 31: Ohodnocení varianty Jihlava.....	60
Tabulka 32: Kriteriační matice výběr prodejny	60
Tabulka 33: Saatyho matice kritérií pro výběr prodejny.....	61
Tabulka 34: Pořadí podle lexikografické metody	62
Tabulka 35: Metoda AHP podle rozlohy prodejny	63
Tabulka 36: Metoda AHP podle ceny	64
Tabulka 37: Metoda AHP podle počtu obyvatel.....	64
Tabulka 38: Metoda AHP podle kriminality.....	65
Tabulka 39: Metoda AHP podle průměrného platu	65
Tabulka 40: Metoda AHP matice W	65
Tabulka 41: Pořadí podle metody AHP	66
Tabulka 42: Metoda TOPSIS matice R.....	66
Tabulka 43: Metoda TOPSIS matice W a určení pořadí.....	67

Tabulka 44: Stupeň preference a_i před a_j	69
Tabulka 45: Stupeň preference a_j před a_i	69
Tabulka 46: Stupeň indiference a_i a a_j	70
Tabulka 47: Metoda AGREPREF matice P	70
Tabulka 48: Metoda AGREPREF Tranzitivní matice P	70
Tabulka 49: Metoda AGREPREF pořadí variant.....	71

Seznam zkratek

PRIAM	Programme utilisant l'Intelligence Artificielle en Multicritère
UFA	Utility Function Approach
WSA	Weighted Sum Approach
AHP	Analytic Hierarchy Process
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
Kč	Česká koruna
mAh	Miliampérhodina
Mpx	Megapixel

Úvod

S rozhodováním se setkáváme každý den. Může se jednat o řešení každodenních jednoduchých problémů, které lze vyřešit pomocí logiky či intuitivně. Při složitějších rozhodnutích, která mají dlouhodobé dopady a mohou nás ovlivnit na vysoké úrovni, je zapotřebí naše možnosti zhodnotit podle faktorů, které je ovlivňují. Možnosti budeme dále označovat jako varianty a faktory, které je ovlivňují, nazveme kritéria. Při složitějších rozhodovacích procesech musíme varianty hodnotit podle více kritérií, ovlivňujících daný výsledek. Pro usnadnění těchto rozhodování byly vytvořeny modely a metody řešení ideální pro danou rozhodovací situaci.

V této bakalářské práci představíme některé z metod vícekritériálního rozhodování, které právě usnadňují rozhodování za předpokladu, že máme více variant a kritérií, podle nichž je budeme hodnotit. Tyto metody nám pomáhají najít optimální řešení dané situace a seřadit konkrétní varianty podle námi zvolených kritérií.

Cílem této práce je vysvětlit pojmy a metody spojené s rozhodovacími úlohami. Zde si vysvětlíme, co je to rozhodování a rozhodovací proces. Dále představíme pojem vícekritériálního rozhodování a prvky vícekritériálního rozhodování. Uvedeme několik metod, podle kterých lze stanovit váhy jednotlivých kritérií. Poté se seznámíme s metodami vícekritériálního hodnocení variant. Z důvodu velkého množství metod budou tyto rozděleny do tří skupin a u každé skupiny představíme několik zástupců.

Na závěr si většinu z metod, představených v této práci, ukážeme na jednom ze dvou příkladů. Pro prezentaci metod na příkladech jsme využili fiktivní firmu Obleky, a. s.. Prvním příkladem je výběr služebního mobilního telefonu pro vybrané zaměstnance. Druhým pak výběr vhodného místa pro novou prodejnu. V obou těchto příkladech se společnost snaží najít optimální variantu, která by nejvíce vyhovovala jejím požadavkům.

1 Rozhodovací úlohy: základní pojmy a metody

1.1 Rozhodování

Rozhodování je chápáno jako volba mezi dvěma nebo více variantami ze seznamu potenciálně realizovatelných variant řešení určitého problému. Vždy se snažíme vybrat variantu, která nám bude nejvíce vyhovovat a přinese maximální možný užitek v dané situaci. Důležitou oblastí rozhodování je oblast ekonomiky a řízení podniku. Správné rozhodování je potřeba ve všech částech podniku. Největší nároky jsou v tomto směru kladeny na manažery na řídicích pozicích. Platí, že čím důležitější je dané rozhodnutí, tím větší má dopad na podnik jako celek. (Fotr, 2010)

Člověk se musí rozhodovat už od počátku svojí existence. Historicky se jeho rozhodnutí týkala základních, v podstatě primitivních věcí. Postupem času se ale lidská společnost vyvinula a tím se zvýšila i složitost rozhodování. Rozhodování je dnes součástí normálního lidského života, fungování malých i velkých firem, států a celé společnosti. Při komplikovaných problémech se často rozhodnutí stávají dosti komplikovanými. Pro usnadnění těchto rozhodování byly vytvořeny modely a metody řešení ideální pro danou rozhodovací situaci. Tyto modely se často stávají mezičlánkem mezi teorií a realitou. Pomáhají nám s ověřováním našich reálných zkušeností a vytvářením teorie, která pomáhá při správném rozhodování v praxi. (Fiala, 1994)



Obrázek 1: Realita, model, teorie

Zdroj: zpracováno podle (Fiala, 1994)

Při rozhodování převážně v oblasti politiky nebo ekonomiky se většinou předpokládá, že rozhodnutí povede k výběru optimální varianty. Objasnit, co se dá v určité situaci považovat za optimální možnost, může být často velmi náročné. Různé skupiny osob mnohdy upřednostňují odlišná rozhodnutí a s nimi spojené důsledky a z tohoto důvodu se pro

posouzení stupně optimality nabízí více kritérii. K takovému střetu zájmu může docházet, i když se důsledky rozhodnutí dotýkají jenom osoby, která sama provádí výběr variant určených k realizaci.

I jedinec se někdy musí rozhodnout, jestli upřednostní svoji kariéru, volný čas nebo rodinu.

1.2 Rozhodovací proces

Rozhodovací proces lze chápat jako proces řešení problému, kdy se snažíme vybrat jedno optimální řešení z více než jedné možné varianty. (Ramík 1999)

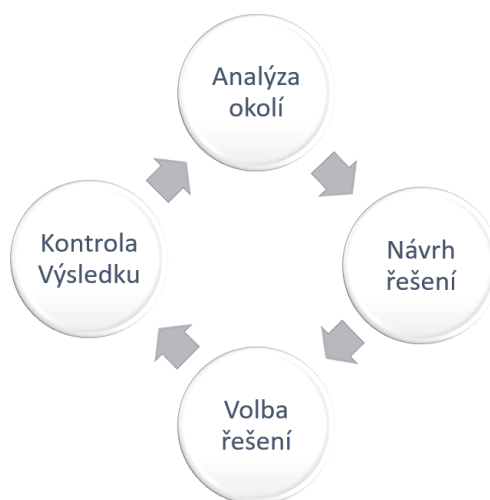
Rozhodovací proces lze řešit různými metodami. Správnou metodu vybereme na základě jeho meritorní (věcné) a formálně logické (procedurální) stránky. Meritorní stránka nám ukazuje odlišnosti rozhodovacích procesů. Na druhou stranu formálně logická stránka poukazuje na jejich společné rysy a nebere ohled na rozdílný obsah. (Fotr, 1997)

1.2.1 Struktura rozhodovacího procesu

Rozhodovací proces se skládá z několika fází, které na sebe navazují a jsou na sobě závislé. Za pomoci těchto fází je zprostředkovatel schopen strukturovat problém. Rozhodovací proces lze rozdělit více podrobněji do osmi fází anebo méně podrobněji – podle Simona - do čtyř. (Fotr 2010)

Rozdělení rozhodovacího procesu podle Simona (Fotr, 2010)

- **Analýza okolí** – zahrnuje zjišťování podmínek, které vedly k nutnosti rozhodovat, identifikaci rozhodovacího problému a stanovení příčin.
- **Návrh řešení** – jedná se především o tvorbu, vyhledávání, rozvíjení a analýzu existujících činností.
- **Volba řešení** – zahrnuje hodnocení variantních směrů činností, které byly navrženy v předchozí fázi, výsledkem je volba varianty, která je určena k realizaci
- **Kontrola výsledků** – zde se zaměřujeme na hodnocení dosažených výsledků varianty po její realizaci a následné posuzování s předem určenými cíli. Výsledkem této fáze může být nový rozhodovací proces a opakování tohoto cyklu.



Obrázek 2: Fáze rozhodovacího procesu podle Simona

Zdroj: zpracováno podle (Fotr,2010)

Podrobnější rozdělení rozhodovacího procesu do osmi fází (Fotr, 2010)

- **Identifikace rozhodovacího problému** – jedná se o první fázi rozhodovacího procesu. Je potřeba problém analyzovat, získat informace o společnosti a jejím okolí.
- **Analýza a formulace rozhodovacího problému** – v této fázi se snažíme o lepší poznání problému, je třeba stanovit příčiny vzniku problému a cíle řešení.
- **Stanovení kritérií hodnocení** – stanovíme kritéria hodnocení variant, podle kterých budeme naše varianty jednotlivě hodnotit. Kritéria hodnocení mohou být jak kvalitativní, tak kvantitativní.
- **Tvorba variant řešení rozhodovacího problému** – výsledkem této fáze je vytvoření souboru variant řešení, ze kterého následně zvolíme nejlepší variantu.
- **Určení důsledků variant** – v této fázi posuzujeme předpokládané dopady našich variant podle předem určených kritérií.
- **Hodnocení důsledků variant a výběr varianty určené k realizaci** – výsledkem této fáze je zhodnocení našich variant a volba optimální varianty, které je určena k realizaci.
- **Realizace zvolené varianty** – jedná se o praktické uskutečnění našeho rozhodnutí.
- **Kontrola výsledků realizované varianty** – jde o poslední fázi, ve které porovnáváme naše plány a stanovené cíle s reálnými výsledky zvolené varianty. Pokud dojde k velkým odchylkám mezi cíli a realitou, je zapotřebí provést potřebná opatření například zvolit jinou variantu anebo zhodnotit reálnost našich cílů.



Obrázek 3: 8 fází rozhodovacího procesu

Zdroj: zpracováno podle (Fotr, 2010)

1.2.2 Rozdělení rozhodovacích procesů a problémů

Rozhodovací procesy můžeme rozdělit více způsoby. Jednou z možností je klasifikace podle jejich složitosti na dobře strukturované rozhodovací problémy a špatně strukturované rozhodovací problémy. Další možností, jak rozhodovací procesy rozdělit, je podle míry informací na rozhodování za jistoty, rizika a nejistoty. (Fotr 2010)

Dobře strukturované rozhodovací problémy – daný problém dobře známe již z minulosti. Máme připraveny postupy, kterými tento problém řešíme. Většinou se tyto problémy řeší na operativní úrovni. Pro tyto rozhodovací problémy zpravidla platí, že proměnné lze skoro zcela kvantifikovat a mají jedno kvantitativní kritérium.

Špatně strukturované rozhodovací problémy – jedná se o problémy, které se řeší na vyšších úrovních řízení. Většinou se jedná o problémy, které jsou do jisté míry nové, neopakovatelné a závisí na větším množství faktorů. Pro řešení tohoto typu problémů je vyžadován tvůrčí přístup. Po osobě odpovědné za řešení takového problému jsou zpravidla požadovány zkušenosti a znalosti. (Fotr 2010)

Rozhodování za jistoty – v tomto případě známe přesně důsledky rozhodování. Víme, jaký stav světa nastane a jaké jsou důsledky jednotlivých variant.

Rozhodování za nejistoty – známe možné situace, které mohou nastat, ale neznáme pravděpodobnost jejich vzniku.

Rozhodování za rizika – známe možné budoucí situace, které by mohly nastat, ale na rozdíl od rozhodování za nejistoty známe pravděpodobnost jejich uskutečnění.

Je jasné že rozhodování za jistoty je nejjednodušší, protože přesně víme, jaký stav světa nastane. Rozhodování za nejistoty je naopak nejobtížnější, protože známe jenom možné situace, ale nevíme, jaká je pravděpodobnost, že nastanou. (Fotr 2010)

1.2.3 Normativní a deskriptivní teorie rozhodování

Normativní teorie – zaměřuje se na poskytování návodu, jak řešit rozhodovací problémy, jaké modely a způsoby použít. Jde především o vytvoření norem pro řešení rozhodovacího problému. Využitím těchto norem máme dosáhnout požadované kvality rozhodování.

Deskriptivní teorie – na rozdíl od normativní teorie se zabývá rozhodovacími procesy, které již proběhly. Jde o deskripci neboli o analýzu a hodnocení rozhodovacích procesů a jejich průběhu.

2 Vícekriteriální rozhodování. Stanovení vah kritérií.

V dnešní době má mnoho rozhodnutí jak na individuální, tak na podnikové úrovni vysoký stupeň závažnosti. Ať už se jedná o rozhodnutí, jak nejlépe investovat své finance nebo například kde založit novou skládku odpadu, tato rozhodnutí mají dlouhodobý dopad a je nutné jim věnovat dostatečnou pozornost. Navíc s tím souvisí potřeba vybírat optimální řešení z mnoha možností a zohlednit více než jedno kritérium. (Fiala 1994, Ramík 1999, Triantaphyllou 2000)

„Řešením vícekriteriální rozhodovací úlohy se rozumí postup, který vede k nalezení „optimálního“ stavu systému vzhledem k více než jednomu uvažovanému kritériu.“ (Ramík 1999)

Není vždy snadné určit, co je v dané rozhodovací situaci optimální. Tato otázka úzce souvisí s tím, podle jakých kritérií budeme posuzovat důsledky svých rozhodnutí. Snažíme se sami anebo ve skupině sestavit seznam důležitých kritérií pro naše rozhodování. Jakmile se nám ho podaří sestavit, tak dále potřebujeme seznam variant, z nichž budeme svoje optimální rozhodnutí vybírat. (Fiala 1994, Brožová 2003)

2.1 Prvky vícekriteriálního rozhodování

Vícekriteriální rozhodování lze rozdělit na jednotlivé prvky. Těmito prvky jsou: cíl rozhodování, subjekt a objekt rozhodování, kritéria, varianty a stavy světa.

- Cíl rozhodování – cíl rozhodování chápeme jako specifický budoucí stav, který vyplývá z potřeby plnit určité funkce nebo uspokojit naše potřeby. Cíle dosáhneme realizací jedné z možných variant rozhodování.
- Subjekt a objekt rozhodování – subjektem je jednotlivec anebo skupina lidí, která se podílí na rozhodování. Podle určitých kritérií se snaží najít optimální řešení. Objekt rozhodování naopak představuje část organizační jednotky, v níž se formuluje rozhodovací problém, varianty rozhodování, kritéria a cíl.
- Kritéria – kritéria se často určují na základě našich cílů a mohou mít různé povahy. Jedná se o určitá hlediska, podle nichž hodnotíme jednotlivé varianty.
- Varianty – variantami se rozumí prvky, které mezi sebou porovnáváme. Jde vlastně o možnosti, mezi kterými se rozhodujeme. Může se jednat například o kandidáty ucházející se o pracovní pozici.

