

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Řešení optimalizačních úloh na realitním trhu
s využitím vícekriteriálního rozhodování

Bc. Luděk Letáček

Diplomová práce
2023

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Luděk Letáček**
Osobní číslo: **I21280**
Studijní program: **N0613A140007 Informační technologie**
Téma práce: **Řešení optimalizačních úloh na reálném trhu s využitím vícekritériálního rozhodování**
Zadávající katedra: **Katedra softwarových technologií**

Zásady pro vypracování

Diplomová práce bude zaměřena na řešení optimalizačních úloh na reálném trhu. Teoretická část diplomové práce bude obsahovat teorii vícekritériálního rozhodování a hodnocení variant, dále základní ekonomické pojmy vztahující se k reálnému trhu a nemovitostem. Dále může být využito rozhodování za neurčitosti s využitím fuzzy množin. Výstupem práce bude aplikace, umožňující řešení ekonomických optimalizačních úloh, případně srovnání různých způsobů jejich řešení. Dále je možné porovnání například s genetickými algoritmy atd. Práce bude doplněna i o grafické výstupy, vzniklé při optimalizaci řešených úloh.

Rozsah pracovní zprávy:

Rozsah grafických prací:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

DOSTÁL, Petr. Optimalizační metody. Kunovice: Evropský polytechnický institut, 2008, 44 s. ISBN 978-80-7314-136-3.

MATOUŠEK, Jiří a Jaroslav NEŠETŘIL. Kapitoly z diskretní matematiky. 4., upr. a dopl. vyd. V Praze: Karolinum, 2009, 442 s. ISBN 978-80-246-1740-4. TALAŠOVÁ, Jana. Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování. Olomouc: Univerzita Palackého, 2013. 179 s. ISBN 802-44-06-14-4

Vedoucí diplomové práce:

Mgr. Alena Pozdílková, Ph.D.

Katedra matematiky a fyziky

Datum zadání diplomové práce:

8. listopadu 2022

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2023

L.S.

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D. v.r.
děkan

prof. Ing. Antonín Kavička, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. listopadu 2022

Prohlašuji:

Tuto práci 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., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 10. 5. 2023

Luděk Letáček v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval své vedoucí diplomové práce Mgr. Aleně Pozdílkové, Ph.D. za vedení a odborný dohled. Taktéž děkuji své rodině a přátelům, kteří mi doplňovali energii tuto práci dokončit.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na metody vícekriteriálního rozhodování, které jsou využity v praktické části pro vyhledávání nemovitostí na realitním trhu, které jsou relativně jednoznačně doporučeny pro konečný výběr. Vytvořená aplikace rozhoduje nad daty, které jsou poskytnuty z českého realitního serveru Sreality.cz. V práci je popsán postup procesu rozhodování, způsoby stanovování jednotlivých vah kritériím, metody výběru kompromisní varianty a teorie pro tvorbu cen na realitním trhu, včetně faktorů, které jsou při investování do nemovitosti pro kupující nejdůležitější.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vícekriteriální rozhodování, teorie rozhodování, rozhodování za jistoty, metody hodnocení variant, metody stanovení vah, fuzzy metody vícekriteriálního rozhodování, ceny nemovitostí

TITLE

Solving optimization tasks on the real estate market using multi-criteria decision-making

ANNOTATION

The diploma thesis focuses on multi-criteria decision-making methods, which are used in the practical part to select recommended estates on the real estate market. Application data is provided from the Czech real estate server Sreality.cz. The thesis describes the procedure of the decision-making process, the methods of assigning weights to criteria, the methods of choosing a compromise variant, and the theory of pricing in the real estate market, including the most important criteria for buyers when investing in real estate.

KEYWORDS

Multi-criteria decision-making, decision-making theory, decision-making under certainties, multicriteria evaluation of variants, weighting methods, fuzzy decision-making, market price of the property

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Seznam zkratk	11
Úvod	12
1 Rozhodování	13
1.1 Postup při řešení rozhodování.....	15
1.2 Modely rozhodování.....	16
1.3 Kvalita rozhodování.....	17
1.4 Klasifikace úloh vícekritériálního rozhodování.....	18
2 Kritéria a stanovení jejich vah	20
2.1 Kritéria hodnocení.....	20
2.2 Typy škál.....	22
2.3 Tvorba kritérií.....	22
2.4 Požadavky na soubor kritérií.....	23
2.5 Metody stanovení vah kritérií.....	24
2.5.1 Entropická metoda.....	25
2.5.2 Metoda pořadí.....	26
2.5.3 Metoda Fullerova trojúhelníka.....	27
2.5.4 Bodovací metoda.....	28
2.5.5 Saatyho metoda.....	29
3 Varianty	32
3.1 Typy variant.....	33
3.2 Kompromisní varianta.....	34
3.3 Funkce užitku za jistoty.....	34
3.4 Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií.....	35
3.5 Metody s nominální informací o kritériích.....	36
3.5.1 Konjunktivní a disjunktivní metoda.....	36
3.5.2 Metoda PRIAM.....	36
3.6 Metody s ordinální informací o kritériích.....	37
3.6.1 Lexikografická metoda.....	37
3.6.2 ORESTE.....	37
3.7 Metody s kardinální informací o kritériích.....	38
3.7.1 Maximalizace užitku.....	38
3.7.2 Minimalizace vzdálenosti od ideální varianty.....	39
3.7.3 Vyhodnocování podle preferenční relace.....	40
3.8 Fuzzy hodnocení variant.....	41
4 Fuzzy čísla	43
5 Rezidenční nemovitosti	45
5.1 Indexy cen rezidenčních nemovitostí.....	46
5.1.1 Index opakovaných prodejů.....	46

5.1.2	Hedonický cenový index	46
6	Aplikace	48
6.1	Analýza požadavků	48
6.2	Návrh a implementace aplikace	49
6.2.1	Grafické uživatelské rozhraní	49
6.2.2	Komunikace se serverem Sreality.cz	51
6.2.3	Vícekritériální rozhodování	52
6.3	Výsledky	53
6.3.1	TOPSIS	54
6.3.2	ELECTRE I.....	55
6.3.3	Metoda váženého součtu.....	56
6.3.4	Lexikografická metoda	57
6.3.5	ORESTE	58
6.3.6	Porovnání výsledků jednotlivých metod.....	59
	Závěr	60
	Použitá literatura	61
	Přílohy.....	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Optimální rozsah informací, upraveno dle [3]	18
Obrázek 2: Kompromisní varianta.....	34
Obrázek 3: Tříúrovňová hierarchie AHP, upraveno dle [12]	39
Obrázek 4: Srovnatelná a nesrovnatelná fuzzy čísla C a D, upraveno dle [13].....	44
Obrázek 5: Případy užití	49
Obrázek 6: Diagram tříd	52
Obrázek 7: Načítání nemovitostí a vybírání kritérií	53
Obrázek 8: Výsledek metody TOPSIS	55
Obrázek 9: Výsledek metody ELECTRE I.....	56
Obrázek 10: Výsledek metody váženého součtu	57
Obrázek 11: Výsledek lexikografické metody.....	57
Obrázek 12: Výsledek metody ORESTE.....	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdíl rozhodovacích procesů za podmínek dle [4]	14
Tabulka 2: Zjišťování preferencí kritérií u metody Fullerova trojúhelníku, upraveno dle [5] ..	28
Tabulka 3: Doporučená bodová stupnice pro Saatyho metodu, upraveno dle [6]	30
Tabulka 4: Hodnocené nemovitosti	53
Tabulka 5: Normalizovaná vážená kritériální matice W	54
Tabulka 6: Výpočet relativních ukazatelů vzdáleností pro metodu TOPSIS	54
Tabulka 7: Matice C metody ELECTRE I.....	55
Tabulka 8: matice D metody ELECTRE I.....	55
Tabulka 9: Matice párových preferencí metody ELECTRE I	56
Tabulka 10: Normalizovaná kritériální matice R metody váženého součtu a hodnota užitku ..	56
Tabulka 11: Matice P metody ORESTE.....	58
Tabulka 12: Matice D metody ORESTE	58
Tabulka 13: Matice R metody ORESTE	58

SEZNAM ZKRATEK

AHP	Analytic Hierarchy Process
PRIAM	Programme utilisant l'Intelligence Artificielle en Multicritere
UFA	Utility Function Approach
WSA	Weighted Sum Approach
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
API	Application Programming Interface
JSON	JavaScript Object Notation
XML	Extensible Markup Language
DLL	Dynamic link library
GUI	Grafické uživatelské rozhraní

ÚVOD

Zmínky o prvním systematickém studiu lidského rozhodování se datují do 4. století před naším letopočtem, kdy se tomuto tématu věnoval antický myslitel Aristotelés ze Stageiry. Člověk se rozhoduje několikrát denně, ať už má výsledek rozhodování na jeho život nakonec větší či menší dopad. Je to jedna z nejdůležitějších duševních činností k naplňování života a také základní projev lidské psychiky. Tomuto fenoménu se nevěnuje pouze psychologie či filozofie. Další obory, které se zaměřily na problematiku související s rozhodováním jsou například matematika, ekonomie, počítačová věda nebo také takzvaná marketingová věda. Tato rozmanitost vědních oborů přináší v rámci rozhodování celou řadu přístupů, ale také naopak nesourodost s pojmy či názvoslovím. [1]

V posledních několika desetiletích se od dřívějších názorů, že je lidské rozhodování dokonalé, až po pozdější, že je velmi nešťastné, přechází ke kompromisu. Rozhodování je sice nedokonalé, ale dobře přizpůsobené pro přežití, jelikož mezi rozhodovacími postupy existuje volba na základě dané situace a prostředí. [1]

Cílem této diplomové práce je charakterizovat vícekriteriální rozhodování a vytvořit aplikaci ve vysokoúrovňovém programovacím jazyku použitou na konkrétním příkladu. Tato aplikace má na základě dat pomoci rozhodnout, které inzeráty ze serveru *Sreality.cz* (týkající se prodeje bytů) jsou podle kritérií specifikovaných uživatelem „optimální“. Nejvýhodnější vybrané nemovitosti budou hledány za pomoci několika metod, vhodných pro výběr kompromisních variant.

Tato práce je rozdělena na dvě části. V první z nich je cílem popsat vícekriteriální rozhodování včetně jejich jednotlivých prvků. První kapitola se bude zabývat obecnějším úvodem do problematiky, druhá kapitola se bude týkat kritérií, resp. jejich tvorby a hodnocení jejich vah, třetí kapitola se bude věnovat variantám včetně výběru té nejlepší (výsledku) a čtvrtá bude zaměřená na fuzzy čísla.

Cílem druhé části je vytvořit aplikaci ve vyšším programovacím jazyku. V páté kapitole bude popsána teorie, jaká kritéria jsou důležitá během rozhodování při investování do rezidenční nemovitosti a jak se cena nemovitosti tvoří. Šestá kapitola bude již přímo spjatá s popisem aplikace. Jedná se o kapitolu věnující se popisu požadavků na aplikaci, dále návrhu aplikace s popisem její implementace a o kapitolu týkající se demonstrace funkčnosti s rozepsaným postupem, jak se v aplikaci k jednotlivým výsledkům dochází.

1 ROZHODOVÁNÍ

Rozhodování je definováno jako postupné řešení úlohy, kde se vybírá z množiny možných řešení obsahující více jak jedno východisko. Máme-li vícekritériální úlohu, pak jde o takové rozhodování, které vede k přijatelnému, či blížíci se optimálnímu, řešení. Též se setkáváme s pojmem vícekritériální optimalizace. Obvykle optimální řešení nalézt nelze, ale než se dostanu k důvodu, nejprve musím představit základní prvky vícekritériálního rozhodovacího problému. Jedná se o cíl, varianty, kritéria, subjekty, objekty, a scénáře rozhodování. [2]

Cílem rozhodování je výsledek či výsledky, kterých chceme pomocí tohoto procesu dosáhnout. Mohou být vytvořeny jak z naprosto nezbytného požadavku na výsledek (musí být splněn jakýmkoliv přijatelným řešením problému), tak i z přání či touhy. Jejich prezentaci, která je číselná, respektive slovní, označujeme za kvantitativní, respektive kvalitativní cíl. Máme-li více jak jeden cíl, potom je můžeme řadit do kategorie komplementárních nebo do konfliktních cílů. Komplementární cíle jsou takové, které se navzájem doplňují či potvrzují. Konfliktní cíle samy sebe navzájem vyvrací, a proto nelze dosáhnout všech najednou. Není nutné tento konflikt eliminovat. Abychom jednotlivé cíle dokázali oklasifikovat, je nutné stanovit si ukazatele, podle kterých se při hodnocení řídit. [3], [10]

Variantami se rozumí nejrůznější elementy, které má smysl mezi sebou porovnávat. Než se nějaká varianta vybere, tak jakýkoli dílčí proces, který tento výběr předchází, můžeme charakterizovat jako přípravu rozhodnutí. Pro lepší představu rozdělíme rozhodovací proces na jednotlivé kroky: analýza okolí (nalezení podmínek způsobujících rozhodování, identifikace rozhodovacích problémů a stanovení jejich příčin), návrh řešení (hledání, tvorba a analýza variant) a volba řešení (hodnocení a následný výběr varianty). Některé rozhodovací procesy tímto krokem mohou skončit. Dále se mohou provádět například kontroly výsledků, které můžeme chápat jako kontrolní procesy nějaké organizace. Stanovení variant je jedním z důležitých subprocessů. Jejich důsledky jsou jednoznačné nebo závislé na stavech světa (scénářů) a představují dopady na organizaci subjektu, kde probíhá rozhodování, včetně jeho okolí (např. odběratele, dodavatele aj.). Tato část není pod kontrolou rozhodovatele. [2], [3]

Kritéria představují vlastnosti, které jsou měřitelné (objektivní), tak i neměřitelné (závislé na individuálním přístupu subjektu). Z velké části jsou odvozována od cílů, proto je mezi nimi těsný vztah. Je potřeba také rozlišovat kritéria na kvantitativní a kvalitativní, stejně jako cíle rozhodování. Předností kvantitativních kritérií je obvykle jejich jasná náplň, snadná měřitelnost a jednoznačný smysl. Jelikož máme ve vícekritériálním rozhodování více kritérií, která jsou

nutnou součástí k nalezení výsledné varianty, obvykle se stane, že jsou protichůdná. Nemůžeme tedy předpokládat, že všechna tato kritéria pro výslednou variantu budou nabývat nejlépe vyhovujících hodnot a tedy, že dostaneme skutečně optimální řešení. V takovém případě mluvíme o tzv. ideální variantě. Opakem je bazální varianta, která nabývá nejhoršího ohodnocení podle všech kritérií. Jedná se o varianty uměle vytvořené, jelikož se s nimi prakticky nesetkáváme. To je důvod, proč se musí stanovit váhy, kterými se vytvoří jejich preference a tím se v procesu rozhodování určí přijatelné řešení. Touto problematikou a podrobnějším popisem kritérií se budou zabývat následující kapitoly. [2], [3], [5]

Subjektem v procesu rozhodování je jednotlivec nebo skupina, která rozhoduje. Jedná-li se o skupinu, je důležité, aby se během rozhodování s názory všichni shodovali. Subjekt, který se aktivně snaží snížit riziko ztráty a zvýšit svůj užitek, se nazývá ekonomicky racionální. Účastník, kterému nezáleží na výsledku, je označován za indiferentního (nestranného). [3]

Objekt rozhodování reprezentuje systém, ve kterém je definován problém, cíl, kritéria a varianty rozhodování. Varianty, jako sada řešení vedoucí k cíli, s objektem těsně souvisí. Jedná se o předmět řešení, o kterém subjekt rozhoduje. [2], [3]

Jednotlivé rizikové situace se označují jako výše zmíněné stavy světa. Jde o takové scénáře, které nám říkají, co se může stát po zvolení výsledné varianty. Důsledky variant je proto nutné hodnotit při všech vzájemně vylučujících se možných scénářích. Informace o stavech světa včetně důsledků variant patří mezi nejdůležitější stránky hodnocení rozhodovacích procesů. Informace může být úplná i neúplná. Máme-li úplnou informaci, pak je deterministická, co se týče jednoznačnosti scénářů a hodnot kritérií každé varianty. V tomto případě hovoříme o rozhodování za jistoty. Víme, že se stav světa nemění a hodnocení variant podle daného kritéria představuje pevně danou veličinu (tato práce uvažuje právě tento typ rozhodování). Je-li avšak neúplná, stochastická (náhodná), bavíme se o rozhodování za nejistoty nebo o rozhodování za rizika. Rozdíl je takový, že u rozhodování za rizika známe příslušné pravděpodobnostní rozdělení nebo je můžeme v principu zjistit. Pokud neznáme důsledky variant ani možné stavy světa, pak se jedná o rozhodování za neurčitosti. [2], [3]

Tabulka 1: Rozdíl rozhodovacích procesů za podmínek dle [4]

Rozhodování za:	jistoty	rizika	nejistoty	neurčitosti
Budoucí stav	známý	odhadovaný	odhadovaný	neznámý
Důsledek stavu/ů	známý	odhadovaný	odhadovaný	neznámý
Pravděpodobnost výskytu stavu/ů	jednoznačná	odhadovaná	neznámá	neznámá

Další možné rozdělení rozhodovacích problémů je na dobře a špatně strukturované. Dobře strukturovatelné jsou algoritmizovatelné rozhodovací problémy, pro které platí, že pro jejich postupy existuje řešení, které je opakovatelné (rutinní). Mají zpravidla jediné kvantitativní kritérium (např. obsazení jednotlivých předmětů na vysoké škole, stanovení počtu dělníků nasazených na stavbu, vytížení výrobní linky atp.), u proměnných lze většinou stanovit číselná hodnota a řeší se obvykle na operativní úrovni. Špatně strukturované problémy rozhodování bývají neopakovatelné a nové. Vyskytují se ve vyšších úrovních řízení (např. změna výrobního procesu, zavedení nové inovace do podniku atp.). Pro tento typ je typické, že mají větší počet kritérií (některá jsou kvalitativní), netriviální výklad informací pro rozhodnutí, a proces výběru je ovlivňován větším počtem okolností, které nejsou přesně známy a mají mezi sebou proměnlivé vazby. Setkávat se můžeme i s náhodnými změnami v okolí subjektu. [3]

1.1 Postup při řešení rozhodování

Méně podrobný průběh rozhodovacího procesu jsme si již ve třech krocích zmínili výše. Nyní si rozepíšeme jednotlivé kroky podrobnějšího rozhodování označovaného jako analytický model. Tvoří ho následující subprocesy:

1. Identifikace situací, které je potřeba nějakým způsobem vyřešit. Tento subproces je zaměřen na sběr, analýzu a vyhodnocení informací o organizaci, ve kterém probíhá rozhodovací proces, a jejího okolí.
2. Formulování rozhodovacího problému. Během tohoto kroku analyzujeme, formulujeme a určujeme základní prvky problému. Zjišťujeme jeho příčiny, kvůli kterým vznikl, a jaký je cíl řešení.
3. Určování kritérií, podle kterých bude probíhat hodnocení a následný výběr variant.
4. Vytváření řešení problému, respektive variant a jejich formulování.
5. Stanovení důsledku pro každou variantu z pohledu kritérií.
6. Vybírání výsledné varianty nebo uspořádání variant podle preferencí a vyhodnocení jejich důsledků.
7. Reálné implementování vybrané varianty.
8. Kontrolování řešení. V tomto kroku se vytyčují odchylky vzhledem k cílům, které byly stanoveny. V případě rozdílu je zde možnost realizovat korekci.

[3]

1.2 Modely rozhodování

Rozhodovací problémy jsou různorodé, a i přes rozdílnost jejich podstaty a náplně, tj. věcné (meritorní) stránky, se shodují v nástrojích, metodách, postupech či jednotlivých fázích rozhodování. Tedy shodují se v procesní (procedurální) a nástrojové (instrumentální) stránce, které jsou pro ně charakteristické, a je jedno o čem se rozhoduje. Můžeme používat stejné nástroje (např. různé metody) a zefektivnit si postup rozhodovacím procesem. [4]

V tradiční teorii se setkáváme často s tím, že se při hledání optimálního řešení rozhoduje racionálně. Oproti tomu organizační teorie rozhodování, se kterou přišel nositel Nobelovy ceny za ekonomii Herbert A. Simon, přinesla do řízení organizací mnoho praktického. Simon, který se dlouhou dobu zabýval racionalitou v rozhodování manažerů, dokazoval výzkumy, že se díky časovému tlaku a nedokonalým znalostem mohou lidé málokdy uchýlit pro racionální hledání řešení. To způsobí vybrání první varianty, která je dostatečně uspokojí. Vymezil tím tak dva hlavní typy modelů rozhodování: racionálně ekonomický model a administrativní model. [4]

První ze zmíněných modelů rozhodování má za účel maximalizaci dosažení stanoveného záměru. Takový model rozhodování prezentuje specifický ideál, ke kterému bychom se měli rozhodováním přibližovat. Tento typ vychází z vlastností ekonomického člověka, který se snaží vyhledávat nejlepší možné řešení pro jeho vlastní prosperitu. Zásadní vlastnosti v tomto případě jsou následující: znalost všech možných variant a jejich důsledků, kvantitativní ohodnocení užítku těchto variant a výběr takové varianty, která maximalizuje zisk. [3]

S administrativním modelem rozhodování se zpravidla setkáváme v organizacích, protože tam narazíme na takového rozhodovatele, který nehledá optimální variantu (pojem bude vysvětlen v kapitole 3.1), nýbrž první dostatečně vyhovující variantu. Takový rozhodovatel obvykle nemá absolutní schopnosti či vědomosti a musí si vytvořit zjednodušený pohled na problém. Hovoříme v tomto případě o administrativním člověku. Hledání a hodnocení všech možných variant je náročné po stránce času, financí, ale i co se týče analytických schopností rozhodovatele, proto se celkový obraz jako u předchozího modelu nevytváří. To zapříčiňuje také to, že výsledek může a nemusí být pro organizaci optimální a u většího počtu variant komplikuje jejich hodnocení. Existuje princip, který se na tento případ uplatňuje a nazývá se satisfakce. Zvolí se omezená množina kritérií, stanoví se jejich hodnoty, které by výsledná varianta měla splňovat, a vybere se první nalezená hodnota, která je jako konečné rozhodnutí dostatečná (splňuje aspirační úroveň). Administrativní model reprezentuje běžnou praxi. [3]

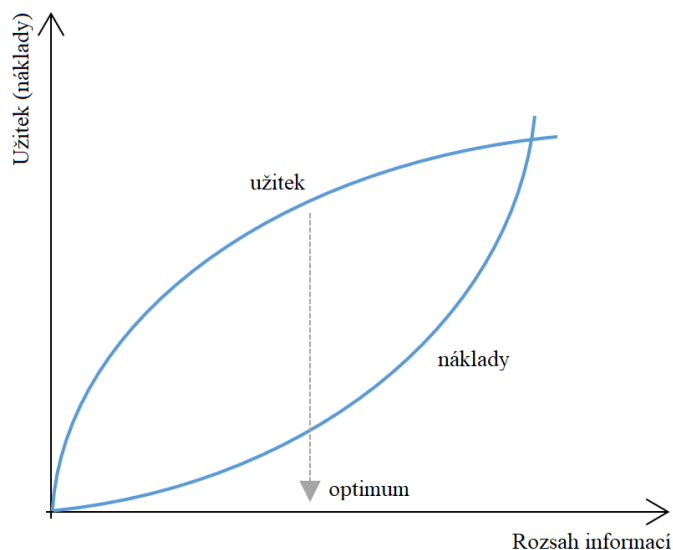
V teorii rozhodování dělíme i jeho charakter na deskriptivní a normativní. Deskriptivní teorie rozhodování je postavena na zkušenostech z uskutečněných rozhodování, které popisují, jak reálně toto rozhodování probíhalo. Sbírají se informace o průběhu, výsledcích, objektech či subjektech. Výsledek vychází ze zkušeností, co se již skutečně stalo. To ale nezaručuje, jestli bude či nebude dobrý. Takovým způsobem se rozhoduje v administrativním modelu. V opačném případě u normativní teorie je cíleno na poskytnutí předpisů (pokynů), jak by měl subjekt rozhodovat pro docílení nejvyššího užitku. Při dodržování tohoto návodu by se mělo zajistit kvalitního výsledku. Toho je využíváno v racionálně ekonomických modelech. [4]

1.3 Kvalita rozhodování

V problematice manažerského rozhodovacího procesu, primárně toho strategického, je kvalita rozhodování důležitým pojmem. Strategické rozhodování má zásadní vliv na fungování organizace a je vedeno na úrovních vrcholového managementu. Nekvalitním rozhodovacím procesem vzniká riziko neúspěchu a negativně může ovlivnit budoucí prosperitu a efektivnost fungování organizace. Na kvalitu působí mnoho faktorů. Je určena cíli řešení (jak moc se shodují s cíli organizace a jejich úspěšnosti převodu na kritéria včetně jejich použití k výběru výsledné varianty), informacemi (závisí na kvalitě i kvantitě), reálným postupem při hledání řešení (zda byly provedeny všechny body procesu, s jakou mírou se uplatňovaly poznatky teorie rozhodování a jak moc racionální postup byl) a variantami (jejich vzájemnou koncepční odlišností, počtem a kvalitou údajů o důsledcích všech variant). Dalšími vlivy jsou tzv. bariéry racionality u rozhodovatele (např. jeho omezené schopnosti pro formulaci či řešení problému a opakování neefektivních rozhodnutí) a organizační jednotky (např. nepružnost její struktury nebo mnoho stupňů hierarchie řízení a nejasnost pravomocí členů/jednotek k procesu rozhodování). [3], [5]

Informace mají charakteristickou funkci v rozhodování, protože je na nich rozhodovací proces postaven, a tudíž její role je pro úspěch zřejmá. Informace musí být jednoznačné, ověřené, aktuální a ve správné struktuře. Takové, které tyto podmínky nesplňují, by měli být vyloučeny. Další podmínkou je, že množství informací je pro úspěšnost rozhodnutí dostatečné. Čím více takových informací je dostupné, tím je umožněno kvalitnější rozhodnutí (rostou mezní náklady), ale jelikož na druhou stranu klesá jejich mezní užitek, neplatí to neomezeně. Existuje proto optimální rozsah informací, který je v teorii rozhodování definován ve vztahu k výdajům na jejich obstarání a k míře přineseného užitku, viz Obrázek 1. Za optimum se považuje tedy takové množství, kde je největší rozdíl mezi hodnotou užitku informací a výší vynaložených nákladů pro jejich sběr. Aby všechny výše zmíněné podmínky byly splněny, je potřeba času

a finančních nákladů, což je důvod, proč je v krizi skoro nemožné dosáhnout takového stavu. [3], [4]



Obrázek 1: Optimální rozsah informací, upraveno dle [3]

1.4 Klasifikace úloh vícekriteriálního rozhodování

Jelikož do vícekriteriálního rozhodování spadají úlohy, které jsou velmi různorodé a není dost dobře možné předložit univerzální rozhodovací algoritmus, je proto nezbytné uvést jejich klasifikaci. Důležitým klasifikačním hlediskem je způsob, jakým zadáme množinu přípustných variant do rozhodovací úlohy. Pokud je množina přípustných variant zadána formou konečného seznamu, hovoříme o úloze vícekriteriálního hodnocení variant. Jestliže je množina přípustných variant vymezena souborem požadavků, které musí jednotlivé alternativy splňovat, mluvíme o úloze vícekriteriálního programování. Příkladem výše zmíněných forem může být investování určité částky. Je-li cílem investovat částku vyhodnocenou podle vybraných ukazatelů pouze do jedné společnosti, jde o vícekriteriální hodnocení variant. Je-li cílem investovat částku do libovolných n společností, variantami bude n -tice nezáporných čísel (teoreticky je možné považovat jejich počet za nekonečný), pak jde o úlohu vícekriteriálního programování. Pro tuto diplomovou práci se budou uvažovat metody vícekriteriálního hodnocení variant, protože hodnocení nemovitostí na realitním trhu probíhá na uzavřené množině inzerátů. [7], [12]

Další způsob klasifikace úloh je založen na informacích, které máme k dispozici o rozhodovacích variantách a o cílech sledovaných rozhodovatelem. Tyto informace mohou být již součástí zadání nebo takové, které lze získat v průběhu řešení. Z tohoto hlediska je dělíme do následujících čtyř kategorií. Občas je rozhodovací metoda zařaditelná do více

kategorií současně, v závislosti na konkrétní úpravě použití. První kategorií, kterou si představíme, jsou úlohy s informací umožňující skalarizaci optimalizačního kritéria, někdy označovány za úlohy s kardinální informací o kritériích, které umožňují kvalifikované shrnutí více kritérií do jednoho skalárního kritéria. Teorie vícekritériálního rozhodování je zde důležitá z důvodu, aby zmíněná redukce na skalár byla provedena beze ztrát anebo nezpůsobila zkreslení původních informací. [12]

Kategorie nazývaná jako úlohy bez informace umožňující skalarizaci je jádrem teorie a praxe vícekritériálního rozhodování. V těchto úlohách se pracuje s pojmem „nedominované řešení“, které bude zavedeno v kapitole 3.1. Hledání jednoznačného řešení, které je deklarované jako „optimální“, je v této kategorii bez přijetí dalších, ne příliš zdůvodněných předpokladů obtížné. Příčinou je, že nedominovaných řešení je příliš mnoho a informace nedokáže mezi těmito řešeními dále rozlišovat. [12]

Další kategorií jsou úlohy s informací získanou v průběhu řešení. V některých situacích je obtížné získat informace předem. Za předpokladu, že uživatel a případně ani analytik dopředu nevědí, co je pro vyřešení dané úlohy podstatné, tak se využívají tyto postupy, které získávají relevantní informace od uživatele v průběhu jejího řešení. Informace se čerpají zpravidla prostřednictvím dialogu uživatele s počítačovým programem, jedná se o tzv. interaktivní metody. Nevýhodou je, že občas uživatel nedokáže na kladenou otázku počítačem spolehlivě odpovědět. V takovém případě, aby se dostalo požadovaného výsledku, se vkládá soustava domněnek, utříděných do logické formy. Vybrané řešení bývá však dosti vzdáleno od objektivně optimálního řešení v porovnání s úrovní řešení (co se kvality týče), které je intuitivně vybrané přímo ze seznamu přípustných variant. [12]

Závislost řešení na ne vždy spolehlivé počáteční informaci nemusí být na první pohled patrná. Poslední, čtvrtá kategorie označovaná za parametrická řešení úloh vícekritériální optimalizace, dává přednost širšímu náhledu do problematiky před doporučením k akci, které je více či méně jednoznačné. Parametrická řešení jsou zobrazení, která představují optimální řešení jako funkci vložené informace. Jedna z nevýhod této kategorie je, že parametrická řešení jsou obvykle dosti nepřehledná. [12]

2 KRITÉRIA A STANOVENÍ JEJICH VAH

Fáze řešení rozhodovacích problémů by měly probíhat ve vzájemné návaznosti. Především úzká návaznost je u výběru kritérií, tvorby variant a jejich hodnocení vzhledem k množině těchto kritérií, protože se často mezi sebou mírně prolínají. To je jedním z důvodů, proč je někdy v praxi těžké tyto fáze od sebe oddělit. Přesto je nutné, aby výběr a formulace kritérií hodnocení předcházela tvorbě variant. Důvodem této podmínky je, že kritéria určují aspekty variant a tím ovlivňují volbu optimální varianty či správné stanovení preferencí. Nezahrnutí některých kritérií může vést k zanedbání nějakého hlediska varianty. Dalším důsledkem tohoto opomenutí může být to, že se nemusí jejich určité účinky zjišťovat, čímž nebudou ani předmětem hodnocení. Projevení její nevhodnosti se může projevit teprve až po realizaci. [5]

Je-li hodnocení variant kvantifikováno na základě kritérií, mohou být údaje uspořádány do kritériální matice Y ve (2.1), kde prvek y_{ij} vyjadřuje hodnocení i -té varianty podle j -tého kritéria. Prvky v této matici nemusí být pouze číselné. Obecně by se kritériální matice dala označit jako matice hodnot atributů variant. [6]

$$Y = \begin{matrix} & & f_1 & f_2 & \cdots & f_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} & & & & \end{matrix} \quad (2.1)$$

2.1 Kritéria hodnocení

Kritéria (stránka určená subjektem), jak již bylo zmíněno, slouží k posouzení výhodnosti, eventuálně porovnání či uspořádání jednotlivých variant rozhodování dle míry plnění dílčích cílů řešeného problému. Cíle se obvykle vyjadřují jako maximalizace (např. zvýšení tržby), minimalizace (např. snížení nákladů) nebo dosažení určitých hodnot těchto veličin. Kritéria mohou být rozdělena do dvou skupin, kde první skupina je tvořena kritérii výnosového typu a druhá skupina kritérii nákladového typu. Výnosový typ nám označuje taková kritéria, kde rozhodovatel preferuje vyšší hodnoty před nižšími. Ve skupině nákladového typu jsou zvýhodňovány kritéria s nižšími hodnotami. [2], [5]

Při práci s kritériální maticí je výhodné pracovat s takovou maticí, kde jsou všechna kritéria stejné povahy, buď všechna minimalizační nebo maximalizační (častější). Pro převod se používají obvykle dva způsoby: vynásobení celého sloupce matice -1 (tedy transformace na $y_{ij}' = -y_{ij}$) nebo výpočet zlepšení oproti nejhorší kritériální hodnotě, resp. transformace na $y_{ij}' = y_{ij} - \max_i(y_{ij})$. Tento druhý způsob však pro některé metody může představovat

zkreslení vstupní informace s následným zásadním ovlivněním výsledku, byť je interpretačně jasnější (na tuto skutečnost bude při výkladu metod upozorněno). První způsob je oproti tomu matematicky korektní, ale na první pohled nemusí být pro uživatele hned jasný (například bude-li tam záporná cena). [6]

Každé kritérium v rozhodovacím procesu lze převést na zobrazení f množiny A do množiny S , označované jako škála (míra):

$$f: A \rightarrow S. \quad (2.2)$$

Na základě zobrazení kritéria f ve (2.2) je ohodnocení varianty $a \in A$ určeno jejím obrazem $f(a) \in S$ a pro každé toto kritérium uvažujme ohodnocení všech variant $y_{ij} = f_i(a_j)$, kde $i = 1, 2, \dots, n$ a $j = 1, 2, \dots, m$. Důležitým poznatkem je, že škála S má některé vlastnosti uspořádané množiny, aby se jednotlivá ohodnocení různých variant mohla mezi sebou porovnávat. Pojem uspořádaná množina je založena na pojmu relace. [2]

Relace je jedním ze základních matematických pojmů, proto si představme její interpretaci spojenou s uspořádáním variant. Je definována dle [2] následovně: Nechť S je množina, $S \times S$ je kartézský součin, tj. množina všech dvojic (u, v) , kde $u \in S, v \in S$. Podmnožina $R \subseteq S \times S$ se nazývá relace na S . Jsou-li prvky $u, v \in S$ v relaci, označuje se jako $(u, v) \in R$ nebo uRv . Relace R na množině S se nazývá:

- reflexivní, jestliže platí: $\forall u \in S, uRu$,
- symetrická, jestliže platí: $\forall u, v \in S, uRv \Rightarrow vRu$,
- antisymetrická, jestliže platí: $\forall u, v \in S, uRv \wedge vRu \Rightarrow u = v$,
- tranzitivní, jestliže platí: $\forall u, v, w \in S, uRv \wedge vRw \Rightarrow uRw$,
- úplná, jestliže platí: $\forall u, v \in S, uRv \vee vRu$.

Částečné uspořádání se označuje za relaci R na množině S , jestliže je reflexivní, antisymetrické a tranzitivní.

Relace R na množině S se označuje za uspořádání, pokud je reflexivní, antisymetrická, tranzitivní a úplná.

Částečným kvaziuspořádáním je označována relace R na množině S pro kterou platí, že je reflexivní a tranzitivní.

Kvaziuspořádání je taková relace R na množině S , která je reflexivní, tranzitivní a úplná.

2.2 Typy škál

Ve vícekritériálním rozhodování existují tři typy škál: nominální (jmenná) škála, ordinální (pořadová) škála a kardinální (intervalová a poměrová) škála. Nejjednodušším typem je nominální škála, kde S nemá vlastnost uspořádání (mezi prvky na množině S není definována žádná relace). Kvalitativní kritérium je měřitelné v této stupnici, pokud se varianty dají zařadit do určitých tříd na základě důsledků vzhledem k danému kritériu. Varianty ve stejné třídě jsou brány jako rovnocenné, přičemž mezi třídami obvykle vztah preference neexistuje. Někdy se tento vztah připouští (např. preference barev u hodnocení variant automobilu, kde třídami jsou jednotlivé barvy). Dílčí stupně v tomto typu škály se vylučují. [2], [5]

Vyšším typem stupnice je ordinální škála, která umožňuje seřadit každou variantu rozhodování ($f(a_i) \in S, i = 1, 2, \dots, m$) podle daného kritéria od nejvýše po nejméně výhodnou variantu. Tento typ škály sice umožňuje určit pořadí, ale není schopen nám pro jakékoliv dvě varianty poskytnout informaci o kolik, respektive kolikrát je na základě daného kritéria jedna varianta výhodnější než druhá. Používá se k měření kvalitativních kritérií, též označovaných jako ordinální kritéria. Při měření kvantitativních kritérií by docházelo ke značné ztrátě informace. Příkladem takové ztráty informace může být známkování testu, kde se hodnotí po 10 bodech. Testy se ziskem 100 bodů a 90 bodů se v ordinální stupnici posuzují z hlediska známkování jako „stejně“ lepší (stupeň „výborně“) než ten test, který má 89 bodů (stupeň „výborně mínus“). [2], [5]

Kardinální škála je nejvyšším typem stupnice, která může mít formu poměrové nebo intervalové stupnice. Obě stupnice mají předpoklad, že musí být určeny jednotky měření a počátek. Poměrová stupnice nám poskytuje možnost určit, kolikrát je daná varianta dle konkrétního kritéria větší či menší než jiná. Počátek musí vyplývat z vlastností měřeného kritéria. Intervalová stupnice na rozdíl od poměrové umožňuje určit, o kolik je varianta větší či menší než druhá. Míra této vzdálenosti nám dává informaci i o preferenci. Počátek lze v tomto případě určit arbitrárně. Užívá se pro měření kvantitativních kritérií, která se proto označují také jako kritéria kardinální. [5]

2.3 Tvorba kritérií

Obecnou zásadou při tvorbě kritérií je vycházet z cílů. Každému konkrétnímu kritériu hodnocení by měl náležet dílčí cíl, který chce rozhodovatel procesem rozhodování dosáhnout, protože kritéria slouží jako stupně plnění těchto cílů zvolenými variantami. Většinou se cíle více vztahují k žádoucím dopadům a účinkům (např. zvýšení zisku) než k nežádoucím, které

jsou formulovány jako snaha zabránit, respektive snížit, jejich důsledky (např. eliminace ztrát). Zanedbání nebo ignorování některých nepříznivých účinků možných variant nezačleněním odpovídajících kritérií při jejich volbě může zhoršit vyhledávání všech jejich konečných negativních důsledků. Dopady nemusí být pouze krátkodobé (takové, co se objevují hned po realizaci výsledné varianty), ale i dlouhodobé (po nějakém delším časovém úseku). Tvorba kritérií ovlivňuje kromě cílů také subjekty, které se podílejí na rozhodování nebo jsou výsledným rozhodnutím ovlivněny. Měly by se proto brát v potaz i zájmy všech těchto subjektů, aby se eliminovaly možné problémy při implementaci či negativní reakce na realizovanou variantu. Držení se těchto zásad by mělo zvýšit kvalitu určení pořadí variant či výběru optimální varianty a tím i konečného rozhodnutí. [5]

Důležitost, resp. preference kritérií se vyjadřuje mnohými způsoby: stanovením aspirační úrovně, pořadí kritérií (ordinální informace o kritériích), váhami kritérií (kardinální informace o kritériích) a kompenzací kriteriálních hodnot. Aspirační úroveň je taková hodnota, která specifikuje, čeho má být dosaženo (čím přísnější požadavek aspirační úroveň vyjadřuje, tím je důležitější). Dosáhne-li varianta alespoň požadované aspirační úrovně, pak se označuje za akceptovatelnou variantu, v opačném případě je neakceptovatelná. Preference u pořadí kritérií je dána jejich posloupností (od nejdůležitějšího po méně důležité). Metodám stanovení vah kritérií se dále věnuje kapitola 2.5. [6], [12]

2.4 Požadavky na soubor kritérií

Je-li posuzován cíl více kritérii, je nutné, aby kritéria nebyla vzájemně redundantní ani na sobě závislá. Dalšími požadavky na soubor kritérií je úplnost, srozumitelnost jednotlivých kritérií a minimalizace mohutnosti množiny. [5]

Kritéria v souboru by neměla mít mezi sebou příliš úzké vazby či závislosti. V některých případech je dodržení tohoto pravidla problematické, proto se doporučuje kombinovat pozitivně závislá kritéria s negativně závislými kritérii. Tím můžeme kompenzovat jejich přítomnost v souboru. Jako negativní závislost si můžeme představit kritéria vzdálenosti bytu od centra a jeho cena. Čím blíže je byt k centru, tím je dražší. Se závislostí kritérií souvisí i neredundance. Neredundance souboru znamená, že nedochází k částečnému ani k úplnému překrývání kritérií. Každé hledisko musí do hodnocení variant vstupovat pouze jednou. [5]

Varianty mohou mít dopady na oblasti, ve kterých se nachází a se kterými přímo i nepřímo souvisí. Úplným souborem označujeme takovou množinu kritérií, která umožňuje zhodnotit a posoudit všechny důsledky variant. Tyto přímé i nepřímé důsledky variant mohou být, jak

s žádoucím, tak i nežádoucím dopadem. Soubor by měl být úplný, ale rovněž co do rozsahu co nejmenší, aby bylo dosaženo zjednodušení závěrečného hodnocení variant. Například můžeme vyloučit ze souboru kritéria, která mají na varianty podobné důsledky, i když jsou značně významná. Dalším možným způsobem redukce souboru je agregace kritérií do jednoho či více komplexnějších kritérií, aniž by se porušila úplnost. [5]

Operacionalita (srozumitelnost, jasnost a jednoznačnost) je především důležitá, je-li rozhodovatelů více, aby nedošlo k mylnému výkladu, správně se určily dopady variant vzhledem k daným kritériím a korektně se jednotlivá kritéria ohodnotila. Pro kvantitativní kritéria lze toho dosáhnout snadněji než u kvalitativních (u slovních popisů může nastat problém v jednoznačnosti). Kritéria kvalitativní můžeme případně pro zvýšení operacionality dekomponovat na dílčí, mnohdy kvantitativní kritéria. [5]

Všechny požadavky, které byly zmíněny, nelze splnit současně. Příkladem je agregování kritérií pro snížení jejich počtu v souboru, čímž zároveň snižujeme operacionalitu. Naopak, když bude snaha zvýšit jednoznačnost kritérií za pomoci dekompozice, může se stát, že se nesplní podmínka neredundance nebo minimalizace souboru. Obvykle se proto v praxi hledá mezi požadavky určitý kompromis. [5]

2.5 Metody stanovení vah kritérií

Pro většinu metod, které hodnotí varianty, je nutnost nejdříve určit váhy jednotlivým kritériím, někdy označovány jako koeficienty významnosti. Metody stanovení vah kritérií bývají výchozím krokem analýzy modelu hodnocení variant (vícekriteriální analýzy variant). Jedná se o číselné vyjádření priority, resp. důležitosti sledovaných cílů subjektu. Čím je váha vyšší, tím je pro subjekt v rozhodování důležitější. V závislosti na cílech analýzy se pro varianty stanovují preferenční vztahy. Skoro výhradně se váhy kritérií získávají z nejpoužívanějších postupů, které jsou popsány níže. Mohou být kombinovány i používány najednou, ale stále by měly být podřízeny úspěšnému dosažení cílů analýzy a kritériu účelnosti. Srovnatelnosti vah souboru kritérií se dosáhne normováním, konkrétně zpravidla tak, aby jejich součet byl roven jedné. [5], [6]

Váhy kritérií se stanovují na základě informací o preferencích kritérií. Informace může být ordinální, kardinální, nominální nebo dokonce žádná. Pokud není k dispozici žádná informace, neznamená to, že se neví o problému nic. Řešitel pouze nechce nebo neumí stanovit preference jednotlivým kritériím. V takovém případě se přiřazuje všem kritériím stejná váha podle

vztahu (2.3), kde n je počet kritérií. Požaduje-li řešitel, aby kritéria neměla stejnou váhu, použije se Entropická metoda (kapitola 2.5.1). [6]

$$v_j = \frac{1}{n}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

Nominální informace rozděluje varianty podle příslušného kritéria na akceptovatelné a neakceptovatelné. Je vyjádřena pomocí aspiračních úrovní, které jsou reprezentovány nejhorsími možnými hodnotami, při nichž může být varianta akceptována. [6]

Pro stanovení vah z ordinální informace je předpokládáno, že řešitel dokáže a chce vyjádřit důležitost jednotlivých kritérií v podobě pořadových čísel, nebo pro všechny dvojice určí, které z dvou aktuálně porovnávaných kritérií je důležitější. Je přípustné ohodnotit dvě či více kritérií se stejnou preferencí. V této oblasti se nejčastěji používá metoda pořadí (kapitola 2.5.2) a metoda Fullerova trojúhelníka (kapitola 2.5.3), které transformují ordinální informaci do podoby váhového vektoru. [6]

Pokud je rozhodovatel schopen a ochoten určit pořadí důležitosti kritérií a zároveň jejich poměr pro každou dvojici, bavíme se o metodách stanovení vah s kardinální informací o preferencích kritérií. Nejpoužívanějšími metodami jsou: bodovací metoda (kapitola 2.5.4) a Saatyho metoda kvantitativního párového porovnání (kapitola 2.5.5), která podle informace o odhadu poměru vah odvozuje váhový vektor. [6]

2.5.1 Entropická metoda

Jedná se o druh objektivní váhové metody, která využívá entropii, respektive míru entropie, pro určení vah kritérií. Mezi další objektivní metody stanovení vah patří směrodatná odchylka, střední kvadratická chyba, fuzzy metody získávání vah a další. Jsou-li všechna hodnocení variant podle daného kritéria stejná nebo podobná, pak má toto kritérium nulovou váhu a můžeme jej pro potřeby hodnocení alternativ zcela vynechat. Oproti tomu se připisuje větší váha takovým kritériím, podle kterých jsou varianty hodnoceny rozdílněji. Obecně platí, že čím větší je jejich rozdíl, tím větší množství informací obsahuje, respektive čím menší je hodnota entropie, tím větší je váha entropie. [6], [8]

V teorii informace je entropie kritériem pro množství neurčitosti reprezentované diskrétním rozdělením pravděpodobnosti $p_j, j = 1, \dots, n$. Tato míra neurčitosti je vyjádřena výrazem (2.4), kde k je kladná konstanta. Pokud jsou všechna p_j shodná (tedy $p_j = 1/n$), pak dosahuje maximální hodnoty. [6], [9]

$$S(p_1, p_2, \dots, p_n) = -k \sum_{j=1}^n p_j \ln p_j \quad (2.4)$$

Váha kritérií je stanovena rozdíly velikostí výstupů všech variant na základě jednotlivých kritérií, takže ohodnocení y_{ij} i -té varianty j -tého kritéria můžeme převést na pravděpodobnosti diskrétní veličiny pomocí vztahu (2.5). [6]

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}}, \quad i = 1, \dots, m, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

Entropii E_j množiny očekávaných výstupů j -tého kritéria dle [6] dostaneme následovně:

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2.6)$$

kde $k = \frac{1}{\ln m}$. Tato hodnota konstanty k zajišťuje, aby $0 \leq E_j \leq 1$. [6], [9]

Stupeň diversifikace d_j informace, která je poskytována výstupy j -tého kritéria, je definován jako: $d_j = 1 - E_j$, pro všechna j . Následně získáme pomocí normalizací vektoru d vektor vah:

$$v_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.7)$$

[6], [9]

Entropická metoda je použitelná v této formě za předpokladu kritériální matice s kladnými hodnotami, protože musí být stanoveny pravděpodobnosti p_{ij} a jejich přirozené logaritmy. Pokud by se rozhodovalo na základě takových kritérií, které mohou nabývat i záporných hodnot, můžeme změnit kritériální matici. To však může vést ke změně vypočtených vah a poměrů mezi nimi, ale i v pořadí jejich důležitosti. Příkladem lze uvést empiricky ověřenou skutečnost, že máme-li stejnou výši slevy v konkrétní částce u levnějšího produktu a u řádově dražšího produktu, jsme ochotni udělat pro levnější produkt více (např. dojet do vzdálenějšího obchodu) než pro ten dražší. Říká se tomu fenomén vnímání významnosti rozdílů. [6]

2.5.2 Metoda pořadí

Metoda pořadí se využívá k určení vah kritérií především v případech, kde jejich důležitost hodnotí několik expertů. Tato metoda je založena na tom, že každý expert seřadí kritéria od nejméně důležitého po nejdůležitější. Je-li v rozhodovacím procesu n kritérií, pak kritérium, které je nejméně důležité, je ohodnoceno 1 bodem, druhé nejhorší 2 body atd., až poslední

(nejdůležitější kritérium) dostane ohodnocení $w_n = n$ bodů. Pokud se stane, že kritéria dosáhnou stejné důležitosti, pak jejich bodové ohodnocení je přiděleno dle aritmetického průměru odpovídajících pořadí. Váhy jednotlivých kritérií jsou určeny součtem bodů, které získalo dané kritérium od všech expertů, poděleným celkovým počtem bodů, které byly experty rozděleny mezi všechna kritéria. Z toho vyplývá, že suma vah všech kritérií dává 1, a že důležitější kritéria mají větší váhu. [2], [6]

Jak bylo v úvodu do metod stanovení vah zmíněno, tato metoda nepostihuje případnou rozdílnost v intenzitě důležitosti jednotlivých kritérií. Je aplikován vždy stejný přírůstek, takže každé kritérium nabývá stejné důležitosti. To je výše vyjádřeno skutečností lineárního růstu vah spolu se vzrůstající významností. Obecně platí, že je-li j -té kritérium ohodnoceno b_j body, nehledě na to, zda se jedná o jedinou hodnotu či součet hodnot v případě hodnocení více expertů, vypočítá se jeho váha dle vzorce (2.8). Tento postup je pojmenován jako normalizace vah kritérií, protože normalizuje informace o preferenci kritérií. [2], [6]

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.8)$$

2.5.3 Metoda Fullerova trojúhelníka

Tato metoda, též nazývaná v některé literatuře jako metoda párového srovnávání, je založena na párovém srovnávání, pro které je charakteristické zjišťování preferenčních vztahů dvojic kritérií. V nejjednodušší modifikaci se pro každé kritérium zjišťuje počet preferencí vůči všem ostatním. Preference se většinou určují pomocí tzv. Fullerova trojúhelníka, který lze nahradit ekvivalentním schématem ve formě tabulky (Tabulka 2), kde v horní trojúhelníkové matici rozhodovatel vyplní 1 v případě, že kritérium v řádku je upřednostňováno před kritériem ve sloupci, a 0 pro ostatní případy (nezahrnuje se míra odlišnosti viz stanovení vah z ordinální informace). Počet uskutečněných srovnání je dán výrazem (2.9), kde n je počet všech párových porovnání. [2], [5], [6]

$$N = \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.9)$$

Normovaná váha j -tého kritéria v_j se vypočítá na základě počtu preferencí n_j , který je roven součtu jedniček v řádku daného kritéria a součtu nul ve sloupci téhož kritéria. Tento výpočet normované váhy je dán vztahem:

$$v_j = \frac{n_j}{N}, \quad j = 1, \dots, n. \quad (2.10)$$

[5], [6]

Tabulka 2: Zjišťování preferencí kritérií u metody Fullerova trojúhelníku, upraveno dle [5]

Kritérium	K_1	K_2	...	K_{n-1}	K_n	Počet preferencí
K_1		1	...	1	1	
K_2			...	1	0	
\vdots				\vdots	\vdots	
K_{n-1}					1	
K_n						

Nevýhoda tohoto postupu je v tom, že pro výpočet vah kritérií při konzistentní informaci¹ od uživatele je pro nejméně důležité kritérium vždy hodnota nula, a tím i nulová váha v_j , i když se nejedná o bezvýznamné kritérium. Je zde však úskalí, že kdyby se odstranilo kritérium s nulovou váhou a opětovně provedlo porovnání, kde by nastala stejná situace, tak nakonec po $(k - 1)$ -tém opakování zůstane pouze jedno. Aby se této nevýhodě zabránilo, zvyšuje se počet preferencí u všech kritérií o jednu. To vede k úpravě i vztahu výpočtu normované váhy v_j na výraz (2.11). [5], [6]

$$v_j = \frac{n_j + 1}{n + N} \quad (2.11)$$

Klíčová výhoda této metody je ve schopnosti stanovit pořadí kritérií na základě jejich významnosti, určené porovnáváním každého kritéria s každým. Tím dostáváme narozdíl od jiných metod přesnějšího výsledku, především při jejich větším počtu. [5]

2.5.4 Bodovací metoda

Bodovací metoda, jak již bylo zmíněno, stanovuje váhy z kardinální informace a stejně jako metoda pořadí se používá především tehdy, hodnotí-li kritéria více expertů. Experti ohodnotí každé z kritérií určitým počtem bodů w_i na předem stanovené stupnici. Stupnice může být vyjádřena intervalem, ale také graficky v podobě úsečky, kde jsou zobrazeny pozice jednotlivých kritérií vzhledem k jejím koncům, reprezentujícím nejvyšší a nejnižší preferenci. Příkladem stupnice je interval 0 až 10, kde 0 bodů značí bezvýznamnost kritéria a 10 bodů absolutní důležitost. Z toho vyplývá, že čím více má kritérium bodů, tím je důležitější. Bodová

¹ Pojem konzistence bude vysvětlen v kapitole 2.5.5 (Saatyho metoda)

ohodnocení musí splňovat následující podmínku: $0 < w_1 \leq w_2 \leq \dots \leq w_n$. Výpočet vah se provede stejným způsobem jako u metody pořadí. Hodnoty váhového vektoru se normalizují dle (2.12). Jediný rozdíl mezi těmito dvěma metodami je, že do bodovací metody vnášíme novou informaci kardinálního typu. Ve vztahu (2.12) hodnota b_j představuje součet všech bodů od jednotlivých expertů pro j -té kritérium. [2], [6]

$$v_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^n b_j}, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.12)$$

K bodovému ohodnocování jednotlivých kritérií je možné přistupovat několika způsoby. Jeden ze způsobů je, že na začátku hodnocení je pevně stanoven rozsah stupnice. Takový způsob je možný použít v situaci, když má expert hned na začátku jasnou představu o tom, jak jsou asi daná kritéria důležitá pro hodnocení variant. V takovém případě je asi nejvhodnější přiřadit nejméně důležitému kritériu nejnižší počet bodů, nejdůležitějšímu kritériu nejvyšší možný počet bodů a všechna ostatní kritéria postupně umístit do intervalu se zohledněním hodnocení těchto dvou mezních kritérií, včetně již dříve přidaných. Dalším možným postupem, při pevně stanoveném intervalu stupnice, je vytvořit prvotní odhad bodového hodnocení jednotlivých kritérií. Jakmile je odhad dokončen, provede se jeho posouzení. Po kontrole se v konečné fázi případně objevené nesrovnalosti a nedostatky odstraňují. [6]

Další možností, jak v případě bodového ohodnocování přistupovat, je postup, kdy se kritériím postupně přiřazuje bodové hodnocení s tím, že je určený pouze řád bodů pro hodnocení důležitosti prvního kritéria. Každému následujícímu kritériu jsou opět přiřazovány body vzhledem k již dříve přidaným kritériím. Až s posledním ohodnoceným kritériem je znám skutečný rozsah intervalu stupnice. [6]

2.5.5 Saatyho metoda

Saatyho metoda je metodou kvantitativního párového porovnání kritérií a spadá mezi ty metody, které vnášejí do procesu dodatečnou informaci kardinální povahy. Slouží ke stanovení vah kritérií, kde je hodnocení prováděno pouze jedním expertem, a která odstraňuje omezení Fullerova trojúhelníka. Stanovování vah je možné rozdělit na dvě části: pro každou dvojici kritérií zjistit preferenční vztahy a následně stanovení vah. Pokud tyto jednotlivé části porovnáme s metodou Fullerova trojúhelníka, tak první část je analogická. Kritéria jsou uspořádána v tabulce, která má v řádcích a sloupcích zanesena kritéria ve stejném pořadí. Jejich uspořádání nehraje žádnou roli, pouze je zde doporučení, že by se měla řadit dle jejich významnosti. Hlavní rozdíl mezi těmito metodami je, že kromě směru preference dvojic kritérií

se určuje i velikost této preference, která se vyjadřuje za pomoci počtu bodů (nemusí to být celočíselná hodnota). Počet bodů může také určovat kolikrát je jedno kritérium významnější než druhé. [2], [5], [6]

Saatym je doporučena 9bodová stupnice. Deskriptory pro počty bodů zmíněné stupnice jsou vyjádřeny v tabulce níže, kde je možné používat i mezistupně (počty bodů: 2, 4, 6, 8). [5], [6]

Tabulka 3: Doporučená bodová stupnice pro Saatyho metodu, upraveno dle [6]

Počet bodů (S_{ij})	Deskriptor
1	Rovnocenná kritéria i a j
3	Slabě preferované kritérium i před j
5	Silně preferované kritérium i před j
7	Velmi silně preferované kritérium i před j
9	Absolutně preferované kritérium i před j

Výsledkem je Saatyho matice S , označovaná také jako matice velikosti preferencí nebo jako matice relativních důležitostí. Matice je čtvercová a symetrická, to znamená, že $S_{ji} = 1/S_{ij}$ pro všechna i a j . Také platí, že všechny prvky na diagonále (S_{ii}) mají hodnotu 1, protože každé kritérium je si sobě rovnocenné. [5], [6]

Prvky nebývají většinou konzistentní, tj. neplatí, že pokud kritérium h je S_{hi} -krát důležitější než kritérium i a i je S_{ij} -krát důležitější než kritérium j , tak h je S_{hj} -krát důležitější než j , kde $S_{hj} = S_{hi} \times S_{ij}$. Prvky matice jsou odhadem podílů (hledaných neznámých) vah v_i a v_j (takže platí $S_{ij} \approx v_i/v_j$), díky čemuž může vznikat případná nekonzistence, protože se nejedná o skutečné podíly vah. [5], [6]

S využitím znalosti Saatyho matice můžeme stanovit váhy kritérií exaktními nebo aproximativními způsoby. Do exaktního přístupu patří metoda nejmenších čtverců či postup navržený Saatym, který se opírá o výpočet vlastního vektoru matice relativních důležitostí. Tyto postupy jsou však nevýhodné obzvláště pro rozsáhlejší soubory kritérií z důvodu jejich početné náročnosti, a kde se pro ně předpokládá softwarová podpora. Pro jednodušší stanovení vah kritérií je možnost využít aproximativní postupy. Různými postupy lze získat jak značně hrubé, tak i velmi dobré odhady. Značně hrubé odhady vah se získají například součtem všech prvků v každém řádku matice a jejich vydělením součtem všech prvků této matice. Tyto podíly jsou pak odhady vah odpovídajících kritérií. [5]

Dobré odhady vah kritérií jsou získávány z geometrických průměrů řádků Saatyho matice. Pronásobí se všechny prvky v každém řádku a určí se z tohoto součinu n -tá odmocnina, kde n je počet prvků. Následně tyto geometrické průměry znormujeme, tj. vydělíme je součtem všech geometrických průměrů. [5]

Při uplatnění Saatyho metody, jak praktické zkušenosti ukazují, dochází oproti jiným metodám k výraznější diferenciaci vah kritérií. To znamená, že váhy významnějších kritérií jsou vyšší a váhy méně důležitých kritérií jsou nižší v porovnání s váhami stejných kritérií určených jinými metodami. Příčina je zpravidla kvůli doporučené bodové stupnici navrženou Saatyem, kterou si experti nesprávně interpretují, většinou z důvodu někdy zavádějícího významu jejich deskriptorů. Doporučuje se proto držet postupu, kde se uspořádají kritéria dle významu (od nejdůležitějšího po méně preferované) a stanovit rozpětí stupnice, kde počty bodů budou vyjadřovat intenzitu preferencí, tj. bude se jednat o násobky, resp. podíly vah vzájemně srovnaných kritérií. [5]

3 VARIANTY

Jak bylo v úvodu řečeno, tak varianty jsou nejrůznější alternativy, které má smysl mezi sebou porovnávat. Jejich tvorba má význam primárně z toho důvodu, abychom měli dostatek řešení rozhodovacích problémů a tím mohli dospět k „optimálnímu“ řešení. Varianty mohou být vytvořeny či získány různými způsoby. Získávají se metodami pro hledání nových myšlenek, které lze rozdělit na kreativní metody a metody, kde se převážně používá systematicko-analytický přístup. Do kreativních metod spadá metoda přímé tvorby námětů a metody založené na využití analogie. Metody přímé tvorby generují velké množství návrhů, které jsou přesně definovány a úzce vymezeny. Mezi takové patří například brainstorming nebo brainwriting. Metody založené na využití analogie uplatňuje přenos problému do nové podoby, kde se využijí zkušenosti a znalosti, které se mohou zdát být vzdálené od původního řešeného problému. Na základě analogie slouží nové řešení jako inspirace k řešení původního problému. Typickým reprezentantem je Gordonova metoda. [11]

Metody, u kterých se používá převážně systematicko-analytický přístup, využívají shromažďování relevantních informací vzhledem k jednotlivým požadavkům a cílům. Jednotlivé cíle jsou vyhodnoceny a následně na to navrženy alternativy zaměřené na jejich splnění. Tvorba je rozdělena do jednotlivých fází. Nejprve se produkují různé nápady, které ale často vedou k neuskutečnitelným konceptům. V další fázi se tyto koncepty kombinují a doplňují, aby se staly alternativami hodnými zvážení. Všeobecně se varianty liší podle toho, do jaké míry dokáží uspokojit jednotlivé cíle rozhodování. [10], [11]

Z každé varianty musí být jasně patrné, jak řeší definovaný problém a jak se liší od ostatních. Jestliže některá z variant nespĺňuje nezbytné požadavky na výsledek, následuje několik možností, kterými je: variantu z dalšího zvažování vyloučit nebo tyto požadavky upravit, přeformulovat či odstranit. [10]

Stanovení hodnot (dopadů) variant při jejich hodnocení na základě jednotlivých kritérií záleží do jisté míry na povaze těchto důsledků. Pro jejich stanovení používáme metody, které se vybírají podle typu kritérií. Pro případ kvantitativních kritérií lze použít matematické modelování v rámci tzv. systémů na podporu rozhodování. Mezi takové systémy spadají například systémy na podporu investičního rozhodování, které umožňují stanovit základní kritéria hodnocení investičních variant. Při stanovení kvalitativních důsledků se vychází z expertních výpovědí specialistů, jejichž obory se dotýkají důsledků variant řešených

problémů. Kvalitu pak zaručují jak vybraní experti, tak i způsob zpracování jejich hodnocení (např. anketou, rozhovorem, diskusí apod.). [11]

3.1 Typy variant

Pro zopakování mějme množinu rozhodovacích variant A , která má m prvků, množinu kritérií C s n prvky, kde budeme předpokládat, že každé kritérium je stanovené jako maximalizační (stejný typ kritérií je výhodný pro teoretickou úvahu), a úlohu vícekritériálního hodnocení charakterizovanou kritériální maticí (2.1).

Nedominovanou variantu definujeme jako takovou variantu, pro kterou neexistuje další varianta, která by dokázala některé hodnoty kritérií zlepšit, aniž by zhoršila hodnoty jiných. Definice pro i -té kritérium je následující: Jestliže pro i -té kritérium $f_i \in C$ a dvě varianty $a, b \in A$ platí $a \subset_i b$, nebo $f_i(a) \leq_i f_i(b)$, potom říkáme, že podle i -tého kritéria varianta a je dominována variantou b , nebo že varianta b dominuje variantu a . Jelikož relace \subset indukovaná kritériem f je (částečné) kvaziuspořádání na A , tak je výraz „dominuje“ ve skutečnosti významu „je stejně důležitá, nebo dominuje“, což plyne z reflexivity tohoto uspořádání. Tedy platí, že varianta a dominuje sebe samu. Varianta a se nazývá nedominovaná, právě tehdy když k ní neexistuje jiná varianta, která jí dominuje. Symbolem A_N značíme množinu všech nedominovaných variant, pro kterou platí $A_N \subseteq A$. Nedominovaných variant bývá typicky příliš mnoho, proto pokud bude doporučena při řešení úlohy vícekritériálního hodnocení variant k realizaci varianta, která je dominovaná jinou, dochází k hrubé chybě. [2], [11], [12]

Dalším často používaným pojmem je optimální varianta. Tento pojem není spjat s žádnou definicí, která je jednoznačná a univerzální. Bývá tak označována varianta, která je doporučena jako řešení daného problému. Pokud je v množině A jediná nedominovaná varianta, pak může být bez pochyb nazvanou optimální. Stávají se však případy, kdy $A_N = A$. Pokud je situace při rozhodování přehledná a rozhodovatel je obeznámen s danou problematikou, dokáže předem dominované varianty vyloučit. Aby počet variant byl dále zredukován, v nejlepším případě až na jeden prvek, je potřeba mít rozšiřující informace a na ně navazující metody. Volba konkrétní optimální varianty, která je v jistém smyslu reprezentantem množiny A_N , záleží na vybrané metodě. V takovém případě je místo pojmu optimální varianta používán pojem kompromisní varianta (někdy se označuje za nejlepší kompromisní variantu). [11], [12]

Jak jsme si při představování rozhodování již řekli, tak varianta, která nabývá podle všech kritérií nejlepších možných hodnot, které na jejich hodnotící škále může mít, tj. nejlepší představitelná varianta, je skrytá pod pojmem ideální varianta (popřípadě zenit). Někdy je

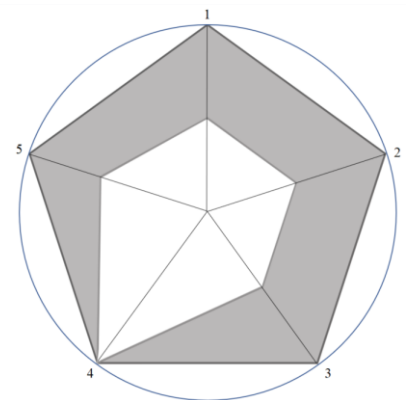
obtížné kvůli některým kritériím (například dopad na životní prostředí v úloze vybírání nejvhodnějšího místa pro vytvoření skládky) stanovit, jaké jsou jejich logicky nejlepší možné hodnoty. Proto se v takovém případě volí za ideální variantu taková hypotetická (nebo výjimečně) reálná varianta, která má všechny hodnoty na nejvyšší hodnotě, které se v kritériální matici pro jednotlivá kritéria vyskytuje. Rozdílem těchto dvou případů ideální varianty je, že jedna je odvozena pouze z dat obsažených v kritériální matici a druhá je odvozena z úrovní kritérií, které mohou být skutečně všechny současně naplněny (jsou vztaženy k absolutním extrémům kritérií). V prvním případě hovoříme o tzv. relativní ideální variantě a v případě druhém o absolutní ideální variantě. Může dojít i k případu, kdy je část odvozena z absolutních stupnic a zbylá část z hodnot v kritériální matici, pro takový případ je zkonstruovaná ideální varianta označovaná jako smíšená. [11], [12]

Opakem ideální varianty, která byla také v úvodu zmíněna, a která má všechny své hodnoty na nejnižším stupni, je bazální varianta (někdy též nadir). Stejně jako u ideální varianty můžeme definovat relativní, absolutní a smíšenou bazální variantu. [11], [12]

3.2 Kompromisní varianta

Jelikož se s ideální ani s bazální variantou nesetkáváme, tak pro hledání optimálního výsledku můžeme kompromisní variantu také chápat jako variantu z A , která je od ideální varianty nejméně vzdálena, nebo naopak od bazální varianty nejvíce vzdálena, což nemusí být totéž. Základní otázkou je, jak měřit tuto vzdálenost, protože různými definicemi vzdáleností mezi variantami můžeme získat různé definice kompromisní varianty. [11], [12]

Jeden ze způsobů měření vzdálenosti variant je pomocí grafického znázornění variant v hvězdicových souřadnicích. V polygonálním zobrazení se nabízí měření rozdílu ploch polygonů odpovídajícím oběma variantám. Na obrázku (Obrázek 2) je znázorněna šedivá plocha, jejíž velikost vyjadřuje vzdálenost. Při hledání kompromisní varianty se vzdálenost (definovaná za pomoci zmíněného rozdílu ploch) vypočítává nezávisle na obrazcích. [12]



Obrázek 2: Kompromisní varianta

3.3 Funkce užítku za jistoty

Varianta a dává uživateli určitý užitek, který je určen podle kritéria f_i z jeho hodnoty $f_i(a)$. Tento užitek se měří pomocí funkční hodnoty dílčí funkce užítku $u_i[f_i(a)]$. Funkce užítku

(někdy nazývaná jako funkce utility, užítková funkce, funkce hodnoty, preferenční funkce) přiřazuje každé variantě rozhodování užitek vyjádřený reálným číslem. Funkční hodnoty leží na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Čím větší hodnota užitku je, tím je pro rozhodovatele cennější. Dílčí funkce užitku se může lišit na základě preferenčních představ uživatele. Funkce může být lineární, kdy z konstantního přírůstku kritériální hodnoty vyplývá konstantní přírůstek užitku, konvexní, kde jsou nižší přírůstky užitku u nejméně preferované hodnoty kritéria (D_i) než v blízkosti nejvíce preferovaného kritéria (H_i), a konkávní, kde naopak jsou větší přírůstky užitku u D_i než přírůstky v blízkosti H_i . Platí, že $u_i(D_i) = 0$ a $u_i(H_i) = 1$. Nemusí být obecně v celém svém intervalu konvexní ani konkávní, ale může se vyznačovat inflexním bodem, který odpovídá určité aspirační úrovni uživatele. [5], [12]

Konstrukce obecné vícekritériální funkce užitku za jistoty je poměrně náročná, proto se setkáváme v praktických aplikacích s aditivním tvarem (3.1). Pomocí tohoto vztahu lze vyjádřit užitek variant na základě znalosti vah kritérií hodnocení a dílčích funkcí užitku jednotlivých kritérií. [5]

$$u(a) = \sum_{i=1}^n v_i u_i[f_i(a)] \quad (3.1)$$

Agregovaná funkce užitku indukuje na A relaci R , kde R lze rozložit na $R = (P, I)$. Označme P jako relaci preference mezi dvojicí variant $a, b \in A$ a I jako relaci indiference, potom platí, že aPb právě když $u(a) > u(b)$ a aIb právě když $u(a) = u(b)$. [2]

Existuje mnoho metod pro konstrukci průběhu dílčí funkce užitku, které vycházejí z preferenčních představ uživatele. Pro příklad si uvedeme metodu dělicích bodů. V této metodě uživatel zadá dělicí bod ($y^{0,5}$) mezi D_i a H_i , pro který platí, že velikost přírůstku užitku z tohoto bodu na D_i je stejný, jako přírůstek na H_i , a jeho velikosti užitku odpovídá hodnota 0,5. Tímto způsobem se pokračuje v dělení osy kritériálních hodnot dále, kde se najdou další dělicí body $y^{0,25}$ a $y^{0,75}$. Repetitivně tím docílíme získání několika bodů, které proložíme vhodnou křivkou, nebo spojíme konkrétní dělicí body přímkami. [12]

3.4 Metody nevyžadující informaci o preferenci kritérií

Tato a následující kapitoly (3.5 až 3.7) se zabývají metodami výběru kompromisních variant. Nemáme-li žádné dodatečné informace o kritériích, musíme postupnou eliminací dominovaných variant získat řešení. Množina A_N může být však rozsáhlá, protože platí, že čím více je kritérií, tím více je také nedominovaných variant. V takovém případě lze použít

bodovací metodu nebo metodu pořadí. Každá varianta bude ohodnocena podle jednotlivých kritérií z intervalu stupnice, jako tomu bylo v případě kritérií u odpovídajících metod u stanovení jejich vah. Celkové ohodnocení jednotlivých variant (b_i) se vypočítá jako součet dílčích hodnot. Následně se varianty dle svých hodnot uspořádají sestupně, z nichž se vybírá kompromisní (nejlepší) varianta (či potřebný počet kompromisních variant) s nejvyšší hodnotou. [6], [12]

3.5 Metody s nominální informací o kritériích

Pro tento přístup uvažujme, že uživatel je schopen dodat informaci o aspiračních hodnotách kritérií a známe kardinální ohodnocení variant podle kritérií. Tyto metody jsou založeny na porovnávání kritériálních hodnot všech variant s aspiračními úrovněmi jednotlivých kritérií. Dochází tak k rozdělení variant na dvě množiny, „vyhovující“ a „nevyhovující“. Jsou-li aspirační úrovně dostatečně zpřísněny, může být v množině akceptovatelných variant pouze jedna kompromisní varianta. Za předpokladu, že nevyhovuje žádná varianta, je potřeba některé aspirační úrovně uvolnit. [6], [12]

3.5.1 Konjunktivní a disjunktivní metoda

Pro rozklad množiny variant na akceptovatelné a neakceptovatelné varianty, lze použít dva základní přístupy, konjunktivní a disjunktivní metodu. U konjunktivní metody se připustí mezi akceptovatelné pouze varianty, které splňují všechny aspirační úrovně každého kritéria, zatímco u disjunktivní metody se připustí varianty, které splňují alespoň jednu. Střídají se dvě fáze, v první se určí aspirační úrovně všech kritérií a ve druhé se vyhodnotí množina akceptovatelných variant. Po posouzení mohutnosti této množiny se zpřísní, respektive uvolní, některé úrovně, dokud se nedospěje do požadovaného počtu kompromisních variant. Výhodou tohoto postupu je, že lze analyzovat akceptovatelné varianty při různých hodnotách aspiračních úrovní. [6], [12]

3.5.2 Metoda PRIAM

Metoda PRIAM (PRogramme utilisatnt l'Intelligence Artificiele en Multicritere) je založena na heuristickém prohledávání množiny variant, kde heuristickou informací je počet akceptovatelných variant. Využívá se některých principů umělé inteligence, jejíž jedna z důležitých oblastí je i problem solving, která řeší problémy se strukturou stavového prostoru s využitím prohledávacího procesu. K nalezení kompromisní varianty je možné použít proceduru prohledávání do hloubky a proceduru backtracking. [6], [12]

Jednotlivé varianty $a_j \in A$ jsou zobrazeny pomocí vektoru kritériálních hodnot $\vec{y}_j \in Y$, aspirační úrovně jsou označeny $z^{(s)}$ a změny aspiračních úrovní v kroku s jako $\delta z^{(s)}$. Hledáme varianty, které splňují, že $\vec{y}_j \geq z^{(s)}$. Počet akceptovatelných variant udává číslo d , podle kterého se upravují aspirační úrovně. Pro krok $s + 1$ se změní dle vztahu: $z^{(s+1)} = z^{(s)} + \delta z^{(s)}$. Nastávají tři případy: $d > 1$, $d = 1$ a $d = 0$, resp. dochází k zpřísnění aspiračních úrovní, nalézá se nedominovaná varianta a hledá se nejbližší varianta k zadaným aspiračním úrovním. Nejbližší varianta se hledá řešením úlohy:

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^*} |z_i^{(s)} - y_{ij}| \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

kde y_i^* , $i = 1, 2, \dots, n$ jsou ideální kritériální hodnoty. [6]

Postup je možno zobrazit stromem, jehož uzly jsou tvořeny vektory aspiračních úrovní, kde kořenem je výchozí vektor a listy představují aspirační úrovně shodné s ohodnocením kompromisní varianty. Hrany spojují dvojici uzlů, které na sebe při výpočtech navazují. Zpříšňováním aspiračních úrovní dochází k vytváření větví a při uvolňování se vrací zpět až k vhodnému kroku (uzlu). [6]

3.6 Metody s ordinální informací o kritériích

Metody s ordinální informací vyžadují zadání pořadí důležitosti kritérií a pořadí variant dle jednotlivých kritérií. Můžeme mít metody, které jsou jednodušší a kde jejich výsledky jsou spíše orientační, nebo metody, které jsou komplikovanější, ale za to poskytují komplexní pohled na problém. Mezi nejpoužívanější metody patří lexikografická metoda a ORESTE. [6]

3.6.1 Lexikografická metoda

Lexikografická metoda je založena na principu, že největší váhu má nejdůležitější kritérium. Existuje-li více metod, které jsou podle nejdůležitějšího kritéria hodnoceny totožně, přichází na řadu porovnávání dle druhého nejdůležitějšího kritéria. Opakováním těchto kroků se docílí nalezení kompromisní varianty nebo vyčerpání všech uvažovaných kritérií. Za předpokladu, že nezbylo žádné další kritérium i po aplikování posledního kritéria, pak všechny tyto stejně ohodnocené varianty jsou označeny za kompromisní. [6], [7]

3.6.2 ORESTE

Od uživatele je požadováno, aby bylo dodáno úplné kvaziuspořádání kritérií (vyjádřeno pomocí vektoru q) a úplné kvaziuspořádání variant podle všech kritérií (vyjádřeno pomocí matice P),

to znamená, že je přípustná indiference kritérií i variant. Metoda má dvě části. V první části se určí vzdálenost všech variant podle jednotlivých kritérií od fiktivního začátku (pořadové číslo fiktivní varianty, resp. kritéria je 0). Hodnoty matice vzdáleností D jsou určeny vztahem: $d_{ij} = (1/2 (p_{ij})^r + 1/2 (q_j)^r)^{1/r}$, kde obvyklá hodnota r je 3. Následně jsou všechny vzdálenosti d_{ij} ohodnoceny pořadovými čísly, čímž vznikne matice pořadových čísel R . Varianty jsou vzestupně uspořádány podle řádkových součtů této matice. [6], [12]

Ve druhé části, tj. v části preferenční analýzy, se pro každou dvojici variant provede test jejich preference P , indiference I nebo nesrovnalosti N dle preferenční intenzity a výběru prahových hodnot α , β a γ . Horní meze (α a β) se používají u testu indiference. Prahová hodnota γ je dolní mez používaná u testu nesrovnalosti. [6], [12]

3.7 Metody s kardinální informací o kritériích

Jedná se o metody, které vyžadují zadání kardinální informace o kritériích ve formě vah a o variantách ve formě kritériální matice. Existují tři základní přístupy: maximalizace užítku, minimalizace vzdálenosti od ideální varianty a preferenční relace. Ke každému přístupu si představíme vybrané zástupce. [6]

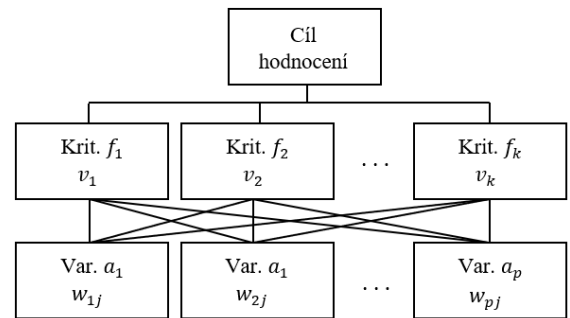
3.7.1 Maximalizace užítku

Tento přístup vychází z konstrukce hodnoty užítku, viz kapitola 3.3, kde je vybraná taková varianta, která dosuje maximální hodnoty užítku. Na pojmu užitek je založena celá řada metod, např. UFA (metoda funkce užítku), WSA (speciální lineární verze UFA) nebo metoda AHP. [12]

Metoda váženého součtu (WSA) je založena na principu maximalizace užítku, kde se předpokládá pouze lineární funkce užítku. Užitek z varianty a_i je roven $u(a_i) = \sum_{j=1}^k v_j r_{ij}$, kde $r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j}$ a v_j je váha kritéria. [7], [12]

Další zmíněnou metodou je AHP. Jedná se o metodu navrženou prof. Saatyem, která rozkládá nestrukturované situace na jednodušší komponenty a vytváří tak hierarchický systém problému. Hierarchickou strukturu si představme jako lineární strukturu, která obsahuje několik úrovní, kde každá z nich obsahuje několik prvků. Úrovně jsou uspořádány od obecného ke konkrétnímu, kde nejvyšší úroveň má pouze jeden prvek (cíl vyhodnocení nebo analýzy) s hodnotou 1, která se pak dále dělí mezi prvky na druhé úrovni atd. Pro jednotlivé hierarchické úrovně se aplikuje na dvojice prvků Saatyho metoda kvantitativního párové porovnávání.

Pomocí subjektivních hodnocení párového hodnocení metoda přiřazuje každé komponentě kvantitativní charakteristiku reprezentující její důležitost. Komponenta s nejvyšší prioritou se stanoví pomocí syntézy těchto ohodnocení. Metodu je možné použít, je-li z typu informace o preferenčních vztazích patrný směr a intenzita preference mezi všemi páry porovnávaných komponent. [2], [6]



Obrázek 3: Tříúrovňová hierarchie AHP, upraveno dle [12]

Nejjednodušším netriviálním typem hierarchie je tříúrovňová hierarchie, která obsahuje úrovně v pořadí: cíl, kritéria a posuzované varianty (viz Obrázek 3). Jak bylo zmíněno výše, dochází k dělení nějaké počáteční hodnoty celkové intenzity, přičemž z jedné úrovně na následující nelze rozdělit větší množství, než které je k dispozici. Pro n -kritérií a m -variant musí platit vztahy: $\sum_{j=1}^n v_j = 1$ a $\sum_{i=1}^m w_{ij} = v_j$, kde $j = 1, 2, \dots, n$. Preferenční indexy variant w_{ij} a váhy kritérií v_j lze následně použít k výpočtu globálních preferenčních indexů variant $u(a_i)$, které jsou přímým podkladem pro výsledné uspořádání variant a platí: $u(a_i) = \sum_{j=1}^n w_{ij} v_j$, kde $i = 1, 2, \dots, m$. Pro více úrovní je postup analogický. [2], [6], [12]

3.7.2 Minimalizace vzdálenosti od ideální varianty

V tomto principu se hledá taková varianta, která je podle určité metriky nejbližší k ideální variantě. Metody se liší podle způsobu měření vzdálenosti od ideální varianty. Pro tuto skupinu metod bude jako reprezentativní metoda popsána metoda TOPSIS, která poskytuje úplné uspořádání množiny všech variant. [12]

TOPSIS je metoda založená na výběru varianty, která je nejbližší ideální a nejdále od bazální varianty. Vyžaduje kardinální hodnocení variant na základě jednotlivých kritérií a jejich vah. Popišme si jednotlivé kroky. V prvním kroku metody se převedou minimalizační kritéria na maximalizační podle transformace: $y_{ij}' = -y_{ij}$. Pro vytvoření normalizované kritériální matice $R = (r_{ij})$, kde sloupce tvoří vektory jednotkové délky, se použije vztah (3.3). [6]

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2}} \quad (3.3)$$

Vypočte se normalizovaná vážená kritériální matice $W = (w_{ij})$ dle vztahu: $w_{ij} = v_i r_{ij}$, pomocí které se určí ideální varianta H a bazální varianta D . Vzdálenosti jednotlivých variant od ideální varianty (d_i^+) a od bazální varianty (d_i^-) jsou použity k výpočtu relativního ukazatele vzdáleností jednotlivých variant od bazální varianty (c_i), kde $0 \leq c_i \leq 1$. [6], [12]

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \text{ kde } d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{ij} - H_j)^2}, \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (w_{ij} - D_j)^2} \quad (3.4)$$

Varianty se nakonec seřadí podle hodnot c_i a potřebný počet variant s nejvyšším ohodnocením se považuje za řešení. Je-li $c_i = 0$, resp. 1, pak se jedná o bazální, resp. ideální variantu. [6]

3.7.3 Vyhodnocování podle preferenční relace

Metody založené na vyhodnocování podle preferenční relace vycházejí z relací (preference, indiference, nesrovnatelnosti) mezi dvojicemi variant vzhledem k jednotlivým kritériím. Díky agregačním procedurám se získávají relace mezi dvojicemi variant z hlediska všech kritérií. Agregační procedury bývají stavěny na porovnávání stupňů relace s prahovými hodnotami. Párová relace nemusí být tranzitivní, kvůli tomu jsou agregační procedury doplněny o postup, který nalezne celkové uspořádání variant nebo varianty roztrídí do indifferenčních tříd. Výhodou těchto metod je, že nevyžadují normalizaci kritériální matice. Mezi tyto metody patří AGREP, PROMETHEE, GAIA, MAPPAC, PRAGMA a třída metod ELECTRE. [12]

Představme si metodu ELECTRE I. Cílem této metody je rozdělit varianty na dvě indifferenční třídy, na efektivní a neefektivní varianty. Předpoklad k použití této metody je znalost kritériální matice, vektoru normalizovaných vah a stanovení dvou prahových hodnot (práh preference a dispreference). Mějme indexy variant ($i, j = 1, 2, \dots, m$) a kritérií ($h = 1, 2, \dots, n$). Nechť ohodnocení varianty a_i podle kritéria h je y_{ih} . Pro každou dvojici variant a_i, a_j určíme množinu $C_{ij} = \{h \mid y_{ih} \geq y_{jh}\}$ obsahující indexy kritérií, pro které platí, že varianta a_i je ohodnocena alespoň tak dobře jako a_j , a množinu $D_{ij} = \{h \mid y_{ih} < y_{jh}\}$, která obsahuje indexy zbývajících kritérií. Na základě normalizovaného vektoru vah v a množiny C_{ij} se pro jednotlivé páry variant určí číslo c_{ij} , které představuje součet vah kritérií v_h z této množiny nebo 0, je-li množina prázdná. Hodnota c_{ij} reprezentuje stupeň preference varianty a_i před variantou a_j a platí, že je z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Dále se pro každou dvojici variant a_i a a_j vypočte stupeň dispreference d_{ij} ($d_{ij} \in \langle 0, 1 \rangle$). Pokud je množina D_{ij} prázdná, potom je $d_{ij} = 0$, v ostatních případech je výpočet dán vztahem (3.5). [6], [12]

$$d_{ij} = \frac{\max_{h \in D_{ij}} (y_{ih} - y_{jh})}{\max_h (y_{ih} - y_{jh})} \quad (3.5)$$

Pro určení celkové preference P mezi dvojicí variant je nutné znát práh preference c^* a práh dispreference d^* . Preference $a_i P a_j$ platí právě tehdy, když $c_{ij} \geq c^*$ a $d_{ij} \leq d^*$. Tyto párové preference mohou být zachyceny v matici $P = (p_{ij})$, kde je hodnota $p_{ij} = 1$, jestliže $a_i P a_j$ a $p_{ij} = 0$ v ostatních případech. Vztah preference mezi všemi dvojicemi lze vyjádřit také pomocí grafu, jehož uzly odpovídají variantám a mezi dvojicí uzlů existuje orientovaná hrana ve směru od a_i k a_j , jestliže platí $a_i P a_j$. [6], [12]

Varianta je považována za efektivní, pokud k ní vzhledem k celkové preferenční relaci neexistuje žádná preferující varianta a sama je preferována před alespoň jednou variantou. Ostatní varianty jsou považovány za neefektivní. Stanovení prahových hodnot, jejichž změnami dostáváme různé výsledky, není jednoduché a někdy je doporučeno vycházet z hodnot, které jsou průměrnými hodnotami prvků v matici C a D . Postupnými změnami můžeme získat jednoprvkovou množinu efektivních variant. [12]

3.8 Fuzzy hodnocení variant

V úlohách vícekritériálního rozhodování lze kombinovat kvalitativní i kvantitativní kritéria, při kterých se využívá různých způsobů hodnocení variant. Pro kvalitativní kritéria se používá při hodnocení variant expertní hodnocení pomocí jazykových škál, fuzzy škál i klasických diskretních nebo spojitých škál. Kvantitativní kritéria mohou mít hodnoty ostré i fuzzy, hodnocení je založeno na hodnotících funkcích modelujících významy jazykově definovaných fuzzy cílů, odpovídajících jednotlivým kritériím. Nehledě na typ kritéria, v příslušném matematickém modelu je hodnocení varianty modelováno fuzzy číslem, které je definované na intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Fuzzy číslo vyjadřuje míru naplnění dílčího cíle reprezentovaného kritériem, kde 0 je naprosté nenaplnění a 1 úplné naplnění cíle. Jako užitečná pomůcka může být jazykový popis (např. „varianta je nadprůměrná“). [13]

Z obsahu v kapitolách výše je zřejmé, že výsledek každého hodnocení má podobu fuzzy čísla. Pro akceptaci, resp. neakceptaci je stanovena ostrá či fuzzy hranice představující požadovaný minimální stupeň naplnění cíle, nebo je přijetí či odmítnutí přímo necháno na samotném expertovi, kde fuzzy hodnocení je pouze podpůrná informace. Pro úlohy, kdy se provádí hodnocení explicitně určených variant s cílem jejich porovnání, se varianty uspořádají dle jejich vypočtených fuzzy hodnot nebo se roztřídí na základě jazykové aproximace fuzzy hodnot do

jednotlivých tříd. V případě úloh, kde je opět stanovena množina variant a cílem je vybrat nejlepší variantu, lze definovat řešení jako variantu, jejíž fuzzy hodnocení je lepší nebo alespoň stejně dobré jako fuzzy hodnocení všech ostatních, nebo jejíž fuzzy hodnota je nejbližší 1. [13]

4 FUZZY ČÍSLA

Zavedeme si nejprve základní pojmy. Necht' je dána množina U (tzv. univerzum). Pak je fuzzy množina A na univerzu U definována zobrazením $\mu_A: U \rightarrow \langle 0, 1 \rangle$, kde funkci μ_A nazýváme funkcí příslušnosti fuzzy množiny A . Stupněm příslušnosti prvku x k A nazveme hodnotou $\mu_A(x)$ pro všechna $x \in U$. Pro jednodušší zápis použijeme označení fuzzy množiny i pro funkci příslušnosti ($A(x)$). Podmnožina fuzzy množiny, kde platí, že pro všechny její prvky je stupeň příslušnosti 1, resp. větší než 0, je nazývána jádrem ($Ker A$), resp. nosičem ($Supp A$). Dalším důležitým pojmem je α -řez fuzzy množiny, kde $\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$. Jedná se o ostrou množinu, pro kterou platí: $A_\alpha = \{x \in U \mid A(x) \geq \alpha\}$. [13]

Fuzzy čísla vyjadřují neurčité množství, v případě řešení vícekritériálního hodnocení nepřesné výsledky měření, neurčité zadané číselné hodnoty či matematicky popsaná jazykově zadaná data. Jedná se o konvexní fuzzy množiny na \mathbb{R} (α -řezy pro všechna $\alpha \in (0,1)$ jsou uzavřené intervaly). Omezíme se však na ta fuzzy čísla, jejichž funkce příslušnosti je definovaná na intervalu \mathbb{R} , ale mimo definovaný interval $\langle X, Y \rangle$ je nulová. Nejjednodušší třídu fuzzy čísel, zadávaných pomocí čtveřici bodů (zadavatel většinou přesnější informace nedokáže poskytnout), reprezentují fuzzy čísla, která jsou označována za lineární podle charakteru svých levých a pravých částí. Čtveřice je určena jako: $(x_1, 0), (x_2, 1), (x_3, 1), (x_4, 0)$, kde pro ni platí: $X \leq x_1 \leq x_2 \leq x_3 \leq x_4 \leq Y$. Funkce příslušnosti fuzzy čísla C pak závisí na parametrech viz (4.1). [13]

$$\forall x \in \langle X, Y \rangle : C(x, x_1, x_2, x_3, x_4) = \begin{cases} 0 & \text{pro } x < x_1 \\ \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} & \text{pro } x_1 \leq x \leq x_2 \\ 1 & \text{pro } x_2 \leq x \leq x_3 \\ \frac{x_4 - x}{x_4 - x_3} & \text{pro } x_3 \leq x \leq x_4 \\ 0 & \text{pro } x_4 < x \end{cases} \quad (4.1)$$

Uspořádání fuzzy čísel hraje v rozhodování důležitou roli. V literatuře existuje spousta definic, což značí, že žádná z nich není uspokojivá. Následující definice, využívající fuzzy čísla C a D , zavádí přirozené zobecnění relace uspořádání reálných čísel na fuzzy čísla. Vychází z fuzzifikace (ve smyslu principu rozšíření) operací \wedge (minimum) a \vee (maximum). [13]

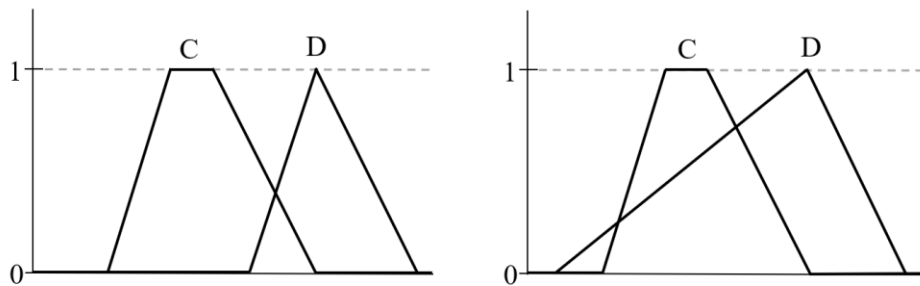
$$\begin{aligned} (C \wedge D)(z) &= \sup\{\min\{C(x), D(y)\} \mid z = \min\{x, y\}, x, y \in \mathbb{R}\} \\ (C \vee D)(z) &= \sup\{\min\{C(x), D(y)\} \mid z = \max\{x, y\}, x, y \in \mathbb{R}\} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Nevýhodou je, že se dospěje pouze k částečnému uspořádání, tj. k relaci, která je antisymetrická, reflexivní a tranzitivní (tzn. není úplná). Řekneme, že $C \geq D$, jestliže platí $C = C \vee D$, resp. $D = C \wedge D$. Rovnost dvou fuzzy čísel je dána jako rovnost jejich funkcí příslušnosti. Pro $C > D$ platí, že je $C \geq D$ a zároveň $C \neq D$. Může nastat případ, kdy je dvojice fuzzy čísel nesrovnatelná (značíme $C \parallel D$), tj. platí, že nenastává: $C > D$, $D > C$ a $C = D$. Možným řešením je zavést fuzzy relace vyjadřující stupeň neostře (\succcurlyeq) či ostré preference (\succ), popř. rovnosti (\sim). Rozdíl je následující, v prvním případě musí relace platit pro všechny α -řezy, ve druhém jde pouze o jádra (musí mít neprázdný průnik). Relace ve druhém případě nejsou tranzitivní. Srovnání C a D ve stupni je definováno ve (4.3). [13]

$$C \succcurlyeq D = \sup\{\min\{C(x), D(y)\} \mid x \geq y, x, y \in \mathbb{R}\}$$

$$C \succ D = \sup\{\min\{C(x), D(y)\} \mid x > y, x, y \in \mathbb{R}\} \quad (4.3)$$

$$C \sim D = \sup\{\min\{C(x), D(x)\} \mid x \in \mathbb{R}\}$$



Obrázek 4: Srovnatelná a nesrovnatelná fuzzy čísla C a D , upraveno dle [13]

5 REZIDENČNÍ NEMOVITOSTI

Nemovitost je speciální komodita, respektive heterogenní produkt, který se značí dlouhou životností a vysokou cenou. Tyto vlastnosti činí z nemovitosti dlouhodobou investici, nikoliv něco dočasného. Jelikož uživatel si tento produkt nekupuje příliš často, musí pečlivě zvážit svá rozhodnutí. Bydlení je druh složeného výrobku, který má určité unikátní vlastnosti. Z pohledu zákazníka ovlivňuje nákup mnoho aspektů. Není jednoduché všechny určit, proto zde představíme ty hlavní faktory, které jsou pro uživatele nejdůležitější. [14], [15]

Prvním aspektem je poloha, resp. obytná čtvrť. Hlavním hlediskem v tomto případě je, zda se v okolí nachází veřejný prostor (např. veřejná zeleň, náměstí apod.), dobré dopravní spojení nebo občanská vybavenost, jako jsou například obchody, kulturní domy, veřejné školy a nemocnice. Dalšími hledisky může být hluk či případný vzhled či technická infrastruktura, do které spadají vodovody, kanalizace, čistírny odpadních vod atd. [14]

Aspektem je i kvalita, resp. stav objektu či druh nemovitosti a její velikost. Co se stavu týče, tak před nákupem by se měl zákazník reálně přesvědčit o tom, co kupuje, aby nemovitost neměla problémy, které by vyžadovaly další investici. Jelikož je to komodita, která by měla vydržet desítky let, neměl by se tento aspekt podcenit. [14], [15]

Nejdůležitějším hlediskem je cena nemovitosti, která je při výběru omezena cenovým rozpětím uživatele. Tím se dostáváme k tématu chování trhu s nemovitostmi. Co se týče ekonomického cyklu a bytové výstavby, tak analýza cyklického chování trhu s nemovitostmi („pravidelné“ výkyvy ekonomické aktivity) je v literatuře obvykle založena na empirických ekonometrických modelech, které vznikaly v 70. letech minulého století. Existuje celá řada teorií cyklu, které lze rozdělit na teorii vnější a teorii vnitřní. Vnější teorie hledají příčiny výkyvů (hospodářského cyklu) mimo ekonomický systém a vnitřní hledají naopak uvnitř. Jako příklady teorie cyklu můžeme uvést: peněžní teorii, inovační teorii, teorii rovnovážného hospodářského cyklu a další. [14], [15], [16]

Podle [16] Granelle ve své publikaci z roku 1998 uvádí, že od konce 60. let nelze fluktuace trhu s bydlením považovat za procyklické ani proticyklické, spíše má trh s byty tendenci předbíhat změny ve vývoji agregátního výstupu ekonomiky. S ekonomickou expanzí roste poptávka po úvěrech, což vytváří tlak na růst úrokových sazeb, na které je bytový trh citlivější. Dále se rozlišují tři skupiny faktorů, které ovlivňují cyklické chování trhu: reálné faktory (např. růst příjmů či počet neobydlených bytů), monetární a finanční faktory (např. nástroje ke zmírnění

cyklických výkyvů ekonomiky, tzv. fiskální a monetární politika) nebo faktory spjaté se změnami v objemu produkce. [15], [16]

5.1 Indexy cen rezidenčních nemovitostí

Index rezidenčních nemovitostí má mnoho důležitých využití. Index lze použít jako makroekonomický ukazatel ekonomického růstu, finanční stability, ukazatel, zda koupit či prodat nemovitost. Dále ho můžeme použít v měnové politice nebo také pro odhad hodnoty nemovitosti. S pojmem modelu vývoje cen rezidenčních nemovitostí se v zahraničí vyskytuje především index opakovaných prodejů a hedonický index. Indexy se ale také používají ve spojení s referenčními daty o úrovních cen nemovitostí napříč regiony či zeměmi, aby se vytvořilo mezioblastní nebo mezinárodní porovnání rozdílů životních nákladů. [15], [17]

5.1.1 Index opakovaných prodejů

Index opakovaných prodejů (Repeat-Sales Price Index) je metoda, která je určena pro několikanásobně (více než jednou) prodané nemovitosti. Pro odhad standardní regresní rovnice opakovaných prodejů je cena, datum prodeje a souhrn vlastností nemovitosti, což činní tuto metodu v tomto ohledu jednodušší v porovnání s hedonickou. Nevýhoda této metody je však v malém počtu prodejů některých nemovitostí nebo časovém intervalu mezi prodeji. Pokud je příliš malý, může docházet ke zkreslování změny prodeje a jeli naopak velký, dojde k nerovnoměrnému rozdílu mezi opotřebením a zhodnocením (kvalita nemovitosti po delší prodlevě není zahrnuta). Výstupy metody opakovaných prodejů se zakládají na předpokladu, že se kvalita v čase nemění. [15]

V situaci, kdyby se některé typy nemovitostí prodávali více či jiné, může nastat, že bude vzorek zaujatý. Pro příklad si uveďme, že častěji se prodávají levnější nemovitosti než dražší, což může být způsobeno zvyšujícím se bohatstvím domácností, kde s vyšším standardem není tendence se tak často stěhovat. [15]

5.1.2 Hedonický cenový index

V této metodě se zohledňují především změny v kvalitě nemovitosti, které u indexů opakovaných prodejů zohledňovány nejsou. V případě hedonického cenového indexu se předpokládá funkční vztah mezi vlastnostmi nemovitosti a její cenou. Pro určení funkčního vztahu se ve většině odborných studií používají lineární, semi-logaritmické a logaritmicko-lineární funkce. Cenovou funkci určují sledované faktory bydlení, které jsme si v úvodu výběru nemovitostí představili. Pomocí hedonické cenové funkce je umožněno se na celkovém objemu všech transakcí zbavit problémů, jako je výběrová chyba či nutnost kontrolovat změnu skladby

sledovaných vzorků nemovitostí. Cenová funkce je v jádru klasickým vícerozměrným regresním modelem. Hedonický cenový index se používá v zahraničí celkem běžně, ale v České republice se kromě bankovního sektoru častěji nepoužívá. [15]

6 APLIKACE

Tato kapitola popisuje vytvořenou aplikaci, která má za úkol vybrat ten nejvýhodnější byt z nabídek ze serveru *Sreality.cz*. Aplikace slouží především takovým uživatelům, kteří hledají nemovitost v České republice, která je pro ně investičně výhodná. Jejich výhodnost je určena na základě jimi vybraných kritérií. Uživatel má možnost si vybrat ze seznamu měřítek pro srovnání, který je již aplikací předdefinovaný. Jedná se o taková data, která jednotlivé varianty (v tomto případě inzerované byty) mohou na *Sreality.cz* obsahovat. Dílčí informace, které nemovitost může v rámci svého popisu, respektive v rámci odpovědi z API na GET request mít, byly zjištěny rozebráním několika těchto odpovědí, ale také z konkrétních detailních zobrazení několika inzerátů na jejich portálu.

6.1 Analýza požadavků

V rámci analýzy požadavků² aplikace jsou řešeny nejen samotné požadavky, ale také případy užití (což je další forma inženýrství požadavků). Tato fáze projektu vždy probíhá na začátku, ještě před samotným návrhem. Požadavky stanoví podmínky na systém, tedy jakým způsobem se bude chovat. V této části se nehledí na způsob implementace. Rozlišujeme dva typy požadavků: funkční a nefunkční.

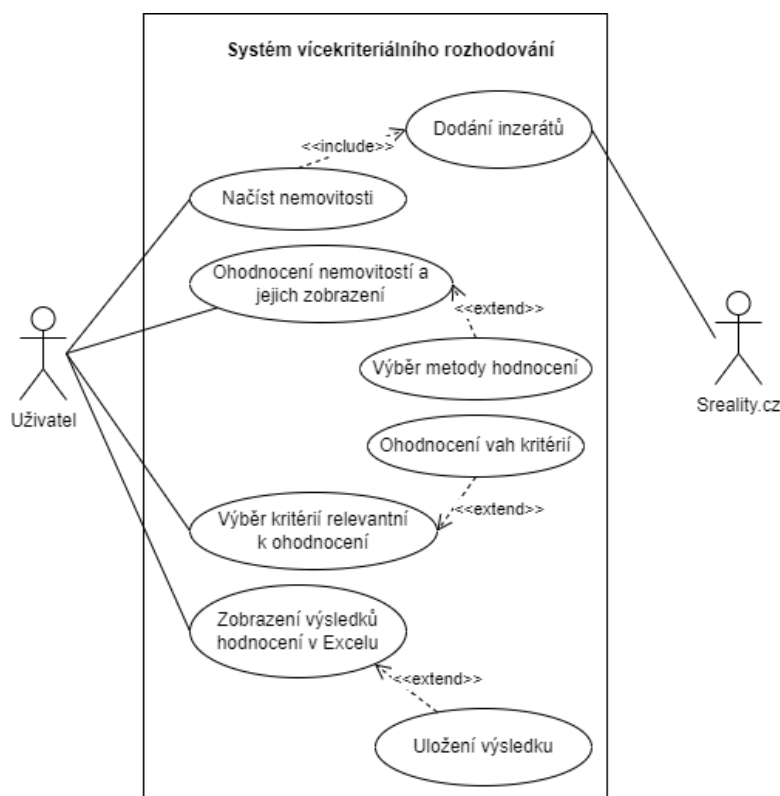
Funkční požadavky formulují to, co má systém, resp. aplikace, dělat. Jinak řečeno, popisuje jeho požadované funkce. V tomto případě byly určeny následovně:

1. Systém bude schopen nalézt a zobrazit nejvýhodnější nemovitosti.
2. Systém bude načítat jednotlivé nemovitosti ze serveru *Sreality.cz*.
3. Systém bude umožňovat zobrazit výsledek ve formátu *.xlsx*.
4. Systém bude umožňovat výběr hodnotící metody.

Nefunkční požadavky jsou podmínky uvaleny na systém. Dochází k omezení způsobu implementace, např. výkonu, kapacity, zabezpečení atd. Nefunkčními požadavky jsou:

1. Systémem bude desktopová aplikace s grafickým uživatelským rozhraním.
2. Systém bude odolný proti chybám.
3. Systém bude schopen načíst ze serveru *Sreality.cz* dvacet inzerátů.
4. Systém bude napsán v jazyce C#.

² Pro detailnější popis jednotlivých oblastí metodiky unifikovaného procesu vývoje aplikací viz [20].



Obrázek 5: Případy užití

6.2 Návrh a implementace aplikace

Systém vícekriteriálního rozhodování, který se zabývá výběrem nejvýhodnějších investic do bytových jednotek, byl napsán v objektově orientovaném programovacím jazyku C# s využitím open-source vývojové platformy *.NET 7.0*. Aplikace je rozdělena na tři hlavní projekty. Grafické uživatelské rozhraní, DLL knihovna zajišťující komunikaci se serverem *Sreality.cz* a DDL knihovna pro vícekriteriální rozhodování. Jednotlivé funkcionality knihovny vícekriteriálního rozhodování jsou testovány pomocí Unit testů v *MSTest* projektu.

6.2.1 Grafické uživatelské rozhraní

Grafické uživatelské rozhraní aplikace bylo vytvořeno za pomoci tříd *Windows Forms*. Repräsentace okna tvořící uživatelské rozhraní aplikace, tzv. formulář, je rozdělen do jednotlivých karet, kde každá má svůj specifický účel. První, úvodní karta, je určena pro načtení dat ze serveru *Sreality.cz*. Zde si uživatel naplní filtr preferovanými hodnotami pro načtení personalizovaných nemovitostí. Filtr pro načtení obsahuje výběr lokality (okresu) z České republiky, ve kterém má zákazník zájem byt koupit. Dalšími zpřesňujícími požadavky jsou: typ bytu a nepovinně rozsah rozpočtu uživatele, který může být na jeho koupi vynaložen. Dokud se nenačtou data, není umožněno uživateli přepnout na jinou kartu. Pro načtení nemovitostí je nutné připojení k internetu.

Filtr pro výběr okresu je prezentován klikací mapou České republiky, která je tvořena ovládacím prvkem GeoMap z NuGet balíčku LiveCharts pro .NET Windows Forms ve verzi 0.9.7. GeoMap prvek vykresluje mapu podle XML souboru vlastního formátu. Ten byl vytvořen ze souborů formátu Shapefile (SHP) otevřené datové sady Data200 na geoportálu ČÚZK [21]. Jelikož tyto SHP záznamy o hranicích okresů nebylo možné převést přímo do tohoto formátu, byly nejprve data pomocí [22] převedeny na GeoJSON a posléze metodami z NuGet balíčku GeoJsonLiveCharts transformovány do výsledného XML souboru, který byl doplněn o klíče odpovídající identifikátorům okresů z portálu Srealit. Klíč vybraného okresu se následně využívá v dotazu na API.

Druhá karta okna je rezervována pro vybírání z předpřipravených kritérií, podle kterých uživatel chce jednotlivé byty hodnotit. Uživateli je dána možnost volby. Buď bodově ohodnotit každé kritérium (na škále 0,00 až 100,00) nebo zaškrtnout, že nemá o hodnocení zájem (tzn. jsou všechny stejně důležité). Je-li vybrané některé kritérium k ohodnocení variant a uživatel mu nastaví nulovou váhu, pak je takové kritérium ignorováno a nebere se v potaz. Kritéria jsou zde prezentována ve dvou podobách, kvalitativní a kvantitativní. U kvalitativních kritérií, kde se řadí varianty do určitých tříd, je jednotlivým třídám přiřazena uživatelem hodnota z pětibodové verbálně numerické stupnice (1 až 5, kde 1 je žádná důležitost a 5 je výjimečná), díky které se mohou varianty z různých tříd porovnat. Pro kvantitativní kritéria je dána možnost uživateli vybrat, zda preferuje vyšší či nižší hodnotu. Jedná se o výběr povahy kritéria (maximalizační nebo minimalizační).

Poslední a třetí karta okna je vyhrazena pro hodnocení načtených variant dle vybraných kritérií. Není-li uživatel ochoten nebo neví, jak jednotlivá kritéria ohodnotit a zvolí, že jsou kritéria stejné váhy, pak má možnost hodnotit varianty pomocí následujících metod: TOPSIS, ELECTRE I a metoda váženého součtu (WSA). Za předpokladu, že vyplní váhy, rozšíří se nabídka o následující metody: lexikografická metoda (spustí se za předpokladu, že každá varianta má unikátní váhu) a ORESTE. U těchto dvou metod se bere v úvahu jejich pořadí dle vah, nikoli samotné váhy. Poté, co uživatel spustí vybranou metodu, se zobrazí výsledek. Výsledkem jsou maximálně tři nejlépe hodnocené varianty (minimálně jedna). Níže je vykreslen graf, který zobrazuje pro nejlépe hodnocené varianty normované váhy jednotlivých kritérií. Způsob normalizování hodnot se liší podle metody, kvůli tomu mohou být hodnoty v grafu různé. Pro TOPSIS a ELECTRE I se využívá vektorová normalizace a u ostatních metod (metoda váženého součtu, ORESTE a lexikografické metody) se využívá lineární

normalizace.³ Grafem je prvek PolarChart z NuGet balíčku LiveChartsCore.SkiaSharpView pro Windows Forms ve verzi 2.0.0-beta.701.

Uživatel má možnost si výsledky zobrazit podrobněji v excelovém souboru, kde nalezne na prvním listě všechny načtené inzeráty a na druhém všechny kompromisní varianty (není omezeno na první tři nejvýhodnější). Výsledky hodnocení jsou doplněny i zde grafem, ve kterém jsou však pro přehlednost prezentovány první tři varianty, jako tomu je u grafického rozhraní aplikace. Uložení tohoto výstupu je možné prostřednictvím aplikace, ve kterém se soubor s příponou *.xlsx* otevře. Převod dat do souboru je provedeno za pomoci knihovny z NuGet balíčku s názvem EPPlus verze 6.1.3. Pro volné užití OfficeOpenXml musel být specifikován *LicenseContext* na *NonCommercial*.

6.2.2 Komunikace se serverem Sreality.cz

Knihovna, která komunikuje s API, má za úkol provést GET request a následnou přijatou odpověď zpracovat. Aplikace dotazuje API na adrese <https://www.sreality.cz/api/cs/v2/estates>. Jednotlivé výsledky, které odpovídají na posílané GET requesty, jsou ve formátu JSON. Toho aplikace využívá a dále tyto odpovědi zpracovává tak, aby konečným výsledkem byly varianty. Varianty jsou v tomto případě vytvářené objekty ze třídy z knihovny vícekriteriálního rozhodování. Některé položky, které obsahují hodnoty v podobě identifikátorů, musely být reverzním inženýrstvím, za pomoci aplikace Opera a jejího nástroje pro revizi prvků, převedeny na konkrétní hodnoty. Díky těmto získaným informacím může aplikace interpretovat tato data korektně. Jelikož používané API nemá žádnou vlastní dokumentaci, pomohla i dokumentace ze zdroje [18] k importnímu rozhraní, která zpracovaná je. Zde jsou některé používané hodnoty, respektive identifikátory, položek totožné s těmi, které se používají v *api/cs/v2/estates* k dotazování nemovitostí.

Dalším problémem, který se s tímto API vyskytl, byl, že odpověď na GET request pro seznam nemovitostí poskytuje jen zlomek použitelných dat potřebné k porovnávání. Pro detailní informace se přímo musí GET requestem dotázat na konkrétní nemovitost, jejíž identifikátor se nalézá ve výše zmíněném seznamu. Aplikace proto využívá nejdříve dotazu na základní počet nemovitostí, které se využívá na webové stránce *Sreality.cz*, který činí 20 záznamů. Následně dochází k paralelnímu dotazování pro naplnění již potřebných dat, které se propojují s jednotlivými kritérii. Aby nedocházelo k naplnění variant nemovitostmi, které toho nemají moc společného, čímž by bylo vybírání ideální nemovitosti ovlivněno, je v aplikaci před

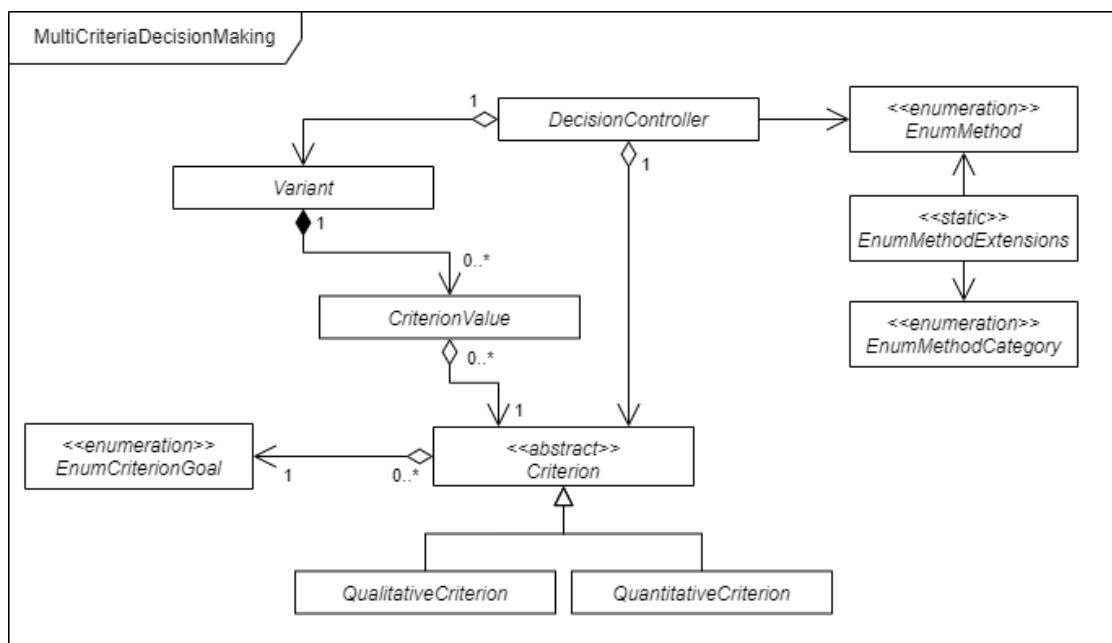
³ Další způsoby normalizací viz [19].

načtením použit základní filtr (zmněn v kapitole 6.2.1), jehož hodnoty jsou posílány v GET requestu.

Dalším úkolem knihovny pro načítání dat je vytvořit seznam kritérií, které se z jednotlivých odpovědí načítají. Všechny požadované názvy (identifikátory) položek JSONu odkazující na konkrétní informaci k bytu jsou uloženy v seznamu, který lze rozšiřovat v rámci knihovny. Jelikož jsou identifikátory závislé na API, není dovoleno měnit jeho obsah uživatelem. Tyto předdefinované názvy tvoří soubor kritérií, ze kterého uživatel v GUI vybírá všechna kritéria, která budou zahrnuta do výpočtu.

6.2.3 Vícekriteriální rozhodování

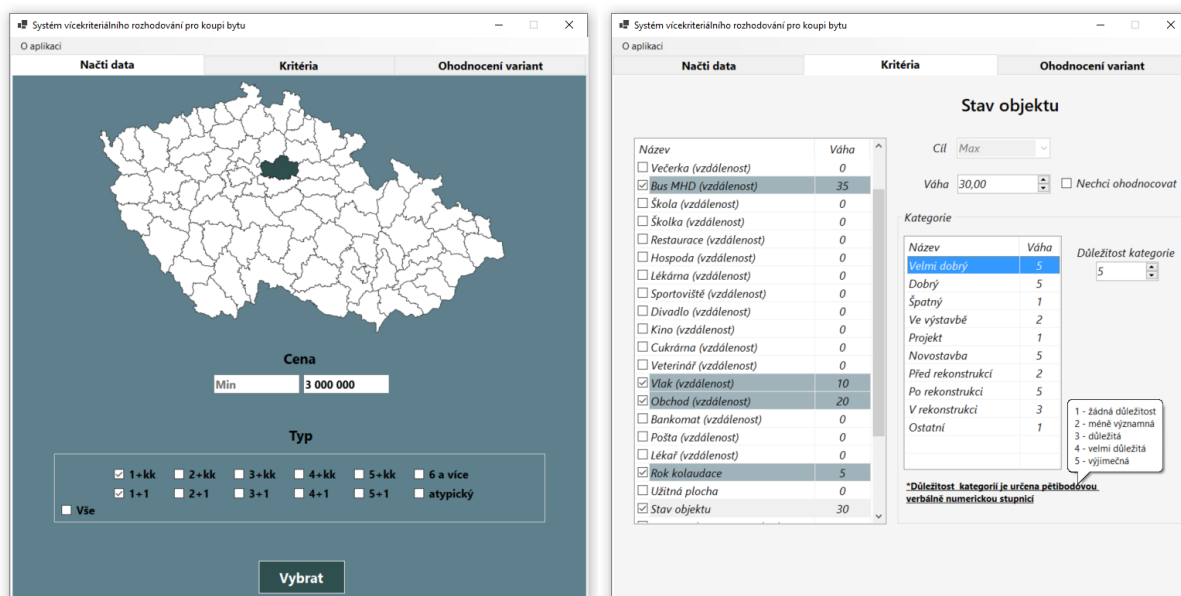
Knihovna pro vícekriteriální rozhodování, jak již byla v úvodu zmíněna, obsahuje zejména: pět statických tříd, které reprezentují optimalizační metody (zmíněné v kapitole 6.2.1), třídy pro kritérium, variantu a třídu, která zapouzdřuje chování pro hledání kompromisních variant, tzv. kontrolér. Kontrolér, v diagramu tříd (Obrázek 6) pojmenovaný jako *DecisionController*, obsahuje list všech načtených variant a Dictionary kritérií, kde je vyhledávacím klíčem jejich název. Tato třída, kromě toho, že pomocí metody *GetSortedOptimalVariantsByMethod* nalezne kompromisní varianty, také normalizuje vybrané váhy kritérií k ohodnocení alternativ. Ve fázi hledání se všechna nenulová kritéria a všechny varianty obsahující hodnoty k těmto kritériím zpracovávají ve statické třídě, která je přímo zaměřená na optimalizační metodu vybranou uživatelem, která je do metody předána parametrem jako výčtový typ *EnumMethod*. Statické třídy k metodám byly vytvořeny z postupů sepsaných ve zdrojích [6] a [12].



Obrázek 6: Diagram tříd

6.3 Výsledky

Pro demonstraci aplikace uvažujme případ, že hledáme byt 1+kk a 1+1 v okrese Nymburk, který nestojí více než tři miliony korun. Na základě zadaného omezení se po zmáčknutí tlačítka „Vybrat“ provede dotaz na 20 inzerátů. Z *Sreality.cz* se nemusí načíst všech 20, pokud podmínky splňuje jen určité množství nemovitostí. Může se stát případ, kdy je načteno i více než 20 bytů. Je to dáno tím, jak portál *Sreality.cz* funguje, jelikož vrácený seznam nemovitostí někdy obsahuje i tip. Tato nemovitost se načítá v případě, kdy splňuje uživatelské omezení. V mém ukázkovém případě bylo načteno 13 bytů. Jako kritéria hodnocení bylo vybráno: vzdálenost od zastávky autobusu (váha 35 bodů), vlakové stanice (váha 10 bodů) a od obchodu (váha 20 bodů), dále rok kolaudace (váha 5 bodů) a stav objektu (váha 30 bodů). Kritérium stavu objektu je kvalitativní, proto jsou ohodnoceny jeho skupiny pětibodovou verbálně numerickou stupnicí (viz Obrázek 7, záložka „Kritéria“).



Obrázek 7: Načítání nemovitostí a vybírání kritérií

Ze všech třinácti inzerátů mají data ke všem požadovaným měřítkům pouze čtyři nemovitosti. Všechny vzdálenosti aplikací jsou načítány v metrech a normalizování vah kritérií je dáno vzorcem (2.8).

Tabulka 4: Hodnocené nemovitosti

	Bus MHD	Vlak	Obchod	Rok kolaudace	Stav objektu
1+kk 36 m² (2 390 000,00 Kč)	169	1713	3222	2022	Velmi dobrý
1+1 32 m² (2 390 000,00 Kč)	358	1371	3191	2018	Velmi dobrý
1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)	59	1386	3434	2022	Velmi dobrý
1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)	48	1291	3594	2001	Velmi dobrý

Na obrázcích k jednotlivým metodám je pro první (nejvýhodnější) variantu v grafu přiřazena modrá barva, k druhé zelená a třetí variantě barva červená. Pro příklad předpokládejme variantu $a = (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5)$, kde f_1 odpovídá kritériu „Bus MHD“, f_2 kritériu „Vlak“, f_3 kritériu „Obchod“, f_4 kritériu „Rok kolaudace“ a f_5 kritériu „Stav objektu“.

6.3.1 TOPSIS

Pro nalezení kompromisní varianty metodou TOPSIS se musí nejprve načtená data normalizovat transformačním vzorcem (3.3) a následně vypočítat normalizovanou váženou kritériální matici W . V tabulkách níže máme hodnoty zaokrouhleny na čtyři desetinná místa.

Tabulka 5: Normalizovaná vážená kritériální matice W

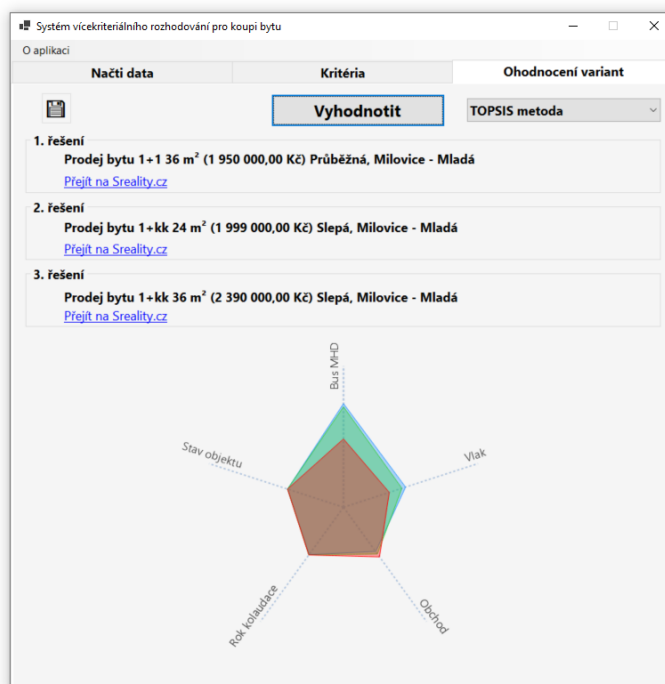
	Bus MHD (0,35)	Vlak (0,10)	Obchod (0,20)	Rok kolaudace (0,05)	Stav objektu (0,30)
1+kk 36 m² (2 390 000,00 Kč)	0,1467	0,0591	0,0958	0,0251	0,1500
1+1 32 m² (2 390 000,00 Kč)	0,3108	0,0473	0,0949	0,0250	0,1500
1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)	0,0512	0,0478	0,1021	0,0251	0,1500
1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)	0,0416	0,0445	0,1068	0,0248	0,1500

Ideální variantou je pro tento příklad $H = (0,0417; 0,0445; 0,0949; 0,0251; 0,1500)$ a bazální variantou $D = (0,3108; 0,0591; 0,1058; 0,0248; 0,1500)$. Nyní je k dispozici dostatečný počet informací, aby byl vypočten relativní ukazatel vzdáleností jednotlivých variant od bazální varianty.

Tabulka 6: Výpočet relativních ukazatelů vzdáleností pro metodu TOPSIS

	d_i^-	d_i^+	c_i
1+kk 36 m² (2 390 000,00 Kč)	0,1645	0,1061	0,6079
1+1 32 m² (2 390 000,00 Kč)	0,0168	0,2692	0,0588
1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)	0,2599	0,0124	0,9544
1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)	0,2695	0,0120	0,9574

Za řešení, podle relativních ukazatelů vzdáleností c_i , je v tomto případě považován byt „1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)“.



Obrázek 8: Výsledek metody TOPSIS

6.3.2 ELECTRE I

Prvním krokem při vyhodnocení variant metodou ELECTRE I je vytvoření normalizované vážené kritériální matice, a to stejným způsobem jako u metody TOPSIS. Následně se sestaví matice C a D , ale nesmíme při tom zapomenout brát v úvahu typy kritérií. Po jejich vytvoření se musí určit hranice c^* a d^* . K získání c^* se využívá matice C a k získání d^* se využívá matice D . Práh c^* je dán vzorem $c^* = \frac{1}{m(m-1)} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^m c_{kl}$, kde $k \neq l$ a m je počet variant. Analogicky získáme i d^* . [23]

Tabulka 7: Matice C metody ELECTRE I

	1+kk 36 m ²	1+1 32 m ²	1+kk 24 m ²	1+1 36 m ²
1+kk 36 m ² (2 390 000,00 Kč)	–	0,70	0,55	0,55
1+1 32 m ² (2 390 000,00 Kč)	0,65	–	0,65	0,55
1+kk 24 m ² (1 999 000,00 Kč)	0,80	0,70	–	0,55
1+1 36 m ² (1 950 000,00 Kč)	0,75	0,75	0,75	–

$$c^* = 0,6625$$

Tabulka 8: matice D metody ELECTRE I

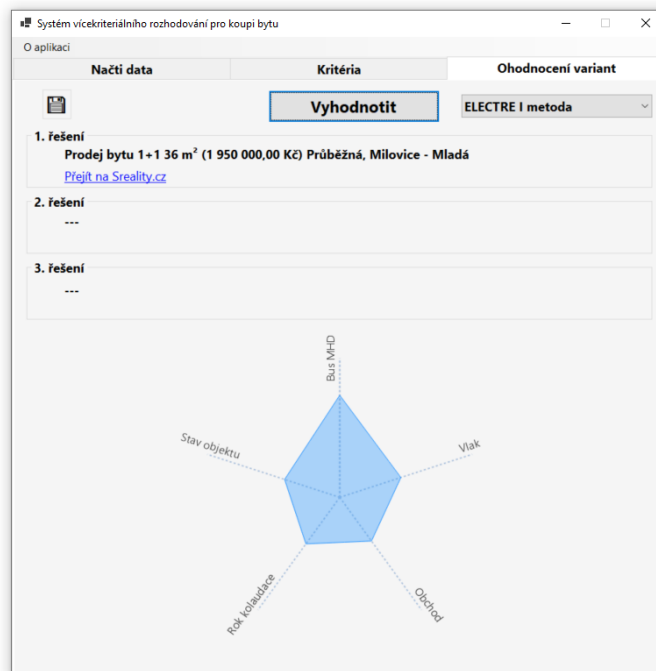
	1+kk 36 m ²	1+1 32 m ²	1+kk 24 m ²	1+1 36 m ²
1+kk 36 m ² (2 390 000,00 Kč)	–	0,072	1,000	1,000
1+1 32 m ² (2 390 000,00 Kč)	1,000	–	1,000	1,000
1+kk 24 m ² (1 999 000,00 Kč)	0,066	0,028	–	1,000
1+1 36 m ² (1 950 000,00 Kč)	0,105	0,044	0,498	–

$$d^* = 0,5678$$

Tabulka 9: Matice párových preferencí metody ELECTRE I

	1+kk 36 m ²	1+1 32 m ²	1+kk 24 m ²	1+1 36 m ²
1+kk 36 m ² (2 390 000,00 Kč)	0	1	0	0
1+1 32 m ² (2 390 000,00 Kč)	0	0	0	0
1+kk 24 m ² (1 999 000,00 Kč)	1	1	0	0
1+1 36 m ² (1 950 000,00 Kč)	1	1	1	0

Jedinou efektivní variantou, která dominuje ostatní a zároveň není žádnou jinou variantou dominována, je nemovitost „1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)“.



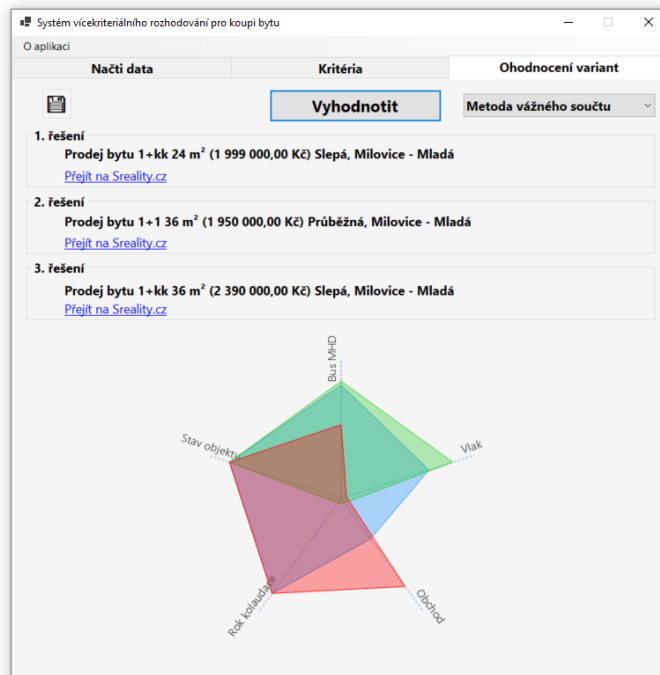
Obrázek 9: Výsledek metody ELECTRE I

6.3.3 Metoda váženého součtu

V prvním kroku metody WSA se najde ideální varianta $H = (48, 1291, 3191, 2022, 5)$, respektive bazální varianta $D = (358, 1713, 3594, 2001, 5)$. Následně se vypočítá normalizovaná kritériální matice R pomocí transformačního vzorce. Varianta, která má maximální hodnotu užitku je „1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)“. V tabulce níže máme hodnoty zaokrouhleny na tři desetinná místa.

Tabulka 10: Normalizovaná kritériální matice R metody váženého součtu a hodnota užitku

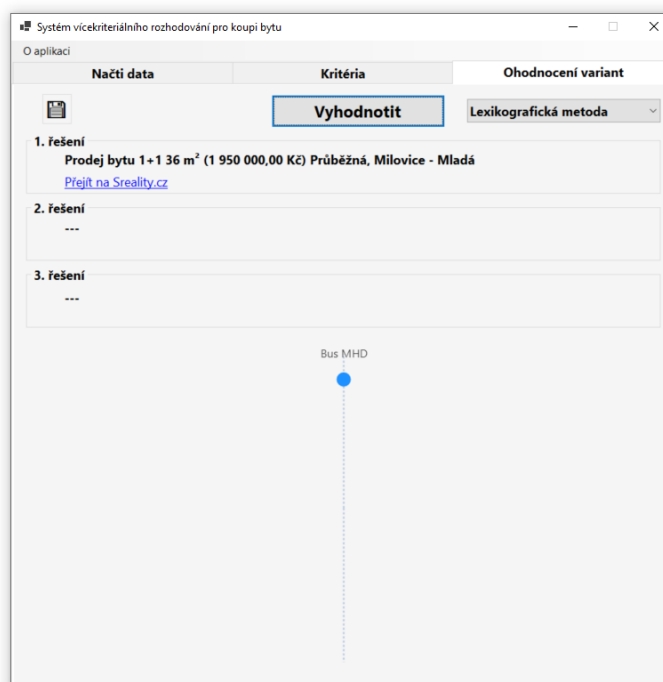
	Bus MHD (0,35)	Vlak (0,10)	Obchod (0,20)	Rok kolaudace (0,05)	Stav objektu (0,30)	$u(a_i)$
1+kk 36 m ² (2 390 000,00 Kč)	0,610	0,000	0,923	1,000	1,000	0,748
1+1 32 m ² (2 390 000,00 Kč)	0,000	0,810	1,000	0,809	1,000	0,621
1+kk 24 m ² (1 999 000,00 Kč)	0,965	0,775	0,397	1,000	1,000	0,845
1+1 36 m ² (1 950 000,00 Kč)	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,750



Obrázek 10: Výsledek metody váženého součtu

6.3.4 Lexikografická metoda

Lexikografická metoda hodnotí od kritéria s největší vahou, dokud nezůstane jedna kompromisní varianta nebo dokud nezbude žádné kritérium, podle kterého hodnotit. V našem případě zůstane jediná nemovitost, a to „1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)“, která je nejbližší autobusové zastávce.



Obrázek 11: Výsledek lexikografické metody

6.3.5 ORESTE

Metoda ORESTE používá, stejně jako lexikografická metoda, ordinální informaci. V případě této metody je indiference (srovnatelnost) kritérií a variant přípustná. Pokud se skutečně stane, že jsou stejně důležité (jako v našem případě), bere se v potaz jejich průměrné pořadové číslo $n + (1 + m)/2$, kde po n variantách následuje m indiferentních variant. [12]

Tabulka 11: Matice P metody ORESTE

	Bus MHD	Stav objektu	Obchod	Vlak	Rok kolaudace
1+kk 36 m² (2 390 000,00 Kč)	3	2,5	2	4	1,5
1+1 32 m² (2 390 000,00 Kč)	4	2,5	1	2	3
1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)	2	2,5	3	3	1,5
1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)	1	2,5	4	1	4

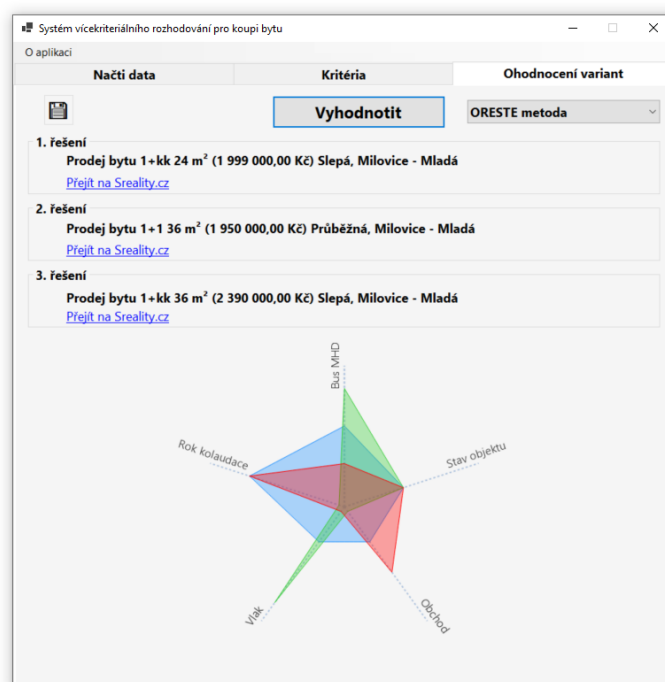
Poté, co se vypočítala matice vzdáleností (Tabulka 12), kde je použita hodnota $r = 3$, byla určena matice pořadových čísel vzdáleností (Tabulka 13). Varianty jsou vzestupně seřazeny podle součtu řádků této matice, z toho vyplývá, že nejvýhodnější nemovitostí je „1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)“. V tabulce níže máme hodnoty zaokrouhleny na tři desetinná místa.

Tabulka 12: Matice D metody ORESTE

	Bus MHD	Stav objektu	Obchod	Vlak	Rok kolaudace
1+kk 36 m² (2 390 000,00 Kč)	2,410	2,277	2,596	4,000	4,004
1+1 32 m² (2 390 000,00 Kč)	3,191	2,277	2,410	3,302	4,236
1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)	1,651	2,277	3,000	3,570	4,004
1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)	1,000	2,277	3,570	3,191	4,555

Tabulka 13: Matice R metody ORESTE

	Bus MHD	Stav objektu	Obchod	Vlak	Rok kolaudace	R_i
1+kk 36 m² (2 390 000,00 Kč)	7,5	4,5	9,0	16,0	17,5	54,5
1+1 32 m² (2 390 000,00 Kč)	11,5	4,5	7,5	13,0	19,0	55,5
1+kk 24 m² (1 999 000,00 Kč)	2,0	4,5	10	14,5	17,5	48,5
1+1 36 m² (1 950 000,00 Kč)	1,0	4,5	14,5	11,5	20,0	51,5



Obrázek 12: Výsledek metody ORESTE

6.3.6 Porovnání výsledků jednotlivých metod

Každá metoda má jedinečné přístupy k řešení hledání kompromisních variant, proto nejsou jejich výsledky zcela shodné. Jak bylo zmíněno, ne všechny metody využívají normalizované váhy kritérií, ale pouze jejich pořadí důležitosti (viz lexikografická metoda a ORESTE). Výsledky (varianty) se liší mezi sebou nejen vypočtenými váhy, díky kterým jsou následně seřazeny, ale také i počtem těchto kompromisních variant. To je také důvodem, proč by se uživatel neměl řídit podle výsledku jedné vybrané metody, ale měl by si vytvořit celkový pohled na věc použitím několika metod. Není možné určit pouze jednu správnou metodu a podle ní se řídit.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo popsat vícekriteriální rozhodování a vytvořit následně aplikaci, která za pomoci optimalizačních úloh hledá nejvýhodnější investici do bytové jednotky na realitním trhu *Sreality.cz*.

První část práce se zabývala teorií rozhodování. V úvodu byla nastíněna problematika výběru optimálního řešení, postup při rozhodování, co má vliv na jeho kvalitu, a nakonec klasifikace úloh vícekriteriálního rozhodování. Rozdělení úloh do jednotlivých skupin bylo provedeno na základě způsobu, jakým zadáme množinu přípustných variant do rozhodovací úlohy a dále na základě informací, které máme k dispozici o rozhodovacích variantách a o cílech sledovaných rozhodovatelem. Následně byla popsána kritéria a metody, které se používají ke stanovení jejich vah. Další kapitoly se věnovaly variantám a různým metodám, rozdělených podle typu informací o kritériích, které vybírají to nejlepší řešení (kompromisní variantu). Šlo o metody spadající do skupin, které nevyžadují informaci o preferenci kritérií, metody s nominální informací o kritériích a o metody s ordinální informací o kritériích. Ke každé skupině byla představena a popsána alespoň jedna metoda. Poslední kapitola této části byla zaměřená na fuzzy čísla.

Druhá část obsahuje popis vytvořené aplikace a úvod do teorie realitního trhu. Před samotným popisem aplikace byly popsány základní ekonomické pojmy vztahující se k realitnímu trhu a nemovitostem. V teorii k rezidenčním nemovitostem byly probrány také cenové indexy, jako je index opakovaných prodejů či hedonický cenový index. Po teoretické části byl představen cíl aplikace a pro které uživatele primárně slouží. V kapitole související s analýzou požadavků byly definovány jednotlivé požadavky na aplikaci a pro lepší pochopení vztahů mezi aktéry a aplikací byl vytvořen diagram případu užití. Následující kapitola se již týkala konkrétního návrhu a jakým způsobem byla aplikace implementována včetně popisu komunikace s API portálu *Sreality.cz*. Poslední částí popisu implementace byla kapitola týkající se názorné ukázky funkčnosti. Na demonstrativním příkladu byl rozepsán postup, jak se v aplikaci k jednotlivým výsledkům dochází. K jednotlivým optimalizačním metodám byly představeny jednotlivé kroky hledání kompromisní varianty, které jsou v aplikaci implementovány. Nakonec byly porovnány výsledky všech použitých metod.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] *Československá psychologie: časopis pro psychologickou teorii a praxi*. Praha: ČSAV, 10.2006, 50(5), s. 472. ISSN 0009-062X. Dostupné také z: <https://www.digitalniknihovna.cz/knav/uuid/uuid:ef99a4b8-a240-425e-ace8-628658503555>.
- [2] RAMÍK, Jaroslav. *Vícekriteriální rozhodování – analytický hierarchický proces (AHP)*. Opava: Slezská univerzita, 1999. ISBN 80-7248-047-2.
- [3] GRASSEOVÁ, Monika, Miroslav MAŠLEJ a Bohumil BRECHTA. *Manažerské rozhodování: teoretická východiska a praktické příklady*. Brno: Univerzita obrany, 2010. ISBN 978-80-7231-730-1.
- [4] HRŮZOVÁ, Helena. *Manažerské rozhodování*. 3. aktualizované vydání. Praha: Vysoká škola ekonomie a managementu, 2011. ISBN 978-80-86730-74-5.
- [5] FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje*. 2., přeprac. vyd. Praha: Ekopress, 2010. ISBN 978-80-86929-59-0.
- [6] BROŽOVÁ, Helena, Milan HOUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekriteriální rozhodování*. Praha: Credit, 2003. ISBN 978-80-213-1019-3.
- [7] SOUKOPOVÁ, Jana. *Vícekriteriální metody hodnocení*. Brno: *Informační systém Masarykovy univerzity* [online]. 2012 [cit. 2022-11-11]. Dostupné také z: https://is.muni.cz/el/econ/jaro2012/MPV_TMHV/um/33148301/Studijni_text_metody_v_icekriterialniho_rozhodovani.pdf.
- [8] HE, Yonghuan, Hongwei GUO, Maozhu JIN a Peiyu REN. A linguistic entropy weight method and its application in linguistic multi-attribute group decision making. *Nonlinear Dynamics* [online]. 2016, 84(1), 399-404 [cit. 2022-11-20]. ISSN 0924-090X. Dostupné z: doi:10.1007/s11071-015-2595-y.
- [9] DÖMEOVÁ, Ludmila a Milan HOUŠKA. Možnosti objektivizace rozhodovacího procesu v prostředí APK pomocí entropické metody. *Agris* [online]. [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: http://www.agris.cz/Content/files/main_files/59/136949/domeova.pdf.
- [10] BAKER, Dennis, Donald BRIDGES, Regina HUNTER, Gregory JOHNSON, Joseph KRUPA, James MURPHY a Ken SORENSON. *Guidebook to Decision-Making Methods* [online]. USA: Department of Energy, 2001 [cit. 2023-01-15]. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/255621095_Guidebook_to_Decision-Making_Methods.
- [11] RAMÍK, Jaroslav a Radomír PERZINA. *Moderní metody hodnocení a rozhodování*. Karviná: Slezská univerzita v Opavě, Obchodně podnikatelská fakulta v Karviné, 2008. ISBN 978-80-7248-497-3.
- [12] FIALA, Petr a Miroslav MAŇAS. *Vícekriteriální rozhodování: Určeno pro stud. všech fak.* Praha: Vysoká škola ekonomická, 1994. ISBN 80-707-9748-7.
- [13] TALAŠOVÁ, Jana. *Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2003. ISBN 80-244-0614-4.

- [14] LIU, Xiaojun a Beibei CHEN. Based on Gray Comprehensive Evaluation Method of Real Estate. *Systems Engineering Procedia* [online]. 2011, 1, 189-194 [cit. 2023-02-11]. ISSN 22113819. Dostupné z: doi:10.1016/j.sepro.2011.08.031.
- [15] VAŠÍČKOVÁ, Radka. *Model vývoje cen rezidenčních nemovitostí*. Praha: ČVUT: Construction Macroeconomics Conference, 2013. Dostupné také z: http://www.conference-cm.com/podklady/history4/Prispevky/prispevek_vasickova.pdf.
- [16] Sunega, Petr. 2002. *Makroekonomie bydlení*. Podkladová studie ke grantovému projektu GA ČR č. 402/01/0146. Praha: Vysoká škola ekonomická. 34 s. ISBN 80-245-0337-9.
- [17] *Handbook on Residential Property Price Indices* [online]. OECD, 2013 [cit. 2023-02-12]. ISBN 9789264197183. Dostupné z: doi:10.1787/9789264197183-en.
- [18] Importní rozhraní. *Sreality.cz* [online]. Seznam.cz, ©1996–2023 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://napoveda.seznam.cz/cz/sreality/importni-rozhrani/>.
- [19] VAFAEI, Nazanin, Rita A. RIBEIRO a Luis M. CAMARINHA-MATOS. Normalization Techniques for Multi-Criteria Decision Making: Analytical Hierarchy Process Case Study. In: CAMARINHA-MATOS, Luis M., António J. FALCÃO, Nazanin VAFAEI a Shirin NAJDI, ed. *Technological Innovation for Cyber-Physical Systems* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2016, 2016, s. 261-269 [cit. 2023-04-01]. IFIP Advances in Information and Communication Technology. ISBN 978-3-319-31164-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-31165-4_26.
- [20] ARLOW, Jim a Ila NEUSTADT. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací: objektově orientovaná analýza a návrh prakticky*. 2., aktualiz. a dopl. vyd. Brno: Computer Press, 2007. ISBN 978-80-251-1503-9.
- [21] *Geoportál ČÚZK* [online]. Praha: ČÚZK, 2010 [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz/>.
- [22] *Mapshaper* [online]. GitHub [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://mapshaper.org>.
- [23] GHOSH, Anindya, Prithwiraj MAL a Abhijit MAJUMDAR. Elimination and Choice Translating Reality (ELECTRE). In: GHOSH, Anindya, Prithwiraj MAL a Abhijit MAJUMDAR. *Advanced Optimization and Decision-Making Techniques in Textile Manufacturing* [online]. CRC Press, 2019, 2019-3-18, s. 65-84 [cit. 2023-04-10]. ISBN 9780429504419. Dostupné z: doi:10.1201/9780429504419-4.

PŘÍLOHY

Příloha A – Příručka	64
----------------------------	----

PŘÍLOHA A – PŘÍRUČKA

Tato příloha obsahuje uživatelskou příručku pro desktopovou aplikaci vícekriteriálního rozhodování na realitním trhu.

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Aplikace vícekriteriálního rozhodování na realitním trhu
Uživatelská příručka
Bc. Luděk Letáček

2023

OBSAH

Seznam obrázků.....	iii
Úvod	iv
1 Načtení inzerátů	v
2 Kritéria	vii
3 Ohodnocení variant	ix
4 Zavírání aplikace	xii

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Karta pro načtení dat	v
Obrázek 2: Okresy	vi
Obrázek 3: Cenový rozsah	vi
Obrázek 4: Typ bytové jednotky	vi
Obrázek 5: Karta pro kritéria	vii
Obrázek 6: Váha kritéria	viii
Obrázek 7: Kvalitativní kritérium	viii
Obrázek 8: Karta pro ohodnocení variant	ix
Obrázek 9: Metody	x
Obrázek 10: Výsledek	x
Obrázek 11: Zobrazení/uložení ohodnocení	x
Obrázek 12: Výstup ohodnocení	xi

ÚVOD

Desktopová aplikace vícekriteriálního rozhodování na realitním trhu slouží pro nalezení investičně nejvýhodnější nemovitosti. Jedná se o výstup diplomové práce na téma „Řešení optimalizačních úloh na realitním trhu s využitím vícekriteriálního rozhodování“. Tato uživatelská příručka se zaměřuje na způsob, jakým se aplikace používá a dále na popis jednotlivých částí. Motivací aplikace je pomoci uživateli vybrat z nabídky inzerátů takový byt, který splňuje jeho požadavky a je v ohledu nejlepší možnou volbou.

1 NAČTENÍ INZERÁTŮ

Aplikace je rozdělena na tři záložky. První záložka slouží pro načtení nemovitostí z portálu *Sreality.cz*. Na této kartě se nachází základní filtr pro načtení personalizovaných inzerátů bytových jednotek. Je rozdělen na tři části: lokace, rozpočet a typ bytu. Dokud se nenačtou data, není povoleno přejít na ostatní karty.

Systém vícekriteriálního rozhodování pro koupi bytu

O aplikaci

Načti data **Kritéria** **Ohodnocení variant**

Cena

Min Max

Typ

1+kk 2+kk 3+kk 4+kk 5+kk 6 a více

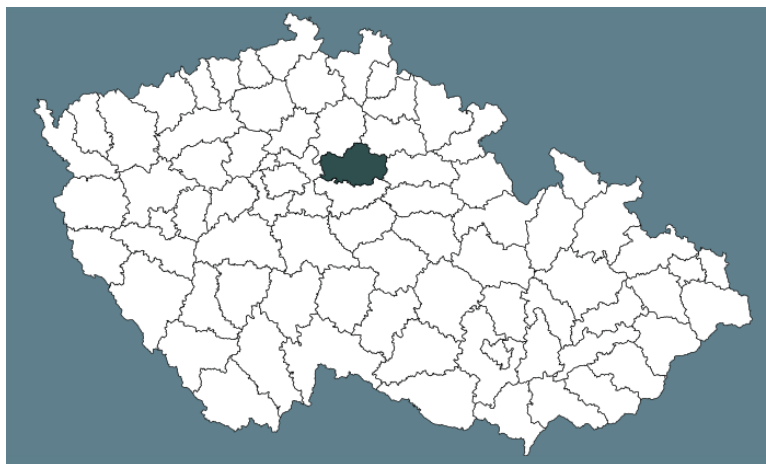
1+1 2+1 3+1 4+1 5+1 atypický

Vše

Vybrat

Obrázek 13: Karta pro načtení dat

Uživatel nejprve vybere lokalitu, ve které chce investovat do nemovitosti. Dané lokality jsou reprezentovány okresy České republiky. Jakmile je daný okres vybrán, změní svoji barvu (viz okres Nymburk na obrázku „Okresy“). Uživateli je povoleno vybrat pouze jednu lokalitu a v ní hledat tu nejvýhodnější bytovou jednotku.



Obrázek 14: Okresy

Uživatel jako další omezení pro načítané inzeráty může zadat cenový rozsah. Není-li vyplněna minimální nebo maximální cena, jsou brány výchozí hodnoty aplikace. Tento interval je dán v rozmezí od 0 až do 10 miliard Kč. Uživatel jako nejvyšší povolenou cenu může zadat desetičíselnou hodnotu. Nejnižší možná povolená hodnota je shodná s výchozí minimální cenou.

Cena	
Min	Max

Obrázek 15: Cenový rozsah

Poslední zadávanou položkou je typ bytu. V tomto případě jsou jednotlivé typy zaškrťovány s možností vícenásobného výběru. Chce-li uživatel načíst všechny inzeráty bez ohledu na typ bytu, zvolí „Vše“. V ostatních případech zvolí pouze preferované.

Typ						
<input type="checkbox"/> 1+kk	<input type="checkbox"/> 2+kk	<input type="checkbox"/> 3+kk	<input type="checkbox"/> 4+kk	<input type="checkbox"/> 5+kk	<input type="checkbox"/> 6 a více	
<input type="checkbox"/> 1+1	<input type="checkbox"/> 2+1	<input type="checkbox"/> 3+1	<input type="checkbox"/> 4+1	<input type="checkbox"/> 5+1	<input type="checkbox"/> atypický	
<input type="checkbox"/> Vše						

Obrázek 16: Typ bytové jednotky

2 KRITÉRIA

Záložka kritéria slouží pro výběr aspektů nemovitostí, podle kterých se bude provádět hodnocení. V seznamu, ze kterého se vybírá, je 29 kritérií, z toho je 8 kvalitativních a 21 kvantitativních. U kvantitativních kritérií má uživatel schopnost změnit povahu, tedy označit, zda je maximalizační (cílem je dosáhnout nejvyšší možné hodnoty) či minimalizační (cílem je dosáhnout nejnižší možné hodnoty).

O aplikaci

Načti data **Kritéria** **Ohodnocení variant**

Název	Váha
<input type="checkbox"/> Typ bytu	0
<input type="checkbox"/> Cena	0
<input type="checkbox"/> Hřiště (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Večerka (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Bus MHD (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Škola (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Školka (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Restaurace (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Hospoda (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Lékárna (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Sportoviště (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Divadlo (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Kino (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Cukrárna (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Veterinář (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Vlák (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Obchod (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Bankomat (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Pošta (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Lékař (vzdálenost)	0

Cíl

Váha Nechci ohodnocovat

Obrázek 17: Karta pro kritéria

Výběr kritérií probíhá zaškrtnutím. Nezaškrtně-li uživatel kritérium, je hodnoceno vždy s váhou 0 a není použito k výpočtu. Váha se ukládá, takže se při odškrtnutí neztratí. Označí-li se kritérium k použití ve výpočtu, váha se projeví v přehledu. Povolené hodnoty vah jsou na intervalu od 0,00 do 100,00. Pokud uživatel nechce, nebo z nějakého důvodu nemůže kritéria ohodnotit, potom je připravená možnost „Nechci ohodnocovat“, čímž všechna kritéria dostanou stejnou váhu.

The image shows two screenshots of a web interface for setting criteria weights. The top screenshot shows a table of criteria with 'Cena' selected and a weight of 30. The bottom screenshot shows the same interface with 'Nechci ohodnocovat' checked, indicating that all criteria will have a weight of 0.

Název	Váha
<input type="checkbox"/> Typ bytu	0
<input checked="" type="checkbox"/> Cena	30
<input type="checkbox"/> Hřiště (vzdálenost)	0
<input type="checkbox"/> Večerka (vzdálenost)	0
<input checked="" type="checkbox"/> Bus MHD (vzdálenost)	30
<input type="checkbox"/> Škola (vzdálenost)	0

Target: Nechci ohodnocovat

Weight: Nechci ohodnocovat

Obrázek 18: Váha kritéria

U zmiňovaných kvalitativních kritérií se jednotlivé „třídy“, respektive možné vyskytující se hodnoty „váží“ na pětibodové verbálně numerické stupnici.

The image shows a screenshot of a web interface for setting qualitative criteria. It shows a table of categories with 'Velmi dobrý' selected and a weight of 5. A dropdown menu for 'Důležitost kategorie' is open, showing a 5-point scale from 'žádná důležitost' to 'výjimečná'.

Název	Váha
Velmi dobrý	5
Dobry	5
Špatný	1
Ve výstavbě	2
Projekt	1
Novostavba	5
Před rekonstrukcí	2
Po rekonstrukci	5

Target: Nechci ohodnocovat

Weight: Nechci ohodnocovat

Důležitost kategorie:

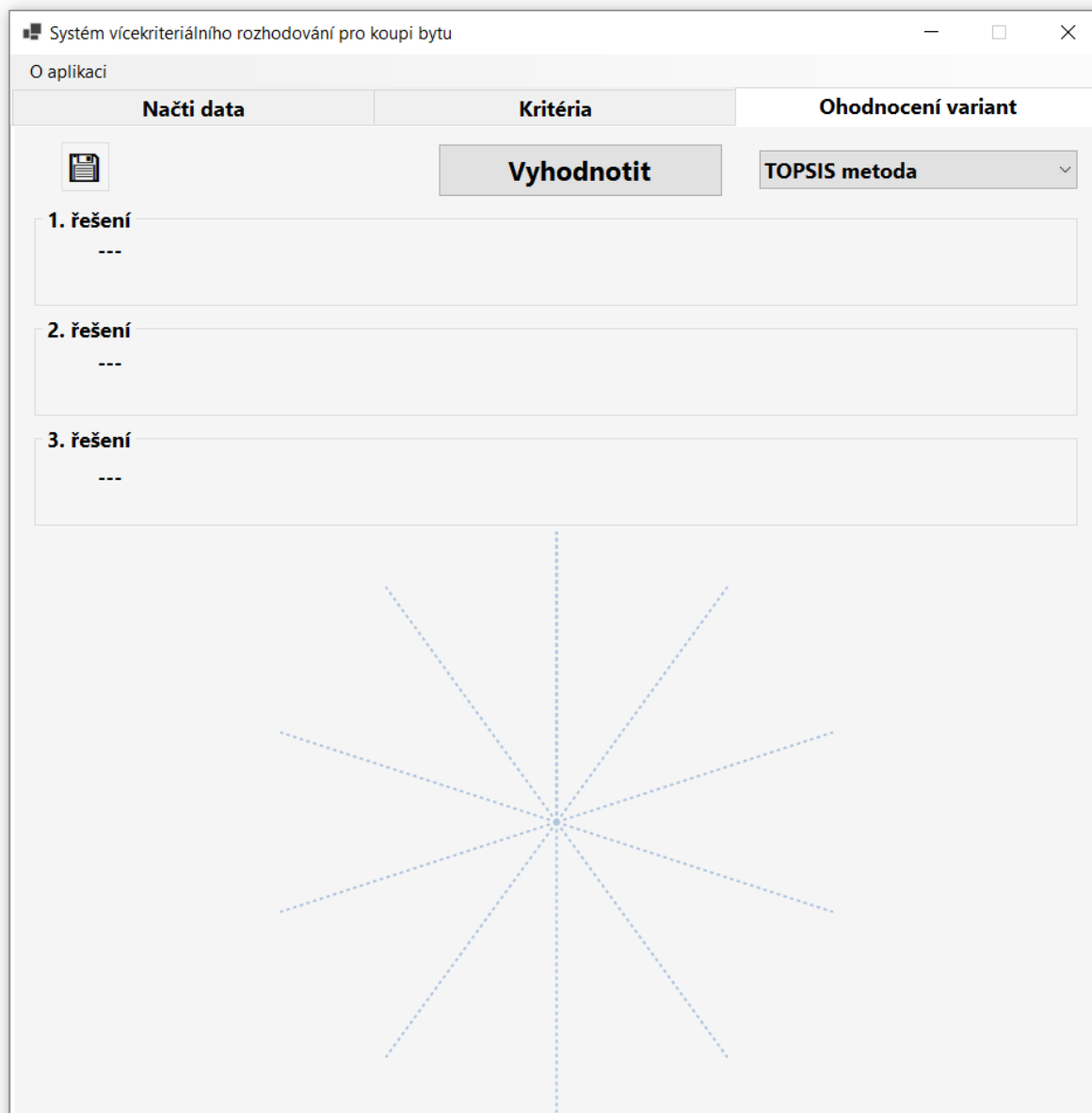
Legend:

- 1 - žádná důležitost
- 2 - méně významná
- 3 - důležitá
- 4 - velmi důležitá
- 5 - výjimečná

Obrázek 19: Kvalitativní kritérium

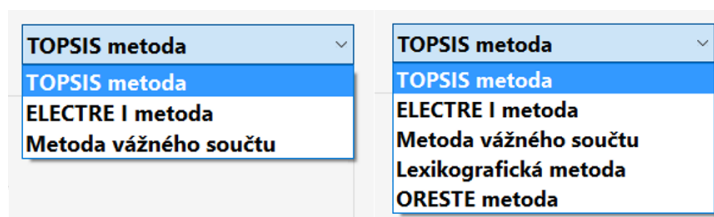
3 OHODNOCENÍ VARIANT

Na kartě „Ohodnocení variant“ dochází k výpočtu nejvýhodnějšího bytu optimalizační metodou, která je vybrána uživatelem.



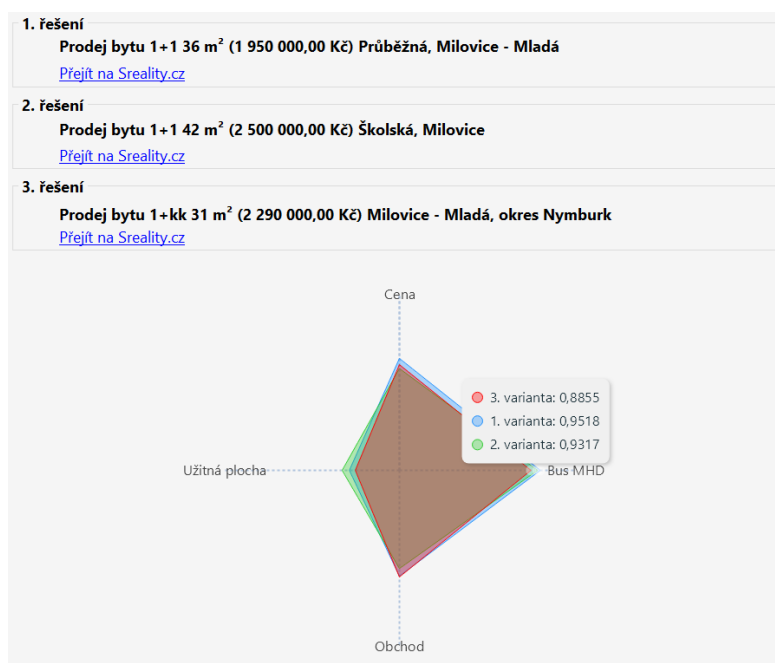
Obrázek 20: Karta pro ohodnocení variant

Jestliže je zaškrtnuto z předchozí karty „Nechci ohodnocovat“, je v nabídce optimalizačních metod pouze TOPSIS, ELECTRE I a metoda váženého součtu. V opačném případě se nabídka rozšíří o lexikografickou metodu a metodu ORESTE.



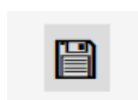
Obrázek 21: Metody

Po kliknutí na tlačítko „Vyhodnotit“ probíhá výpočet, který zobrazí ty nejlépe hodnocené inzeráty a zobrazí normalizované váhy pro jednotlivá kritéria v grafu (není zahrnuta váha kritéria). Způsob normalizování hodnot se liší metodou, kvůli tomu mohou být hodnoty v grafu různé. Pro TOPSIS a ELECTRE I se využívá vektorová normalizace a u ostatních metod (metoda váženého součtu, ORESTE a lexikografické metody) se využívá lineární normalizace.



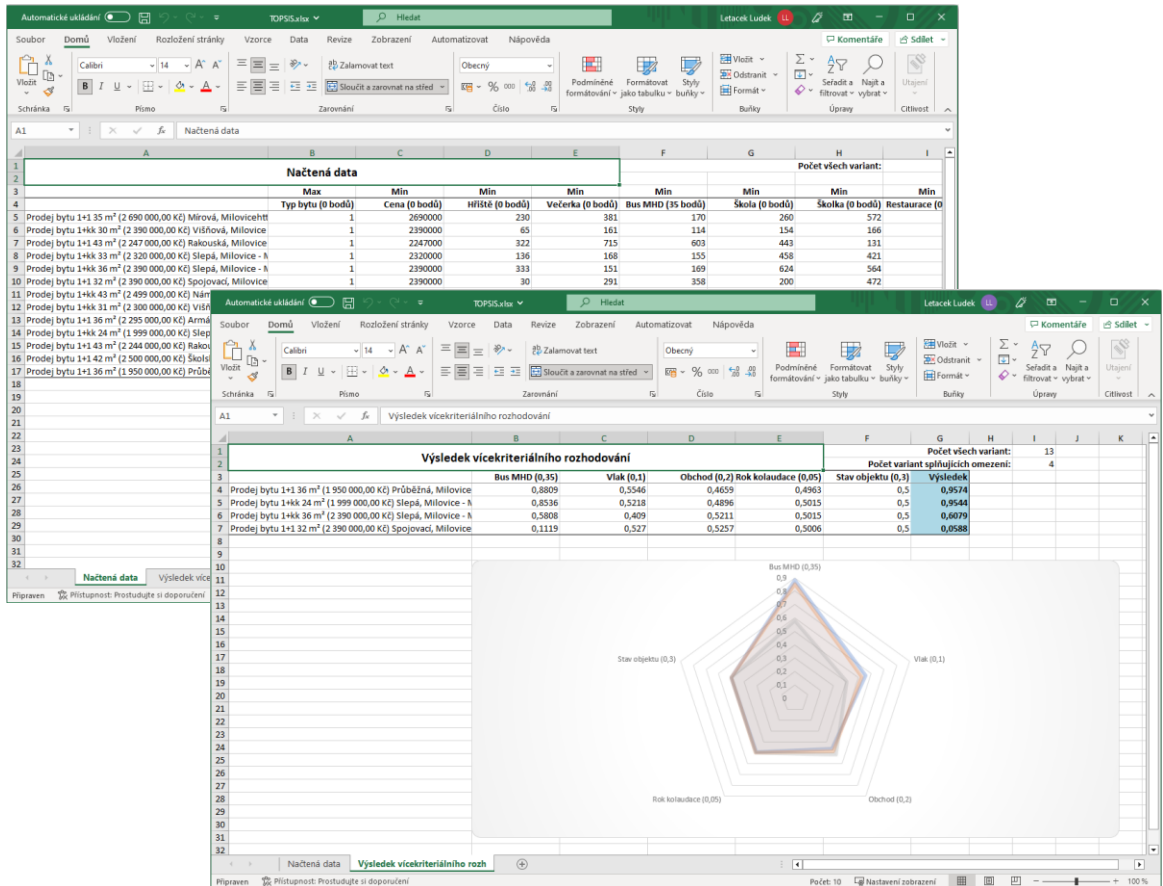
Obrázek 22: Výsledek

Chceme-li zobrazit všechny kompromisní varianty, potom použijeme tlačítko „Zobrazení/uložení ohodnocení“. V programu, který nám otevře soubor s příponou *.xlsx* můžeme následně výstup uložit.



Obrázek 23: Zobrazení/uložení ohodnocení

Excelovský výstup se dělí na dva listy. V prvním listu jsou všechny načtené inzeráty, ke kterým jsou přiřazeny data pro jednotlivá kritéria. Je-li údaj někde prázdný, znamená to, že takovým kritériem varianta nedisponuje a nelze být podle něj porovnávána. Na druhém listu jsou již ohodnocené kompromisní varianty s jejich normalizovanými kritérii (není zahrnuta váha kritéria).



Obrázek 24: Výstup ohodnocení

4 ZAVÍRÁNÍ APLIKACE

Při ukončování aplikace je možné uložit si aktuální stav pro pozdější ohodnocování. Do stavu, který se ukládá, spadají všechna ohodnocená kritéria, ohodnocené kategorie kritérií a filtr z první karty sloužící pro načtení inzerátů. Pokud má uživatel uložen tento stav, během spouštění se aplikace dotáže, zda si ho přeje načíst.