



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

METODIKA VYUŽITÍ TECHNOLOGIE GIS V REALITNÍM INŽENÝRSTVÍ

METHODOLOGY USING GIS TECHNOLOGY IN REAL ESTATE ENGINEERING

TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

Ing. et Ing. Stanislava Dermeková

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. DALIBOR BARTONĚK, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2017

ABSTRAKT

Téma dizertačnej práce sa zaoberá medziodborovou problematikou hodnotenia variantov z oblasti realitného inžinierstva, multikriteriálnych analýz a geografických informačných systémov, a predstavuje technologické spôsoby vizuálnej stránky vzájomných priestorových vzťahov realít. Práca popisuje návrh a verifikáciu metodiky využitia technológie GIS v realitnom inžinierstve. Primárnym prvkom metodiky je lokalita ako základný determinant objektov realitného trhu, ku ktorej sa bezpodmienečne vzťahuje jedinečná vlastnosť priestorovej informácie. Lokalita objektu ako taká je definovaná veľkým počtom kritérií, ktoré bolo potrebné priestorovo analyzovať. Pre potreby priestorovej analýzy bola zvolená kombinácia technológie GIS s multikriteriálnymi metódami (MCDA) posudzujúcimi varianty problematiky. Súčasťou metodiky je objektívne stanovenie vhodnej kombinácie metód stanovenia váh a multikriteriálnych metód. Objektívne stanovenie by malo viesť k zníženiu rizika ľudského faktoru pri stanovení preferencií a variantov. Navrhované postupy sú overené na prípadových štúdiách, ktoré boli riešené v rámci konkrétnych projektov. Uvedená metodika by mala byť prínosom nielen pri hodnotení kritérií cenového porovnania nehnuteľností v realitnom inžinierstve, ale aj vo viacerých oblastiach viackriteriálneho rozhodovania z pohľadu priestorovo a polohovo viazaných dát.

KEÚČOVÉ SLOVÁ

Geografický informačný systém, realitné inžinierstvo, multikriteriálne rozhodovanie

ABSTRACT

The doctoral thesis deals with the interdisciplinary issue of variants evaluation from real estate engineering, multi-criteria analyses and geographic information systems, and represents the technological ways of the visual aspect related to mutual spatial relations of real estates. The thesis describes the design and verification of methodology dealing with the use of GIS technology in real estate engineering. The primary element of the methodology is the locality as a fundamental determinant of the real estate market objects to which strictly applies a unique characteristic of spatial information. The object location as such is defined by a large number of criteria that need to be spatially analysed. For the needs of spatial analysis was chosen combination of GIS technology with multi-criteria methods (MCDA) which evaluate variants of the problem. Objective determination of a suitable combination of weighting methods and multi-criteria methods is part of the methodology. An objective determination should lead to a reduction in the human factor risk by determining preferences and variants. The proposed procedures are validated on case studies which were dealt with in specific projects. This methodology should be beneficial not only for the criteria evaluation of price comparison in real estate engineering but also for several areas of multi-criteria decision making in terms of space and location-related data.

KEYWORDS

Geographic information system, real estate engineering, multi-criteria decision making

Obsah

Obsah	3
1 ÚVOD	4
2 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY	5
3 TEORETICKÝ ZÁKLAD	7
3.1 Podstata teórie rozhodovania.....	7
3.2 Voľba kritérií a odpovedajúcich variantov (alternatív).....	7
3.3 Štandardizácia kritérií.....	7
3.4 Priradenie váh hodnotiacim kritériám	7
3.5 Vlastné metódy multikritériálneho rozhodovania	9
3.5.1 Metóda Booleovskej logiky	9
3.5.2 Metóda váženej lineárnej kombinácie.....	9
3.5.3 Metóda usporiadaného váženého priemeru.....	9
3.5.4 Metóda analytického hierarchického procesu – AHP	10
3.5.5 Metóda TOPSIS	11
3.6 Realitné inžinierstvo.....	11
4 METODIKA RIEŠENIA	13
4.1 Matematický model aplikácie MCDA	14
4.2 Vymedzenie problému a navrhnutie podmienok vyhodnotenia	14
4.3 Príprava a spracovanie vstupných dát	15
4.4 Voľba kritérií a odpovedajúcich si variantov	16
4.5 Určenie váh kritérií podľa príslušnej metódy.....	16
4.6 Stanovenie pravidiel pre vyhodnotenie	16
5 EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY	16
5.1 Rezidenčné komodity – rodinný dom	17
5.1.1 Stanovenie parametrov pre hodnotenie	17
5.1.2 Multikritériálne rozhodovanie.....	17
5.1.3 Zhrnutie výsledkov	20
5.2 Rezidenčné komodity – bytový dom.....	20
5.2.1 Analýza vstupných dát	21
5.2.2 Stanovenie parametrov pre hodnotenie.....	21
5.2.3 Hodnotenie váh kritérií	21
5.2.4 Multikritériálne rozhodovanie.....	22
5.2.5 Citlivostná analýza a výber vhodného variantu	26
6 ZÁVER	28
VEDECKÉ PROJEKTY SÚVISIACE S DIZERTAČNOU PRÁCOU	29
LITERATÚRA.....	29
PUBLIKÁCIE SÚVISIACE S DIZERTAČNOU PRÁCOU	31

1 ÚVOD

Dizertačná práca sa zaoberá medziodborovou problematikou hodnotenia variantov z oblasti realitného inžinierstva, multikriteriálnych analýz a geografických informačných systémov, a predstavuje technologické spôsoby vizuálnej stránky vzájomných priestorových vzťahov realít. Pre potreby priestorovej analýzy bola zvolená kombinácia technológie GIS s multikriteriálnymi metódami posudzujúcimi hodnotené varianty.

Práca popisuje odlišný prístup priestorového rozhodovania pri porovnávaní nehnuteľností ako celku z pohľadu vplyvujúcich kritérií a následnej voľby vhodného variantu vstupujúceho do procesu oceňovania. Využitie priestorového rozhodovania viacerých kritérií by malo pomôcť ku zefektívneniu celkového procesu cenového porovňovania komparatívnou metódou a ku zlepšeniu tvorby vlastnej databázy nehnuteľností, ktorú si vedie znalec. Teoretickým prínosom práce je využitie väčšieho počtu multikriteriálnych metód rozhodovania v prostredí GIS. Dôraz bude kladený na hierarchické rozdelenie posudzovaných rôznorodých kritérií vyplývajúcich z polohy nehnuteľnosti. Konkrétne metódy boli vybrané na základe dôkladnej rešerše odborných publikácií venujúcim sa danej problematike. V dizertačnej práci sú využité nasledujúce metódy stanovenia váh kritérií: bodovacia metóda, Fullerova metóda a Saatyho metóda. V procese multikriteriálneho rozhodovania boli následne aplikované metódy: metóda Booleovskej logiky, metóda váženej lineárnej kombinácie (WLC), metóda usporiadaného váženého súčtu (OWA), metóda analytického hierarchického procesu (AHP) a metóda TOPSIS.

Teoretické predpoklady navrhutej metodiky boli overené na 2 rôznych prípadových štúdiách. Každá prípadová štúdia bola riešená z iného hľadiska. Pri prvej bol uvažovaný všeobecný princíp hodnotenia kritérií priameho cenového porovnania pri kombinácii jednej metódy stanovenia váh a jednej multikriteriálnej metódy. Prípadová štúdia rieši problematiku pozemkov rezidenčných komodít vhodných pre zástavbu rodinných domov. Výsledkom prípadovej štúdie je mapa vhodnosti s výberom konkrétnych nehnuteľností splňujúcich predom stanovené vlastnosti parametrov. V druhej prípadovej štúdii bol aplikovaný všeobecný princíp hodnotenia kritérií nepriameho cenového porovnania prostredníctvom štandardnej nehnuteľnosti (etalónu) pri vzájomnej kombinácii viacerých metód stanovenia váh a metód multikriteriálneho rozhodovania. Prípadová štúdia rieši problematiku rezidenčných komodít typu panelové bytové domy. Vzájomná kombinácia viacerých metód je v závere vyhodnotená pomocou citlivostnej analýzy, ktorá analyticky porovnáva zvolené metódy. Citlivostná analýza bola realizovaná za účelom zníženia rizika ľudského faktoru pri stanovení hodnôt dôležitosti kritérií a variantov.

Kombinácia viacerých metód by mala slúžiť ako doplnkový nástroj pre účely metód cenového porovňovania (komparatívne metódy) v realitnom inžinierstve. Priestorová informácia lokality ako základného determinantu každého objektu realitného trhu je jedinečná vlastnosť, ktorá je stavebným prvkom stanovenej metodiky. Dizertačná práca je unikátna z pohľadu vzájomného využitia viacerých metód stanovenia váh a multikriteriálneho rozhodovania v prostredí GIS nielen pre účely realitného inžinierstva. Prínosom navrhutej metodiky v praxi je zefektívnenie aktuálneho spôsobu hodnotenia kritérií z pohľadu priestorových informácií nielen pre oblasť hodnotenia prvkov trhu s nehnuteľnosťami, ale aj pre účely hodnotenia parametrov všeobecného charakteru.

2 SÚČASNÝ STAV RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

Základné teoretické východiská využitia technológie GIS v realitnom inžinierstve boli získané podrobným štúdiom odbornej literatúry. Detailné zhrnutie súčasného stavu znalostí je rozdelené do niekoľkých tematických oblastí, ktoré účelne smerujú k prehľadnému sprístupneniu riešenej problematiky.

1. Všeobecná problematika úloh multikriteriálneho rozhodovania pomocou GIS

Problematicke multikriteriálnych analýz na základe GIS sa začali viacej venovať odborníci už od 90. rokov minulého storočia Laaribi [1] a Malczewski [2], ktorí prepojili teoretickú časť rozhodovacích metód s technológiu GIS. Geografické informačné systémy zohrávajú dôležitú úlohu pri priestorovej analýze. Môžeme ich chápať ako systém podpory rozhodovania a nástroj pre navrhovanie, hodnotenie a uprednostňovanie alternatívnych rozhodnutí. Doposiaľ bolo vydaných veľké množstvo publikácií zaoberajúcich sa GIS a MCDA. Napríklad vývojom informačného systému IDRISI sa celkovo posunula problematika multikriteriálnej analýzy bližšie k odbornej verejnosti [3] a [4]. Problematika sa začala rozširovať hlavne v aplikačnej rovine a dostala sa do rôznych medziodborových oblastí [5]: krajinné a urbanistické plánovanie, životné prostredie, ekologické modelovanie, dopravné inžinierstvo, systémy na podporu rozhodovania v ekonomike atď.

2. Teoretická rovina úloh multikriteriálneho rozhodovania

Podľa Drobne [6] sú v 80% všetkých aplikáciách z oblasti multikriteriálneho rozhodovania spracovávané geografické dáta. Preto sú použité metódy vo viacerých prípadoch podporované technológiou GIS. Analýzy multikriteriálneho rozhodovania môžeme rozdeliť do 3 základných kategórií a to podľa:

a) povahy posudzovaných dát

- *multi-atribútové rozhodovacie analýzy (MADA)*- sú vhodné pre účely vyhodnotenia či výberu [8]. Hlavným rozdielom medzi analýzami je hlavne v počte hodnotených alternatív [9]. Napr. booleovská logika [10], metóda váženej lineárnej kombinácie (WLC) [6], metóda usporiadaného váženého priemeru (OWA) [11], metóda analytického hierarchického procesu (AHP), TOPSIS [12], PROMETHEE [13], ELECTRE.
- *multi-objektové rozhodovacie analýzy (MODA)* - majú hodnoty rozhodovacích premenných stanovené v spojitý doméne (s nekonečným alebo vysokým počtom alternatív) [7]. Výstupom je výber splňujúci predom stanovené preferencie a rozhodovací modelový vzor je procesne orientovaný. MODA je vhodná pre účely hľadania či návrhu. Napr. multiobjektové programovacie algoritmy, heuristické vyhľadávanie, genetické algoritmy, algoritmy referenčného bodu, ostatné.

b) prístupu rozhodovania,

- *individuálne rozhodovanie* – oblasti sa venuje veľká časť článkov [14], [15], [16],
- *skupinové rozhodovanie* - menej spomínané v publikáciách [17].

c) pravdepodobnosti rozhodovania

- *rozhodnutie založené na deterministickom prístupe,*
- *rozhodnutie založené na stochastickom prístupe,*
- *rozhodnutie založené na nejednoznačnom prístupe, tzv. fuzzy logika.*

3. Aplikačná rovina úloh multikriteriálneho rozhodovania prostredníctvom GIS

Podľa Malczewského [18], ktorý podrobne skúmal túto problematiku a venoval sa prehľadu publikácií zaoberajúcich sa GIS a MCDA, bol najčastejším problémom výber a analýza vhodnosti pozemku či riešenej lokality. Najväčšie zastúpenie majú publikácie venujúce sa ekologickému a environmentálnemu plánovaniu, napr. [19]. Publikácia [20] popisuje, že v súčasnosti je GIS silným nástrojom v priestorovom modelovaní územného plánovania. Podrobným štúdiom odbornej literatúry bol zistený minimálny počet publikácií venujúcich sa konkrétne multikriteriálnym analýzám pre potreby realitného inžinierstva. Ak by sme sa chceli

pozrieť konkrétne pre oblasť realitného inžinierstva v rámci Českej republiky, bolo zatiaľ publikovaných veľmi málo článkov venujúcich sa analýze priestorových informácií prostredníctvom GIS [21].

Súčasný stav problematiky je zhodnotený v tabuľke č. 1, v ktorej sú uvedené dve roviny úloh viackriteriálneho rozhodovania z pohľadu metodického prístupu a konkrétne zvolených metód MCDA. Z hodnotenia v tabuľke vyplýva, že kombinované využitie jednotlivých multikriteriálnych metód z princípu riešenia danej problematiky zvyšuje účinnosť rozhodovacieho procesu a taktiež by mala znížiť riziko ľudského faktoru pri stanovení hodnôt dôležitosti kritérií a variantov. Z prieskumu odbornej literatúry vyplýva, že oblasť realitného inžinierstva nevyužíva v takej miere možnosti tohto rozhodovania vzhľadom k rôznorodosti posudzovaných kritérií, ktoré tento obor má.

Metodika riešenia	Princíp riešenia	Hodnotenie kritérií možného riešenia			
		Zložitosť metódy	Vhodnosť pre GIS	Výhody	Nevýhody
Metodický prístup	MADA	Stredná	3	Množina alternatív predom určená a je konečná	Diskrétné rozhodovacie priestory
	MODA	Vysoká	2	Účely hľadania či návrhu	Nekonečný alebo vysoký počet alternatív
	Individuálne rozhodovanie	Veľmi vysoká	1	Existuje len jedna cieľová preferencia	Problém jedného rozhodujúceho
	Skupinové rozhodovanie	Stredná	3	Participatívne rozhodovacie prístupy	Záujmové skupiny charakterizované rôznymi cieľovými preferenciami
	Jednoznačná pravdepodobnosť	Stredná	3	Dostatočné poznatky	Obmedzené rozhodovanie
	Nejednoznačné rozhodnutie	Veľmi vysoká	2	Prirodzenejší spôsob modelovania rozhodovacích kritérií ako ostrý (binárny) prístup	Modelovanie dát s nejasnou hranicou, nejednoznačne definovaná premenná
Konkrétne metódy MCDA	Booleovská logika	Nízka	3	Jednoduchý prístup	Práca s ostrými množinami, dvojhodnotová algebra
	Vážená lineárna kombinácia	Stredná	2	Práca s fuzzy množinami, váhy kritérií, jednoduchý prístup	Proces normalizácie dát Neuvažuje varianty medzi sebou
	Usporiadáný vážený priemer	Stredná	2	Zoradenie faktorov podľa stupňa rizika, jednoduchý prístup	Proces normalizácie dát Neuvažuje varianty medzi sebou
	Analytický hierarchický proces	Stredná	2	Rozklad zložitej neštruktúrovanej situácie na jednoduchšie komponenty, riešenie viacerých úrovní	Najmenej dôležité kritérium má nulovú váhu
	TOPSIS	Vysoká	2	Výber variantu najbližšie k ideálnemu variantu, menšia časová náročnosť výpočtu	Zložitá interpretácia transformovaných kritérií
	PROMETHEE	Veľmi vysoká	2	Maximálna objektivita pri rozhodovaní, preferenčné relácie, alternatívy jasne identifikované parametrami	Rozhodovateľ nebýva zoznamovaný so všetkými detailmi úlohy, veľmi zložitý rozhodovanie
	ELECTRE	Veľmi vysoká	2	Preferenčné relácie, rozdelenie efektívnych a neefektívnych variantov	Zložitý porovnávanie kritérií v rôznych mierkach

Tab. 1 – Zhodnotenie súčasného stavu riešenej problematiky

Cieľom dizertačnej práce je pokúsiť sa posunúť ďalej poznanie o problematike multikriteriálneho rozhodovania v realitnom inžinierstve a inovovať stávajúce metódy jak na úrovni teoretickej, tak i praktickej. Z analýzy súčasného stavu problematiky vyplynulo, že doterajšie aplikácie MCDA metód boli implementované v reálnych prípadoch jednorazovo a s relatívne malým množstvom faktorov a kritérií. V geografických informačných systémoch je však tento prístup nedostatočný. Ďalej je potrebné brať v úvahu aj skutočnosť, že do procesu multikriteriálneho rozhodovania vstupujú subjekty - zainteresované strany (hodnotelia, skupiny odborníkov, znalci, cieľový zákazník atď.) a tým vzniká určité riziko subjektívneho prístupu, ktorý pri použití jednej metódy skresľuje výsledné poradie hodnotených variantov. Cieľom práce je navrhnúť takú metódu nasadenia MCDA, ktorá dokáže posúdiť splnenie cieľa pre vybrané geografické objekty s čo najvyššou mierou objektivitu a vierohodnosti a ktorá dokáže znížiť mieru rizika subjektívneho prístupu zainteresovaných strán. Súčasťou metodiky by malo byť objektívne stanovenie vhodnej kombinácie metód stanovenia váh a multikriteriálnych metód. Navrhnuté postupy sú overené na prípadových štúdiách, ktoré boli riešené v rámci konkrétnych projektov. Uvedená metodika by mala byť prínosom nielen pri cenovom porovnaní nehnuteľností v realitnom inžinierstve, ale aj vo viacerých oblastiach viackriteriálneho rozhodovania z pohľadu priestorovo a polohovo viazaných dát.

3 TEORETICKÝ ZÁKLAD

Teoretický základ dizertačnej práce je rozdelený na 2 časti. Prvá rozsiahlejšia časť sa venuje teórii rozhodovania. Druhá časť (kap. 3.5) sa venuje aplikačnej rovine z pohľadu teórie a praxe oceňovania nehnuteľností.

3.1 Podstata teórie rozhodovania

Teória rozhodovania popisuje metódy pre určenie optimálneho variantu pri využití správnej rozhodovacej stratégie. Viackritériálne rozhodovanie modeluje situácie na množine variantov (alternatív), ktoré sú hodnotené podľa riešených kritérií stanovené preferenciami rozhodujúceho [22]. Výsledné hodnotenie vo svojej podstate predstavuje konečnú množinu variantov. Riešením pri apriórne známých podmienkach je výber optimálneho variantu. Prvky multikritériálneho rozhodovania sú usporiadané do tzv. kritériálnej matice, kde riadky matice reprezentujú varianty (alternatívy) a stĺpce zase hodnotiace kritériá či lokalizačné údaje a dáta jednotlivých atribútov. Všeobecný postup procesu multikritériálneho rozhodovania možno charakterizovať v nasledujúcich 5 krokoch [24]:

- a) vymedzenie problému a navrhnutie podmienok vyhodnotenia;
- b) voľba kritérií a odpovedajúcich si variantov;
- c) stanovenie váh kritérií podľa príslušnej metódy;
- d) stanovenie pravidiel hodnotenia (vyhodnotenie každého variantu, posúdenie rizika);
- e) celkové ohodnotenie a výber najvhodnejšieho variantu.

3.2 Voľba kritérií a odpovedajúcich variantov (alternatív)

Multikritériálne analýzy v oblasti trhu nehnuteľností riešia existenciu viacerých alternatív. Špecifická podstata problematiky realitného inžinierstva je charakterizovaná základnými prvkami trhu s nehnuteľnosťami, medzi ktoré patria subjekty, objekty trhu s nehnuteľnosťami a ich vzájomnej väzby, ktoré sú definované množstvom rôznorodých kritérií. Súbor kritérií musí byť úplný. Mal by charakterizovať podstatné vlastnosti hodnotenia riešených variantov. Dôležitým predpokladom pri vytváraní účelovo orientovaných sústav kritérií je správna klasifikácia kritérií, jak po formálnej (typ preferencie, forma vyjadrovania, spôsob merania výsledkov), tak po vecnej stránke (napr. sociálne, environmentálne, ekonomické atď.) [23].

3.3 Štandardizácia kritérií

Metódy MCDA si vyžadujú transformáciu vstupných dát hodnotiacich kritérií na jednotky, ktoré je možné vzájomne porovnávať. Postupy transformácie jednotiek sú označované ako metódy štandardizácie alebo škálovania. Konvenčné metódy MCDA predpokladajú priestorovú homogenitu preferencií s ohľadom na rôzne úrovne hodnôt kritérií. V dôsledku toho sa pre účely transformácie vstupných dát využíva len jedna globálna hodnota. Pre účely GIS-based analýz je najvyužívanejšia metóda normalizácie rozsahu. Hodnoty sa transformujú na základe funkcie príslušnosti do spoločného rozsahu.

3.4 Priradenie váh hodnotiacim kritériám

Matematické metódy priradenia váh hodnotiacim kritériám možno rozdeliť do dvoch skupín a to na priame a nepriame [5]. Priame metódy priradujú kritériám priamo jednotlivé váhy. Patria medzi jednoduché metódy a nekladú veľké nároky hodnotiteľovi. Nepriame metódy sú zložitejšie, u ktorých sa váhy priradujú vzájomným porovnaním riešených kritérií medzi sebou. Pomocou nepriamych metód sa znižuje miera subjektivity. Ako priame metódy priradenia váh sú v práci využité bodovacia metóda a metóda poradia, a ako nepriame metódy Fullerova metóda a Saatyho metóda.

a) Metóda poradia

Rozhodovateľ určí u jednotlivých kritérií preferenciu kritéria od najvýznamnejšieho (k) k najmenej významnému (1) a následne im priradí hodnoty $1, 2, \dots, k$. Každému kritériu je priradená hodnota b_i . Následne je možné určiť váhy kritérií podľa vzorca [23]:

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i} ; i = 1, 2, \dots, k \quad (3.1)$$

Súčet b_i je súčtom prvých k prirodzených čísiel.

$$\sum_{i=1}^k b_i = \frac{k(k+1)}{2} \quad (3.2)$$

b) Bodovacia metóda

Princíp je podobný ako u metódy poradia, len sa využíva bodovacia stupnica a umožňuje vyjadrenie subjektívnych preferencií hodnotiteľa. Predom sa stanoví bodová stupnica (napr. 1 až 10). Čím je kritérium dôležitejšie, tým je bodové ohodnotenie vyššie. Nemusia sa voliť len celé čísla a je možné priradiť tú istú hodnotu viacerým kritériám. Jednotlivé kritériá sú následne ohodnotené číslami tejto stupnice a váhy kritérií vypočítané tým istým spôsobom ako predchádzajúca metóda [23].

c) Fullerova metóda

Patrí medzi metódy párového porovnania kritérií, kde sa používa informácia, ktoré z dvoch kritérií je pri párovom porovnaní dôležitejšie. Hodnotiteľ postupne porovnáva každé dve kritériá medzi sebou a vyberie to dôležitejšie. Ak porovnáваме každé dve kritériá z celkového počtu k kritérií, vyberáme kombinácie dvoch prvkov z k . Metóda využíva princíp Fullerovho trojuholníka, kde sa kritériá očísľujú poradovými číslami $1, 2, \dots, k$. Trojuholník má vždy $k - 1$ dvojriadkov. Každý riadok má o 1 člena menej, než riadok predchádzajúci. Symbolom n_i označíme počet zakrúžkovaných i , konkrétne počet zakrúžkovaných jednotiek označíme n_1 , apod. Hodnoty váh následne vypočítame:

$$v_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} = \frac{n_i}{N} \quad (3.3)$$

d) Saatyho metóda

Saatyho metóda sa využíva pri určovaní veľkosti preferencií pre každú dvojicu kritérií. Ide o metódu kvantitatívneho párového porovnávania kritérií. Pre ohodnotenie kritérií sa používa 9-ti bodová stupnica a je možné používať aj medzistupne [25]. Porovnáva sa každá dvojica kritérií a veľkosti preferencií i -teho kritéria vzhľadom k j -temu kritériu sa zapíše do Saatyho matice $A = (a_{ij})$, [66]:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1k} & 1/a_{12} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

Saaty navrhol niekoľko početne veľmi jednoduchých spôsobov, pomocou ktorých možno odhadnúť váhy v_j . Najčastejšie sa používa postup výpočtu váh ako geometrického priemeru riadkov Saatyho matice:

$$w_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} ; \quad i, j = 1, 2, \dots, k. \quad (3.5)$$

Váhy sa potom vypočítajú normalizáciou hodnôt

$$v_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (3.6)$$

Môže nastať prípad, kedy rozhodnutie bude v rozpore. Pre kontrolu takýchto prípadov sa počíta dostatočná konzistencia Saatyho matice párového porovnania, ktorá musí byť konzistentná. Za dostatočne konzistentnú maticu pri hodnotení pomeru konzistencie je považovaná tá, pre ktorú platí $CR < 0,10$, [25].

3.5 Vlastné metódy multikritériálneho rozhodovania

Nasledujúca sa venuje jednotlivým vyhodnocovacím metódam, ktoré stanovujú pravidlá pre vyhodnocovanie. Postupne budú popísané jednotlivé multikritériálne rozhodovacie metódy, ktoré je možné využiť v rámci analytického riešenia stratégií realitného inžinierstva. Ich aplikácia bude demonštrovaná s využitím podpory GIS a nástrojov priestorových analýz. Ako prvá bude riešená metóda Booleovskej logiky, ktorá patrí medzi najjednoduchšie rozhodovacie stratégie. Ďalšími budú metódy váženej lineárnej kombinácie (WLC), usporiadaného váženého priemeru (OWA), analytického hierarchického procesu (AHP) a metóda TOPSIS.

3.5.1 Metóda Booleovskej logiky

Metóda, pri ktorej sú kritériá redukované na logické hodnoty (0; 1), kde sú ďalej riešené kombináciou logických operátorov ako sú prienik (AND) a zjednotenie (OR). Pokiaľ sú kritériá riešené pomocou AND, vznikajú extrémistické riešenia. Zvolené miesto musí splniť všetky kritériá. Výber miest je realizovaný na základe pesimistickej stratégie. Aj tá najhoršia vlastnosť musí byť akceptovateľná. Ak uplatníme operátor OR, ide o optimistickú stratégiu a prijímame veľké riziko. Pri riešení Booleovského prekrytia je nutné vykonať tzv. štandardizáciu (normalizáciu), tzn. že vstupné súbory musíme redukovať (transformovať) na zábrany - booleovské obrazy, aby výsledné vrstvy obsahovali len hodnoty 0 a 1 [26].

3.5.2 Metóda váženej lineárnej kombinácie

Ďalšou metódou je vážená lineárna kombinácia (Weighted Linear Combination - WLC), v ktorej sa používajú kontinuálne kritériá (faktory), ktoré sú normalizované do bežného číselného rozsahu a potom kombinované pomocou vážených priemerov. Výsledkom je súvislá škála vhodnosti, ktorá môže byť následne reklasifikovaná zábranami (Booleovské hodnoty) pre splnenie kvalitatívnych kritérií a finálne ošetrená (stanovené hraničné prahy) pre splnenie kvantitatívnych kritérií. Kritériá majú stanovené svoje váhy podľa relevantných významností, na základe týchto váh sa dajú kritériá zamieňať [26]. Výsledkom WLC je násobenie konkrétneho kritéria jeho váhou a ich konečného súčtu. Vhodnosť riešených areálov je potom nasledujúca:

$$S = \sum w_i x_i \quad (3.7)$$

kde S je výsledná vhodnosť areálu, w_i je váha kritéria i a x_i je konkrétne kritérium riešeného faktoru i . V prípade použitia zábran je výpočet upravený o hodnotu tejto zábrany:

$$S = \sum w_i x_i \prod c_j \quad (3.8)$$

kde c_j je hodnota zábrany kritéria.

Normalizovanie kritérií (faktorov) je odlišné od Booleovskej metódy. Hodnoty sa transformujú na základe funkcie príslušnosti do spoločného rozsahu. Pri metóde WLC využívame fuzzy množiny, kde pripúšťame určitú dávku neistoty a priradíme kritériám neostre hranice pomocou spojitej miery. Výsledným obrazom je potom agregovaná miera vhodnosti v intervale 0-255 s využitím fuzzy logiky. Pre definovanie neostých hodnôt v spojitej miere je potrebné využiť transformáciu na základe funkcie príslušnosti vyjadrujúcej stupeň neurčitosti s využitím fuzzy logiky. Funkcie príslušnosti môžu byť napr. lineárna, sigmoidná či J-shaped funkcia.

3.5.3 Metóda usporiadaného váženého priemeru

Ďalšou multikritériálnou metódou je metóda usporiadaného váženého priemeru (Ordered Weighted Average - OWA), ktorej postup je podobný ako predchádzajúca metóda WLC. Uvažujeme kritériá a zábrany tak isto ako u metódy WLC. Kritériá sú opäť normalizované a váhy sa priradujú tým istým spôsobom. Zábrany určujeme v tvare booleovských masiek. Kritériám sa priradujú tzv. usporiadané váhy. Váhy kritérií sa následne zoradia od nízkej úrovne vhodnosti po vysokú. Kritérium s najnižšou úrovňou vhodnosti dostane prvú usporiadanú váhu, atď. Zoradenie kritérií možno realizovať pre rôzne pozície v rozhodovacom priestore tejto metódy. Stupeň rizika predstavuje kombináciu procesu medzi logickými operátormi AND

(minimalizácia) a OR (maximalizácia rizika) [25]. Riešené typy kritérií či faktorov nie je možné voľne zamieňať pri použití tejto multikritériálnej analýzy. V prvej fáze rozhodovacieho procesu sa využíva metódy WLC, ktorá umožňuje kombinovať kritéria a zábrany. Výhodou metódy OWA je jej schopnosť meniť kontinuálne mieru rizika od minima po maximum a pritom rozhodovať, ktoré hodnoty vhodnosti sa spolu môžu zamieňať.

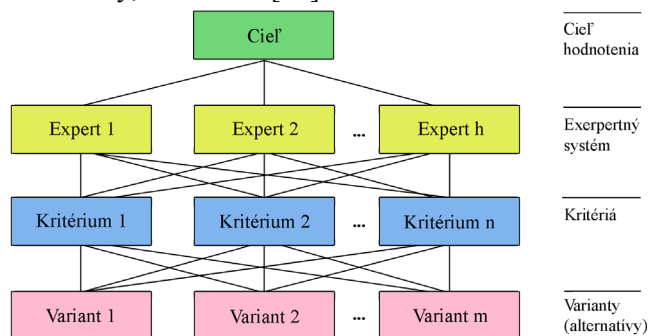
Usporiadany vážený priemer (Ordered Weighted Averaging operator, OWA-operator) je určený vektorom váh $v = (v_1, \dots, v_n) \in \langle 0,1 \rangle^n$ splňujúci $\sum_{i=1}^n v_i = 1$ [27]:

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n \left(\frac{u_j v_j}{\sum_{j=1}^n u_j v_j} \right) z_{ij} \quad (3.9)$$

kde $z_{i1} \geq z_{i2} \geq \dots \geq z_{in}$ je zmena poradia hodnôt kritérií, u_j preusporiadaná váha j -teho kritéria. Najprv argumenty zoradíme podľa veľkosti, a potom im priradíme váhy (podľa poradia v usporiadanej postupnosti). Kontrolu nad zameniteľnosťou (kompromisom) kritérií a faktorov a úrovňou rizika možno sledovať pomocou súboru požadovaných váh pre rôzne pozície poradia kritérií (faktorov). Celkovo možno popísať 6 typických pozícií: (a) priemerná úroveň rizika a absolútny kompromis (trade-off), (b) nízka úroveň rizika a žiadny kompromis, (c) vysoká miera rizika až absolútna a žiadny kompromis, (d) nízka úroveň rizika a priemerný kompromis, (e) vysoká úroveň rizika a priemerný kompromis, (f) priemerná úroveň rizika a žiadny kompromis.

3.5.4 Metóda analytického hierarchického procesu – AHP

AHP je metódou rozkladu zložitej neštruktúrovanej situácie na jednoduchšie komponenty. Tento hierarchický systém je zovšeobecnením - rozšírením možností multikritériálneho rozhodovacieho systému [27]. Rozhodovací problém možno znázorniť ako hierarchickú štruktúru. Je to lineárna štruktúra obsahujúca s -úrovní, pričom každá z týchto úrovní zahŕňa niekoľko prvkov. Usporiadanie jednotlivých úrovní smeruje vždy od všeobecného ku konkrétnemu. Pre všeobecnú úlohu multikritériálneho hodnotenia variantov môže byť hierarchia nasledujúca: 1. úroveň - cieľ hodnotenia, 2. úroveň – expertný systém, 3. úroveň – hodnotené kritériá, 4. úroveň – hodnotené varianty, vid' obr. 4 [27].



Obr. 1 – Hierarchická štruktúra AHP metódy multikritériálneho rozhodovania, [27]

Obdobným spôsobom, ako pri určovaní váh kritérií Saatyho metódou, možno určiť vzťahy medzi všetkými komponentmi na každej úrovni hierarchie. Na každej úrovni hierarchickej štruktúry je potrebné vyjadriť preferencie. Skupina hodnotiteľov (expertný systém) určí vzájomný vzťah všetkých dvojíc prvkov. Tzn. zostavujeme matice párových porovnaní, ktoré vyjadrujú vzájomný pomer medzi všetkými dvojicami prvkov na danej úrovni. Hodnoty, ktoré získame, sa nazývajú preferenčné indexy variantov z hľadiska všetkých kritérií [25].

Koeficienty intenzity vzťahu i -teho variantu ku j -temu variantu sú určené tým istým spôsobom ako u Saatyho metódy stanovenia váh:

$$w_{ij} = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m s_{im}^j} \quad i = 1, \dots, m ; j = 1, \dots, n, \quad (3.10)$$

kde m je počet variantov, n je počet kritérií a $S^j = (s_{im}^j)$ matica hodnotenia pre j -te kritérium. Výsledné hodnotenie sa určí ako vážený súčet koeficientov intenzity:

$$c_i = \sum_{j=1}^n w_j v_j, \quad i = 1, \dots, m, \quad (3.11)$$

kde v_i je váha j -teho kritéria z vyššej úrovne [25].

3.5.5 Metóda TOPSIS

Metóda TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) patrí medzi objektívne multikritériálne metódy. Metóda je založená na výbere variantu, ktorý je najbližšie k ideálnemu variantu (hypotetický či reálny variant, ktorý dosahuje vo všetkých kritériách najlepšej možnej hodnoty) a najďalej od bazálneho variantu (hypotetický či reálny variant, ktorého ohodnotenie je najhoršie podľa všetkých kritérií). Predpokladá sa maximalizačný charakter všetkých kritérií. Pokiaľ nie sú všetky kritériá maximalizačné, je nutné ich na maximalizačné previesť. Postup metódy TOPSIS je nasledujúci [28]:

1. Transformácia všetkých kritérií na maximalizačné.
2. Tvorba normalizovanej kritériálnej matice $\mathbf{R} = (r_{ij})$ podľa vzťahu

$$r_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m y_{ij}^2}}; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.12)$$

kde stĺpce v matici $\mathbf{R}$ predstavujú vektory jednotkovej normy.

3. Transformácia kritériálnej matice $\mathbf{R}$ na normalizovanú kritériálnu maticu $\mathbf{Z}$. Každý stĺpec matice $\mathbf{R}$ bude vynásobený váhou odpovedajúceho si kritéria podľa rovnice

$$z_{ij} = w_j r_{ij}. \quad (3.13)$$

4. Vytvorenie ideálneho variantu $(h_1, h_2, \dots, h_n)$ a bazálneho variantu $(d_1, d_2, \dots, d_n)$ z matice $\mathbf{Z}$, kde

$$h_j = \max_i z_{ij}; j = 1, 2, \dots, n \quad (3.14)$$

$$d_j = \min_i z_{ij}; j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.15)$$

5. Výpočet vzdialenosti od ideálneho variantu

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - h_j)^2}; i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.16)$$

6. Výpočet vzdialenosti od bazálneho variantu

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (z_{ij} - d_j)^2}; i = 1, 2, \dots, m. \quad (3.17)$$

7. Výpočet relatívneho indikátoru vzdialenosti od bazálneho variantu, tzv. indikátor úžitku, kedy maximálna hodnota určuje variant s najväčším úžitkom

$$c_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}; i = 1, 2, \dots, m \quad (3.18)$$

Výsledné varianty sú usporiadané podľa hodnôt úžitku c_i .

3.6 Realitné inžinierstvo

Aplikačná rovina dizertačnej práce je zameraná na odvetvie realitného inžinierstva, preto sa v tejto časti budem venovať témam smerujúcim k využitiu GIS a MCDA. Realitné inžinierstvo sa zaoberá širokou škálou orientovaných znalostí z oblasti právnych vzťahov k nehnuteľnostiam, poisťovníctva, bankovníctva, realitných služieb, správy štátneho majetku, developerskou činnosťou či oceňovaní nehnuteľností. Jednotlivé oblasti využívajú priestorovo orientované informácie, ktoré je potrebné spracovať, analyzovať, vizualizovať. V teoretickej časti sú spomenuté oblasti realitného inžinierstva príbuzné téme cenového porovnania nehnuteľností a s ním spojené metódy. Ak by sme vychádzali z teórie základných metód, ktoré sa používajú pre ocenenie nehnuteľností, v každej z nich sú uvažované kritériá vyplývajúce z polohy nehnuteľnosti.

V rámci dizertačnej práce sú riešené nehnuteľnosti z pohľadu rezidenčného využitia a to: rodinný dom v kombinácii s pozemkom a bytový dom. Podľa zákona č. 151/1997 Zb., o oceňovaní majetku, jedným zo

spôsobov oceňovania je porovnávací spôsob, ktorý vychádza z porovnania predmetu oceňovania s rovnakým alebo obdobným predmetom a cenou zjednanou pri jeho ocenení. Metodika prvej prípadovej štúdie sa operia o princíp metódy hodnotenia kritérií priameho cenového porovnania. Metodika druhej prípadovej štúdie zase čerpá z princípu hodnotenia kritérií nepriameho cenového porovnania. U priameho porovnávaní sa rovno porovnávajú nehnuteľnosti, u ktorých sú predom stanovené vlastnosti posudzovaných parametrov. U nepriameho porovnávaní je súbor údajov o predávaných nehnuteľnostiach a ich cenách spracovaný na priemernú, štandardnú nehnuteľnosť (etalón) a s touto je potom porovnávaná nehnuteľnosť oceňovaná.

Porovnávací metóda využíva databázu nehnuteľností, ktorú si znalec priebežne dopĺňa. Databáza je utriedený a štatisticky spracovaný súbor dát o nehnuteľnostiach (obec, poloha, nehnuteľnosť v obci, cena nehnuteľnosti, jej veľkosť, technický stav, výmery, spôsob zistenia dát atď.). [29] Voľba porovnávací metódy oblasti realitného inžinierstva je účelová, kde vidím prínos využitia multikritériálnych analýz pri automatizácii a spresňovaní databáz nehnuteľností. Taktiež veľkou výhodou je možnosť interaktívneho prepojenia s prostredím GIS a vytvorenej geodatabázy, v ktorej by bolo možné manipulovať s dátami porovnávaných nehnuteľností. Porovnávací metódy využívajú charakteristických kvantitatívnych tried podľa jednotlivých znakov. V tabuľke č. 2 sú uvedené jednotlivé kritériá, ktoré sú dôležité pre cenové porovnanie a charakterizujú polohu ako základnú vlastnosť nehnuteľnosti.

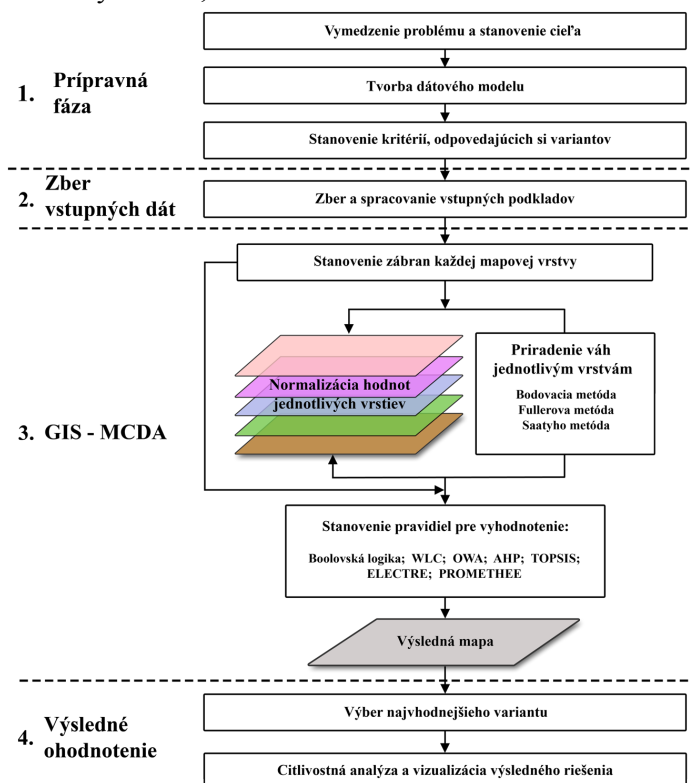
Stanovenie kritérií pre porovnanie cien nehnuteľností	
Kritérium	Komentár (u hodnotenia od najhoršieho k najlepšiemu)
A - OBEC	
1. Veľkosť obce	Podľa realizovaných rozborov je vhodné použiť koeficient v hodnote rovnjej polohovému koeficientu K _s , podľa prílohy č. 13 vyhlášky č. 279/1997 Zb.
2. Správne funkcie – štátna správa	Žiadne až úplné (obecný úrad, stavebný úrad, okresný úrad, súd, polícia, finančný úrad, pošta, banka, sporiteľňa, poisťovňa, katastrálny úrad)
3. Dopyt po kúpe nehnuteľnosti – trh s nehnuteľnosťami	Žiadny - malý - vyrovnaný - vyšší - veľký dopyt po nehnuteľnostiach daného typu
4. Prírodné okolie	Bezvýznamné až veľmi dobré pre daný typ využitia objektu; bude líšiť podľa účelu objektu - u obytných bude vplyv vyšší než u výrobných
5. Obchody a služby	Žiadna až kompletná sieť obchodov a služieb - opäť sa bude líšiť podľa typu objektov
6. Školstvo	Žiadne až všetky druhy škôl - opäť podľa druhu
7. Zdravotníctvo	Žiadne až úplné - vplyv podľa druhu objektu
8. Kultúra, šport	Žiadne až úplné - vplyv podľa druhu objektu
9. Hotely apod.	Žiadne - ubytovne - penzióny - hotely obyčajné až luxusné
10. Štruktúra zamestnanosti	Podľa dostupnosti. Žiadne až kompletné. S klesajúcou možnosťou zamestnania v obci resp. okolí výrazne klesá cena najmä u obytných objektov
11. Životné prostredie	Nevhodné až veľmi dobré - vplyv podľa druhu objektu
B - UMIESTNENIE NEHNUTEĽNOSTI V OBCI	
12. Poloha vzhľadom k centru obce	Samota až centrum - vplyv podľa druhu objektu
13. Dopravné podmienky	Príjazd, dopravná obslužnosť - MHD, dráha, autobus; špatné až veľmi dobré
14. Orientácia ku svetovým stranám	Od severnej postupne k južnej - vplyv podľa druhu objektu
15. Konfigurácia terénu	Od sklonu cez 25° po rovinatý pozemok
16. Prevládajúca zástavba	Vo vzťahu k hodnotenej nehnuteľnosti negatívny, neutrálny až pozitívny
17. Parkovacie možnosti v okolí	Žiadne (napr. vnútorné historické jadro mesta) - vzdialené - stredne vzdialené - blízke - priamo u objektu
18. Obyvateľstvo v susedstve	Podľa individuálneho hodnotenia odhadcu, vrátane posúdenia stupňa kriminality v danom území
19. Územný plán	Perspektíva pre daný objekt sa bude zhoršovať až zlepšovať
20. Inžinierske siete	Žiadne - priemerné - všetky - vplyv podľa druhu objektu

C - VLASTNÁ NEHNUTEĽNOSŤ	
21. Typ stavby	Veľmi nevhodný až vhodný. U prevádzkových objektov aj možnosť variability využitia, u obchodných aj veľkosť resp. nadmernosť vzhľadom k lokalite
22. Dostupnosť jednotlivých podlaží	Špatná (viacpodlažný objekt bez výťahu) až jednoduchá (prízemný objekt alebo dostatočný výťah)
23. Regulácia nájomného	Okamžitý stav: všetky priestory sú byty s regulovaným nájomom - časť - žiadne
24. Výskyt radónu	Preukázaný, opatrenie neuskutočnené - preukázaný, opatrenia uskutočnené - nie je overené (1,00) - výskyt vylúčený (vplyv podľa druhu objektu)
25. Ďalšie možnosti ohrozenia	Blízkosť VVN, spaľovňa odpadu, znečisťujúce látky, prašné prostredie, hluk z okolie, inundačné územie, zosuvné svahy apod. výskyt k najbližšiemu okoliu - vzdialený - nie je (1,00)
26. Príslušenstvo nehnuteľnosti	Napr. U RD kôlna, drevníky apod.: nevhodné až veľmi vhodné
27. Možnosti ďalšieho rozšírenia	Žiadna až veľmi dobrá
28. Technická hodnota stavby	Odborným odhadom alebo výpočtom podľa opotrebenia A z nákladovej metódy
29. Údržba stavby	Veľmi špatná - špatná - priemerná - lepšia - výborná
30. Pozemky k objektu celkom	Nie sú (cudzie) - do 1,5 x ZP - 2 x ZP - 3 x ZP - 5 x ZP; ZP – stavaná plocha Pri väčšom pomere je treba primeranú cenu ďalších pozemkov samostatne pripočítat
D – ŠPECIFICKÉ KRITÉRIÁ - NÁZOR ODHADCU	
31. Názor odhadcu	napr. subjektívny názor odhadcu, možnosť prestavby na výnosnú nehnuteľnosť

Tab. 2 – Kritériá pre porovnanie cien nehnuteľností, [29]

4 METODIKA RIEŠENIA

V dizertačnej práci bolo využitých niekoľko metód spracovania. Samotnému postupu spracovania riešenej problematiky predchádzalo dôkladné štúdium odbornej literatúry a vypracovanie prehľadnej rešerše súčasného stavu oblasti multikritériálneho rozhodovania v GIS pre účely realitného inžinierstva. Navrhnutú metodiku možno rozdeliť do 4 hlavných častí, viď obr. 2.



Obr. 2 – Navrhnutá metodika MCDA

Navrhnutá metodika v podobe integrovaného multikritériálneho rozhodovania by mala zefektívniť aktuálny stav hodnotenia kritérií v oblasti cenového porovnania, pri hodnotení prvkov trhu s nehnuteľnosťami a pri tvorbe vlastnej databáze znalca.

4.1 Matematický model aplikácie MCDA

Analýza súčasného stavu problematiky dokazuje, že je vo veľkom využívaná implementácia metód MCDA jednorazovo a s relatívne malým množstvom faktorov a kritérií. V geografických informačných systémoch je však tento prístup nedostatočný. V porovnaní s konvenčným prístupom MCDA zahŕňajú priestorovo orientované MCDA okrem jednotlivých kritérií tiež aj ich umiestenie v priestore. Priestorové multikriteriálne rozhodovanie vo svojej podstate zohľadňuje jak geografické dáta (dáta s priestorovou lokalizáciou) a rozhodovacie preferencie, tak ich výslednú sumarizáciu podľa špecifikovaných rozhodovacích pravidiel. Jedná sa o množstvo vzájomne nehomogénnych a nesúrodých faktorov, ktoré je nutné zohľadniť. V tejto časti je navrhnutá metóda nasadenia MCDA a jej matematický model, ktorá dokáže posúdiť splnenie cieľa pre vybrané geografické objekty s čo najvyššou mierou objektivity a vierohodnosti.

Nech GO je geografický objekt a G neprázdna množina GO . Označme C ako množinu riešených cieľov, ktoré majú vybrané GO splňovať v danom prípade. Ďalej majme W ako množinu váh kritérií, X množinu posudzovaných atribútov GO , A množinu faktorov, F množinu kritérií, M množinu multikriteriálnych metód, V množinu variantov prípustných výstupov a Y množinu vybraných (vhodných) variantov. Potom celý proces aplikácie MCDA doterajších implementácií môžeme popísať prostredníctvom sekvenčného zobrazenia:

$$(GxC) \rightarrow (W, X, M) \rightarrow V \rightarrow Y. \quad (4.1)$$

Cieľom dizertačnej práce je navrhnúť vhodnú metódu pre vyhodnotenie GO , ktorú je možné popísať takto:

$$(GxC) \rightarrow \{(W, (XxM))\} \rightarrow V \rightarrow Y, \quad (4.2)$$

kde $\{W, (XxM)\}$ má význam opakovanej aplikácie výpočtu váh rôznymi metódami a spracovaním atribútov rôznymi multikriteriálnymi metódami (a ich kombináciou) pre daný prípad, X tu značí podmnožinu karteziánskeho súčinu faktorov a kritérií:

$$X \subseteq Ax F. \quad (4.3)$$

Hlavným rozdielom medzi rovnicami (4.1) a (4.2) sú:

- v rovnici (4.2) sa pre určenie váh najskôr realizuje hierarchický rozklad riešeného problému prostredníctvom posudzovaných atribútov množiny X podľa vzťahu (4.3), čím sú sémanticky rešpektované zvláštnosti jednotlivých skupín faktorov a ďalej sa zjednoduší výpočet váh pri veľkom množstve kritérií a ich prislúchajúcich atribútov,
- namiesto aplikovania jedinej metódy MCDA v rovnici (4.1) sa v navrhnutom modeli aplikuje niekoľko vhodne vybraných MCDA metód, čím sa objektívne posúdia výstupné varianty a tým aj skvalitní záverečné vyhodnotenie.

Jednotlivé zobrazenia vo vzťahoch (4.1) a (4.2) majú tento význam:

$$(w, x) = f_L(g, c); w \in W, x \in X, GO \in G, c \in C, \quad (4.4)$$

kde f_L je funkcia daná buď legislatívou, regulatívmi alebo je požiadavkou záujmovej skupiny.

$$v = f_{w,m}(w, x, m); v \in V, w \in W, x \in X, m \in M, \quad (4.5)$$

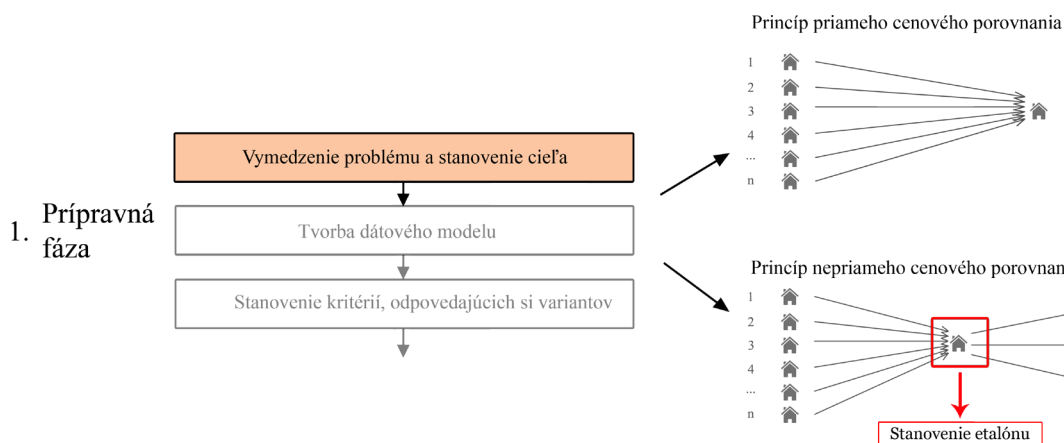
kde $f_{w,m}$ je vhodná metóda pre výpočet váh kritérií v kombinácii s vhodne vybranou metódou multikriteriálnej analýzy.

$$y = f_a(v); y \in Y, v \in V \quad (4.6)$$

f_a je vhodná metóda pre výber optimálnych variantov napr. citlivostná analýza.

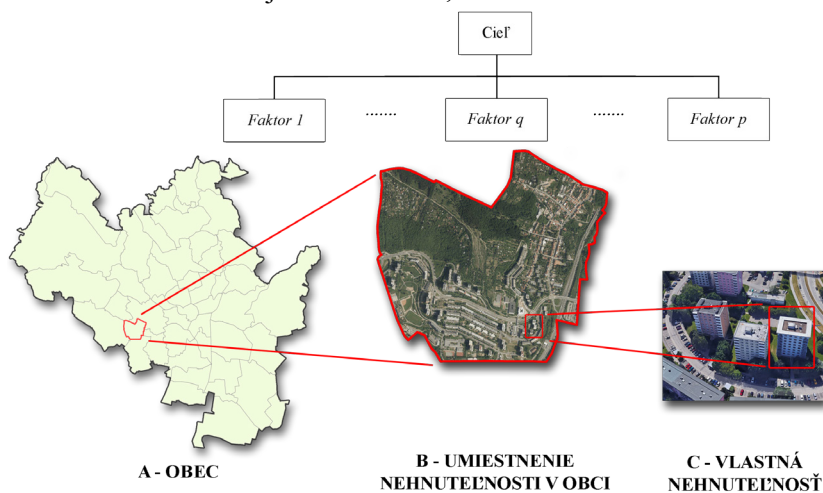
4.2 Vymedzenie problému a navrhnutie podmienok vyhodnotenia

V súvislosti s problematikou multikriteriálnych analýz v prostredí GIS, ktorá bola riešená v rámci pilotných projektov, boli vymedzené okruhy problému a navrhnuté podmienky výsledného vyhodnotenia. Aplikačná rovina dizertačnej práce súvisí s oblasťou realitného inžinierstva, preto stanovené spôsoby hodnotenia budú vychádzať z princípu metód cenového porovnania.



Obr. 3 – Časť navrhnuitej metodiky s vymedzením problému

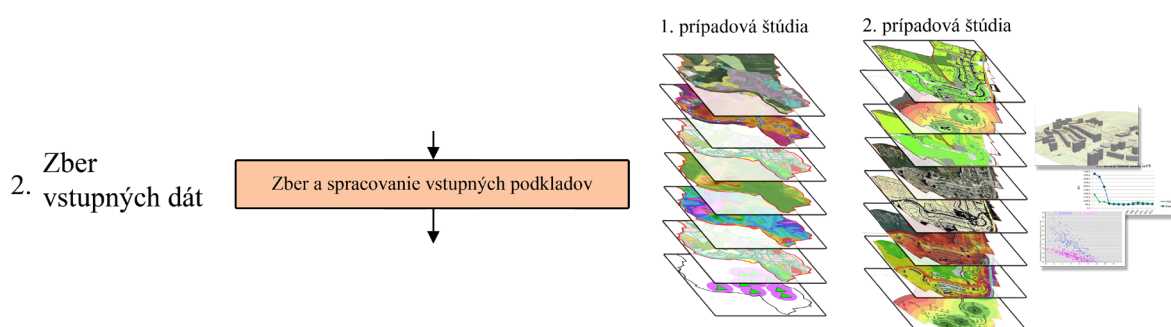
Stanovenie kritérií bude vychádzať z jednotlivých charakteristických tried logicky usporiadaných v hierarchickej štruktúre, ktorá reflektuje sémantickú podstatu polohy nehnuteľnosti voči obci. V navrhnuitej metodike budú zvlášť pre každú kategóriu využité rôzne metódy priradenia váh riešeným kritériám. Logická postupnosť vyplýva z aktuálneho delenia kritérií pri cenovom porovnávaní, kde sa využíva rozklad problematiky smerom od všeobecnému ku konkrétnemu. Tzn. lokalizáciu možno riešiť z pohľadu obce, umiestnenia nehnuteľnosti v obci či vlastnej nehnuteľnosti, viď obr. 4.



Obr. 4 – Hierarchické rozdelenie riešeného problému

4.3 Príprava a spracovanie vstupných dát

Väčšina podkladov zaoberajúcich sa realitným inžinierstvom, cenovým porovnaním a ocenením nehnuteľnosti sa vyskytuje v číselnej podobe tabuľkového typu či v textovej podobe (smernice, vyhlášky, zákony atď.). Z môjho pohľadu vidím absenciu grafického vyjadrenia týchto dát. Preto bolo potrebné doplniť pre účely GIS priestorové dáta rôznych dátových typov (vektor, raster a tabuľkové databáze) a následne ich spracovať. Zhromažďovanie priestorových dát, úprava vstupných dát, posúdenie ich korektnosti pre ďalšie spracovanie a analyzovanie riešenej problematiky prebiehalo v prostredí softwaru ArcGIS a MS Excel. Priestorovo založené dáta sú zhromaždené v geodatabáze (databázový systém), v ktorej je možné dáta ukladať, spracovávať, manipulovať či tvoriť nad nimi priestorové dotazy. Pre riešené územia, ktoré boli zvolené v rámci prípadových štúdií (viď kapitola experimentálne výsledky), bolo potrebné zhromaždiť veľké množstvo dát. Vstupné dáta bolo potrebné analyticky spracovať do jednotlivých tematických vrstiev pre účely funkčného vymedzenia sledovaných kritérií. Časť priestorových analýz záujmových oblastí bola realizovaná v rámci diplomových prác [21] a [31]. Ďalšia časť v rámci projektu Centra kompetencie a projektu Špecifického výskumu. V prostredí ArcGIS boli spracované priestorové analýzy: analýza vzdialenosti, sieťové analýzy, analýzy vytvárania zón, analýzy využívajúce mapovú algebru, analýzy digitálneho modelu terénu, analýzy frikčných povrchov a analýzy štatistických údajov.



Obr. 5 – Vstupné priestorové dáta sledovaných parametrov

4.4 Voľba kritérií a odpovedajúcich si variantov

V dizertačnej práci budú uvažované kritériá vyplývajúce z polohy nehnuteľnosti. Kritériá budú sémanticky zaradené do príslušných faktorov, ktoré hierarchicky rozdeľujú riešený problém. V tabuľke č. 2 kapitoly 3.6. boli uvedené jednotlivé kritériá, ktoré sú dôležité pre cenové porovnanie a charakterizujú polohu ako základnú vlastnosť nehnuteľnosti [29]. Pre potreby funkčného vymedzenia navrhutej metodiky využitia technológie GIS budú konkrétne kritériá uvedené v prípadových štúdiách.

4.5 Určenie váh kritérií podľa príslušnej metódy

Na základe rešerší a po diskusii s odborníkmi boli v procese multikritériálneho rozhodovania použité 3 spôsoby stanovenia váh kritérií. U prvej prípadovej štúdie bude vždy jeden spôsob určenia váh použitý pre jednu multikritériálnu metódu. Druhá prípadová štúdia využije kombináciu všetkých 3 spôsobov určenia váh u každej multikritériálnej metódy. Ako priama metóda bola zvolená bodovacia metóda. Spomedzi nepriamych boli vybrané metódy využívajúce princípu párového porovnania kritérií: Fullerova metóda a Saatyho metóda.

4.6 Stanovenie pravidiel pre vyhodnotenie

Pravidlá pre vyhodnotenie stanovených variantov budú pozostávať z multikritériálnych metód, u ktorých je potrebné brať v úvahu riešené priestorové dáta v prostredí GIS. Tzn. nebude sa jednať len o maticový výpočet vstupných hodnôt, ako tomu je u číselne riešených hodnotení variantov. Návrh rozhodovacích metód relevantných pre účely realitného inžinierstva vyplýva z prehľadu rešerší. Najčastejšie používané multikritériálne metódy v GIS sú jednoduchá Booleovská logika, metódy WLC a OWA. Tieto metódy boli zvolené ako prvé v procese rozhodovania, pretože ich aplikácia v prostredí GIS je užívateľsky nenáročná. Následne bolo potrebné ešte zvoliť metódy využívajúce zložitejšie možnosti hodnotenia variant na základe rôznorodých kritérií. Ako vhodné sa javili metódy AHP a TOPSIS. Uvedené metódy je ale potrebné prispôbiť podmienkam spracovania priestorových dát v prostredí GIS. Atribúty každej tematickej vrstvy budú analyzované zvlášť a následne ohodnotené do výslednej mapy vhodnosti.

5 EXPERIMENTÁLNE VÝSLEDKY

Navrhnutá metodika dizertačnej práce je verifikovaná v jednotlivých experimentálnych prípadoch, ktoré sú súčasťou pilotných projektov. Pre účely dizertačnej práce boli zvolené 2 prípadové štúdie za účelom implementácie a overenia uskutočniteľnosti plánu navrhutej metodiky. Experimentálne výsledky sú tematicky rozdelené do 2 kategórií sledovaných komodít z pohľadu rezidenčného využitia a to: rodinný dom v kombinácii s pozemkom a bytový dom. Celý proces je riešený pomocou rady funkčných analytických nástrojov. V niektorých prípadoch bolo potrebné rozšíriť možnosti analytického riešenia účelovou softwarovou aplikáciou pomocou skriptovacích jazykov Python a Java s podporou knižnice ArcGIS. Pre účely dizertačnej práce boli využité nasledujúce analytické softwarové nástroje: ArcGIS, SANNA 2014, MCA7 a MCA.

Posledný spomenutý nástroj MCA bol účelovo vytvorený pre účely dizertačnej práce. Nadstavba je prepojená s prostredím softwaru ArcGIS. Tento nástroj je súčasťou navrhutej metodiky riešenia a hodnotím

ho ako prínos dizertačnej práce z pohľadu interakcie multikriteriálnej metódy a prostredia ArcGIS v jeden analytický celok. Táto nadstavbová aplikácia rozširuje funkčnosť prostredia ArcMap [30]. Software MCA – Multi-Criteria Analysis bol vytvorený v rámci riešenia pracovného balíčka WP2 projektu TA ČR Centra kompetencie TE02000077 v spolupráci s odborníkom v oblasti IT Ing. Jánom Škurlom. Tvorba aplikácie prebiehala pomocou komponent ESRI Java Desktop SDK ArcObjects a prostredníctvom programovacieho jazyka Java vo vývojovom prostredí Eclipse.

5.1 Rezidenčné komodity – rodinný dom

Prvý projekt bol súčasťou juniorského projektu Špecifického výskumu pre rok 2013 Fakulty stavebnej VUT v Brne FAST-J-13-2108, s názvom *Teorie rozhodování a její aplikace v GIS*. Prípadová štúdia rieši oblasť rezidenčných komodít typu rodinný dom a pozemky k objektu patriace vhodné pre zástavbu rodinných domov. Jedná sa o lokalitu mestskej časti Brno – Komín. Cieľom prípadovej štúdie je vytvoriť mapu vhodných lokalít, ktoré splňujú podmienky pre zástavbu rodinných domov na základe multikriteriálnych metód v GIS. Metodika sa opiera o princíp metódy hodnotenia kritérií priameho cenového porovnania, kedy sa priamo porovnávajú nehnuteľnosti, u ktorých sú predom stanovené vlastnosti posudzovaných parametrov. Jednotlivé tematické vrstvy boli spracované v prostredí ArcGIS. Číselné hodnoty vstupujúce do kritériálnej matice boli taktiež analyzované v ArcGIS prostredníctvom atribútových tabuliek a výpočtových funkcií Raster Calculator a Field Calculator. Tematické vrstvy boli predspracované pomocou nasledujúcich priestorových analýz: analýza vzdialenosti, sieťové analýzy, analýzy vytvárania zón, analýzy využívajúce mapovú algebru, analýzy digitálneho modelu terénu a analýzy štatistických údajov. Priestorové dáta vstupujúce do multikriteriálnych analýz boli prevedené do rastrového formátu normalizované pre každú rozhodovaciu metódu zvlášť, záležalo od spôsobu určenia váh kritérií.

5.1.1 Stanovenie parametrov pre hodnotenie

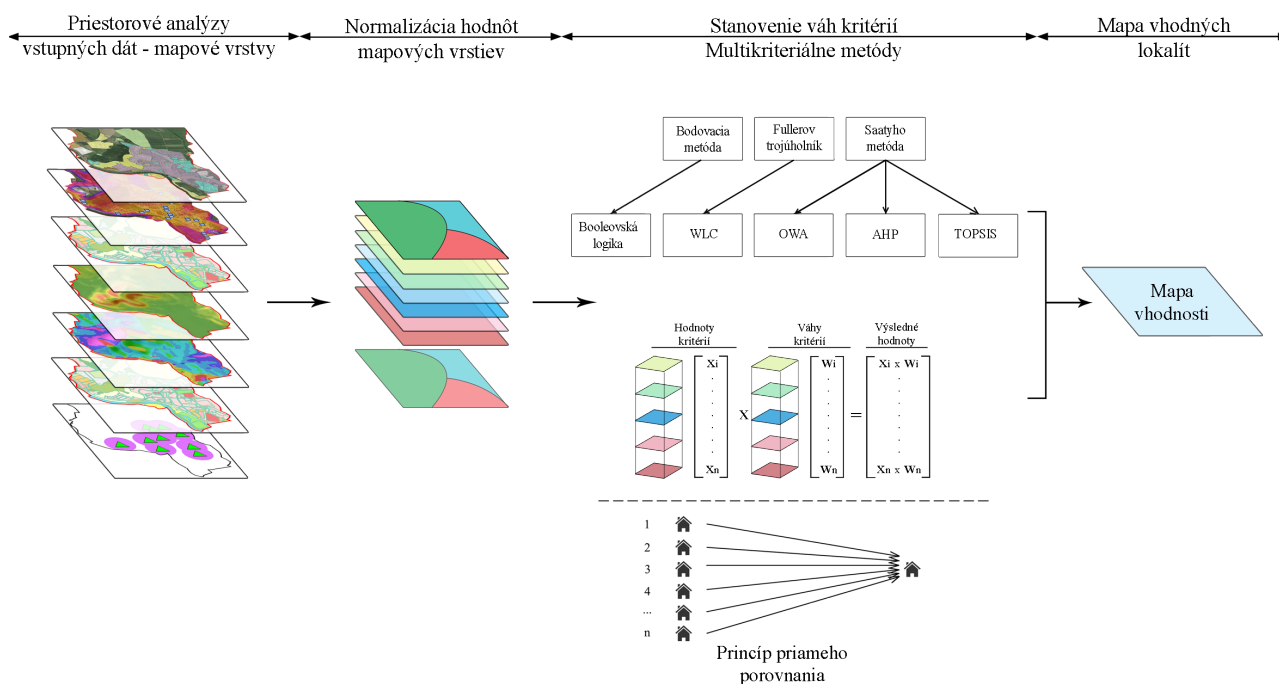
V rámci stanovenia parametrov pre účely výsledného hodnotenia bolo určených 8 kritérií (viď tabuľka č. 3), ktoré vystihujú vhodnosť lokality pre zástavbu rodinných domov vyplývajúcu z princípu priameho cenového porovnania, ktoré bolo uvedené v kapitole 3.6. Kritériá sú sémanticky rozdelené do logickej štruktúry podľa faktorov vyplývajúcich z priestorového usporiadania nehnuteľnosti v rámci obce.

Faktor	Znak – kritérium f_i	Forma
A - OBEC	f_{A1} - Vzdialenosť od MŠ, ZŠ	kvantitatívna
	f_{A2} - Okolité zeleň	kvalitatívna
	f_{A3} - Sieť obchodov a služieb	kvantitatívna
B - UMIESTNENIE NEHNUTEĽNOSTI V OBCI	f_{B1} - Dostupnosť MHD	kvantitatívna
	f_{B2} - Časová dostupnosť do centra 50km/hod	kvantitatívna
	f_{B3} - Sklon terénu	kvantitatívna
	f_{B4} - Expozícia terénu	kvalitatívna
C - VLASTNÁ NEHNUTEĽNOSŤ	f_{C1} - Cena stavebného pozemku	kvantitatívna

Tab. 3 – Stanovené kritériá

5.1.2 Multikriteriálne rozhodovanie

Cieľom dizertačnej práce bolo zefektívniť hodnotenie kritérií priameho cenového porovnania a tvorbu vlastnej databáze znalca prostredníctvom hodnotenia vhodne stanovených variantov s využitím metód určenia váh kritérií a multikriteriálneho rozhodovania. Pre účely prvej prípadovej štúdie dizertačnej práce bola využitá vždy jedna metóda určenia váh pre jednu multikriteriálnu metódu. Voľba metód bola cieľená podľa možností analytického využitia a vizualizácie výstupných dát v prostredí ArcGIS. Pre stanovenie vhodných variantov boli zvolené metódy: Booleovská logika, WLC, OWA, AHP a TOPSIS.



Obr. 6 – Proces multikriteriálneho rozhodovania

Metóda Booleovskej logiky

Jedná sa o najjednoduchší spôsob priestorovej analýzy s využitím viacerých kritérií v prostredí GIS. Pri riešení problematiky trhu nehnuteľností boli jednotlivé vrstvy kritérií zredukované na booleovské obrazy o hodnotách 0 a 1 (0 – nevhodné plochy; 1 – vhodné plochy) pomocou reklasifikácie. Týmto spôsobom sú priamo stanovené zábrany. Analyzované faktory nie je možné zamieňať, tzn. faktor A nemožno zamieňať s faktorom B. Vhodnosť jedného nemôže nahradiť nevhodnosť druhého. Tieto hodnoty boli stanovené oceňovateľom ako maximálne prípustné hodnoty pre účely komparatívnej metódy. Proces výsledného multikriteriálneho rozhodovania je realizovaný pomocou metódy Booleovského prekrytia a mapovej algebry využívajúcej operácie AND (priemik) a OR (zjednotenie). Jednotlivé hodnoty rastrov sú medzi sebou násobené, tzn. vo výsledku rastre predstavujú hodnoty 1 a 0. Jedná sa o extrémne riešenie, kedy dochádza k zameniteľnosti a minimálnemu riziku rozhodovacieho procesu. Výsledný grafický výstup zobrazuje vhodné plochy optimálnej polohy nehnuteľnosti riešenej oblasti Brno-Komín, ktoré spĺňajú podmienky pre zástavbu rodinných domov. Výsledkom je súbor plôch v 3 lokalitách (dohromady 13 polygónov) s nie veľmi kompaktným tvarom s relatívne veľkou rozlohou. Výber vhodných variantov výsledok tejto analýzy výrazne obmedzuje.

Metóda WLC

V rámci metódy WLC boli využité tie isté kritériá ako v predchádzajúcej metóde, ktoré vystihujú vhodnosť lokality pre zástavbu rodinných domov vyplývajúcu opäť z princípu priameho cenového porovnania. Najskôr bola realizovaná štandardizácia (prevedenie dát na rovnakú mierku) vstupných rastrových dát podľa vymedzeného intervalu. Jednotlivým znakom boli pridelené hodnoty v rozmedzí 0-255. Vstupným formátom dát boli shapefiley. U niektorých vrstiev boli spočítané euklidovské vzdialenosti z dôvodu následného hodnotenia vzdialeností od sledovaných parametrov. V procese štandardizácie vstupných dát boli využité 2 algoritmy a to lineárna štandardizácia a sigmoidná fuzzy štandardizácia.

Hodnoty váh faktorov u jednotlivých kritérií boli určené pomocou metódy párového porovnania, tzv. Fullerova metóda. Podľa vypočítaných parametrov bola následne realizovaná priestorová analýza na základe metódy WLC v prostredí ArcGIS. Výsledkom bola vážená lineárna kombinácia štandardizovaných kritérií a ich váh, ktorú všeobecne nazývame mapa vhodnosti. Výsledná mapa bola reklasifikovaná do jednotlivých tried, ktoré vyjadrujú mieru vhodnosti územia. Celkovo bolo určených 46 polygónov.

Metóda OWA

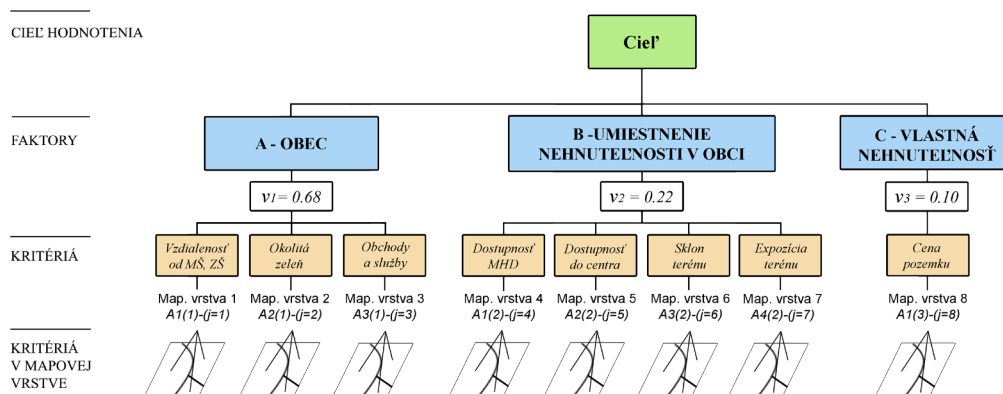
Metóda usporiadaného váženého priemeru (Ordered Wiegthed Average) má podobný prístup ako predchádzajúca metóda WLC. Pre účely prípadovej štúdie sú využité tie isté štandardizované faktory ako u

metódy WLC. Zábrany boli určené v tvare booleovských masiek. Váhy sú vypočítané pomocou Saatyho metódy. Faktorom sa priradujú tzv. usporiadané váhy (váhy poradia faktorov). Váhy faktorov sa následne zoradia od nízkej úrovne vhodnosti po vysokú, čo určuje vyšší stupeň kontroly miery rovnováhy a rizika. Faktor s najnižšou úrovňou vhodnosti dostane prvú usporiadanú váhu, atď. V rámci prípadovej štúdie oblasti mestskej časti Brno – Komín bolo určených 6 scenárov pozorovaných faktorov (viď kapitola 3.5.3). Scenáre a), b) a f) s) svojou podstatou predstavujú Booleovskú metódu. Pre účely prípadovej štúdie boli do výsledného hodnotenia uvažované scenáre (d) nízka úroveň rizika a priemerný kompromis a (f) priemerná úroveň rizika a žiadny kompromis.

Proces metódy OWA bol realizovaný pomocou nástroja MCA, ktorý bol cielene vytvorený pre multikriteriálnu analýzu v prostredí ArcGIS. Výsledný raster je možné následne rozklasifikovať do 3 tried a finálne interpretovať. Scenár f) priemerná úroveň rizika a žiadny kompromis mal podobné výsledky ako WLC. Na obr. 8 vo výslednom porovnaní metód je znázornený scenár (d) nízka úroveň rizika a priemerný kompromis. Celkovo bolo určených 11 polygónov. Výsledný raster vhodnosti územia bolo nutné ešte vyhodnotiť z hľadiska hodnoty úžitku variantu. Lokality (výsledné varianty vhodnosti), ktoré dosahovali maximálne hodnoty úžitku boli vybrané ako najlepšie. S ohľadom na vypočítané hodnoty bola stanovená medzná hodnota úžitku 0,600. Pri zväžení krajnej hodnoty úžitku bolo vybraných 8 vhodných lokalít.

Metóda AHP

AHP je metódou rozkladu zložitej neštruktúrovanej situácie na jednoduchšie komponenty v podobe lineárnej štruktúry obsahujúcej niekoľko úrovní. Princípom metódy je kvantifikácia intenzity vzájomného pôsobenia jednotlivých prvkov štruktúry pomocou Saatyho metódy určenia váh, ktorá sa použije na každej úrovni hierarchickej štruktúry. Metóda bola opäť analyticky riešená pomocou nadstavbového nástroja MCA v prostredí ArcGIS. Váhy kritérií boli použité z predchádzajúcej metódy, tzn. určené pomocou Saatyho metódy.



Obr. 7 – Hierarchická štruktúra metódy AHP

Pomocou softwaru MCA boli stanovené kritériá vo vzťahu k cieľu hodnotenia metódou AHP. Faktory prípadovej štúdie územia Brno-Komín sú riešené na základe najvhodnejšie lokality vyhovujúcej zadaným kritériám. Keďže metóda rieši zložitú neštruktúrovanú situáciu prostredníctvom jednoduchších komponentov, priradenie váh pomocou Saatyho metódy prebiehalo na každej úrovni hierarchie. Výsledky boli ovplyvnené kvantitatívnym párovým porovnaním u každého kritéria. Toto hodnotenie je veľmi subjektívne z pohľadu hodnotiteľa. Výsledný raster vhodnosti územia bolo nutné ešte vyhodnotiť z hľadiska hodnoty vážených geometrických priemerov. Lokality (výsledné varianty vhodnosti), ktoré dosahovali maximálne hodnoty vážených geometrických priemerov boli vybrané ako najlepšie. S ohľadom na vypočítané hodnoty bola stanovená medzná hodnota 0,150. Pri zväžení krajnej hodnoty úžitku bolo vybraných 12 vhodných lokalít.

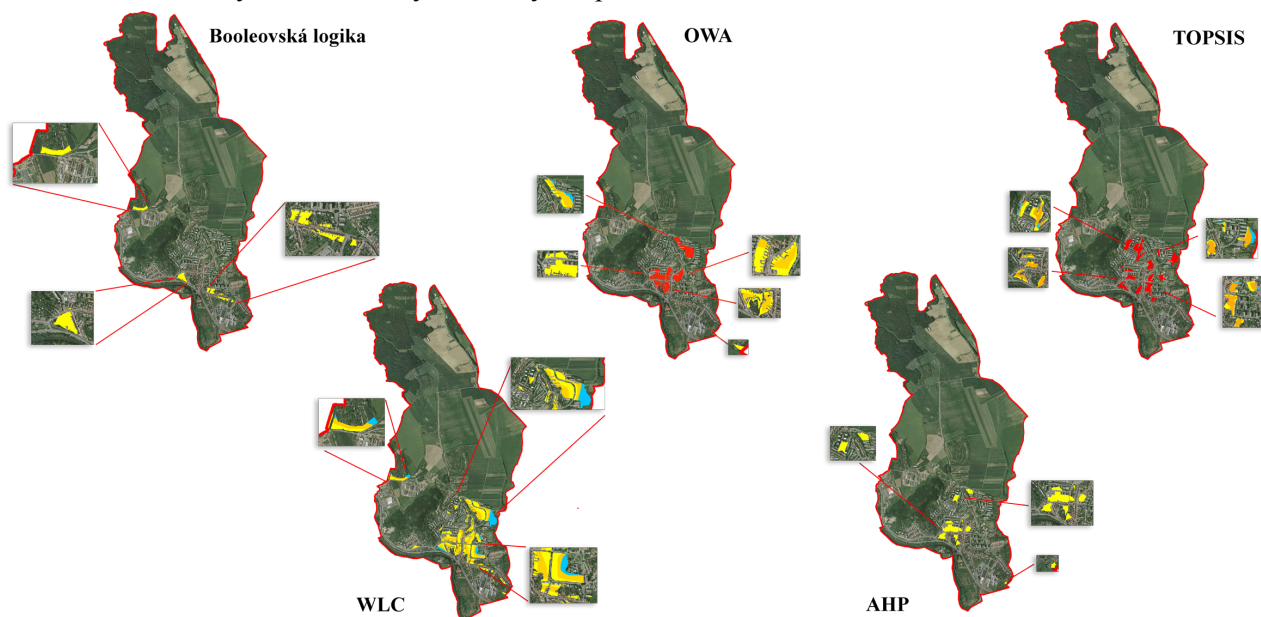
Metóda TOPSIS

Ako ďalšia metóda rozhodovania bola použitá metóda TOPSIS. Princípom metódy je minimalizácia vzdialenosti od ideálneho variantu. Ideálny variant sa stanoví ako variant, pre ktorý všetky hodnoty kritérií dosahujú najlepších hodnôt. Pri riešení tejto metódy sa vychádzalo z toho, že všetky kritériá sú

maximalizačného typu, tzn. s rastúcou preferenciou (zisková), u ktorých sú vyššie hodnoty preferované pred nižšími. Minimalizačné kritériá boli transformované na maximalizačné. Váhy faktorov a kritérií sú stanovené Saatyho metódou z predchádzajúcej metódy. Výpočet parametrov bol realizovaný pomocou analytického nástroja SANNA 2014. Jednotlivé parametre boli následne transformované ako atribúty do mapovej vrstvy, ktorá slúžila pre ďalšie analýzy. Výsledná mapa vhodnosti obsahuje poradie alternatív všetkých 3 faktorov dohromady podľa hodnôt relatívneho indikátoru vzdialenosti od bazálneho variantu (indikátor úžitku). Výsledný raster vhodnosti územia bolo nutné ešte vyhodnotiť z hľadiska hodnoty konečného porovnania hodnôt relatívneho indikátoru vzdialenosti od bazálneho variantu (indikátor úžitku). Lokality (výsledné varianty vhodnosti), ktoré dosahovali maximálne hodnoty relatívneho indikátoru vzdialenosti boli vybrané ako najlepšie. Výsledný raster je možné následne rozklasifikovať do 3 tried podľa vhodnosti lokality. Bolo vybraných 14 plôch vhodných lokalít.

5.1.3 Zhrnutie výsledkov

V prípadovej štúdii mestskej časti Brno – Komín bola ukázaná možnosť využitia najčastejšie používaných metód priestorového rozhodovania implementovaného v GIS. Uvedené metódy priestorového multikriteriálneho rozhodovania brali do úvahy jak geografické dáta (dáta s priestorovou lokalizáciou) a rozhodovacie preferencie, tak ich výslednú sumarizáciu podľa špecifikovaných rozhodovacích pravidiel. Výsledkom každej metódy bola mapa vhodnosti uvažovaných lokalít vhodných pre oblasť rezidenčných komodít typu rodinný dom a pozemky k nim patriace (viď obr. 8). Pre výsledné rozhodovanie a následné cenové porovnanie je možné plochy porovnávať a hodnotiť pomocou prekryvu jednotlivých plôch. Ak by sme ignorovali prvú zvolenú metódu Booleovskej logiky, výsledný prekryv ostatných metód stanovil jednu jedinú plochu s celkovou výmerou 104,60 m². V celkovom kontexte riešenej problematiky je možné zadanie konkrétneho cieľa vyriešiť niekoľkými možnými spôsobmi.



Obr. 8 – Výsledné mapy vhodnosti jednotlivých metód

5.2 Rezidenčné komodity – bytový dom

Ako ďalšia prípadová štúdia bol zvolený typ rezidenčnej komodity – bytový dom. Pre účely experimentálnych výsledkov bolo vybrané panelové sídlisko mestskej časti Brno - Nový Lískovec, ktoré je súčasťou pilotného projektu SMART Regions (Projekt Centra kompetencie TA ČR TE02000077 s názvom *Smart Regions - Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development*). Panelové sídlisko bolo jedno z prvých sídlisk v strednej Európe, ktoré sa detailnejšie začalo venovať problematike energetického managementu a využilo možnosti komplexnej regenerácie panelových domov (regenerácia zahájená v roku 2001). Voľba tejto lokality pre účely

dizertačnej práce bola cielená z dôvodu, že samotná regenerácia a rekonštrukcia týchto objektov je stále finančne výhodnejšia ako výstavba nových bytových jednotiek. Pre účely dizertačnej práce boli využité spracované vstupné priestorové dáta a sieťové analýzy. V rámci pilotného projektu bolo vybraných 8 monitorovaných panelových domov. Jedná sa o panelové domy: *Oblá 2, Oblá 3, Oblá 5, Oblá 7, Oblá 14, Kamínky 6, Kamínky 27 a Kamínky 33*. Monitorované budovy dopĺňovali rôznorodosť vstupných dát viacodborového zamerania riešených kritérií vstupujúcich do multikriteriálnej analýzy.

5.2.1 Analýza vstupných dát

Priestorové dáta vstupujúce do multikriteriálnych analýz boli prevedené do rastrového formátu. Tabuľkové dáta boli prevedené do atribútových tabuliek. Pre účely multikriteriálneho hodnotenia bolo potrebné hodnoty jednotlivých dát rozklasifikovať do rastrových dátasetov a následne štandardizovať pomocou modulu RECLASS v prostredí ArcGIS. Konvenčné metódy MCDA predpokladajú priestorovú homogenitu preferencií s ohľadom na rôzne úrovne hodnôt kritérií. Hodnoty sa transformovali na základe funkcie príslušnosti do spoločného rozsahu, aby bolo možné vzájomne dáta porovnávať. V procese štandardizácie vstupných dát boli využité 2 algoritmy a to lineárna fuzzy štandardizácia a sigmoidná fuzzy štandardizácia.

5.2.2 Stanovenie parametrov pre hodnotenie

Metodika sa opiera o princíp metódy hodnotenia kritérií nepriameho cenového porovnania, kedy súbor údajov hodnotených nehnuteľností je spracovaný na priemernú, štandardnú nehnuteľnosť (etalón), s ktorou je potom porovnávaná nehnuteľnosť oceňovaná. V prípadovej štúdii sa budú jednotlivé monitorované budovy porovnávať s predom stanoveným etalónom reflektujúci hodnotené kritéria, ktoré boli uvedené v kapitole 3.6.

Faktor	Kritérium	Rozsah hodnôt kritéria (min - max)	Typ kritéria
A - OBEC	f_{A1} - Okolitá zeleň	plochy krajinej zelene - 1 mestská zeleň - 2 lesné pozemky - 3 iné - 0	max
	f_{A2} - Vzdialenosť od MŠ, ZŠ	0 - 800m	min
	f_{A3} - Vzdialenosť ku kontajnerom separovaného odpadu	0 - 100m	min
	f_{A4} - Vzdialenosť od pošty	0 - 500 m	min
B - UMIESTNENIE NEHNUTEĽNOSTI V OBCI	f_{B1} - Časová dostupnosť do centra 50km/hod	0 - 10min	max
	f_{B2} - Časová pešia dostupnosť k zastávkam MHD	0 - 10min	min
	f_{B3} - Hluková zóna - denná doba	0 - 45 dB	min
	f_{B4} - Hluková zóna - nočná doba	0 - 35 dB	min
C - VLASTNÁ NEHNUTEĽNOSŤ	f_{C1} - Typ bytu, výmera	2+kk < 50m ² - 1 2+1 < 55m ² - 2 3+1 < 80m ² - 3 nenachádza sa - 0	max
	f_{C2} - Spotreba energií UK (Kč na 1m ²)	< 15 Kč	min
	f_{C3} - Spotreba energií TV (Kč na 1 osobu)	< 300 Kč	min

min – minimalizačné kritérium; max – maximalizačné kritérium

Tab. 4 – Parametre hodnotenia a rozsah hodnôt jednotlivých kritérií

5.2.3 Hodnotenie váh kritérií

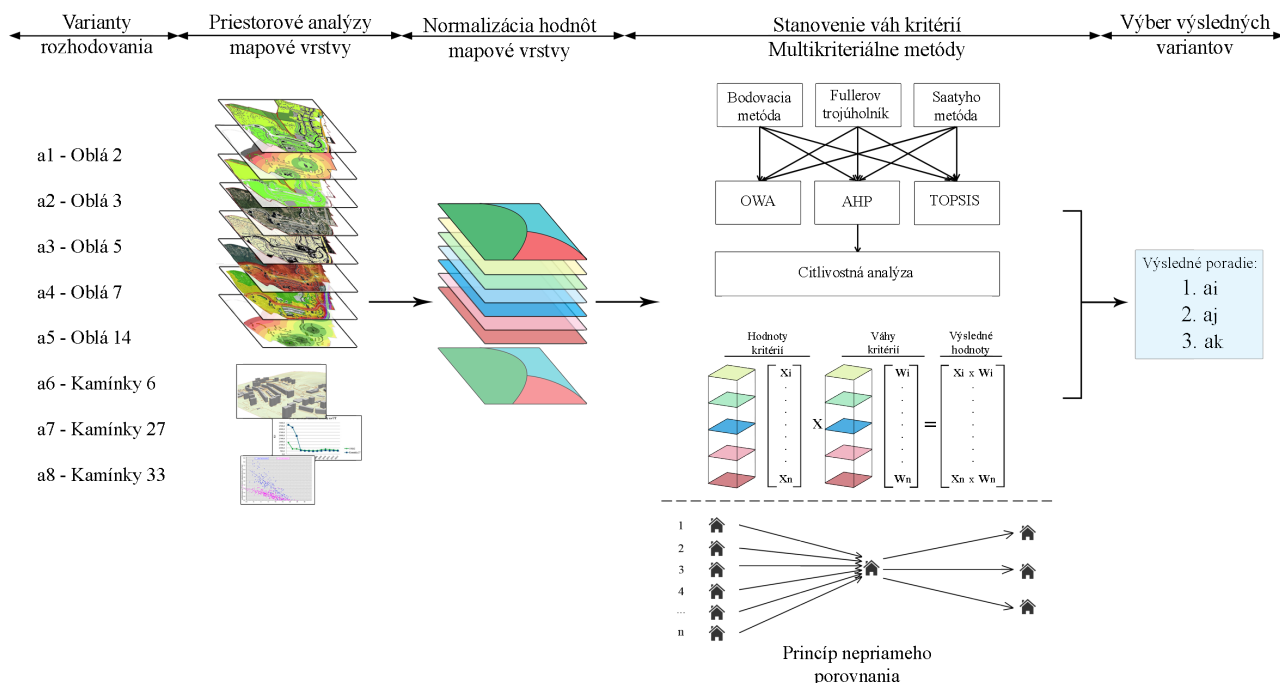
Na tvorbu váh sú využité všetky 3 metódy pre ich stanovenie: Bodovacia metóda, Fullerova metóda a Saatyho metóda. Pre výsledné porovnanie a citlivosťnú analýzu je potrebné stanoviť v každej úrovni jednotlivé váhy, tzn. zvlášť na úrovni faktorov a zvlášť na úrovni kritérií. Výsledky výpočtu váh kritérií ukázali, že jednotlivé metódy by sa v poradí variantov veľmi nelíšili, i keď čiastkové hodnoty sú rôzne. Tieto váhy boli následne použité pre vyhodnotenie metód multikriteriálneho hodnotenia.

Hodnotiace faktory a kritériá	Bodovacia metóda	Fullerova metóda	Saatyho metóda
<i>A</i> - OBEC	0,44	0,50	0,60
<i>B</i> - UMIESTNENIE NEHNUTEĽNOSTI V OBCI	0,39	0,33	0,27
<i>C</i> - VLASTNÁ NEHNUTEĽNOSŤ	0,17	0,17	0,13
<i>f</i> _{A1} - Okolité zeleň	0,45	0,50	0,57
<i>f</i> _{A2} - Vzdialenosť od MŠ, ZŠ	0,30	0,25	0,27
<i>f</i> _{A3} - Vzdialenosť ku kontajnerom separovaného odpadu	0,15	0,17	0,07
<i>f</i> _{A4} - Vzdialenosť od pošty	0,10	0,08	0,09
<i>f</i> _{B1} - Časová dostupnosť do centra 50km/hod	0,08	0,08	0,10
<i>f</i> _{B2} - Časová pešia dostupnosť k zastávkam MHD	0,21	0,08	0,15
<i>f</i> _{B3} - Hluková zóna - denná doba (od 6 do 22 hod)	0,33	0,34	0,40
<i>f</i> _{B4} - Hluková zóna - nočná doba (od 22 do 6 hod)	0,38	0,50	0,36
<i>f</i> _{C1} - Typ bytu, výmera	0,50	0,66	0,61
<i>f</i> _{C2} - Spotreba energií UK (Kč na 1m ²)	0,29	0,17	0,27
<i>f</i> _{C3} - Spotreba energií TV (Kč na 1 osobu)	0,21	0,17	0,12

Tab. 5 – Výsledné porovnanie váh podľa jednotlivých metód

5.2.4 Multikritériálne rozhodovanie

Cieľom dizertačnej práce bolo zefektívniť hodnotenia kritérií nepriameho cenového porovnania spôsobom predom stanoveného štandardného typu nehnuteľnosti (etalónu) a vhodné stanovenie variantov prepojením metód pre určenie váh kritérií a multikritériálneho rozhodovania. Pre účely druhej prípadovej štúdie dizertačnej práce boli všetky nižšie uvedené metódy multikritériálneho rozhodovania vypočítané so všetkými predchádzajúcimi výsledkami pre určenie váh kritérií. Voľba metód bola cieľená podľa možnosti analytického využitia a vizualizácie výstupných dát v prostredí ArcGIS. Pre stanovenie vhodných variantov boli zvolené metódy: OWA, AHP a TOPSIS.



Obr. 9 – Proces multikritériálneho rozhodovania

Ako prvé bolo potrebné stanoviť počiatočnú kritériálnu maticu, ktorá pozostávala zo vstupných dát monitorovaných budov, viď tab. 6.

Kritériá / Varianty	f_{A1} (max)	f_{A2} (min)	f_{A3} (min)	f_{A4} (min)	f_{B1} (max)	f_{B2} (min)	f_{B3} (min)	f_{B4} (min)	f_{C1} (max)	f_{C2} (min)	f_{C3} (min)
<i>a₁ - Oblá 2</i>	2	207	39	560	7	5	55	50	1	8,44	180,78
<i>a₂ - Oblá 3</i>	0	240	35	654	7	5	55	50	0	8,60	213,13
<i>a₃ - Oblá 5</i>	0	222	35	620	7	3	55	50	1	20,82	339,36
<i>a₄ - Oblá 7</i>	0	230	35	620	7	3	55	50	1	21,29	462,76
<i>a₅ - Oblá 14</i>	2	226	32	490	10	10	50	45	1	6,58	173,90
<i>a₆ - Kamínky 6</i>	0	105	118	535	7	5	50	45	1	6,94	172,33
<i>a₇ - Kamínky 27</i>	1	296	42	616	10	10	50	35	1	7,11	136,45
<i>a₈ - Kamínky 33</i>	1	350	19	665	10	10	45	35	1	7,51	181,03

Tab. 6 – Vstupná kritériálna matica

Metóda OWA

Multikritériálna analýza s využitím metódy poradového váženého priemeru bola zvolená ako prvá. Priestorová analýza bola riešená s využitím nadstavby MCA v prostredí ArcGIS. Vstupná kritériálna matica bola upravená na maximalizačnú. Kontrola nad zameniteľnosťou (kompromisom) faktorov a úrovňou rizika bola sledovaná pre rôzne pozície (scenáre) poradia váh. Stupeň rizika predstavuje kombináciu procesu medzi logickými operátormi AND (minimalizácia) a OR (maximalizácia rizika). Pre každú úroveň hierarchie rozhodovania (faktor, kritériá, príp. jednotlivé subkritériá) boli modelované 2 scenáre: (d) nízka úroveň rizika a priemerný kompromis a (f) priemerná úroveň rizika a žiadny kompromis. Pre každý výpočet boli využité váhy z predchádzajúceho stanovenia váh jednotlivých kritérií. Finálny výpočet OWA s využitím váh každej metódy bol realizovaný postupne po jednotlivých hodnotených faktoroch, tzn. zvlášť pre faktor A, zvlášť pre faktor B a zvlášť pre faktor C. Tieto výsledky boli označené ako čiastkové. Z výsledkov čiastkového poradia variantov vyplýva, že poradie zostáva to isté, len jediné prehodenie poradí nastalo pri použití váh stanovených Fullerovou metódou. Do celkového výsledku sa následne bralo poradie variantov: poradie 3. pre variant *a₆* a poradie 4. pre variant *a₅*. Uvedené medzivýpočty bolo potrebné ešte podrobiť finálnemu výpočtu konečného poradia variantov monitorovaných budov. Opäť boli uvažované 3 spôsoby určenia váh faktorov A, B a C. Výsledné poradie je uvedené v tabuľke č. 7. Poradie variantov pri použitých váhach metódou Fullerovou a Saatyho sú rovnaké, váhy určené bodovacou metódou poradie na 2., 3. a 4. mieste pozmenili. Preto pre výsledné stanovenie vhodnosti variantov hodnotenia kritérií nepriameho cenového porovnania bolo použité poradie určené z váh Fullerovej a Saatyho metódy. Ako najvhodnejšie varianty boli zvolené objekty: *a₅* – Oblá 14; *a₁* – Oblá 2 a *a₈* – Kamínky 33.

Váhy určené Bodovacou metódou			Váhy určené Fullerovou metódou			Váhy určené Saatyho metódou		
Poradie	Variant	Úžitok	Poradie	Variant	Úžitok	Poradie	Variant	Úžitok
1	<i>a₅</i>	0,741	1	<i>a₅</i>	0,804	1	<i>a₅</i>	0,841
2	<i>a₈</i>	0,634	2	<i>a₁</i>	0,640	2	<i>a₁</i>	0,709
3	<i>a₇</i>	0,590	3	<i>a₈</i>	0,628	3	<i>a₈</i>	0,556
4	<i>a₁</i>	0,573	4	<i>a₇</i>	0,602	4	<i>a₇</i>	0,541
5	<i>a₆</i>	0,426	5	<i>a₆</i>	0,337	5	<i>a₆</i>	0,346
6	<i>a₃</i>	0,121	6	<i>a₃</i>	0,145	6	<i>a₃</i>	0,112
7	<i>a₄</i>	0,087	7	<i>a₄</i>	0,121	7	<i>a₄</i>	0,094
8	<i>a₂</i>	0,000	8	<i>a₂</i>	0,000	8	<i>a₂</i>	0,000

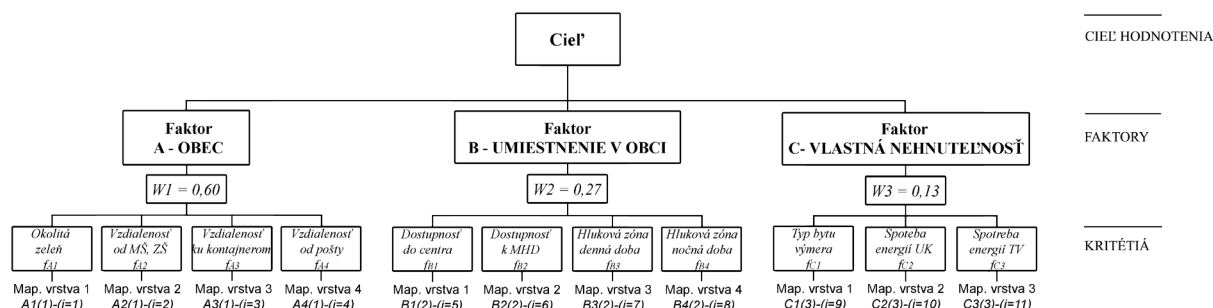
Tab. 7 – Výsledné porovnanie poradia variantov – (d) nízka úroveň rizika a priemerný kompromis

Poradie	Variant	Úžitok
1	<i>a₆</i>	1,000
2 -- 4	<i>a₃</i>	0,700
2 -- 4	<i>a₄</i>	0,700
2 -- 4	<i>a₈</i>	0,700
5 -- 6	<i>a₁</i>	0,300
5 -- 6	<i>a₂</i>	0,300
7 -- 8	<i>a₅</i>	0,000
7 -- 8	<i>a₇</i>	0,000

Tab. 8 – Porovnanie poradia variantov – (f) priemerná úroveň rizika a žiadny kompromis

Metóda AHP

AHP je metódou rozkladu zložitej neštruktúrovanej situácie na jednoduchšie komponenty pomocou párového porovnania. Skupina hodnotiteľov určí vzájomný vzťah všetkých dvojíc prvkov. Pre každý výpočet boli využité váhy z predchádzajúceho stanovenia váh jednotlivých kritérií, preto pre výpočet výslednej hodnoty budú postupne využité váhy určené podľa bodovacej, Fullerovej a Saatyho metódy. Kritériá sú rozdelené na základné faktory do hierarchickej štruktúry podľa hodnotiacich faktorov a ich čiastkových kritérií stanovených pre porovnanie cien nehnuteľností viď tabuľka č. 2 kapitoly 3.6.



Obr. 10 – Hierarchická štruktúra sledovaných parametrov metódy AHP – váhy Saatyho metóda

Na úrovni faktorov boli postupne určené Saatyho matice pomocou preferencií, ktoré predstavovali vzájomný vzťah všetkých svojich prvkov (variantov: $a_1 - a_8$) k prvku nadradenému tzn. ku každému faktoru. Následne boli zo Saatyho matíc určené vážené geometrické priemery všetkých 11 kritérií, kde boli postupne využité váhy z bodovacej, Fullerovej a Saatyho metódy. Výsledné hodnoty a poradie variantov sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách:

	f_{A1}	f_{A2}	f_{A3}	f_{A4}	f_{B1}	f_{B2}	f_{B3}	f_{B4}	f_{C1}	f_{C2}	f_{C3}	Výsledok	Poradie variantov
a_1 - Oblá 2	0,060	0,031	0,006	0,008	0,005	0,008	0,006	0,007	0,010	0,004	0,004	0,147	2.
a_2 - Oblá 3	0,008	0,006	0,006	0,002	0,005	0,008	0,006	0,007	0,001	0,002	0,002	0,052	8.
a_3 - Oblá 5	0,008	0,021	0,006	0,002	0,005	0,028	0,006	0,007	0,010	0,002	0,001	0,096	6.
a_4 - Oblá 7	0,008	0,009	0,006	0,002	0,005	0,028	0,006	0,007	0,010	0,001	0,001	0,083	7.
a_5 - Oblá 14	0,060	0,014	0,014	0,015	0,001	0,003	0,017	0,017	0,010	0,016	0,006	0,173	1.
a_6 - Kaminky 6	0,008	0,043	0,001	0,011	0,005	0,008	0,017	0,017	0,010	0,011	0,006	0,138	4.
a_7 - Kaminky 27	0,023	0,004	0,003	0,004	0,001	0,003	0,017	0,038	0,010	0,008	0,012	0,122	5.
a_8 - Kaminky 33	0,023	0,003	0,020	0,001	0,001	0,003	0,038	0,038	0,010	0,005	0,004	0,145	3.

Tab. 9 – Vážené geometrické priemery a poradie variantov - bodovacia metóda a metóda AHP

	f_{A1}	f_{A2}	f_{A3}	f_{A4}	f_{B1}	f_{B2}	f_{B3}	f_{B4}	f_{C1}	f_{C2}	f_{C3}	Výsledok	Poradie variantov
a_1 - Oblá 2	0,076	0,020	0,007	0,007	0,004	0,003	0,005	0,007	0,013	0,002	0,003	0,147	3.
a_2 - Oblá 3	0,010	0,006	0,007	0,001	0,004	0,003	0,005	0,007	0,001	0,001	0,001	0,048	8.
a_3 - Oblá 5	0,010	0,020	0,007	0,002	0,004	0,009	0,005	0,007	0,013	0,001	0,001	0,080	6.
a_4 - Oblá 7	0,010	0,009	0,007	0,002	0,004	0,009	0,005	0,007	0,013	0,001	0,001	0,069	7.
a_5 - Oblá 14	0,076	0,013	0,018	0,014	0,001	0,001	0,015	0,019	0,013	0,009	0,005	0,183	1.
a_6 - Kaminky 6	0,010	0,041	0,002	0,010	0,004	0,003	0,015	0,019	0,013	0,007	0,005	0,128	4.
a_7 - Kaminky 27	0,029	0,004	0,004	0,003	0,001	0,001	0,015	0,042	0,013	0,005	0,010	0,126	5.
a_8 - Kaminky 33	0,029	0,003	0,026	0,001	0,001	0,001	0,033	0,042	0,013	0,003	0,003	0,154	2.

Tab. 10 – Vážené geometrické priemery a poradie variantov - Fullerova metóda a metóda AHP

	f_{A1}	f_{A2}	f_{A3}	f_{A4}	f_{B1}	f_{B2}	f_{B3}	f_{B4}	f_{C1}	f_{C2}	f_{C3}	Výsledok	Poradie variantov
a_1 - Oblá 2	0,104	0,038	0,004	0,010	0,004	0,004	0,005	0,004	0,009	0,003	0,002	0,186	2.
a_2 - Oblá 3	0,014	0,008	0,004	0,002	0,004	0,004	0,005	0,004	0,001	0,002	0,001	0,049	8.
a_3 - Oblá 5	0,014	0,026	0,004	0,003	0,004	0,014	0,005	0,004	0,009	0,001	0,001	0,085	6.
a_4 - Oblá 7	0,014	0,012	0,004	0,003	0,004	0,014	0,005	0,004	0,009	0,001	0,000	0,070	7.
a_5 - Oblá 14	0,104	0,017	0,009	0,021	0,001	0,001	0,014	0,011	0,009	0,012	0,003	0,201	1.
a_6 - Kaminky 6	0,014	0,053	0,001	0,015	0,004	0,004	0,014	0,011	0,009	0,008	0,003	0,136	3.
a_7 - Kaminky 27	0,039	0,005	0,002	0,005	0,001	0,001	0,014	0,025	0,009	0,006	0,005	0,113	5.
a_8 - Kaminky 33	0,039	0,004	0,013	0,001	0,001	0,001	0,032	0,025	0,009	0,004	0,002	0,130	4.

Tab. 11 – Vážené geometrické priemery a poradie variantov - Saatyho metóda a metóda AHP

Metóda TOPSIS

Ako ďalšia metóda rozhodovania bola použitá metóda TOPSIS. Princípom metódy je minimalizácia vzdialenosti od ideálneho variantu. Ako ideálny variant je stanovený etalón, ktorý predstavuje porovnávanú nehnuteľnosť nepriameho cenového porovnania. Etalón bude braný ako hypotetický variant. Pri riešení tejto metódy sa vychádzalo z toho, že všetky kritériá sú maximalizačného typu, tzn. s rastúcou preferenciou (zisková), u ktorých sú vyššie hodnoty preferované pred nižšími. Na začiatku bola realizovaná transformácia kritériálnej matice na normalizovanú kritériálnu maticu. V ďalšom kroku bol každý stĺpec matice R vynásobený váhou odpovedajúceho si kritéria. Následne boli stanovené hodnoty ideálneho variantu a bazálneho variantu z matice Z . Výpočty boli najskôr realizované čiastkovo na úrovni kritérií. V nasledujúcom kroku je potrebné aplikovať výpočet pomocou metódy TOPSIS na úrovni faktorov s príslušnými váhami.

Alternatíva	d_i^+	d_i^-	c_i	Poradie
a_1 - Oblá 2	0,030	0,202	0,872	1.
a_2 - Oblá 3	0,189	0,080	0,298	8.
a_3 - Oblá 5	0,181	0,110	0,379	6.
a_4 - Oblá 7	0,183	0,110	0,376	7.
a_5 - Oblá 14	0,109	0,182	0,625	2.
a_6 - Kamínky 6	0,177	0,115	0,394	5.
a_7 - Kamínky 27	0,123	0,098	0,443	4.
a_8 - Kamínky 33	0,121	0,100	0,453	3.

Tab. 12 – Výsledné hodnoty a určenie poradia variantov Bodovacou metódou a metódou TOPSIS

Alternatíva	d_i^+	d_i^-	c_i	Poradie
a_1 - Oblá 2	0,122	0,228	0,651	2.
a_2 - Oblá 3	0,249	0,011	0,041	8.
a_3 - Oblá 5	0,234	0,041	0,150	6.
a_4 - Oblá 7	0,235	0,039	0,141	7.
a_5 - Oblá 14	0,096	0,227	0,703	1.
a_6 - Kamínky 6	0,234	0,069	0,228	5.
a_7 - Kamínky 27	0,124	0,160	0,563	4.
a_8 - Kamínky 33	0,121	0,166	0,578	3.

Tab. 13 – Výsledné hodnoty a určenie poradia variantov Fullerovou metódou a metódou TOPSIS

Alternatíva	d_i^+	d_i^-	c_i	Poradie
a_1 - Oblá 2	0,026	0,314	0,924	1.
a_2 - Oblá 3	0,314	0,029	0,083	8.
a_3 - Oblá 5	0,307	0,052	0,145	6.
a_4 - Oblá 7	0,309	0,052	0,143	7.
a_5 - Oblá 14	0,055	0,307	0,849	2.
a_6 - Kamínky 6	0,282	0,072	0,203	5.
a_7 - Kamínky 27	0,169	0,152	0,473	3.
a_8 - Kamínky 33	0,173	0,150	0,465	4.

Tab. 14 – Výsledné hodnoty a určenie poradia variantov Saatyho metódou a metódou TOPSIS

Z výsledkov konečného porovnania hodnôt relatívneho indikátoru vzdialenosti od bazálneho variantu (indikátor úžitku) pre jednotlivé metódy určenia váh kritérií vyplýva, že poradie zostáva to isté, len jediné prehodenie poradi nastalo pri použití váh stanovených Fullerovou metódou, vid' šedé bunky v tabuľke č. 15.

Alternatíva	Bodovacia metóda		Fullerova metóda		Saatyho metóda	
	<i>ci</i>	Poradie	<i>ci</i>	Poradie	<i>ci</i>	Poradie
<i>a</i> ₁ - Oblá 2	0,872	1.	0,651	2.	0,924	1.
<i>a</i> ₂ - Oblá 3	0,298	8.	0,041	8.	0,083	8.
<i>a</i> ₃ - Oblá 5	0,379	6.	0,150	6.	0,145	6.
<i>a</i> ₄ - Oblá 7	0,376	7.	0,141	7.	0,143	7.
<i>a</i> ₅ - Oblá 14	0,625	2.	0,703	1.	0,849	2.
<i>a</i> ₆ - Kamínky 6	0,394	5.	0,228	5.	0,203	5.
<i>a</i> ₇ - Kamínky 27	0,443	4.	0,563	4.	0,473	3.
<i>a</i> ₈ - Kamínky 33	0,453	3.	0,578	3.	0,465	4.

Tab. 15 – Výsledné poradie variantov

5.2.5 Citlivostná analýza a výber vhodného variantu

Výsledky jednotlivých multikriteriálnych metód sú vzájomne porovnané prostredníctvom citlivostnej analýzy, ktorá je využitá pre stanovenie vhodného variantu zvolenej metodiky. Tá ukazuje stabilitu riešenia v závislosti na voľbe dôležitosti vstupných parametrov pre jednotlivé kombinácie stanovených metód. Citlivostná analýza je realizovaná za účelom zníženia rizika ľudského faktoru pri stanovení hodnôt dôležitosti kritérií a variantov. V rámci dizertačnej práce je využitá jednoduchá metóda založená na princípe obmeny vstupných hodnôt. Tzn. kritérium, ktoré pôvodne malo najvyššiu hodnotu, bude mať druhú najvyššiu hodnotu a naopak. Táto simulácia hľadá variant metód, ktorý má najmenšiu odchýlku takto zamenených parametrov.

V nasledujúcich tabuľkách budú uvedené porovnania normalizovaných hodnôt výsledkov jednotlivých multikriteriálnych metód jak pôvodnej analýzy tak citlivostnej analýzy. Normalizované hodnoty boli prepočítané po jednotlivých variantoch na spoločný súčet 1. V závere sú od seba pôvodné normalizované hodnoty a hodnoty po výmene váh kritérií odčítané a vypočítané absolútne hodnoty odchýlky.

Variant	Váhy určené Bodovacou metódou			Váhy určené Fullerovou metódou			Váhy určené Saatyho metódou		
	PA	CA	Odchýlka	PA	CA	Odchýlka	PA	CA	Odchýlka
<i>a</i> ₁ - Oblá 2	0,181	0,173	0,007	0,195	0,155	0,041	0,222	0,190	0,032
<i>a</i> ₂ - Oblá 3	0,000	0,032	0,032	0,000	0,039	0,039	0,000	0,045	0,045
<i>a</i> ₃ - Oblá 5	0,038	0,043	0,005	0,044	0,120	0,076	0,035	0,076	0,041
<i>a</i> ₄ - Oblá 7	0,028	0,032	0,004	0,037	0,110	0,073	0,029	0,067	0,038
<i>a</i> ₅ - Oblá 14	0,234	0,225	0,009	0,245	0,187	0,058	0,263	0,236	0,027
<i>a</i> ₆ - Kamínky 6	0,134	0,169	0,035	0,103	0,149	0,046	0,108	0,156	0,048
<i>a</i> ₇ - Kamínky 27	0,186	0,160	0,026	0,184	0,123	0,061	0,169	0,124	0,045
<i>a</i> ₈ - Kamínky 33	0,200	0,165	0,035	0,192	0,117	0,075	0,174	0,105	0,069

PA - pôvodná analýza; CA - citlivostná analýza

Tab. 16 – Porovnanie normalizovaných hodnôt pôvodnej a citlivostnej analýzy metódy OWA

Variant	Váhy určené Bodovacou metódou			Váhy určené Fullerovou metódou			Váhy určené Saatyho metódou		
	PA	CA	Odchýlka	PA	CA	Odchýlka	PA	CA	Odchýlka
<i>a</i> ₁ - Oblá 2	0,154	0,146	0,008	0,157	0,115	0,042	0,192	0,175	0,017
<i>a</i> ₂ - Oblá 3	0,054	0,056	0,002	0,051	0,057	0,006	0,051	0,052	0,002
<i>a</i> ₃ - Oblá 5	0,100	0,105	0,004	0,086	0,096	0,010	0,088	0,105	0,017
<i>a</i> ₄ - Oblá 7	0,087	0,085	0,001	0,074	0,071	0,003	0,072	0,073	0,001
<i>a</i> ₅ - Oblá 14	0,181	0,174	0,007	0,196	0,193	0,003	0,207	0,179	0,029
<i>a</i> ₆ - Kamínky 6	0,144	0,168	0,023	0,137	0,189	0,052	0,140	0,197	0,057
<i>a</i> ₇ - Kamínky 27	0,128	0,121	0,007	0,135	0,123	0,012	0,116	0,104	0,013
<i>a</i> ₈ - Kamínky 33	0,152	0,145	0,007	0,165	0,156	0,008	0,134	0,115	0,019

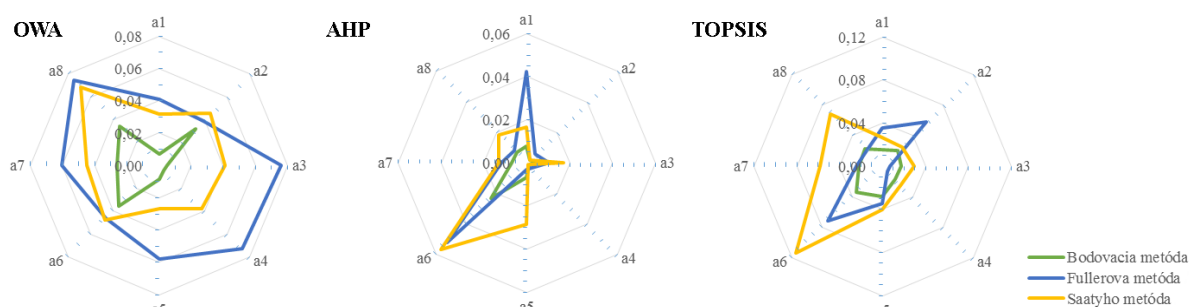
PA - pôvodná analýza; CA - citlivostná analýza

Tab. 17 – Porovnanie normalizovaných hodnôt pôvodnej a citlivostnej analýzy metódy AHP

Variant	Váhy určené Bodovacou metódou			Váhy určené Fullerovou metódou			Váhy určené Saatyho metódou		
	PA	CA	Odchýlka	PA	CA	Odchýlka	PA	CA	Odchýlka
a_1 - Oblá 2	0,227	0,211	0,016	0,213	0,178	0,036	0,281	0,255	0,026
a_2 - Oblá 3	0,078	0,098	0,021	0,013	0,071	0,058	0,025	0,051	0,025
a_3 - Oblá 5	0,099	0,116	0,018	0,049	0,042	0,007	0,044	0,074	0,030
a_4 - Oblá 7	0,098	0,115	0,017	0,046	0,039	0,007	0,044	0,068	0,024
a_5 - Oblá 14	0,163	0,134	0,028	0,230	0,195	0,035	0,258	0,218	0,040
a_6 - Kaminky 6	0,103	0,137	0,034	0,075	0,146	0,072	0,062	0,176	0,114
a_7 - Kaminky 27	0,115	0,094	0,022	0,184	0,160	0,025	0,144	0,085	0,059
a_8 - Kaminky 33	0,118	0,095	0,023	0,189	0,168	0,021	0,142	0,073	0,068

PA - pôvodná analýza; CA - citlivostná analýza

Tab. 18 – Porovnanie normalizovaných hodnôt pôvodnej a citlivostnej analýzy metódy TOPSIS



Obr. 11 – Výsledné grafické porovnanie kombinácie metód pri citlivostnej analýze

Po realizácii citlivostnej analýzy vyplýva, že najmenší vplyv chyby ľudského faktoru má kombinácia bodovacej metódy stanovenia váh a multikriteriálnej metódy AHP. Z výsledného porovnania metóda AHP všeobecne dokazuje menšie rozdiely oproti iným použitým metódam. Táto prípadová štúdia je príkladom komplexne stanoveného problému, ktorý hodnotí nehomogénne kritériá z rôznych oblastí záujmu.

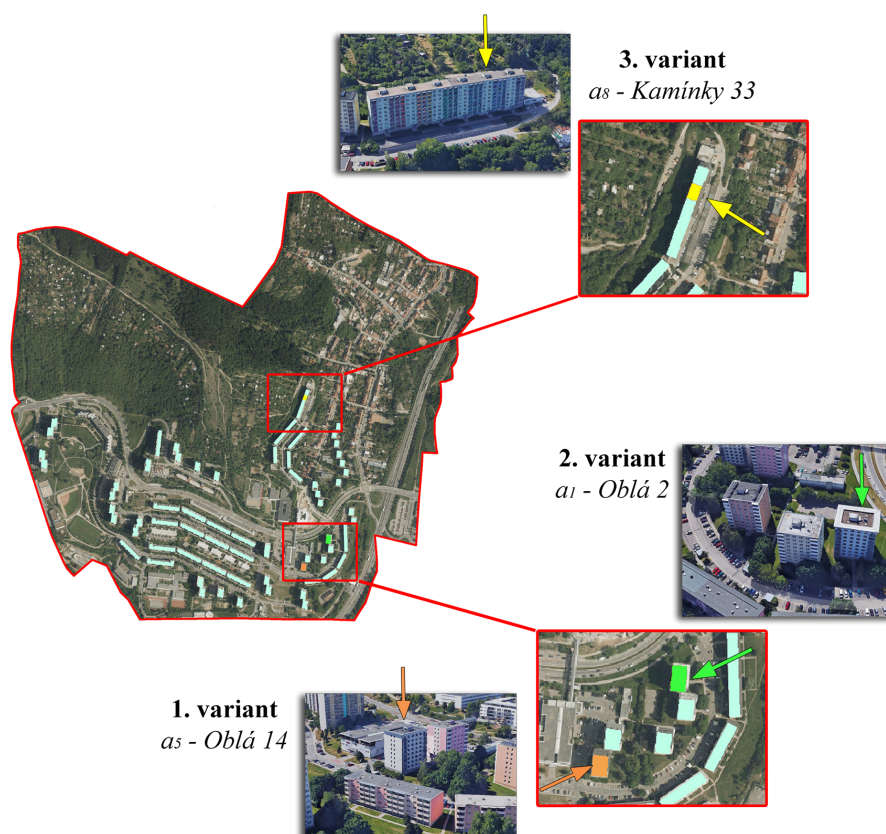
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	Σ
Bodovacia metóda / OWA	0,007	0,032	0,005	0,004	0,009	0,035	0,026	0,035	0,153
Fullerova metóda / OWA	0,041	0,039	0,076	0,073	0,058	0,046	0,061	0,075	0,468
Saatyho metóda / OWA	0,032	0,045	0,041	0,038	0,027	0,048	0,045	0,069	0,344
Bodovacia metóda / AHP	0,008	0,002	0,004	0,001	0,007	0,023	0,007	0,007	0,059
Fullerova metóda / AHP	0,042	0,006	0,010	0,003	0,003	0,052	0,012	0,008	0,137
Saatyho metóda / AHP	0,017	0,002	0,017	0,001	0,029	0,057	0,013	0,019	0,154
Bodovacia metóda / TOPSIS	0,016	0,021	0,018	0,017	0,028	0,034	0,022	0,023	0,178
Fullerova metóda / TOPSIS	0,036	0,058	0,007	0,007	0,035	0,072	0,025	0,021	0,259
Saatyho metóda / TOPSIS	0,026	0,025	0,030	0,024	0,040	0,114	0,059	0,068	0,387

Tab. 19 – Odchýlky normalizovaných hodnôt pôvodnej a citlivostnej analýzy

Poradie variantov určených kombináciou bodovacej metódy stanovenia váh a multikriteriálnej metódy AHP je uvedené v tabuľke č. 20. Kombinácia týchto dvoch metód vyšla z výsledkov citlivostnej analýzy ako najstabilnejšia. Ako vhodné varianty boli stanovené bytové panelové domy v poradí: **1.** a_5 - Oblá 14, **2.** a_1 - Oblá 2 a **3.** a_8 - Kaminky 33. Tieto varianty môžu byť následne využité oceňovateľom (znancom) v procese hodnotenia kritérií nepriameho cenového porovnania, ako najlepšie varianty splňujúce dané požiadavky.

	f_{A1}	f_{A2}	f_{A3}	f_{A4}	f_{B1}	f_{B2}	f_{B3}	f_{B4}	f_{C1}	f_{C2}	f_{C3}	Výsledok	Poradie variantov
a_1 - Oblá 2	0,060	0,031	0,006	0,008	0,005	0,008	0,006	0,007	0,010	0,004	0,004	0,147	2.
a_2 - Oblá 3	0,008	0,006	0,006	0,002	0,005	0,008	0,006	0,007	0,001	0,002	0,002	0,052	8.
a_3 - Oblá 5	0,008	0,021	0,006	0,002	0,005	0,028	0,006	0,007	0,010	0,002	0,001	0,096	6.
a_4 - Oblá 7	0,008	0,009	0,006	0,002	0,005	0,028	0,006	0,007	0,010	0,001	0,001	0,083	7.
a_5 - Oblá 14	0,060	0,014	0,014	0,015	0,001	0,003	0,017	0,017	0,010	0,016	0,006	0,173	1.
a_6 - Kaminky 6	0,008	0,043	0,001	0,011	0,005	0,008	0,017	0,017	0,010	0,011	0,006	0,138	4.
a_7 - Kaminky 27	0,023	0,004	0,003	0,004	0,001	0,003	0,017	0,038	0,010	0,008	0,012	0,122	5.
a_8 - Kaminky 33	0,023	0,003	0,020	0,001	0,001	0,003	0,038	0,038	0,010	0,005	0,004	0,145	3.

Tab. 20 – Výsledné hodnoty a poradie variantov bodovacou metódou a metódou AHP



Obr. 12 – Výsledné varianty riešenej lokality Brno – Nový Lískovec

6 ZÁVER

Cieľom dizertačnej práce bolo navrhnúť a overiť metodiku využitia technológie GIS v realitnom inžinierstve. Pre potreby priestorovej analýzy bola zvolená kombinácia technológie GIS s multikriteriálnymi metódami (MCDA) posudzujúcimi varianty problematiky. Zo súčasného stavu riešenej problematiky vyplynulo, že využitie týchto metód je veľmi široké a podľa odborných rešerší sa javí byť vhodné aj pre potreby hodnotenia kritérií v rámci cenového porovnania nehnuteľností. Navrhovaná metodika využíva rôznorodosť rozhodovacích metód, ktorá dáva možnosť zvoliť adekvátnu metódu či ich kombináciu. Overenie metodiky bolo realizované na prípadových štúdiách, ktoré boli riešené v rámci konkrétnych projektov. V prípadových štúdiách sú využité multikriteriálne metódy s cieľom tzv. predvýberu variantov (mapa lokalít vhodných pre zástavbu rodinných domov) či pre účely kľúčového rozhodovania (určenie poradia predom stanovených variantov). Výsledky prvej prípadovej štúdie, kde výsledkom sú plochy vhodných lokalít, dokazujú rozdiely pri použití kombinácie zvolených metód. Druhá prípadová štúdia, ktorá hodnotila konkrétne varianty, bola viacej riešená číselne a výsledné porovnanie bolo možné presnejšie analyzovať. Dôkazom toho je aj aplikovanie citlivostnej analýzy, ktorá bola realizovaná za účelom zníženia rizika ľudského faktoru pri stanovení hodnôt dôležitosti kritérií a variantov. Skoro vo všetkých prípadoch použitia kombinácie vybraných metód bolo poradie riešených variantov rovnaké. Z výsledkov citlivostnej analýzy vyšla metóda AHP v kombinácii s 3 rôznymi metódami určenia váh ako najviac stabilná metóda hodnotenia variantov. Citlivostná analýza taktiež preukázala limitujúce možnosti použitia multikriteriálnych metód, kedy je veľmi dôležité stanovenie relevantných vstupných parametrov a ich atribútov, a taktiež vhodná voľba preferencií jednotlivých kritérií pri určení váh. Z experimentálnych výsledkov vyplýva, že navrhnutú metodiku je možné aplikovať pri hodnotení variantov z všeobecného hľadiska v prostredí GIS. Výsledky prípadových štúdií potvrdili aplikovateľnosť navrhnutej metodiky v praxi.

Stanovenie vedeckého prínosu dizertačnej práce je posudzované z hľadiska teoretického, praktického a pedagogického. Prínosy sú navzájom výrazne previazané.

I. Prínosy dizertačnej práce pre oblasť teoretickú

- Závěry môžu slúžiť ako podklad pre ďalší výskum.
- Návrh metodiky je inovatívny pri využití väčšieho počtu multikriteriálnych metód rozhodovania v prostredí GIS s využitím sémanticky rozdeleného problému do hierarchickej štruktúry (napr. od všeobecného „obec“ ku konkrétnemu „vlastná nehnuteľnosť“).

II. Prínosy dizertačnej práce pre oblasť praktickú

- Zefektívnenie aktuálneho spôsobu hodnotenia kritérií nielen pre oblasť cenového porovnania a pri hodnotení prvkov trhu s nehnuteľnosťami, ale aj pre účely hodnotenia všeobecného problému.
- Návrh metodiky hodnotenia variant v prostredí GIS, ktorá využíva kombinácie viacerých metód určenia váh a viacerých multikriteriálnych metód.
- Využitie nadstavbového nástroja MCA pre multikriteriálne rozhodovanie v prostredí softwaru ArcGIS.

III. Prínosy dizertačnej práce pre oblasť pedagogickú

- Uplatnenie získaných teoretických i praktických poznatkov uvedených v dizertačnej práci pre účely výuky predmetov s geoinformačnou problematikou na Ústave geodézie FAST VUT v Brne.
- Možnosť využitia navrhutej metodiky pre účely rozvoja študijných vysokoškolských programov zaoberajúcich sa geoinformatikou a priestorovými informáciami, u ktorých je absencia oblasti geocomputingu v učebných osnovách a vzdelávacích aktivitách. Uvedená problematika geocomputingu je riešená v rámci projektu TA ČR TB9500MV005 „Návrh doporučujících národních kurikul v oblasti prostorových informací“.

VEDECKÉ PROJEKTY SÚVISIACE S DIZERTAČNOU PRÁCOU

Problematickou tematickej oblasti prvej prípadovej štúdie dizertačnej práce sa zabýva:

- juniorský projekt FAST-J-13-2108 Špecifického výskumu pre rok 2013, s názvom *Teorie rozhodování a její aplikace v GIS*. (hlavný riešiteľ)

Druhá prípadová štúdia bola riešená v rámci:

- projektu TA ČR Centra kompetence TE02000077 s názvom *Smart Regions - Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development*. (spoluriešiteľ)

Jedným z výstupov tohoto projektu je software MCA, ktorý je súčasťou problematiky dizertačnej práce.

LITERATÚRA

- [1] LAARIBI, A., CHEVALLIER, J.J., MARTEL, J.M.: A spatial decision aid: a multicriterion evaluation approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 20, 1996, pp. 351–366.
- [2] MALCZEWSKI, J.: A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10, 1996, pp. 955–971.
- [3] JIANG, H. and EASTMAN, J.R.: Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 2000, 14, pp. 173–184.
- [4] KYEM, P.A.K.: An application of a choice heuristic algorithm for managing land resource allocation problems involving multiple parties and conflicting interests. *Transactions in GIS*, 5, 2001, pp. 111–129.
- [5] WANG, J., JING, Y., ZHANG, CH., ZHAO, J.: Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 2263–2278.
- [6] DROBNE, Samo; LISEC, Anka. Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging. *Informatica*, 2009, 33.4.

- [7] MALCZEWSKI, J.: GIS and Multicriteria Decision Analysis (New York: Wiley), 1999.
- [8] RAO, R. Venkata: Decision making in manufacturing environment using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods. 2013. London: Springer. ISBN 978-1-4471-4375-8.
- [9] MENDOZA, G.A., MARTINS H.: Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*. ScienceDirect. 2006, Vol. 230, issues 1-3, pp. 1-22. ISSN 0378-1127.
- [10] BHOWMICK P., MUKHOPADHYAY S., SIVAKUMAR V.: A review on GIS based Fuzzy and Boolean logic modelling approach to identify the suitable sites for Artificial Recharge of Groundwater. *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)*. 2014; pp. 316-319, ISSN 2321-435X.
- [11] BAKHTIAR F., BLASCHKE T.: GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural Hazards*. 2013, Volume 65, Issue 3, pp 2105–2128
- [12] OZTURK, D.; BATUK, F. Technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) for spatial decision problems. *Proceedings of Gi4DM*, 2011.
- [13] NASIRI, HI, et al. Implementation of Agricultural Ecological Capability Model Using Integrated Approach of PROMETHEE II and Fuzzy-AHP in GIS Environment (Case Study: Marvdasht county). *Journal of Environmental Studies*, 2012, 38.3.
- [14] AERTS, J.C.J.H. and HEUVELINK, G.B.M.: Using simulated annealing for resource allocation. *International Journal of Geographical Information Science*, 16, 2002, pp. 571–587.
- [15] KACHELE, H., DABBERT, S.: An economic approach for a better understanding of conflicts between farmers and nature conservationists—an application of the decision support system MODAM to the Lower Odra Valley National Park. *Agricultural Systems*, 74, 2002, pp. 241–255.
- [16] EASTMAN, J.R., JIN, W., KYEM, P.A.K., TOLEDANO, J.: Raster procedures for multicriteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 61, 1995, pp. 539–547.
- [17] BAYLISS, J., HELYAR, A., LEE, J.T., S. THOMPSON, S.: A multi-criteria targeting approach to neutral grassland conservation. *Journal of Environmental Management*, 67, 2003, pp. 145–160.
- [18] MALCZEWSKI, J.: Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation* 8 (4), 2006, 270–277.
- [19] ZHANG, X., WANG, Z., LIN, J.: GIS Based Measurement and Regulatory Zoning of Urban Ecological Vulnerability. *Sustainability* 2015, 7, 9924-9942; ISSN 2071-1050.
- [20] YAAKUP A., LUDIN A., SUSILAWATI S., HAIBENARISAL B.: GIS in urban planning and management: Malaysian experience. *International Symposium & Exhibition on Geoinformation, Geospatial Solutions for Managing the Borderless World*, Pulau Pinang, 2005.
- [21] DERMEKOVÁ, S.: Aplikace prostorových analýz pomocí technologie GIS pro účely trhu s nemovitostmi. Brno, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2012, 87 s.
- [22] ZARGHAMI, Mahdi; SZIDAROVSKY, Ferenc. *Multicriteria analysis: applications to water and environment management*. Springer Science & Business Media, 2011.
- [23] KORVINY, P.: Multikriteriální analýza dálkově řízených prvků v distribučních sítích vln. