

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Vícekriteriální rozhodování agentů
v ekonomických prostředích

Diplomová práce

Autor: Tomáš Licek

Studijní obor: IM2

Vedoucí práce: RNDr. Petr Tučnák, Ph.D.

Hradec Králové

duben 2015

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne

Tomáš Licek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu RNDr. Petru Tučníkovi, Ph.D. za vedení a usílí věnované této práci.

Anotace

Práce je zaměřena na vícekriteriální rozhodování, metody vícekriteriální analýzy a aplikaci jednotlivých metod v agentově-orientovaných výpočetních ekonomikách. První část se zabývá teoretickými základy a východisky vícekriteriálního rozhodování, spolu s typy a dělením rozhodovacích problémů. Hlavní pozornost je věnována popisu klíčových vícekriteriálních metod a agentově-orientovaným ekonomikám.

Teoretické poznatky jsou využity v závěrečné části práce, kde jsou vybrané metody implementovány a je navržen rozhodovací modul. Vedle samotné implementace je prostřednictvím experimentu vyhodnocena i výpočetní náročnost vybraných metod. Výstupem je programová sada několika vícekriteriálních metod pro obecné použití a rozhodovací modul multiagentového prostředí. Aplikace rozhodovacího modulu je demonstrována na praktickém příkladu v agentově-orientované ekonomice.

Klíčová slova: rozhodování, vícekriteriální metody, agentově-orientované výpočetní ekonomiky

Annotation

Title: Multi-Criteria Decision Making of agents in economic environments

The subject of Diploma Thesis is multi-criteria decision making, multi-criteria decision methods and application of these methods in agent-based computational economics. First part explore theoretical background and decision making basics along with types and segmentation of decision making problems. The main attention is dedicated to key aspects of multi-criteria decision making methods and agent-based computational economics.

Theoretical aspects are applied in practical part of Diploma Thesis where several multi-criteria methods are implemented. Decision making module is also part of the design. Performance of multi-criteria methods is evaluated through several experiments.

Collection of multi-criteria methods for general use and decision making module is presented as output. Practical use of the module is demonstrate in agent-based computational economic.

Key words: decision making, multi-criteria methods, agent-based computational economics

Obsah

1 Úvod	1
2 Rozhodování	2
2.1 Potřeba rozhodovací analýzy	2
2.2 Proces rozhodování.....	4
2.3 Druhy a kvalita rozhodnutí	6
2.4 Vícekriteriální rozhodování	8
2.5 Dělení MCDM, MADM a MODM	11
2.6 Rozhodovací tabulka.....	12
2.7 Stanovení vah kritérií	13
2.8 MCDA.....	15
2.9 Další přístupy v inteligentním rozhodování	17
2.9.1 Umělé neuronové sítě	17
2.9.2 Evoluční výpočetní techniky.....	18
2.9.3 Fuzzy systémy	19
2.9.4 Case-Based Reasoning	20
2.9.5 Agentově-orientované systémy.....	20
3 Rozhodovací metody	22
3.1 Důležité aspekty vícekriteriálních rozhodovacích metod	22
3.2 Dělení rozhodování dle typu rozhodovacích problémů.....	22
3.3 Rozdělení metod dle přístupu	24
3.4 Weighted Sum Method.....	24
3.5 Weighted Product Method.....	25
3.6 Analytic Hierarchy Process	26
3.6.1 Struktura problému	27
3.6.2 Stanovení priorit	27
3.6.3 Vyhodnocení konzistence.....	28

3.6.4	Citlivostní analýza.....	29
3.6.5	Způsob výpočtu	29
3.6.6	Shrnutí metody AHP	30
3.7	Analytic Network Proces.....	31
3.7.1	Vnitřní závislosti v clusteru kritérií.....	32
3.7.2	Vnitřní závislosti v clusteru alternativ	32
3.7.3	Vnější závislosti	32
3.7.4	Matice vlivu	33
3.8	Multi-attribute utility theory	33
3.9	Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation.....	35
3.9.1	Strukturování problému: Hodnotový strom	36
3.9.2	Výpočet skóre	36
3.10	Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation ...	37
3.10.1	Unikriteriální preferenční stupně.....	38
3.10.2	Unikriteriální pozitivní, negativní a síťové toky	39
3.10.3	Celkové toky	40
3.10.4	PROMETHEE I.....	40
3.10.5	PROMETHEE II	41
3.11	Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution	41
3.12	Vise Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje.....	44
3.13	Porovnání MCDM metod	46
3.13.1	Rank reversal efekt.....	47
3.13.2	AHP a párového porovnávání.....	47
3.13.3	TOPSIS a VIKOR	48
3.13.4	Outranking metody a MAUT	49
3.13.5	Výběr vhodné metody	49
4	Agentově-orientované výpočetní ekonomiky	50

4.1	Umělé agenty a definice agenta	50
4.2	ACE.....	52
4.2.1	Ověření a validace ACE modelů.....	54
4.2.2	Rozhodování v ACE	55
4.3	Artificial Virtual Economies	56
4.3.1	Úroveň jednotlivce	57
4.3.2	Úroveň firmy.....	59
4.3.3	Úroveň kolonie.....	61
4.3.4	Přehled agentů v AVE	65
5	Porovnání rozhodovacích metod v ACE	66
5.1	Návrh rozhodovací komponenty v modelu AVE.....	67
5.2	Implementace jednotlivých metod.....	70
5.2.1	Implementace metody WPM	71
5.2.2	Implementace metody TOPSIS	72
5.2.3	Implementace metody VIKOR.....	73
5.2.4	Implementace metody PROMETHEE	73
5.3	Test výkonnosti jednotlivých metod	74
5.3.1	Příprava experimentu	74
5.3.2	Samotné testování	78
5.3.3	Výsledky testování	81
5.4	Optimální spotřeba zboží a služeb jednotlivcem.....	83
5.4.1	Spotřební koš.....	83
5.4.2	Rozhodování o spotřebním koši	84
6	Shrnutí výsledků.....	91
7	Závěr	92
	Seznam použité literatury	93
	Seznam obrázků.....	103

Seznam tabulek	105
Rejstřík pojmů.....	107
Příloha A.....	108
Příloha B.....	109
Zadání práce	141

1 Úvod

Rozhodování je běžnou každodenní věcí. Některá rozhodnutí jsou malého, nepatrného charakteru, jiná jsou rozsáhlá s dlouhodobými následky. Všechna rozhodnutí však probíhají za přítomnosti několika kritérií, které na první pohled nemusí být všechny patrné. Po dlouhou dobu se lidé snaží přijít na to, jakým způsobem činit dobrá a kvalitní rozhodnutí. Z této potřeby se postupem času vyvinuly techniky a postupy, které mají proces rozhodování usnadnit a pomoci tak člověku dělat kvalifikovaná a správná rozhodnutí. Zde však mnohé teorie zabývající se rozhodováním, metodami a přístupy naráží na to, co správné rozhodnutí vůbec je, a jaká je jeho definice. Jelikož rozhodování lidí je zatíženo řadou faktorů, které mohou mít nepříznivý vliv na kvalitu rozhodnutí (subjektivní postoje, netrpělivost a jiné emoční stavy, další faktory), je nutné brát v úvahu všechny elementy, které mohou do lidského rozhodování zasáhnout a ovlivnit ho. Jednou ze snah, která se snaží obejít nepříznivé vlastnosti lidského rozhodování, je snaha rozhodování přenést na neživou entitu (stroj), která není zatížena emocemi, únavou a dalšími prvky, které mohou lidský úsudek negativně ovlivnit. To spolu ovšem nese celou množinu nových či jen částečně vyřešených problémů, které se vztahují k tomu, jak tato strojová rozhodnutí činit efektivně, racionálně, a především autonomně. Primární oblastí, na kterou se bude v otázkách rozhodovacích problémů soustředit tato práce, jsou agentově-orientované výpočetní ekonomiky. Tato oblast v širším kontextu přináší možnost zkoumání mnoha dalších jevů (skupinové rozhodování, kontinuální adaptabilita, samoorganizace, aj.), které s rozhodováním souvisí a které mohou mít praktické využití v navazujícím dalším výzkumu v této oblasti, k čemuž se tato diplomová práce snaží vytvořit předpoklady. Problematika rozhodování je velice široká a obsáhlá. V souvislosti s agentově-orientovanými ekonomikami a jejich dosavadním způsobem vývoje a implementace, budou dále rozebrány základní stavební kameny rozhodování ekonomických subjektů. Důraz bude kladen na vícekriteriální rozhodování a metody vícekriteriální analýzy, neboť charakter dat a modelů agentově-orientovaných ekonomik umožňuje a vybízí k aplikaci vícekriteriálních metod. Vychází se přitom z předpokladu, že chování ekonomických subjektů (spotřebitelů, firem) by mělo vykazovat prvky racionality. Ta je do velké míry ovlivněna mj. i množstvím informací, které je možné do rozhodovacího procesu zahrnout, což je aspekt, v němž vícekriteriální rozhodovací techniky vynikají.

2 Rozhodování

Problematika rozhodování je rozsáhlá a je dlouhou dobu předmětem mnoha výzkumů a prací. Nejprve je nutné vymezit pojem rozhodování obecně, spolu s neodmyslitelnými aspekty, které s rozhodováním souvisí. Dále bude stručně představeno několik různých přístupů, které se s rozhodováním a rozhodovacími problémy snaží vypořádat. Hlavní náplní této části je pak vícekriteriální rozhodování, ke kterému Ishizaka a Nemery (2013) uvádí, že: *„Ve většině případů neexistuje ideální alternativa, která by splňovala všechna kritéria. Je tedy nutné nalézt odpovídající kompromis.“* Tato kapitola se zaměřuje na to, jak tohoto kompromisu vhodným způsobem dosáhnout.

2.1 Potřeba rozhodovací analýzy

První zmínka vztahující se k vícekriteriálnímu rozhodování se váže k Benjaminu Franklinovi, který využíval jednoduchý papírový systém pro rozhodování o důležitých věcech, které se ho týkaly (Köksalan et al., 2011).

Franklin ve svém dopisu, který psal Josephu Priestlimu, vysvětluje, jakým způsobem tento svůj rozhodovací systém používá (Saaty, 1994): Rozhodování o důležitých věcech je obtížné, neboť pokud je třeba rozhodnutí, nejsou vždy člověku všechny důležité aspekty problému známy v jeden okamžik. Pro překonání tohoto problému si Franklin rozdělil list papíru na dvě poloviny. Jednu polovinu nadepsal **ve prospěch** a druhou **proti** danému rozhodnutí, které se snažil učinit. Během následujících tří až čtyř dnů postupně doplňoval všechny důvody svědčící pro, nebo proti danému rozhodnutí. Následně se pokusil odhadnout váhy jednotlivých důvodů. Pokud shledal dva důvody (z každé strany jeden) stejně důležité, vyškrtl je. Pokud našel dva důvody ve prospěch rozhodnutí stejně důležité jako jeden proti, vyškrtl všechny tři. V případě dvou důvodů ve prospěch shodných se třemi proti, vyškrtl všech pět. Tímto způsobem pokračoval s vyškrtáváním všech důvodů, dokud nedospěl k rovnováze. Pokud Franklin během následujícího dne či dvou nedospěl k novým důvodům, které by mohl na jednu ze stran přidat, učinil na základě zbylých nevyškrtaných důvodů konečné

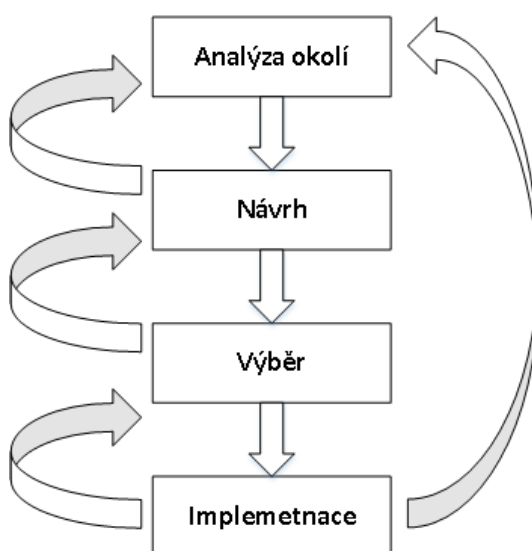
rozhodnutí. Franklin tedy věděl, že správné rozhodnutí vyžaduje čas a mělo by být výsledkem úvah. S tím úzce souvisí a pojí se i pojem racionality.

Nejen v ekonomii, ale i v dalších oblastech, rozhodování nevyjímaje, je často zmiňována problematika „racionálního rozhodování“. Značné množství rozhodovacích teorií definuje tento pojem pomocí matematických principů a axiomů, ze kterých zmíněné racionální rozhodování vyplývá a spočívá např. v maximalizaci užitku jednotlivce (Edwards et al., 2007).

Lidské rozhodování je subjektivní záležitostí a výzkum behaviorálního rozhodování pomohl za posledních padesát let objasnit některé nesprávné domněnky, které o rozhodování jedince panovaly. Na začátku sedmdesátých let Tversky a Kahneman započali jeden z nejznámějších behaviorálních výzkumů rozhodovacích procesů. Úsudky a rozhodování lidí byly ve výzkumu postaveny oproti předpokladům normativní teorie. Výsledky byly překvapující, poutavé a pro mnohé nepochopitelné (Mellers a Locke, 2007). Tversky a Kahneman uvádějí, že lidský úsudek nelze popsat normativní teorií, ale je zatížen heuristikami a předpojatostí. Definice racionality je předmětem debat, avšak u racionálního rozhodnutí se vědci shodují na tom, že by mělo být konzistentní a koherentní (Tversky a Kahneman, 1981). Mělo by tedy vycházet a být v souladu s tím, co je rozhodovateli (Decision Maker, dále jen DM) známo a co je s danou problémovou oblastí přímo spjato (Thagard, 2001). Tversky a Kahneman dále definují rozhodovací problém sadou dostupných akcí či možností, mezi kterými si musí DM vybrat. Také definují výstupy, či následky těchto akcí, se kterými jsou spojeny podmíněné pravděpodobnosti a další nahodilosti vázané k výsledkům jednotlivých akcí. Dalším pojmem, který definují, je **rozhodovací rámec**. Rozhodovací rámec je určen tím, jakým způsobem DM vnímá a nahlíží na dostupné proveditelné akce, možné následky těchto akcí, a také jakým způsobem vnímá všechny okolnosti, které s výběrem rozhodnutí a s rozhodovacím problémem souvisí. Často je možné setkat se s několika rozhodovacími rámci u jednoho rozhodovacího problému. Racionální rozhodnutí se vyznačuje tím, že nedochází ke změně preferencí mezi jednotlivými alternativami, při změně rozhodovacího rámce. Bohužel vzhledem k nedokonalosti lidského vnímání a rozhodování, dochází velmi často k různým preferencím na základě změn v perspektivě rozhodovacího rámce. Tento jev byl pozorován u mnoha různých rozhodovacích problémů, nezávisle na zkoumané skupině respondentů (Tversky a Kahneman, 1981).

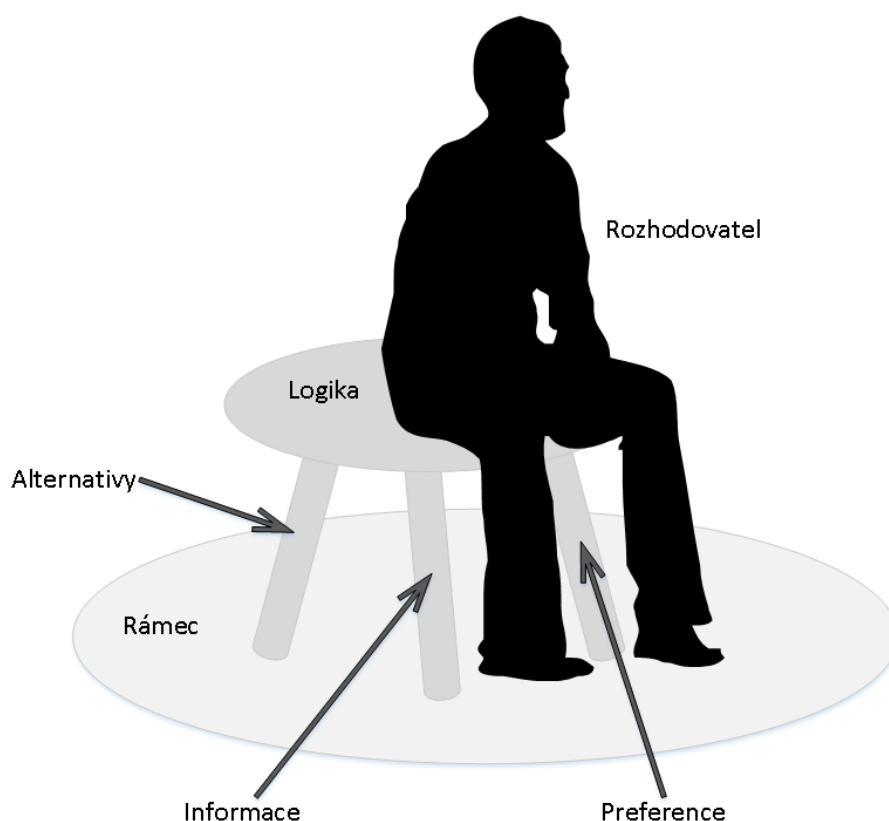
2.2 Proces rozhodování

V oblasti rozhodování a samotném rozhodovacím procesu, se vyskytuje několik paradigmat, které byly postupem času upravovány a přehodnoceny. Současná teorie rozděluje proces rozhodování do čtyř částí, tak jak je zachyceno na Obr. 1. Ve fázi analýzy okolí (a) je DM zkoumána realita a vymezena problémová oblast. Dále dochází k získávání informací, které s danou doménou souvisí a ovlivňují ji. Ve druhé fázi návrhu (b) dochází za využití explicitního modelu ke stanovení kritérií, vymezení alternativ a událostí ovlivňujících danou doménu. Vztahy mezi těmito aspekty musí být měřitelné a jasně specifikované. To umožní logické vyhodnocení alternativ v dalším kroku, kterým je fáze výběru (c). Ve fázi výběru dochází ke stanovení akcí, které nejlépe vyhovují stanoveným kritériím. V poslední čtvrté implementační fázi (d) je zapotřebí přehodnotit výsledky rozhodovací analýzy a vzít v úvahu následky, které z daných doporučení rozhodovací analýzy vyplývají. Poté je navržen plán implementace a jsou zajištěny potřebné zdroje pro realizaci, která se nyní může uskutečnit. Zde je důležité zmínit, že rozhodovací proces je nepřetržitý proces se zpětnou vazbou, neboť DM by měl neustále ve všech fázích procesu vyhodnocovat změny, které probíhají ve sledované doménové oblasti. Při získání nových informací o zkoumaném prostředí, je nutné tyto informace zahrnout do jednotlivých fází rozhodovacího procesu (Lim a Jain, 2010).



Obr. 1: Fáze rozhodovacího procesu. Zdroj: Převezato z (Lim a Jain, 2010)

Samotné rozhodování si lze představit jako výběr mezi několika alternativami, který přinese neurčitý výsledek a budoucnost, který je DM preferován. Pro vysvětlení aspektů rozhodovací analýzy necht' poslouží Obr. 2, na kterém je znázorněna třínohá rozhodovací stolička. Nohy stoličky představují tři elementy každého rozhodování: (a) **alternativy**, (b) **informace** a (c) **preference**. Společně tyto tři nohy tvoří základ rozhodování, neboť v případě, kdy některá noha (element) chybí, k rozhodování nedochází (Howard, 2007).



Obr. 2: Prvky rozhodování. Zdroj: Převzato z (Howard, 2007)

V případě pouze jedné alternativy, nemá DM z čeho vybírat. Pokud nejsou známy žádné informace o rozhodovacím problému, doméně a o tom, jakým způsobem dostupné alternativy mohou ovlivnit a změnit realitu, pak se všechny alternativy jeví rovnocenně, neboť není jasný vliv, který přináší. V posledním případě, kdy nejsou stanoveny preference rozhodování, budou přinášet DM všechny alternativy stejný užitek. Sedadlo stoličky představuje logiku, která pracuje s rozhodovacími postupy takovým způsobem, aby byla vybrána ta nejlepší alternativa. Stoličku lze umístit kamkoliv a použít ji k rozhodování. Místo, kam je daná stolička umístěna, je však tím nejdůležitějším

rozhodnutím DM, neboť umístění stoličky určuje rámec, který popisuje to, jakým způsobem DM na danou problémovou oblast v daný okamžik nahlíží. Tento rámec ovlivňuje všechny elementy rozhodování a určuje rozsah problémové oblasti. DM který je důležitým prvkem rozhodovacího problému a zároveň jeho součástí, viz Obr. 2, stanovuje rámec a všechny další výše zmíněné elementy rozhodování a stává se tak klíčem ke správnému rozhodnutí (Howard, 2007).

Vzhledem k právě zmíněnému **správnému** rozhodnutí je také důležité stanovit rozdíl mezi dobrým rozhodnutím a dobrým celkovým výstupem rozhodování.

S rozlišením mezi dobrým rozhodnutím a dobrým výstupem se lze dle (Jaynes, 1986) setkat již okolo roku 500 př. n. l., kdy Hérodotos pojednával o politických rozhodnutích perských králů. Hérodotos poznamenal, že dané rozhodnutí bylo moudré, pokud se na základě dostupných informací jeví jako nejlepší možné i přes to, že mělo katastrofické následky. Na druhé straně považoval Hérodotos rozhodnutí za hloupé i v případě, že vedlo k dobrým následkům, avšak tyto následky nebylo rozumné očekávat.

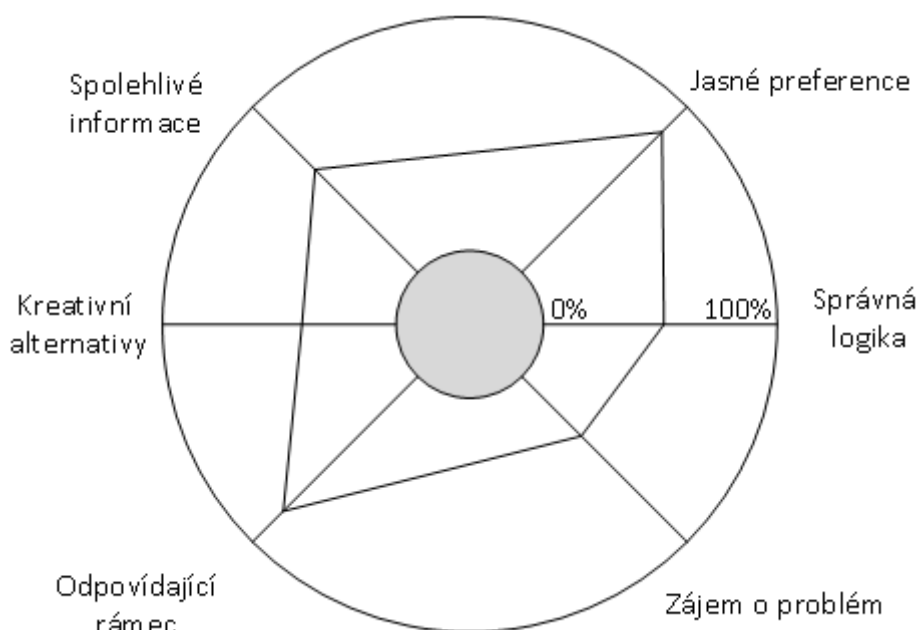
Jak uvádí (Howard, 2007), dobré rozhodnutí je takové, které je logické. Toto dobré rozhodnutí vychází z neurčitosti, hodnot, informací a preferencí, které má DM k dispozici. Dobrý výstup či výsledek rozhodování je však takový, který je profitabilní nebo je jiným způsobem ceněn. Dobrý výstup rozhodování je přáním každého DM, který zároveň doufá, že vykonáváním dobrých (logických) rozhodnutí dosáhne dobrého výstupu rozhodování. To ovšem nemusí být nutně pravda. Správné logické rozhodnutí může zapříčinit i špatný celkový výsledek rozhodování. A naopak rozhodnutí, které se jeví z pohledu konkrétního DM jako špatné, může být dotčenými subjekty hodnoceno pozitivně, či přinést dobrý výstup. Avšak s ohledem na nemožnost předvídat budoucí následky rozhodování, se snaha o konání dobrých rozhodnutí, s cílem dosažení dobrého výstupu z rozhodovacího problému jeví, jako nejlepší možná.

2.3 Druhy a kvalita rozhodnutí

Druhy rozhodování lze dle (Lim a Jain, 2010) obecně rozdělit do dvou kategorií, kterými jsou (a) operativní rozhodování a (b) strategické rozhodování. Operativní rozhodování probíhá v krátkodobém horizontu a zabývá se řízením činností. Výsledky

daných rozhodnutí jsou díky malému časovému rámci známy poměrně rychle. Strategické rozhodování v sobě naopak zahrnuje předpovědi, které jsou dlouhodobé. Je zde také nutné počítat s jistou mírou nejistoty, kterou sebou tento typ rozhodnutí nese. Zároveň je vzhledem k delšímu časovému horizontu těžší hodnotit kvalitu rozhodnutí, než jak je tomu u operativního rozhodování, kde jsou výsledky známy brzy a míra nejistoty není tak velká.

Z tohoto důvodu bylo vyvinuto ohodnocení kvality rozhodnutí, které je tvořeno šesti základními elementy. Jsou jimi: (a) odpovídající rámec, (b) tvůrčí, proveditelné alternativy, (c) významné a spolehlivé informace, (d) jasné ohodnocení, (e) logicky správné usuzování a (f) odhodlání a zájem o problémovou doménu (Lim a Jain, 2010).



Obr. 3: Pavučina kvality. Zdroj: Převzato z (Howard, 2007)

Šest výše uvedených elementů kvality rozhodnutí lze nalézt i v (Howard, 2007). Tyto elementy lze graficky znázornit pavučinou rozhodování, která je zachycena na Obr. 3. Vzdálenost vnitřního kruhu k vnějšímu označuje míru naplnění jednotlivých kvalitativních elementů rozhodování. Vnější kruh představuje správné rozložení elementů pro daný konkrétní rozhodovací problém.

2.4 Vícekriteriální rozhodování

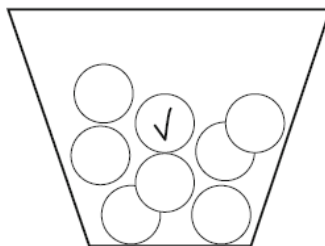
Vícekriteriální rozhodování, jak uvádí a dokládá na příkladu Tučnák (2014), lze vhodně využít pro řešení některých rozhodovacích problémů v agentově-orientovaných ekonomikách. Z tohoto důvodu bude dále vícekriteriálnímu rozhodování a jeho metodám věnována hlavní pozornost.

Obor Multiple-Criteria Decision-Making (MCDM) prošel dlouhým, dnes již více jak čtyřicetiletým vývojem a stojí na prahu nové éry. Již nestačí vylepšovat stávající zaběhnuté a léty ověřené přístupy a metody, ale je třeba hledat přístupy nové a unikátní. Myslet novým, neotřelým způsobem, neboť jsou v dnešní záplavě různých vylepšení, ať již algoritmických, stochastických, dynamických či grafických, jen stěží vidět základní principy odvětví (Zeleny, 2011). Předně je nutné si tyto základní principy a definice MCDM explicitně vymezit. Základní rámec lze nalézt v (Zeleny, 2011):

Vícekriteriální rozhodování (MCDM) lze považovat za nesprávné označení, neboť slovo vícekriteriální (multiple criteria) naznačuje, že existuje i další forma rozhodování, která není vícekriteriální. Žádná další taková forma však neexistuje, jelikož všechna lidská rozhodnutí probíhají **jen a pouze** za přítomnosti více kritérií. Vše ostatní lze označit za pouhé měření a vyhledávání.

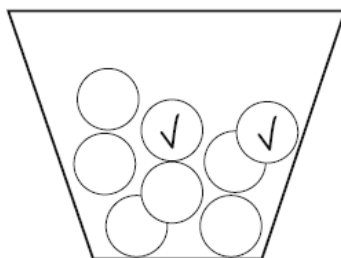
Pro demonstraci faktu, že slovo vícekriteriální není v případě rozhodování nutno uvádět a namísto, necht' poslouží následující příklady uvedené v (Zeleny, 2011):

Necht' Obr. 4 znázorňuje koš pomerančů. V případě stanovení pouze jednoho kritéria pro výběr, kterým bude váha s cílem nalézt a vybrat nejtěžší pomeranč, jakým způsobem bude probíhat řešení tohoto problému? Nejprve je nutné všechny pomeranče z daného koše zvážit. Pak již stačí nejtěžší pomeranč vyhledat a vybrat. Měření a vyhledávání je tedy nezbytným a zároveň dostačujícím postupem pro nalezení nejtěžšího pomeranče, který je na Obr. 4 označen symbolem $\sqrt{\quad}$. Tento příklad se tedy nevztahuje k rozhodování či optimalizaci, ale pouze k prostému měření a vyhledávání. Jde tedy o jednoduchý výpočetní problém, který lze stěží považovat za náročnou technickou úlohu.



Obr. 4: Koš pomerančů pro jedno kritérium výběru. Zdroj: (Zeleny, 2011)

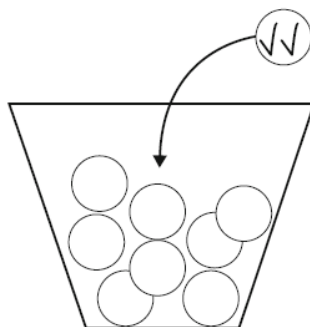
V další fázi bude posuzováno více kritérií. Nyní Obr. 5 znázorňuje opět koš pomerančů. Tentokrát je požadován výběr nejtěžšího a nejsladšího pomeranče. K nalezení těchto pomerančů (nejtěžšího ✓ a nejsladšího ✓) je použit stejný postup vážení a vyhledávání, spolu s určením sladkosti. V tomto případě je však postup měření a vyhledání nedostatečný. Kritériím odpovídají dva pomeranče. Tyto kritéria lze tedy označit za rozporná. Pro výběr jediného pomeranče je tedy nutné vykonat další úkon. Rozhodnout.



Obr. 5: Koš pomerančů pro dvě kritéria výběru. Zdroj: (Zeleny, 2011)

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že bez přítomnosti více kritérií, by proces rozhodování nenastal, neboť rozhodování lze provést až po provedení měření a vyhledávání.

Dále je však nutné podotknout, že ne všechny problémy s více kritérii, jsou problémy rozhodovacími. Obr. 6 znázorňuje opět již dobře známý koš s pomeranči. Opět je požadavkem najít nejtěžší a nejsladší pomeranč. Tentokrát však neprobíhá vyhledávání uvnitř daného koše, ale mimo tento koš, s cílem dodat nové pomeranče. Za předpokladu že zároveň nejtěžší a nejsladší pomeranč lze přidat, či provést náhradu za nějaký stávající pomeranč z koše, bude tento nejtěžší a nejsladší pomeranč $\checkmark\checkmark$ preferován všemi, kdo mají za cíl maximalizaci obou kritérií.



Obr. 6: Koš pomerančů. Dodání pomeranče. Zdroj: (Zeleny, 2011)

Rozdíl mezi Obr. 5 a Obr. 6 spočívá v existenci kompromisů (tradeoffs). V případě Obr. 6 neexistuje možnost výběru a tedy kompromis, neboť nově nalezený pomeranč dominuje nad zbytkem koše a je racionální volbou. Existence kompromisů je tedy klíčová pro definici rozhodování, kterou uvádí (Zeleny, 2011) na základě výše předložených příkladů: „*Úkolem rozhodování je zaměřit se na řízení, řešení a eliminaci konfliktních kompromisů.*“

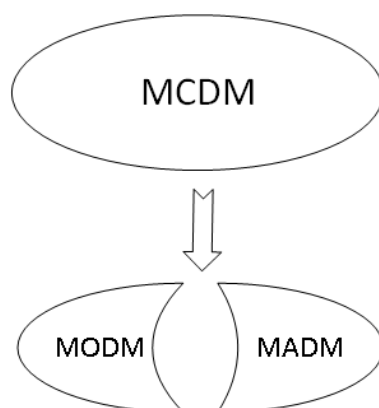
Při neexistenci kompromisů se nejedná o rozhodování. V unikriteriálních případech nelze ke kompromisu dojít. Existence konfliktních kritérií je tedy nezbytnou a postačující podmínkou pro rozhodování. Problematika MCDM se objevuje v mnoha odvětvích reálného světa a dle (Boongasame a Boonjing, 2010) se jedná o techniku pro vyhodnocení alternativ za přítomnosti několika kritérií. Toto tvrzení tedy podporuje výše uvedenou definici.

Velmi obecným shrnutím lze dle (Liu et al., 2012) charakterizovat proces MCDM v následujících čtyřech krocích: (a) vymezení problému a navržení podmínek vyhodnocení, (b) stanovení vah kritérií dle patřičné metody, (c) vyhodnocení celkové výkonnosti každé alternativy a (d) seřazení alternativ s ohledem na celkové ohodnocení a výběr té nejvhodnější varianty.

Jednotlivé kroky se však liší dle typu zvolené metody a přístupu. Několik MCDM metod, mezi které patří například AHP, Fuzzy AHP a MAUT byly v počátcích vývoje MCDM navrženy tak, aby řešily vícekritériální problémy. Tyto metody jsou však náhradou optimalizačních přístupů. Pro překonání omezení, které tyto metody mají, byl navržen koncept **outranking** metod. Ohodnocení alternativ nad každým kritériem je v outranking přístupu párově porovnáváno. Alternativa *A* předčí alternativu *B* v případě, že je alternativa *A* v některých kritériích hodnocena lépe než alternativa *B* a minimálně stejně dobře si vede ve všech dalších kritériích (Boongasame a Boonjing, 2010).

2.5 Dělení MCDM, MADM a MODM

Multiple Attribute Decision Making (MADM) je známým odvětvím rozhodování, neboť se jedná o podobor obecné třídy modelů operačního výzkumu, kde hlavní roli hraje vysoký počet rozhodovacích atributů. Cílem MADM je výběr vhodné alternativy z konečného počtu přípustných alternativ, které jsou vybírány na základě vlastností jednotlivých atributů. Tato třída modelů s uvedenými charakteristikami je často označována jako MCDM, tj. rozhodování za přítomnosti několika kritérií (Rao, 2013).



Obr. 7: Dělení MCDM. Zdroj: vlastní práce autora

V závislosti na doméně alternativ, rozdělujeme MCDM tak jak zachycuje Obr. 7, na MADM a MODM (multi-objective decision making). U metod MODM jsou hodnoty rozhodovacích proměnných stanoveny ve spojitě doméně, a to jak s nekonečným nebo vysokým počtem alternativních možností. Výstupem je výběr splňující omezení a preference stanovené DM. MADM se naopak zaměřuje na problémy v diskrétních rozhodovacích prostorech, u kterých je množina alternativ předem určena a je konečná (Rao, 2013).

Pojmy MADM a MCDM se ale velmi často používají ekvivalentně a označují stejnou třídu modelů (Triantaphyllou, 2000).

Mendoza a Martins (2006) uvádí, že hlavní rozdíl mezi MODM a MADM spočívá v počtu alternativ, které jsou brány v úvahu. Dále označují MADM metody za vhodné pro výběr diskrétních alternativ, zatímco MODM se hodí pro řešení problémů s více cílovým plánováním, kde je zároveň nekonečný počet spojitých alternativ definován množinou omezení vzhledem k vektoru rozhodovacích proměnných. Ucelený přehled a porovnání mezi MODM a MADM přístupy lze najít v Tab. 1.

Tab. 1: Porovnání MODM a MADM přístupů. Zdroj: (Mendoza a Martins, 2006)

KRITÉRIA POROVNÁNÍ	MODM	MADM
Kritéria definovány	Cíli	Atributy
Cíle definovány	Explicitně	Implicitně
Atributy definovány	Implicitně	Explicitně
Omezení definovány	Explicitně	Implicitně
Definice alternativ	Implicitní	Explicitní
Počet alternativ	Nekonečný (velký)	Konečný (malý)
Možnosti zásahu DM	Významné	Omezené
Rozhodovací modelový vzor	Procesně orientovaný	Výsledkově orientovaný
Vhodné k	Návrhu/hledání	Vyhodnocení/výběru

2.6 Rozhodovací tabulka

Pro názorné zachycení rozhodovacích problémů se využívá rozhodovací tabulka, která poskytuje utříděný a ucelený pohled na rozhodovací problém. Představuje zároveň jakýsi vstup nejen pro DM, ale i rozhodovací metody.

Rozhodovací tabulka, která je také často označována jako rozhodovací matice, je tvořena čtyřmi hlavními částmi: (a) alternativami, (b) atributy, (c) váhami nebo důležitostmi každého atributu a (d) mírou výkonnosti alternativ vzhledem k atributům. Rozhodovací tabulku znázorňuje Tab. 2, nachází se v ní alternativy A_i (*pro* $i = 1, 2, \dots, N$), dále také atributy B_j (*pro* $j = 1, 2, \dots, M$), váhy atributů w_j (*pro* $j = 1, 2, \dots, M$) a také míra výkonnosti (ohodnocení) jednotlivých alternativ m_{ij} (*pro* $i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$). Úkolem DM je nalézt dle rozhodovací tabulky a zvolené metody, nejlepší alternativu, a také danou množinu alternativ ohodnotit. Důležité je zde zmínit fakt, že všechny prvky rozhodovací tabulky musí být nejprve normalizovány a převedeny na stejné jednotky (Rao, 2013).

Sběr dat a konstrukce rozhodovací tabulky je tedy jedním z prvních kroků vícekritériálního rozhodování. Úkolem DM je následně na základě rozhodovací tabulky a vhodně zvolené rozhodovací metody dojít k závěru (rozhodnutí) o daném rozhodovacím problému.

Tab. 2: Rozhodovací tabulka. Zdroj: Převzato z (Rao, 2013)

ALTERNATIVY	ATRIBUTY					
	B ₁	B ₂	B ₃	–	–	B _M
	(w ₁)	(w ₂)	(w ₃)	(–)	(–)	(w _M)
A ₁	m ₁₁	m ₁₂	m ₁₃	–	–	m _{1M}
A ₂	m ₂₁	m ₂₂	m ₂₃	–	–	m _{2M}
A ₃	m ₃₁	m ₃₂	m ₃₃	–	–	m _{3M}
–	–	–	–	–	–	–
–	–	–	–	–	–	–
A _N	m _{N1}	m _{N2}	m _{N3}	–	–	m _{NM}

2.7 Stanovení vah kritérií

Váhové ohodnocení jednotlivých kritérií je důležitým aspektem vícekritériálního rozhodování, neboť právě tyto váhy mají vliv na celkové vyhodnocení a výběr alternativy. Doubravová (2009) rozlišuje tři následující skupiny pro určení vah na základě dostupných informací o rozhodovacím problému: (a) DM nedisponuje informacemi o vahách ani preferencích jednotlivých kritérií, (b) DM disponuje ordinálními informacemi o kritériích a (c) DM disponuje kardinálními informacemi, které kvantifikují jednotlivé rozestupy mezi kritérii.

Doubravová (2009) dále předkládá některé z možných způsobů řešení, u těchto tří výše uvedených skupin:

- (a) Váhová ohodnocení lze ekvidistantně rozložit mezi jednotlivá kritéria dle rovnice (1).

$$w_j = \frac{1}{m} \quad (1)$$

pro $j = 1, 2, \dots, m$

w_j váhy jednotlivých kritérií

m počet kritérií

- (b) Pro stanovení vah jednotlivých kritérií, při znalosti ordinálních informací, lze použít metodu pořadí, či Fullerovu metodu. U metody pořadí se nejprve seřadí jednotlivá kritéria dle preferencí. Následně se jednotlivým kritériím přiřadí počet bodů b_j dle (2). V posledním kroku dochází k samotnému výpočtu vah kritérií (3).

$$b_j = m + 1 - j \quad (2)$$

pro $j = 1, 2, \dots, m$

b_j počet bodů příslušného kritéria

m počet kritérií

$$w_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^m b_j} \quad (3)$$

w_j váhy jednotlivých kritérií

b_j bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

m počet kritérií

Fullerova metoda pracuje na principu párového porovnávání kritérií. Při jednotlivých porovnáních je kritériu, které je důležitější přidělen bod. Váhy jednotlivých kritérií jsou následně získány pomocí rovnice (4).

$$w_j = \frac{f_j}{\left(\frac{m \cdot (m - 1)}{2}\right)} \quad (4)$$

w_j váhy jednotlivých kritérií

m počet kritérií

f_j součet bodů přidělený j -tému kritériu

- (c) Při znalosti kardinálních informací lze opět použít několik metod. Bodovací metoda je jednou z nich. Principem metody je přiřazení bodového ohodnocení k jednotlivým kritériím ze zvolené stupnice. Rozsah stupnice není striktně určen, je však zvykem volit stupnici o rozsahu 1 – 10. Vyšší bodové ohodnocení kritéria značí vyšší preferenci kritéria. Příslušné váhy jednotlivých kritérií lze získat pomocí rovnice (5), která je shodná s rovnicí (3) u metody pořadí.

$$w_j = \frac{b_j}{\sum_{j=1}^m b_j} \quad (5)$$

w_j váhy jednotlivých kritérií

b_j bodové ohodnocení jednotlivých kritérií

m počet kritérií

Kromě právě představené bodovací metody se pro stanovení vah jednotlivých kritérií při znalosti kardinálních informací dále používá i metoda párového porovnání, která je označovaná jako Saatyho metoda (Doubravová, 2009). Tato metoda nese jméno podle autora, jímž je Thomas L. Saaty. Vzhledem ke skutečnosti že na této metodě párového porovnání je postavena vícekritériální rozhodovací metoda AHP, bude její princip podrobně rozebrán v části týkající se metody AHP (část 3.6).

2.8 MCDA

Za označením MCDA se skrývá *Multi-Criteria Decision Analysis*. Tedy vícekritériální rozhodovací analýza. Jedním z cílů vícekritériální analýzy je pomoci organizovat a shromáždit informace takovým způsobem, který je přesvědčivý a působí jistě. Termínem MCDA je označován soubor formálních přístupů, které hledají a pomáhají řešit jednotlivcům a skupinám vícekritériální rozhodovací problémy (Belton a Stewart, 2002).

*„MCDA přístup je velice podobný a úzce spjat s tím, jak lidé činní svá rozhodnutí, neboť se snaží brát v úvahu jednotlivá **pro** a **proti** problémové oblasti z několika hledisek.“* (Figueira et al., 2005)

V souvislosti s MCDA je nutné, jak uvádí (Belton a Steward, 2002) vyvrátit následující tři nepravdivá tvrzení, která jsou ve spojení s MCDA uváděny. Jsou jimi: (a) MCDA poskytuje správné odpovědi, (b) MCDA poskytuje objektivní analýzu, která oprostí uživatele od odpovědnosti za složitá rozhodnutí a (c) MCDA odstraňuje překážky v rozhodování.

K otázce poskytování správných odpovědí argumentují (Belton a Steward, 2002) tím, že neexistuje nic takového jako správná odpověď, ani pojem optima ve vícekritériální oblasti. Pojem optima tedy přenechává operačnímu výzkumu. MCDA má být tedy pouze pomůckou v rozhodování.