- Stavby světa – stavy světa chápeme jako vzájemně se vylučující stavy okolí rozhodovacího procesu, které rozhodovatel nemůže ovlivnit. (Ramík 1999)

2.2 Kritéria

Každé námi zvolené kritérium slouží při rozhodování k tomu, abychom podle něj vyhodnocovali, porovnávali nebo uspořádali jednotlivé varianty. Podle povahy jednotlivého kritéria volíme, jakým postupem budeme toto porovnávání provádět. (Ramík 1999)

2.2.1 Dělení kritérií

Když vybíráme jednotlivá kritéria, tak je dobré si ujasnit, podle jakých hledisek je dělíme. Kritéria můžeme dělit podle jejich povahy na maximalizační a minimalizační a dále podle kvantifikovatelnosti na kvantitativní a kvalitativní. (Šubrt 2011)

Dělení podle povahy kritéria:

- Maximalizační kritérium – maximalizační kritérium se zakládá na tom, že varianta s nejvyšší hodnotou je pro nás nejoptimálnější variantou. Čím vyšší je hodnota určité varianty, tím je varianta výhodnější. Může se jednat o výkon automobilu nebo kvalitu produktu.
- Minimalizační kritérium – je opakem maximalizačního kritéria, zde je pro nás nejvýhodnější varianta s nejnižší hodnotou. Jedná se například o cenu. (Šubrt 2011)

Dělení podle kvantifikovatelnosti kritéria:

- Kvantitativní kritéria – jedná se o objektivně měřitelné údaje.
- Kvalitativní kritéria – tato kritéria nejde objektivně změřit. Většinou se jedná o subjektivní hodnoty, odhadnuté rozhodovatelem. U těchto kritérií se využívají stupnice nebo relativní hodnocení variant.

2.3 Stanovení vah kritérií

Váhy kritérií jsou kladná reálná čísla, vyjadřující důležitost jednotlivých kritérií při hodnocení námi zvolených variant. Čím je kritérium významnější, tím je jeho hodnota vyšší. Přesné určení vah kritérií v numerické podobě může být někdy velmi obtížné. Pro jejich stanovení lze využít více metod. Mezi ně patří například metoda pořadí, bodovací metoda, metoda Fullerova trojúhelníku a Saatyho metoda. (Talašová 2003, Fotr 1997)

2.3.1 Metoda pořadí

Jedná se o metodu často používanou v případě, kdy důležitost kritérií stanovuje větší počet expertů. K jednotlivým kritériím je přiděleno pořadí podle důležitosti, kde nejdůležitější má hodnotu 1 a nejméně důležité má stejnou hodnotu, jaká odpovídá počtu kritérií. Následně je jednotlivým kritériím přidělen počet bodů podle jejich pořadí s tím, že nejdůležitější má počet bodů odpovídající počtu kritérií, druhé nejdůležitější má o bod méně a nejméně důležité má následně jeden bod. Poté určíme váhu jednotlivých kritérií tím, že sečteme počet bodů určitého kritéria a vydělíme ho celkovým počtem bodů. Nakonec je součet všech našich kritérií roven jedné. (Šubrt 2011)

	kritéria				
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
pořadí	4	3	5	2	1
hodnoty	2	3	1	4	5
váhy	0,13	0,2	0,07	0,27	0,33

Tabulka 1: Metoda pořadí

Zdroj: zpracováno podle (Máchová 2012)

2.3.2 Bodovací metoda

Bodovací metoda přiděluje každému kritériu určitý počet bodů podle důležitosti daného kritéria. Čím více bodů danému kritériu dáme, tím je pro nás důležitější a naopak. Je zásadní předem určit horní hranici počtu bodů, které lze kritériu přidělit – například od 1 do 100. Poté, co jsme přidělili všem kritériím určitý počet bodů, váhu kritéria určíme vydělením počtu bodů daného kritéria celkovým počtem bodů všech kritérií. (Šubrt 2011)

	kritéria				
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
body	40	55	70	20	30
váhy	0,186	0,256	0,326	0,093	0,139

Tabulka 2: Bodovací metoda

Zdroj: zpracováno podle (Máchová 2012)

2.3.3 Metoda Fullerova trojúhelníku

Jedná se o jednu z nejjednodušších metod pro stanovení vah kritérií. Musíme se zde rozhodovat jen na základě toho, jaké ze dvou kritérií je pro nás důležitější. Postupně zde porovnáváme všechna kritéria mezi sebou na základě toho, které je v dané dvojici důležitější. Při aplikaci této metody používáme tabulku, která má v prvním řádku a prvním sloupci uvedená kritéria. Ta mezi sebou následně porovnáme podle důležitosti. Jestliže je pro nás důležitější kritérium v řádku, zapisujeme hodnotu 1, pokud je pro nás důležitější kritérium ve sloupci, tak zapisujeme hodnotu 0. Pokud by kritéria měla stejnou hodnotu, zapíšeme číslo 0,5. Následně zjistíme počet preferencí tím, že sečteme počet jedniček v řádku a nul ve sloupci daného kritéria. Váhy kritérií následně určíme podle vztahu:

$$v_i = \frac{f_i}{N}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

v_i : váha kritéria i

f_i : počet preferencí kritéria i

n : počet kritérií

N : počet srovnání

Při použití této metody se může stát, že nejméně důležité kritérium bude mít nula preferencí a následně váha kritéria bude také nula. Pokud se tomuto chceme vyhnout, zvýšíme počet preferencí všech kritérií o jedna. Jestliže počet preferencí zvýšíme, tak bude vztah pro zjištění váhy kritéria vypadat následovně (Šubrt, 2011, Fotr 2010):

$$v_i = \frac{f_i + 1}{n + N}, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

kritéria	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	f_i	f_{i+1}	v_i
K ₁	x	1	0	1	0	2	3	0,20
K ₂		x	0	0	0	0	1	0,07
K ₃			x	1	0	3	4	0,27
K ₄				x	0	1	2	0,13
K ₅					x	4	5	0,33
					Suma	10	15	1,00

Tabulka 3: Metoda Fullerova trojúhelníku

Zdroj: vlastní zpracování

2.3.4 Saatyho metoda

Základ této metody je stejný jako u metody Fullerova trojúhelníku. Opět vycházíme z porovnávání všech dvojic kritérií. Při použití této metody ale neurčujeme jen, jaké kritérium v dané dvojici je důležitější, ale důležitost je zde číselně určena v stupnici od 1 do 9. Pokud jsou obě kritéria ve dvojici stejně důležitá, přiřadíme této dvojici hodnotu 1. Hodnota 9 naopak vyjadřuje, že jedno kritérium je výrazně důležitější než to druhé. Jestliže je naopak jedno kritérium méně důležité než druhé, použijeme převrácenou hodnotu celých čísel. (Jablonský 2004)

bodová stupnice	verbální stupnice
1	Kritéria jsou si rovna
3	Slabá preference kritéria i před kritériem j
5	Silná preference kritéria i před kritériem j
7	Velmi silná preference kritéria i před kritériem j
9	Absolutní preference kritéria i před kritériem j
2, 4, 6, 8	Mezistupně

Tabulka 4: Bodová stupnice Saatyho metody

Zdroj: zpracováno Podle (Fiala 1994)

Informace, které jsme získali z párového porovnávání, lze následně použít pro vytvoření S matice. Této matici se také říká Saatyho matice. Při sestavování Saatyho matice je důležité vědět, že hodnoty na hlavní diagonále se vždy musí rovnat jedné. Poté, co na hlavní diagonále dosadíme hodnotu 1, začneme porovnávat kritéria na pravé části Saatyho matice a přiřadíme jim hodnoty podle bodové stupnice. Levou část získáme podle vztahu

$$s_{i,j} = \frac{1}{s_{j,i}}, \text{ pro } i \neq j \in \{1, 2, \dots, n\},$$

protože prvky, které jsou symetrické podle hlavní diagonály, mají převrácené hodnoty. Způsobů, jak získat váhy kritérií, je více. Jeden z nich spočívá v získání vah kritérií pomocí normalizovaného geometrického průměru. Zde vypočítáme hodnoty b_i jako geometrický průměr hodnot v řádcích Saatyho matice. (Jablonský 2004, Šubrt 2011)

$$b_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n s_{i,j}}$$

Následně vypočítáme váhy pomocí normalizace hodnot b_i a toho dosáhneme pomocí vzorce (Máchová 2012)

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	b_i	v_i
K ₁	1	3	5	9	3,409	0,581
K ₂	1/3	1	3	5	1,495	0,255
K ₃	1/5	1/3	1	3	0,668	0,114
K ₄	1/9	1/5	1/3	1	0,293	0,05
				Součet	5,865	1

Tabulka 5: Saatyho metoda

Zdroj: zpracováno podle (Šubrt 2011)

3 Metody vícekritériálního hodnocení variant

Z důvodu existence velkého množství metod pro hodnocení variant si tyto metody rozdělíme do tří skupin podle typu informací o kritériích, které jsou pro jejich aplikaci potřeba. Těmito třemi skupinami metod jsou metody s informací o aspiračních úrovních kritérií, metody s ordinální informací o kritériích a dále pak metody s kardinální informací o kritériích.

3.1 Metody s informací o aspiračních úrovních kritérií

Jedná se o metody, která vychází ze znalosti aspirační úrovně jednotlivých kritérií. Aspirační úroveň kritéria je hodnota, které musí dané kritérium minimálně dosáhnout, aby ho bylo možné akceptovat. Při použití těchto metod není potřeba znát důležitost jednotlivých kritérií, ale jen jejich aspirační úroveň. Kritéria mohou být jak minimalizační, tak maximalizační. Pro minimalizační kritéria platí, že jejich hodnota musí být stejná nebo nižší než hodnota aspirační úrovně. Pro maximalizační kritéria naopak platí, že jejich hodnota musí dosahovat stejné nebo vyšší hodnoty, než je hodnota aspirační úrovně. Za optimální variantu se tedy považuje ta, jejíž všechna kritéria dosahují stanovené aspirační hodnoty. Při nastavování aspiračních úrovní může dojít k problému, kdy jsou nastaveny příliš nízko a zbytečně velké množství variant splňuje námi stanovenou aspirační úroveň. V tomto případě můžeme aspirační úroveň zvýšit a znovu pokračovat v hledání naší optimální varianty. Někdy se naopak může stát, že jsme stanovili aspirační úroveň moc vysoko a žádná z našich variant ji nesplňuje. Pak je pro hledání optimální varianty zapotřebí aspirační úroveň snížit. Mezi tyto metody patří metoda konjunktivní a disjunktivní a dále také propracovanější metoda PRIAM, která využívá principů umělé inteligence. (Fiala 1991, Ramík 1999)

3.1.1 Konjunktivní a disjunktivní metoda

Při použití těchto metod je od jejich uživatele požadováno určení aspiračních úrovních kritérií y^*j , $j = 1, 2, 3, \dots, k$. Poté je možné rozdělit naše varianty z množiny variant A podle hodnot y^*j na varianty akceptovatelné a neakceptovatelné. K tomuto rozdělení variant na akceptovatelné a neakceptovatelné se používají dva různé způsoby, a to metoda konjunktivní a disjunktivní. (Fiala 1994)

Konjunktivní metoda

Tato metoda určuje za akceptovatelné varianty právě ty, jejichž všechna kritéria splňují zadané aspirační úrovně. Pro všechna maximalizační kritéria tedy platí

$y_{ij} \geq y^*j$ pro všechna $j = 1, 2, 3, \dots, k$.

Pro všechna minimalizační kritéria naopak platí

$y_{ij} \leq y^*_j$ pro všechna $j = 1, 2, 3, \dots k$.

Počet akceptovatelných variant pak závisí na určení aspiračních úrovní kritérií. Pokud hodnoty nastavíme příliš nízko, tak bude počet akceptovatelných variant rozsáhlejší a někdy může obsahovat všechny varianty z naší množiny variant A. Na druhou stranu, pokud jsou hodnoty nastaveny příliš vysoko může se stát, že žádná z našich variant nebude akceptovatelná. Z tohoto důvodu je správné nastavení aspiračních úrovní klíčové.

Konjunktivní metoda postupně mění hodnoty y^*_j a díky tomu jsme schopni nalézt variantu, která uživateli bude nejvíce vyhovovat. Při použití této metody se opakovaně střídají dvě fáze, dokud se nenajde nejvíce vyhovující neboli kompromisní varianta. V první fázi jsou uživatelem určeny aspirační úrovně kritérií $y^*_j, j = 1, 2, 3, \dots k$. Po určení aspiračních úrovní kritérií nastává druhá fáze, v níž analytik posoudí, jaké varianty jsou akceptovatelné v porovnání s těmito hodnotami. Poté uživatel posoudí akceptovatelné varianty a zvýší nebo sníží aspirační úrovně kritérií. Takto se pokračuje, dokud se nedojde k jedné kompromisní variantě viz. tabulka 6. V této tabulce si varianty označíme symbolem a (a_1, a_2, a_3, a_4) a kritéria symbolem f (f_1, f_2, f_3, f_4) (Fiala 1994, Friebelová 2007)

	f1	f2	f3	f4
a1	20	25	8	35
a2	18	30	10	40
a3	15	20	15	40
a4	10	25	12	50
y^*_1	15	20	10	35
varianty splňující první aspirační úroveň				
a2	18	30	10	40
a3	15	20	15	40
y^*_2	15	25	10	40
varianty splňující druhou aspirační úroveň				
a2	18	30	10	40

Tabulka 6: Konjunktivní metoda

Zdroj: zpracováno podle (Fiala 1994)

Disjunktční metoda

Disjunktční metoda na rozdíl od metody konjunktivní za akceptovatelné metody nevybírá varianty, jejichž všechna kritéria splňují zadané aspirační úrovně, ale varianty, které splňují zadané aspirační úrovně alespoň u jednoho kritéria. Jedná se o varianty z naší množiny variant, pro které platí

$y_{ij} \geq y^*_j$ pro alespoň jedno $j = 1, 2, 3, \dots, k$.

Při použití této metody je počet akceptovatelných variant znovu závislý na nastavení aspiračních úrovních kritérií. Znovu platí, že když hodnoty určíme moc nízké, tak bude množina akceptovatelných variant rozsáhlejší nebo rovna všem variantám z množiny variant. A na druhou stranu, když budou hodnoty nastaveny příliš vysoko, tak nemusí být akceptovatelná žádná z našich variant. Postup při použití této metody je stejný jako u metody konjunktivní. Opakují se dvě fáze, při čemž v první uživatel určí aspirační úrovně kritérií a ve druhé analytik posoudí, jaké varianty jsou akceptovatelné.

3.1.2 Metoda PRIAM

Metoda PRIAM (Programme utilisant l'Intelligence Artificielle en Multicritère) -je založena na heuristickém prohledávání množiny variant. Uživatelem je v této metodě vybrán směr, kterým prohledávání postupuje a heuristickou informací je zde přesný počet variant, které jsou pro aspirační úroveň akceptovatelné. Jak už bylo dříve zmíněno tato metoda využívá některých principů umělé inteligence. Jejím cílem je v několika krocích nalézt jedno nedominované řešení. (Fiala 1994)

Pro akceptovatelné varianty zde platí: $y_{ij} \geq z_j^s$. y_{ij} je označení hodnoty j -tého kritéria pro i -tou variantu a z_j^s je označení hodnoty aspirační úrovně j -tého kritéria v kroku s . Rozhodovatel na začátku určí první aspirační úroveň kritérií. Jedná se o aspirační úroveň v nultém kroku a zpravidla se stanovuje jako nejhorší hodnota každého sledovaného kritéria. Každá varianta je zde akceptovatelná. Do dalšího kola postupují varianty splňující aspirační úroveň. Počet variant, které tyto aspirační úrovně splnily jsou označeny číslem d . Podle hodnoty d pak rozhodovatel mění aspirační úroveň kritérií pro další krok neboli pro krok $s + 1$. Hodnota čísla d může dosáhnout tří situací. První je $d > 1$, v této situaci je třeba zpřísnit aspirační úroveň a snížit počet akceptovatelných variant. Ve druhé $d = 0$, zde neexistuje žádná přijatelná varianta a hledá se varianta nejbližší k zadané aspirační úrovni. A ve třetí $d = 1$, zde je nalezena 1 varianta označená jako kompromisní. (Friebelová 2007)

3.2 Metody s ordinální informací o kritériích

Při použití těchto metod je od uživatele požadováno uspořádání kritérií podle jejich významnosti. Ordinální informace nám neudávají, o kolik je první varianta důležitější než ta druhá, ale jen seřazení kritérií od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Mezi tyto metody se řadí metoda lexikografická, permutační a metoda ORESTE.

3.2.1 Lexikografická metoda

Řadí se mezi jednodušší metody vícekritériálního rozhodování. Varianty se zde hodnotí postupně podle jednotlivých kritérií v závislosti na jejich důležitosti. Nejprve se varianty hodnotí podle nejdůležitějšího kritéria a pokud má v tomto kritériu více variant stejnou hodnotu, tak se dále hodnotí podle druhého nejdůležitějšího kritéria. Nevýhodou této metody je, že se při hodnocení nepřihlíží k hodnotám dosaženým v dalších méně důležitých kritériích. (Fiala 1994, Ramík 1999)

Pro použití této metody je zapotřebí, aby uživatel seřadil a očísloval kritéria podle důležitosti od nejdůležitějšího po nejméně důležité $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$. Dále je nutné, aby varianty byly ohodnoceny podle kritérií v kritériální matici značené y . Pokud jsou kritéria seřazená podle důležitosti a jsou ohodnocena, tak z naší množiny variant A vytváříme podmnožinu $A^{(1)}$ obsahující varianty, které dosáhly maximální hodnoty podle nejdůležitějšího kritéria f_1 . Následně pak z množiny $A^{(1)}$ vybíráme varianty, které dosáhly maximální hodnoty podle druhého nejvýznamnějšího kritéria f_2 a vytváříme podmnožinu $A^{(2)}$. Takto pokračujeme, dokud podmnožina variant není jednoprvková. Tato varianta je označena jako optimální. Další možností je, že varianty ohodnotíme podle všech kritérií a konečná podmnožina bude obsahovat více variant. V tomto případě jsou výsledné varianty považovány za rovnocenné a jednu z nich vybereme podle nových dodatečných kritérií. (Fiala 1994)

	f_1	f_2	f_3	f_4	Všechna kritéria jsou maximalizační
a_1	4	3	5	5	$A^{(1)}$: kritérium f_1 dosahuje maxima (4) u dvou variant a_1 a a_5
a_2	3	2	5	3	
a_3	2	2	2	5	$A^{(2)}$: kritérium f_2 dosahuje svého maxima (5) na množině $A^{(1)}$ u jedné varianty a to a_5
a_4	1	2	3	4	
a_5	4	5	2	2	

Tabulka 7: Lexikografická metoda

Zdroj: Vlastní zpracování

3.2.2 Permutační metoda

Permutační metoda stejně jako lexikografická vychází z uspořádání kritérií podle jejich významnosti a má za úkol vyhledat optimální upořádání variant z množiny variant A. Jedná se o metodu, která zkoumá permutace pořadí p variant, jejichž počet je p!. Tato metoda je vhodná spíše pro rozhodování s menším počtem variant, protože například pro čtyři varianty existuje 24 permutací, ale pro šest už jich je 720. Permutační metodu lze použít, i když známe váhy kritérií, ale je vhodnější, pokud tyto váhy neznáme. (Fiala 1994)

Permutační metoda se znalostí vah kritérií

V této metodě pro všechny dvojice variant a_i a a_j určíme kritéria, pro která platí, že a_i je preferované nebo případně indiferentní k a_j . Tím nám vznikne množina kritérií, kterou značíme I_{ij} . Poté pro každou dvojici a_i a a_j stanovíme hodnotu c_{ij} podle vzorce

$$c_{ij} = \sum_{h \in I_{ij}} v_h.$$

Následně z hodnot c_{ij} vytvoříme pro každou permutaci matici C. Optimální pořadí variant pak určíme podle výrazu

$$R = \sum_{i < j} c_{ij} - \sum_{i > j} c_{ij}.$$

za optimální je považována permutace s nejvyšší hodnotou R. (Sekničková, 2013)

Permutační metoda bez znalosti vah

Zde předpokládáme že kritéria jsou seřazena podle důležitosti a musí pro ně tedy platit následující:

$$v_1 \geq v_2 \geq \dots \geq v_k$$

$$\sum_{j=1}^k v_j = 1$$

$$v_j \geq 0$$

„Optimální uspořádání je možné nalézt vyhodnocením uspořádání získaných na základě k váhových vektorů“ (Fiala 1994, s. 69)

$$(1, 0, 0, 0, \dots, 0)$$

$$\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0, 0, \dots, 0\right)$$

$$\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, \dots, 0\right)$$

$$\left(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \dots, 0\right)$$

...

$$\left(\frac{1}{k}, \frac{1}{k}, \frac{1}{k}, \frac{1}{k}, \dots, \frac{1}{k}\right)$$

Následně pro jednotlivé váhové vektory určíme optimální pořadí stejným způsobem jako v případě, kdy známe váhy kritérií. Výsledky, které získáme, nám pak ukazují, jak se mění optimální pořadí podle vah kritérií, a zároveň nám dávají možnost učinit závěr o volbě variant. (Fiala 1994)

3.2.3 Metoda ORESTE

Jedná se o metodu vyžadující ordinální informace o všech kritériích a variantách. Pro použití metody je od jejího uživatele nezbytné úplné kvaziuspořádání kritérií a úplné kvaziuspořádání variant podle jednotlivých kritérií. Je zde možné mít stejně důležitá kritéria a stejně důležité varianty. Jedná se o metodu složenou ze dvou částí a šesti kroků. První část nám určuje vzdálenost každé jednotlivé varianty podle každého kritéria od takzvaného fiktivního počátku. Poté jsou varianty uspořádány podle stanovených pravidel. V druhé části této metody jsou zjišťovány preference P, indiference I nebo nesrovnatelnosti N variant za pomoci preferenční analýzy. (Fiala 1994)

Jak už bylo řečeno, metoda se skládá z šesti kroků. První krok spočívá v kvaziuspořádání důležitosti kritérií. Tato důležitost se vyjadřuje za pomoci vektoru

$$q = (q_1, q_2, q_3, \dots, q_k)$$

Pokud jsou kritéria indiferentní, tak jsou použita průměrná pořadová čísla. Dále v prvním kroku vytvoříme matici P vyjadřující kvaziuspořádání variant podle kritérií.

$$P = (p_{ij}), i = 1, 2, 3, \dots, p, \quad j = 1, 2, 3, \dots, k.$$

Prvky P_{ij} tvoří pořadová čísla varianty a_i podle daného kritéria f_j . Pokud jsou varianty znovu indiferentní, tak je opět použito průměrné pořadové číslo.

V druhém kroku už počítáme se znalostí vektoru q a matice P a na základě toho následně vypočítáme matici vzdálenosti od takzvaného fiktivního počátku. Tuto matici vzdálenosti značíme jako $D = (d_{ij})$. Pro všechny prvky matice platí $d_{ij} = \left(\frac{(p_{ij})^r}{2} + \frac{(q_j)^r}{2} \right)^{1/r}$, r je reálné číslo a jeho hodnota se většinou pohybuje okolo 3. Ke změření vzdálenosti od fiktivního počátku se využívá Dujmovičova metrika.

Ve třetím kroku vzdálenosti d_{ij} seřadíme vzestupně a ohodnotíme pořadovým číslem, které značíme r_{ij} . Takhle získáme novou matici pořadových čísel, kterou označíme $R = (r_{ij})$. U této matice můžeme následně určit řádkové součty

$$r_i = \sum_{j=1}^k r_{ij}$$

Hodnoty r_i následně uspořádáme od nejmenší po největší, a tak získáme kvaziuspořádání variant.

Ve čtvrtém kroku z hodnot r_{ij} vypočítáme hodnoty preferenčních intenzit.

$$c_{ij} = \sum_{h \in k} (r_{jh} - r_{ih}) \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, p$$

K je množina indexů kritérií, pro něž platí, že variantu a_i preferujeme před variantou a_j . Dále v tomto kroku spočítáme maximální hodnotu, které preferenční intenzita může teoreticky dosáhnout.

$$c^{max} = k^2(p - 1)$$

Následně zde vypočítáme také normalizovanou preferenční intenzitu.

$$c_{ij}^n = \frac{c_{ij}}{c^{max}}$$

Díky těmto hodnotám můžeme identifikovat vztahy preference P , indiference I a nesrovnatelnosti N mezi našimi variantami.

Předpokládáme následující $c_{ij}^n \geq c_{ji}^n$

V předposledním pátém kroku se budeme zabývat testem indiference. Pro provedení tohoto testu musí platit dvě podmínky. První podmínkou je $c_{ij}^n \leq \alpha$. A druhou podmínkou je $c_{ij}^n - c_{ji}^n \leq \beta$. Za předpokladu že jsou obě podmínky splněny, tak jsou varianty a_i a a_j indiferentní.

V posledním šestém kroku provádíme test nesrovnatelnosti. Za předpokladu, že jsme v pátém kroku nedošli k tomu, že jsou varianty indiferentní, tak jsou varianty nesrovnatelné za předpokladu že platí $\frac{c_{ji}^n}{c_{ij}^n - c_{ji}^n} \geq \gamma$. V tomto případě a_i a a_j jsou nesrovnatelné a nejde rozhodnout o preferenci nebo o indiferenci variant. Pokud tato podmínka není splněna, tak platí, že varianta a_i je preferována před variantou a_j . (Fiala 1994, Sekničková 2013)

Výsledky preferenční analýzy do určité míry závisí na volbě hodnot α , β , γ . Z tohoto důvodu, pro ně lze určit maximální hodnoty.

$$\alpha \leq \frac{1}{2(p-1)}$$

$$\beta \leq \frac{1}{k(p-1)}$$

$$\gamma \geq \frac{k-2}{4}$$

Výsledky preferenční analýzy lze vyjádřit dvěma způsoby. Prvním způsobem je vyjádření formou matice, kde sloupce i řádky odpovídají variantám a prvky matice ukazují vztahy mezi těmito variantami. Druhý způsob, jak lze výsledky vyjádřit, je grafický. (Fiala 1994)

3.3 Metody s kardinální informací o kritériích

Jedná se o metody, pro jejichž provedení je zapotřebí znalost vah kritérií k vícekritériálnímu vyhodnocení variant. V porovnání s metodami pracujícími s informací o aspiračních úrovních kritérií a s metodami s ordinální informací o kritériích je těchto metod nejvíce. Právě z tohoto důvodu si je rozdělíme do tří skupin podle výpočetních přístupů, jež se v rámci nich využívají. Těmito třemi skupinami jsou: maximalizace užitku, princip minimalizace vzdálenosti od ideální varianty a princip vyhodnocování variant na základě preferenční relace. (Fiala 1994)

3.3.1 Metody založené na principu maximalizace užitku

Jedná se o princip založený na přidělení užitku z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$, ke každé variantě. Čím je pro nás daná varianta podle nějakého kritéria výhodnější, tím je její hodnota užitku vyšší. Celková hodnota užitku se nakonec určí agregací dílčích hodnot užitku podle vah kritérií.

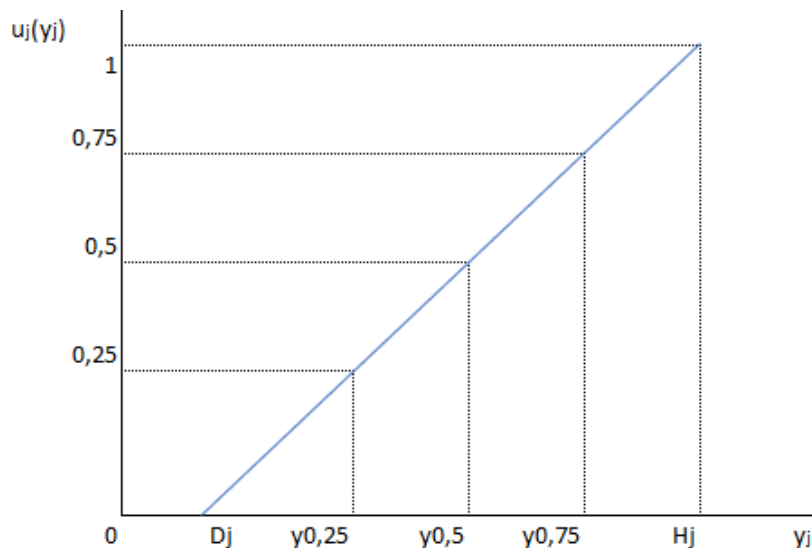
Dále v této práci budeme pracovat se třemi metodami využívajícími princip maximalizace užitku. Těmito jsou: metoda funkce užitku UFA, metoda váženého součtu WSA a metoda AHP. (Sekničková 2013)

3.3.1.1 Metoda funkce užitku UFA (Utility Function Approach)

Metoda funkce užitku přiděluje každé variantě a_i určitý užitek podle kritéria f_j . Tento užitek, kterého varianta a_i dosáhla vzhledem ke kritériu f_j , značíme jako y_{ij} . Užitek měříme pomocí dílčí funkce užitku a její hodnoty jsou v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Výhodnější varianta nám bude přinášet větší užitek, a proto dosáhne vyšší hodnoty podle dílčí funkce užitku. Ideální variantu s maximálním možným užitekem 1 podle daného kritéria si označíme H_j a nejméně preferovanou variantu s užitekem nula podle daného kritéria si označíme D_j . (Fiala 1994)

Podle preferencí uživatele může dílčí funkce užitku nabývat více tvarů. Ukážeme si tři základní typy funkce užitku. Prvním je funkce lineární. Jedná se o funkci s konstantním přírůstkem užitku. Druhým typem je konvexní funkce. U této funkce jsou přírůstky užitku u D_j menší než u H_j . Posledním typem je konkávní funkce. Zde je naopak přírůstek užitku u D_j větší než u H_j . (Sekničková 2013)

Jednou z metod pro sestavení funkce užitku podle preferencí uživatele je metoda dělicích bodů. Pro použití této metody je od uživatele požadováno, aby našel na horizontální ose (ose kritériálních hodnot) dělicí bod, který si označí jako $y^{0,5}$. Tento bod leží mezi hodnotou D_j a H_j a platí pro něj, že zvýšení kritériální hodnoty z $y^{0,5}$ na H_j přinese stejný užitek jako zvýšení kritériální hodnoty z D_j na $y^{0,5}$. Budeme počítat s tím, že tento bod má užitek 0,5. Podobně vytvoříme další body. Bod $y^{0,25}$ vytvoříme mezi bodem D_j a $y^{0,5}$ a tento bod bude mít užitek 0,25. Poslední bod $y^{0,75}$ vytvoříme dělením mezi body $y^{0,5}$ a H_j . Poté tyto body spojíme přímkami a vznikne nám lineární funkce užitku. (Fiala 1994)



Obrázek 4: Lineární funkce užitku

Zdroj: Vlastní zpracování podle (Fiala 1994)

Poté, co známe dílčí funkce užitku, tak je můžeme agregovat do jedné funkce, a to do vícekritériální funkce užitku. Tato funkce už popisuje užitek naší varianty podle všech kritérií najednou.

$$u(a_i) = u\{u_1(f_1(a_i)), \dots, u_k(f_k(a_i))\} = u\{u_1(a_i), \dots, u_k(a_i)\}$$

Častěji se ale v praxi používá aditivní funkce užitku

$$u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j u_j(f_j(a_i))$$

Při použití této funkce $u_j(f_j(a_i))$ dílčí funkce užitku jednotlivých kritérií a v_j znázorňuje váhy kritérií. Výsledek vícekritériální funkce užitku je opět v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Za optimální variantu je považována varianta, která dosáhne nejvyšší hodnoty. Časté je také uspořádání variant od nejvýhodnější po tu nejméně výhodnou.

3.3.1.2 Metoda váženého součtu WSA (Weighted Sum Approach)

Jedná se o metodu, která opět vychází z principu maximalizace užitku. Oproti metodě UFA zde ale dochází ke zjednodušení, protože předpokládá pouze lineární funkci užitku. Jedná se tedy o zjednodušenou variantu metody UFA. Při jejím použití nejdříve budeme potřebovat normalizovanou kritériální matici $R = (r_{ij})$. Tutu matici vytvoříme z původní kritériální matice $y = (y_{ij})$ použitím následujícího vzorce

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}$$

D_j nám označuje nejnižší hodnotu pro kritérium j a H_j nám označuje nejvyšší hodnotu pro kritérium j . Matice R je maticí hodnot užitku varianty i podle kritéria j . A pro tuto matici platí že dosahuje hodnot v intervalu $< 0, 1 >$ s tím, že D_j dosahuje hodnoty 0 a H_j 1. Dále při použití této metody potřebujeme znát váhy jednotlivých kritérií, které nám buď byly určeny nebo jsme je vypočítali za použití vhodné metody. Pracujeme tedy s váhami $v = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_k)$ pro k kritériích, která jsou maximalizační. Následně pak použijeme aditivní tvar vícekritériální funkce užitku a zjištění užitku varianty a_i .

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

Tuto hodnotu následně vypočítáme pro všechny varianty a za optimální vybereme variantu dosahující nejvyšší hodnoty. Výhodou této metody oproti metodě UFA je možnost výpočtu ručně bez větších problémů. (Fiala 1994, Sekničková 2013)

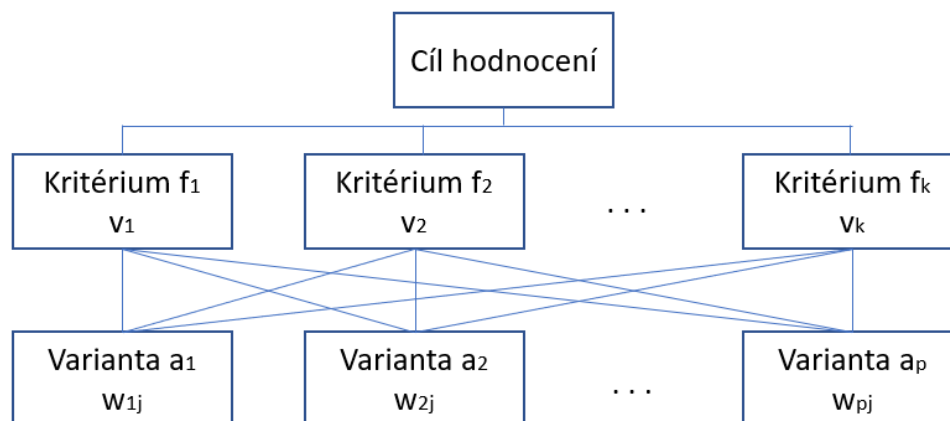
3.3.1.3 Metoda AHP (Analytic Hierarchy Process)

Metoda AHP bývá často také nazývaná Saatyho metoda podle svého autora Thomas L. Saaty. Tato metoda znázorňuje rozhodovací problém jako hierarchickou strukturu. Hierarchická struktura je lineární struktura, která obsahuje s úrovní a každá z těchto úrovní obsahuje několik prvků. Tyto úrovně jsou v hierarchické struktuře uspořádány od nejvíce obecné po nejvíce konkrétní podle jejich vztahu k danému rozhodovacímu problému. Prvky po sobě navazujících úrovní se navzájem ovlivňují. Tyto vazby mezi navazujícími prvky jsou nadřizenost a podřizenost. Nejvyšší hierarchická úroveň obsahuje jen jeden prvek definující cíle vyhodnocování. Zmíněnému prvku je přidělena hodnota 1, kterou následovně rozdělujeme mezi prvky na druhé úrovni. Toto ohodnocení prvků na druhé úrovni se následně rozděluje mezi prvky na třetí úrovni a tak pokračujeme dokud nezískáme ohodnocení prvků poslední úrovně. (Fiala 1994).

Typicky se pro úlohu vícekritériálního hodnocení variant používá hierarchie s pěti úrovněmi. Jak už bylo zmíněno první úroveň určuje cíl vyhodnocování a obsahuje jeden prvek. Druhá úroveň jsou experti, kteří se podílí na vyhodnocování a počet prvků je r . Zde hodnotíme důležitost nebo-li fundovanost expertů váhami. Třetí úroveň je ohodnocení kritérií a počet prvků je k . Pro ohodnocení těchto kritérií používáme váhy důležitosti kritérií. Předposlední čtvrtá úroveň jsou subkritéria a počet prvků zde závisí na struktuře. K hodnocení těchto

subkritérií podle jejich důležitosti používáme váhy subkritérií. Poslední pátá úroveň představuje naše varianty a počet prvků je p . Zde hodnotíme důležitost variant podle preferencí. (Sekničková 2013)

Často pro rozhodování stačí hierarchie obsahující pouze tři úrovně, a to cíl hodnocení, kritéria a varianty. Nejjednodušší hierarchie znázorňující vícekritériální hodnocení variant obsahuje k kritérií a p variant. Na první úrovni této hierarchie je jako vždy definován cíl. Cíl závisí hlavně na tom, jaká použijeme kritéria, a na tom, jakou mají důležitost. Z tohoto důvodu jsou kritéria na druhé úrovni této hierarchické struktury. Každé kritérium ohodnotíme podle intenzity vztahu k předchozí úrovni $v_j, j = 1, 2, 3, \dots, k$. Na poslední úrovni máme varianty. Uspořádání těchto variant závisí na jejich vztahu ke kritériím, podle kterých je hodnotíme. Intenzitu vztahu mezi variantou i podle kritéria j můžeme vyjádřit koeficientem $w_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, p, j = 1, 2, 3, \dots, k$. Koeficient w_{ij} můžeme označit jako preferenční index variant. (Fiala 1994)



Obrázek 5: Hierarchická struktura AHP

Zdroj: vlastní zpracování podle Fiala 1994

V hierarchii dochází k rozdělování určité počáteční intenzity. Tato počáteční hodnota celkové intenzity přidělené první úrovni se následně dělí na další úrovně. Platí, že z jakékoli úrovně na následující úroveň nemůžeme rozdělit větší množství, než jaké máme k dispozici. Pro naši hierarchii tedy musí platit následující

$$\sum_{j=1}^k v_j = 1, \sum_{i=1}^p w_{ij} = v_j, j = 1, 2, 3, \dots, k$$

Za předpokladu, že máme preferenční indexy variant a váhy kritérií, můžeme vypočítat globální preferenční index variant následovně

$$u(a_i) \sum_{j=1}^k w_{ij}.$$

Tyto indexy můžeme popsat jako podíl varianty i na celkové počáteční intenzitě, kterou jsme přidělili první úrovni naší hierarchie.

Při použití metody AHP je od uživatele zapotřebí, aby odvodil intenzitu vztahů mezi jednotlivými prvky. Od uživatele ale není vyžadováno přesné zadání hodnot intenzity (váhy kritérií a preferenčních indexů variant). Místo toho jsou od něj požadovány informace o vzájemném vztahu všech dvojic kritérií a následně se z těchto informací váhy kritérií odvozují. Uživatel takto vyjadřuje své preference na každé úrovni hierarchie a sestavuje na ní matici párových porovnání. Tato matice obsahuje prvky vyjadřující vzájemný poměr preferencí mezi dvojicemi prvků dané úrovně. Uživatel přiřazuje dvojici hodnoty následovně.

1 – posuzované prvky jsou pro uživatele stejně důležité

3 – jeden prvek je o něco důležitější než ten druhý

5 – jeden prvek je výrazně důležitější než ten druhý

7 – jeden prvek je velmi výrazně důležitější než ten druhý

9 – jeden prvek je absolutně důležitější než ten druhý

Vedle těchto pěti stupnic má uživatel možnost využít i mezistupně 2, 4, 6, 8.

Matice párových porovnání je sestavována na každé hierarchické úrovni. Tyto matice mají rozměr $k_i \times k_i$, při čemž k_i je počet prvků na hierarchické úrovni i . V každé úrovni se sestavuje tolik matic párového porovnání, kolik je prvků na předcházející úrovni. Vzhledem k velkému počtu porovnávání není metoda vhodná pro velmi rozsáhlé úlohy.

Za předpokladu, že nám uživatel sestavil matici párových porovnání $S = (s_{ij})$ pro určitou úroveň obsahující prvky $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$, tak stále musíme z této matice získat váhy nebo-li preferenční indexy prvků této matice. Vektor těchto hodnot označíme $v = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_k)$.

Matice S obsahuje hodnoty reprezentující vztahy dvojic prvků. Prvky této matice zaznamenávají poměr důležitosti prvků f_i a f_j a z toho nám vycházejí následující vlastnosti prvků matice. První vlastnost spočívá v tom, že prvky na diagonále s_{ii} mají hodnotu 1. Druhou vlastností je $s_{ij} = 1/s_{ji}$. (Fiala 1994)

Pro získání prvků vektoru v s použitím informací v matici S použijeme následujících 5 kroků. Prvním krokem bylo sestavení matice párového porovnání. V druhém kroku vypočítáme pro každé i hodnotu s_i podle následujícího vzorce

$$s_i \prod_{j=1}^k s_{ij}.$$

Následně ve třetím kroku vypočítáme pro každé i hodnotu $R_i = (s_i)^{1/k}$. Ve čtvrtém kroku vypočítáme

$$\sum_{i=1}^k R_i.$$

A nakonec v posledním pátém kroku vypočítáme hodnotu v za pomoci vztahu

$$u_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^k R_i}.$$

Tuto metodu nejdříve použijeme na druhou úroveň a získáme váhy jednotlivých kritérií neboli váhový vektor $v = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_k)$. Následně použijeme první kritérium a všechny varianty srovnáme podle daného kritéria a vyplníme takto matici párového porovnání S . Poté použijeme stejný postup, jako jsme využili pro získání vah kritérií, a dostaneme váhový vektor, který následně bude tvořit první sloupec matice vah W . Postup budeme opakovat pro všechna kritéria s tím, že váhový vektor podle druhého kritéria bude tvořit druhý sloupec matice vah W , třetí bude tvořit třetí sloupec a tak dále u všech kritérií. Výsledkem je pro uživatele váhový vektor v a matice vah W . Za pomoci těchto informací můžeme vypočítat agregovanou váhu pro všechny varianty. Využijeme vážený součet v jednotlivých řádků.

$$w_i = \sum_{j=1}^k v_j w_{ij}$$

Poté co vypočítáme agregovanou váhu všech variant, tak za optimální variantu určíme variantu dosahující nejvyšší hodnoty. (Sekničková 2013)

3.3.2 Metody založené na principu minimalizace vzdálenosti od ideální varianty

Jedná se o princip, který má za úkol najít variantu nejbližší k ideální variantě podle určité metriky. Ideální varianta je varianta dosahující nejlepších hodnot podle všech kritérií.

Většinou se jedná jen o hypotetickou variantu, která není obsažena v množině variant A. Mezi varianty využívající tento princip patří například metoda TOPSIS, kterou si dále představíme.

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

Pro využití metody TOPSIS jsou od uživatele vyžadovány údaje o kritériálních hodnotách jednotlivých variant a váhy kritérií. Díky těmto informacím nám pak metoda umožňuje úplné uspořádání všech variant z množiny variant a díky tomu i možnost určit nejvýhodnější variantu. Jak už bylo řečeno, metoda se zakládá na výběru varianty nejbližší k hypotetické ideální variantě, kterou dále bude reprezentovat vektor $(H_1, H_2, H_3, \dots, H_k)$. Zároveň je tato varianta nejvzdálenější od nejhorší bazální varianty, kterou bude reprezentovat vektor $(D_1, D_2, D_3, \dots, D_k)$. (Fiala 1994)

Při použití této varianty si ze začátku vytvoříme kritériální matici $Y = (y_{ij})$. V této matici je hodnota varianty i hodnocena podle kritéria j . Následně kritériální matici Y převedeme na normalizovanou kritériální matici $R = (r_{ij})$, využitím následujícího vzorce

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

Díky normalizaci představují sloupce matice R vektory jednotkové délky a jsou vzájemně porovnatelné. Poté vytvoříme váženou kritériální matici W . Matici W vytvoříme vynásobením každého j -tého sloupce matice R odpovídající vahou v_j .

$$w_{ij} = v_j r_{ij}$$

Následně v každém sloupci j této matice W najdeme nejvyšší hodnotu a označíme ji jako H_j následně najdeme i nejnižší hodnotu a označíme ji D_j . Nyní můžeme určit vzdálenost od ideální varianty pro každou z našich variant pomocí vztahu

$$d_i^+ = \left(\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2 \right)^{1/2}$$

Následně vypočítáme i vzdálenost od bazální varianty pomocí vztahu

$$d_i^- = \left(\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2 \right)^{1/2}$$

Nejvýhodnější variantu pak můžeme určit dvěma způsoby. Prvním je podle relativního ukazatele vzdálenosti variant od bazální varianty a druhým způsobem je vybrat nejvýhodnější variantu podle relativního ukazatele variant od ideální varianty. My si zde ukážeme vzorec pro první způsob. Nejvýhodnější variantu tedy získáme podle relativního ukazatele vzdálenosti variant od bazální varianty s využitím vzorce:

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$$

Výsledné hodnoty tohoto ukazatele se pohybují v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Hodnota 0 vychází pro nejhorší bazální variantu a hodnota 1 odpovídá ideální variantě. Jako nejvýhodnější variantu tedy vybereme variantu dosahující nejvyšší hodnoty. Uspořádáním všech variant podle hodnot od nejvyšší po nejnižší dostaneme úplné uspořádání variant. (Sekničková 2013)

3.3.3 Metody vyhodnocování na základě preferenční relace

Jedná se o skupinu metod založenou na vyhodnocování podle preferenční relace. Tyto metody tedy vycházejí z relace neboli vztahu mezi variantami podle stanovených kritérií. Tuto relaci mezi variantami a_i a a_j podle kritéria h označujeme $a_i R_h a_j$. V podstatě se v těchto metodách porovnávají stupně preference, indiference a nesrovnatelnosti s prahovými hodnotami.

Následně celková párová relace závisí na hodnotě prahu, protože pro různé prahové hodnoty získáváme také různé relace. Pokud měníme tyto prahové hodnoty, tak můžeme testovat jak citlivost problému tak i jeho řešení. Mezi metody spadající do této skupiny patří metoda AGREPREF, metoda MAPPAC a dále třída metod ELECTRE a třída metod PROMETHEE. Dále si v této práci ukážeme metodu AFREPREF a metodu ELECTRES I., která spadá do třídy metod ELECTRE. Společnou výhodou těchto metod je, že zde není vyžadována normalizace matice. Způsob normalizace může někdy ovlivnit výsledek metody a s tím spojenou volbu varianty. (Sekničková 2013)

3.3.3.1 Metoda AGREPREF

Jedná se o metodu využívanou pro úlohy vícekritériálního hodnocení za předpokladu, že známe množinu variant $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_p)$, soustavu kritérií $f_1, f_2, f_3, \dots, f_k$ a máme relativní důležitost kritérií ohodnocenou váhovým vektorem $v = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_k)$. Následně seskupíme kritéria pro dvojici variant a_i a a_j podle preferencí do tří indexních množin.

První bude obsahovat kritéria, která preferují variantu a_i před variantou a_j a tuto množinu budeme označovat I_{ij} .

Druhá bude obsahovat kritéria preferující variantu a_j před variantou a_i a množinu označíme jako I_{ji} .

Poslední třetí množina obsahuje kritéria, pro která jsou varianty a_i a a_j rovnocenné nebo-li indiferentní a množinu označíme jako I_{i-j} .

Následně z indexních množin, které jsme získali, můžeme určit stupeň preference a indiference. Stupeň preference varianty a_i před variantou a_j označíme jako s_{ij} a nabývá hodnoty od 0 do 1. Napřed určíme stupeň preference varianty a_i před variantou a_j tak, že sečteme váhy všech kritérií, které zahrnuje index množiny I_{ij}

$$s_{ij} = \sum_{h \in I_{ij}} v_h.$$

Dále určíme stupeň preference varianty a_j před variantou a_i sečtením vah všech kritérií, které zahrnuje index množiny I_{ji}

$$s_{ji} = \sum_{h \in I_{ji}} v_h.$$

Jako poslední určíme stupeň indiference varianty a_i a varianty a_j , tím že sečteme váhy všech kritérií, které zahrnuje index množiny I_{i-j}

$$s_{i-j} = \sum_{h \in I_{i-j}} v_h.$$

Vždy bude platit $s_{ij} + s_{ji} + s_{i-j} = 1$.

Následně získáme výslednou preferenční relaci $R = (P, I, N)$, kde P znamená preference, I indiference a N nesrovnatelnost. Za pomoci této relace R pak můžeme varianty uspořádat. Pro získání preferenční relace využijeme pravidlo většiny. Pravidlo většiny nám říká, že pokud $s_{ij} > s_{ji}$, tak je varianta a_i preferována před variantou a_j a to označíme $a_i P a_j$. Pravidlo lze použít i obráceně. Pokud $s_{i-j} = 1$ nebo $s_{ij} = s_{ji}$, tak jsou varianty a_i a a_j indiferentní. Metoda AGREPREF toto pravidlo většiny dále zobecňuje a používá dva prahy citlivosti. Práh

indiference α , který nám říká, jak velký musí být stupeň indiference, abychom mohli variantu a_i a a_j považovat za indiferentní.

$$s_{i-j} \geq \alpha \Rightarrow a_i I a_j$$

Druhým prahem je práh preference β , který nám určuje minimální velikost rozdílu mezi stupni preference a_i a a_j , abychom mohli určit preferenci.

$$s_{ij} - s_{ji} > \beta \Rightarrow a_i P a_j$$

Hodnoty obou prahů musí být z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Za použití této metody ale získáme pouze neúplnou preferenční relaci a nemusí být vždy tranzitivní. Z toho vyplývá, že tuto relaci musíme aproximovat relací semiuspořádání. Relace semiuspořádání je alespoň kvazitransitivní. Relaci preference P lze znázornit dvěma způsoby, první je grafický a druhý za pomoci matice preference P . Při použití matice jsou prvky této matice P definovány následovně

$p_{ij} = 1$ pokud je a_i preferováno před a_j

$p_{ij} = 0$ pokud a_i není preferováno před a_j .

Následně musíme zjistit tranzitivnost relace P . Pro zjištění tranzitivnosti sestrojíme tranzitivní uzávěr. To znamená, že v matici P změněme některé hodnoty z 0 na 1 tak, aby v matici platilo následující $p_{hi} = p_{ij} = 1$ a z toho vycházející $p_{hj} = 1$. Naším cílem je získat po uspořádání sloupců a řádků tvar matice P , ve kterém by platilo, že prvky s hodnotou 1 by byly pouze v horní trojúhelníkové matici a byly by odděleny schodovitou hranicí od prvků s hodnotou 0. K tomuto zmíněnému uspořádání využijeme hodnoty d_h , které nám udávají rozdíl mezi počtem variant, před nimiž je daná varianta preferována a počtem variant, které jsou preferovány před touto variantou. Hodnoty d_h vypočítáme následovně

$$d_h = d_h^+ - d_h^-$$

d_h^+ je počet variant, před kterými je varianta a_h preferována, d_h^- je počet variant, které jsou před variantou a_h preferovány. Za předpokladu, že máme hodnoty d_h , tak se uspořádáním řádků a sloupců podle klesajících hodnot d_h přiblížíme k požadovanému tvaru matice P . Při tomto uspořádání matice nejdříve seřadíme řádky a následně sloupce proházíme, aby měly stejné pořadí jako řádky. Pokud jeden z prvků na diagonále nebo pod diagonálou je roven 1, tak graf tranzitivního uzávěru obsahuje cyklus a musíme tyto hodnoty nahradit 0. Dalším problémem, který zde může nastat, je, že hranice mezi oblastí obsahující jedničky a oblastí

obsahující nuly není schodovitá. Poté musíme měnit hodnoty v 0 a 1 v zóně neurčitosti. Pro tuto změnu v zóně neurčitosti existují pomocné procedury, kterými se nebudeme dále zabývat. Výsledným uspořádáním dostaneme požadovaný tvar matice P. Tato matice je maticí semiuspořádání. Hodnoty d_h nám udávají kvaziuspořádání variant. (Fiala 1994, Sekničková 2013)

3.3.3.2 Metoda ELECTRE I.

Jedná se o metodu spadající do třídy metod ELECTRE. Tato třída metod patří mezi nejznámější metody vícekritériálního rozhodování. Jejím cílem je rozdělit všechny varianty do dvou indifferenčních tříd nebo-li rozdělit metody na efektivní a neefektivní. Předpokladem pro využití metody ELECTRE I. je znalost kritériální matice a vektoru normalizovaných vah. Následně budeme označovat ohodnocení varianty a_i podle kritéria f_h jako y_{ih} . Poté vytvoříme množinu obsahující indexy kritérií, podle kterých je varianta a_i výhodnější nebo alespoň na stejné úrovni jako varianta a_j

$$C_{ij} = \{h; y_{ih} \geq y_{jh}\}$$

Následně vytvoříme množinu obsahující indexy kritérií, podle nichž je varianta a_i horší než varianta a_j

$$D_{ij} = \{h; y_{ih} < y_{jh}\}$$

Vytvořili jsme dvě množiny, které nemají společný průnik, a jejich sloučením vytvoříme množinu indexů všech kritérií.

Poté díky množině C_{ij} a zadanému vektoru vah můžeme pro každou dvojici variant určit součet vah kritérií, podle nichž je varianta a_i lepší nebo stejně výhodná jako varianta a_j

$$c_{ij} = \sum_{h \in C_{ij}} v_h.$$

Hodnota c_{ij} nám následovně určuje stupeň preference varianty a_i před variantou a_j a tato hodnota se nachází v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Následně použijeme hodnotu D_{ij} ke zjištění stupně dispreference varianty a_i a a_j . Stupeň dispreference označíme d_{ij} a zjistíme následovně

$d_{ij} = 0$, pokud D_{ij} je prázdná

$$d_{ij} = \frac{\max_{h \in D_{ij}} |y_{ih} - y_{jh}|}{\max_h |y_{ih} - y_{jh}|}, \text{ jinak}$$

Hodnota $d_{ij} \in \langle 0,1 \rangle$

Stejně jako u řady dalších metod je i zde zapotřebí určit prahové hodnoty, a to práh preference c^* a práh dispreference d^* . Poté můžeme říct, že varianta a_i je preferovaná před variantou a_j , pokud platí $c_{ij} \geq c^*$ a $d_{ij} \leq d^*$. Tyto párové preference následně použijeme k vytvoření matice $P = (p_{ij})$

$p_{ij} = 1$ pokud je varianta a_i preferována před variantou a_j

$p_{ij} = 0$ pokud varianta a_i není preferovaná před variantou a_j .

Varianty pak rozdělíme na efektivní a neefektivní podle následujícího pravidla. Efektivní varianty jsou varianty, ke kterým podle celkové preferenční relace neexistuje žádná preferující varianta a jsou preferovány před alespoň jednou variantou. Varianty, co nesplňují tohle pravidlo, jsou označeny jako neefektivní. Množinu efektivních variant označíme jako E a množinu neefektivních jako N . Nejvýhodnější variantu pak můžeme najít postupnými změnami prahů, dokud nenajdeme jednoprvkovou množinu efektivních variant. (Fiala 1994, Sekničková 2013)

4 Příklady využití vícekriteriálního rozhodování. Srovnání metod

V této části se budeme věnovat využití vícekriteriálního rozhodování v praxi. Pro znázornění metod, které jsou představené v minulých kapitolách, použijeme fiktivní firmu Obleky, a. s.. Jedná se o českou firmu, specializovanou na prodej pánských obleků. Na této společnosti si ukážeme dva příklady využití vícekriteriálního rozhodování. Prvním příkladem bude výběr služebního mobilního telefonu pro vybrané zaměstnance. Druhým příkladem pak výběr místa pro novou prodejnu.

4.1 Výběr služebního mobilního telefonu pro vybrané zaměstnance

Ředitel společnosti se rozhodl klíčovými zaměstnancům obstarat služební mobilní telefon a jeho hlavním cílem je vybrat správný typ, který by vyhovoval zaměstnancům a na jehož pořízení by byly použity odpovídající zdroje. Nebude tedy vybírat nutně nejlevnější variantu, ale variantu odpovídající potřebám zaměstnanců, dostupnou za přiměřenou cenu.

4.1.1 Kritéria

Nejprve si musíme určit kritéria, podle nichž se v tomto příkladu budeme rozhodovat. Ředitel společnosti určil pět kritérií, která jsou podle něj pro tento rozhodovací proces důležitá.

K₁ cena

Prvním kritériem je cena mobilního telefonu. Cena bude určena v korunách. Ceny mobilních telefonů bereme z průměrných cen z více internetových stránek. Jedná se o nejdůležitější kritérium, které bude mít následně i největší váhu při výběru vhodné varianty. Cenu se budeme snažit minimalizovat. Maximální přípustná cena je 15 000 Kč.

K₂ kapacita baterie

Jedná se o kritérium, které nám určuje velikost baterie a s tím spojenou dobu, jak dlouho vydrží baterie pohánět mobilní telefon. Tato hodnota bude určena v mAh. Jedná se pro nás o středně důležité kritérium. Čím déle mobilní telefon vydrží zapnutý, tím pro nás lépe a proto se jedná o maximalizační kritérium.

K₃ výkon telefonu

Třetím kritériem je pro nás samotný výkon telefonu. K určení hodnoty pro výkon telefonu budeme používat stránku Antutu.cz. Jedná se o webovou stránku, která pro nás ohodnotí výkon vybraných mobilních telefonů. Vzhledem k tomu, že telefony budeme používat pro

pracovní účely, není tento parametr tak důležitý jako cena, ale i tak jde o důležité kritérium. Jedná se o maximalizační kritérium.

K4 fotoaparát

Jedná se o kritérium hodnotícím rozlišení fotoaparátu telefonu udávané v mega pixelech. Jedná se opět o maximalizační kritérium, které je pro nás ze všech kritérií nejméně důležité.

K5 velikost displeje

Poslední kritérium, které budeme používat, je velikost displeje. Toto kritérium nám určuje úhlopříčku displeje měřenou v palcích. Jedná se o maximalizační kritérium s tím, že maximální přijatelná hodnota pro nás je 7 palců, protože pak je pro naše účely zařízení zbytečně velké. Toto kritérium je pro nás méně důležité.

4.1.2 Varianty

Budeme pracovat s množinou variant pěti mobilních telefonů, které jsme vyhledali na internetovém obchodu Alza.cz. Každá z našich variant má tabulku s přidělenými hodnotami k vybraným kritériím, použitými ze stránek alza.cz a antutu.cz.

V1 Samsung Galaxy A14 5G

Jedná se o mobilní telefon od značky Samsung. Jeho cena se pohybuje okolo pěti tisíc a je to naše nejlevnější varianta.

Samsung Galaxy A14 5G	
cena	4 990 Kč
výdrž baterie	5000 mAh
výkon telefonu	412 200 bodů
fotoaparát	50 Mpx
velikost displeje	6,6 palců

Tabulka 8: Ohodnocení mobilního telefonu Samsung Galaxy A14

Zdroj: Vlastní zpracování

(Antut.cz, Samsung Galaxy A14)

V2 Sony Xperia 10 IV 5G

Naší druhou variantou je mobilní telefon od značky Sony. Cena se pohybuje okolo deseti tisíc a je pro nás spíše dražší variantou.

Sony Xperia 10 IV 5G	
cena	9 900 Kč
výdrž baterie	5000 mAh
výkon telefonu	389 000 bodů
fotoaparát	12 Mpx
velikost displeje	6 palců

Tabulka 9: Ohodnocení mobilního telefonu Sony Xperia 10

Zdroj: Vlastní zpracování

(Antut.cz, Sony Xperia 10 IV)

V₃ Xiaomi Redmi Note S12

Další variantou je mobilní telefon od značky Xiaomi. Jedná se v porovnání s ostatními spíše o levnější variantu. Cena tohoto zařízení se pohybuje okolo šesti tisíc.

Xiaomi Redmi Note S12	
cena	5 990 Kč
výdrž baterie	5000 mAh
výkon telefonu	302 877 bodů
fotoaparát	108 Mpx
velikost displeje	6,43 palců

Tabulka 10: Ohodnocení mobilního telefonu Xiaomi Redmi Note S12

Zdroj: Vlastní zpracování

(Antut.cz Xiaomi Redmi Note)

V₄ iPhone 11

Čtvrtou variantou je mobilní telefon od značky Apple. Tato varianta je z našich možností tou nejdražší s cenou okolo čtrnácti tisíc.

iPhone 11	
cena	13 990 Kč
výdrž baterie	3110 mAh
výkon telefonu	617 573 bodů
fotoaparát	12 Mpx
velikost displeje	6,1 palců

Tabulka 11: Ohodnocení mobilního telefonu iPhone 11

Zdroj: Vlastní zpracování

(Antut.cz, iPhone 11)

V5 Samsung Galaxy A34 5G

Poslední naší možností je mobilní telefon od značky Samsung. Jeho cena se pohybuje mezi osmi a devíti tisíci.

Samsung Galaxy A34 5G	
cena	8 539 Kč
výdrž baterie	5000 mAh
výkon telefonu	538 000 bodů
fotoaparát	48 Mpx
velikost displeje	6,6 palců

Tabulka 12: Ohodnocení mobilního telefonu Samsung Galaxy A34

Zdroj: Vlastní zpracování

(Antut.cz, Samsung Galaxy A34)

Poté co jsme si stanovili kritéria a představili naše varianty, si sestavíme kritériální matici s našimi variantami mobilních telefonů, které budeme hodnotit podle stanovených kritérií.

	cena	výdrž baterie	výkon telefonu	fotoaparát	velikost displeje
Samsung Galaxy A14 5G	4 990	5 000	412 200	50	6,6
Sony Xperia 10 IV 5G	9 900	5 000	389 000	12	6
Xiaomi Redmi Note S12	5 900	5 000	302 877	108	6,43
iPhone 11	13 990	3 110	617 573	12	6,1
Samsung Galaxy A34 5G	8 539	5 000	538 000	48	6,6

Tabulka 13: Kriteriační matice

Zdroj: Vlastní zpracování

4.1.3 Stanovení vah kritérií

V této části si určíme váhy jednotlivých kritérií za pomoci Saatyho metody. Pro použití této metody je zapotřebí uspořádání kritérií od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Toto uspořádání poskytl ředitel společnosti. Následně pro stanovení vah jednotlivých kritérií sestavíme Saatyho matici, v níž určíme preference a jejich velikost podle devíti bodové stupnice, kterou jsme si představili dříve v této práci. Poté vypočítáme geometrický průměr řádků b_i a nakonec vypočítáme normované váhy v_i .

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	b _i	v ₁
K ₁	1	5	3	9	7	3,94	0,51
K ₂	1/5	1	1/3	5	3	1,00	0,13
K ₃	1/3	3	1	7	5	2,04	0,26
K ₄	1/9	1/5	1/7	1	1/3	0,25	0,03
K ₅	1/7	1/3	1/5	3	1	0,49	0,06
suma						7,72	1,00

Tabulka 14: Saatyho matice kritérií pro výměr mobilního telefonu

Zdroj: Vlastní zpracování

Geometrický průměr b_i jsme u jednotlivých kritérií vypočítali následovně:

$$K_1 \quad b_1 = \sqrt[5]{(1 * 5 * 3 * 9 * 7)}$$

$$K_2 \quad b_2 = \sqrt[5]{(1/5 * 1 * 1/3 * 5 * 3)}$$

$$K_3 \quad b_3 = \sqrt[5]{(1/3 * 3 * 1 * 7 * 5)}$$

$$K_4 \quad b_4 = \sqrt[5]{(1/9 * 1/5 * 1/7 * 1 * 1/3)}$$

$$K_5 \quad b_5 = \sqrt[5]{(1/7 * 1/3 * 1/5 * 3 * 1)}$$

Váhy v_i jednotlivých kritérií vypočítáme následovně:

$$K_1 \quad v_1 = 3,97/7,72$$

$$K_2 \quad v_2 = 1/7,72$$

$$K_3 \quad v_3 = 2,04/7,72$$

$$K_4 \quad v_4 = 0,25/7,72$$

$$K_5 \quad v_5 = 0,49/7,72$$

Po určení vah jednotlivých kritérií je vidět, že pro společnost je jednoznačně nejdůležitější první kritérium tedy cena mobilního telefonu. Dalším důležitým kritériem je výkon a kapacita baterie. Zbývá dvě kritéria jsou pro ředitele méně důležité.

4.1.4 Hodnocení variant

Poté, co jsme si určili váhy jednotlivých kritérií, můžeme postoupit k hodnocení našich variant. K ohodnocení variant použijeme nejprve metodu s informací o aspiračních úrovních. Z důvodu, že se jedná o pro firmu méně důležité rozhodování, napřed použijeme metodu, která nebere v úvahu váhy kritérií. Zde se nám nabízí použít konjunktivní a disjunktivní metodu, ale je třeba mít na paměti, že tyto metody nejsou vhodné k vytvoření pořadí metod. Dokáží o variantě vypovědět, zda je akceptovatelná nebo neakceptovatelná. Místo toho využijeme metodu PRIAM. Jedná se o metodu, která také pracuje s aspiračními úrovněmi, ale pro toto rozhodování nám bude lépe vyhovovat.

4.1.4.1 Metoda PRIAM

Při použití této metody musíme zvolit s aspiračních úrovní pro každé kritérium. První nebo-li nulté aspirační úrovní je rovna takzvaná bazální varianta. Následně budeme měnit hodnoty aspiračních úrovní, dokud nenajdeme vhodnou variantu. Napřed si tedy určíme první nultou aspirační úroveň.

s	z1	z2	z3	z4	z5
0	13 990	3 110	302 877	12,00	6,00

Tabulka 15: Nultá aspirační úroveň

Zdroj: Vlastní zpracování

Zde naše hodnoty odpovídají bazálním hodnotám a všechny varianty nám vyhovují nebo-li $d = 5$. Proto budeme zpřísňovat aspirační úrovně

Následně určíme první aspirační úroveň.

s	z1	z2	z3	z4	z5
1	11 000	3 500	350 000	20	6,1

Tabulka 16: První aspirační úroveň

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro hodnoty této aspirační úrovně nám už vyhovují pouze dvě varianty, a to první a pátá. Druhá varianta Sony Experia nám nevyhovovala podle dvou kritérií a řadí se na předposlední čtvrté místo. Třetí varianta nám nevyhovovala podle pouze jednoho kritéria, a to podle výkonosti, a proto se řadí na třetí místo. Poslední variantou, která nám podle této aspirační úrovně nevyhovuje je čtvrtá, které nespĺňuje tři kritéria, a proto se řadí na poslední páté místo. Počet vyhovujících variant $d > 1$ a tak znovu upřesňujeme kritéria.

Určíme druhou aspirační úroveň.

s	z1	z2	z3	z4	z5
2	10 000	4 500	400 000	30	6,3

Tabulka 17: Druhá aspirační úroveň

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro druhou aspirační úroveň nám stále vyhovují dvě varianty, a proto je nutné opět zpřísnit kritéria a určit třetí aspirační úroveň.

s	z1	z2	z3	z4	z5
3	9 000	5000	450 000	40	6,5

Tabulka 18: Třetí aspirační úroveň

Zdroj: Vlastní zpracování

Pro hodnoty třetí aspirační úrovně už nám vyhovuje pouze pátá varianta Samsung Galaxy A34 5G a stává se naší nejlepší variantou. První varianta nám nevyhovuje v jednom kritériu a je jí přiřazeno druhé místo. Následně si pro přehlednost ukážeme pořadí variant podle této metody v tabulce.

	nevyhovují aspirační úrovni	počet kritérií podle kterých nevyhovují	pořadí
Samsung Galaxy A14	3	1	2
Sony Xperia	1	2	4
Xiaomi Redmi	1	1	3
iPhone 11	1	3	5
Samsung Galaxy A34			1

Tabulka 19: Pořadí podle metody PRIAM

Zdroj: Vlastní zpracování

Využitím metody PRIAM jsme dospěli k závěru, že pátá varianta je pro nás nejvýhodnější. Následně si tento výsledek porovnáme s výsledkem metody, která využívá ordinální informace o kritériích. Tyto metody uspořádávají kritéria podle důležitosti, ale neberou v potaz, o kolik je jedno kritérium důležitější než to druhé. Zde jsme se rozhodli použít metodu ORESTE.

4.1.4.2 Metoda ORESTE

V prvním kroku této metody musíme napřed uspořádat kritéria podle důležitosti vektorem q . Dříve v této práci jsme už určili váhy jednotlivých kritérií a díky tomu můžeme uspořádat kritéria podle důležitosti.

$$q = (1, 3, 2, 5, 4)$$

Poté, co jsme si seřadili kritéria podle důležitosti, vytvoříme matici P , ve které určíme pořadí variant podle každého kritéria jednotlivě.

	f1	f2	f3	f4	f5
a1	1	2,5	3	2	1,5
a2	4	2,5	4	4,5	5
a3	2	2,5	5	1	3
a4	5	5	1	4,5	4
a5	3	2,5	2	3	1,5

Tabulka 20: Matice P metoda ORESTE

Zdroj: Vlastní zpracování

V druhém kroku z matice P vytvoříme matici vzdálenosti od fiktivního počátku D. Pro výpočet Dujmovičovy metriky použijeme hodnotu $r = 3$.

	f1	f2	f3	f4	f5
a1	1,00	2,77	2,60	4,05	3,23
a2	3,19	2,77	3,30	4,76	4,55
a3	1,65	2,77	4,05	3,98	3,57
a4	3,98	4,24	1,65	4,76	4,00
a5	2,41	2,77	2,00	4,24	3,23

Tabulka 21: Matice D

Zdroj: Vlastní zpracování

Ve třetím kroku vezmeme všechny hodnoty d_{ij} z matice D a seřadíme je od nejnižší po nejvyšší hodnotu a následně jim přidělíme číselné pořadí. Vytvoříme novou matici R, ve které místo d_{ij} napíšeme pořadí dané hodnoty.

	f1	f2	f3	f4	f5
a1	1	8,5	6	19,5	12,5
a2	11	8,5	14	24,5	23
a3	2,5	8,5	19,5	16,5	15
a4	16,5	21,5	2,5	24,5	18
a5	5	8,5	4	21,5	12,5

Tabulka 22: Matice R

Zdroj: Vlastní zpracování

Následně po vytvoření matice R pro každou z našich variant vypočítáme hodnotu r_i . Jedná se o součet hodnot v řádku matice. Poté podle hodnoty r_i určíme pořadí variant. Nejnižší hodnota bude na prvním místě a nejvyšší na posledním.

	r_i	pořadí
Samsung Galaxy A14	47	1
Sony Xperia	81	4
Xiaomi Redmi	62	3
iPhone 11	83	5
Samsung Galaxy A34	51,5	2

Tabulka 23: Pořadí podle r_i

Zdroj: Vlastní zpracování

Z tabulky je zřejmé, že je pro nás nejvýhodnější varianta první – Samsung Galaxy A14 a na druhém místě je varianta pátá - Samsung Galaxy A34. Jedná se o rozdíl v pořadí oproti dříve použité metodě PRIAM. Tento rozdíl je způsoben tím, že předchozí metoda nebrala v potaz preference kritérií. Následně je možné v metodě ORESTE dopočítat normalizovanou matici C_n a dále určit matici preferencí. Nám zde ale bude stačit pouze výše určené pořadí variant.

4.1.4.3 Metoda WSA

Poslední metodu, kterou si představíme na tomto příkladu, je metoda WSA. Jedná se o metodu využívající kardinálních informací o kritériu. Zakládá se na principu maximalizace užitku. Mezi další metody zakládající se na principu maximalizace užitku patří metoda UFA a AHP. My jsme si zde ovšem zvolili využití metody WSA před metodou UFA. Z důvodu že se jedná o speciální případ metody UFA, protože předpokládá pouze lineární funkci. Metoda AHP bude představena na dalším příkladu využití vícekritériálního rozhodování.

Nejprve určíme bazální a ideální hodnoty jednotlivých kritérií, které budeme dále potřebovat pro sestavení matice užitku R.

	f1	f2	f3	f4	f5
Ideální – H	4 990	5000	617 573	108	7
bazální – D	13 990	3110	302 877	12	6

Tabulka 24: Ideální a bazální varianty jednotlivých kritérií

Zdroj: Vlastní zpracování

Následně vytvoříme normalizovanou kritériální matici podle vztahu $r_{ij} = \frac{y_{ij}-D_j}{H_j-D_j}$.

R	f1	f2	f3	f4	f5
a1	1	1	0,347392404	0,395833333	1
a2	0,454444444	1	0,273670463	0	0
a3	0,898888889	1	0	1	0,716666667
a4	0	0	1	0	0,166666667
a5	0,605666667	1	0,747143275	0,375	1

Tabulka 25: Normalizovaná kritériální matice

Zdroj: Vlastní zpracování

Následně spočítáme užitek každé varianty podle následujícího vzorce $u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j r_{ij}$.

K tomu budeme potřebovat znát váhy jednotlivých kritérií, které jsme dříve dopočítali pomocí Saatyho metody.

	u(a _i)	pořadí
Samsung Galaxy A14 5G	0,802197025	1
Sony Xperia 10 IV 5G	0,432920987	4
Xiaomi Redmi Note S12	0,661433333	3
iPhone 11	0,27	5
Samsung Galaxy A34 5G	0,704397251	2

Tabulka 26: Pořadí variant podle metody WSA

Zdroj: Vlastní zpracování

Výsledné pořadí podle metody WSA je stejné jako podle předchozí metody ORESTE. Opět je na prvním místě první varianta Samsung Galaxy A14 a pátá metoda Samsung Galaxy A34 je znovu až na druhém místě.

4.1.5 Zhodnocení použitých metod

První metodou, kterou jsme zde použili pro hodnocení variant, byla metoda PRIAM. Podle této metody nám vyšla jako optimální varianta mobilní telefon Samsung Galaxy A34 i přes jeho vysokou cenu, která byla pro nás nejdůležitějším kritériem. Jedná se o rozdíl oproti dalším dvou metodám, jež jsme pro hodnocení tohoto problému využili. Metodami ORESTE a WSA jsme zařadili variantu Samsung Galaxy A34 až na druhé místo a místo něj

upřednostnili levnější variantu Samsung Galaxy A14. Důvodem pro tento rozdíl je, že metoda PRIAM nebere v potaz váhy kritérií, a proto upřednostnila variantu, které byla o poznání dražší, ale v zejména méně důležitých kritériích vynikala oproti levnějším variantám. Metodami ORESTE a WSA jsme došli ke stejnému výsledku v pořadí variant. ORESTE uspořádává kritéria podle jejich důležitosti, ale nebere v potaz, jak velký je rozdíl v důležitosti dvou kritérií. V tom se liší oproti metodě WSA, která využívá k určení pořadí variant váhy jednotlivých kritérií. Z důvodu, že jak metodou ORESTE, tak metodou WSA byla zařazena varianta Samsung Galaxy A14 na první místo, je tato varianta pro společnost Obleky, a. s. brána jako nejvýhodnější.

4.2 Výběr vhodného místa pro novou prodejnu

Společnosti se dlouhodobě daří a z toho důvodu se rozhodla otevřít v České republice druhou prodejnu. Hlavním cílem je zde dobře zvolit, kde se bude tato prodejna nacházet. Bylo předem určeno, že všechny možné varianty musí být v centru jednoho z krajských měst. Dále jsme z možností předem vyloučili Prahu, protože zde už má společnost svou první prodejnu. Při výběru vhodné lokality budeme brát v potaz řadu kritérií. Těmito kritérii bude rozloha prodejny, cena, počet obyvatel města, ve kterém se prodejna nachází, kriminalita a průměrná mzda.

4.2.1 Kritéria

Na začátku musíme určit kritéria, podle kterých se budeme rozhodovat o lokalitě pro prodejnu. Při rozhodování o vhodné lokalitě by bylo vhodné brát v potaz spádovost. Z důvodu obtížného dohledávání informací o spádovosti jednotlivých variant, jsem se rozhodl nahradit toto kritérium počtem obyvatel města, ve kterém se varianta nachází.

K₁ rozloha prodejny

Prvním kritériem je samotná rozloha prodejny. Všechny naše možnosti musí mít rozlohu alespoň 100 m², jinak by byly pro naše potřeby moc malé. Je pro nás důležité mít, pokud možno co největší prodejní plochu a z tohoto důvodu se jedná o maximalizační kritérium. Velikost plochy prodejny je pro nás středně důležitým kritériem, protože jsme předem vyloučili prodejny, které by pro nás byly příliš malé.

K₂ cena

Druhé kritérium nám určuje celkové náklady spojené s provozem prodejny. Jedná se o cenu nájmu, elektřiny, vytápění a dalších nákladů spojených s provozem prodejny. Tuto částku

může být někdy složité určit, a proto se jedná o částku orientační. Snažíme se, aby byla cena co nejnižší, a proto se jedná o minimalizační kritérium. Pro společnost se jedná o důležité kritérium.

K₃ počet obyvatel

Třetí kritérium nám určuje počet obyvatel města, v němž se daná varianta nachází. Tímto kritériem jsme nahradili spádovost, kterou by bylo obtížné určit. Jedná se o velmi důležité kritérium, protože nám zde bude určovat potenciální návštěvnost prodejny. Toto kritérium je maximalizační, neboť se snažíme o co největší návštěvnost na prodejně.

K₄ Kriminalita

Čtvrtým kritériem, kterým se budeme zabývat, je kriminalita v kraji, ve kterém se varianta nachází. Ukazatelem zde bude index kriminality daného města z webové stránky mapakriminality.cz. Jedná se pro nás o nejméně důležité kritérium v porovnání s ostatními zmíněnými kritérii. S rostoucí kriminalitou roste teoretická šance vykradení prodejny, a proto se snažíme toto kritérium minimalizovat.

K₅ Průměrná mzda

Posledním kritériem je průměrná hrubá mzda v kraji, ve kterém se varianta nachází. Tyto hodnoty najdeme na webové stránce Českého statistického úřadu. Toto kritérium je zde zařazeno z důvodu, že nový oblek není zrovna nejlevnější a každý si ho nemůže dovolit. Počítáme s tím, že s rostoucí průměrnou mzdou roste i počet lidí, co uvažují o koupi obleku, a proto se jedná o maximalizační kritérium.

4.2.2 Varianty

Poté, co jsme si určili naše kritéria, si představíme pět fiktivních variant. Jedná se o pět variant, každá z nich je v centru jednoho z krajských měst. Každé variantě přidělíme hodnoty podle předem určených kritérií. Varianty si pojmenujeme podle měst, ve kterých se nacházejí.

V₁ Pardubice

První variantou je otevřít prodejnu v Pardubicích, přesněji v obchodním centru PALÁČ Pardubice. Jedná se o variantu, která je jak cenou, tak rozlohou okolo středu v porovnání s ostatními variantami.

Pardubice	
rozloha prodejny	120 m ²
cena	115 000 Kč
počet obyvatel	90 450
kriminalita	7,1
průměrný plat	39 345 Kč

Tabulka 27: Ohodnocení varianty Pardubice

Zdroj: Vlastní zpracování

(MAPAKRIMINALITY.CZ, Český statistický úřad, 2023, Zaměstnanost a mzdy v Pardubickém kraji)

V₂ Hradec Králové

Naší druhou variantou je prodejna v Hradci Králové. Zde bychom měli prodejnu v obchodním centru Futurum. Tato varianta je opět podle ceny okolo středu, ale značnou výhodou je rozloha prodejny.

Hradec Králové	
rozloha prodejny	150 m ²
cena	130 000 Kč
počet obyvatel	93 500
kriminalita	6,7
průměrný plat	37 956 Kč

Tabulka 28: Ohodnocení varianty Hradec Králové

Zdroj: Vlastní zpracování

(MAPAKRIMINALITY.CZ, Český statistický úřad, 2023, Průměrná mzda v Královéhradeckém kraji)

V₃ Brno

Třetí variantou je otevřít prodejnu v obchodním centru Olympia Brno. Jedná se o nejdražší z našich variant. Tato cena je kompenzována velkým počtem obyvatel.

Brno	
rozloha prodejny	130 m ²
cena	190 000 Kč
počet obyvatel	379 520
kriminalita	12,6
průměrný plat	43 092 Kč

Tabulka 29: Ohodnocení varianty Brno

Zdroj: Vlastní zpracování

(MAPAKRIMINALITY.CZ, Český statistický úřad, 2023, Průměrná mzda v Jihomoravském kraji)

V₄ Plzeň

Čtvrtou variantou je otevřít prodejnu v nákupním centru v Plzni. Jedná se o nákupní centrum Olympia Plzeň. Tato varianta je jednou z levnějších možností a zároveň má oproti ostatním jednu z větších rozloh prodejny.

Plzeň	
rozloha prodejny	130 m ²
cena	110 000 Kč
počet obyvatel	170 700
kriminalita	14,7
průměrný plat	35 727 Kč

Tabulka 30: Ohodnocení varianty Plzeň

Zdroj: Vlastní zpracování

(MAPAKRIMINALITY.CZ, Český statistický úřad, 2022, Průměrná mzda v Plzeňském kraji)

V₅ Jihlava

Naší poslední variantou je prodejna v nákupním centru AVENTIN Shopping Jihlava. Jedná se o nejlevnější variantu, která má zároveň i nejmenší rozlohu.

Jihlava	
rozloha prodejny	100 m ²
cena	85 000 Kč
počet obyvatel	50 890
kriminalita	7,6
průměrný plat	35 722 Kč

Tabulka 31: Ohodnocení varianty Jihlava

Zdroj: Vlastní zpracování

(MAPAKRIMINALITY.CZ, Český statistický úřad, 2023, sekce "Průměrná mzda na Vysočině)

	rozloha prodejny	cena	počet obyvatel	kriminalita	průměrný plat
Pardubice	120 m ²	115 000 Kč	90 450	7,1	39 345 Kč
Hrade Králové	150 m ²	130 000 Kč	93 500	6,7	37 956 Kč
Brno	130 m ²	190 000 Kč	379 520	12,6	43 092 Kč
Plzeň	130 m ²	110 000 Kč	170 700	14,7	35 727 Kč
Jihlava	100 m ²	85 000 Kč	50 890	7,6	35 722 Kč

Tabulka 32: Kriteriaální matice výběr prodejny

Zdroj: Vlastní zpracování

4.2.3 Stanovení vah kritérií

Poté, co jsme si představili jednotlivé varianty a kritéria, podle kterých se budeme rozhodovat, stanovíme váhy jednotlivých kritérií. Váhy stanovíme stejně jako v minulém příkladu za pomoci Saatyho matice. Budeme porovnávat všechny dvojice kritérií a na číselné stupnici od 1 do 9 budeme určovat, jaké kritérium je důležitější a jak výrazně je jedno kritérium důležitější. Hodnoty, které z tohoto porovnávání dostaneme, použijeme pro sestavení matice S . Následně vypočítáme geometrický průměr řádků této matice b_i a poté vypočítáme váhy kritérií v_i .

	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	b _i	v _i
K ₁	1	1/3	1/5	5	3	1,00	0,13
K ₂	3	1	1/3	7	5	2,04	0,26
K ₃	5	3	1	9	7	3,94	0,51
K ₄	1/5	1/7	1/9	1	1/3	0,25	0,03
K ₅	1/3	1/5	1/7	3	1	0,49	0,06
suma						7,72	1,00

Tabulka 33: Saatyho matice kritérií pro výběr prodejny

Zdroj: Vlastní zpracování

Geometrický průměr značený b_i jsme vypočítali u jednotlivých kritérií následovně:

$$K_1 \quad b_1 = \sqrt[5]{(1 * 1/3 * 1/5 * 5 * 3)}$$

$$K_2 \quad b_2 = \sqrt[5]{(3 * 1 * 1/3 * 7 * 5)}$$

$$K_3 \quad b_3 = \sqrt[5]{(5 * 3 * 1 * 9 * 7)}$$

$$K_4 \quad b_4 = \sqrt[5]{(1/5 * 1/7 * 1/9 * 1 * 1/3)}$$

$$K_5 \quad b_5 = \sqrt[5]{(1/3 * 1/5 * 1/7 * 3 * 1)}.$$

Poté, co máme hodnoty b_i, vypočítáme váhy v_i jednotlivých kritérií následovně:

$$K_1 \quad v_1 = 1/7,72$$

$$K_2 \quad v_2 = 2,04/7,72$$

$$K_3 \quad v_3 = 3,94/7,72$$

$$K_4 \quad v_4 = 0,25/7,72$$

$$K_5 \quad v_5 = 0,49/7,72$$

Poté, co jsme určili váhy jednotlivých kritérií pomocí Saatyho metody, můžeme určit, že je pro společnost nejdůležitější třetí kritérium, a to počet obyvatel. Dalšími důležitými kritérii jsou cena a rozloha prodejny. Zbývá dvě kritéria – kriminalita a průměrný plat jsou pro společnost méně podstatná.

4.2.4 Hodnocení variant

Nyní, když máme stanovené váhy jednotlivých kritérií, přejdeme k samotnému hodnocení variant pomocí několika metod. Pro hodnocení variant zde nebudeme používat metody s informací o aspiračních úrovních. Jedná se o důležité rozhodnutí a chceme zde zohlednit váhy kritérií. Využijeme tedy jednu z metod s ordinálními informacemi. Touto metodou bude Lexikografická metoda i přes to, že se pro tento typ rozhodování nehodí. Zbylé metody, které zde použijeme, budou metody s kardinální informací o kritériích z důvodu, že berou v úvahu váhy jednotlivých kritérií.

4.2.4.1 Lexikografická metoda

Jak už bylo zmíněno, jedná se o nevhodnou metodu pro hodnocení variant tohoto rozhodovacího problému. Jde o metodu, která by zde porovnávala pouze podle jednoho kritéria a tím je počet obyvatel z důvodu, že má největší váhu. Ostatní kritéria by nebyla brána v potaz a nijak by hodnocení variant neovlivnila. Jedná se o metodu s ordinální informací o kritériích. Dalšími metodami z této skupiny, které jsme zde mohli použít, jsou metoda ORESTE a permutační metoda. Metodu ORESTE jsme využili u předchozího příkladu a pro využití permutační metody bychom zde museli vybírat ze 120 permutací, proto zde zmíníme právě lexikografickou metodu. Tato metoda hodnotí varianty napřed podle nejdůležitějšího kritéria, pokud více variant dosahuje maximální hodnoty podle toho kritéria, tak jsou následně hodnoceny podle druhého nejdůležitějšího kritéria. V tomto případě tedy budeme hodnotit varianty pouze podle nejdůležitějšího kritéria, protože zde varianty nedosahují stejných hodnot.

	počet obyvatel	pořadí
Pardubice	90 450	4
Hrade Králové	93 500	3
Brno	379 520	1
Plzeň	170 700	2
Jihlava	50 890	5

Tabulka 34: Pořadí podle lexikografické metody

Zdroj: Vlastní zpracování

Zde můžeme vidět, že nejlépe vychází třetí varianta Brno, ale jak bylo zmíněno, bere se v úvahu pouze počet obyvatel.

4.2.4.2 Metoda AHP

Druhou metodou, kterou využijeme pro ohodnocení variant, je metoda AHP. Jedná se o metodu s kardinálními informacemi o kritériích zakládající se na principu maximalizace užitku. Zde budeme porovnávat všechny varianty podle určitého kritéria. Určíme preference mezi všemi dvojicemi variant podle daného kritéria a přiřadíme jim hodnoty podle velikosti preference. Hodnoty dosažené tímto porovnáváním použijeme pro sestavení matice. Poté vypočítáme geometrický průměr řádků této matice b_i a poté vypočítáme w_{ij} .

rozloha prodejny	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	b _i	w _{i1}
V ₁	1	1/5	1/3	1/3	3	0,58	0,086
V ₂	5	1	3	3	7	3,16	0,466
V ₃	3	1/3	1	1	5	1,38	0,203
V ₄	3	1/3	1	1	5	1,38	0,203
V ₅	1/3	1/7	1/5	1/5	1	0,29	0,042
suma						6,79	1,000

Tabulka 35: Metoda AHP podle rozlohy prodejny

Zdroj: Vlastní zpracování

Geometrický průměr b_i jsme u jednotlivých variant vypočítali následovně:

$$V_1 \quad b_1 = \sqrt[5]{(1 * 1/5 * 1/3 * 1/3 * 3)}$$

$$V_2 \quad b_2 = \sqrt[5]{(5 * 1 * 3 * 3 * 7)}$$

$$V_3 \quad b_3 = \sqrt[5]{(3 * 1/3 * 1 * 1 * 5)}$$

$$V_4 \quad b_4 = \sqrt[5]{(3 * 1/3 * 1 * 1 * 5)}$$

$$V_5 \quad b_5 = \sqrt[5]{(1/3 * 1/7 * 1/5 * 1/5 * 1)}$$

Poté jsme w_{i1} vypočítali u jednotlivých variant následovně:

$$V_1 \quad w_{11} = 0,58/6,79$$

$$V_2 \quad w_{21} = 3,16/6,79$$

$$V_3 \quad w_{31} = 1,38/6,79$$

$$V_4 \quad w_{41} = 1,38/6,79$$

$$V_5 \quad w_{51} = 0,29/6,79$$

Následně stejný postup uplatníme i u zbylých kritériích.

cena	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	b _i	w _{i2}
V ₁	1	3	7	1/3	1/5	1,07	0,135
V ₂	1/3	1	5	1/3	1/7	0,60	0,076
V ₃	1/7	1/5	1	1/7	1/9	0,21	0,027
V ₄	3	3	7	1	1/5	1,66	0,210
V ₅	5	7	9	5	1	4,36	0,551
suma						7,91	1,000

Tabulka 36: Metoda AHP podle ceny

Zdroje: Vlastní zpracování

počet obyvatel	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	b _i	w _{i3}
V ₁	1	1/3	1/7	1/5	3	0,49	0,060
V ₂	3	1	1/7	1/5	3	0,76	0,094
V ₃	7	7	1	5	9	4,66	0,574
V ₄	5	5	1/5	1	5	1,90	0,234
V ₅	1/3	1/3	1/9	1/5	1	0,30	0,037
suma						8,12	1,000

Tabulka 37: Metoda AHP podle počtu obyvatel

Zdroj: Vlastní zpracování

kriminalita	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	b _i	w _{i4}
V ₁	1	1/3	5	7	3	2,04	0,282
V ₂	3	1	5	7	3	3,16	0,437
V ₃	1/5	1/5	1	3	1/5	0,47	0,066
V ₄	1/7	1/7	1/3	1	1/7	0,25	0,035
V ₅	1/3	1/3	5	7	1	1,31	0,181
suma						7,23	1,000

Tabulka 38: Metoda AHP podle kriminality

Zdroj: Vlastní zpracování

průměrný plat	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	b _i	w _{i5}
V ₁	1	3	1/3	5	5	1,90	0,259
V ₂	1/3	1	1/5	3	3	0,90	0,123
V ₃	3	5	1	7	7	3,74	0,510
V ₄	1/5	1/3	1/7	1	1	0,39	0,054
V ₅	1/5	1/3	1/7	1	1	0,39	0,054
suma						7,34	1,000

Tabulka 39: Metoda AHP podle průměrného platu

Zdroj: Vlastní zpracování

Poté co jsme vypočítali hodnoty w_{ij} tak je dosadíme do matice W.

W	rozloha prodejny	cena	počet obyvatel	kriminalita	průměrný plat
Pardubice	0,086	0,135	0,06	0,282	0,259
Hradec Králové	0,466	0,076	0,094	0,437	0,123
Brno	0,203	0,027	0,574	0,066	0,51
Plzeň	0,203	0,21	0,234	0,035	0,054
Jihlava	0,042	0,551	0,037	0,181	0,054

Tabulka 40: Metoda AHP matice W

Zdroj: Vlastní zpracování

Nyní, když máme sestavenou matici W a známe váhy jednotlivých variant, které jsme vypočítali dříve, můžeme spočítat agregované váhy všech variant za pomoci následujícího

$$w_i = \sum_{j=1}^k v_j w_{ij}$$

$$w_1 = 0,13 * 0,086 + 0,26 * 0,135 + 0,51 * 0,06 + 0,03 * 0,282 + 0,06 * 0,259$$

$$w_2 = 0,13 * 0,466 + 0,26 * 0,076 + 0,51 * 0,094 + 0,03 * 0,437 + 0,06 * 0,123$$

$$w_3 = 0,13 * 0,203 + 0,26 * 0,027 + 0,51 * 0,574 + 0,03 * 0,066 + 0,06 * 0,51$$

$$w_4 = 0,13 * 0,203 + 0,26 * 0,21 + 0,51 * 0,234 + 0,03 * 0,035 + 0,06 * 0,054$$

$$w_5 = 0,13 * 0,042 + 0,26 * 0,551 + 0,51 * 0,037 + 0,03 * 0,181 + 0,06 * 0,054$$

Podle agregovaných vah následně určíme pořadí variant. Protože se jedná o metodu maximalizace užítku, tak je pro nás varianta dosahující nejvyšší hodnoty nejvýhodnější.

	wi	pořadí
Pardubice	0,101	5
Hradec Králové	0,149	4
Brno	0,359	1
Plzeň	0,205	2
Jihlava	0,176	3

Tabulka 41: Pořadí podle metody AHP

Zdroj: Vlastní zpracování

Podle Metody AHP je pro společnost nejvýhodnější třetí varianta Brno, na druhém místě je čtvrtá varianta Plzeň.

4.2.4.3 Metoda TOPSIS

Jedná se opět o metodu s kardinálními informacemi o kritériích využívající princip minimalizace vzdálenosti od ideální varianty. Při použití této metody nejprve převedeme všechna kritéria na maximalizační. Následně kritériální matici převedeme na normalizovanou kritériální matici R. K tomu využijeme následující vzorec: $r_{ij} = \frac{y_{ij}}{(\sum_{i=1}^p (y_{ij})^2)^{1/2}}$.

R	rozloha prodejny	cena	počet obyvatel	kriminalita	průměrný plat
Pardubice	0,422420006	0,459422919	0,206054535	0,571929945	0,457435458
Hradec Králové	0,528025008	0,367538335	0,213002753	0,602031521	0,441286573
Brno	0,457621673	0	0,864586149	0,158033274	0,500999079
Plzeň	0,457621673	0,490051113	0,388872406	0	0,415371625
Jihlava	0,352016672	0,643192086	0,115932729	0,534302975	0,415313494

Tabulka 42: Metoda TOPSIS matice R

Zdroj: Vlastní zpracování

Poté můžeme sestavit váženou kriteriální matici W následovně: $w_{ij} = v_j r_{ij}$. Vynásobíme hodnoty z matice R váhou daného kritéria. Váhy jednotlivých kritérií jsme určili dříve podle Saatyho metody. Po určení hodnot w_{ij} a sestavení matice W určíme v každém sloupci nejvyšší hodnotu H_j a nejnižší hodnotu D_j . Následně pro každou z našich pěti variant vypočítáme vzdálenost od ideální varianty d_i^+ a vzdálenost od bazální varianty d_i^- pomocí následujících vztahů:

$$d_i^+ = \left(\sum_{j=1}^k (w_{ij} - H_j)^2 \right)^{1/2}$$

$$d_i^- = \left(\sum_{j=1}^k (w_{ij} - D_j)^2 \right)^{1/2} .$$

Nejvýhodnější variantu pak určíme podle relativního ukazatele vzdálenosti od bazální varianty $c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}$.

W	rozloha	cena	počet obyvatel	kriminalita	průměrný plat	d+i	d-i	ci	pořadí
Pardubice	0,05491	0,11945	0,10509	0,01716	0,02745	0,33952	0,12948	0,276077	4
Hradec Králové	0,06864	0,09556	0,10863	0,01806	0,02648	0,33997	0,11151	0,246991	5
Brno	0,05949	0,00000	0,44094	0,00474	0,03006	0,16801	0,38212	0,694603	1
Plzeň	0,05949	0,12741	0,19832	0,00000	0,02492	0,24675	0,18921	0,434008	2
Jihlava	0,04576	0,16723	0,05913	0,01603	0,02492	0,38254	0,16800	0,305151	3
Hj	0,06864	0,16723	0,44094	0,01806	0,03006				
Dj	0,04576	0,00000	0,05913	0,00000	0,02492				

Tabulka 43: Metoda TOPSIS matice W a určení pořadí

Zdroj: Vlastní zpracování

Podle metody TOPSIS je pro společnost opět nejvýhodnější třetí varianta, kterou je prodejna v Brně, protože její relativní ukazatel vzdálenosti od bazální varianty je nejvyšší.

4.2.4.4 Metoda AGREPREF

Poslední metodou, kterou použijeme pro tento rozhodovací problém, je metoda AGREPREF. Znovu se jedná o metodu s kardinálními informacemi o kritériích. Tedy o metodu vyhodnocující na základě preferenční relace. Další metodou využívající preferenční relaci je

například metoda ELECTRE I. Tu zde ale nepoužijeme z důvodu, že rozděluje varianty na efektivní a neefektivní, proto právě dáme přednost metodě AGREPREF.

Nejprve pro všechny dvojice variant určíme množiny I_{ij} , I_{ji} a I_{i-j} .

I_{ij}

$$I_{12} = \{2, 5\}, I_{13} = \{2, 4\}, I_{14} = \{4, 5\}, I_{15} = \{1, 3, 4, 5\},$$

$$I_{21} = \{1, 3, 4\}, I_{23} = \{1, 2, 4\}, I_{24} = \{1, 4, 5\}, I_{25} = \{1, 3, 4, 5\}$$

$$I_{31} = \{1, 3, 5\}, I_{32} = \{3, 5\}, I_{34} = \{3, 4, 5\}, I_{35} = \{1, 3, 5\}$$

$$I_{41} = \{1, 2, 3\}, I_{42} = \{2, 3\}, I_{43} = \{2\}, I_{45} = \{1, 3, 5\}$$

$$I_{51} = \{2\}, I_{52} = \{2\}, I_{53} = \{2, 4\}, I_{54} = \{2, 4\}$$

I_{ij}

$$I_{12} = \{1, 3, 4\}, I_{13} = \{1, 3, 5\}, I_{14} = \{1, 2, 3\}, I_{15} = \{2\},$$

$$I_{21} = \{2, 5\}, I_{23} = \{3, 5\}, I_{24} = \{2, 3\}, I_{25} = \{2\}$$

$$I_{31} = \{2, 4\}, I_{32} = \{1, 2, 4\}, I_{34} = \{2\}, I_{35} = \{2, 4\}$$

$$I_{41} = \{4, 5\}, I_{42} = \{1, 4, 5\}, I_{43} = \{3, 4, 5\}, I_{45} = \{2, 4\}$$

$$I_{51} = \{1, 3, 4, 5\}, I_{52} = \{1, 3, 4, 5\}, I_{53} = \{1, 3, 5\}, I_{54} = \{1, 3, 5\}$$

I_{i-j}

$$I_{34} = \{1\}, I_{43} = \{1\}$$

Následně určíme stupeň preference varianty a_i před a_j . Tento stupeň preference určíme součtem vah kritérií v indexu I_{ij} .

I12	0,32	I21	0,67	I31	0,70
I13	0,29	I23	0,42	I32	0,57
I14	0,09	I24	0,22	I34	0,60
I15	0,73	I25	0,73	I35	0,70
I41	0,90	I51	0,26		
I42	0,77	I52	0,26		
I43	0,26	I53	0,29		
I45	0,70	I54	0,29		

Tabulka 44: Stupeň preference a_i před a_j

Zdroj: Vlastní zpracování

Stejně určíme i stupeň preference varianty a_j před a_i součtem vah kritérií v indexu I_{ji} a stupeň indifferencie indifferencie variant a_i a a_j součtem vah kritérií v indexu I_{i-j} .

I12	0,67	I21	0,32	I31	0,29
I13	0,7	I23	0,57	I32	0,42
I14	0,9	I24	0,77	I34	0,26
I15	0,26	I25	0,26	I35	0,29
I41	0,09	I51	0,73		
I42	0,22	I52	0,73		
I43	0,6	I53	0,7		
I45	0,29	I54	0,7		

Tabulka 45: Stupeň preference a_j před a_i

Zdroj: Vlastní zpracování

I12	0	I21	0	I31	0
I13	0	I23	0	I32	0
I14	0	I24	0	I34	0,13
I15	0	I25	0	I35	0
I41	0	I51	0		
I42	0	I52			
I43	0,13	I53	0		
I45	0	I54	0		

Tabulka 46: Stupeň indiference a_i a a_j

Zdroj: Vlastní zpracování

Dále zvolíme práh preference $\beta = 0$ a práh indiference $\alpha = 1$. a vytvoříme matici preference P . a vypočítáme pro každý řádek hodnotu d_h .

P	a1	a2	a3	a4	a5	d_h
a1	0	0	0	0	1	-2
a2	1	0	0	0	1	0
a3	1	1	0	1	1	4
a4	1	1	0	0	1	2
a5	0	0	0	0	0	-4

Tabulka 47: Metoda AGREPREF matice P

Zdroj: Vlastní zpracování

Následně uspořádáme sloupce a řádky této matice podle hodnot d_h od nejvyšší po nejnižší.

P	a3	a4	a2	a1	a5	d_h
a3	0	1	1	1	1	4
a4	0	0	1	1	1	2
a2	0	0	0	1	1	0
a1	0	0	0	0	1	-2
a5	0	0	0	0	0	-4

Tabulka 48: Metoda AGREPREF Tranzitivní matice P

Zdroj: Vlastní zpracování

Nakonec určíme pořadí variant

	pořadí
Pardubice	4
Hradec Králové	3
Brno	1
Plzeň	2
Jihlava	5

Tabulka 49: Metoda AGREPREF pořadí variant

Zdroj: Vlastní zpracování

Podle naší poslední metody je na prvním místě znovu varianta s prodejnou v Brně.

4.2.5 Zhodnocení použitých metod

První metodou, kterou jsme se rozhodli vyzkoušet pro hodnocení míst pro novou prodejnu, byla lexikografická metoda. Ta je pro hodnocení našeho problému velmi nevhodná. Hodnotí varianty pouze podle nejdůležitějšího kritéria a ostatní nebere v potaz. Seřadila kritéria podle počtu obyvatel a ostatní zde byla naprosto nevyužitá. Na prvním místě byla třetí varianta Brno.

Druhou metodou, kterou jsme se rozhodli použít pro ohodnocení variant, byla metoda AHP. Jedná se o metodu hodnotící preference mezi všemi dvojicemi variant na škále od jedné do devíti podle velikosti preference. Zde se pořadí variant určí podle užitku, který nám varianta přináší. Po určení pořadí variant byla na prvním místě opět třetí varianta Brno, zbylé pořadí se ovšem už liší oproti dříve použité metodě. Důvodem je, že zde bereme v potaz i ostatní kritéria a jejich váhy.

Další použitou metodou je metoda TOPSIS. Zde hodnotíme varianty podle vzdálenosti od ideální varianty. Za ideální variantu je považována hypotetická varianta dosahující nejlepších hodnot podle všech kritérií. Tato metoda často znevýhodňuje varianty, dosahující nejhorších hodnot podle některých kritérií. Podle této metody stejně jako podle metody AHP je na prvním místě Brno na druhém Plzeň a třetím Jihlava změnilo se pořadí u variant Pardubice a Hradec Králové. Podle metody AHP byly Pardubice na posledním místě, oproti tomu metoda TOPSIS upřednostnila Pardubice a na poslední místo zařadila Hradec Králové.

Poslední metodou, kterou jsme zde použili, byla metoda AGREPREF. Zde se určuje pořadí variant podle preferenční relace. Vycházíme ze vztahů mezi variantami podle jednotlivých kritérií. Jako optimální znovu vyšla třetí varianta Brno a na druhém místě čtvrtá varianta

Plzeň. Velkou změnou tu bylo třetí místo, na které předchozí dvě metody zařadily Jihlavu, ta zde byla na posledním místě a třetí nejvýhodnější variantou byla varianta Hradec Králové. Podle všech metod, které jsme zde využili, nám jako optimální varianta vychází třetí varianta, kterou je nová prodejna v Brně. Z toho důvodu se společnost rozhodla, otevřít novou prodejnu v Brně.

Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo představit metody vícekriteriálního rozhodování, ukázat na příkladech z podnikové praxe jejich užití a jednotlivé metody porovnat.

V první části této práce jsme představili pojmy rozhodování a rozhodovací proces. Dále jsme si představili některé z možností, jak rozdělit rozhodovací procesy a problémy.

Ve druhé části jsme si blíže představili pojem vícekriteriální rozhodování. Určili jsme si, jaké jsou prvky vícekriteriálního rozhodování, vysvětlili pojem kritéria a představili čtyři metody stanovení vah jednotlivých kritérií. Mezi tyto metody stanovení vah kritérií patřila metoda pořadí, bodovací metoda, metoda Fullerova trojúhelníku a Saatyho metoda.

V předposlední části jsme se zaměřili na metody vícekriteriálního rozhodování. Tyto metody jsme rozdělili do tří skupin. Jednalo se o metody s informací o aspiračních úrovních kritérií, metody s ordinální informací o kritériích a metody s kardinální informací o kritériích. Dále jsme si představili některé z metod, které do těchto skupin patří. V první skupině jsme si představili nejprve konjunktivní a disjunktivní metodu a poté metodu PRIAM. Ve druhé skupině jsme popsali tři metody. Začali jsme s lexikografickou, dále jsme představili permutační metodu a poslední metodou, kterou jsme popsali v této skupině byla metoda ORESTE. Skupinu metod s kardinální informací o kritériích jsme dále rozdělili na metody založené na principu užitku a zde představili metodu UFA, WSA a AHP, metody založené na principu vzdálenosti od ideální varianty a zde blíže vysvětlili metodu TOPSIS, a nakonec metody vyhodnocování na základě preferenční. V této poslední skupině jsme popsali metody AGREPREF a ELECTRE I.

V poslední části této práce jsme ukázali dva příklady využití vícekriteriálního rozhodování. Prvním příkladem byl výběr vhodného služebního mobilního telefonu pro vybrané zaměstnance fiktivní firmy Obleky, a. s., a druhým výběr vhodného místa pro novou prodejnu této firmy. V těchto dvou příkladech jsme využili Saatyho metodu pro stanovení vah kritérií. Dále jsme za pomoci dříve představených metod vícekriteriálního hodnocení variant našli optimální varianty, a nakonec krátce zhodnotili, proč se mohou lišit výsledky jednotlivých použitých metod.

Použitá literatura

- BROŽOVÁ, H., HOUŠKA, M., ŠUBRT, T. Modely pro vícekriteriální rozhodování. Praha: Credit, 2003. ISBN 80-213-1019-7.
- FIALA, Petr, Josef JABLONSKÝ a Miroslav MAŇAS. Vícekriteriální rozhodování. Praha: Vysoká škola ekonomická [Praha], 1994. ISBN 80-7079-748-7.
- FOTR, Jiří a Jiří DĚDINA. Manažerské rozhodování. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1994. ISBN 80-7079-939-0.
- FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje. 2., přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 9788086929590
- FRIEBELOVÁ, Jana a KLICNAROVÁ, Jana (2007). Rozhodovací modely pro ekonomy. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Ekonomická fakulta. ISBN 978-80-7394-035-5.
- iPhone 11. Antutu.cz [online]. Dostupné z: <https://www.antutu.cz/apple-iphone-11-256gb/>
- JABLONSKÝ, Josef a Martin DLOUHÝ. Modely hodnocení efektivnosti produkčních jednotek. Praha: Professional Publishing, 2004. ISBN 80-864-1949-5.
- MÁCHOVÁ, Renáta, Jiří KŘUPKA a Miloslava KAŠPAROVÁ. Rozhodovací procesy [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta ekonomicko-správní, 2012, 2012. ISBN 978-80-7395-478-9. Dostupné z: <https://docplayer.cz/1157600-Jiri-krupka-miloslava-kasparova-renata-machova.html>
- MAPAKRIMINALITY.CZ [online]. Dostupné z: <https://www.mapakriminality.cz/>
- Průměrná mzda na Vysočině. Český statistický úřad [online]. 6.6.2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xj/prumerna-mzda-na-vysocine-v-1-az-2-ctvrtleti-2022-realne-vyrazne-poklesla>
- Průměrná mzda v Jihomoravském kraji. Český statistický úřad [online]. 6.6.2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xb/prumerna-mzda-v-jihomoravskem-kraji-ve-4-ctvrtleti-2022-a-v-roce-2022>
- Průměrná mzda v Královéhradeckém kraji. Český statistický úřad [online]. 6.3.2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xh/prumerna-mzda-v-kralovehradeckem-kraji-v-1-az-4-ctvrtleti-realne-klesla-o-81->
- Průměrná mzda v Plzeňském kraji. Český statistický úřad [online]. 7.6.2022. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xp/prumerna-mzda-v-plzenskem-kraji-v-1-ctvrtleti-2022>

- RAMÍK, Jaroslav. Vícekriteriální rozhodování – analytický hierarchický proces (AHP). Karviná: Slezská univerzita, 1999. ISBN 80-7248-047-2.
- Samsung Galaxy A14. Antutu.cz [online]. Dostupné z: <https://www.antutu.cz/samsung-galaxy-a14-5g-a146p-4gb-64gb/>
- Samsung Galaxy A34. Antutu.cz [online]. Dostupné z: <https://www.antutu.cz/samsung-galaxy-a34-5g-a346b-6gb-128gb/>
- SEKNIČKOVÁ, Jana. Teorie rozhodování - cvičení [online]. Vysoká škola ekonomická v Praze, 2013. Dostupné z: <http://jana.kalcev.cz/vyuka/index.php?Akce=PredmetC&ID=9>
- Sony Xperia 10 IV. Antutu.cz [online]. Dostupné z: <https://www.antutu.cz/sony-xperia-10-iv-5g-6gb-128gb/>
- ŠUBRT, Tomáš. Ekonomicko-matematické metody. Plzeň: Vydavatelství a nakladatelství Aleš Čeněk, 2011. ISBN 978-80-7380-345-2.
- TALAŠOVÁ, Jana. Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 80-244-0614-4
- TRIANTAPHYLLOU, Evangelos. Multi-criteria decision making methods: a comparative study. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers, 2000. ISBN 0-7923-6607-7.
- Xiaomi Redmi Note 12S. Antutu.cz [online]. Dostupné z: <https://www.antutu.cz/xiaomi-redmi-note-12s-8gb-256gb/>
- Zaměstnanost a mzdy v Pardubickém kraji. Český statistický úřad [online]. 6. 6. 2023. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/x/zamestnanost-a-mzdy-v-pardubickem-kraji-v-1-az-4-ctvrtleti-2022>