Důvodem pro použití MCDA je tedy očekávaná pomoc při vykonávání rozhodnutí (Decision Aiding, dále DA). Roy (1996) definuje DA jako aktivitu osoby, která se pomocí modelů (ne nutně kompletně formalizovaných) snaží získat odpovědi na otázky týkající se problémové domény.

Hlavním cílem MCDA by však mělo být rozšíření vědomostí a lepší pochopení problémové oblasti, včetně řešeného problému. Dále také porozumění faktorům jakými jsou postoje a priority ostatních účastníků a všech dotčených stran. Pomoci posoudit všechny tyto a další relevantní faktory a dovést účastníky k rozpoznání vhodné alternativy a dalšímu jednání (Belton a Steward, 2002).

Belton a Steward (2002) zároveň uvádějí několik vybraných bodů, které vymezují MCDA: (a) MCDA pomáhá strukturovat problém, (b) MCDA pracuje na základě konfliktních kritérií, (c) nejvíce užitečné přístupy jsou konceptuálně jednoduché a (d) proces MCDA vede k lepšímu pochopení, odůvodnění a také vysvětlení daných rozhodnutí.

2.9 Další přístupy v inteligentním rozhodování

Následující sekce obsahuje několik teoretických přístupů, které se využívají nejen v systémech pro podporu rozhodování. Tyto přístupy jsou především znalostní a modelově založené. Pozornost bude věnována následujícím přístupům: (a) Umělé neuronové sítě, (b) Evoluční výpočetní techniky, (c) Fuzzy systémy, (d) Systémy založené na případech (case-based reasoning [CBR]) a (e) Agentově-orientované systémy (Lim a Jain, 2010).

2.9.1 Umělé neuronové sítě

Lidský mozek se skládá z velkého počtu neuronů (přibližně 10^{14}), které jsou vzájemně velmi komplexně pospojovány. V průměru je každý neuron v lidském mozku spojen s dalšími deseti tisíci neurony. To vytváří komplexní síť s přibližně 10^{18} spojeními. Vzhledem k dalším faktům, které jsou s lidským myšlením spojeny, a mezi které patří např. neodmyslitelné paralelní biologické zpracování, zatímco tradiční výpočetní systémy pracují sekvenčně, vyústily snahy o napodobení fungování lidského mozku a práce neuronů, v rozvoj umělých neuronových sítí (Michalewicz, 2007).

Umělé neuronové sítě (ANN) spadají do odvětví umělé inteligence a vycházejí z výzkumů modelujících nervový systém lidského mozku. Průkopníky v této oblasti byli McCulloch a Pitts, kteří zavedli matematické modelování umělých neuronů (McCulloch a Pitts, 1943). Umělé neuronové sítě jsou dnes tvořeny množstvím paralelních výpočetních modelů, které obsahují velký počet vzájemně propojených elementů. Tyto elementy jsou označovány jako neurony, které jsou schopny přizpůsobit se předloženým vzorkům dat (Lim a Jain, 2010).

Modely ANN se dle struktury rozdělují do dvou skupin: (a) modely s dopředným šířením signálu¹ a (b) modely založené na rekurentních sítích.

První zmíněný typ je zároveň nejjednodušší a nejběžnější, neboť je u něj využíváno pouze jednosměrného toku signálu. Výstupní hodnoty jsou porovnávány s očekávanými výstupy a zároveň zde dochází k úpravě vah, dle získané chyby signálu (Ünal, 2013).

¹ Feedforward

Rekurentní sítě jak napovídá jejich název, mají rekurentní spojení mezi uzly (umělými neurony). Tím je dosaženo částečného napodobení lidského mozku, avšak ve velice jednoduché formě. Toto rekurentní spojení sebou přináší možnost realizace konceptu paměti (Michalewicz, 2007).

2.9.2 Evoluční výpočetní techniky

Evoluční výpočetní techniky se týkají výpočetních modelů, které slouží k vypořádání se s optimalizačními rozhodovacími problémy. Existuje pět obecných typů evolučních výpočetních technik, kterými jsou dle (Lim a Jain, 2010): (a) evoluční programování, (b) evoluční strategie, (c) genetické programování, (d) učící se klasifikační systémy a (e) genetické algoritmy. Vzhledem k velkému množství evolučních výpočetních technik bude zmíněna jen základní obecná charakteristika.

Dle (Bäck, 1997) sdílejí všechny základní instance evolučních algoritmů několik společných vlastností. Tyto vlastnosti jsou jakousi obecnou charakteristikou modelových evolučních algoritmů. Těmito společnými vlastnostmi jsou: (a) evoluční algoritmy využívají kolektivní učící se procesy populací složených z jedinců. Jedinec zde většinou reprezentuje jeden z hledaných bodů potenciálního řešení, (b) potomci jednotlivců jsou náhodně generovány za účelem mutace a rekombinace modelu a (c) pro vyhodnocení jednotlivců v prostředí může být jednotlivci stanovena míra kvality či fitness hodnota, sloužící ke vzájemnému porovnání jedinců.

Výše uvedené vlastnosti jsou obecné a jednotlivé techniky tyto vlastnosti kombinují a využívají rozdílným způsobem. Bäck (1997) oproti (Lim a Jain, 2010) vymezuje jen tři hlavní proudy evolučních algoritmů. Jsou jimi: (a) genetické algoritmy, (b) evoluční strategie a (c) evoluční programování.

Genetické programování, učící se klasifikační systémy a hybridní evoluční systémy dle Bäck (1997) tyto základní tři větve doplňují.

Genetické programování (Genetic programming, dále jen GP) je implementačně řešeno jako evoluční algoritmus, ve kterém vystupují spustitelné počítačové programy jako datové struktury, které podléhají adaptaci. Cílem GP je nalezení populace programů, která dle ohodnocení příslušných fitness funkcí nejlépe splňuje zadané kritérium (Kinnear, 1997).

Učící se klasifikační systémy (learning classifier systems, dále jen LCS) jsou systémy založené na pravidlech, které využívají mechanismu genetických algoritmů (Smith, 1997). Jádrem LCS je množina pravidel, která je označována jako třídící populace. Cílem této třídící populace je vytvoření modelu inteligentního DM pomocí mechanismů učení a evoluce (Urbanowicz a Moore, 2009).

Hybridní evoluční systémy jsou charakteristické tím, že rozšiřují dané evoluční metody o další problémově zaměřené heuristiky, doménové znalosti, nebo již existující algoritmy. Tato rozšíření pak mohou pozitivně přispět k celkové výkonnosti výsledného systému (Michalewicz, 1997).

2.9.3 Fuzzy systémy

Fuzzy logiku představil v šedesátých letech dvacátého století Zadeh (Zadeh, 1965). Jde o formu více stavové logiky odvozené z teorie fuzzy množin, která slouží k usuzování a tvorbě závěrů založených na jazykových proměnných. Výhodou použití je funkčnost a použitelnost při vágních a nepřesných datech či zdrojových informacích (Lim a Jain, 2010). Dlouhou dobu bylo považováno téměř za nemožné zachytit přesný popis reálných situací, které se vyskytují v běžném životě, z důvodu velké míry nepřesností. Stejně tak u rozhodovacích problémů, nejsou v mnoha situacích relevantní data a následky zvolených akcí známy, či k dispozici (Triantaphyllou, 2000). S možným řešením těchto situací a rozhodovacích problémů přišli (Bellman a Zadeh, 1970), kteří definují fuzzy množiny jako třídu objektů. Tyto objekty mezi sebou nemají ostře stanovené hranice, na jejichž základě by bylo možné určit, které objekty do dané třídy patří a které již nikoliv.

Jedním ze základních pojmů Fuzzy množin je tzv. funkce příslušnosti, která každému výskytu daného objektu přiřadí hodnotu příslušnosti s kategoriemi, podle níž je poté tento výskyt klasifikován a přiřazen. V klasickém pojetí teorie množin pracuje funkce příslušnosti pouze s hodnotami 0 a 1, v závislosti na skutečnosti, zda daný prvek do příslušné množiny patří, či nikoliv. Ve fuzzy pojetí, může funkce příslušnosti nabývat jakékoliv hodnoty z intervalu $< 0, 1 >$ a zachycuje tak odpovídající míru příslušnosti (Zadeh, 1965).

2.9.4 Case-Based Reasoning

Case-based reasoning (CBR), neboli usuzování na základě případů, je odvětvím umělé inteligence založené na psychologické teorii lidského usuzování. CBR využívá premisy, kdy lidé velmi často přistupují k řešení nových problémů porovnáváním s problémy podobnými, již řešenými v minulosti. Tento přístup může být tedy využíván u systémů pro podporu rozhodování. CBR systémy staví na velkých souborech (databázích) již vyřešených problémů v minulosti, kdy se předpokládá, že dané problémové situace se s jistou pravidelností opakují, či se jedná pouze o podobné, ne velice odlišné problémy (Lim a Jain, 2010). Proces usuzování lze shrnout do následujícího čtyř krokového cyklu dle Montani a Jain (2010): (a) **retrieve** – Vyhledání relevantních dat a případů s ohledem na řešený problém z databáze případů, (b) **reuse** – Znovupoužití úspěšných řešení s cílem nalezení řešení nového problému, (c) **revise** – Zrevidování navrženého řešení a (d) **retain** – Uložení nového případu do databáze pro další řešení.

V mnoha odvětvích se CBR systémy používají pouze k vyhledání a předložení relevantních informací s ohledem na řešený problém. Interpretace informací a stanovení závěrečného rozhodnutí je přenecháno na uživateli. Kroky **reuse** a **revise** nejsou tedy ve výše zmíněném cyklu implementovány. CBR se odlišuje od ostatních přístupů umělé inteligence, které se zabývají řešením problémů, především tím, že se nesnaží z dostupných případů generalizovat, ale uchovává a využívá získané informace z minulosti tak, jak byly získány, tedy např. v nestrukturované formě (Montani and Jain, 2010).

2.9.5 Agentově-orientované systémy

Agentově-orientované systémy jsou pokládány za distribuovanou umělou inteligenci. Agenty jsou popisovány jako: „...*propracované počítačové programy, které jednají autonomně prostřednictvím jejich uživatelů, napříč otevřenými distribuovanými prostředími, za účelem vyřešení komplexních problémů...*“ (Lim a Jain, 2010).

Pro lepší pochopení agentového přístupu lze uvést rozdíly mezi agenty a objekty, které jsou známi z objektově-orientovaného programování (OOP). Objekty jsou definovány jako výpočetní entity zapouzdřující nějaký stav a data. Dále jsou schopny vykonávat akce nebo metody nad svým stavem a komunikovat prostřednictvím systému zasílání zpráv. I když v obou definicích (agentů a objektů) lze najít jisté podobnosti,

existují také zásadní rozdíly. Prvním důležitým aspektem je míra autonomie objektů. Přestože má objekt privátní a veřejné metody a tudíž má kontrolu nad svým stavem (v případě privátních metod), nemá kontrolu nad svým chováním. Druhý odlišný znak mezi objekty a agenty spočívá v reaktivním, proaktivním a sociálním autonomním chování agentů. Dalším významným rozdílem je pojetí více vláknového řízení agentových systémů. U objektových modelů je ve většině případů využito pouze jedno řídicí vlákno (Wooldridge, 2009).

Agenty disponují několika vlastnostmi, mezi které patří například orientace na cíl, reaktivita, perzistence a další. Jedním z rysů agentově-orientovaných systémů je vzájemná komunikace mezi agenty, která je významným prvkem, a která přináší v kombinaci s inteligencí agentů značnou výhodu oproti jiným systémům (např. expertní systémy, distribuované systémy, konvenční systémy), které nedisponují komunikačními mechanismy, či neposkytují takový stupeň inteligence (Lim a Jain, 2010). Jednou z vizí multi-agentových systémů je využití agentů jako experimentálního nástroje v sociálních vědách a dosažení simulace lidské společnosti prostřednictvím jednotlivých agentů. Jakékoliv predikce o chování a budoucím vývoji společnosti jsou v současné době omezeny pouze na velmi krátké časové úseky. Tyto predikce se zároveň vyznačují vysokým počtem nepřesností a chyb. Multi-agentové systémy prostřednictvím simulací mohou pomoci odhalit některé skryté faktory a aspekty nejen sociální stránky chování skupin a jedinců, ale mohou pomoci poodkrýt i mechanismy rozhodování a přispět tak k lepšímu porozumění velké řadě, dnes nejasných, problémů (Wooldridge, 2009).

O agentově-orientovaných systémech bude podrobněji pojednáno ve čtvrté části této práce, kde budou tyto systémy, společně s agentově-orientovanými ekonomikami definovány a vymezeny.

3 Rozhodovací metody

Jak již bylo avizováno v části 2.4, vícekriteriální rozhodování a metody vícekriteriální analýzy představují jeden z možných přístupů k řešení vybraných rozhodovacích problémů v agentově-orientovaných ekonomikách (Tučník, 2014). Z tohoto důvodu je hlavní část této práce věnována právě vícekriteriálním metodám.

3.1 Důležité aspekty vícekriteriálních rozhodovacích metod

Ne všechny vyvinuté rozhodovací metody, které byly od vzniku MCDM odvětví představeny, respektují následující důležité aspekty pro jejich vývoj a správnost (Brans a Mareschal, 2005): (a) výsledek rozhodování není závislý na jednotkách jednotlivých kritérií, (b) rozhodovací metoda má být pro DM jasně srozumitelná a má být zamezeno tzv. **černým skřínkám**, (c) vhodná metoda by neměla zahrnovat technické parametry při výpočtech, které nejsou pro DM srozumitelné a nemají vliv, (d) metoda by měla předkládat informace na základě konfliktní povahy kritérií, (e) je třeba zohlednit amplitudy odchylek mezi vyhodnocením alternativ vzhledem ke každému kritériu, (f) metoda založená na párovém porovnávání by měla poskytnout informace, zda: (1) A je preferováno před B , (2) A a B jsou stejné, (3) A a B jsou neporovnatelné a (g) vhodná metoda by měla nabízet nástroje citlivostní analýzy z důvodu ověření robustnosti relativních vah, které DM poskytne, a které jsou základem rozhodovacího procesu.

3.2 Dělení rozhodování dle typu rozhodovacích problémů

Každý den čelíme řadě rozhodnutí. Jak ale uvádí (Ishizaka a Nemery, 2013), rozhodování lze rozdělit do čtyř hlavních skupin dle typů rozhodovacích problémů: (a) **problém výběru**. Cílem je výběr jediné nejlepší alternativy, nebo redukce skupiny na podmnožinu rovnocenných alternativ, (b) **třídící problém**. Alternativy jsou seříděny do uspořádaných a předdefinovaných skupin (kategorií). Cílem je přeskupení alternativ s podobnými rysy a charakteristikami pro popisné, organizační a prediktivní

účely, (c) **hodnotící problém**. Alternativy jsou seřazeny od nejlepší po nejhorší dle skóre nebo párového porovnání a (d) **popisný problém**. Smyslem je charakterizovat jednotlivé alternativy a jejich důsledky. Dále jsou tamtéž zmíněny dodatečné dva typy: (e) **eliminační problém** – jedná se o specifický typ třídícího problému, při kterém jsou definovány pouze dvě skupiny alternativ (skupina přijatých a skupina eliminovaných alternativ) a (f) **problém návrhu** – cílem je identifikace nebo tvorba nové akce, která bude vyhovovat a naplňovat kritéria DM. Výše uvedené rozdělení lze také nalézt v (Belton a Steward, 2002).

V následující tabulce (Tab. 3) je zachycen výčet známých MCDM/MCDA metod, které se používají pro řešení výše uvedených čtyř hlavních rozhodovacích typů. Výčet není dozajista úplný, reprezentuje však základní množinu známých a populárních metod (Ishizaka a Nemery, 2013).

Tab. 3: Přehled MCDA metod dle typu. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)

VÝBĚROVÉ PROBLÉMY	TŘÍDÍCÍ PROBLÉMY	HODNOTÍCÍ PROBLÉMY	POPISNÉ PROBLÉMY
AHP	AHPSort	AHP	
ANP		ANP	
MAUT/UTA	UTADIS	MAUT/UTA	
MACBETH		MACBETH	
PROMETHEE	FlowSort	PROMETHEE	GAIA, FS-Gaia
ELECTRE I	ELECTRE-Tri	ELECTRE III	
TOPSIS		TOPSIS	
Goal Programming			
DEA		DEA	

Vzhledem k výběru správné alternativy je ve většině případů nutné zohlednit více než jeden rozhodující atribut. Klíčových atributů, které musí DM zohlednit, může být značné množství a mohou pokrývat širokou škálu odvětví a aspektů. Technologické, ekonomické, etnické, politické a sociální atributy jsou příklady jen některých z nich. Z tohoto důvodu je nejprve před samotným rozhodnutím nutné jednotlivé atributy podrobit analýze, jejíž výstupy by měly respektovat záměr rozhodování. V tomto ohledu můžeme rozhodovací atributy obecně rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou

atributy, u kterých je vyšší numerická hodnota žádána a prospěšná. Tyto atributy jsou nazývány jako **prospěšné**. Druhou skupinou jsou atributy, u kterých je naopak preferována nižší numerická hodnota. Atributy tohoto druhého typu se označují jako **neprospěšné** (Rao, 2013).

3.3 Rozdělení metod dle přístupu

Rozhodovací metody je možné rozdělit do několika kategorií. Ishizaka a Nemery (2013) představují následující dělení: (a) **Full aggregation approach**. Označován také jako americká škola. Skóre se vyhodnocuje pro každé kritérium a následně dochází k agregaci na skóre celkové. Přístup předpokládá kompenzovatelná skóre, kdy jedno špatné skóre u daného kritéria lze kompenzovat dobrým skóre kritéria jiného. (b) **Outranking approach**. Francouzská škola. Špatné skóre se zde nemusí kompenzovat. Pořadí možností tedy může být částečné, neboť je zde povolena neporovnatelnost (dvě možnosti mohou mít stejná skóre, ale jejich dopad může být rozdílný). (c) **Goal, aspiration or refence level approach**. V tomto přístupu je nad každým kritériem definován cíl nebo referenční hranice a následně se identifikuje varianta, která nejlépe daný cíl či referenční hranici naplňuje.

3.4 Weighted Sum Method

Weighted Sum Method (**WSM**) je snadnou a přímou metodou, která se využívá především u jednorozměrných problémů. Za předpokladu m alternativ a n kritérií, je nejlepší varianta určena dle vzorce (6), jak uvádí Mateo (2012).

$$A_{wsm}^* = \text{Max} \sum_i^j a_{ij} w_j \quad \text{pro } i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

A_{wsm}^* skóre nejlepší alternativy

a_{ij} hodnota i -té alternativy s ohledem k j -tému kritériu

w_j váha j -tého kritéria

U jednorozměrných problémů, kde jsou všechny jednotky shodné, lze metodu WSM bez obtíží aplikovat. Komplikace nastávají v případě více dimenzionálních problémů a kombinace různých jednotek (Triantaphyllou, 2000).

3.5 Weighted Product Method

Rozdíl mezi WSM a Weighted Product Method (**WPM**) spočívá pouze v použití násobení oproti přičítání, které aplikuje WSM. Každá alternativa je porovnána s ostatními vynásobením několika koeficientů (jeden pro každé kritérium). Každý koeficient je umocněn relativními váhami příslušného kritéria. Jako příklad nechť poslouží následující vzorec (7) pro porovnání dvou alternativ A_k a A_l , který uvádí Mateo (2012), stejně jako předcházející vymezení.

$$R\left(\frac{A_k}{A_l}\right) = \prod_{j=1}^n \left(\frac{a_{kj}}{a_{lj}}\right)^{w_j} \quad (7)$$

n počet kritérií

a_{ij} hodnota i -té alternativy j -tého kritéria

w_j váhy j -tého kritéria

V případě že výsledek $R\left(\frac{A_k}{A_l}\right)$ je větší než jedna, alternativa A_k je lepší než alternativa A_l v případě maximalizace. Nejlepší alternativou je ta, která je lepší, nebo rovnocenná s alternativami ostatními (Mateo, 2012). Metoda WPM bývá někdy také označována za bezrozměrnou analýzu, neboť struktura metody eliminuje jakékoliv jednotky měření. Díky tomuto faktu lze WPM použít i u vícerozměrných problémů.

Alternativní výpočet metody WPM, který vyjadřuje celkovou, ne relativní výkonnost alternativ uvádí Triantaphyllou (2000) a je uveden v (8).

$$R(A_k) = \prod_{j=1}^n (a_{kj})^{w_j} \quad (8)$$

Mezi další výhody patří možnost použití relativních hodnot oproti skutečným. To zachycuje rovnice (9), taktéž dle Triantaphyllou (2000).

$$\frac{a_{kj}}{a_{lj}} = \frac{a_{kj} / \sum_{i=1}^n a_{ki}}{a_{lj} / \sum_{i=1}^n a_{li}} = \frac{a'_{kj}}{a'_{lj}} \quad (9)$$

a'_{kj} relativní hodnota

a_{kj} skutečná hodnota

3.6 Analytic Hierarchy Process

Metodu Analytic Hierarchy Process (**AHP**) vyvinul Thomas L. Saaty v osmdesátých letech minulého století. Metoda je užitečná zejména v případech, ve kterých nelze vytvořit odpovídající funkci užitku. V opačném případě je doporučeno využít metodu MAUT. K využití AHP je potřeba projít čtyřmi kroky, které určí ohodnocení alternativ. Stejně jako i u dalších MCDA metod, i zde je zapotřebí daný problém nejprve analyzovat, vyhodnotit problémovou oblast a daný rozhodovací problém strukturovat. Dále, na základě párového porovnání jsou stanoveny priority, označovány také jako skóre. DM zde nemusí svá rozhodnutí a jednotlivé preference nutně vyjadřovat číselně, ale může použít více přívětivější formy, která spočívá ve verbálním ohodnocení (stupnici s definicí a vysvětlením ohodnocení, zachycuje Tab. 4). Další dva kroky spočívají ve vyhodnocení konzistence² modelu a citlivostní analýze. Tyto poslední dva kroky jsou dobrovolné, avšak jsou doporučovány z důvodu ověření robustnosti výsledků (Ishizaka a Nemery, 2013). Jednotlivé kroky budou nyní blíže představeny dále v textu.

² Kontrola konzistence je běžná u většiny metod založených na párovém porovnávání (Ishizaka, 2013).

Tab. 4: Ohodnocující stupnice AHP. Zdroj: (Saaty, 2009)

SÍLA DŮLEŽITOSTI	DEFINICE	VYSVĚTLENÍ
1	Equal Importance	Dvě aktivity mají stejný vliv na cíl rozhodnutí
2	Weak	
3	Moderate importance	Lehce je upřednostněna jedna aktivita před druhou
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Silně je upřednostněna jedna aktivita před druhou
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	Aktivita je silně preferována před druhou.
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	Aktivita je preferována před druhou, nejvyšším možným způsobem

3.6.1 Struktura problému

Jedna ze základních myšlenek, na které AHP staví, zní: **rozděl a panuj** (Ishizaka a Nemery, 2013) a odráží potřebu daný problém strukturovat, neboť ve většině případů se při použití MCDA metod, jedná o problémy vysoce komplexní. Z tohoto důvodu, je vhodné tyto komplexní problémy rozložit a věnovat se řešení pouze jednoho podproblému v jednom okamžiku. Rozložení probíhá ve dvou fázích, (a) strukturace problému a (b) ohodnocení priorit během párového porovnání. Problém je strukturován do hierarchie, kde nejvyšší element (vrchol) představuje cíl rozhodnutí. Na druhé úrovni hierarchie jsou stanovena kritéria. Nejnižší úroveň odpovídá jednotlivým alternativám. U složitých rozhodovacích problémů, lze přidávat další úrovně do hierarchie. Tyto úrovně následně představují sub-kritéria. V každém případě, jsou při využití metody AHP, zapotřebí nejméně tři úrovně hierarchie.

3.6.2 Stanovení priorit

Po fázi strukturace problému a tvorbě hierarchie přichází na řadu stanovení priorit. Priority ohodnocují důležitost jednotlivých kritérií a alternativ v rozhodovacím problému. Pro použití AHP je nutné stanovit tři typy následujících priorit dle (Ishizaka a Nemery, 2013): (a) **Priority kritérií**. Důležitost každého kritéria s ohledem na cíl

rozhodování, (b) **Lokální priority alternativ.** Důležitost alternativ vzhledem ke specifickým kritériím a (c) **Globální priority alternativ.**

K ohodnocení priorit kritérií a lokálních priorit alternativ se využívá párového porovnání, místo přímého výkonnostního ohodnocení jednotlivých alternativ nebo kritérií, se kterým se lze setkat u technik americké školy a např. metody MAUT. Technika párového porovnávání je podložena v psychologii, kde se tato metoda velmi často využívá. Postoj psychologů je takový, že je přesnější a jednodušší určit preferenci mezi pouze dvěma alternativami, než celou skupinou zároveň. Výhoda přesnosti je však kompenzována nutností vyvinout větší úsilí při porovnávání, a to zejména při velkém počtu kritérií a alternativ, neboť počet nezbytných porovnání pro každou rozhodovací matici je dle (Ishizaka a Nemery, 2013), jak znázorňuje (10), roven:

$$\frac{n^2 - n}{2} = \text{počet nutných porovnaní} \quad (10)$$

n počet alternativ

n^2 celkový počet porovnaní, která jsou nutná vyplnit v matici porovnaní

Vzhledem k reciprocitě této rozhodovací matice, stačí provést pouze polovinu porovnaní. Druhá polovina je dopočítána automaticky. I přes to, že celkový počet porovnaní je snížen o n a vydělen dvěma, může být počet nezbytných porovnaní vysoký. V případě deseti alternativ je vyžadováno pětadvacet porovnaní pro každé kritérium (Ishizaka a Nemery, 2013).

3.6.3 Vyhodnocení konzistence

Dalším již nepovinným krokem, jak bylo zmíněno výše, je vyhodnocení konzistence modelu. Smyslem této fáze je ověření toho, zda si jednotlivá párová porovnaní neodporují a jsou vzájemně v souladu (Ishizaka a Nemery, 2013). Jako příklad předpokládejme, že atribut A je dvakrát důležitější, než atribut B . Atribut B je třikrát důležitější než atribut C , ale atribut A je pouze čtyřikrát důležitější než atribut C , namísto toho, aby byl důležitější šestkrát. Stejně tak pokud předpokládáme, že A je větší než B , B je větší než C , nicméně C je větší než A . Vyjádřeno jednotně: $A > B$, $B > C$, $C > A$. Oba tyto případy jsou projevem nekonzistentnosti (Kou et al., 2013).

Důvodem možných rozporů mohou být například nejasně definovaný cíl rozhodování, nedostatek informací, nejasné informace či nedostatek koncentrace (Ishizaka a Nemery, 2013). Konzistence je nepostradatelná v lidském uvažování, neboť pomáhá utřídit si představy a je nutnou, nikoliv však postačující podmínkou pro uvažování o světě vědecký způsobem, jelikož i mentálně narušený člověk dokáže myslet konzistentním způsobem o světě, který neexistuje. Pro ověření myšlenek je zapotřebí skutečných znalostí, avšak v případě neustálé konzistentnosti by nedocházelo ke změně myšlení. Nové znalosti často vyžadují vidět věci v novém světle, které popírá to, co bylo dříve považováno za správné. Velká nekonzistentnost však není žádoucí, neboť je zapotřebí měnit postoje a myšlení v malých krocích tak, aby se nové informace postupně začlenily do stávajících, již získaných znalostí. Inkonzistence tedy musí poskytnout prostor pro změny, ale zároveň působit v takové míře, aby bylo možné nové informace integrovat s těmi stávajícími. Tato inkonzistence tedy musí být přesně o jeden řád méně důležitá, než konzistence. Neboli činit 10% z celkového konzistentního měření (Saaty, 2009).

3.6.4 Citlivostní analýza

Posledním krokem rozhodovacího procesu je citlivostní analýza. Při této analýze dochází k modifikaci vstupních dat, s účelem pozorovat a stanovit vliv, který dané změny mají na výsledek rozhodování. Komplexní rozhodovací modely často trpí problémem špatné definice. Citlivostní analýza umožňuje generování různých scénářů, které mohou vyústit v dosažení rozdílných výsledků rozhodování. To by mělo vést k další diskuzi nad problémovou oblastí. V případě že citlivostní analýza nezapříčiní změnu výsledků rozhodování, lze tyto výsledky rozhodování považovat za robustní. V opačném případě jsou výsledky označeny jako citlivé (Ishizaka a Nemery, 2013).

3.6.5 Způsob výpočtu

Po získání ohodnocení jednotlivých alternativ prostřednictvím párového porovnávání jsou hodnoty rozhodovací tabulky a_{ij} relativními hodnotami alternativy A_i vzhledem ke kritériu j . Suma jednotlivých ohodnocení pro každé kritérium je rovna jedné, viz (11).

$$\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1 \quad (11)$$

a_{ij} relativní ohodnocení i -té alternativy j -tého kritéria

N počet kritérií

Rozhodovací tabulka u metody AHP je ve tvaru $M \times N$, kde M udává počet alternativ a N počet kritérií. V případě maximalizace je nejlepší alternativa u metody AHP stanovena dle (12).

$$A_{AHP} = \max_i \sum_{j=1}^N a_{ij} w_j \quad \text{pro } i = 1, 2, 3, \dots, M \quad (12)$$

a_{ij} relativní ohodnocení j -té alternativy i -tého kritéria

w_j váha j -tého kritéria

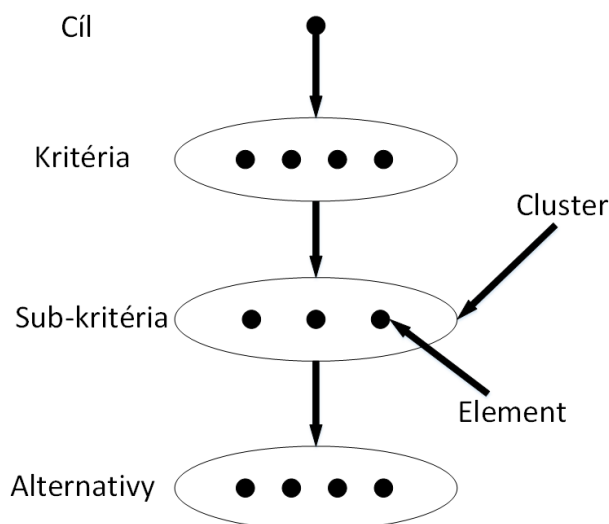
Podobnost AHP s WSM je zřejmá. Rozdíl u metody AHP spočívá v použití relativních hodnot, oproti metodě WSM, která využívá hodnoty skutečné. AHP tak může být použito pro jednorozměrné i vícerozměrné rozhodovací problémy (Triantaphyllou a Mann, 1989).

3.6.6 Shrnutí metody AHP

Metoda AHP se hodí a je cenná zejména v případech, kdy je dostupná data obtížné kvantifikovat. Dále také v situacích kde je třeba spoléhat na názory a preference experta, při zohledňování těžko uchopitelných aspektů. Metoda je však často kritizována pro neschopnost se adekvátně přizpůsobit neurčitosti a dále také nepřesnost v některých prostředích. Další výtka směřuje k subjektivnímu přiřazení škály prostřednictvím konkrétního kvantitativního čísla tak, aby nedocházelo v jisté míře ke ztrátě přesnosti. Navzdory této kritice, je AHP díky své lehkosti, se kterou se vypořádává s vícekritériálními problémy a také způsobem, kterým pracuje jak s kvalitativními, tak i kvantitativními daty oblíbenou rozhodovací metodou (Mateo, 2012).

3.7 Analytic Network Proces

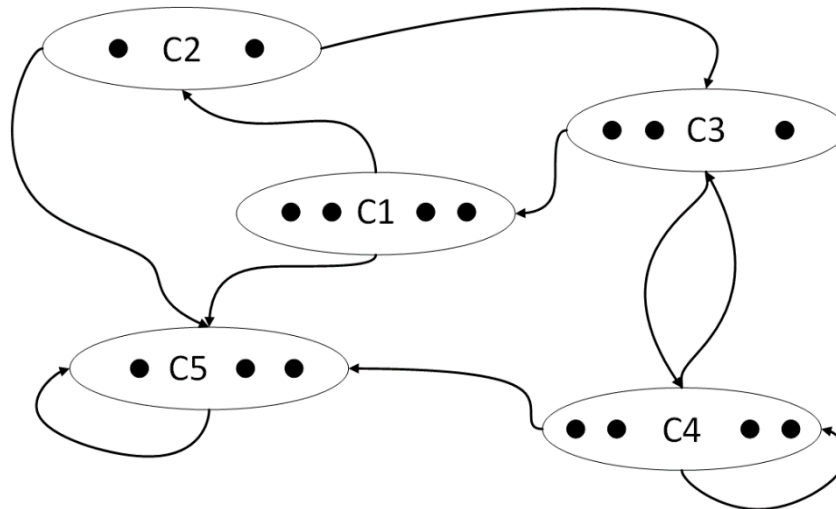
Analytic Network Proces (ANP) vychází z výše uvedeného AHP a je jeho generalizací. U AHP je předpokladem vzájemná nezávislost kritérií. V případě závislých (korelovaných) kritérií, kterými mohou být např. (a) rychlost auta a (b) výkon motoru auta, které se rozhodujeme koupit, dochází k nadhodnocení vah rozhodovacího modelu. Metoda ANP umožňuje tyto závislosti mezi kritérii (zpětné vazby) modelovat. Model tak věrněji odráží realitu a přináší přesnější výsledky. Vzhledem k tomu, že dané závislosti mohou vyvstat mezi kterýmikoliv elementy rozhodovacího problému (a) alternativami, (b) kritérii, (c) pod-kritérii a (d) cílem, model již není, jak tomu bylo v případě AHP, tak jak znázorňuje Obr. 8 lineární³.



Obr. 8: Lineární hierarchie AHP. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)

Hierarchie není u modelů ANP nutná. Jednotlivé úrovně hierarchie jsou zde nahrazeny clustery, které obsahují uzly (elementy). Clustery jsou spojeny čarou, což vyjadřuje propojení obsažených uzlů/elementů. Jedna z možných struktur ANP je zachycena na Obr. 9 (Ishizaka a Nemery, 2013).

³ Linearita spočívá u AHP v řazení jednotlivých úrovní.



Obr. 9: Struktura ANP. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)

Mimo párového porovnání jsou u metody ANP vyžadovány matice zachycující závislosti uvnitř a mezi clustery. Typy těchto možných závislostí jsou popsány dále dle Ishizaka a Nemery (2013).

3.7.1 Vnitřní závislosti v clusteru kritérií

Vnitřní závislost vyjadřuje korelaci mezi elementy stejného clusteru. Zde jde o cluster kritériální. V případě korelace mezi kritérii může docházet k nesymetričnosti či zvýhodňování určitých alternativ. AHP tyto korelace neumožňuje zachytit. Vzhledem k tomuto faktu je při výskytu a znalosti těchto závislostí vhodné použít metodu ANP.

3.7.2 Vnitřní závislosti v clusteru alternativ

I když se jedná o poměrně vzácný a často opomínaný jev, i existence závislostí v clusteru alternativ je možná. K tomuto jevu může dojít například v případě, kdy se v rozhodovacím problému vyskytují dvě velmi podobné alternativy. Tato podobnost alternativ a jejich negativní korelace, způsobuje snížení atraktivnosti těchto alternativ v porovnání s dalšími unikátními alternativami rozhodovacího problému.

3.7.3 Vnější závislosti

Vnější závislost nebo také **zpětná vazba** zachycuje korelaci mezi dvěma clustery. Příkladem může být vnější závislost mezi clusterem kritérií a clusterem alternativ. Váhy kritérií jsou v tomto případě závislé na dostupných alternativách.

3.7.4 Matice vlivu

Matice vlivu zachycuje pomocí značky jakoukoliv závislost mezi elementy sítě. V případě AHP by matice vlivu odpovídala té, kterou zachycuje Tab. 5.

Tab. 5: Matice vlivu. Zdroj: Převzato z (Ishizaka a Nemery, 2013)

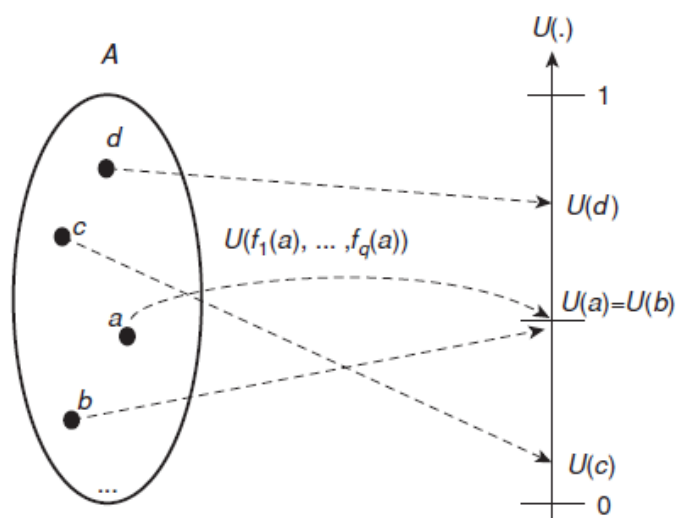
MATICE Vlivu									
			Alternativy				Kritéria		
			A1	A2	A3	A4	C1	C2	C3
		Cíl							
Alternativy	A1						x	x	x
	A2						x	x	x
	A3						x	x	x
	A4						x	x	x
Kritéria	C1		x						
	C2		x						
	C3		x						

Ohodnocení kritérií je závislé na cíli rozhodovacího problému a ohodnocení alternativ je závislé na kritériích. U metody ANP lze přidat další značky do matice, s cílem zachytit závislosti mezi různými elementy. V případě závislosti kritérií na alternativách, je cluster cíle z matice vlivu odstraněn.

3.8 Multi-attribute utility theory

Metoda Multi-Attribute Utility Theory (**MAUT**) je hojně využívána v anglosaském světě. MAUT je založena na hypotéze, kde každý kdo činí rozhodnutí, se snaží, ať už vědomě, či nevědomě, optimalizovat svoji funkci užitku U , která je odrazem preferencí a postojů. Funkce užitku není vždy na začátku rozhodování známa, a tudíž je třeba ji nejprve zkonstruovat. Tato funkce poskytuje způsob jak měřit žádanost, nebo preference jednotlivých věcí (alternativ). Těmito věcmi mohou být např. spotřebitelské statky či služby. Skóre funkce užitku určuje stupeň spokojenosti, který dané alternativy poskytují. Funkce užitku je složena z několika rozdílných kritérií, které v konečném důsledku umožňují určení celkového užitku, neboť každému kritériu přiřadí DM skóre (mezní užitek).

V druhé fázi dojde k souhrnu těchto mezních užiteků na užitek celkový. Problém neporovnatelnosti, který se vyskytuje u outranking methods, zde nevyvstává vzhledem ke skutečnosti, že funkce užitku jsou vzhledem k jejich vyjádření např. v reálných číslech, vždy porovnatelné (Ishizaka a Nemery, 2013).



Obr. 10: Množina alternativ a skóre užitku. Zdroj: Ishizaka a Nemery (2013)

Každá alternativa z množiny A , tak jak je znázorněno na Obr. 10, je vyhodnocena na základě funkce užitku U a je k ní zároveň přiřazeno i skóre užitku $U(a)$. Získané skóre užitku umožňuje seřazení jednotlivých alternativ od nejlepší po nejhorší. Kromě toho, preferenční vztah založený na ohodnocení jednotlivých užiteků alternativ v sobě skrývá i transitivitu, což znamená, že pokud alternativa A je lepší než alternativa B a alternativa B je zároveň lepší než alternativa C , lze učinit na základě velikostí jednotlivých užiteků následující závěr o alternativě A takový, že alternativa A je lepší jak alternativa C (Ishizaka a Nemery, 2013).

Funkce užitku odráží preference DM tak, že přiřazuje numerické hodnoty rozdílným úrovním užitku s ohledem na příslušná kritéria (Mateo, 2012).

Funkci užitku U lze zkonstruovat několika různými způsoby. Mezi nejznámější způsob konstrukce patří **aditivní model**.

Pro aditivní model, necht' F je množinou kritérií q , f_j ($j = 1, \dots, q$). Ohodnocení alternativ $f_j(a_i)$ je nejprve převedeno na mezní užitky označené jako U_j z důvodu zamezení problému s měřítky. Skóre mezních užiteků jsou následně agregovány váženým součtem či sečtením. Obecná aditivní funkce užitku je definována v (13) dle (Ishizaka a Nemery, 2013).

$$\forall a_i \in A: U(a_i) = U(f_1(a_i), \dots, f_q(a_i)) = \sum_{j=1}^q U_j(f_j(a_i)) \cdot w_j \quad (13)$$

kde $U_j(f_j) \geq 0$ je obvykle neklesající funkcí a w_j vyjadřuje váhy jednotlivých kritérií f_j . Váhy kritérií splňují následující omezení (14):

$$\sum_{j=1}^q w_j = 1 \quad (14)$$

w_j váha j-tého kritéria

Hlavními a důležitými prvky metody MAUT jsou funkce mezních užiteků a váhy, které určují preference DM pro každé kritérium. Funkce mezních užiteků je však zapotřebí zkonstruovat, např. s pomocí některých softwarových nástrojů. Metodu MAUT lze díky rozšířením použít i v situacích, kdy vyhodnocení jednotlivých alternativ není definováno jen za jistoty, ale i v případech nejistoty a stochastických informací (Ishizaka a Nemery, 2013).

3.9 Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation

Nezasvěcení mohou metodu Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation (**MACBETH**) po představení snadno zaměnit s AHP, neboť se jedná o další metodu párového porovnávání, které činí uživatel. Avšak rozdíl oproti AHP spočívá u metody MACBETH ve využití intervalové škály. Další rozdílností je také využití jiného výpočetního procesu (Ishizaka a Nemery, 2013). Pro získání vyhodnocení jednotlivých možností, je třeba projít třemi kroky. Jakou ostatních metod je nejprve nutné problém specifikovat a strukturovat. Následně je třeba vyplnit rozhodovací matici, prostřednictvím párového porovnání. V případě dostatečné konzistence rozhodovací matice, dochází k výpočtu a v dalším kroku je doporučeno vykonat volitelnou senzitivní analýzu.

3.9.1 Strukturování problému: Hodnotový strom

U této metody je použito strukturování problému do podoby stromu nebo hierarchie. Kriteriaální a nekriteriaální uzly jsou však od sebe navzájem odlišeny. Nekriteriaální uzly jsou v hierarchii zahrnutы jako pomocné a nemají vliv na výsledek rozhodnutí. Slouží pouze jako komentáře ke struktuře problému a nebudou vyhodnocovány. Mezi vrcholem a dolní částí stromu lze použít pouze jedno kritérium. Metoda **AHP** dovoluje jednotlivým kritériím přiřadit pod-kritéria, to u **MACBETH** není možné (Ishizaka a Nemery, 2013).

3.9.2 Výpočet skóre

Po fázi strukturování problému dochází dle (Ishizaka a Nemery, 2013) k výpočtu následujících třech typů skóre: (a) **váhy kritérií**, (b) **skóre alternativ** a (c) **celkové skóre alternativ**. Relativní váhy alternativ jsou získány párovým porovnáním. Následně dochází k výpočtu skóre alternativ párovým porovnáním alternativ vůči každému kritériu. Metoda MACBETH je založena na párovém porovnání intervalové škály, tudíž DM stanovuje pouze kvalitativní rozhodnutí o rozdílech vah dvou předložených možností. Tradiční metoda MACBETH předkládá sedm sémantických kategorií dle Tab. 6 pro vyhodnocení.

Tab. 6: Sémantické kategorie metody MACBETH. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)

KATEGORIE	ŠKÁLA
No	1
Very weak	2
Weak	3
Moderate	4
Strong	5
Very strong	6
Extreme	7

Je doporučeno nejprve před samotným párovým porovnáním jednotlivé alternativy seřadit. Přestože se nejedná o povinný krok, je navrhováno seřadit daná rozhodnutí vzestupně zprava doleva a odzdoła nahoru, tento postup je doporučován z důvodu zajištění konzistence při vyplňování rozhodovací matice. Oproti AHP vyžaduje metoda MACBETH vyšší stupeň konzistence pro výpočet skóre (Ishizaka a Nemery, 2013).

3.10 Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation

Preference Ranking Organization METHod for Enriched Evaluation (**PROMETHEE**) patří do skupiny Outranking metod. Tato skupina se odlišuje od ostatních např. tím, že výstup není tvořen agregovanou funkcí. Výstupem tedy není hodnota pro každou alternativu, ale outranking relace nad skupinou alternativ. Alternativa *A* předčí alternativu *B* v případě, kdy všechny dostupné informace týkající se řešeného problému a preference DM, vedou k závěru, že alternativa *A* je přinejmenším stejně dobrá jako alternativa *B*, a zároveň nic nenasvědčuje opaku (Belton a Steward, 2002).

V kontextu této metody se lze setkat s několika označeními, neboť se jedná o skupinu metod, odlišných dle typu řešeného problému a způsobu ohodnocení alternativ. PROMETHEE I a PROMETHEE II, které vyvinul a poprvé představil Brans (1982) se liší ve způsobu výstupu, který poskytnou DM. U PROMETHEE I se lze setkat s částečným ohodnocením alternativ⁴. Oproti tomu PROMETHEE II poskytuje jednoznačné a úplné ohodnocení alternativ. V průběhu let byly dále představeny další modifikace, mezi které patří např. PROMETHEE III pro intervalové ohodnocení a PROMETHEE IV pro spojitě problémy (Behzadian et al., 2010).

V dalším textu bude o metodě PROMETHEE pojednáno ve smyslu PROMETHEE I a PROMETHEE II, neboť se kromě částečného či úplného ohodnocení alternativ jedná o shodné metody.

Základem metody PROMETHEE jsou tři hlavní kroky: (a) výpočet preferenčních stupňů pro každý uspořádaný pár akcí pro každé kritérium, (b) výpočet unikriteriálních toků a (c) výpočet celkových toků. Na základě celkových toků je stanoveno ohodnocení akcí a dále také odvozena grafická reprezentace daného rozhodovacího problému (Ishizaka a Nemery, 2013).

⁴ Dvě a více alternativ může být označeno za shodné či neporovnatelné.

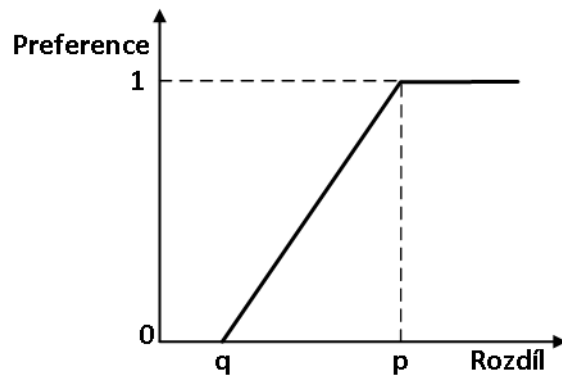
3.10.1 Unikriteriální preferenční stupně

Metoda je založena na výpočtu preferenčních stupňů. Preferenční stupeň je skóre, které se nachází v rozmezí od 0 do 1 a určuje, jakým způsobem jsou jednotlivé akce z pohledu DM mezi sebou navzájem preferovány. Preferenční stupeň roven jedné, vyjadřuje silnou pozitivní preferenci pro danou akci, která je vztažena k odpovídajícímu kritériu, naopak preferenční stupeň roven nule zachycuje skutečnost, kdy nedochází k preferování jedné akce před druhou (Ishizaka a Nemery, 2013).

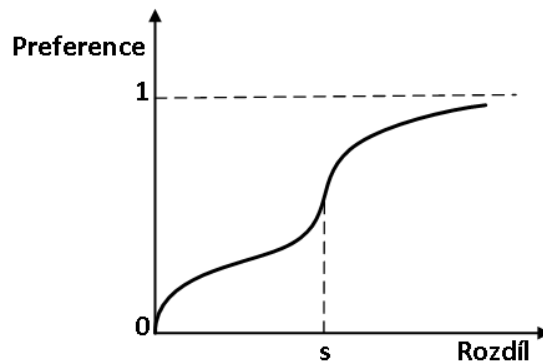
Označení preferenčních stupňů za párové vychází u metody PROMETHEE z faktu, kdy nelze na základě preference akce A nad akcí B usuzovat na preferenci akce B nad akcí A . Pro každé kritérium rozhodovacího procesu jsou tyto unikriteriální preferenční stupně získány pomocí přepočtů nebo prostřednictvím preferenčních informací (Ishizaka a Nemery, 2013).

Důležitý aspekt této metody je, jakým způsobem je vnímán rozdíl mezi jednotlivými ohodnoceními daných kritérií. Párové porovnání je založeno na zmíněném rozdílu mezi dvěma akcemi. Metoda nabízí výběr mezi dvěma typy preferenčních funkcí: (a) **lineární funkce** (Obr. 11), nebo (b) **Gaussova preferenční funkce** (Obr. 12). V případě volby lineární funkce, preference vzrůstají jako rozdílová funkce mezi ohodnoceními. V případě výběru Gaussovi funkce, je nárůst řízen exponenciální funkcí. Stanovení každé preferenční funkce vyžaduje, dle zvolené preferenční funkce, jeden nebo dva parametry. U lineární funkce je vyžadována indifferenční hranice q a preferenční hranice p . Gaussova preferenční funkce vyžaduje pouze jeden parametr, kterým je inflexní bod s .

V případě, že rozdíl mezi dvěma vyhodnoceními je menší než indifferenční hranice, nelze mezi těmito dvěma ohodnoceními určit rozdíl. Z tohoto faktu vyplývá, že preferenční stupeň je roven nule. Při vyšším rozdílu, než který je stanoven preferenční hranicí, se jedná o silnou preferenci. V takovém případě je preferenční stupeň roven jedné. Preferenční funkce tedy určuje preferenční stupně v případě, kdy se rozdíl dvou ohodnocení nachází mezi indifferenční a preferenční hranicí. Jednou z výhod metody PROMETHEE je schopnost pracovat nejen s numerickými hodnotami, ale překážkou nejsou ani hodnoty škálovatelné, stačí je pouze na numerické převést (Ishizaka a Nemery, 2013).



Obr. 11: Lineární preferenční funkce. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)



Obr. 12: Gaussova preferenční funkce. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)

3.10.2 Unikriteriální pozitivní, negativní a síťové toky

Pokud je počet alternativ velký, není vždy srozumitelné a jednoduché učinit jednoznačný závěr z tabulky preferenčních stupňů nebo grafické reprezentace. Z tohoto důvodu jsou párové preferenční stupně kritérií seskupeny do unikriteriálních pozitivních (odchozích), negativních (vstupních) a síťových toků, jejichž popis dle (Ishizaka a Nemery, 2013) následuje:

Unikriteriální pozitivní toky

Pozitivní toky jsou vyjádřeny skóre mezi nulou a jedničkou a určují to, jak je daná alternativa preferována v závislosti na preferencích DM, nad ostatními alternativami, vzhledem k příslušnému kritériu. Čím vyšší je pozitivní tok, tím více je daná alternativa preferována před ostatními. Jedná se o průměrné ohodnocení získané pomocí zprůměrování všech preferencí dané alternativy příslušného řádku, kromě preference k sobě samé.

Unikriteriální negativní toky

Negativní toky zachycují vztah a preference ostatních alternativ nad konkrétní alternativou. Opět se jedná o průměr preferenčních stupňů, tentokrát jde však analogicky o průměr sloupců, bez prvku umístěného na hlavní diagonále.

Unikriteriální síťové toky

Síťové toky reprezentují souhrnné vztahy mezi kladnými a zápornými aspekty alternativ. Síťové toky se získávají odečtením negativních toků od toků pozitivních, a tudíž se síťové skóre vždy nachází v rozmezí mezi mínus jedna až jedna.

3.10.3 Celkové toky

Pro získání celkových toků (pozitivních, negativních a síťových) je nutné vzít v úvahu všechna kritéria současně, neboť výše uvedené pozitivní, negativní a síťové toky, se vždy vztahují pouze k jednomu kritériu. Z toho důvodu je nezbytné, aby DM poskytl relativní váhy kritérií. Tyto váhy mohou být zadány několika způsoby, jako např. slovním či párovým ohodnocením. Následně, nezávisle na způsobu zadání těchto vah kritérií, jsou váhy převedeny na numerické hodnoty (váhy kritérií). To umožní agregaci všech unikriteriálních pozitivních, negativních a síťových toků, na toky celkové. Celkové toky berou v úvahu všechna kritéria současně a jsou analogická k tokům unikriteriálním, co do definice a v případě síťového toku i výpočtu. Pozitivní a negativní celkové toky jsou získány pomocí váženého součtu na základě poskytnutých vah kritérií.

3.10.4 PROMETHEE I

Jedním ze dvou možných způsobů vyhodnocení rozhodovacího problému, je způsob označovaný jako PROMETHEE I. Seřazení alternativ je založeno na pozitivních a negativních celkových tocích. U tohoto ohodnocení může dojít k následujícím čtyřem možným situacím (Ishizaka a Nemery, 2013): (a) Alternativa *A* je lepší jak alternativa *B* v případě, že celkové pozitivní a negativní toky jsou současně lepší, (b) Alternativa *A* má horší ohodnocení než alternativa *B* v případě, že oba celkové pozitivní a negativní toky jsou horší, (c) Alternativa *A* a *B* jsou neporovnatelné v případě, kdy jedna z alternativ má lepší pozitivní skóre, ale horší negativní skóre, případně naopak (horší pozitivní, ale lepší negativní) a (d) Dvě alternativy jsou rovnocenné v případě, kdy mají shodné pozitivní i negativní celkové toky.

3.10.5 PROMETHEE II

Toto ohodnocení je založeno pouze na celkových síťových tocích. To má za následek kompletní ohodnocení alternativ, kde oproti způsobu PROMETHEE I neexistuje situace, kdy by dvě alternativy byly neporovnatelné (Ishizaka a Nemery, 2013).

3.11 Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution

Metodu Technique of Order Preference Similarity to the Ideal Solution (**TOPSIS**) dle (Rao, 2013) vyvinuli Hwang a Yoon a vyznačuje se tím, že vyžaduje pouze minimální počet vstupů od uživatele a dále také tím, že výstupy jsou velice srozumitelné. Jedinými subjektivními parametry jsou váhy kritérií. Metoda TOPSIS je postavena na myšlence, která říká, že ideální řešení je takové, které má nejkratší vzdálenost od ideálního řešení a je zároveň nejdále od řešení, které je negativní (Ishizaka a Nemery, 2013).

Metoda je založena na pěti výpočetních krocích: (a) získání výkonového ohodnocení alternativ na různých kritériích, (b) normalizace ohodnocení, (c) normalizovaná skóre jsou posouzena, (d) je vypočítána vzdálenost od ideálního a negativního řešení a (e) ideální řešení vybráno na základě poměrů vypočítaných vzdáleností (Ishizaka a Nemery, 2013).

Popis jednotlivých výpočetních kroků, které uvádí Ishizaka a Nemery (2013), následuje:

(a) Výkonová ohodnocení n alternativ a , s ohledem na m kritérií i , tvoří rozhodovací matici $X = (x_{ia})$, kde $i = 1, \dots, m$; $a = 1, \dots, n$. K normalizaci, která je potřebná vzhledem k porovnání rozdílných jednotek kritérií, lze použít několik normalizačních metod:

1. **Distributivní normalizace** – výkonová ohodnocení jsou vydělena druhou odmocninou ze součtu druhých mocnin prvků ve sloupci (15).

$$r_{ia} = \frac{x_{ia}}{\sqrt{\sum_{a=1}^n x_i^2}} \quad \text{pro } a = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (15)$$

- r_{ia} normalizované hodnoty
- x_{ia} výkonová ohodnocení alternativ vzhledem ke kritériím
- x_i^2 druhé mocniny prvků ve sloupci

2. **Ideální normalizace** – každé výkonnostní ohodnocení je vyděleno nejvyšší hodnotou v každém sloupci, pokud jde o maximalizaci kritéria (16). V opačném případě minimalizace (17) jsou výkonnostní ohodnocení vydělena nejnižší hodnotou v daném sloupci.

$$r_{ai} = \frac{x_{ai}}{u_a^+} \quad \text{pro } a = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (16)$$

$$u_a^+ \quad \max (x_{ai}) \text{ pro všechna } a = 1, \dots, n$$

$$r_{ai} = \frac{x_{ai}}{u_a^-} \quad \text{pro } a = 1, \dots, n; i = 1, \dots, m \quad (17)$$

$$u_a^- \quad \min (x_{ai}) \text{ pro všechna } a = 1, \dots, n$$

(b) V dalším kroku je vynásobením normalizovaných skóre r_{ai} odpovídajícími vahami w_i (18) vypočítána vážená normalizovaná rozhodovací matice.

$$v_{ai} = w_i \cdot r_{ai} \quad (18)$$

- w_i váhy příslušných kritérií
- v_{ai} prvky vážené normalizované rozhodovací matice

Vážená normalizovaná skóre slouží k porovnání a určení ideálních a negativních řešení jednotlivých kritérií.

(c) Existují tři způsoby, kterými lze získat ideální a negativní řešení:

1. Výběrem nejlepšího a nejhoršího ohodnocení jednotlivých kritérií z normalizované vážené matice.

Pro ideální řešení (19):

$$A^+ = (v_1^+, \dots, v_m^+) \quad (19)$$

Pro negativní řešení (20):

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_m^-) \quad (20)$$

v_i^+ $\max_a(v_{ai})$ v případě maximalizace kritéria i

v_i^- $\min_a(v_{ai})$ pokud má být kritérium i minimalizováno

2. Předpokladem absolutního ideálního (21) a negativního (22) bodu, bez ohledu na dané výkonnosti rozhodovacího problému.

$$A^+ = (1, \dots, 1) \quad (21)$$

$$A^- = (0, \dots, 0) \quad (22)$$

3. Definováním ideálního a negativního bodu DM. Body však musí být mezi ideálními a negativními body předchozích dvou metod. Tato poslední metoda se používá spíše zřídka, jelikož vyžaduje informace a zásah uživatele.

(d) Dále jsou vypočítány vzdálenosti k ideálním (23) a negativním (24) řešením:

$$d_a^+ = \sqrt{\sum_i (v_i^+ - v_{ai})^2} \quad \text{pro } a = 1, \dots, m \quad (23)$$

d_a^+ vzdálenosti alternativ k ideálním řešením

$$d_a^- = \sqrt{\sum_i (v_i^- - v_{ai})^2} \quad \text{pro } a = 1, \dots, m \quad (24)$$

d_a^- vzdálenosti alternativ k negativním řešením

(e) V posledním kroku je vypočten relativní koeficient těsnosti C_a pro každou alternativu (25):

$$C_a = \frac{d_a^-}{d_a^+ + d_a^-} \quad (25)$$

C_a relativní koeficient těsnosti

Relativní koeficient těsnosti se vždy nachází v intervalu $< 0, 1 >$, přičemž koeficient těsnosti rovný jedné ($C_a = 1$), určuje preferovanou akci. V případě, že je alternativa blíže k ideálnímu, než k negativnímu řešení, blíží se relativní koeficient těsnosti C_a k jedné. V opačném případě, kdy je alternativa blíže k negativnímu řešení, koeficient C_a se přibližuje k nule. Alternativa s nejvyšším indexem C_a je tedy vybrána jako nejlepší.

3.12 Víse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje

Metoda Víse Kriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (**VIKOR**) je dalším zástupcem metod, které hledají nejlepší řešení na množině alternativ dle vzdálenosti od ideálního řešení (Mela et al., 2012). Tato metoda byla vyvinuta pro vícekriteriální optimalizaci v komplexních systémech a zaměřuje se na ohodnocení a výběr za přítomnosti konfliktních kritérií. Každá alternativa je ohodnocena dle vícekriteriální funkce a výsledné kompromisní řešení je získáno na základě blízkosti k ideální alternativě. Ohodnocení je získáno pomocí pěti následujících kroků dle (Chang, 2010).

(a) Alternativy jsou označeny jako x_1, x_2, \dots, x_m . Pro alternativu x_j , je hodnota i -tého aspektu stanovena dle f_{ij} , kde f_{ij} je hodnota i -tého kritéria funkce pro alternativu x_j , m udává počet alternativ a n vyjadřuje počet kritérií.

(b) Stanovení maxima f_i^* (26) a minima f_i^- (27) z hodnot všech kritériálních funkcí, $i = 1, \dots, n$

$$f_i^* = j \max f_{ij} = \max[(f_{ij}) | j = 1, 2, \dots, m] \quad (26)$$

$$f_i^- = j \min f_{ij} = \min[(f_{ij}) | j = 1, 2, \dots, m] \quad (27)$$

(c) Výpočet hodnot S_j (28) a R_j (29) pro $j = 1, \dots, m$.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) \quad (28)$$

$$R_j = i \max[w_i (f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-) | i = 1, 2, \dots, n] \quad (29)$$

S_j míra užitku příslušné alternativy x_j

R_j míra lítosti (regret measure) příslušné alternativy x_j

w_i váhy i -tého kritéria

(d) Výpočet hodnot Q_j (30) (pro $j = 1, \dots, m$), S^* (31), S^- (32), R^* (32) a R^- (34):

$$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + \frac{(1 - v)(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (30)$$

$$S^* = j \min S_j = \min[(S_j) | j = 1, 2, \dots, m] \quad (31)$$

$$S^- = j \max S_j = \max[(S_j) | j = 1, 2, \dots, m] \quad (32)$$

$$R^* = j \min R_j = \min[(R_j) | j = 1, 2, \dots, m] \quad (33)$$

$$R^- = j \max R_j = \max[(R_j) | j = 1, 2, \dots, m] \quad (34)$$

Q_j výkonnostní ohodnocení alternativ

v váhy strategie s maximálním skupinovým užitekem

$1 - v$ váhy individuální lítosti (regret measure)

(e) Seřazení alternativ dle Q_j . Nižší hodnota Q_j představuje lepší alternativu (Chang, 2010).

Chang (2010) v prvním kroku výše uvedeného postupu již předpokládá normalizované hodnoty (f_{ij}) rozhodovací matice. Yazdani a Payam (2014) však, stejně jako Tong et al. (2007) normalizaci hodnot v prvním kroku uvádí. Zmiňují ale normalizaci vektorovou, která je shodná s distributivní normalizací u metody TOPSIS. To je však v rozporu s Opricovic a Tzeng (2004), kteří se opírají o normalizaci lineární (35), která dle jejich důkazu eliminuje vliv jednotek kritérií a je součástí výpočtu, ve výše uvedeném prvním kroku postupu.

$$d_{ij}(f) = \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (35)$$

3.13 Porovnání MCDM metod

Otázkou kterou si mnozí vědci kladou a na kterou se mnozí snaží odpovědět vývojem nových metod, či modifikací stávajících je: Která z MCDM metod je tou nejlepší pro řešený problém? Pro výběr nejlepší metody je však nutné nejprve nejlepší metodu použít. Jinými slovy, jakou rozhodovací metodu je třeba použít pro výběr nejlepší rozhodovací metody. Tímto je dosaženo rozhodovacího paradoxu (Triantaphyllou, 2000).

I přes to že by jednotlivé metody měly pro daný rozhodovací problém poskytovat stejné výsledky, nemusí tomu tak být, neboť jednotlivé metody mají rozdílný způsob výpočtu a odlišně přistupují k ohodnocení kritérií.

Skutečná nejlepší alternativa je nezávislá vzhledem k použité rozhodovací metodě. Otázka, která zde vyvstává, je: Jak vyhodnotit vícerozměrné rozhodovací metody, pokud skutečná nejlepší alternativa není známa? K tomu účelu předkládá (Triantaphyllou a Mann, 1989) dvě následující kritéria. První kritérium je založeno na myšlence, že pokud je metoda přesná u vícerozměrných problémů, měla by být přesná i u problémů jednorozměrných. Druhé kritérium předpokládá, že vhodná metoda při výměně jedné z alternativ, která není nejlepší, za alternativu která není opět nejlepší, nezmění výběr vhodné alternativy vzhledem k použité metodě. Dále se u druhého kritéria předpokládá zachování vah jednotlivých rozhodovacích kritérií.

Triantaphyllou (2000) předkládá porovnání metod WPM, AHP a revidovaného AHP v kontrastu výše zmíněných dvou kritérií. Pro toto porovnání byly použity samotné metody. Výsledky se liší dle zvolené metody a demonstrují výše zmíněný fakt rozhodovacího paradoxu. *„Je nemožné přesně určit nejlepší MCDM metodu. Jelikož je k tomu zapotřebí nejlepší MCDM metodu použít.“* (Triantaphyllou, 2000).

S ohledem na rozhodovací paradox a nemožnost označení té nejlepší vícekritériální rozhodovací metody, budou nyní shrnuty vlastnosti jednotlivých přístupů a metod.

3.13.1 Rank reversal efekt

Jedním ze známých efektů, který je přítomen u několika vícekritériálních metod, které využívají agregaci je **rank reversal efekt**. Tyto metody mají problém s porušením předpokladu nezávislosti k třetí alternativě. Relativní ohodnocení dvou alternativ může být ovlivněno přítomností třetí alternativy (Roland et al., 2012).

Jinými slovy by nemělo docházet ke změně pořadí ohodnocených alternativ, pokud byla do rozhodovacího problému vložena nová horší alternativa.

3.13.2 AHP a párového porovnávání

Jednou z hlavních nevýhod metod, které jsou založeny na párovém porovnávání, je vysoký počet ohodnocení pro každé kritérium, které musí DM poskytnout. Formálně vyjádřeno lze k počtu ohodnocení dospět dle (36), jak uvádí (Belton a Steward, 2002).

$$\text{počet ohodnocení} = \frac{n(n-1)}{2} \quad (36)$$

n počet alternativ

Jednou z mnoha kritik metody AHP je i vliv výše zmíněného rank reversal efektu. Jak uvádí (Pérez et al., 2006) nejenom že může být výsledné ohodnocení AHP ovlivněno přidáním další alternativy, ale ke stejnému efektu může dojít i v případě přidání dalšího indiferentního kritéria. K tomuto efektu však nedochází u tří úrovně hierarchie, ale jak demonstruje (Peréz et al., 2006) až u čtyř úrovně hierarchie.

Mezi další kritiky metody AHP se řadí i Holder (1990), který vedle rank reversal efektu přidává i kritiku směřující k hodnotící škále.

Párové porovnávání však může být silným nástrojem v případech, kdy je pro DM složité stanovit přímé ohodnocení (Belton a Steward, 2002).

3.13.3 TOPSIS a VIKOR

Metoda TOPSIS je cílem kritiky, neboť předkládá v některých případech nelogické výsledky. Opricovic a Tzeng (2004) dokládají tyto nelogické výstupy na příkladu, ve kterém v případě použití vektorové normalizace u metody TOPSIS, došlo k výběru alternativy jako nejlepší i přes to, že nebyla nejbližší ideálnímu řešení.

Opricovic a Tzeng v jejich práci dále porovnávají metodu TOPSIS s metodou VIKOR. Metoda VIKOR stanovuje hodnotící index pro blízkost k ideálnímu řešení rozdílným způsobem, než jak je tomu u metody TOPSIS, která pracuje a přidává k výpočtu navíc i negativní řešení. Rozdíl mezi těmito metodami spočívá také ve způsobu použité normalizace. U metody VIKOR je používána lineární normalizace a normalizované hodnoty nejsou závislé na vyhodnocujících hodnotách kritérií. Metoda TOPSIS používá v případě volby distributivní normalizace, normalizaci vektorovou. S tím se pojí i možnost závislosti normalizovaných hodnot na vyhodnocujících jednotkách. Lineární normalizace byla do metody TOPSIS implementována až dodatečně (ideální normalizace). Metoda TOPSIS dále při agregaci a tvorbě hodnotícího indexu nebere v úvahu jednotlivé vzdálenosti od referenčních bodů, ale pouze je jednoduchým způsobem sčítá, bez zahrnutí jejich relativních vah do výpočtu. Ohodnocující VIKOR

index tyto váhy používá a je tvořen agregováním všech kritérií, relativními vahami kritérií a vyvážením mezi totální a individuální satisfakcí (Opricovic a Tzeng, 2004).

Jedním z implicitních předpokladů původní metody TOPSIS je nezávislost atributů pro seřazení alternativ. Tato vzájemná nezávislost se však u reálných problémů vyskytuje poměrně zřídka. Většina vědeckých prací skutečnost možné závislosti a vzájemné korelace mezi jednotlivými atributy nijak zřetelně nebere v úvahu. Na tento fakt poukazuje (Vega et al., 2014), který zároveň dokládá vliv závislostí na získané výsledky a předkládá řešení prostřednictvím navržené metody TOPSIS-M, která místo Euklidovské vzdálenosti, používá vzdálenost Mahalanobisovu.

3.13.4 Outranking metody a MAUT

Metody ze skupiny outranking se liší od funkčně založených metod tím, že nemají žádnou základní agregující funkci. Dalším rozdílem je výstup, který poskytují. Outranking relace se vztahují ke skupině alternativ, zatímco výsledkem MAUT jsou konkrétní hodnoty pro každou z alternativ. Jedním z důvodů, který vedl k vývoji outranking metod, byla kritika MAUT spočívající v nutnosti porovnání všech alternativ. Outranking metody nevyžadují přesné a striktní vstupní údaje, ale jsou schopny pracovat například i se škálovým ohodnocením. Jako jedna z možných nevýhod se může jevit složitost, kterou se outranking metody oproti MAUT vyznačují, neboť různé preferenční, indifferenční hranice, či koncept veta jednoduchosti nepřidávají. Na druhé straně, metoda MAUT staví na silných teoretických základech a poskytuje kvalitní a robustní modely, které jsou však náročnější na tvorbu a vyžadují úsilí (Belton a Steward, 2002).

3.13.5 Výběr vhodné metody

Vzhledem k existenci rozhodovacího paradoxu nelze vybrat jednu z vícekriteriálních metod a označit ji za nejlepší. Z předcházejícího textu vyplývá, že volba vhodné metody pro aplikaci vícekriteriálního rozhodování musí zohlednit všechny relevantní aspekty a charakter rozhodovacího problému. Zde je tedy na konkrétním DM, aby problémovou doménu správně posoudil a vyhodnotil.

V další části (kapitola 4) bude problémová doména popsána a následně (kapitola 5) bude na základě této domény množina rozhodovacích vícekriteriálních metod zúžena a podrobena porovnání s ohledem na potřeby dané problémové oblasti.

4 Agentově-orientované výpočetní ekonomiky

Decentralizované trhy jednotlivých ekonomik jsou poměrně komplexními systémy, které se skládají z velkého počtu adaptivních agentů. Tyto agenty spolu lokálně komunikují a svým chováním tak dávají vzniknout některým makroekonomickým zákonitostem a omezením. Tyto nově vzniklé aspekty posléze zpětně ovlivňují lokální chování jednotlivých agentů. Výsledkem je tedy vcelku složitý dynamický systém rekurentních závislostí, který je ovlivněn nejen chováním jednotlivých agentů, ale především jejich vzájemnou interakcí a také celkovou sociální spokojeností a bohatstvím (Tesfatsion, 2002).

Před samotným detailnějším popisem agentově-orientovaných ekonomik je opět nejprve nutné vymezit některé základní a obecné pojmy pojící se s tímto tématem.

4.1 Umělé agenty a definice agenta

Rozvoj biotechnologií a ICT sebou přináší řadu nových možností při konstrukci agentů, od nanotechnologií, přes softwarové agenty až k imitaci lidských či jiných živých bytostí (bionika). S rozvojem všech těchto druhů agentů se úzce pojí otázka autonomie. Robot či agent se obvykle chová autonomně a učí se do takové míry, která je mu dovolena a kterou si programátor přeje. Pojmy jako autonomie, učení a rozhodování jsou lidskou doménou. V současné době nenajdeme v oboru robotiky nic, co by se v aspektech rozhodování dalo porovnat se schopnostmi člověka. Jak však ukazuje historie umělé inteligence za posledních třicet let, pravděpodobně k žádné zásadní změně nedojde, pokud bude nadále aplikován přístup programování shora dolů. Naopak přístup zdola nahoru, se zdá být tím správným směrem a může poskytnout nové užitečné poznatky a praktické aplikace. Hlavní otázkou, kterou sebou tento přístup zdola nahoru nese, je problematika přiřazení významu přesvědčením, touhám a potřebám agentů (Capurro, 2012), tj. práce se sémantikou, která propojuje vnitřní mechanismy agenta s jeho úkolovým prostředím.

Pro úspěšnou argumentaci o tom, zda je agentově-orientovaný přístup vhodný, je nejprve nutné vymezit základní pojmy. Přesná **definice agenta** je stále předmětem debat. Z tohoto důvodu bude použito širší vymezení, které se stále častěji objevuje

a je považováno za užitečné (Jennings, 2000): „Agent je zapouzdřený počítačový systém, situovaný v prostředí, který je schopný v daném prostředí flexibilních a autonomních akcí vzhledem k plnění navržených cílů.“

Wooldridge (2009) předkládá téměř shodnou definici agenta: „Agent je počítačový systém situovaný v prostředí, schopný autonomních akcí s cílem naplnit delegované cíle.“

Russell a Norvig (2010) považují za agenta vše, co vnímá prostředí skrze své senzory a v daném prostředí jedná pomocí aktuátorů. Vymezení vysvětlují na lidském agentu, kde smyslové a ostatní orgány reprezentují senzory, zatímco končetiny, ústa a další části těla představují aktuátory. U robotických agentů tyto senzory a aktuátory zprostředkovávají kamery, spolu s různými typy motorů zajišťující pohyb a jednání. Mezi další společné a doplňující charakteristiky agenta, tak jak je uvedeno v (Jennings, 2000) patří:

(a) Jednoznačně identifikovatelná entita řešící problém s jasně definovanými hranicemi a rozhraním. (b) Situovanost v konkrétním prostředí (agent je jeho součástí). Získává vstupy týkající se prostředí pomocí senzorů a jedná prostřednictvím aktuátorů. (c) Navržen k plnění specifického úkolu/úkolů – má stanoveny konkrétní cíle k dosažení. (d) Autonomní – má kontrolu nad vnitřním stavem i vlastním chováním. (e) Schopný flexibilně řešit problémy s cílem naplnit stanovené úkoly.

Russell a Norvig (2010) se zabývají také otázkou racionality agenta. Jejich definice racionálního agenta, která říká že „racionální agent je takový, který dělá správnou věc“, sebou však nese otázku, jakým způsobem o tom, zda chování je správné či nikoliv rozhodnout? Zde se Russell a Norvig dotýkají již zmíněného uvažování z části 2.2, které aplikoval Hérodotos, tím, když vymezují, že nelze vinit agenta z neúspěchu, pokud příčinu, která tento neúspěch způsobila, nemohl skrze své senzory zachytit, či pomocí svých aktuátorů ovlivnit. Racionalita agenta tedy dle Russell a Norvig (2010) závisí na:

(a) způsobu ohodnocení výkonnosti v modelu, (b) všem co agent doposud zachytil (perceptuální sekvence), (c) znalostech agenta o daném prostředí a (d) akcích, které je agent schopen vykonat a které jsou dostupné.

Z právě uvedeného Russell a Norvig (2010) definují ideálního racionálního agenta následovně: „Pro každou perceptuální sekvenci se ideální racionální agent snaží udělat vše pro to, aby maximalizoval výkonnostní ohodnocení, v závislosti na perceptuální sekvenci a znalostech, kterými agent disponuje.“

Dalším aspektem, který souvisí již s multi-agentovými systémy, ale který se však znatelně dotýká každého jednotlivého agenta, je vzájemná komunikace mezi agenty. Při přijetí agentově-orientovaného přístupu se stává zřejmé, že vzájemná interakce několika agentů hraje klíčovou roli (Wooldridge, 2009). Tato interakce agentů se neobejde bez komunikačních nástrojů a prostředků.

Pro spolupráci agentů je nutné sdílení koordinačních strategií a nastavení společného komunikačního rámce, vzhledem k potřebě tyto společné akce regulovat. K tomuto je zapotřebí sdílení znalostí mezi agenty a také jejich spolupráce (Aart, 2005). Jedním ze způsobů komunikace mezi agenty je využití jazyka ke spojení a sdílení informací. Jazyk je typicky tvořen řadou symbolů, kde jednotlivé symboly reprezentují rozpoznané objekty v prostředí, a dále také jejich vlastnosti a akce. S ohledem na maximalizaci zisku a získaných odměn z prostředí, se agenty snaží na základě různých možností dostupných akcí, velikosti odměn předpovídat. Jazyk je důležitým prostředkem, který pomáhá agentům učit se a předvídat chování prostředí na základě informací od ostatních agentů (Hibbard, 2011).

4.2 ACE

Agentově-orientované výpočetní ekonomiky (ACE) se zabývají studiem výpočetních ekonomik, které jsou modelovány jako vyvíjející se systémy autonomních a spolupracujících agentů. Smyslem výzkumů zabývajících se agentově-orientovanými ekonomikami, je studium vývoje decentralizovaných tržních ekonomik, při zachování kontrolovatelných pokusných podmínek (Tesfatsion, 2002). Nutno však podotknout, že ACE modelováním nelze plně nahradit experimentální výzkum s lidskými subjekty (Tubaro, 2009). Za výzkumem se skrývají dva základní důvody. První důvod je popisný. Zaměřuje se na vysvětlení globálního chování, které neustále emerguje. Přístup se snaží odpovědět např. na otázky: (a) Jak je možné, že došlo k vyvinutí a udržení globálních zákonitostí navzdory chybějícímu plánování a kontrole shora-dolů? (b) Jak konkrétně došlo k vytvoření těchto zákonitostí zdola nahoru, prostřednictvím opakované lokální interakce vzájemně autonomních ovlivňujících se agentů? Dále (c) proč právě tyto zákonitosti a ne jiné? Druhým důvodem zkoumání ACE jsou normativní otázky zaměřující se na mechanismus návrhu a tvorby. Vystihující otázkou může být např.:

Co vyplývá z chování entity, která je buď reálně vybrána a existuje, nebo je pouze hypotetická, vzhledem k výkonu ekonomiky jako celku (Tsfatsion, 2002)?

Obecně řečeno, cílem ACE je objasnit agregované zákonitosti (emergující vlastnosti) ekonomických systémů, které vznikají prostřednictvím opakovaných akcí mezi autonomními, heterogenními agenty. V porovnání s ostatními ekonomickými přístupy a směry, které zkoumají ekonomii a tržní chování, se ACE zaměřuje také na interagentové a sociální interakce z pohledu dynamické perspektivy. Vzhledem k povaze zkoumaného problému a doménové oblasti, mohou být jednotlivými agenty (případně je utvářet) např. domácnosti, firmy či organizace. Základní myšlenka emergence poukazuje na fakt, kdy celek (v tomto případě ekonomika) nelze chápat pouze jako sumu částí (Tubaro, 2009). Tento předpoklad je také zároveň jedním z východisek systémového myšlení. Samotná charakteristika a definice systému je ve své obecné podobě dle (Bureš, 2011) následující: „*Systém je komplex prvků spolu se vztahy mezi nimi a mezi jejich atributy.*“ Samotné individuální chování agentů (spotřebitelů, ekonomických subjektů, atd.) nepostačuje k předpovědi globálních následků. Je tedy nutné porozumět, jakým způsobem se jednotlivé agenty mezi sebou navzájem ovlivňují, z důvodu analýzy a pochopení závislostí mezi mikro a makro úrovněmi. Dále je také nutné uvědomit si, že výsledky na makroúrovni mohou vyvolávat změny chování jednotlivců prostřednictvím obousměrné zpětné vazby (Tubaro, 2009).

Chování agentů a jejich interakce se většinou odvíjí od jejich předchozích zkušeností. V případě, kdy nastavení a atributy dvou agentů jsou na začátku simulace shodné, může postupně dojít důsledkem různých rozhodnutí k rozdílnému vývoji a odlišení těchto na počátku shodných agentů. Chování tedy závisí na zvolené cestě, což je jedním z faktorů, který přispívá k různorodosti agentů (Tubaro, 2009).

Stejně jako u laboratorních či jiných vědeckých experimentů, začíná tvůrce ACE modelu konstrukcí ekonomiky s počátečním stavem a populací agentů. Tyto agenty mohou reprezentovat jak ekonomické agenty (obchodníky, finanční instituce a další), tak i ostatní různorodé sociální a environmentální jevy (vláda, počasí, půda a mnohé další). Tvůrce modelu stanovuje počáteční atributy těchto agentů. Těmito atributy mohou být charakteristické vlastnosti agentů, interní normy chování, interní způsoby chování zahrnující např. komunikaci a učení, dále informace o samotných i dalších agentech. Tímto dochází zároveň k počátečnímu vymezení ekonomiky, neboť danou ekonomiku tvoří právě zmíněné a nakonfigurované agenty. Postupem času dochází

k vývoji dané ekonomiky (ekonomického modelu), bez dalšího externího zásahu od tvůrce modelu. Podmínka nezasahování do běhu modelu je důležitým aspektem, neboť všechny události, které v modelu nastanou, musí být výsledkem vzájemné předchozí interakce mezi agenty. Využití jakýchkoli externích koordinačních nástrojů a zásahů do modelu není dovoleno (Tesfatsion, 2002).

Každý agent v ACE modelu představuje zapouzdřenou část softwaru, která obsahuje data společně s metodami chování operujícími nad těmito daty. Některá data a metody jsou označeny za veřejně přístupné pro ostatní agenty, některá data a metody pouze za privátní a nejsou tak přístupná žádným dalším agentům. Posledním možným způsobem označení jsou data chráněná. Tato data nejsou přístupná všem agentům, ale jen určité množině. Komunikace mezi agenty zde probíhá na základě veřejných a chráněných metod (Tesfatsion, 2006).

Vedle ACE existuje ještě i další směr zabývající se umělým životem (ALife). Obě skupiny vědců se snaží přijít na to a demonstrovat, jakým způsobem dochází ke vzniku samoregulačních a dalších funkčních mechanismů, prostřednictvím opakovaných interakcí mezi jednotlivými agenty. K objevení těchto zákonitostí používají obě skupiny výpočetní modely a nástroje. Skupina ALife však definuje své modely velice explicitně a označuje je za syntézu skutečného života v počítačích a dalších elektronických zařízeních a strojích. ACE modely byly donedávna chápány především jako reprezentace existujících ekonomických procesů. Dnešní vývoj na poli výpočetních technologií však přináší výkon, který umožňuje automatizovat elektronické obchodování, realizovat vývoj různých botů od nákupu zboží po simulaci chování lidského agenta. Postoj v chápání ACE modelů se částečně začíná blížit tomu, který adoptuje ALife, tedy tvorbě autonomních umělých ekonomických systémů (Tesfatsion, 2002).

4.2.1 Ověření a validace ACE modelů

Tak jako u ostatních přístupů modelování, i zde vyvstávají některé otázky týkající se správnosti a platnosti dosažených výsledků. Mezi jedny z mnoha otázek, které zůstávají otevřené, patří např. dle (Tubaro, 2009) následující: (a) jakým způsobem zajistit že se daný model drží rámce zkoumaného problému a reprezentuje relevantní sociální dění? (b) Jakým způsobem porovnat získané výsledky s již existujícími teoriemi a jakým způsobem otestovat závěry modelování oproti empirickým datům? (c) Jakým

způsobem ověřit robustnost výsledků vzhledem k různým nastavením parametrů modelu, jeho počátečním podmínkám a softwarové implementaci?

Tyto otázky jsou značně obecné a platí pro většinu přístupů, u kterých se využívá modelování. Přesto hrají v ACE významnou roli, neboť vzhledem k závislosti na zvolených akcích agentů, souběžnému vývoji chování jak agentů, tak prostředí s nelineárními závislostmi a často i více body rovnováhy, je stanovení analytického řešení těžké, či přímo nemožné. Simulace se může dokonce jevit u složitých a komplexních modelů někdy i jako tzv. černá skříňka, kdy tvůrce modelu definuje vstupy a počáteční stav modelu a následně obdrží po průběhu simulace výstupy. Avšak porozumění vnitřním mechanismům a všem dějům odehrávajících se uvnitř systému může být omezené a neúplné (Tubaro, 2009).

4.2.2 Rozhodování v ACE

Výzkumníci v oboru ACE velice silně odmítají neoklasickou teorii maximalizace užitku. Zaměřují se na opačné principy, mezi kterými se současný vývoj nachází. Jsou jimi „jednoduchost“ a „komplexnost“. Jednoduchost si zasloužila pozornost především díky principu **KISS** (keep it simple, stupid), který představil a zpopularizoval Axelrod. Jednoduchost na úrovni agentů, poskytuje prostor pro sledování a věnování se komplexním dějům, které se následně vynořují na makroúrovni. Komplexnější přístupy přinášejí více realistické a věrnější individuální rozhodování, než je tomu u agentů, postavených na jednoduchých principech. Příkladem mohou být různé druhy funkcí užitku a fitness funkcí, které umožňují agentům vyhodnocovat důsledky svých předchozích akcí a zároveň posloužit jako prostředek ke zlepšení dalšího rozhodování a učení se v dynamickém prostředí. Komplexní systémy se pak vyznačují nejen tím, že je agent schopen se učit na základě svých předchozích akcí a interakcí v prostředí, ale také na základě informací a komunikace s ostatními agenty. Učení se pak stává kolektivní záležitostí a může být realizováno několika způsoby. Od jednoduchých podnětů a reakcí na dané podněty, přes více propracované způsoby učení, založené např. na bázi využívající představy a přesvědčení, až po vysoce komplexní systémy pracující na principech genetických algoritmů (Tubaro, 2009).

Jedním z aspektů rozhodování je i vzájemné porozumění mezi agenty. Pro agenty je nutná shoda v terminologii. Jen v případě, kdy si agenty pod jedním pojmem představují tutéž věc, (např. cena za produkt může být jedním agentem cenou

v dolarech, zatímco pro jiného agenta cenou v eurech) lze dojít ke shodě a správnému fungování multi-agentového systému. Jeden z možných způsobů jak vymezit a klasifikovat společné pojmy, nabízí ontologie (Wooldridge, 2009).

Vzhledem k heterogenitě a distribuované povaze multi-agentových systémů, je nutné při konstrukci takovýchto systémů učinit několik návrhových rozhodnutí. Tato rozhodnutí lze rozdělit do dvou úrovní: (a) úroveň individuálního agenta a (b) úroveň komunity. Na úrovni individuálního agenta (jednotlivce) je nutné brát v úvahu následující otázky (Bond a Gasser, 1988):

(a) Co se stává agentem v systému? (b) Jakým způsobem každý agent ovlivňuje model? (c) Jak jsou agenty interně strukturováni? (d) Jsou agenty identické nebo rozdílné? (e) Sdílejí agenty společné části nebo se liší?

Úroveň komunity řeší oproti jednotlivci následující otázky: (a) Co tvoří populaci systému? (b) Jaké komunikační kanály a protokoly agenty používají? (c) Jakým způsobem je strukturována komunikace mezi agenty? (d) Jakou konfiguraci má komunita? (e) Jakým způsobem agenty koordinují své akce?

4.3 Artificial Virtual Economies

Dle předcházejícího obecného popisu ACE, jsou patrné některé výhody, které sebou tyto systémy přinášejí. Jak uvádí Tučník (2014), agentový přístup, který byl zvolen pro modelování ACE, umožňuje v zásadě modelovat systémy a chování agentů ve dvou rovinách: (a) **Detailní specializovaný model**. Jedná se o úzce zaměřený model, specializující se na vybraný problém. Takovýto model je většinou pouze jednoúčelový. (b) **Jednoduchý komplexní systém**. Tento typ modelu se vyznačuje vysokou mírou abstrakce. Avšak množství sledovaných jevů je výrazně větší, spolu s mírou rozsahu. Tento systém pak neslouží pouze jako jednoúčelový, ale umožňuje sledování širšího množství jevů.

Artificial Virtual Economies (AVE) je výzkumným projektem, který probíhá na Univerzitě Hradec Králové, Fakultě informatiky a managementu. Cílem projektu je realizace modelu ACE. Projekt je v současné době realizován řešitelským týmem, který se skládá z deseti členů, přičemž jednotlivci, případně dvojice členů řeší rozdílné části a aspekty virtuální ekonomiky. Vedle rozhodování, které je náplní této práce, je dále

výzkum zaměřen na části týkající se logistických a dopravních řešení, část zabývající se logickou stránkou modelu a modelováním chování jednotlivých úrovní, dále na tržní mechanismy a v neposlední řadě také podpůrnou částí dokumentace a prezentační stránky projektu. Projekt vede RNDr. Petr Tučnák, Ph.D. z Katedry informačních technologií, FIM UHK.

Pro realizaci modelu byla zvolena varianta komplexního víceúčelového multi-agentového systému. Vzhledem k doméně a složitosti, je od určitých ekonomických jevů abstrahováno. V modelu jsou zanedbány především některé finanční aspekty, jako bankovníctví, devizové trhy a další. Hlavní pozornost je věnována funkčnosti modelu, efektivitě a racionalitě chování jednotlivých agentů (Tučnák, 2014).

Model pracuje celkem na třech úrovních, které jsou dle (Licek a Tučnák, 2014) následující: (a) **jednotlivec**, (b) **výrobní (firemní) prostředí** a (c) **komunita**. Agenty modelu na příslušných úrovních, reprezentují entity reálného světa. Úroveň jednotlivce zachycuje chování spotřebitele. Toto chování zahrnuje každodenní běžné aktivity (pracovní proces, nákup statků a služeb, konzumace zábavy...). Spotřebitel tvoří pracovní sílu.

Výrobní prostředí znázorňují v modelu firmy. Tyto firmy jsou zaměstnavateli výše zmíněných spotřebitelů. Firmy spotřebitele odměňují mzdou, stejně jako je tomu i v reálném světě. Za obdrženou mzdu nakupují spotřebitelé statky a zajišťují své základní potřeby.

Úroveň komunity zaštiťuje jak firmy, tak i jednotlivce. V reálném světě najdeme ekvivalent komunity v městech či obcích. Komunita zajišťuje základní chod a stanovuje rámec, ve kterém firmy a jednotlivci realizují své záměry a cíle (Licek a Tučnák, 2014).

Podrobný popis jednotlivých úrovní bude uveden v následujících podkapitolách.

4.3.1 Úroveň jednotlivce

V modelu ACE jsou agenty na úrovni jednotlivců (spotřebitelů) označovány jako **C-agenty**. Mezi základní cíle těchto agentů (stejně tak i agentů na ostatních úrovních ekonomiky) patří zajištění dlouhodobé existence. Spotřebitelé zajišťují svoji existenci nákupem nezbytných statků a zboží. Vedle těchto statků stojí i potřeba zajištění obydlí (Licek a Tučnák, 2014). Pro naplnění těchto potřeb slouží v modelu trh zboží a služeb, na kterém jsou jednotlivé reálné statky (s jistou mírou abstrakce) směňovány za peněžní prostředky, kterými spotřebitelé disponují. Trh zboží a jeho funkčnost je realizována

pomocí facilitačního agenta typu **Broker** (Blecha a Tučnák, 2014). Získání těchto peněžních prostředků souvisí a je vázáno s participací spotřebitelů v pracovním procesu, který zajišťují a nabízejí firmy. V případě zajištění základních potřeb, vyhledávají spotřebitelé i další služby. Tento předpoklad vychází z pyramidy potřeb (McKenzie a Tullock, 2012). Mezi vyhledávané další potřeby, po zajištění těch základních, patří například potřeba zábavy a sociální interakce.

Ke sledování nejen základních potřeb, ale i komplexního chování systému jako celku, neboť jednotlivci svým chováním ovlivňují i výslednou podobu a procesy probíhající v makroprostředí, slouží několik atributů. Příkladem některých atributů, které jsou v rámci systému u spotřebitelských agentů sledovány, může být například vzdělání, peněžní prostředky a především také celková spokojenost, která odráží aspekty a faktory působící na jednotlivce i z vyšších úrovní. S tímto úzce souvisí omezení, která do jisté míry determinují chování jednotlivců. C-agenty jsou **omezovány shora**. Jednotlivá omezení vyplývají z pravidel, politik a společenského kontextu nejen kolonie, ale odvíjí se také od firmy, ve které daný C-agent pracuje, respektive ve které kolonii žije (Licek a Tučnák, 2014).

Rozhodování na úrovni C-agentů se týká například skladby spotřebního koše, nebo výběru zaměstnání. Rozhodování jednotlivých agentů (na všech úrovních modelu) se řídí zvolenou strategií agenta. Jednotlivé strategie, které agenty realizují, jsou reprezentovány atributem „str“. Tento atribut obsahuje strategie a cíle agenta. Příklady těchto strategií zachycuje Obr. 13.



Obr. 13: Cíle jednotlivce. Zdroj: Licek a Tučnák (2014)

Z výše uvedeného popisu je patrné, že jednotlivec čelí velice často mnoha rozhodnutím a alternativám. Tyto alternativy, stejně jako cíle, mohou být vzájemně v konfliktu.

4.3.2 Úroveň firmy

Na úrovni firmy se vyskytuje několik typů agentů. A to především Factory agent (**F-agent**), Store agent (**S-agent**) a Mine agent (**M-agent**). Agenty typu F-agent lze v reálném světě přirovnat k výrobním či produkčním firmám. S-agenty zajišťují velkoobchodní a maloobchodní trh zboží. M-agenty představují vstupy a zdroje modelu, neboť je v reálném světě lze přirovnat k přírodním zdrojům (nerostné suroviny, voda a další), které jsou využívány jako vstupy (těžba, rybolov, a další).

Základním cílem firmy (F-agentů) je zajištění dlouhodobé existence. Vedle toho se firma zabývá otázkami, mezi které patří například i zajištění dostatku zaměstnanců, jejich kvalifikace, prosperita firmy, stanovení ceny produktů, nákup a zajištění vstupů pro výrobu a produkci.

Zaměstnance firma hledá, respektive poptává z řad C-agentů, prostřednictvím trhu práce (Licek a Tučnák, 2014). Pro řízení trhu práce se dle (Blecha a Tučnák, 2014) jeví jako vhodnější využití agenta typu **Matchmaker** oproti typu Broker. Toto tvrzení podkládají třemi možnými způsoby realizace řízení trhu práce v AVE, které jsou následující: (a) C-agenty vkládají nabídky práce na trh. K těmto nabídkám přistupují workAgent (WA), kteří reprezentují ty agenty z firemního prostředí, které nabízejí práci a vytváří tak poptávku po pracovní síle. (b) Distribuci nabídky po pracovní síle vytváří WA. C-agenty zde hrají roli poptávajících agentů. (c) Třetí způsob je tvořen kombinací obou předcházejících způsobů.

Vedle právě zmíněného trhu práce, na kterém firmy zajišťují pracovní sílu, je jedním z klíčových aspektů pro F-agenty také zajištění dostatku vstupů pro výrobu. Tyto vstupy získávají firmy na velkoobchodním trhu zboží. Vedle nutných vstupů pro výrobu, které se liší v závislosti na firmě a výstupech, které firma produkuje, se jedná také o energii. Nákup vstupů a energií se tedy odehrává prostřednictvím velkoobchodního trhu zboží, na kterém nabízejí své zboží a produkty M-agenty (tyto agenty nepotřebují vstupní materiál, pouze zdroj surovin situovaný v prostředí) a dále také především další (konkurenční) F-agenty (firmy). F-agenty jsou nejvýznamnějšími odběrateli (Blecha a Tučnák, 2014).

S velkoobchodním, ale i maloobchodním trhem (který bude vysvětlen dále) je úzce spjat i cíl jednotlivých firem. Tímto cílem je především, kromě zajištění dlouhodobé existence, i zisk. Zisku dosahují firmy prodejem na zmíněných trzích. Vzhledem k rozdílným požadavkům jednotlivých trhů, mohou firmy vyrábět buď koncové

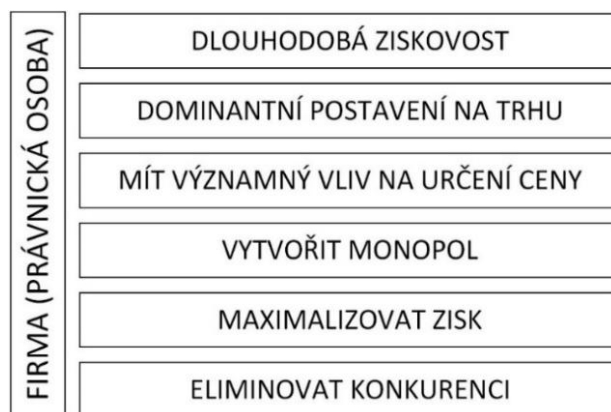
produkty a tyto produkty distribuovat na oba trhy, případně mohou vyrábět i polotovary pro další zpracování a výrobu (Blecha a Tučnák, 2014).

Kromě velkoobchodního trhu zboží, je součástí modelu i trh maloobchodního zboží. Tento maloobchodní trh slouží k uspokojování potřeb koncových zákazníků, kterými jsou C-agenty. Tento maloobchodní trh je zajišťován agenty typu **Store (SA)**, které představují obchodní agenty. SA získávají zboží od F-agentů prostřednictvím velkoobchodního trhu zboží. S-agenty zpravidla nabízí produkty a zboží za maloobchodní ceny, které jsou vyšší, než ceny velkoobchodní, za které nabízí své produkty F-agenty (Blecha a Tučnák, 2014).

Zmíněné zajištění vstupů firem není náhodné, ale koresponduje s produkčním řetězcem, v němž má každý F-agent určenou pozici, z níž vyplývá, co potřebuje pro zajištění výroby. Tento produkční řetězec odráží a zachycuje všechny potřebné vstupy pro výrobu a je tedy jedním z hlavních aspektů, které se podílí na rozhodování firmy o nákupu na velkoobchodním trhu zboží. Produkční řetězce jednotlivých firem korespondují s realitou (s malou mírou abstrakce). Tyto produkční řetězce dále firmy přizpůsobují dle aktuální poptávky a situace na trhu stejně, jako je tomu i v reálném světě (Blecha a Tučnák, 2014).

Z výše uvedeného vyplývá, že pro zajištění a distribuci vstupů, potřebují F-agenty aktivně komunikovat s trhem statků a zboží. Vzhledem k velkému počtu F-agentů v modelu, je řízení trhu statků a zboží realizováno pomocí facilitačních agentů typu **Broker** (Blecha a Tučnák, 2014).

Z hlediska **rozhodování** je firemní prostředí a rozhodování F-agentů poměrně pestré a náročné, neboť kromě výběru zaměstnanců, rozhodování o nákupu vstupů, ceně výstupů, řeší F-agenty i některé další otázky, které znázorňuje Obr. 14.



Obr. 14: Cíle firmy. Zdroj: Licek a Tučnák (2014)

4.3.3 Úroveň kolonie

Třetí a poslední úroveň modelu je úroveň kolonie. Tato úroveň je reprezentována meta-agenty. Meta-agentů (kolonií) se v modelu vyskytuje několik a jsou označovány zkratkou **COL**. Jednotlivé kolonie reprezentují reálná města a obce, či státní celky. Tyto kolonie zabírají určité vymezené území. Zajišťují a zastřešují chod daného správního celku, ve kterém působí agenty z výše zmíněných úrovní (úrovně jednotlivců a firem). Jednotlivé kolonie si mohou navzájem konkurovat, nebo spolupracovat, stejně jako je tomu na úrovni firemního prostředí. Firmy ze své povahy ovšem nedisponují prostředky, které mají k dispozici kolonie a stejně jako i jednotlivci, jsou firmy **omezovány shora** koloniemi prostřednictvím právních nařízení a společných cílů (Licek a Tučník, 2014), mj. např. sazbou daňových odvodů apod.

Jednotlivé COL agenty určují globální společné cíle a omezení kolonie. Tyto cíle a omezení by agenty jak na úrovni firem, tak i jednotlivců měly naplňovat. Hlavní myšlenka tohoto konceptu spočívá v prospěchu všech agentů dané kolonie, neboť pro agenty naplňující cíle komunity je z dlouhodobého hlediska toto chování výhodnější. Zároveň při naplňování těchto cílů a dodržování příslušných omezení, může docházet k odměňování a zvýhodňování jednotlivých agentů. Porušení stanovených omezení se ovšem v principu zcela nevylučuje, přesto by k němu mělo docházet pouze v minimální možné míře. A to zejména v situacích, kdy je krátkodobé porušení pravidel výhodnější a případné postihy či rizika nejsou významné pro další vývoj (Licek a Tučník, 2014). V současné podobě modelu ale tento typ chování není implementován, představuje další možné rozšíření modelu.

Tento přístup k řízení kolonie je podobný tomu, který aplikuje Shoham a Tennenholtz (1995) pro řízení pohybu agentů. Práce poukazuje na nevhodnost centrálního řízení pohybu agentů z důvodu velkého počtu interakcí, nezbytných pro plynulý chod. Opačný plně decentralizovaný přístup je také nevhodný, opět pro velký počet interakcí, tentokrát však mezi agenty. Výsledkem je sada dopravních pravidel (předpisů), která interakce zcela neodstraňuje, avšak značně minimalizuje jejich potřebu. Tento princip se dá aplikovat na celou řadu dalších problémových domén, čehož je využito i zde, pro řízení kolonie, pomocí sociálních a právních nařízení.

Výše uvedené fungování kolonie naráží na potřebu regulačních mechanismů, pro případ, kdy agenty neplní stanovené cíle. Přestože naplňování stanovených cílů přináší prospěch, mohou se agenty, jak již bylo zmíněno výše, naplňování těchto cílů v omezené

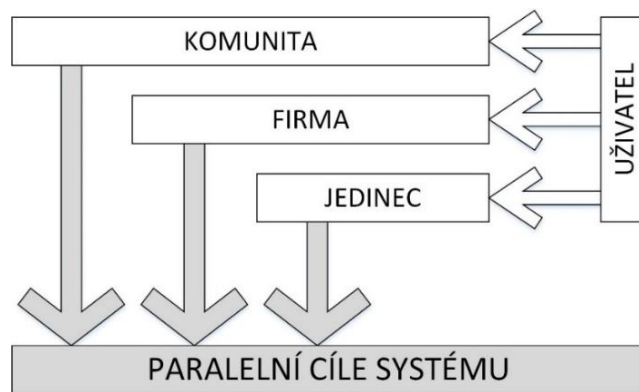
míře vzepřít. Jako jeden z vhodných regulačních mechanismů, se jeví koncept reputace a důvěry, který předkládá ve své práci (Mui et al., 2002). Chování agenta je pozorováno a vyhodnocováno ostatními agenty, s ohledem na normy a nařízení, které se agent zavázal dodržovat. Odchýlené chování od příslušných norem se promítne ve snížení reputace, což následně vede k již zmíněné absenci některých výhod, či zhoršení konkurenceschopnosti, oproti agentům s vyšší reputací.

Vedle řízení chodu, se COL agenty zaměřují také na naplňování stanovených cílů. Prvotním a hlavním cílem každé kolonie je zajištění dlouhodobé existence. S tímto cílem, ale i dalšími, které jsou uvedeny na Obr. 15 souvisí i rozhodování kolonie. Seznam uvedených cílů není kompletní, slouží pouze jako ilustrativní příklad. Vedle uvedených cílů nejen na Obr. 15, ale i Obr. 13 a Obr. 14 lze uživatelsky definovat i další cíle (Tučnák, 2014).



Obr. 15: Cíle komunity. Zdroj: Tučnák (2014)

Z výše uvedeného vyplývá, že v modelu na všech úrovních dochází u sledování cílů k jejich paralelizaci. Tento fakt zachycuje Obr. 16 (Licek a Tučnák, 2014).



Obr. 16: Paralelní cíle modelu. Zdroj: Licek a Tučnák (2014)

Dále je patrné, že některé cíle jednotlivých úrovní mohou být navzájem v konfliktu. Při výběru jednotlivých strategií (parametr „str“) hraje významnou roli i zaměření (specializace) jednotlivých komunit (na úrovni firem nevyjímaje). Tato specializovanost je přirozeným jevem, ke kterému by měl model směřovat. Neboť při dostatečně kvalitním ekonomickém modelu a jeho robustnosti, jak uvádí Tučnák (2014), by k jednotlivým specializacím mělo docházet přirozeně. Tyto specializace ovlivňuje hned několik faktorů. Následuje výčet některých z nich (Tučnák, 2014):

(a) **Environmentální faktory.** Využití a přizpůsobení se typu prostředí, ve kterém se daná komunita či firma nachází z geografického hlediska (nerostné suroviny, členění terénu, aj.). (b) **Omezené množství zdrojů.** Vyčerpání kapacit zdrojů je nutné předvídat a s časovou rezervou zajistit náhradu odjinud. (c) **Vědomé rozhodnutí.** Zvolená strategie může vylučovat např. některé typy odvětví či výrobních postupů. (d) **Nevědomé rozhodnutí.** K tomuto jevu může docházet v případě emergence neočekávaného chování. U tohoto typu systému jde o poměrně běžný jev. (e) **Výchozí specializace populace.** Souvisí s dlouhodobým zaměřením jedinců. Do značné míry je ovlivněno environmentálními faktory. (f) **Výchozí specializace výroby.** Opět souvisí se zmíněnými faktory ale i specializací populace.

Tyto faktory následně ovlivňují specializaci výroby a zaměření služeb. Oblasti specializace jsou zachyceny v Tab. 7 a Tab. 8.

Tab. 7: Přehled oblastí služeb. Zdroj: Tučník (2014)

KÓD	OBLASTI SLUŽEB
S01	Vzdělávání
S02	Bydlení
S03	Životní prostředí
S04	Doprava
S05	Bezpečnost
S06	Veřejná správa
S07	Zábava
S08	Sport
S09	Komunikace
S10	Právo
S11	Finance
S12	Jiné služby (ostatní nezařaditelné)

Tab. 8: Přehled oblastí průmyslové výroby. Zdroj: Tučník (2014)

KÓD	OBLAST PRŮMYSLOVÉ VÝROBY
P01	Hornictví a metalurgie
P02	Těžba dřeva
P03	Nástroje
P04	Chemie a plasty
P05	Elektronika
P06	Stavebnictví
P07	Látky a oděvy
P08	Zpracování odpadu
P09	Energetika
P10	Zemědělství a živočišná výroba
P11	Potravinářství
P12	Zbraně
P13	Hi-tech elektronika
P14	Nábytek
P15	Farmaceutika
P16	Jiná výroba (ostatní nezařaditelné)

Rozhodování na úrovni kolonie se tedy týká nejen výběru cílů a aspektů souvisejících se zajištěním dlouhodobé existence, ale důležité jsou také otázky spojené s výběrem zaměření a specializace dané kolonie.

4.3.4 Přehled agentů v AVE

Model AVE pracuje v současné době s několika druhy agentů. Jejich výčet a popis je uveden v Tab. 9.

Tab. 9: Agenty modelu AVE a jejich popis. Zdroj: AVE (2015)

TYP AGENTA	POPIS
C-agenty	Reprezentují spotřebitele na úrovni jedince. Aktivně se zapojují do pracovního procesu, který zajišťují F-agenty
F-agenty	Představují firemní sektor. Poptávají zaměstnance (C-agenty) a nabízejí jim práci. Zdroje a vstupy zajišťují prostřednictvím M-agentů. Následné výstupy distribuují buď přímo C-agentům, poskytují dalším F-agentům (např. výroba polotovarů), či nabízejí na trhu, prostřednictvím S-agentů.
M-agenty	Tento typ agenta představuje vstupy a zdroje ekonomiky. Tyto zdroje jsou primárně využívány F-agenty.
S-agenty	S-agenty zajišťují velkoobchodní a maloobchodní trh zboží. Tvoří mezičlánek mezi F-agenty a C-agenty.
Broker	Řeší a zprostředkovává obchodní transakce F-agentů, kteří využívají služeb Brokera k realizaci svých cílů.
T-agenty	Tento typ agentů se stará o transport zboží a výrobků. Je využíván primárně F-agenty k přepravě zboží, výrobků a polotovarů. Sekundárně je využíván S-agenty k zajištění potřeb nutných k výkonu a realizaci služeb.
COL	Agenty reprezentující úroveň kolonie. V reálném světě lze přirovnat k městům, či správním celkům. Stanovuje cíle a zaměření kolonie. Prostřednictvím omezení a výhod tyto cíle reguluje a dohlíží na jejich vykonávání.

5 Porovnání rozhodovacích metod v ACE

Z předcházejících teoretických poznatků vyplývá, že nelze jednoznačně vybrat a označit některou z MCDM metod za nejlepší. Z tohoto důvodu budou v této části práce postupně implementovány a otestovány některé z výše zmíněných vícekritériálních rozhodovacích metod.

Pro implementaci a testování jednotlivých MCDM metod, je použito programové prostředí AnyLogic University (AnyLogic, 2015), aktuálně ve verzi 7.1.2, ve kterém realizace projektu AVE probíhá. Všechny níže uvedené metody jsou implementovány v jazyce Java s využitím nástroje AnyLogic.

Funkčnost a možnost využití vícekritériálních metod jsou demonstrovány na modelovém příkladu spotřebního koše, který je řešen v rámci projektu AVE (Artificial Virtual Economies), který probíhá na Univerzitě Hradec Králové, Fakultě Informatiky a managementu (viz část 4.3).

Samotné demonstraci ukázky použití předchází návrh rozhodovacího modulu, který v modelu AVE zprostředkovává rozhodování prostřednictvím vybraných vícekritériálních metod.

Pro implementaci byly vybrány následující vícekritériální metody: (a) WPM, (b) TOPSIS, (c) VIKOR, (d) PROMETHEE.

Důvody tohoto výběru vyplývají z popisu jednotlivých metod (viz část 3) a dále také z jejich porovnání (část 3.13). Vzhledem k charakteru a účelu modelu virtuální ekonomiky AVE je žádoucí, minimalizovat zapojení DM do procesu přípravy a specifikace rozhodování. A to zejména při určování jednotlivých ohodnocení alternativ a dalších prvků rozhodovací tabulky. Z tohoto důvodu nebyly pro implementaci vybrány metody založené na párovém porovnávání. Stejně tak metoda MAUT není předmětem implementace, neboť vyžaduje konstrukci funkce užitku. Metoda WSM nebyla taktéž zahrnuta. Důvodem je práce s rozdílnými jednotkami kritérií a problémy s vícerozměrnými rozhodovacími situacemi.

5.1 Návrh rozhodovací komponenty v modelu AVE

Potřeba rozhodování v prostředí AVE je patrná z jeho popisu (viz 4.3). Na všech úrovních modelu AVE (jednotlivec, firma, kolonie) vzniká stejně jako v reálném světě potřeba, činit kvalifikovaná rozhodnutí. Tato rozhodnutí jsou v první řadě spojena především s naplňováním cílů jednotlivých agentů. Vzhledem k velkému počtu těchto cílů a možnosti tyto cíle uživatelsky definovat, budou zmíněny pouze některé z nich, pomocí kterých bude ověřena a demonstrována implementace rozhodovací komponenty modelu.

S ohledem na výše zmíněný velký počet cílů a počet rozhodovacích problémů, je nutné rozhodovací modul modelu (Decision Making Module, dále jen DMM) navrhnout tak, aby poskytoval dostatečnou flexibilitu pro řešení rozhodovacích problémů a zároveň nabízel jednotné rozhraní.

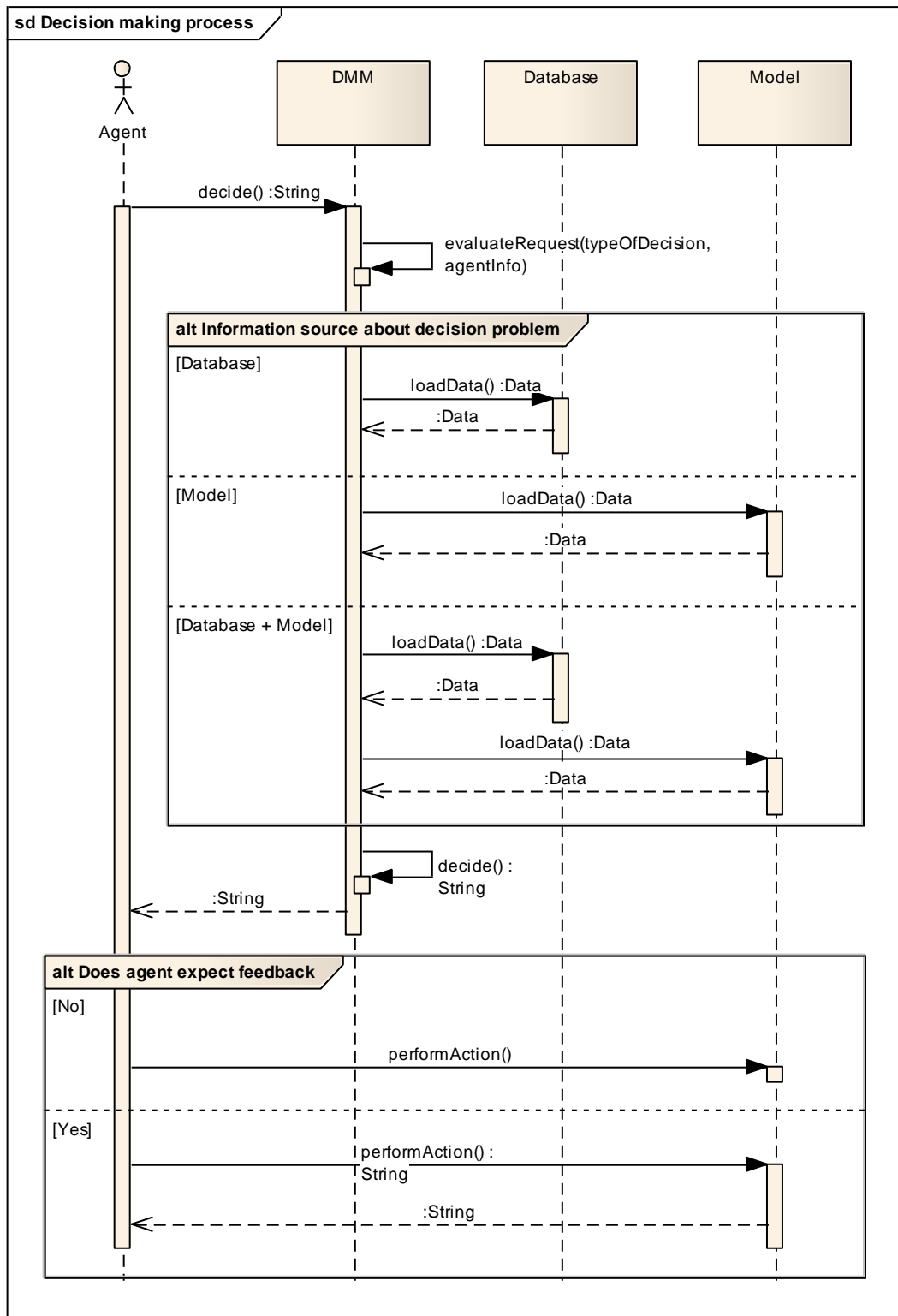
Obecný průběh rozhodování v modelu AVE a interakci DMM s ostatními komponentami prostředí zachycuje Obr. 17.

Podnět k rozhodování iniciuje na všech úrovních agent, který zasílá DMM zprávu s požadavkem o vykonání rozhodnutí. V parametrech zprávy předává agent DMM informace o druhu rozhodnutí, které si přeje učinit a zároveň také informativní údaje, které daného agenta vymezují a jsou pro něj charakteristické.

DMM následně vyhodnotí obdrženu zprávu s požadavkem. Na základě vyhodnocení dojde buď k načtení dat z databáze, načtení dat z modelu, nebo k načtení dat současně z modelu i databáze.

Získaná data jsou poté použita pro výpočet vhodné alternativy pomocí jedné z vícekritériálních metod. Konkrétní rozhodovací metoda závisí na volbě DM při počátečním nastavení modelu.

V dalším kroku dochází k vrácení výsledku rozhodování agentovi, který o dané rozhodnutí žádal. Agent dle výsledku volí akci, která ovlivní stav modelu. Pokud má daná akce komplexnější charakter, dochází k interakci agenta s modelem.



Obr. 17: Obecný průběh rozhodování. Zdroj: Vlastní práce autora

Třída **Database** na Obr. 17 označuje obecné uložení dat, jehož konkrétní implementace může nabývat různých podob (MS SQL Server, Excel File, Text File, aj.) v závislosti na možnostech prostředí AnyLogic. Stejně tak komponentou **Model** se rozumí ta část modelu, která je pro daného agenta relevantní a dostupná.

Koncept facilitačního agenta, kterým je reprezentován navrhovaný DMM, je zde zvolen z důvodu snížení komunikační zátěže napříč modelem. DMM si udržuje informace jak o daných agentech (přístup do DB), tak i o atributech modelu (komunikace s modelem) a odstiňuje tak jednotlivé agenty od uchování všech údajů pro vykonání daných rozhodnutí. To se ve výsledku projevuje nižší výpočetní zátěží a možností lepší optimalizace, či případné možnosti distribuovat rozhodování mezi více DMM (Blecha a Tučník, 2014).

Právě popsaný návrh DMM zachycuje obecný průběh rozhodování a dále to, jakým způsobem DMM pracuje v kontextu celého modelu virtuální ekonomiky. Vedle ukázkové rozhodovací úlohy, která bude popsána níže, a která je řešena v rámci konkrétního rozhodovacího scénáře, poskytuje DMM i obecnou sadu vícekriteriálních funkcí. Názvy funkcí DMM v sobě obsahují název příslušné vícekriteriální metody dle vzoru **generalNázevVícekriteriálníMetodyDecision**.

V závislosti na zvolené vícekriteriální funkci DMM, jsou vyžadovány oproti standardním parametrům, mezi které patří: (a) alternativy, (b) kritéria, (c) váhy jednotlivých kritérií, (d) ohodnocení alternativ, i parametry specifické pro danou metodu: (e) rozhodnutí o maximalizaci či minimalizaci kritéria a (f) preferenční hranice.

Přehled metod, včetně požadovaných parametrů, zachycuje Tab. 10.

Tab. 10: Funkce DMM a požadované parametry. Zdroj: Vlastní práce autora

MCDM METODA	FUNKCE DMM	PARAMETRY
WPM	generalWpmDecision	alternativy, kritéria, váhy, ohodnocení alternativ
TOPSIS	generalTopsisDecision	alternativy, kritéria, váhy, maxmin ⁵ , ohodnocení alternativ
VIKOR	generalVikorDecision	alternativy, kritéria, váhy, maxmin, ohodnocení alternativ
PROMETHEE	generalPrometheeDecision	alternativy, kritéria, váhy, maxmin, preferenční hranice, ohodnocení alternativ

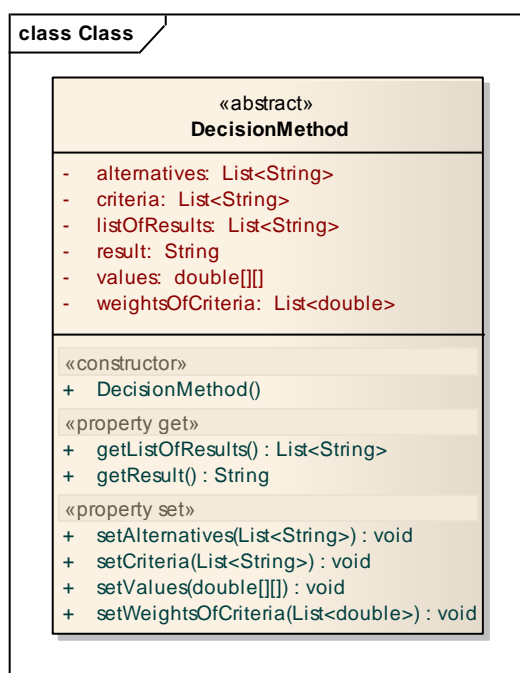
Uvedené funkce DMM slouží k obecnému řešení vícekriteriálních problémů a mohou být využity nejen všemi agenty, pro které je DMM z prostředí dostupný, ale i ostatními komponentami modelu, neboť metody z Tab. 10 jsou vedeny jako statické.

⁵ Údaj o maximalizaci či minimalizaci kritéria.

DMM tedy poskytuje základní rámec a možnost vícekritériálního rozhodování. Jelikož implementace daných vícekritériálních metod je realizována formou jednotlivých Java tříd, se kterými funkce DMM pracují, a na které odkazují, případné rozšíření o další vícekritériální metody není problematické.

5.2 Implementace jednotlivých metod

Základním prvkem návrhu, tak jak zachycuje Obr. 18, je abstraktní třída **DecisionMethod**, která je předkem konkrétních rozhodovacích tříd (tříd, které implementují danou MCDM metodu). Kompletní diagram tříd je obsahem přílohy A. Množinu atributů třídy DecisionMethod tvoří prvky rozhodovací tabulky (alternativy, kritéria, váhy kritérií a ohodnocení). Údaj o maximalizaci či minimalizaci příslušných kritérií abstraktní třída neobsahuje, neboť ne všechny metody s touto informací pracují stejným způsobem.

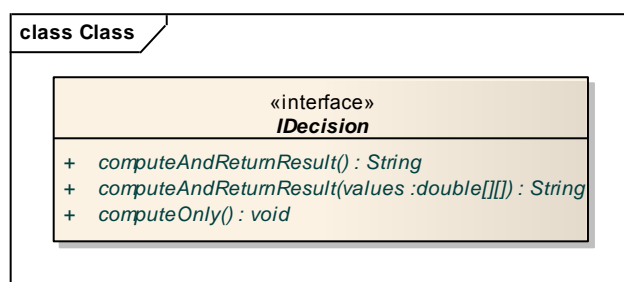


Obr. 18: Abstraktní třída DecisionMethod. Zdroj: Vlastní práce autora

Vedle uvedených atributů, které tvoří základ rozhodovací tabulky, obsahuje tato abstraktní třída i atributy, které se týkají výsledku vícekritériálního rozhodování. Jsou jimi **result** a **listOfResults**. Přičemž první zmíněný atribut obsahuje nejlepší

kompromisní alternativu a druhý atribut uvádí kompletní seřazení alternativ dle dosažených výsledků. Třída dále obsahuje metody pro přístup a nastavení jednotlivých atributů.

Kromě dědění z třídy `DecisionMethod` implementují jednotlivé rozhodovací třídy i rozhraní **IDecision**, které je znázorněno na Obr. 19.



Obr. 19: Rozhraní IDecision. Zdroj: Vlastní práce autora

Rozhraní IDecision definuje celkem tři metody. První metoda **computeAndReturnResult()** slouží pro výpočet a vrácení nejlepší alternativy. Je možné ji použít pouze po plném nastavení všech hodnot rozhodovací tabulky. Metoda je přetížena, kdy alternativou je předání ohodnocení alternativ v parametru.

Naproti tomu metoda **computeOnly()** pouze provede vícekriteriální algoritmus dané metody a výsledky uloží do příslušných atributů.

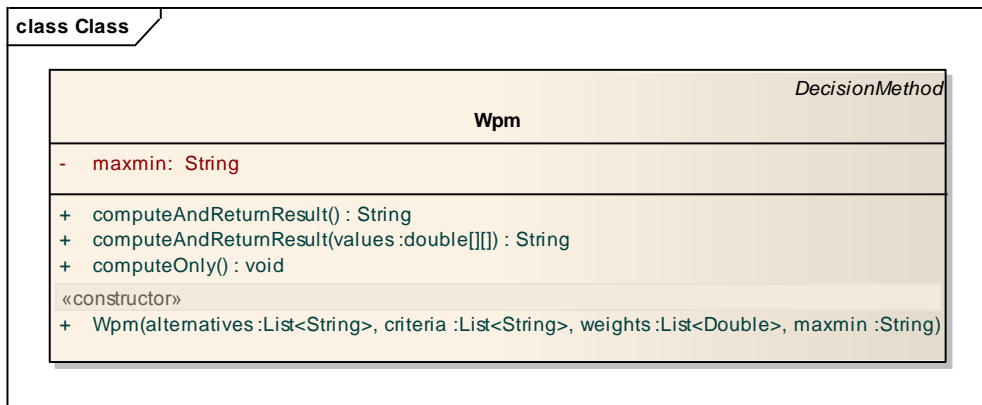
5.2.1 Implementace metody WPM

Metoda WPM je implementována v souladu s částí 3.5. Je použit alternativní výpočet uvedený v rovnici (8). Zdrojový kód implementace je dostupný na CD, které je přiloženo a je nedílnou součástí této práce.

Obr. 20 znázorňuje třídu `Wpm`⁶, která implementuje algoritmus rozhodovací metody WPM. Konstruktor této třídy vyžaduje alternativy, kritéria, váhy kritérií a údaj o maximalizaci či minimalizaci rozhodovacího problému. Kromě údaje o maximalizaci či minimalizaci, jsou vyžadovány parametry ve formě listu. Tato forma byla zvolena především kvůli možnosti výskytu velkého počtu jak alternativ, tak i kritérií.

Java třída s názvem `Wpm`, která obsahuje implementaci metody, je součástí modelu AVE.

⁶ Notace s velkým počátečním písmenem označuje název Java třídy, která danou vícekriteriální metodu implementuje. V tomto případě se zkratkou **Wpm** rozumí Java třída implementující metodu **WPM**.



Obr. 20: Třída Wpm. Zdroj: Vlastní práce autora

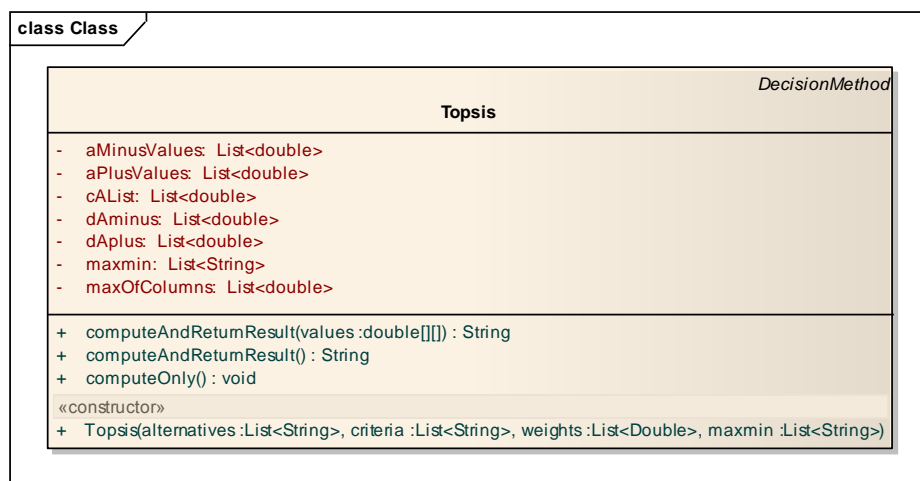
5.2.2 Implementace metody TOPSIS

Metoda TOPSIS je implementována v souladu s částí 3.11, kde je tato metoda podrobně rozebrána a je předložen její teoretický výklad. Zdrojový kód implementace je dostupný na CD, které je přiloženo a je nedílnou součástí této práce.

Obr. 21 znázorňuje třídu Topsis, která implementuje algoritmus rozhodovací metody TOPSIS. Konstruktor této třídy vyžaduje alternativy, kritéria, váhy kritérií a údaje o maximalizaci či minimalizaci příslušných kritérií. To vše ve formě listu.

Výpočet jednotlivých parametrů metody TOPSIS byl proveden dle kroků uvedených v části 3.11. Za normalizační způsob byla vybrána ideální normalizace dle rovnice (16). Pro určení ideálních a negativních řešení byl zvolen výběr nejlepšího a nejhoršího ohodnocení jednotlivých kritérií z normalizované vážené matice dle rovnic (19) a (20).

Java třída s názvem Topsis, která obsahuje implementaci metody, je součástí modelu AVE.



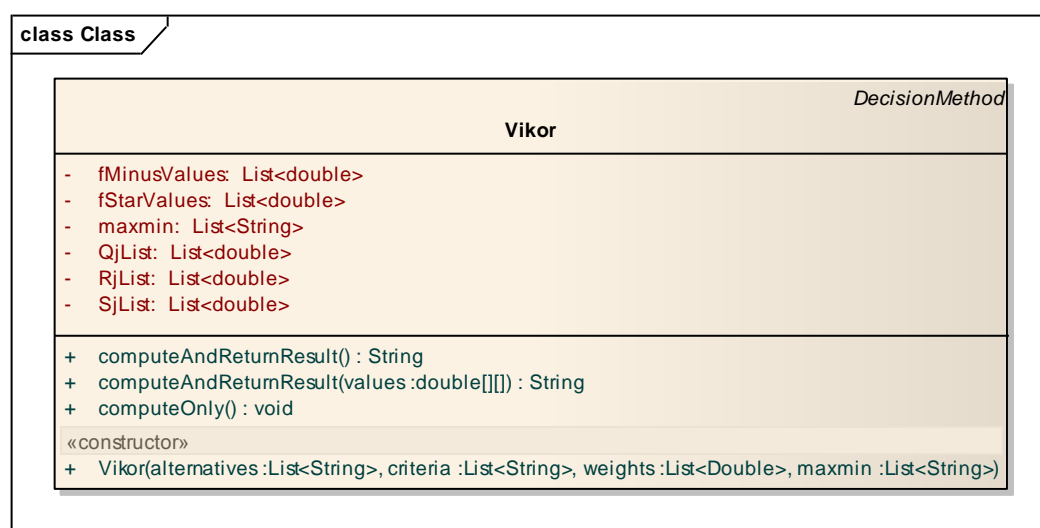
Obr. 21: Třída Topsis. Zdroj: Vlastní práce autora

5.2.3 Implementace metody VIKOR

Metoda VIKOR je implementována v souladu s částí 3.12, kde je metoda podrobně rozebrána a je předložen její teoretický výklad. Zdrojový kód implementace je dostupný na CD, které je přiloženo a je nedílnou součástí této práce.

Obr. 22 znázorňuje třídu Vikor, která implementuje algoritmus rozhodovací metody VIKOR. Konstruktor této třídy, stejně jako u třídy Topsis, vyžaduje alternativy, kritéria, váhy kritérií a údaje o maximalizaci či minimalizaci příslušných kritérií.

Java třída s názvem Vikor, která obsahuje implementaci metody, je součástí modelu AVE.



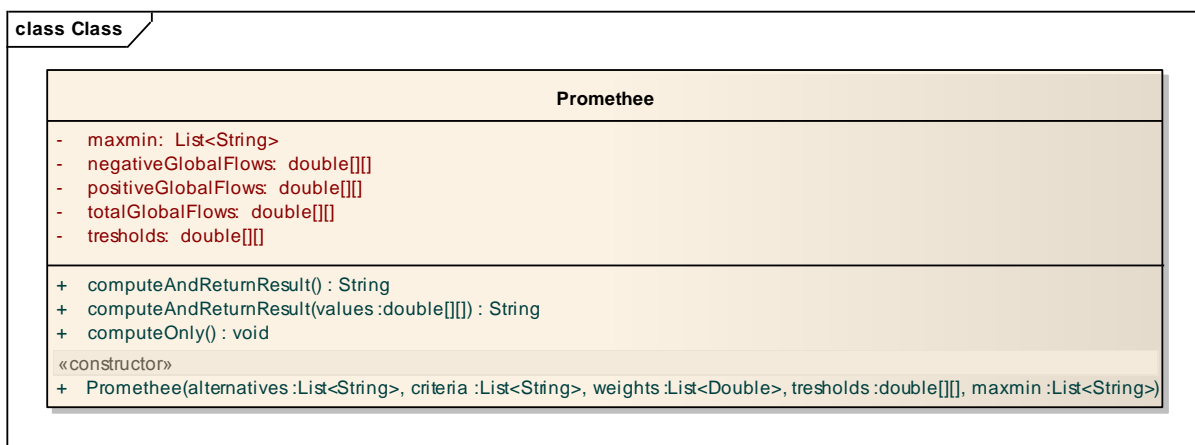
Obr. 22: Třída Vikor. Zdroj: Vlastní práce autora

5.2.4 Implementace metody PROMETHEE

Metoda PROMETHEE je implementována v souladu s částí 3.10, kde je metoda podrobně rozebrána a je předložen její teoretický výklad. Zdrojový kód implementace je dostupný na CD, které je přiloženo a je nedílnou součástí této práce.

Obr. 23 znázorňuje třídu Promethee, která implementuje algoritmus rozhodovací metody PROMETHEE. Konstruktor této třídy vyžaduje navíc oproti ostatním metodám, také informace o preferenčních a indiferenčních hodnotách a to formou dvourozměrného pole. První sloupec pole obsahuje indiferenční hranice pro jednotlivá kritéria, druhý sloupec obsahuje hranice preferenční. Ostatní parametry konstrukturu zůstávají stejné jako u tříd Topsis a Vikor – alternativy, kritéria, váhy kritérií a údaje o maximalizaci či minimalizaci příslušných kritérií.

Java třída s názvem Promethee, která obsahuje implementaci metody, je součástí modelu AVE.



Obř. 23: Třída Promethee. Zdroj: Vlastní práce autora

5.3 Test výkonnosti jednotlivých metod

Výkon implementací jednotlivých vícekriteriálních metod, je s ohledem na účel použití klíčový a hraje zásadní roli. Jedním z mnoha cílů projektu AVE, je snaha o dosažení co nejvyššího počtu aktivních agentů v modelu (řádově desítky tisíc). S ohledem na tuto skutečnost je model navrhován tak, aby byl výpočetně vysoce efektivní. Z tohoto důvodu je dále také zásadní, aby rozhodovací mechanismy modelu co možná nejméně přispívaly ke snižování výkonu a minimalizovaly tak výpočetní náročnost.

Pro otestování výkonnosti implementovaných metod byl navržen následující experiment, který si klade za cíl zjistit výkonnost vybraných metod.

5.3.1 Příprava experimentu

Pro experiment byl v prostředí AnyLogic (AnyLogic, 2015) vytvořen nový projekt s názvem **DMTest**. Projekt obsahuje agenta DMM, jehož návrh byl popsán v části 5.1. DMM agent obsahuje v tomto experimentálním projektu pouze základní metody, které jsou popsány v Tab. 10 (část 5.1). Tyto metody jsou volány v závislosti na druhu právě testované vícekriteriální metody z nabídky, která je uživateli zobrazena před samotným spuštěním běhu experimentu v prostředí AnyLogic.

Projekt **DMTest** včetně zdrojových souborů, je obsahem přiloženého CD, které je součástí této práce.

Uvedená data pro rozhodování vychází z rozhodovacího problému, který je převzat z (Ishizaka a Nemery, 2013), a který Ishizaka a Nemery uvádí jako ukázkový u teoretického výkladu metody TOPSIS. Popis rozhodovacího problému následuje.

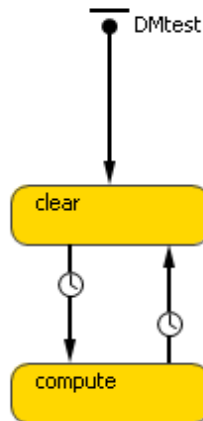
Příklad:

Nejmenovaná společnost obsazuje pozici asistenta pro mezinárodní trh. Cílem DM je výběr nejvhodnějšího kandidáta na pozici ze čtyř uchazečů: Anna, Tom, Jack a Emma. Kandidáti jsou vybíráni podle následujících kritérií: (a) komunikační dovednosti, (b) počet let života v zahraničí, (c) písemný test, (d) pracovní zkušenosti. DM na základě písemného testu a dostupných informací o kandidátech sestavil výkonnostní ohodnocení a jednotlivým kritériím přiřadil váhy (Tab. 11).

Tab. 11: Rozhodovací tabulka výkonnostních testů. Zdroj: Ishizaka a Nemery (2013)

	KOMUNIKAČNÍ DOVEDNOSTI (SKÓRE 1-10)	POČET LET V ZAHRANIČÍ (ROKY)	PÍSEMNÝ TEST (SKÓRE 1-10)	PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI (ROKY)
Alternativy/Váhy	0,1	0,4	0,3	0,2
Anna	7	9	9	8
Tom	8	7	8	7
Jack	9	6	7	12
Emma	6	11	8	6

Vzhledem k povaze jednotlivých kritérií je cílem jejich maximalizace. **Main** agent modelu (top-level agent) obsahuje pouze dva stavy, mezi kterými neustále přechází. Jeho stavový diagram je zachycen na Obr. 24. Stav **clear** slouží k inicializaci, a zároveň při každém návratu do stavu dochází k vynulování kolekcí alternativ, kritérií, vah a údajů o maximalizaci či minimalizaci kritérií. K naplnění těchto kolekcí dochází ve stavu **compute**. Konkrétně prostřednictvím funkce **decisionTest**, která je ze stavu **compute** volána. Doba setrvání v každém ze stavů je rovna třem sekundám modelového času.



Obr. 24: Stavový diagram. Agent Main. Zdroj: Vlastní práce autora

Zdrojový kód funkce **decisionTest**:

```

// Uložení hodnot rozhodovací tabulky
double values [][] = {{7, 9, 9, 8}, {8, 7, 8, 7},
                      {9, 6, 7, 12}, {6, 11, 8, 6}};

// Preferenční hranice metody PROMETHEE
double tresholds[][] = {{1, 2}, {2, 4}, {1, 2}, {2, 3}};

// Uložení alternativ, kritérií, vah a údajů o
// maximalizaci/minimalizaci
alternatives.add("Anna");
alternatives.add("Tom");
alternatives.add("Jack");
alternatives.add("Emma");

criteria.add("Skills");
criteria.add("Living abroad");
criteria.add("Written test");
criteria.add("Work experience");

weights.add(0.1);
weights.add(0.4);
weights.add(0.3);
weights.add(0.2);

maxmin.add("max");
maxmin.add("max");
maxmin.add("max");
maxmin.add("max");

// Volání příslušných metod DMM v závislosti na zvolené
// rozhodovací metodě
switch (methodDM){

case 0: resultTest = DMM.generalTopsisDecision(alternatives,
                                              criteria, weights, maxmin, values);
break;

```

```

case 1: resultTest = DMM.generalVikorDecision( alternatives,
                                              criteria, weights, maxmin, values);
break;

case 2: resultTest = DMM.generalPrometheeDecision(alternatives,
                                                  criteria, weights, maxmin, values,
                                                  tresholds);
break;

case 3: resultTest = DMM.generalWpmDecision(alternatives,
                                             criteria, weights, values, maxminWpm);
break;
}

```

Zdrojový kód funkce **clearUp**:

```

// Vymazání údajů v příslušných kolekcích z důvodu simulace
// reálného průběhu
alternatives.clear();
criteria.clear();
weights.clear();
maxmin.clear();

```

Kolekce z výše uvedeného kódu jsou zachyceny na Obr. 25, včetně proměnné **maxminWpm**, která je typu String a slouží k určení maximalizace či minimalizace rozhodovacího problému pro metodu WPM.



Obr. 25: Kolekce a proměnná agenta Main. Zdroj: Vlastní práce autora

Z uvedeného zdrojového kódu vyplývá, že ve stavu `compute`, uvnitř funkce `decisionTest`, dochází k volání jedné z funkcí DMM, a tedy k samotnému výpočtu pomocí implementovaných MCDM metod.

Vícekriteriální rozhodovací metoda PROMETHEE vyžaduje navíc prahové hodnoty (viz část 3.10). Pro tento experiment byly prahové hodnoty stanoveny autorem této práce. Tab. 12 tyto hodnoty zachycuje.

Tab. 12: Prahové hodnoty metody PROMETHEE pro experiment výkonu. Zdroj: Vlastní práce autora

KRITÉRIUM/PRAHOVÉ HODNOTY	Q	P
Komunikační dovednosti (skóre 1-10)	1	2
Počet let života (roky)	2	4
Písemný test (skóre 1-10)	1	2
Pracovní zkušenosti (roky)	2	3

Projekt DMTest je obsažen na příloženém CD, které je součástí této práce.

5.3.2 Samotné testování

Samotné testování probíhalo na třech výpočetních sestavách. Přehled sestav, včetně jejich popisu je uveden v Tab. 13.

Tab. 13: Testovací sestavy. Zdroj: Vlastní práce autora

SESTAVA	OS	CPU	RAM	VERZE ANYLOGIC
PC1	Windows 8.1, 64-bit	Intel Core i7-4500 CPU, 1,80GHz	8,0GB	7.1.2, x64
PC2	Windows 7 Home Premium, 64-bit SP1	Intel Core i3-2100, 3.10 GHz	4,0GB	7.1.2, x64
PC3	Windows 7 Home Premium, 64-bit SP1	Intel Core2 Duo T5750, 2.00 GHz	3,0GB	7.1.2, x64

Experiment pro každou z metod na každé z výpočetních sestav proběhl 100x, což odpovídá jedné testové iteraci. Testových iterací bylo na každé z výpočetních sestav provedeno pět. Bylo tedy realizováno celkem šest tisíc experimentů. Délka jednoho experimentu byla v prostředí AnyLogic stanovena na 2 592 000 sekund, tj. 30 dní **modelového času**. Sledován byl **reálný čas** běhu modelu v sekundách, který je použit pro výkonnostní ohodnocení a porovnání jednotlivých implementací vícekritériálních metod.

Nastavení experimentu a jeho parametry v prostředí AnyLogic zachycuje Obr. 26 a Obr. 27.

Simulation - Simulation Experiment

Name: Ignore

Top-level agent:

Maximum available memory: Mb

Parameters

DecisionMethod: =

Model time

Execution mode: Virtual time (as fast as possible)
 Real time with scale

Use calendar

Stop:

Start time: Stop time:

Start date: Stop date:

Randomness

Random number generation:

Random seed (unique simulation runs)

Fixed seed (reproducible simulation runs) Seed value:

Custom generator (subclass of Random):

Selection mode for simultaneous events:

Obr. 26: Obecné nastavení simulace prostředí AnyLogic. Zdroj: Vlastní práce autora

Advanced

Enable anti-aliasing

Enable enhanced model elements animation

Enable adaptive frame management

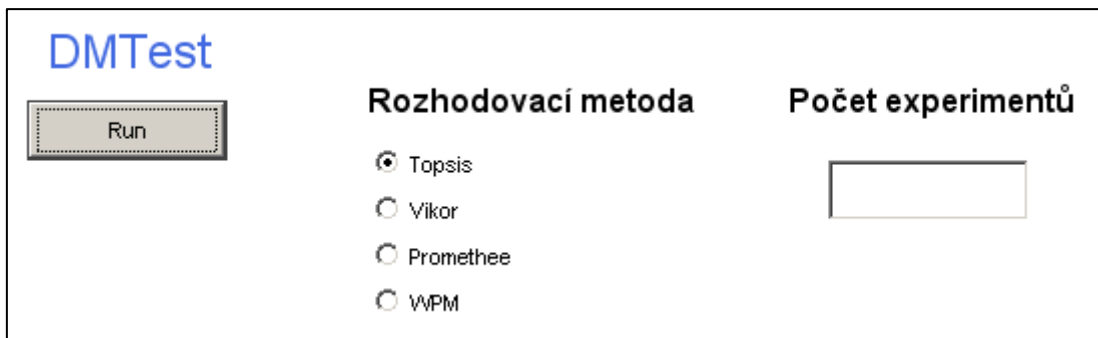
CPU ratio (Presentation : Simulation):

Frames per second:

Load top-level agent from snapshot:

Obr. 27: Pokročilé nastavení simulace prostředí AnyLogic. Zdroj: Vlastní práce autora

Pro snadné testování je v projektu **DMTest** vytvořeno výběrové menu, které je zachyceno na Obr. 28. Výběrové menu slouží k volbě testované metody. Pole s názvem **Počet experimentů** určuje, kolikrát má experiment proběhnout.



Obr. 28: Prostředí simulace. Zdroj: Vlastní práce autora

Vzhledem k potřebě spuštění velkého počtu opakování experimentů, je ruční manipulace s modelem nepraktická. Z tohoto důvodu byl do nastavení modelu přidán následující kód, který se provede vždy po skončení simulace:

```
String DecisionMethod = "";

// Zjištění zvolené metody
switch (DecisionMethodRadio.getValue()) {
case 0: DecisionMethod = "Topsis";
        break;
case 1: DecisionMethod = "Vikor";
        break;
case 2: DecisionMethod = "Promethee";
        break;
case 3: DecisionMethod = "Wpm";
        break;
}

// Uložení reálného času běhu modelu do souboru
root.excelFile.setCellValue(getRunTimeSeconds(), DecisionMethod,
1 + getExperiment().getRunCount(), 1);

// Vyhodnocení počtu realizovaných experimentů
// Počet experimentů se počítá od nuly (editbox -1)
if (getExperiment().getRunCount() < (editbox.getIntValue() - 1)) {

    // Opětovné spuštění nového experimentu při nedosažení
    // požadovaného počtu opakování
    getExperiment().stop();
    getExperiment().run();
}
else {

    // Ukončení při dosažení požadovaného počtu opakování
    getExperiment().close();
}
```

Po skončení každého experimentu dochází k uložení reálného času běhu experimentu, pomocí metody **getRunTimeSeconds()** do souboru **Test.xlsx**, který je součástí projektu. Dále dojde k opětovnému spuštění experimentu do počtu opakování, které uživatel zvolil v poli Počet experimentů.

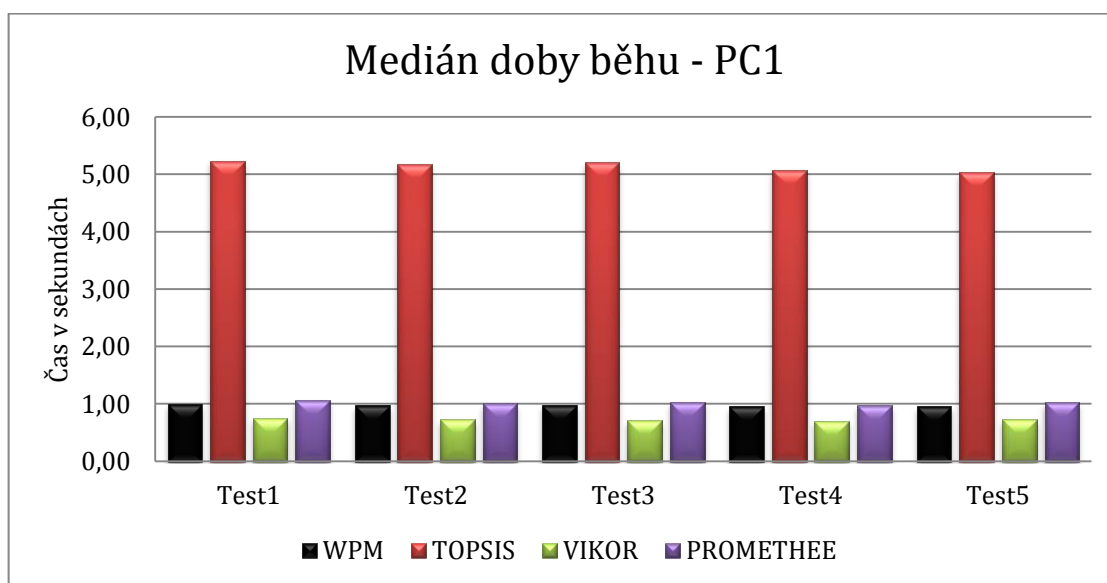
5.3.3 Výsledky testování

Výsledky jednotlivých testovacích iterací pro první ze sestav jsou zachyceny v Tab. 14. Jedná se o medián reálné doby běhu experimentu v sekundách v závislosti na zvolené vícekriteriální metodě. Medián je zde zvolen z důvodu vyšší doby běhu prvního experimentu v každé testové iteraci. To je způsobeno nutnou počáteční inicializací modelu a načtením příslušných komponent při prvním spuštění experimentu.

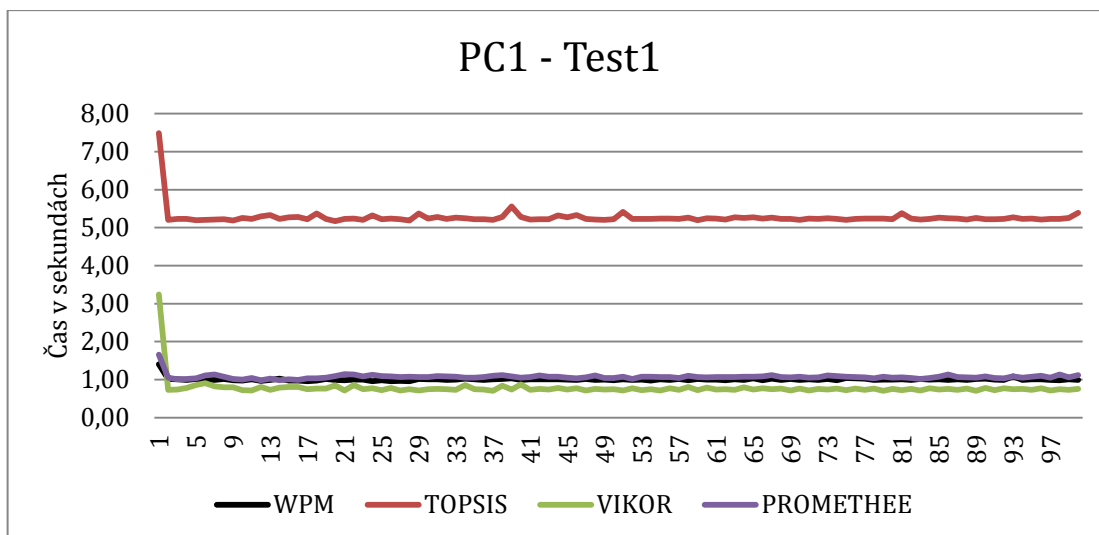
Tab. 14: Medián doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

PC1 – MEDIÁN DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	1,00	0,97	0,98	0,95	0,95
TOPSIS	5,23	5,17	5,21	5,08	5,03
VIKOR	0,75	0,73	0,71	0,70	0,73
PROMETHEE	1,07	1,01	1,03	0,97	1,02

Obr. 29 znázorňuje výsledky z Tab. 14 graficky.



Obr. 29: Medián doby běhu testových iterací – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



Obr. 30: Průběh první testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

Detailní pohled na průběh první testové iterace u první z testovaných sestav je zachycen na Obr. 30. Průběh této iterace na nejvýkonnější sestavě je velice stabilní. Dochází pouze k malým výkyvům.

Z výše uvedených výsledků vyplývá, že implementace metody TOPSIS dopadla z výkonového hlediska jednoznačně nejhůře na všech testovaných sestavách. Naopak implementace metody VIKOR je na všech sestavách výkonově nejrychlejší.

S přihlédnutím k množství požadovaných vstupních informací a dat, které jednotlivé metody od DM vyžadují, je tento výsledek pro použití v modelu AVE příhodný. Implementace metod WPM a PROMETHEE se v experimentu umístily na druhém a třetím místě a jsou si výkonově velice blízké.

Vzhledem k cíli experimentu, jímž bylo nalezení výkonově nejlepší implementace některé z rozhodovacích metod, je pro rozhodování v modelu AVE vybrána implementace vícekriteriální metody VIKOR.

Detailní přehled o časech a průběhu testů, včetně dalších statistik pro všechny sestavy, lze nalézt v příloze B. Data jsou taktéž obsažena v kořenovém adresáři na přiloženém CD v souboru s názvem **Zdrojová data porovnání metod.xlsx**.

5.4 Optimální spotřeba zboží a služeb jednotlivcem

Mezi cíle každého agenta na úrovni jednotlivce patří **optimální spotřeba zboží** a **optimální spotřeba služeb** (viz 4.3.1). S pomocí vícekritériálního rozhodování a metod, lze jednotlivým agentům k naplnění těchto cílů dopomoci. Konkrétně tím způsobem, kdy agent na základě rozhodnutí zvolí vhodného poskytovatele (S-agenta), který dané zboží či služby vyžadované agentem nabízí a poskytuje.

5.4.1 Spotřební koš

Spotřebu zboží a služeb jednotlivců v reálném světě zachycuje **spotřební koš**. Jedno z možných vymezení spotřebního koše a jeho složení nabízí **Classification of Individual Consumption by Purpose** (COICOP), což je mezinárodní standard používaný v systému národních účtů. Český statistický úřad (ČSÚ) vydává **Klasifikaci individuální spotřeby podle účelu** (CZ-COICOP), což je národní verze standardu COICOP. Smyslem je zatřídění všech druhů individuální spotřeby dle účelu. CZ-COICOP je používán k rozlišení výdajů jednotlivců třemi sektory, kterými jsou (a) domácnosti – oddíly 1 až 12, (b) neziskové instituce sloužící domácnostem – oddíl 13 a (c) vládní instituce – oddíl 14. Jednotlivé kategorie jsou zachyceny v Tab. 15 (ČSÚ, 2015).

Tab. 15: Přehled kategorií CZ-COICOP. Zdroj: ČSÚ, 2015.

COICOP	DRUH INDIVIDUÁLNÍ SPOTŘEBY
01	Potraviny (domácnost) a nealkoholické nápoje
02	Alkoholické nápoje a tabák
03	Odívání a obuv
04	Bydlení, voda, energie, paliva
05	Bytové vybavení, zařízení domácnosti, opravy
06	Zdraví
07	Doprava
08	Pošty a telekomunikace
09	Rekreace a kultura
10	Vzdělávání
11	Stravování a ubytování
12	Ostatní zboží a služby
13	Výdaje neziskových institucí sloužících domácnostem (NISD) na individuální spotřebu
14	Výdaje vládních institucí na individuální spotřebu

Tab. 15 zachycuje pouze základní kategorie. Skupiny a podrobnější členění tříd zde z důvodu velkého počtu položek nejsou uvedeny. U podrobnějšího členění a jednotlivých tříd, se dále rozlišuje označení tříd dle typu a trvanlivosti. U tříd, které obsahují zboží, se může vyskytovat jedno z následujících označení: (a) netrvanlivé (**NT**), (b) středně trvanlivé (**ST**), (c) trvanlivé (**T**), (d) služby (**S**).

Rozdíly mezi jednotlivými trvanlivostmi zboží spočívají v tom, zda je možné zboží použít pouze jednou nebo opakovaně, či lze zboží používat nepřetržitě po dobu značně delší než jeden rok (ČSÚ, 2015).

Z pohledu spotřebitele (C-agenta) jsou relevantní pouze kategorie 1 až 12. Rozhodování vzhledem ke spotřebnímu koši zde bude demonstrováno na výběru obchodu – poskytovatele zboží a služeb (S-agenta), pro jednotlivé kategorie spotřebního koše.

5.4.2 Rozhodování o spotřebním koši

Implementace rozhodování o spotřebním koši si klade za cíl praktické ověření funkčnosti navrženého DMM. Dále se snaží demonstrovat možnosti použití této rozhodovací komponenty v modelu AVE. Následující návrh řešení rozhodovacího problému, který se týká spotřebního koše, tedy vychází z předcházejících teoretických poznatků, návrhu DMM (část 5.1) a testu výkonnosti jednotlivých metod (část 5.3).

Průběh rozhodování o spotřebním koši je zachycen na Obr. 31. Rozhodování začíná u agenta (zde C-agent), který na základě vnitřního vyhodnocení hladin jednotlivých položek (parametr **consumerBasketValues**), které korespondují s položkami spotřebního koše, žádá DMM o vyhodnocení nejvhodnějšího dodavatele zboží a služeb (S-agenta).

C-agent odešle DMM zprávu **decideAboutConsumerBasket()**⁷, pomocí které žádá o rozhodnutí a výběr vhodného poskytovatele zboží či služby. Agent předává ve zprávě informace o kategoriích spotřebního koše (kategorie 01-12 odpovídající COICOP), které si přeje uspokojit a naplnit.

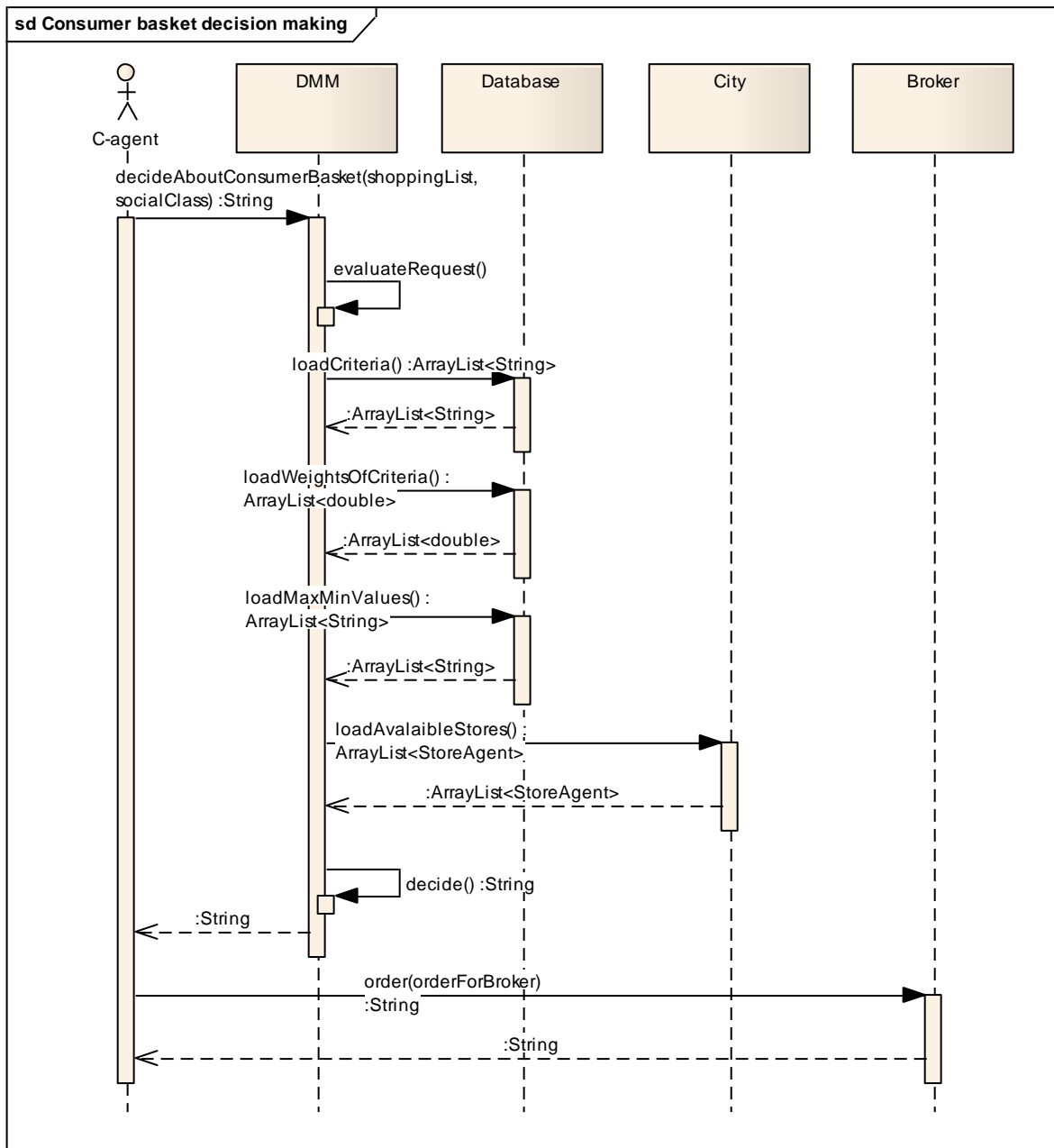
⁷ Anglické označení a názvy metod se zde vyskytují z důvodu jednotnosti v modelu AVE, který je zpracováván a vytvářen v angličtině.

Vnitřní vyhodnocení kategorií u jednotlivých agentů, je dle druhu kategorie prováděno periodicky ve stanovených intervalech. Za účelem rozlišení periody vyhodnocování jednotlivých kategorií, byly kategorie COICOP rozděleny do tří následujících evaluačních skupin: (a) **groupX**, (b) **groupY** a (c) **groupZ**. Přiřazení jednotlivých kategorií do skupin zachycuje Tab. 16.

Tab. 16: Členění evaluačních skupin. Zdroj: Vlastní práce autora

EVALUAČNÍ SKUPINA	COICOP	DRUH INDIVIDUÁLNÍ SPOTŘEBY
groupX	01	Potraviny (domácnost) a nealkoholické nápoje
	02	Alkoholické nápoje a tabák
groupY	03	Odívání a obuv
	05	Bytové vybavení, zařízení domácnosti, opravy
	09	Rekreace a kultura
	11	Stravování a ubytování
	12	Ostatní zboží a služby
groupZ	04	Bydlení, voda, energie, paliva
	06	Zdraví
	07	Doprava
	08	Pošty a telekomunikace
	10	Vzdělávání

U evaluační skupiny **groupX** dochází k vyhodnocení jednou denně. Skupina **groupY** je vyhodnocována jednou týdně a skupina **groupZ** jednou za měsíc. Všechna vyhodnocení jsou vztažena k **modelovému času**.



Obr. 31: Průběh rozhodovacího mechanismu u spotřebního koše. Zdroj: Vlastní práce autora

Kromě zmíněných kategorií, které jsou předávány formou pole, předává agent DMM i informace o sociální třídě agenta. Parametr sociální třída agenta (**socialClass**) reprezentuje jednu ze tří tříd obyvatelstva (nižší, střední a vyšší třída). Jednotlivé třídy obyvatelstva mohou mít rozdílné motivy a preference ohledně nákupu zboží a služeb. Váhy jednotlivých kritérií se tedy v závislosti na sociální třídě agenta mohou lišit. Váhy, které byly stanoveny pro jednotlivé třídy a kategorie COICOP jsou obsaženy v konfiguračním souboru **ConsumerBasket.xlsx**, který se nachází v adresáři AVE na příloženém CD, které je nedílnou součástí této práce.

Tab. 17 zachycuje výčet kritérií a údajů o maximalizaci či minimalizaci příslušného kritéria.

Tab. 17: Kritéria výběru obchodu. Zdroj: Vlastní práce autora

KRITÉRIUM	MAX/MIN
Průměrná cena	Min
Kvalita	Max
Trvanlivost	Max

DMM po obdržení žádosti o rozhodnutí, na základě údajů poskytnutých od C-agenta vyhodnotí obdrženou zprávu a požadavek na rozhodnutí pomocí metody **evaluateRequest()**. Po vyhodnocení vyhledá DMM v databázi (zde je použit konfigurační soubor ConsumerBasket.xlsx) odpovídající váhy kritérií pro příslušnou sociální třídu, spolu s údaji o maximalizaci a minimalizaci kritérií, včetně názvů jednotlivých kritérií (**loadCriteria()**, **loadWeightsOfCriteria()**, **loadMaxMin()**).

V dalším kroku (**loadAvalaibleStores()**) komunikuje DMM s agentem typu City, který reprezentuje město, ve kterém se agenty (DMM, C-agent a S-agent) nachází. DMM od agenta City získá odkazy na jednotlivé S-agenty vyskytující se aktuálně v daném městě. Tyto odkazy použije DMM k získání ohodnocení jednotlivých alternativ (S-agentů) prostřednictvím jejich veřejných atributů, které korespondují s kritérii rozhodování. Tento krok je z důvodu dynamického charakteru prostředí nezbytný, neboť S-agenty mohou v průběhu běhu modelu vznikat, či zanikat, stejně tak jako dynamicky měnit svá ohodnocení jednotlivých kritérií. Pro účely ověření funkčnosti tohoto ukázkového experimentu, byly ke stanovení ohodnocení jednotlivých S-agentů v prostředí AnyLogic použity náhodně vygenerované hodnoty pomocí funkce **uniform**.

Nyní může DMM přistoupit k vyhodnocení alternativ (**decide()**) pomocí implementace vícekritériální metody VIKOR (viz část 5.3.3). Po výpočtu dochází ke vrácení vhodných alternativ pro jednotlivé kategorie zpět příslušnému C-agentovi prostřednictvím návratové hodnoty zprávy **decideAboutConsumerBasket()**.

C-agent obdržené výsledky uloží do proměnné **orderForBroker**. Tato proměnná obsahuje informace o S-agentech, prostřednictvím kterých je na základě vícekritériálního rozhodování pro C-agenta vhodné nakupovat zboží a služby z příslušné kategorie COICOP. Jinými slovy je ke každé z kategorií COICOP přiřazen S-agent, u kterého je nákup z dané kategorie pro C-agenta optimální.

Obr. 32 zachycuje již zmíněnou proměnnou orderForBroker náhodného C-agenta, která obsahuje názvy S-agentů. Tyto S-agenty jsou zde reprezentovány názvy jednotlivých obchodů, které se vyskytují v daném městě (agent City).

```

orderForBroker
12 elements
0: null
1: null
2: null
3: stores[2]
4: null
5: stores[1]
6: stores[1]
7: stores[1]
8: null
9: stores[1]
---

```

Obr. 32: Obsah proměnné orderForBroker. Zdroj: Vlastní práce autora

Implementace dodržuje konvence programovacího jazyka Java. Z tohoto důvodu, je zde vhodné podotknout, že jednotlivé kategorie, stejně jako referenční názvy na jednotlivé obchody (S-agenty), jsou vzhledem ke způsobu uložení v jednorozměrném poli číslovány od nuly.

Z Obr. 32 je patrné, že daný C-agent vyhodnocoval evaluační skupinu **groupZ** a proměnná orderForBroker obsahuje názvy vhodných S-agentů.

Model AVE v současné době implementuje deset měst Maltské republiky (agenty typu City). Implementace modelu AVE tedy vychází a čerpá z reálných dat a volně dostupných podkladů. Výčet implementovaných měst zachycuje Tab. 18

Tab. 18: Názvy měst v modelu AVE. Zdroj: Vlastní práce autora

NÁZVY MĚST				
Fontana	Ic-Cirkewwa	Mdina	Fgura	Birkirkara
Qawra	Pembroke	Tal Handaq	Birzebbuga	Valletta

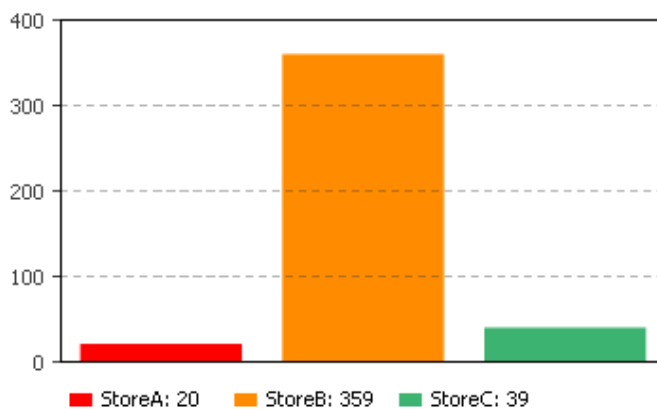
V každém z implementovaných měst se nachází celkem tři obchodní místa, které plní roli poskytovatelů zboží a služeb (S-agentů). Pro přehlednost přiřazuje Tab. 19 jednotlivým obchodům (S-agentům) názvy, které jsou v souladu s obsahem proměnné orderForBroker a vnitřní reprezentací S-agentů v modelu AVE.

Tab. 19: Referenční názvy S-agentů. Zdroj: Vlastní práce autora

NÁZEV OBCHODU	REFERENČNÍ NÁZEV OBCHODU (S-AGENTA) V MODELU AVE
StoreA	Store[0]
StoreB	Store[1]
StoreC	Store[2]

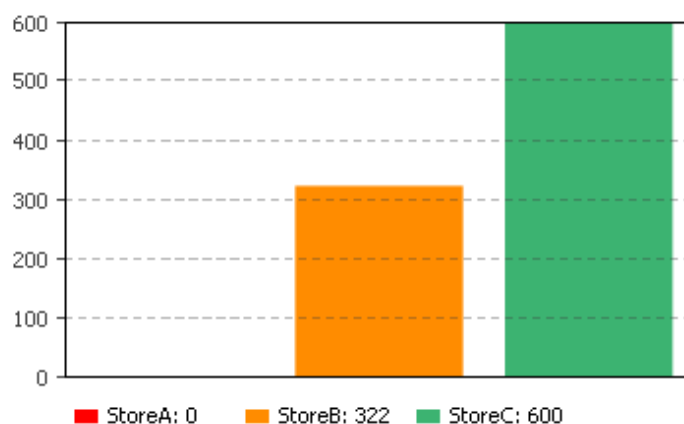
Z Obr. 32 a Tab. 19 vyplývá, že vybraný C-agent bude realizovat nákup zboží a služeb pro kategorii 04 (bydlení, voda, energie, paliva) prostřednictvím **StoreC**. U zbývajících kategorií 06 (zdraví), 07 (doprava), 08 (pošty a telekomunikace) a 10 (vzdělávání) využije C-agent **StoreB**.

Podrobnější analýza ukazuje počty C-agentů z měst Pembroke (Obr. 33) a Fontana (Obr. 34) a jejich zamýšlené realizace nákupů zboží a služeb v jednotlivých obchodech.



Obr. 33: Statistika počtu C-agentů pro jednotlivé obchody ve městě Pembroke. Zdroj: Vlastní práce autora

Ve městě Pembroke (Obr. 33) zamýšlí nakupovat zboží a služby, pro některou z kategorií spotřebního koše, prostřednictvím StoreA 20 C-agentů. Dalších 359 C-agentů volí StoreB a zbývajících 39 C-agentů hodlá nakupovat zboží a využít služeb StoreC.



Obr. 34: Statistika počtu C-agentů pro jednotlivé obchody ve městě Fontana. Zdroj: Vlastní práce autora

Situace ve městě Fontana (Obr. 34) je značně odlišná. Zde se jako nejvhodnější jeví pro 600 C-agentů StoreC. Zbýlých 322 C-agentů preferuje pro některou z kategorií spotřebního koše StoreB. O obchodu StoreA v tomto městě neuvažuje ani jeden z C-agentů.

Výše uvedené počty C-agentů v jednotlivých obchodech zachycují situaci v modelu AVE po jednom dni modelového času. Počty C-agentů pro jednotlivé obchody ve zbývajících osmi městech jsou obsahem přílohy C.

V posledním kroku prostřednictvím zprávy **order()** (viz Obr. 31) dochází ke komunikaci jednotlivých C-agentů s agentem typu Broker. C-agent předává obsah proměnné `orderForBroker`. Tento obsah se stává podkladem pro další vyjednávání.

Agent typu Broker řídí a zprostředkovává transakce na trhu zboží a služeb (Blecha, 2014). Broker dle požadavku C-agentů a dostupnosti zboží a služeb jednotlivých obchodů (S-agentů) koordinuje směnu zboží a nákup/prodej služeb napříč modelem AVE. V případě dostatečných zásob a kapacit S-agentů lze poptávku ze strany C-agentů uspokojit přímo. Nic tedy nebrání realizaci dodání požadované služby či zboží. Veškeré řízení těchto transakcí obstarává Broker. V případě nedostatečných kapacit, kdy převyšuje poptávka C-agentů nabídku obchodů (S-agentů) zde vyvstává prostor pro další vyjednávání a koordinaci požadavků.

Problematika vyjednávacích mechanismů při nedostatečných kapacitách S-agentů zůstává otevřena pro další práci a výzkum. Stejně tak se k další práci nabízí i rozšíření modelu AVE o reaktivní mechanismy rozhodování S-agentů. Jedním ze zřejmých aspektů rozhodování S-agentů, který vyvstává z prezentované demonstrace rozhodování, je reakce těchto agentů na skutečnost, kdy si žádný z daných C-agentů, jak zachycuje např. Obr. 34, nepřeje využít služeb a zboží daného S-agenta.

6 Shrnutí výsledků

Praktická část této práce je zaměřena na implementaci vybraných vícekriteriálních metod a na návrh rozhodovací komponenty pro model AVE.

Mezi implementované metody patří: WPM, TOPSIS, VIKOR a PROMETHEE. Jednotlivé metody byly implementovány v prostředí AnyLogic (AnyLogic, 2015) ve formě jednotlivých Java tříd s jednotným rozhraním. Tento návrh umožňuje případnou bezproblémovou implementaci a rozšíření o další vícekriteriální metody.

Ve stejném smyslu byl navržen i experiment, prostřednictvím kterého bylo otestováno výkonové ohodnocení jednotlivých vícekriteriálních metod. Z tohoto experimentálního testování vyšla jako výpočetně nejrychlejší metoda VIKOR, která je zároveň zvolena jako stěžejní pro rozhodování v modelu AVE. Kromě metody VIKOR lze DM doporučit i metody WPM a PROMETHEE, jejichž implementace jsou si výkonově velice blízké.

Přestože byla vybrána metoda VIKOR jako stěžejní pro rozhodování v modelu AVE, navržený DMM (rozhodovací modul) obsahuje i zbývající implementované metody (WPM, TOPSIS a PROMETHEE). Prostřednictvím příslušných funkcí DMM, lze tyto metody použít jako alternativu k metodě VIKOR napříč celým modelem.

To vybízí k dalšímu testování implementovaných metod a nechává otevřený prostor pro experimentální ověřování a porovnávání v situacích, kdy na výpočetní náročnost není kladen důraz. Zde však musí DM zohlednit jednotlivá omezení a požadavky jednotlivých vícekriteriálních metod, které jsou popsány v teoretické části této práce.

Vedle obecného návrhu DMM, bylo použití tohoto modulu a vícekriteriální metody VIKOR demonstrováno na rozhodovacím problému, který se týká složení spotřebního koše v prostředí AVE. Výsledkem je dynamické vícekriteriální rozhodování agentů, kteří vyhodnocují situaci v modelu, reagují na změny a přizpůsobují své spotřebitelské chování aktuálním podmínkám prostředí AVE.

Výstup kromě potvrzení správné funkčnosti navrženého modulu zároveň odkryl i možné směry dalšího výzkumu.

7 Závěr

Problematika vícekriteriálního rozhodování zahrnuje mnoho aspektů. Teoretická východiska neposkytují jednoznačnou odpověď na otázku o nejlepší vícekriteriální metodě, ale vyúsťují v rozhodovací paradox. Vícekriteriální rozhodování se proto zaměřuje na porovnávání jednotlivých vlastností a charakteristik daných metod, se snahou tato jednotlivá omezení odstranit a metody vylepšit.

Nelze opomenout ani ostatní přístupy inteligentního rozhodování, které byly v této práci taktéž zmíněny. Jedním z těchto přístupů jsou i agentově-orientované výpočetní ekonomiky. Motivací tohoto přístupu je snaha o lepší porozumění jevům odehrávajícím se na makroúrovni skrze emergenci a chování jednotlivců na mikroúrovni.

Model AVE je příkladem agentově-orientované výpočetní ekonomiky, na kterém byly uplatněny teoretické poznatky zahrnující rozhodování, problematiku vícekriteriálních metod a agentový přístup jak při implementaci vybraných vícekriteriálních metod, tak i při návrhu obecného rozhodovacího modulu pro tento model. Implementace jednotlivých vícekriteriálních metod a návrh DMM byl proveden s ohledem na rozšiřitelnost. Stejně tak byl navržen i experiment, porovnávající výkonnost vybraných vícekriteriálních metod.

Výstupem práce je tedy rozhodovací modul pro model AVE. Tento modul poskytuje sadu funkcí, které zprostředkovávají výpočet pomocí vícekriteriálních metod. Tyto funkce, respektive vícekriteriální metody byly experimentálně otestovány s cílem porovnat jejich výpočetní náročnost. Na základě výsledků z provedených experimentů byla pro rozhodování v modelu AVE vybrána jako nejvhodnější metoda VIKOR.

Zároveň bylo použití DMM využito v modelu AVE při řešení rozhodovacího problému, který se týká složení spotřebního koše jednotlivých agentů.

Cíl práce, týkající se porovnání a vyhodnocení vícekriteriálních rozhodovacích metod, byl tímto naplněn. Kromě vytyčeného cíle byly nastíněny i další možnosti výzkumu.

Seznam použité literatury

- [Aart, 2005] AART, Chris van, 2005. *Organizational principles for multi-agent architectures*. Boston: Birkhäuser Verlag. ISBN 978-3-7643-7213-2
- [AnyLogic, 2015] ANYLOGIC [online]. [vid. 3. 3. 2015]. Dostupné z: www.anylogic.com
- [Bäck, 1997] BÄCK, Thomas, 1997. General outline of evolutionary algorithms. In: BÄCK, Thomas, David B FOGEL and Zbigniew MICHALEWICZ, eds. *Handbook of evolutionary computation*. New York: Oxford University Press. ISBN 07-503-0392-1
- [Behzadian, et al., 2010] BEHZADIAN, Majid et al., 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. In: *European Journal of Operational Research* [online]. ScienceDirect. Vol. 200, issue 1, pp. 198-215. [vid. 9. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ejor.2009.01.021
- [Bellman a Zadeh, 1970] BELLMAN, R. E. and L. A. ZADEH, 1970. Decision-making in a fuzzy environment. In: *Management science* [online]. Vol. 17, No. 4, pp. 141-164. Dostupné z: <http://www.dca.fee.unicamp.br/~gomide/courses/CT820/artigos/DecisionMakingFuzzyEnvironmentBellmanZadeh1970.pdf>
- [Belton a Stewart, 2002] BELTON, Valerie and Theodor J. STEWART, 2002. *Multiple criteria decision analysis: an integrated approach*. Boston: Kluwer. ISBN: 0-7923-7505-X
- [Blecha a Tučník, 2014] BLECHA, Petr a Petr TUČNÍK, 2014. Agentově-orientované výpočetní ekonomiky – koordinace obchodu na trzích zboží a služeb formou nepřímé komunikace. In: *Kognitivní věda a umělý život II*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, s. 211-216. ISBN 978-80-7248-951-0
- [Bond a Gasser, 1988] BOND, Alan H a Leslie George GASSER, 1988. *Readings in distributed artificial intelligence*. San Mateo, Calif.: M. Kaufmann. ISBN 09-346-1363-X

- [Boongasame a Boonjing, 2010] BOONGASAME, Laor and Veera BOONJING, 2010. A New Approach to Multi-criteria Decision Making (MCDM) Using the Fuzzy Binary Relation of the ELECTRE III Method and the Principles of the AHP Method. In: NGUYEN, Ngoc Thanh, Radoslaw KATARZYNIAK and Shyi-Ming CHEN, eds. *Advances in Information and Database Systems* [online]. Springer. pp. 325-336. ISBN: 978-3-642-12090-9. [vid. 21. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-12090-9
- [Brans, 1982] BRANS, Jean-Pierre, 1982. L'ingénierie de la décision; Elaboration d'instruments d'aide à la décision. La méthode PROMETHEE. In R. Nadeau and M. Landry, eds., *L'aide à la décision: Nature, Instruments et Perspectives d'Avenir*, Québec, Canada. Presses de l'Université Laval.
- [Brans a Mareschal, 2005] BRANS, Jean-Pierre and Bertrand Mareschal, 2005. PROMETHEE methods. In: FIGUEIRA, José, Salvatore GRECO and Matthias EHRGOTT, eds. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York: Springer Science+Business Media, Inc., pp. 163–186. ISBN 0-387-23067-X
- [Bureš, 2011] BUREŠ, Vladimír, 2011. *Systémové myšlení pro manažery*. Praha: Professional Publishing. ISBN 978-80-7431-037-9
- [Capurro, 2012] CAPURRO, Rafael, 2012. Toward a comparative theory of agents. In: *AI & Soc* [online]. Vol. 27, issue 4, pp. 479-488. ISSN 1435-5655. [vid. 10. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/s00146-011-0334-6
- [ČSÚ, 2015] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD, 2015. *Klasifikace individuální spotřeby: Metodická část* [online]. [vid. 3. 3. 2015]. Dostupné z: [http://www.czso.cz/csu/klasifik.nsf/i/ii metodicka_cast/ \\$File/CZ-COICOP2.pdf](http://www.czso.cz/csu/klasifik.nsf/i/ii%20metodicka_cast/$File/CZ-COICOP2.pdf)

- [Doubravová, 2009] DOUBRAVOVÁ, Hana, 2009. *Vícekritériální analýza variant a její aplikace v praxi*. České Budějovice. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Ekonomická fakulta, Katedra aplikované matematiky a informatiky
- [Edwards et al., 2007] EDWARDS, Ward, Ralph MILES F. and Detlof Von WINTERFEKDT, 2007. Introduction. In: Ward EDWARDS, Ralph MILES F. and Detlof Von WINTERFEKDT, eds. *Advances in decision analysis: From Foundations to Applications*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 1-12. ISBN 978-0-521-68230-5
- [Figueira et al., 2005] FIGUEIRA, José, Salvatore GRECO and Matthias EHRGOTT, 2005. Introduction. In: FIGUEIRA, José, Salvatore GRECO and Matthias EHRGOTT, eds. *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, New York: Springer Science+Business Media, Inc. ISBN 0-387-23067-X
- [Hibbard, 2011] HIBBARD, Bill, 2011. Societies of Intelligent Agents. In: *Artificial General Intelligence* [online]. Berlin: Springer. [vid 4. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-22887-2_31
- [Holder, 1990] HOLDER, R. D., 1990. Some Comments on the Analytic Hierarchy Process. In: *J. Opl. Res. Soc* [online]. Vol. 41, No. 11, pp 1073-1076. [vid. 22. 11. 2014]. Dostupné z: <http://links.jstor.org/sici?sici=0160-5682%28199011%2941%3A11%3C1073%3ASCOTAH%3E2.0.CO%3B2-K>
- [Howard, 2007] HOWARD, Ronald A., 2007. The Foundations of Decision Analysis Revisited. In: Ward EDWARDS, Ralph MILES F. and Detlof Von WINTERFEKDT, eds. *Advances in decision analysis: from foundations to applications*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 32-56. ISBN 978-0-521-68230-5
- [Chang, 2010] CHANG, Chia-Ling, 2010. A modified VIKOR method for multiple criteria analysis. In: *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. Springer. Vol. 168, 1-4, pp. 339-344. [vid. 10. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/s10661-009-1117-0

- [Ishizaka a Nemery, 2013] ISHIZAKA, Alessio and Philippe NEMERY, 2013. *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*. Hoboken: Wiley. ISBN 11-186-4492-1
- [Jaynes, 1986] JAYNES, E. T., 1986. Bayesian Methods: General Background. In: JUSTICE James H., Ed. *Maximum-Entropy and Bayesian Methods in Applied Statistics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- [Jennings, 2000] JENNINGS, Nicholas R, 2000. On agent-based software engineering. In: *Artificial Intelligence* [online]. Vol. 117, issue 2, pp. 277-296. [vid. 18. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/S0004-3702(99)00107-1
- [Kinnear, 1997] KINNEAR, Kenneth E, Jr., 1997. Genetic programming. In: BÄCK, Thomas, David B FOGEL and Zbigniew MICHALEWICZ, eds. *Handbook of evolutionary computation*. New York: Oxford University Press. ISBN 07-503-0392-1
- [Köksalan et al., 2011] KÖKSALAN, Murat, Jyrky WALLENIOUS and Stanley ZIONTS, 2011. *Multiple criteria decision making: From Early History to the 21st Century*. Singapore: World Scientific. ISBN 98-143-3559-2
- [Kou et al., 2013] KOU, Gang, et. al, 2013. *Data processing for the AHP/ANP* [online]. Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-29213-2. [vid. 10. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-29213-2
- [Licek a Tučník, 2014] LICEK, Tomáš a Petr TUČNÍK, 2014. Agentově-orientované výpočetní ekonomiky – paralelní sledování více cílů v autonomním rozhodování agentů. In: *Kognitivní věda a umělý život II*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, s. 211-216. ISBN 978-80-7248-951-0
- [Lim a Jain, 2010] LIM, Chee Peng and Lakhmi C. JAIN, 2010. Advances in Intelligent Decision Making. In: JAIN, Lakhmi C. and Chee Peng LIM, eds. *Handbook on Decision Making*. Berlin: Springer. pp. 3-28. ISBN 36-421-3638-9

- [Liu et al., 2012] LIU, Shihu et al., 2012. New approach to MCDM under interval-valued intuitionistic fuzzy environment. In: *Int. J. Mach. Learn. & Cyber* [online]. Springer. Volume 4, Issue 6, pp. 671-678. ISSN: 1868-808X. [vid. 25. 7. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/s13042-012-0143-3
- [Mateo, 2012] SAN CRISTÓBAL MATEO, José Ramón, 2012. *Multi criteria analysis in the renewable energy industry* [online]. London: Springer. ISBN 978-1-4471-2346-0. [vid. 27. 7. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-1-4471-2346-0
- [McCulloch a Pitts, 1943] MCCULLOCH, Warren S. and Walter PITTS, 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. In: *Bulletin of Mathematical Biophysics*. Vol. 5, pp. 115-133
- [McKenzie a Tullock, 2012] MCKENZIE, Richard B. and Gordon TULLOCK, 2012. Maslow's Hierarchy of Needs and Economist's Demand. In: *The New World of Economics* [online]. Berlin: Springer Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-642-27364-3. [vid. 16. 11. 2014]. Dostupné z doi: 10.1007/978-3-642-27364-3_3
- [Mela et al., 2012] MELA, Kristo, Teemu TIAINEN and Markku HEINISUO, 2012. Comparative study of multiple criteria decision making methods for building design. In: *Advanced Engineering Informatics* [online]. Vol. 26, issue 4, pp. 716-726. [vid. 15. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.aei.2012.03.001
- [Mellers a Locke, 2007] MELLERS, Barbara and Connson LOCKE, 2007. What Have We Learned from Our Mistakes? In: Ward EDWARDS, Ralph MILES F. and Detlof Von WINTERFEKDT, eds. *Advances in decision analysis: from foundations to applications*. Cambridge: Cambridge University Press. s. 351-374. ISBN 978-0-521-68230-5
- [Mendoza a Martins, 2006] MENDOZA, G.A. and H. MARTINS, 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. In: *Forest Ecology and Management* [online]. ScienceDirect. Vol. 230, issues 1-3, pp. 1-22. ISSN 0378-1127. [vid. 28. 7. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.foreco.2006.03.023

- [Michalewicz et al., 2007] MICHALEWICZ, Zbigniew et al., 2007. *Adaptive business intelligence* [online]. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-32929-9. [vid. 10. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-540-32929-9
- [Michalewicz, 1997] MICHALEWICZ, Zbigniew, 1997. Hybrid methods. In: BÄCK, Thomas, David B FOGEL and Zbigniew MICHALEWICZ, eds. *Handbook of evolutionary computation*. New York: Oxford University Press. ISBN 07-503-0392-1
- [Montani a Jain, 2010] MONTANI, Stefania and Lakhmi C. JAIN, 2010. Innovations in Case-Based Reasoning Applications. In: MONTANI, Stefania and Lakhmi C. JAIN, eds. *Successful Case-Based Reasoning Applications* [online]. Springer. pp. 1-5. ISBN 978-3-642-14078-5. [vid. 28. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-14078-5_1
- [Mui et al., 2002] MUI, Lik, Mojdeh MOHTASHEMI and Ari HALBERSTADT, 2002. Notions of reputation in multi-agents systems. *Proceedings of the first international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems part 1 - AAMAS '02* [online]. New York: ACM Press. [vid 19. 10. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1145/544741.544807
- [Opricovic a Tzeng, 2004] OPRICOVIC, Serafim and Gwo-Hshiong TZENG, 2004. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. In: *European Journal of Operational Research* [online]. ScienceDirect. Vol. 156, issue 2, pp. 445-455. [vid. 8. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1
- [Peréz et al., 2006] PERÉZ, Joaquín, José L. JIMENO and Ethel MOKOTOFF, 2006. Another potential shortcoming of AHP. IN: *Top* [online]. Vol. 14, issue 1, pp. 99-111. ISSN 1863-8279. [vid. 14. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/BF02579004

- [Rao, 2013] RAO, R. Venkata, 2013. *Decision making in manufacturing environment using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods* [online]. London: Springer. ISBN 978-1-4471-4375-8. [vid. 15. 7. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-1-4471-4375-8
- [Roland et al., 2012] ROLAND, Julien, Yves De SMET and Céline VERLY, 2012. Rank Reversal as a Source of Uncertainty and Manipulation in the PROMETHEE II Ranking: A First Investigation. In: *Advances in Computational Intelligence* [online]. Berlin: Springer. Vol. 300, pp. 338-346. [vid. 14. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-31724-8_35
- [Roy, 1996] ROY, Bernard, 1996. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers. ISBN 07-923-4166-X
- [Russell a Norvig, 2010] RUSSELL, Stuart J and Peter NORVIG, 2010. *Artificial intelligence: a modern approach*. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall. ISBN: 978-0-13-604259-4
- [Saaty, 1994] SAATY, Thomas L., 1994. *Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process*. Pittsburgh, PA: RWS Publications. ISBN 09-620-3176-3
- [Saaty, 2009] SAATY, Thomas L., 2009. *Theory and Applications of the Analytic Network Process: decision making with benefits, opportunities, costs, and risks*. 2nd ed. Pittsburgh: RWS Publications. ISBN 1-888603-06-2
- [Shoham a Tennenholtz, 1995] SHOHAM, Yoav and Moshe TENNENHOLTZ, 1995. On social laws for artificial agent societies: off-line design. In: *Artificial Intelligence* [online]. Vol. 73, 1-2. [vid. 27. 1. 2015]. Dostupné z: doi: 10.1016/0004-3702(94)00007-N
- [Smith, 1997] SMITH, Robert E, 1997. Learning classifier systems. In: BÄCK, Thomas, David B FOGEL and Zbigniew MICHALEWICZ, eds. *Handbook of evolutionary computation*. New York: Oxford University Press. ISBN 07-503-0392-1

- [Tsfatsion, 2002] TEFATSION, Leigh, 2002. Agent-Based Computational Economics: Growing Economies From the Bottom Up. In: *Artificial Life* [online]. Cambridge, MA: MIT Press. Vol. 8, issue 1, pp. 55-82. [vid. 2. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1162/106454602753694765
- [Tsfatsion, 2006] TEFATSION, Leigh, 2006. Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory. In: *Handbook of Computational Economics* [online]. pp. 831-880. [vid. 2. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/S1574-0021(05)02016-2
- [Thagard, 2001] THAGARD, Paul, 2001. How to make decisions: Coherence, emotion, and practical inference. In E. Millgram (Ed.), *Varieties of practical inference*. Cambridge, MA: MIT Press
- [Tong et al., 2007] TONG, Lee-Ing, Chi-Chan CHEN and Chung-Ho WANG, 2007. Optimization of multi-response processes using the VIKOR method. In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. Vol. 31, issue 11-12, pp. 1049-1057. [vid. 22. 11. 2014]. Dostupné z doi: 10.1007/s00170-005-0284-6
- [Triantaphyllou a Mann, 1989] TRIANTAPHYLLOU, Evangelos and Stuart H. MANN, 1989. An examination of the effectiveness of multi-dimensional decision-making methods: A decision-making paradox. In: *Decision Support Systems* [online]. Vol. 5, issue 3, s. 303-312. [vid. 8. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/0167-9236(89)90037-7
- [Triantaphyllou, 2000] TRIANTAPHYLLOU, Evangelos, 2000. *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Boston, Mass.: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-6607-7
- [Tubaro, 2009] TUBARO, Paola, 2009. *Agent-based computational economics: a methodological appraisal*. Working Paper 2009-42

- [Tučník, 2014] TUČNÍK, Petr, 2014. Agentově-orientované výpočetní ekonomiky – konceptuální řešení interakce mezi multiagentovými komunitami. In: *Kognitivní věda a umělý život II*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, s. 211-216. ISBN 978-80-7248-951-0
- [Tversky a Kahneman, 1981] TVERSKY, Amos and Daniel KAHNEMAN, 1981. The framing of decisions and the psychology of choice. In: *Science*. Vol. 211, issue 4481, pp. 453-458
- [Ünal et al., 2013] ÜNAL, Muhammet et al., 2013. *Optimization of PID Controllers Using Ant Colony and Genetic Algorithms* [online]. Berlin: Springer. ISBN 978-3-642-32900-5. [vid. 25. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-32900-5
- [Urbanowicz a Moore, 2009] URBANOWICZ, Ryan J. and Jason H. MOORE, 2009. Learning Classifier Systems: A Complete Introduction, Review, and Roadmap. In: *Journal of Artificial Evolution and Applications* [online]. [vid. 2015-03-21]. Dostupné z: doi: 10.1155/2009/736398
- [Vega et al., 2014] VEGA, Alberto, Juan AGUARÓN, Jorge GARCÍA-ALCARAZ a José María MORENO-JIMÉNEZ, 2014. Notes on Dependent Attributes in TOPSIS. In: *Procedia Computer Science* [online]. Vol. 31, pp. 308-317. [vid. 8. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.procs.2014.05.273
- [Wooldridge, 2009] WOOLDRIDGE, Michael, 2009. *An introduction to multiagent systems*. 2nd ed. Chichester: Wiley. ISBN 978-0-470-51946-2
- [Yazdani a Payam, 2014] YAZDANI, Morteza and Amir Farokh PAYAM, 2014. *A comparative study on material selection of microelectromechanical systems electrostatic actuators using Ashby, VIKOR and TOPSIS*. *Materials & Design* [online]. Vol. 65, pp. 328-334. [vid. 8. 10. 2014]. Dostupné z doi: 10.1016/j.matdes.2014.09.004

[Zadeh, 1965] ZADEH, L. A., 1965. Fuzzy sets. In: *Information and control* [online]. Vol. 8, issue 3, pp. 338-353. [vid. 30. 8. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X

[Zeleny, 2011] ZELENY, Milan, 2011. MCDM: In Search of New Paradigms ... In: SHI, Yong et al. eds. *New State of MCDM in the 21st Century* [online]. Springer. pp. 3-11. ISBN: 978-3-642-19695-9. [vid. 12. 9. 2014]. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-19695-9_1

Seznam obrázků

Obr. 1: Fáze rozhodovacího procesu. Zdroj: Převzato z (Lim a Jain, 2010)	4
Obr. 2: Prvky rozhodování. Zdroj: Převzato z (Howard, 2007)	5
Obr. 3: Pavučina kvality. Zdroj: Převzato z (Howard, 2007).....	7
Obr. 4: Koš pomerančů pro jedno kritérium výběru. Zdroj: (Zeleny, 2011).....	9
Obr. 5: Koš pomerančů pro dvě kritéria výběru. Zdroj: (Zeleny, 2011).....	9
Obr. 6: Koš pomerančů. Dodání pomeranče. Zdroj: (Zeleny, 2011).....	10
Obr. 7: Dělení MCDM. Zdroj: vlastní práce autora.....	11
Obr. 8: Lineární hierarchie AHP. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)	31
Obr. 9: Struktura ANP. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013).....	32
Obr. 10: Množina alternativ a skóre užitku. Zdroj: Ishizaka a Nemery (2013)	34
Obr. 11: Lineární preferenční funkce. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)	39
Obr. 12: Gaussova preferenční funkce. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013).....	39
Obr. 13: Cíle jednotlivce. Zdroj: Licek a Tučnák (2014).....	58
Obr. 14: Cíle firmy. Zdroj: Licek a Tučnák (2014)	60
Obr. 15: Cíle komunity. Zdroj: Tučnák (2014).....	62
Obr. 16: Paralelní cíle modelu. Zdroj: Licek a Tučnák (2014)	63
Obr. 17: Obecný průběh rozhodování. Zdroj: Vlastní práce autora	68
Obr. 18: Abstraktní třída DecisionMethod. Zdroj: Vlastní práce autora.....	70
Obr. 19: Rozhraní IDecision. Zdroj: Vlastní práce autora.....	71
Obr. 20: Třída Wpm. Zdroj: Vlastní práce autora	72
Obr. 21: Třída Topsis. Zdroj: Vlastní práce autora.....	72
Obr. 22: Třída Vikor. Zdroj: Vlastní práce autora.....	73
Obr. 23: Třída Promethee. Zdroj: Vlastní práce autora.....	74
Obr. 24: Stavový diagram. Agent Main. Zdroj: Vlastní práce autora	76
Obr. 25: Kolekce a proměnná agenta Main. Zdroj: Vlastní práce autora.....	77
Obr. 26: Obecné nastavení simulace prostředí AnyLogic. Zdroj: Vlastní práce autora	79
Obr. 27: Pokročilé nastavení simulace prostředí AnyLogic. Zdroj: Vlastní práce autora	79
Obr. 28: Prostředí simulace. Zdroj: Vlastní práce autora	80
Obr. 29: Medián doby běhu testových iterací – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	81
Obr. 30: Průběh první testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora.....	82

Obr. 31: Průběh rozhodovacího mechanismu u spotřebního koše. Zdroj: Vlastní práce autora	86
Obr. 32: Obsah proměnné orderForBroker. Zdroj: Vlastní práce autora.....	88
Obr. 33: Statistika počtu C-agentů pro jednotlivé obchody ve městě Pembroke. Zdroj: Vlastní práce autora.....	89
Obr. 34: Statistika počtu C-agentů pro jednotlivé obchody ve městě Fontana. Zdroj: Vlastní práce autora.....	90
Obr. 35: Diagram tříd. Zdroj: Vlastní práce autora	108
Obr. 36: Medián doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	134
Obr. 37: Medián doby běhu – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora	134
Obr. 38: Medián doby běhu – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora	135
Obr. 39: Průběh první testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora.....	135
Obr. 40: Průběh druhé testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora.....	135
Obr. 41: Průběh třetí testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	136
Obr. 42: Průběh čtvrté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora.....	136
Obr. 43: Průběh páté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	136
Obr. 44: Průběh první testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora.....	137
Obr. 45: Průběh druhé testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora.....	137
Obr. 46: Průběh třetí testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora	137
Obr. 47: Průběh čtvrté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora.....	138
Obr. 48: Průběh páté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora	138
Obr. 49: Průběh první testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora.....	138
Obr. 50: Průběh druhé testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora.....	139
Obr. 51: Průběh třetí testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora	139
Obr. 52: Průběh čtvrté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora.....	139
Obr. 53: Průběh páté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora	140

Seznam tabulek

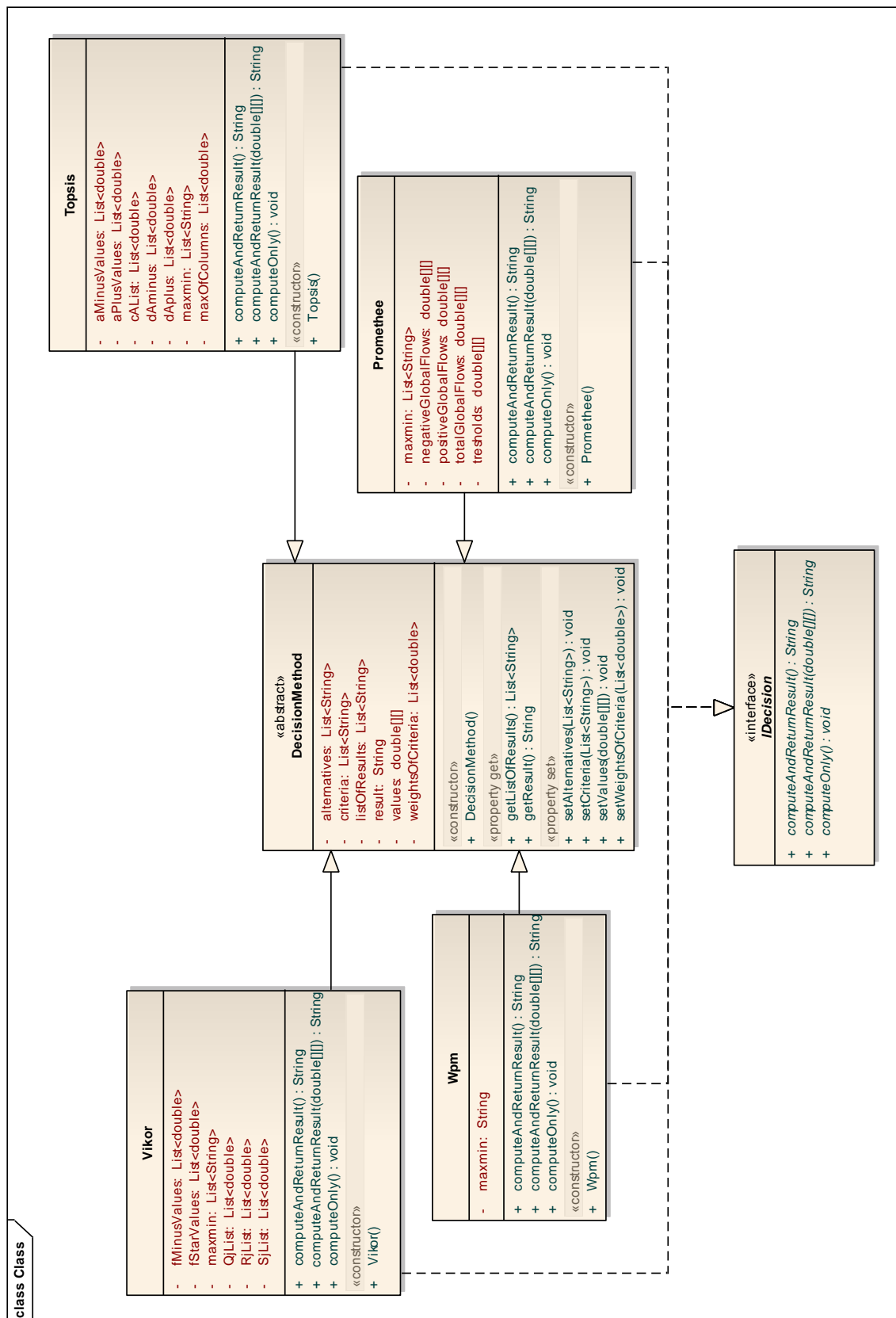
Tab. 1: Porovnání MODM a MADM přístupů. Zdroj: (Mendoza a Martins, 2006).....	12
Tab. 2: Rozhodovací tabulka. Zdroj: Převzato z (Rao, 2013)	13
Tab. 3: Přehled MCDA metod dle typu. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013).....	23
Tab. 4: Ohodnocující stupnice AHP. Zdroj: (Saaty, 2009)	27
Tab. 5: Matice vlivu. Zdroj: Převzato z (Ishizaka a Nemery, 2013)	33
Tab. 6: Sémantické kategorie metody MACBETH. Zdroj: (Ishizaka a Nemery, 2013)	36
Tab. 7: Přehled oblastí služeb. Zdroj: Tučnák (2014).....	64
Tab. 8: Přehled oblastí průmyslové výroby. Zdroj: Tučnák (2014)	64
Tab. 9: Agenty modelu AVE a jejich popis. Zdroj: AVE (2015)	65
Tab. 10: Funkce DMM a požadované parametry. Zdroj: Vlastní práce autora.....	69
Tab. 11: Rozhodovací tabulka výkonnostních testů. Zdroj: Ishizaka a Nemery (2013)....	75
Tab. 12: Prahové hodnoty metody PROMETHEE pro experiment výkonu. Zdroj: Vlastní práce autora	78
Tab. 13: Testovací sestavy. Zdroj: Vlastní práce autora	78
Tab. 14: Medián doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	81
Tab. 15: Přehled kategorií CZ-COICOP. Zdroj: ČSÚ, 2015.....	83
Tab. 16: Členění evaluačních skupin. Zdroj: Vlastní práce autora.....	85
Tab. 17: Kritéria výběru obchodu. Zdroj: Vlastní práce autora	87
Tab. 18: Názvy měst v modelu AVE. Zdroj: Vlastní práce autora	88
Tab. 19: Referenční názvy S-agentů. Zdroj: Vlastní práce autora	89
Tab. 20: Data první a druhé testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora.....	109
Tab. 21: Data třetí a čtvrté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	111
Tab. 22: Data páté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	114
Tab. 23: Data první a druhé testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora.....	117
Tab. 24: Data třetí a čtvrté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora.....	119
Tab. 25: Data páté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora	122
Tab. 26: Data první a druhé testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora.....	125
Tab. 27: Data třetí a čtvrté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora.....	127
Tab. 28: Data páté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora	130
Tab. 29: Medián doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora	133
Tab. 30: Medián doby běhu – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora	133

Tab. 31: Medián doby běhu – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora	133
Tab. 32: Průměr doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora.....	133
Tab. 33: Průměr doby běhu – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora.....	133
Tab. 34: Průměr doby běhu – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora.....	134

Rejstřík pojmů

<i>A</i>		<i>M</i>	
ACE	53	MADM.....	11
Agent.....	52	M-agent.....	60
Agentově-orientované systémy.....	20	Matchmaker.....	60
Agentově-orientované výpočetní ekonomiky ...	53	Maticе vlivu.....	32
ALife	55	MAUT.....	33
AVE.....	57	MCDM.....	8, 11
Axelrod	56	MODM.....	11
<i>B</i>		Multiple-criteria decision-making.....	8
broker.....	59	<i>N</i>	
<i>C</i>		neuronové síť.....	17
C-agenty	58	<i>O</i>	
Case-based reasoning	20	ontologie	57
COL		Outranking.....	37
kolonie	62	Outranking approach	24
<i>D</i>		<i>P</i>	
Distributivní normalizace	41	proces MCDM.....	10
Druhy rozhodování	6	PROMETHEE	37
<i>F</i>		PROMETHEE II	37
F-agent.....	60	<i>R</i>	
Full aggregation approach	24	Rank reversal efekt	47
Fuzzy systémy	19	rozhodovací rámec	3
<i>G</i>		Rozhodování.....	2
Goal, aspiration or refence level approach.....	24	<i>T</i>	
<i>H</i>		TOPSIS.....	41
Herodotus.....	6	třínohá rozhodovací stolička	5
<i>K</i>		<i>V</i>	
KISS	56	Vícekriteriální rozhodování	8
kolonie	62	VIKOR.....	44
<i>L</i>		<i>W</i>	
Lidské rozhodování.....	3	workAgent.....	60
Lineární normalizace	42	WPM.....	25
		WSM.....	24

Příloha A



Obr. 35: Diagram tříd. Zdroj: Vlastní práce autora

Příloha B

Tab. 20: Data první a druhé testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

PC1 – DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
	Test1				Test2			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	1,407	7,490	3,243	1,662	1,406	7,916	3,258	1,629
2	1,021	5,206	0,734	1,054	0,980	5,201	1,715	0,950
3	1,006	5,230	0,743	1,009	0,982	5,197	0,709	0,939
4	0,993	5,227	0,782	1,014	0,981	5,181	0,693	0,957
5	1,020	5,199	0,854	1,035	0,991	5,175	0,685	0,976
6	1,008	5,203	0,907	1,112	0,988	5,227	0,688	0,943
7	0,995	5,216	0,825	1,133	0,971	5,178	0,724	1,139
8	1,019	5,22	0,802	1,074	0,994	5,204	0,749	1,157
9	0,982	5,19	0,795	1,021	0,97	5,159	0,776	1,028
10	0,975	5,253	0,727	1,003	0,974	5,167	0,686	1,01
11	1,009	5,229	0,719	1,045	0,949	5,151	0,712	1,056
12	0,971	5,294	0,804	0,988	0,959	5,187	0,765	1,001
13	0,99	5,329	0,734	1,029	0,94	5,192	0,68	1,028
14	1,028	5,233	0,79	0,983	0,954	5,273	0,728	1,034
15	0,979	5,271	0,806	1,01	0,991	5,222	0,74	0,982
16	0,974	5,279	0,806	0,993	0,948	5,178	0,688	1,013
17	0,957	5,221	0,748	1,033	0,957	5,139	0,714	0,995
18	0,979	5,369	0,762	1,032	0,961	5,166	0,686	1,044
19	1,015	5,226	0,765	1,054	0,97	5,248	0,698	1,026
20	0,994	5,175	0,847	1,093	0,966	5,134	0,706	1
21	0,981	5,232	0,716	1,148	0,959	5,142	0,725	1,096
22	1,003	5,237	0,86	1,133	0,973	5,168	0,707	1,104
23	0,998	5,202	0,747	1,088	0,939	5,137	0,718	1,029
24	0,958	5,321	0,773	1,131	0,973	5,155	0,799	0,982
25	0,981	5,225	0,723	1,094	0,94	5,167	0,716	0,987
26	0,955	5,235	0,783	1,085	0,943	5,181	0,721	1,016
27	0,967	5,219	0,719	1,066	0,938	5,2	0,737	1,006
28	0,959	5,19	0,752	1,077	0,938	5,188	0,732	1,051
29	1,019	5,377	0,717	1,069	0,94	5,181	0,707	1,028
30	1,006	5,237	0,751	1,07	0,933	5,201	0,714	1,047
31	1,011	5,277	0,753	1,093	0,938	5,138	0,747	1,019
32	0,996	5,233	0,752	1,087	0,983	5,164	0,727	0,996
33	1,004	5,26	0,73	1,077	0,957	5,179	0,726	0,995
34	1,024	5,244	0,862	1,053	0,982	5,167	0,755	1,012

35	1,007	5,225	0,747	1,05	0,991	5,16	0,717	0,977
36	0,991	5,221	0,743	1,068	0,967	5,151	0,739	0,988
37	1,009	5,203	0,71	1,106	0,958	5,14	0,719	1,015
38	1,022	5,283	0,845	1,122	1,017	5,22	0,773	1,08
39	1,033	5,556	0,744	1,083	0,992	5,282	0,75	1,015
40	0,996	5,283	0,874	1,055	0,965	5,136	0,725	1,009
41	1,007	5,212	0,735	1,07	0,968	5,13	0,742	1,023
42	1,007	5,225	0,753	1,107	0,965	5,265	0,733	1,002
43	1,008	5,219	0,738	1,081	0,993	5,168	0,706	0,991
44	1,006	5,32	0,78	1,077	0,962	5,15	0,703	0,997
45	1,005	5,273	0,736	1,051	0,965	5,168	0,745	0,983
46	0,993	5,33	0,771	1,035	0,978	5,171	0,733	0,98
47	1,017	5,227	0,719	1,062	0,967	5,156	0,738	0,989
48	0,997	5,214	0,754	1,107	0,968	5,153	0,723	1,033
49	1,002	5,208	0,736	1,043	0,968	5,325	0,709	1,021
50	0,984	5,225	0,745	1,042	0,989	5,159	0,744	0,989
51	1,007	5,412	0,715	1,076	0,961	5,275	0,748	0,996
52	0,996	5,233	0,771	1,022	0,964	5,211	0,71	1,016
53	1,004	5,226	0,726	1,073	0,97	5,16	0,721	0,982
54	0,978	5,229	0,752	1,076	0,983	5,348	0,727	0,992
55	1,009	5,241	0,716	1,065	0,967	5,139	0,726	0,979
56	0,989	5,238	0,778	1,069	0,96	5,16	0,716	1,01
57	1,017	5,23	0,735	1,045	0,978	5,296	0,713	1,066
58	0,981	5,262	0,807	1,105	0,965	5,202	0,775	1,066
59	1,015	5,197	0,722	1,068	0,968	5,145	0,733	0,996
60	1,004	5,245	0,788	1,057	0,979	5,194	0,722	0,997
61	0,998	5,242	0,738	1,067	0,973	5,169	0,716	0,985
62	0,987	5,209	0,75	1,068	0,983	5,152	0,707	0,975
63	1,008	5,268	0,733	1,066	0,968	5,171	0,737	0,989
64	0,992	5,255	0,799	1,078	0,977	5,172	0,724	0,991
65	1,036	5,272	0,742	1,079	0,993	5,197	0,755	1,045
66	0,986	5,24	0,773	1,089	0,966	5,179	0,747	0,992
67	1,029	5,264	0,752	1,119	0,986	5,165	0,743	1,048
68	0,992	5,229	0,765	1,065	0,967	5,165	0,719	0,98
69	1,015	5,228	0,715	1,058	0,965	5,158	0,75	1,007
70	0,995	5,208	0,766	1,075	0,982	5,168	0,728	1,02
71	1,013	5,238	0,714	1,055	0,971	5,139	0,713	1
72	0,992	5,228	0,758	1,059	0,97	5,186	0,706	0,982
73	1,018	5,247	0,743	1,109	0,961	5,196	0,734	1,035
74	0,983	5,229	0,768	1,098	0,987	5,133	0,697	1,037
75	1,044	5,204	0,726	1,08	1,045	5,181	0,736	1,021

76	1,031	5,229	0,763	1,065	0,968	5,183	0,737	1,004
77	1,025	5,237	0,729	1,06	0,972	5,156	0,724	1,004
78	0,99	5,234	0,766	1,039	0,956	5,168	0,723	1,025
79	1,002	5,238	0,709	1,076	0,978	5,099	0,732	0,987
80	1,003	5,219	0,754	1,054	0,967	5,147	0,721	0,972
81	1,012	5,378	0,72	1,062	0,977	5,183	0,726	1,009
82	0,994	5,239	0,758	1,047	0,971	5,155	0,723	1,004
83	1,015	5,217	0,715	1,021	0,964	5,124	0,716	1,004
84	1,003	5,228	0,772	1,042	0,998	5,182	0,729	1,01
85	1,008	5,26	0,736	1,077	0,966	5,153	0,714	1,061
86	0,99	5,246	0,76	1,135	0,975	5,197	0,726	1,021
87	1,008	5,237	0,732	1,065	0,967	5,143	0,731	1,023
88	0,989	5,216	0,769	1,058	0,97	5,188	0,722	1,003
89	1,017	5,259	0,706	1,053	0,997	5,175	0,743	1,035
90	1,025	5,218	0,786	1,084	0,975	5,172	0,746	1,153
91	1,002	5,221	0,721	1,045	0,96	5,187	0,724	0,997
92	0,994	5,226	0,777	1,031	0,965	5,151	0,7	1,025
93	1,089	5,274	0,746	1,084	0,996	5,2	0,764	1,136
94	0,995	5,233	0,756	1,05	0,98	5,132	0,727	1,01
95	1,007	5,236	0,734	1,075	0,972	5,177	0,727	1,007
96	1,01	5,21	0,772	1,101	0,973	5,186	0,799	1,012
97	0,997	5,227	0,718	1,05	0,962	5,169	0,711	1,017
98	0,983	5,227	0,746	1,133	0,972	5,218	0,731	0,986
99	1,01	5,251	0,728	1,058	0,967	5,192	0,746	0,996
100	0,994	5,386	0,759	1,12	0,968	5,153	0,737	0,997

Tab. 21: Data třetí a čtvrté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

PC1 – DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH

	Test3				Test4			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	1,371	7,937	2,039	1,627	1,469	9,000	2,703	1,703
2	0,986	5,193	0,710	1,020	0,969	5,125	0,719	0,954
3	1,002	5,181	0,655	0,983	0,985	5,093	0,703	0,921
4	0,988	5,182	0,658	0,985	0,969	5,047	0,687	0,953
5	1,009	5,154	0,710	0,979	0,969	5,078	0,656	1,016
6	0,992	5,171	0,696	0,992	0,985	5,078	0,687	0,937
7	0,995	5,226	0,784	1,147	0,953	5,094	0,672	1,125
8	1,012	5,232	0,753	1,107	1	5,094	0,829	1,235
9	0,962	5,137	0,689	0,993	0,953	5,063	0,75	1,203
10	0,955	5,172	0,661	0,938	0,922	5,094	0,734	0,938
11	0,985	5,223	0,703	0,991	0,969	5,125	0,688	0,922

PC1 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
12	0,955	5,192	0,698	0,95	0,938	5,16	0,75	0,907
13	0,968	5,258	0,661	0,991	0,953	5,078	0,672	0,953
14	0,951	5,233	0,675	0,961	0,922	5,078	0,75	0,968
15	0,965	5,242	0,738	0,936	0,984	5,078	0,797	0,969
16	0,97	5,227	0,676	0,958	0,953	5,079	0,672	0,968
17	0,948	5,199	0,675	1,041	0,922	5,046	0,719	0,937
18	0,96	5,203	0,641	1,021	0,922	5,093	0,703	0,906
19	0,966	5,232	0,677	1,045	0,953	5,109	0,671	0,938
20	0,989	5,206	0,787	1,176	0,922	5,062	0,703	0,937
21	0,983	5,203	0,727	1,014	0,937	5,063	0,656	0,938
22	0,992	5,206	0,797	1,171	0,938	5,063	0,657	0,906
23	0,949	5,197	0,722	1,08	0,953	5,062	0,704	0,906
24	0,96	5,283	0,721	1,04	0,953	5,063	0,703	0,969
25	0,964	5,25	0,738	1,036	0,969	5,063	0,641	0,938
26	0,954	5,182	0,729	1,069	0,922	5,078	0,64	0,922
27	0,968	5,233	0,724	1,023	0,938	5,109	0,657	0,953
28	0,982	5,209	0,688	0,997	0,922	5,063	0,672	1
29	0,983	5,201	0,718	1,036	0,937	5,062	0,672	0,937
30	0,975	5,191	0,694	1,061	0,921	5,094	0,657	0,954
31	0,984	5,234	0,718	1,058	0,937	5,047	0,688	0,922
32	0,987	5,168	0,7	1,04	0,943	5,062	0,672	0,906
33	0,992	5,206	0,722	1,037	0,937	5,063	0,641	0,891
34	0,979	5,237	0,767	1,004	0,922	5,078	0,703	1,016
35	0,988	5,202	0,734	1,024	0,938	5,031	0,718	0,984
36	0,979	5,202	0,707	1,034	0,922	5,094	0,75	0,953
37	1,012	5,207	0,716	1,053	0,937	5,046	0,703	0,969
38	1,028	5,241	0,786	1,091	0,953	5,094	0,813	1,094
39	1,016	5,236	0,731	1,041	0,953	5,094	0,688	0,984
40	0,981	5,209	0,726	1,002	0,906	5,203	0,734	1,016
41	0,988	5,24	0,764	1,025	0,922	5,078	0,734	0,968
42	0,972	5,227	0,691	0,987	0,922	5,094	0,703	1
43	0,993	5,259	0,693	1,042	0,953	5,094	0,703	0,969
44	0,979	5,162	0,676	1,021	0,937	5,031	0,687	0,942
45	0,982	5,258	0,742	1,036	0,922	5,063	0,75	1,032
46	0,986	5,302	0,691	1,03	0,938	5,062	0,75	0,985
47	0,989	5,249	0,733	1,009	0,922	5,067	0,703	0,985
48	0,988	5,366	0,684	1,031	0,922	5,078	0,766	0,969
49	0,999	5,205	0,709	1,042	0,922	5,063	0,688	0,969
50	0,988	5,208	0,69	1,004	0,953	5,062	0,734	1
51	0,99	5,222	0,713	1,037	0,938	5,125	0,703	0,985

PC1 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
52	0,988	5,208	0,7	1,037	0,922	5,11	0,718	0,969
53	0,997	5,193	0,711	1,017	0,937	5,266	0,703	1,015
54	0,984	5,197	0,697	1,064	0,937	5,203	0,719	0,953
55	0,983	5,197	0,722	1,028	0,938	5,047	0,671	1
56	0,977	5,197	0,691	1,009	0,969	5,125	0,703	0,969
57	0,986	5,284	0,744	1,056	0,953	5,078	0,704	0,969
58	0,992	5,243	0,74	1,049	0,968	5,032	0,734	0,984
59	0,976	5,185	0,748	1,026	0,954	5,078	0,703	1,031
60	0,979	5,193	0,716	1,028	0,953	5,093	0,718	1
61	1,001	5,224	0,708	1,034	0,953	5,219	0,703	1
62	0,965	5,186	0,681	0,997	0,953	5,062	0,704	1
63	0,987	5,215	0,707	1	0,953	5,047	0,75	1,015
64	0,973	5,198	0,74	1,023	0,953	5,047	0,687	1,031
65	1,036	5,196	0,705	1,04	0,984	5,094	0,766	1,031
66	0,979	5,224	0,684	1,009	0,937	5,047	0,719	0,984
67	0,992	5,177	0,744	1,038	0,985	5,062	0,719	0,969
68	0,968	5,215	0,695	1,036	0,937	5,079	0,703	0,969
69	0,998	5,217	0,709	1,058	0,969	5,032	0,687	0,984
70	0,991	5,207	0,721	1,053	0,953	5,047	0,719	1,031
71	0,971	5,201	0,725	1,014	0,953	5,047	0,688	0,969
72	0,982	5,198	0,672	1,162	0,954	5,063	0,718	1
73	0,988	5,205	0,702	1,032	0,953	5,063	0,719	0,985
74	0,975	5,244	0,72	1,027	0,953	5,079	0,703	0,953
75	1,076	5,229	0,708	1,061	0,984	5,078	0,703	1,219
76	0,993	5,174	0,711	1,058	0,937	5,062	0,704	1,015
77	1,003	5,221	0,712	1,05	0,953	5,062	0,703	0,969
78	0,973	5,178	0,695	1,038	0,954	5,078	0,703	0,969
79	1,022	5,211	0,714	1,022	0,969	5,063	0,703	0,984
80	0,984	5,23	0,702	1,008	0,953	5,063	0,719	0,985
81	0,993	5,2	0,733	1,061	0,953	5,062	0,719	0,985
82	0,974	5,229	0,687	1,013	0,968	5,082	0,703	0,938
83	0,982	5,214	0,694	1,05	0,953	5,094	0,703	0,969
84	0,999	5,196	0,746	1,03	0,937	5,046	0,734	1
85	0,998	5,245	0,802	1,059	1	5,047	0,672	0,953
86	0,979	5,236	0,704	0,996	0,969	5,062	0,734	1
87	0,978	5,251	0,737	1,018	0,953	5,078	0,703	0,985
88	0,971	5,188	0,684	1,009	0,953	5,047	0,718	1,031
89	0,974	5,196	0,721	1,026	0,984	5,109	0,703	1,015
90	0,989	5,248	0,757	1,067	0,953	5,063	0,704	1,031
91	0,982	5,191	0,715	1,026	0,969	5,063	0,704	1

PC1 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
92	0,985	5,343	0,72	1,046	0,938	5,047	0,703	0,985
93	0,998	5,242	0,698	1,038	0,985	5,084	0,735	1,015
94	0,994	5,169	0,681	1,026	0,953	5,062	0,734	0,969
95	0,998	5,204	0,737	1,02	0,969	5,079	0,687	0,969
96	0,979	5,215	0,678	1,021	0,937	5,093	0,734	0,984
97	0,982	5,237	0,735	1,024	0,968	5,063	0,703	0,953
98	1,013	5,226	0,71	1,057	1,11	5,187	0,719	0,969
99	0,991	5,178	0,751	1,04	0,969	5,078	0,687	1,016
100	0,969	5,231	0,69	1,035	0,954	5,063	0,719	0,969

Tab. 22: Data páté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

PC1 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
	Test5			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	1,469	8,188	2,689	1,672
2	0,984	5,047	0,719	1,032
3	0,969	5,032	0,703	0,968
4	0,954	5,032	0,703	0,953
5	0,984	5,063	0,703	0,985
6	0,969	5,062	0,75	1,079
7	0,937	5,047	0,844	1,109
8	0,969	5,063	0,781	1,016
9	0,937	5,047	0,734	0,985
10	0,953	5,015	0,688	0,953
11	0,953	5,031	0,735	1
12	0,953	5,078	0,797	0,938
13	0,938	5,078	0,735	1,016
14	0,938	5,015	0,703	0,984
15	0,984	5,015	0,75	1
16	1,001	5,047	0,688	0,984
17	1,016	5,016	0,735	0,968
18	0,937	5,047	0,718	0,969
19	0,953	5,125	0,734	0,922
20	0,938	5	0,672	0,984
21	0,937	5,031	0,703	0,984
22	0,969	5,016	0,656	1,078
23	0,938	5,047	0,75	1,032
24	0,921	5,031	0,704	1,063
25	0,921	5,031	0,718	0,984
26	0,938	5,041	0,687	1,109

PC1 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
27	0,953	5,016	0,719	1
28	0,953	5,015	0,672	1,125
29	0,938	5,079	0,688	1,016
30	0,969	5,031	0,672	1,157
31	0,953	5,031	0,719	1,093
32	0,985	5,109	0,656	1,016
33	0,937	5,016	0,734	1,031
34	0,969	5,016	0,719	1,062
35	0,969	5,016	0,75	1,015
36	0,937	5,032	0,734	0,984
37	0,969	5	0,75	1,016
38	1,015	5,094	0,813	1,109
39	0,969	5,031	0,781	1,031
40	0,953	5	0,719	1,016
41	0,937	5,218	0,781	1,063
42	0,953	5,031	0,719	1,047
43	0,969	5,031	0,765	1,047
44	0,969	5	0,703	0,984
45	0,938	5,047	0,75	1,016
46	0,969	5,015	0,734	1,078
47	0,953	5,047	0,75	1,031
48	0,968	5,047	0,719	1,016
49	0,953	5,032	0,735	1
50	0,969	5,031	0,75	1,032
51	0,937	5,015	0,766	1,047
52	0,969	5	0,703	1,016
53	0,953	5,031	0,796	1,078
54	0,969	5,032	0,718	1
55	0,953	5,031	0,735	1
56	0,969	5,047	0,718	1,016
57	0,953	5,047	0,718	1,078
58	0,953	5,032	0,734	1,047
59	0,937	5	0,75	1
60	0,953	5,047	0,766	1,015
61	0,985	5,047	0,766	1,031
62	0,953	5,034	0,734	0,985
63	0,937	5,032	0,735	1,05
64	0,937	5,016	0,719	1,015
65	0,953	5,062	0,75	1,094
66	0,953	5,031	0,703	1,031

PC1 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
67	0,953	5,022	0,766	1
68	0,953	5,016	0,719	1,016
69	0,938	5,031	0,75	1,078
70	0,969	5,079	0,734	1,031
71	0,953	5,032	0,735	1,047
72	0,954	5,016	0,704	1,047
73	0,938	5,039	0,75	1,047
74	0,953	5,203	0,703	1
75	0,968	5,046	0,75	1,016
76	1,016	5,016	0,703	1,031
77	0,938	5,047	0,766	1,063
78	0,953	5,093	0,703	1,031
79	0,984	5,047	0,734	1,031
80	0,953	5,047	0,703	1,031
81	0,937	5,047	0,765	1,047
82	0,969	5,047	0,719	1
83	0,938	5,031	0,735	1,016
84	0,969	5,062	0,704	1
85	0,937	5	0,734	1,016
86	0,969	5,032	0,734	1,062
87	0,937	5,047	0,735	1,047
88	0,969	5,016	0,718	1,032
89	0,953	5,031	0,75	1,016
90	0,984	5,078	0,75	1,047
91	0,953	5,047	0,766	1,032
92	0,954	5,031	0,703	0,985
93	0,953	5,047	0,75	1,031
94	0,969	5,047	0,703	1,016
95	0,953	5,047	0,734	1
96	0,953	5,047	0,75	1,047
97	0,937	5,032	0,734	1,031
98	0,953	5,046	0,703	1,063
99	0,953	5,047	0,734	1,047
100	0,969	5,031	0,719	1

Tab. 23: Data první a druhé testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora

PC2 – DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
	Test1				Test2			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	1,123	6,365	2,480	1,482	1,045	6,287	2,356	1,170
2	0,780	4,305	0,905	0,858	0,780	4,508	1,560	0,812
3	0,811	4,368	0,561	0,874	0,811	4,461	0,561	0,827
4	0,780	4,352	0,546	0,858	0,780	4,493	0,578	0,811
5	0,795	4,306	0,562	0,889	0,780	4,461	0,531	0,780
6	0,858	4,415	0,64	0,873	0,827	4,618	0,546	0,826
7	0,858	4,618	0,811	0,999	0,796	4,492	0,577	0,843
8	0,827	4,54	0,593	0,936	0,796	4,446	0,608	0,827
9	0,78	4,352	0,624	0,858	0,858	4,384	0,561	0,765
10	0,78	4,352	0,577	0,952	0,795	4,446	0,577	0,811
11	0,812	4,633	0,577	0,874	0,812	4,384	0,577	0,765
12	0,796	4,321	0,593	0,889	0,78	4,446	0,702	0,811
13	0,796	4,352	0,592	0,874	0,812	4,493	0,561	0,811
14	0,78	4,352	0,593	0,905	0,78	4,618	0,577	0,827
15	0,764	4,352	0,593	0,89	0,796	4,524	0,561	0,827
16	0,796	4,368	0,609	0,889	0,796	4,462	0,562	0,796
17	0,78	4,29	0,592	0,873	0,812	4,415	0,53	0,811
18	0,811	4,322	0,577	0,858	0,796	4,446	0,546	0,811
19	0,796	4,321	0,562	0,889	0,812	4,446	0,561	0,796
20	0,764	4,305	0,546	0,858	0,78	4,384	0,546	0,796
21	0,811	4,352	0,656	0,936	0,795	4,477	0,53	0,78
22	0,764	4,337	0,655	0,858	0,764	4,524	0,562	0,827
23	0,796	4,368	0,546	0,889	0,765	4,384	0,578	0,795
24	0,811	4,383	0,608	0,89	0,764	4,446	0,64	0,811
25	0,796	4,384	0,609	0,889	0,843	4,399	0,53	0,796
26	0,78	4,352	0,561	0,873	0,78	4,415	0,562	0,842
27	0,811	4,43	0,53	0,858	0,78	4,493	0,562	0,78
28	0,78	4,368	0,546	0,936	0,796	4,431	0,53	0,827
29	0,812	4,368	0,624	0,858	0,78	4,414	0,546	0,78
30	0,78	4,383	0,592	0,874	0,796	4,477	0,562	0,811
31	0,795	4,446	0,639	0,858	0,765	4,446	0,561	0,827
32	0,795	4,446	0,655	0,905	0,796	4,446	0,546	0,796
33	0,764	4,4	0,656	0,905	0,764	4,384	0,546	0,796
34	0,796	4,368	0,546	0,842	0,795	4,509	0,562	0,765
35	0,78	4,368	0,546	0,843	0,78	4,478	0,546	0,811
36	0,78	4,477	0,561	0,874	0,795	4,493	0,578	0,764
37	0,811	4,336	0,562	0,904	0,78	4,43	0,562	0,796

PC2 - DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
38	0,78	4,539	0,578	0,858	0,811	4,446	0,546	0,78
39	0,796	4,368	0,562	0,905	0,811	4,306	0,562	0,827
40	0,764	4,524	0,562	0,936	0,78	4,275	0,546	0,78
41	0,78	4,384	0,53	0,843	0,78	4,29	0,562	0,78
42	0,795	4,524	0,53	0,936	0,796	4,259	0,546	0,78
43	0,764	4,352	0,561	0,936	0,78	4,29	0,561	0,795
44	0,811	4,508	0,608	0,874	0,795	4,275	0,531	0,78
45	0,78	4,384	0,577	0,858	0,78	4,274	0,562	0,78
46	0,78	4,665	0,718	0,858	0,764	4,274	0,546	0,78
47	0,811	4,524	0,671	0,858	0,78	4,274	0,593	0,827
48	0,796	4,603	0,546	0,858	0,765	4,29	0,546	0,795
49	0,78	4,633	0,562	0,827	0,78	4,29	0,546	0,78
50	0,78	4,68	0,624	0,905	0,795	4,29	0,53	0,795
51	0,764	4,774	0,577	0,874	0,764	4,29	0,531	0,78
52	0,78	4,711	0,67	0,859	0,811	4,274	0,561	0,78
53	0,796	4,836	0,546	0,843	0,749	4,29	0,546	0,796
54	0,765	5,055	0,577	0,842	0,78	4,274	0,546	0,811
55	0,765	4,992	0,577	0,858	0,811	4,368	0,546	0,78
56	0,764	5,179	0,546	0,842	0,843	4,259	0,546	0,796
57	0,764	4,883	0,546	0,827	0,92	4,274	0,546	0,765
58	0,795	4,446	0,546	0,842	0,827	4,306	0,577	0,826
59	0,796	4,383	0,562	0,843	0,874	4,305	0,531	0,795
60	0,78	4,383	0,578	0,858	0,78	4,274	0,546	0,795
61	0,78	4,524	0,546	0,842	0,827	4,259	0,546	0,811
62	0,795	4,462	0,546	0,842	0,765	4,29	0,53	0,796
63	0,765	4,431	0,577	0,842	0,827	4,274	0,546	0,795
64	0,749	4,477	0,593	0,858	0,827	4,274	0,608	0,811
65	0,765	4,431	0,561	0,842	0,811	4,305	0,561	0,812
66	0,764	4,352	0,531	0,843	0,78	4,415	0,514	0,812
67	0,796	4,368	0,531	0,843	0,765	4,321	0,546	0,78
68	0,78	4,383	0,561	0,827	0,765	4,274	0,546	0,795
69	0,764	4,337	0,577	0,843	0,78	4,259	0,546	0,796
70	0,78	4,384	0,577	0,858	0,764	4,29	0,593	0,795
71	0,764	4,337	0,577	0,858	0,764	4,29	0,561	0,811
72	0,78	4,415	0,53	0,858	0,78	4,306	0,546	0,78
73	0,765	4,461	0,578	0,842	0,749	4,275	0,53	0,78
74	0,796	4,508	0,546	0,873	0,812	4,274	0,546	0,78
75	0,78	4,774	0,609	0,921	0,78	4,29	0,531	0,796
76	0,764	4,509	0,578	0,874	0,765	4,259	0,546	0,796
77	0,796	4,446	0,53	0,843	0,78	4,244	0,577	0,78

PC2 - DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
78	0,78	4,415	0,561	0,905	0,78	4,274	0,546	0,78
79	0,78	4,555	0,562	0,873	0,764	4,259	0,53	0,796
80	0,78	4,415	0,592	0,858	0,78	4,274	0,53	0,78
81	0,78	4,352	0,561	0,905	0,764	4,29	0,561	0,827
82	0,796	4,368	0,546	0,921	0,78	4,274	0,546	0,78
83	0,764	4,461	0,562	0,889	0,78	4,275	0,515	0,78
84	0,795	4,352	0,671	0,921	0,764	4,275	0,546	0,78
85	0,765	4,337	0,733	0,889	0,78	4,259	0,546	0,795
86	0,78	4,368	0,749	0,889	0,765	4,306	0,624	0,796
87	0,78	4,337	0,687	0,874	0,749	4,305	0,546	0,811
88	0,795	4,524	0,671	0,874	0,796	4,306	0,546	0,78
89	0,78	4,352	0,655	0,873	0,795	4,306	0,53	0,796
90	0,78	4,336	0,655	0,842	0,764	4,29	0,562	0,812
91	0,78	4,79	0,702	0,873	0,749	4,29	0,562	0,796
92	0,78	4,68	0,733	0,889	0,765	4,29	0,546	0,795
93	0,811	4,883	0,734	0,873	0,764	4,29	0,577	0,827
94	0,826	5,21	0,64	0,874	0,764	4,306	0,53	0,764
95	0,811	4,431	0,639	0,889	0,764	4,322	0,546	0,811
96	0,827	4,524	0,671	0,889	0,796	4,306	0,561	0,78
97	0,796	5,538	0,717	0,905	0,795	4,258	0,546	0,78
98	0,764	5,117	0,67	0,874	0,78	4,29	0,53	0,764
99	0,827	4,804	0,687	0,843	0,765	4,29	0,546	0,842
100	0,811	4,805	0,671	0,858	0,764	4,29	0,561	0,78

Tab. 24: Data třetí a čtvrté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora

PC2 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
	Test3				Test4			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	1,061	6,162	2,278	1,263	1,108	6,615	2,418	1,185
2	0,796	4,306	0,562	0,780	0,780	4,290	1,107	0,780
3	0,811	4,290	0,561	0,796	0,780	4,321	0,578	0,812
4	0,796	4,290	0,593	0,827	0,796	4,321	0,546	0,795
5	0,780	4,274	0,546	0,749	0,811	4,290	0,530	0,811
6	0,812	4,415	0,546	0,796	0,796	4,322	0,546	0,78
7	0,827	4,306	0,655	0,858	0,78	4,321	0,624	0,842
8	0,796	4,275	0,562	0,827	0,827	4,322	0,655	0,827
9	0,749	4,305	0,53	0,78	0,796	4,305	0,561	0,811
10	0,78	4,29	0,561	0,827	0,749	4,305	0,561	0,749
11	0,78	4,275	0,546	0,78	0,78	4,306	0,53	0,78
12	0,78	4,259	0,577	0,78	0,796	4,305	0,592	0,78

PC2 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
13	0,78	4,243	0,53	0,811	0,78	4,29	0,577	0,811
14	0,796	4,305	0,577	0,78	0,765	4,322	0,578	0,811
15	0,765	4,321	0,609	0,812	0,78	4,321	0,546	0,795
16	0,795	4,259	0,577	0,78	0,795	4,29	0,562	0,78
17	0,78	4,259	0,578	0,796	0,795	4,321	0,578	0,811
18	0,78	4,243	0,53	0,78	0,811	4,305	0,608	0,764
19	0,78	4,275	0,546	0,765	0,78	4,305	0,562	0,795
20	0,78	4,306	0,515	0,796	0,796	4,305	0,577	0,78
21	0,749	4,305	0,546	0,78	0,78	4,305	0,515	0,795
22	0,796	4,306	0,562	0,826	0,749	4,305	0,608	0,764
23	0,764	4,244	0,546	0,78	0,795	4,305	0,578	0,827
24	0,795	4,322	0,53	0,811	0,765	4,29	0,546	0,811
25	0,811	4,259	0,578	0,795	0,811	4,305	0,53	0,795
26	0,796	4,259	0,514	0,78	0,795	4,306	0,546	0,764
27	0,765	4,244	0,53	0,796	0,78	4,306	0,546	0,795
28	0,78	4,259	0,546	0,78	0,795	4,306	0,531	0,795
29	0,78	4,275	0,515	0,811	0,764	4,322	0,546	0,78
30	0,764	4,243	0,531	0,796	0,78	4,306	0,561	0,765
31	0,796	4,29	0,562	0,827	0,765	4,337	0,561	0,78
32	0,78	4,274	0,53	0,811	0,78	4,337	0,546	0,78
33	0,765	4,275	0,53	0,764	0,749	4,305	0,546	0,764
34	0,765	4,305	0,53	0,796	0,764	4,337	0,53	0,78
35	0,795	4,275	0,53	0,764	0,764	4,306	0,562	0,796
36	0,764	4,275	0,546	0,795	0,764	4,29	0,546	0,764
37	0,78	4,258	0,561	0,78	0,78	4,306	0,53	0,78
38	0,749	4,306	0,546	0,78	0,764	4,275	0,546	0,78
39	0,796	4,259	0,577	0,78	0,78	4,306	0,561	0,78
40	0,78	4,29	0,546	0,78	0,764	4,29	0,53	0,765
41	0,796	4,275	0,546	0,749	0,795	4,306	0,577	0,78
42	0,796	4,244	0,53	0,765	0,764	4,321	0,546	0,765
43	0,796	4,274	0,546	0,78	0,78	4,305	0,562	0,78
44	0,78	4,306	0,546	0,827	0,78	4,321	0,546	0,765
45	0,796	4,258	0,546	0,796	0,78	4,29	0,562	0,78
46	0,764	4,29	0,546	0,765	0,796	4,29	0,546	0,765
47	0,811	4,274	0,546	0,811	0,811	4,321	0,624	0,827
48	0,78	4,274	0,531	0,78	0,811	4,321	0,53	0,748
49	0,795	4,274	0,546	0,78	0,78	4,29	0,546	0,764
50	0,796	4,259	0,546	0,795	0,78	4,29	0,561	0,764
51	0,78	4,29	0,561	0,796	0,78	4,306	0,561	0,795
52	0,796	4,274	0,546	0,795	0,78	4,306	0,546	0,78

PC2 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
53	0,827	4,258	0,546	0,78	0,795	4,29	0,53	0,764
54	0,764	4,275	0,531	0,764	0,764	4,337	0,531	0,765
55	0,78	4,275	0,562	0,795	0,764	4,29	0,546	0,78
56	0,765	4,274	0,53	0,764	0,796	4,275	0,546	0,765
57	0,78	4,274	0,546	0,764	0,764	4,29	0,561	0,764
58	0,78	4,275	0,593	0,796	0,78	4,306	0,546	0,78
59	0,764	4,29	0,592	0,78	0,78	4,321	0,562	0,78
60	0,78	4,274	0,562	0,796	0,78	4,29	0,562	0,78
61	0,765	4,259	0,561	0,78	0,764	4,29	0,578	0,749
62	0,78	4,275	0,53	0,796	0,795	4,29	0,562	0,78
63	0,765	4,244	0,546	0,811	0,764	4,275	0,546	0,764
64	0,812	4,243	0,546	0,796	0,795	4,321	0,546	0,78
65	0,795	4,321	0,546	0,764	0,827	4,305	0,608	0,78
66	0,765	4,29	0,561	0,795	0,796	4,305	0,546	0,78
67	0,78	4,274	0,561	0,764	0,765	4,274	0,53	0,78
68	0,765	4,29	0,546	0,78	0,78	4,322	0,561	0,78
69	0,796	4,259	0,53	0,765	0,765	4,29	0,577	0,796
70	0,78	4,244	0,546	0,796	0,796	4,29	0,546	0,796
71	0,78	4,274	0,53	0,764	0,765	4,29	0,561	0,764
72	0,78	4,243	0,53	0,78	0,765	4,306	0,561	0,78
73	0,812	4,29	0,546	0,764	0,765	4,29	0,531	0,765
74	0,796	4,258	0,53	0,796	0,78	4,29	0,53	0,795
75	0,765	4,259	0,561	0,796	0,78	4,29	0,546	0,78
76	0,795	4,259	0,53	0,827	0,796	4,305	0,562	0,795
77	0,78	4,306	0,561	0,796	0,78	4,321	0,546	0,796
78	0,765	4,275	0,655	0,765	0,764	4,29	0,546	0,796
79	0,765	4,258	0,546	0,796	0,765	4,274	0,562	0,764
80	0,78	4,306	0,546	0,765	0,795	4,321	0,577	0,811
81	0,78	4,259	0,546	0,796	0,764	4,275	0,577	0,811
82	0,78	4,305	0,531	0,764	0,78	4,29	0,546	0,796
83	0,811	4,259	0,53	0,78	0,78	4,274	0,53	0,78
84	0,795	4,275	0,546	0,78	0,764	4,29	0,531	0,764
85	0,764	4,228	0,546	0,78	0,78	4,29	0,546	0,78
86	0,795	4,274	0,53	0,78	0,78	4,305	0,53	0,796
87	0,78	4,275	0,53	0,795	0,764	4,274	0,562	0,795
88	0,78	4,274	0,546	0,764	0,796	4,29	0,546	0,765
89	0,764	4,259	0,546	0,78	0,765	4,321	0,562	0,796
90	0,765	4,306	0,531	0,78	0,796	4,305	0,546	0,765
91	0,764	4,29	0,53	0,812	0,765	4,29	0,546	0,765
92	0,765	4,337	0,531	0,796	0,764	4,275	0,562	0,796

PC2 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
93	0,765	4,274	0,546	0,796	0,795	4,306	0,546	0,78
94	0,765	4,259	0,531	0,78	0,78	4,306	0,546	0,796
95	0,765	4,306	0,53	0,78	0,78	4,306	0,546	0,764
96	0,796	4,305	0,546	0,796	0,765	4,29	0,561	0,78
97	0,765	4,258	0,515	0,78	0,764	4,321	0,562	0,764
98	0,796	4,337	0,546	0,78	0,795	4,306	0,546	0,795
99	0,795	4,322	0,531	0,78	0,765	4,29	0,53	0,78
100	0,765	4,275	0,546	0,795	0,78	4,305	0,53	0,78

Tab. 25: Data páté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora

PC2 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
	Test5			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	1,077	6,162	2,246	1,201
2	0,780	4,305	1,170	0,780
3	0,811	4,306	0,562	0,796
4	0,780	4,274	0,577	0,780
5	0,796	4,290	0,577	0,749
6	0,812	4,29	0,561	0,827
7	0,765	4,259	0,562	0,795
8	0,795	4,306	0,53	0,826
9	0,78	4,275	0,592	0,796
10	0,796	4,305	0,609	0,796
11	0,827	4,228	0,546	0,78
12	0,764	4,259	0,53	0,765
13	0,795	4,244	0,562	0,78
14	0,795	4,337	0,593	0,811
15	0,78	4,243	0,593	0,765
16	0,78	4,275	0,53	0,78
17	0,795	4,243	0,561	0,78
18	0,765	4,275	0,561	0,796
19	0,796	4,29	0,561	0,78
20	0,796	4,274	0,593	0,78
21	0,795	4,274	0,515	0,795
22	0,765	4,259	0,577	0,78
23	0,795	4,228	0,593	0,796
24	0,796	4,274	0,562	0,78
25	0,812	4,29	0,546	0,795
26	0,796	4,243	0,562	0,78
27	0,812	4,274	0,546	0,765

PC2 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
28	0,812	4,274	0,531	0,796
29	0,811	4,259	0,531	0,811
30	0,795	4,259	0,546	0,764
31	0,78	4,305	0,562	0,811
32	0,796	4,259	0,546	0,78
33	0,78	4,259	0,546	0,764
34	0,796	4,258	0,546	0,796
35	0,78	4,274	0,531	0,796
36	0,796	4,274	0,546	0,795
37	0,765	4,274	0,53	0,78
38	0,78	4,274	0,561	0,796
39	0,765	4,29	0,593	0,795
40	0,796	4,259	0,562	0,796
41	0,78	4,29	0,577	0,78
42	0,796	4,259	0,531	0,78
43	0,764	4,29	0,562	0,78
44	0,795	4,259	0,546	0,748
45	0,796	4,29	0,546	0,795
46	0,764	4,275	0,546	0,78
47	0,796	4,29	0,546	0,795
48	0,795	4,244	0,515	0,764
49	0,78	4,259	0,562	0,796
50	0,795	4,29	0,546	0,78
51	0,795	4,275	0,53	0,796
52	0,78	4,274	0,562	0,78
53	0,796	4,244	0,53	0,811
54	0,796	4,29	0,561	0,795
55	0,765	4,274	0,546	0,78
56	0,765	4,274	0,546	0,796
57	0,795	4,274	0,546	0,749
58	0,78	4,243	0,561	0,78
59	0,827	4,243	0,593	0,78
60	0,764	4,259	0,531	0,795
61	0,78	4,259	0,531	0,796
62	0,78	4,259	0,562	0,765
63	0,78	4,243	0,53	0,796
64	0,78	4,274	0,561	0,78
65	0,812	4,259	0,562	0,827
66	0,795	4,243	0,515	0,764
67	0,796	4,29	0,561	0,78

PC2 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
68	0,78	4,258	0,53	0,764
69	0,78	4,259	0,562	0,78
70	0,78	4,274	0,562	0,78
71	0,796	4,259	0,608	0,78
72	0,78	4,243	0,562	0,811
73	0,812	4,275	0,546	0,78
74	0,796	4,244	0,546	0,78
75	0,812	4,274	0,562	0,811
76	0,796	4,259	0,561	0,796
77	0,795	4,29	0,562	0,78
78	0,78	4,243	0,562	0,78
79	0,764	4,274	0,53	0,78
80	0,796	4,243	0,562	0,78
81	0,796	4,259	0,562	0,795
82	0,796	4,29	0,546	0,78
83	0,78	4,274	0,561	0,78
84	0,749	4,274	0,53	0,764
85	0,796	4,259	0,546	0,78
86	0,796	4,274	0,577	0,78
87	0,811	4,29	0,561	0,796
88	0,795	4,274	0,546	0,795
89	0,78	4,259	0,561	0,78
90	0,811	4,274	0,562	0,78
91	0,78	4,259	0,546	0,764
92	0,796	4,259	0,546	0,78
93	0,796	4,29	0,561	0,795
94	0,827	4,243	0,546	0,796
95	0,764	4,258	0,546	0,765
96	0,78	4,275	0,562	0,765
97	0,78	4,259	0,53	0,764
98	0,796	4,259	0,593	0,764
99	0,78	4,259	0,546	0,765
100	0,795	4,274	0,546	0,78

Tab. 26: Data první a druhé testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora

PC3 – DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
	Test1				Test2			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	2,564	9,078	5,678	2,999	2,659	8,761	6,841	4,252
2	1,520	5,427	1,249	1,688	1,684	5,415	1,775	2,576
3	1,521	5,410	1,242	1,717	1,767	5,426	1,859	2,753
4	1,500	5,483	1,275	1,639	1,617	5,374	1,838	2,578
5	1,549	5,455	1,216	1,625	1,702	5,360	1,873	2,624
6	1,508	5,44	1,305	1,62	1,705	5,618	1,982	2,604
7	1,944	5,448	1,27	1,664	1,933	5,339	1,891	2,534
8	1,8	5,422	1,547	1,687	2,07	5,396	1,9	2,682
9	1,609	5,45	1,437	1,807	1,879	5,44	2,216	3,222
10	1,593	5,464	1,234	1,789	1,916	5,592	2,233	3,258
11	1,68	5,436	1,428	1,695	1,852	5,799	1,946	2,624
12	1,673	5,52	1,312	1,789	1,991	5,708	1,9	2,635
13	1,703	5,408	1,315	1,836	1,87	5,737	1,991	2,628
14	1,73	5,413	1,276	1,755	1,975	5,824	1,965	2,67
15	1,74	5,422	1,385	1,797	1,898	5,689	1,957	2,671
16	1,782	5,397	1,334	1,824	2,068	5,889	1,986	2,619
17	1,726	5,428	1,308	1,836	1,979	6,091	1,93	2,611
18	1,715	5,399	1,286	1,838	1,92	6,006	1,936	2,572
19	1,761	5,564	1,426	1,948	1,909	6,081	2,018	2,992
20	1,671	5,341	1,389	2,063	1,989	5,949	1,944	2,763
21	1,762	5,345	1,375	1,907	2,012	5,844	1,905	2,638
22	1,874	5,507	1,677	2,032	2,152	6,495	1,986	2,609
23	1,782	5,51	1,439	1,998	2,003	6,103	2,029	2,683
24	1,838	5,703	1,388	2,009	1,933	6,362	1,961	2,562
25	1,879	5,396	1,453	1,994	1,928	6,183	2	2,801
26	1,802	6,255	1,411	2,448	1,964	6,269	2,137	2,575
27	1,739	5,74	1,41	2,014	2,004	6,143	1,912	2,584
28	1,754	5,451	1,363	2,072	2,146	6,279	1,942	2,639
29	1,777	5,428	1,416	2,018	2,144	6,24	1,86	2,595
30	1,746	5,466	1,38	2,07	1,952	6,196	1,984	2,607
31	1,8	5,455	1,487	2,235	2,032	6,449	1,89	2,656
32	1,813	5,481	1,436	2,14	2,145	6,373	2,026	2,544
33	1,785	5,409	1,398	2,125	2,064	6,3	1,862	2,599
34	1,814	5,478	1,508	2,742	2,059	6,477	1,926	2,576
35	1,805	5,499	1,455	2,257	1,997	6,445	1,891	2,662
36	1,91	5,482	1,437	2,205	2,015	6,251	1,973	2,599
37	2,232	5,524	1,53	2,218	2,078	6,348	2,034	2,586

PC3 - DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
38	1,781	5,504	1,44	2,205	1,995	6,41	1,877	2,532
39	1,813	5,549	1,496	2,315	2,075	6,405	1,891	2,677
40	1,884	5,547	1,409	2,237	1,97	6,785	1,948	2,667
41	1,752	5,629	1,486	2,529	1,995	6,625	1,858	2,669
42	1,897	5,601	1,476	2,249	1,963	6,414	1,873	2,539
43	1,797	5,628	1,517	2,267	1,983	6,405	1,916	2,588
44	1,837	5,759	1,56	2,215	1,952	6,61	1,916	2,65
45	2,03	5,585	1,503	2,204	1,965	6,481	1,871	2,585
46	2,072	5,607	1,509	2,206	2,086	6,4	1,919	2,688
47	2,016	5,799	1,552	2,218	2,001	6,545	1,956	2,667
48	1,855	5,69	1,488	2,255	2,039	6,487	1,947	2,653
49	1,79	5,756	1,52	2,24	2,053	6,554	1,861	2,662
50	1,92	5,745	1,515	2,228	2,082	6,53	1,876	2,621
51	1,9	5,683	1,533	2,406	2,084	6,849	1,971	2,729
52	1,852	5,725	1,548	2,319	2,03	6,556	1,957	2,624
53	1,882	5,817	1,536	2,217	2,092	6,85	1,864	2,584
54	1,891	5,904	1,538	2,331	1,977	6,55	1,973	2,555
55	1,774	6,198	1,555	2,318	2,012	6,601	1,912	2,645
56	1,857	6,549	1,551	2,303	2,064	6,643	1,911	2,586
57	1,809	6,52	1,575	2,336	2,056	6,532	1,963	2,653
58	1,877	6,401	1,547	2,296	2,053	6,59	1,98	2,651
59	1,808	6,243	1,56	2,376	2,096	6,568	1,942	2,652
60	1,842	6,338	1,583	2,304	1,958	6,527	1,96	2,637
61	1,852	6,415	1,562	2,304	2,03	6,489	1,931	2,666
62	1,869	6,341	1,604	2,401	2,02	6,582	1,949	2,63
63	1,883	5,959	1,645	2,468	2,097	6,78	1,995	2,623
64	1,9	5,855	1,617	2,437	2,089	6,641	2,024	2,608
65	1,882	6,053	1,614	2,389	2,046	6,649	1,945	2,597
66	1,817	6,108	1,616	2,315	2,073	6,537	1,919	2,586
67	1,858	5,886	1,632	2,248	1,978	6,589	1,927	2,555
68	1,868	5,922	1,616	2,395	1,995	6,722	1,958	2,588
69	1,898	6,093	1,557	2,387	2,032	6,649	1,937	2,522
70	1,885	6,068	1,736	2,363	2,086	6,756	1,983	2,535
71	1,826	6,269	1,675	2,306	2,093	6,588	1,93	2,587
72	1,872	6,017	1,643	2,353	2,107	6,588	2,01	2,639
73	1,846	6,285	1,629	2,324	2,098	6,846	1,918	2,609
74	1,858	6,047	1,646	2,305	2,043	6,601	1,95	2,563
75	1,795	6,15	1,625	2,4	2,033	6,628	2,019	2,567
76	1,939	6,372	1,673	2,379	2,122	6,64	1,958	2,59
77	1,975	6,061	1,656	2,318	2,106	6,668	1,994	2,599

PC3 - DATA PRVNÍ A DRUHÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
78	1,864	6,088	1,687	2,404	2,006	6,617	2,001	2,57
79	1,883	6,201	1,698	2,41	2,125	6,667	1,943	2,652
80	1,944	6,223	1,729	2,448	2,064	6,661	1,981	2,607
81	1,883	6,125	1,613	2,381	2,083	6,738	1,893	2,611
82	1,897	5,994	1,659	2,481	2,048	6,9	1,918	2,643
83	1,869	6,086	1,64	2,336	2,156	6,849	1,962	2,591
84	1,954	6,186	1,698	2,347	1,99	6,692	1,921	2,635
85	1,871	6,135	1,694	2,313	2,1	6,754	1,906	2,63
86	1,881	6,152	1,714	2,327	1,991	6,815	1,88	2,594
87	1,837	6,246	1,693	2,318	2,1	6,778	1,935	2,579
88	1,857	6,174	1,602	2,409	2,065	6,747	1,869	2,545
89	1,858	6,234	1,657	2,49	2,101	6,746	2,009	2,598
90	1,87	6,151	1,633	2,402	2,115	6,791	1,926	2,589
91	1,856	6,28	1,661	2,408	2,008	7,391	1,926	2,643
92	1,844	6,179	1,668	2,379	2,075	7,071	1,884	2,607
93	1,957	6,062	1,674	2,46	2,145	7,172	2,001	2,642
94	1,878	6,103	1,623	2,403	2,146	7,263	2,041	2,589
95	1,909	6,212	1,717	2,356	2,064	7,417	1,89	2,632
96	1,865	6,08	1,719	2,482	2,113	8,253	1,964	2,692
97	2,004	6,455	1,714	2,366	2,206	8,555	2,096	2,621
98	1,857	6,182	1,714	2,428	2,068	6,877	1,993	2,579
99	1,906	6,255	1,629	2,46	2,003	6,94	1,961	2,622
100	1,982	6,198	1,719	2,414	2,19	7,073	2,011	2,674

Tab. 27: Data třetí a čtvrté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora

PC3 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
	Test3				Test4			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	2,150	9,803	6,110	2,712	5,289	8,950	4,900	4,917
2	2,237	5,958	1,561	1,774	3,183	5,410	1,272	2,745
3	2,197	6,019	1,661	1,688	2,746	5,406	1,175	2,793
4	2,288	6,168	1,580	1,645	2,715	5,397	1,203	3,027
5	2,344	6,280	1,640	1,690	2,917	5,477	1,179	2,808
6	1,759	6,427	1,7	1,621	3,261	5,383	1,331	3,043
7	1,943	6,537	1,63	1,722	3,182	5,414	1,218	2,808
8	1,96	6,788	1,639	1,762	2,293	5,435	1,275	2,917
9	1,802	6,669	1,761	1,792	2,325	5,352	1,562	2,714
10	1,812	6,981	1,748	1,775	2,185	5,443	1,672	2,839
11	1,854	6,865	2,031	1,759	2,278	5,498	1,577	2,668
12	1,88	6,895	1,717	1,759	2,435	5,444	1,325	2,793

PC3 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
13	1,886	7,252	1,721	1,841	2,356	5,473	1,413	2,73
14	1,95	6,956	1,707	1,792	2,419	5,487	1,474	2,73
15	1,955	6,954	1,989	1,853	2,793	5,786	1,447	2,777
16	1,927	6,993	1,753	1,871	2,558	5,815	1,486	2,73
17	1,949	6,913	1,886	1,857	2,59	5,608	1,526	2,808
18	1,961	7,764	1,823	2,018	2,558	5,707	1,48	2,855
19	1,978	7,347	2,66	1,93	2,746	5,673	1,501	2,715
20	1,992	6,993	2,164	1,995	2,293	5,799	1,475	2,823
21	1,959	6,907	1,896	2,029	2,231	5,807	1,508	2,637
22	1,977	7,017	1,882	2,04	2,075	6,311	1,643	2,714
23	1,968	7,054	1,853	2,147	2,418	6,119	1,679	2,73
24	2,059	7,064	1,932	2,043	2,075	6,101	1,644	2,778
25	1,992	7,241	1,806	2,103	2,059	6,187	1,552	2,917
26	2,144	6,985	1,903	2,096	1,981	6,154	1,519	2,777
27	2,005	6,952	1,97	2,093	2,043	6,229	1,537	2,902
28	2,071	7,202	1,989	2,128	2,043	6,279	1,627	2,839
29	2,021	7,169	1,992	2,079	2,044	6,378	1,659	2,777
30	2,039	7,186	1,949	2,286	2,028	6,468	1,645	2,777
31	1,962	7,052	1,998	2,227	1,997	6,633	1,613	2,761
32	2,11	7,068	1,891	2,351	1,997	6,774	1,612	2,776
33	2,179	8,168	1,832	2,287	1,982	6,571	1,621	2,746
34	2,128	7,595	1,886	2,34	2,121	6,638	1,683	2,777
35	2,047	7,205	1,825	2,316	2,028	6,82	1,621	2,761
36	2,255	7,276	1,887	2,273	1,996	6,7	1,694	2,792
37	2,084	7,332	1,98	2,41	2,075	6,815	1,714	2,886
38	2,151	7,121	1,891	2,461	1,998	6,664	1,584	2,793
39	2,11	7,022	1,938	2,355	1,997	6,862	1,617	2,808
40	2,067	7,036	1,959	2,313	2,153	6,69	1,63	2,714
41	2,173	7,183	1,949	2,483	1,997	6,829	1,723	2,73
42	2,118	7,147	1,884	2,405	2,028	6,732	1,735	2,745
43	2,177	7,105	1,883	2,45	2,012	6,875	1,79	2,73
44	2,103	7,064	1,92	2,512	2,231	6,964	1,808	2,761
45	2,073	7,091	1,97	2,417	2,246	7,002	1,671	2,995
46	2,187	7,083	1,938	2,415	1,997	6,897	1,798	3,104
47	2,025	7,174	1,91	2,432	2,09	6,855	1,672	3,853
48	2,168	7,212	1,858	2,511	1,966	7,191	1,73	3,681
49	2,081	7,173	1,907	2,474	2,028	6,933	1,787	3,416
50	2,144	7,08	1,982	2,523	2,09	6,969	1,869	3,09
51	2,246	7,265	1,982	2,612	2,043	6,883	1,726	3,151
52	2,166	7,319	1,973	2,597	2,013	6,942	1,828	2,761

PC3 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
53	2,707	7,105	1,97	2,547	2,106	6,931	1,745	2,808
54	2,143	7,403	1,952	2,516	1,965	7,033	1,982	2,948
55	2,082	7,174	1,869	2,482	2,028	7,09	1,819	2,871
56	2,251	7,082	1,987	2,644	2,028	6,934	1,911	2,84
57	2,192	7,135	2,07	2,46	1,95	7,022	1,953	3,089
58	2,208	7,37	1,942	2,789	1,981	7,272	2,524	3,027
59	2,264	7,112	1,962	2,567	1,981	7,314	1,844	3,073
60	2,114	7,284	2,011	2,451	1,996	7,945	1,823	2,855
61	2,113	7,114	1,882	2,656	1,981	9,671	1,89	2,823
62	2,105	7,157	1,971	2,527	2,013	9,782	2,432	2,761
63	2,073	7,223	1,947	2,633	2,09	9,834	2,625	2,732
64	2,06	7,414	1,951	2,697	2,059	9,536	1,829	2,717
65	2,154	7,295	1,928	2,645	2,106	9,065	1,855	2,714
66	2,158	7,15	2,003	2,669	1,966	7,291	1,792	2,7
67	2,107	7,123	1,939	2,476	1,981	7,296	1,844	3,059
68	2,37	7,348	2,017	2,66	1,981	7,478	2,097	3,136
69	2,158	7,131	1,959	2,612	1,981	7,283	1,824	3,4
70	2,178	7,541	1,99	2,547	2,028	7,218	1,924	3,167
71	2,101	7,145	2,008	2,485	1,981	7,286	1,863	3,229
72	2,271	7,13	1,999	2,642	1,95	7,33	1,805	3,229
73	2,063	7,302	1,923	2,703	2,028	7,426	2,049	3,619
74	2,122	7,159	1,948	2,619	2,137	7,217	1,843	3,135
75	2,173	7,505	1,903	2,645	2,075	7,164	1,86	3,604
76	2,133	7,183	1,94	2,574	2,449	7,335	1,836	3,105
77	2,128	7,234	2,039	2,684	2,09	7,162	1,905	3,417
78	2,288	7,166	1,963	2,684	2,075	7,071	2,095	3,386
79	2,129	7,229	1,959	2,669	2,059	7,221	1,878	2,933
80	2,158	7,177	1,943	2,684	2,059	7,155	1,847	2,855
81	2,182	7,112	1,881	2,717	2,059	7,108	2,014	2,839
82	2,136	7,251	1,915	2,722	2,012	7,263	1,892	2,776
83	2,152	7,715	2,019	2,517	2,091	7,226	1,906	2,792
84	2,135	7,214	1,99	2,754	1,981	7,282	1,884	2,761
85	2,073	7,089	1,911	2,511	2,137	7,151	1,861	2,793
86	2,166	7,191	1,997	2,717	2,184	7,538	1,887	2,747
87	2,086	7,404	2,009	2,704	2,09	7,314	1,901	2,714
88	2,124	7,261	2,047	2,762	2,075	7,463	1,872	2,745
89	2,036	7,256	1,948	2,616	2,184	7,384	1,905	2,714
90	2,147	7,116	1,957	2,664	2,121	7,254	2,042	2,699
91	2,128	7,298	2,018	2,622	2,137	7,273	1,931	2,699
92	2,134	7,371	2,02	2,647	2,153	7,593	1,893	2,761

PC3 - DATA TŘETÍ A ČTVRTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH								
93	2,184	7,277	2,061	2,765	2,169	7,529	2,104	2,731
94	2,301	7,234	2,008	2,73	2,184	7,292	1,865	2,762
95	2,16	7,325	2,045	2,647	2,153	7,285	1,937	2,698
96	2,209	7,305	2,017	2,673	2,106	7,305	2,126	2,746
97	2,308	7,267	1,981	2,704	2,091	7,416	1,99	2,715
98	2,228	7,427	2,064	2,741	2,153	7,806	2,061	2,73
99	2,179	7,223	2,098	2,798	2,028	7,427	2,116	2,683
100	2,174	7,175	2,059	2,639	2,527	7,393	2,041	2,683

Tab. 28: Data páté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora

PC3 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
	Test5			
	WPM	TOPSIS	VIKOR	PROMETHEE
1	4,883	10,078	5,540	4,796
2	3,120	6,006	1,280	2,902
3	3,198	6,177	1,311	2,823
4	2,418	6,318	1,452	2,839
5	2,402	6,567	1,420	2,949
6	2,402	6,677	1,53	2,917
7	2,714	6,677	1,513	2,73
8	2,356	6,895	1,622	3,244
9	2,731	7,082	1,779	3,354
10	2,386	6,958	1,7	2,903
11	2,387	7,114	1,669	2,918
12	2,309	7,066	1,951	2,98
13	2,449	7,238	1,717	2,948
14	2,278	7,332	1,702	2,932
15	2,277	7,269	1,733	2,964
16	2,277	7,145	1,748	2,855
17	2,277	7,582	1,778	2,903
18	2,278	7,909	1,763	2,933
19	2,356	7,94	1,81	2,964
20	2,278	7,255	1,825	2,855
21	2,231	7,566	1,841	2,98
22	2,262	7,394	1,872	2,948
23	2,215	7,566	1,873	2,964
24	2,246	7,488	1,981	2,87
25	2,215	7,628	1,825	2,886
26	2,215	7,426	1,903	2,871
27	2,2	7,378	1,904	3,073

PC3 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
28	2,215	7,503	1,887	2,87
29	2,231	7,691	1,935	2,762
30	2,277	7,441	1,918	2,901
31	2,231	8,315	1,95	2,933
32	2,246	7,723	1,981	2,87
33	2,278	7,597	2,028	2,745
34	2,293	7,691	1,965	3,012
35	2,231	7,535	1,951	2,964
36	2,246	7,457	1,904	3,089
37	2,324	7,753	2,091	3,168
38	2,293	7,49	1,919	2,964
39	2,262	7,613	2,169	2,964
40	2,574	7,348	1,903	2,761
41	2,308	7,41	1,982	2,948
42	2,184	7,55	1,934	2,902
43	2,215	7,488	1,997	2,948
44	2,2	7,566	1,935	2,964
45	2,184	7,38	2,059	2,856
46	2,278	7,581	2,075	2,745
47	2,184	7,535	2,028	2,948
48	2,184	7,628	2	2,761
49	2,168	7,521	2,012	2,886
50	2,231	7,644	1,95	2,902
51	2,293	7,629	1,997	2,995
52	2,231	7,566	1,981	2,902
53	2,184	7,488	2,09	2,746
54	2,169	7,644	2,231	2,979
55	2,215	7,472	2,106	2,979
56	2,277	7,535	2,012	2,902
57	2,324	7,785	2,028	2,933
58	2,2	7,753	2,013	2,901
59	2,2	7,472	2,137	2,699
60	2,262	7,63	2,06	2,856
61	2,184	7,644	1,981	2,823
62	2,184	7,847	1,966	3,026
63	2,137	7,473	2,09	2,933
64	2,277	7,675	2,044	2,934
65	2,184	7,706	2,059	2,948
66	2,153	7,504	2,153	2,919
67	2,152	7,519	1,997	2,901

PC3 - DATA PÁTÉ TESTOVÉ ITERACE. ČAS V SEKUNDÁCH				
68	2,231	7,613	2,028	2,886
69	2,169	7,769	2,059	2,886
70	2,278	7,566	2,043	2,95
71	2,184	7,675	2,091	2,887
72	2,402	7,582	2,043	2,839
73	3,104	7,537	2,153	2,917
74	2,184	7,535	2,043	2,995
75	2,293	7,629	2,2	2,887
76	2,278	7,536	2,028	2,855
77	2,199	7,534	2,075	3,307
78	2,511	7,552	2,152	3,042
79	2,324	7,566	2,403	2,948
80	2,277	7,91	2,06	2,964
81	2,278	7,519	1,95	2,964
82	2,325	7,707	2,06	2,933
83	2,231	7,644	1,95	3,026
84	2,246	7,519	2,231	2,871
85	2,153	7,519	2,106	2,854
86	2,231	7,566	2,106	3,135
87	2,278	7,522	2,012	3,073
88	2,293	7,675	2,231	2,855
89	2,262	7,629	2,059	2,917
90	2,277	7,583	2,044	2,949
91	2,153	7,52	2,044	2,933
92	2,247	7,55	2,137	2,901
93	2,309	7,582	2,168	2,917
94	2,231	7,791	2,028	3,135
95	2,199	7,878	2,169	3,401
96	2,387	7,754	2,138	3,198
97	2,23	7,659	2,247	3,26
98	2,246	7,722	2,137	3,604
99	2,152	7,956	2,153	3,588
100	2,293	7,598	2,2	3,308

Tab. 29: Medián doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

PC1 – MEDIÁN DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	1,00	0,97	0,98	0,95	0,95
TOPSIS	5,23	5,17	5,21	5,08	5,03
VIKOR	0,75	0,73	0,71	0,70	0,73
PROMETHEE	1,07	1,01	1,03	0,97	1,02

Tab. 30: Medián doby běhu – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora

PC2 – MEDIÁN DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	0,78	0,78	0,78	0,78	0,80
TOPSIS	4,42	4,31	4,28	4,31	4,27
VIKOR	0,58	0,55	0,55	0,55	0,56
PROMETHEE	0,87	0,80	0,78	0,78	0,78

Tab. 31: Medián doby běhu – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora

PC3 – MEDIÁN DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	1,86	2,04	2,13	2,08	2,26
TOPSIS	5,81	6,55	7,17	6,97	7,56
VIKOR	1,55	1,94	1,95	1,80	2,01
PROMETHEE	2,30	2,62	2,48	2,79	2,93

Tab. 32: Průměr doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora

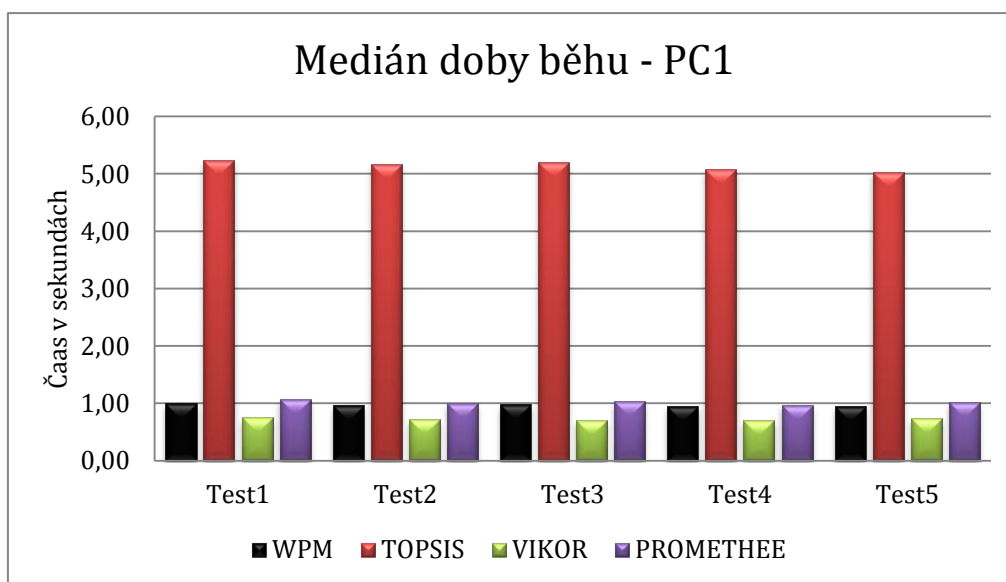
PC1 – PRŮMĚR DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	1,01	0,97	0,99	0,96	0,96
TOPSIS	5,27	5,21	5,24	5,12	5,07
VIKOR	0,78	0,76	0,73	0,73	0,75
PROMETHEE	1,07	1,02	1,04	0,99	1,03

Tab. 33: Průměr doby běhu – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora

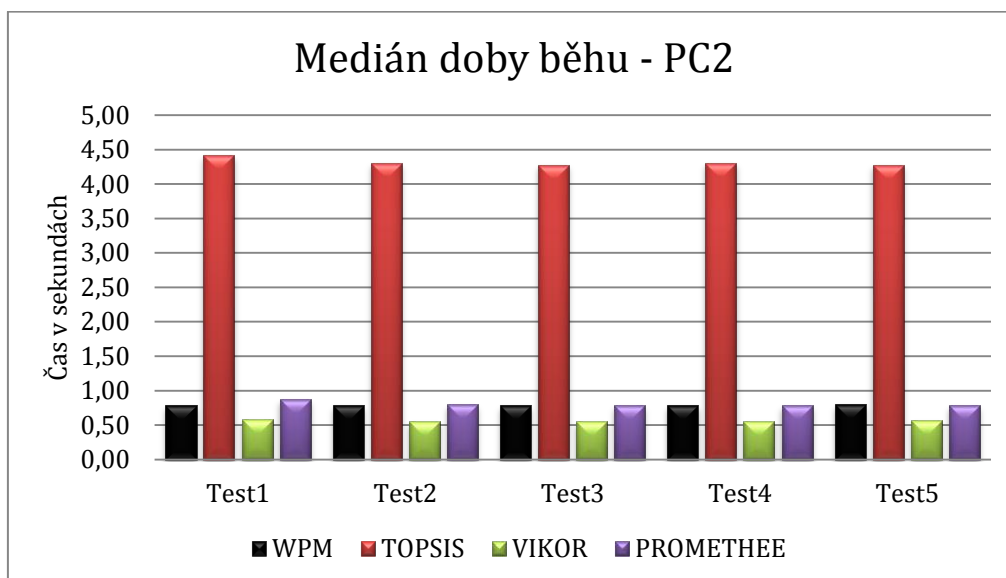
PC – PRŮMĚR DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	0,79	0,79	0,78	0,78	0,79
TOPSIS	4,52	4,37	4,30	4,33	4,29
VIKOR	0,62	0,58	0,57	0,58	0,58
PROMETHEE	0,88	0,80	0,79	0,79	0,79

Tab. 34: Průměr doby běhu – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora

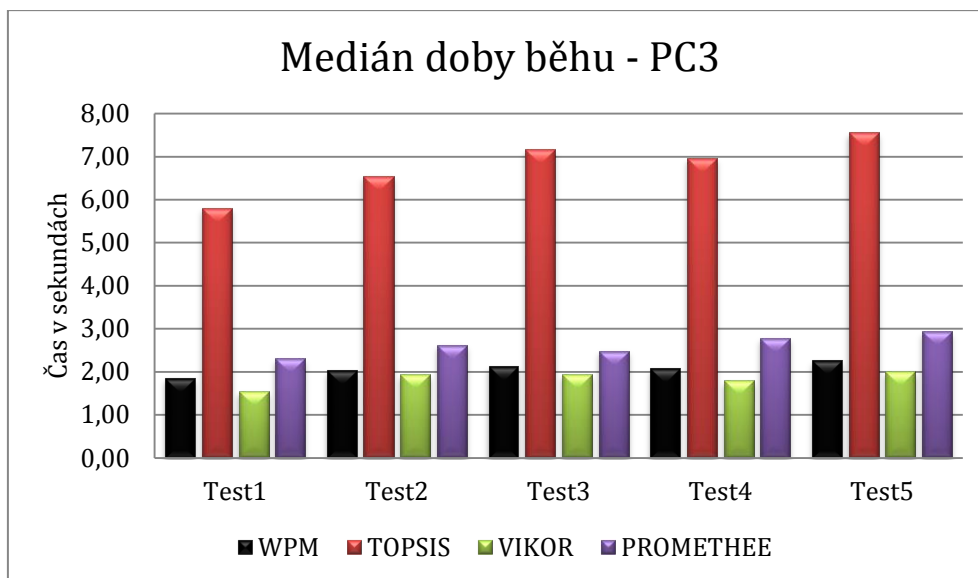
PC3 – PRŮMĚR DOBY BĚHU V SEKUNDÁCH					
Sestava/Test	Test1	Test2	Test3	Test4	Test5
WPM	1,84	2,03	2,11	2,21	2,32
TOPSIS	5,87	6,49	7,16	6,88	7,51
VIKOR	1,57	2,00	1,97	1,79	2,00
PROMETHEE	2,21	2,65	2,38	2,91	2,98



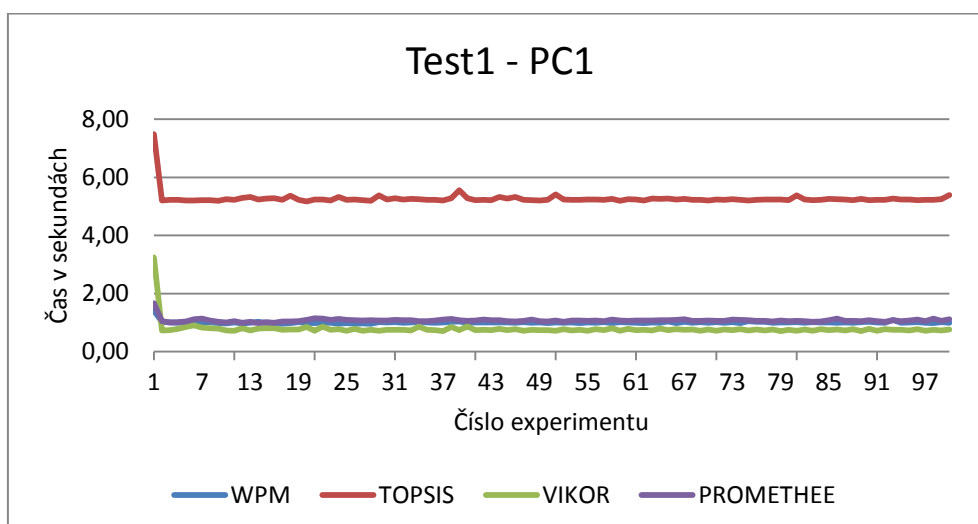
Obr. 36: Medián doby běhu – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



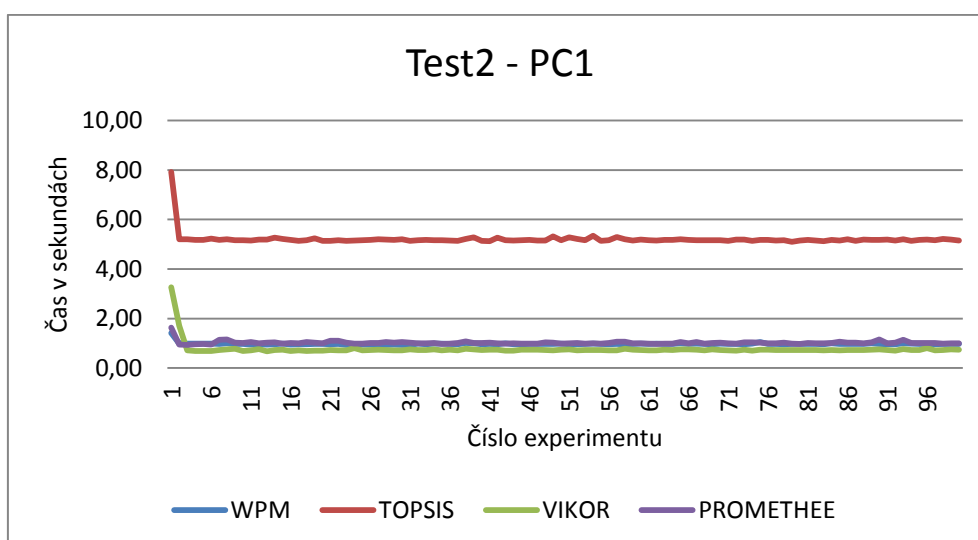
Obr. 37: Medián doby běhu – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora



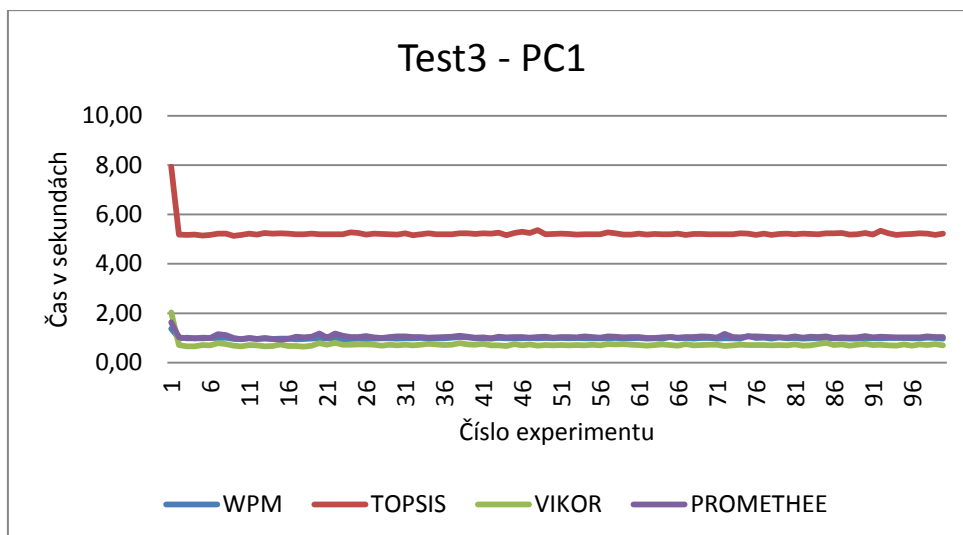
Obr. 38: Medián doby běhu – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora



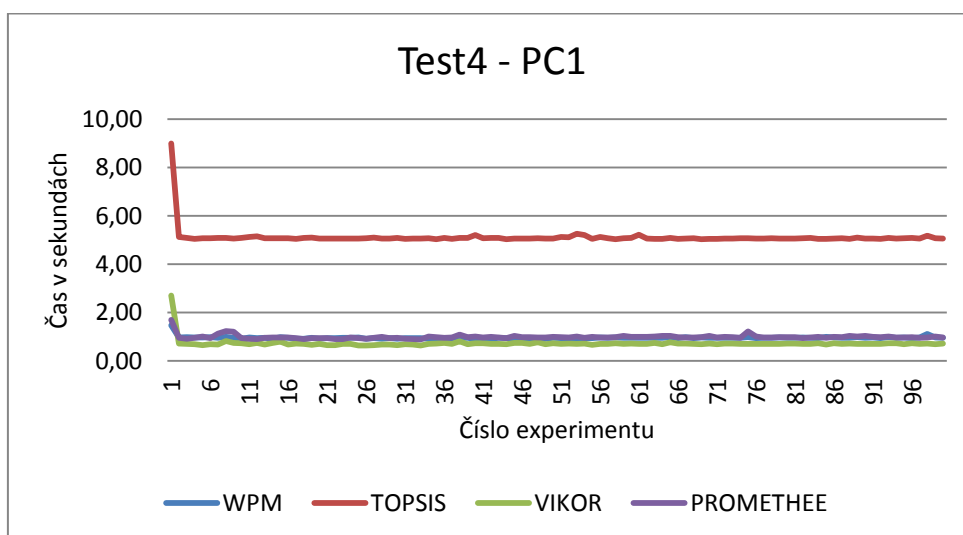
Obr. 39: Průběh první testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



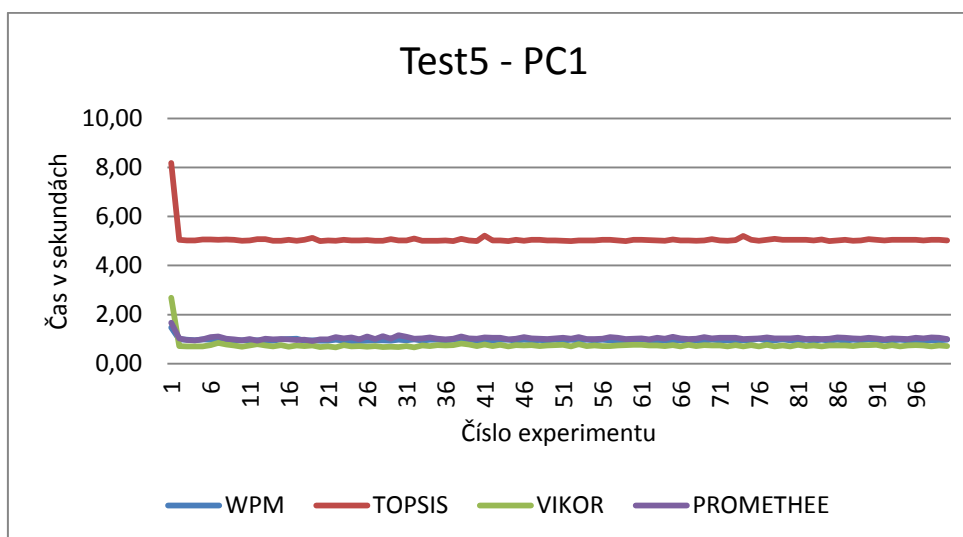
Obr. 40: Průběh druhé testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



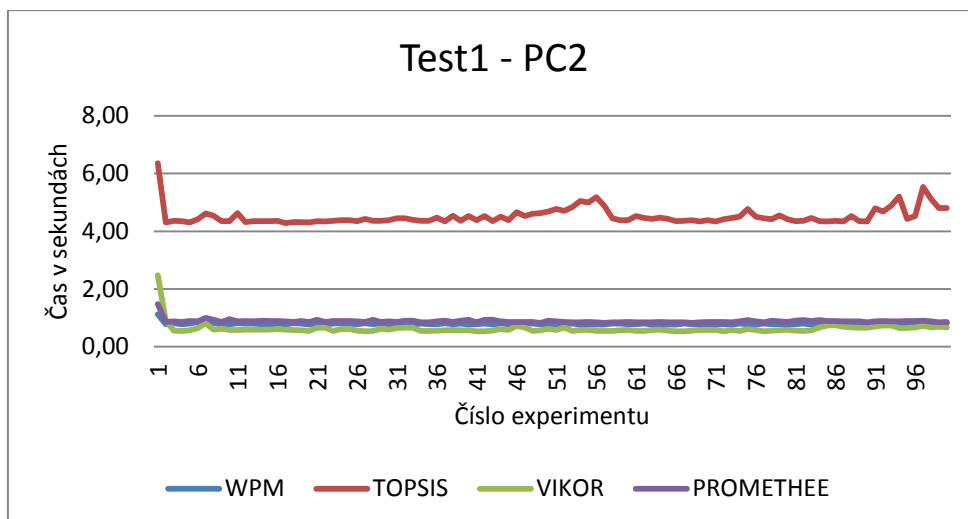
Obr. 41: Průběh třetí testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



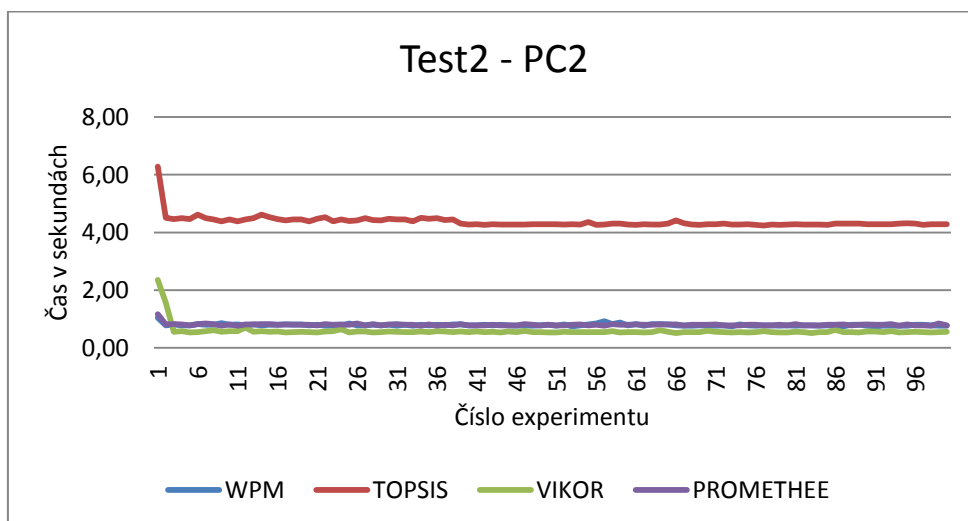
Obr. 42: Průběh čtvrté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



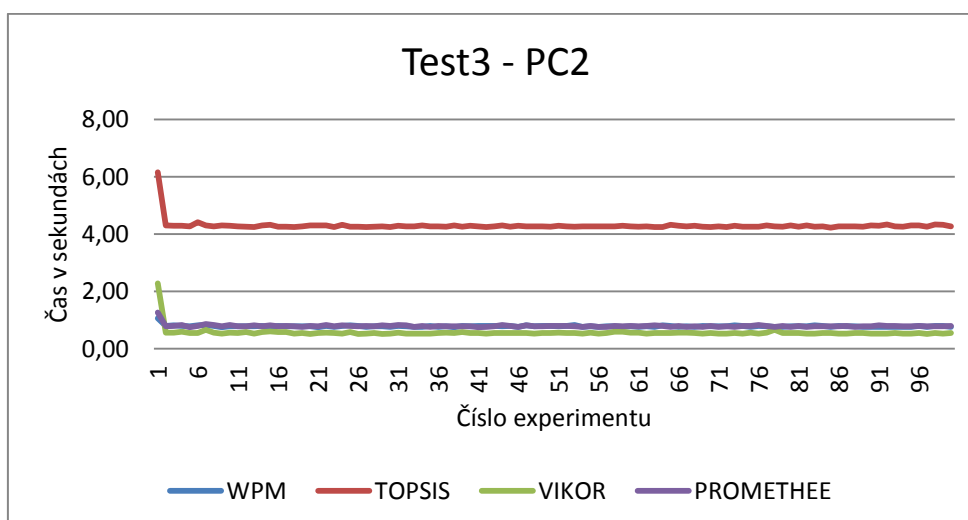
Obr. 43: Průběh páté testové iterace – PC1. Zdroj: Vlastní práce autora



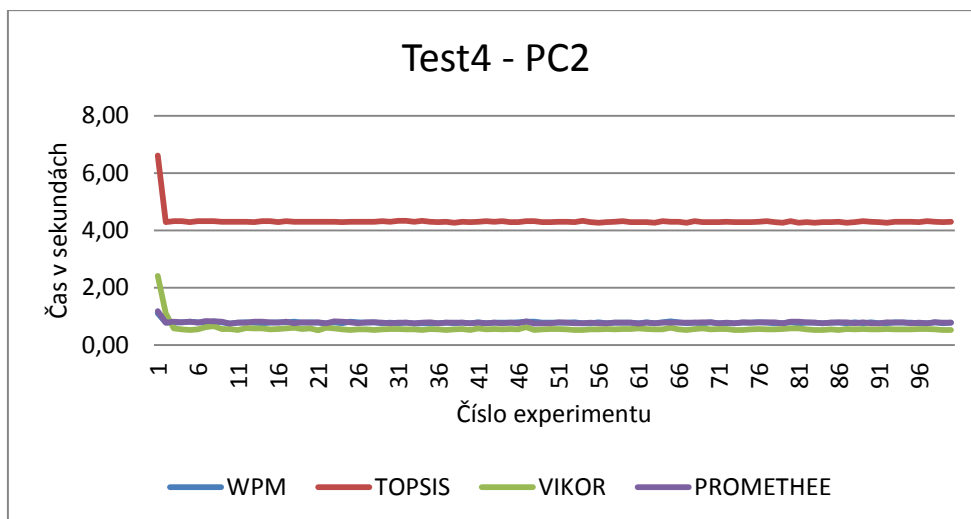
Obr. 44: Průběh první testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora



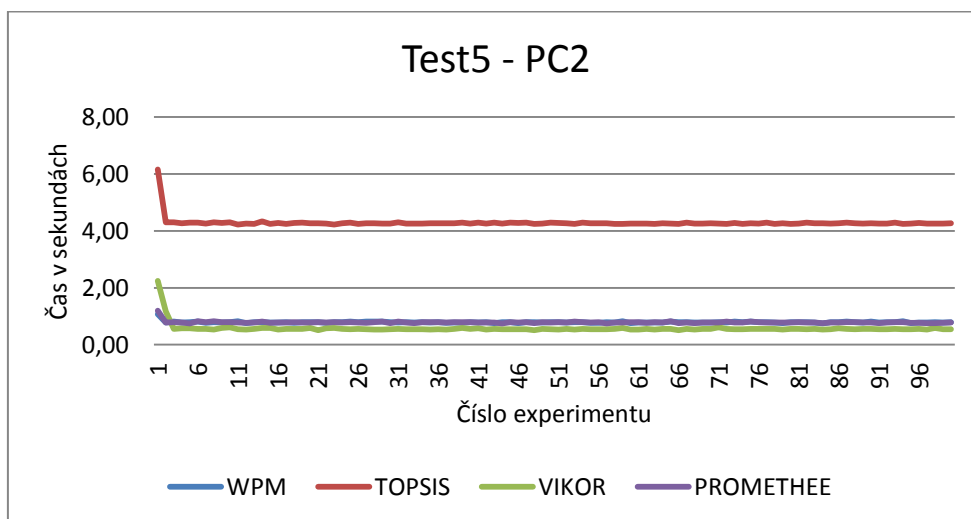
Obr. 45: Průběh druhé testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora



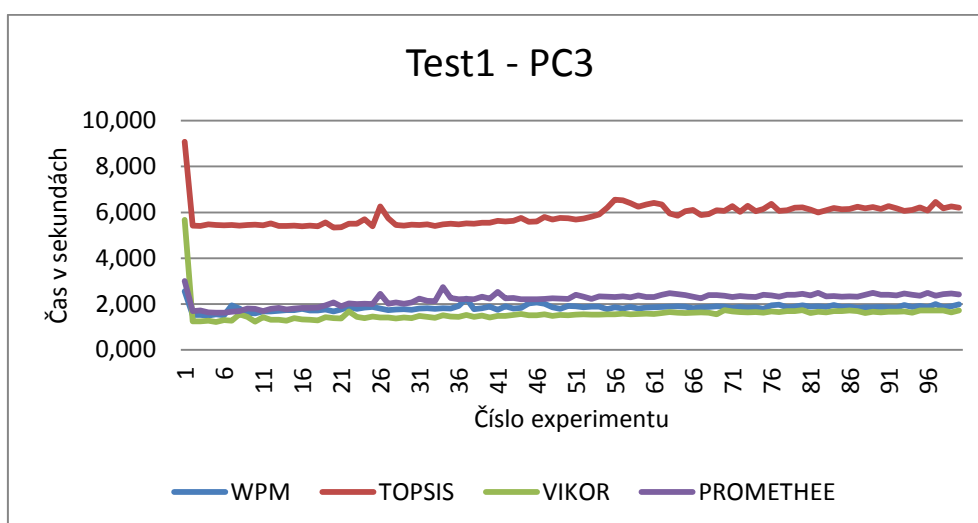
Obr. 46: Průběh třetí testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora



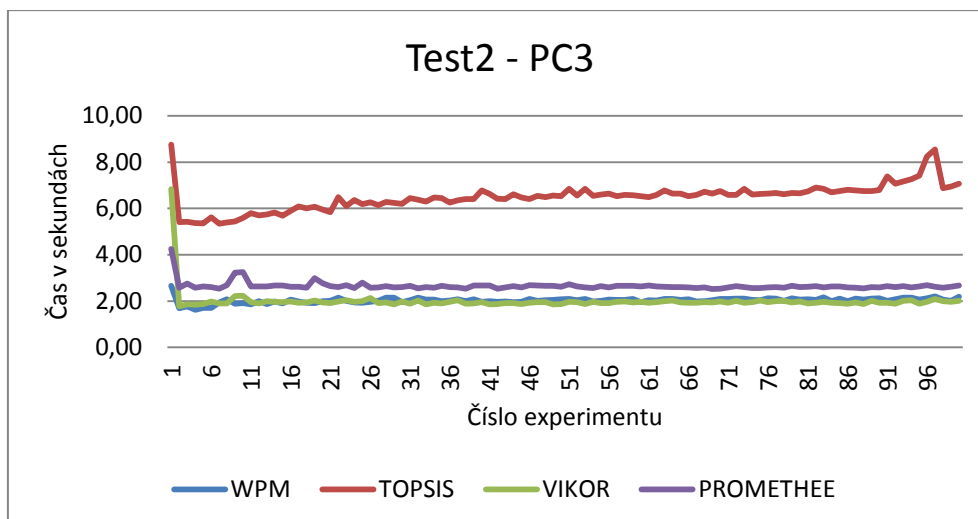
Obr. 47: Průběh čtvrté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora



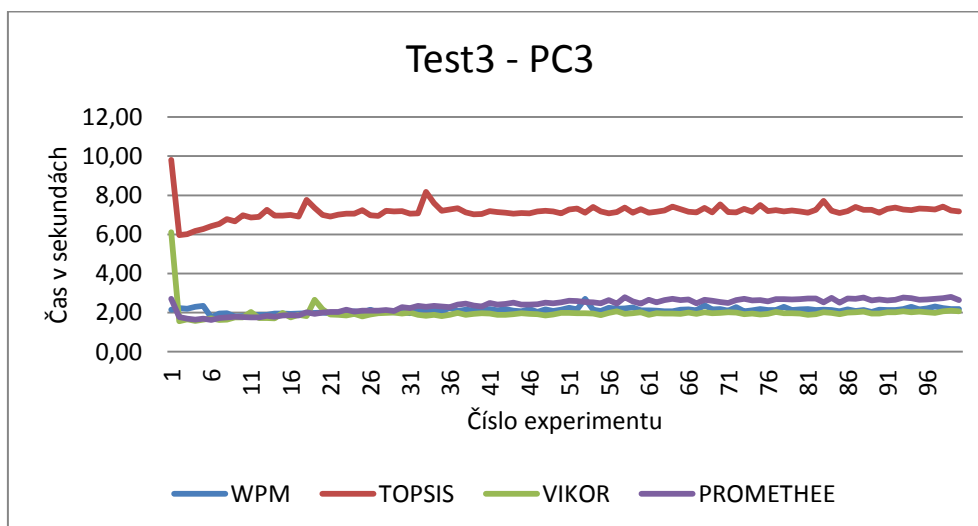
Obr. 48: Průběh páté testové iterace – PC2. Zdroj: Vlastní práce autora



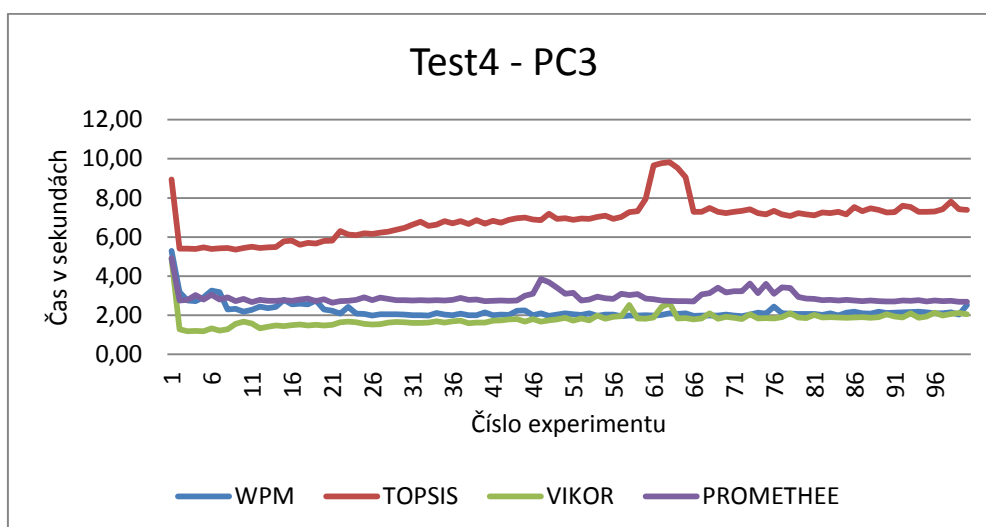
Obr. 49: Průběh první testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora



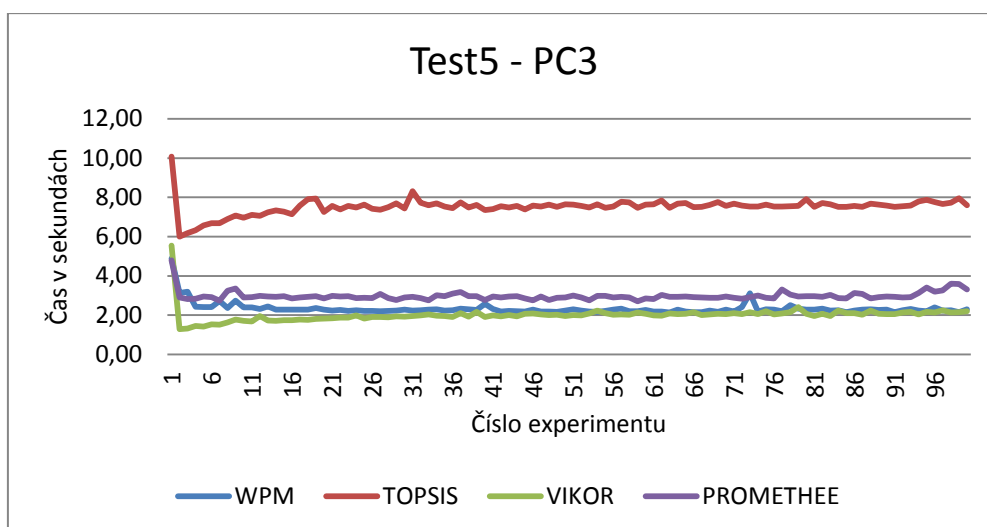
Obr. 50: Průběh druhé testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora



Obr. 51: Průběh třetí testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora



Obr. 52: Průběh čtvrté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora



Obr. 53: Průběh páté testové iterace – PC3. Zdroj: Vlastní práce autora

Zadání práce



UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ
Fakulta informatiky a managementu

Rokitanského 62, 500 03 Hradec Králové, tel: 493 331 111, fax: 493 332 235

Zadání k závěrečné práci

Jméno a příjmení studenta: **Tomáš Licek**
Obor studia: **Informační management (2)**
Jméno a příjmení vedoucího práce: **Petr Tučník**

Název práce:
Vícekritériální rozhodování agentů v ekonomických prostředích

Název práce v AJ:
Multi-criteria decision-making of agents in economics environments.

Podtitul práce:

Podtitul práce v AJ:

Cíl práce: Cílem práce je porovnání a vyhodnocení vícekritériálních rozhodovacích metod aplikovaných v rozhodování agentů situovaných v prostředí zjednodušené ekonomiky.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Rozhodování
3. Rozhodovací metody
4. Agentově orientované výpočetní ekonomiky
5. Porovnání rozhodovacích metod v ACE
6. Shrnutí výsledků
7. Závěry a doporučení
8. Seznam použité literatury
9. Seznam tabulek a obrázků
10. Rejstřík pojmů

Projednáno dne: *1.10.2011*

Podpis studenta *[Signature]*

Podpis vedoucího práce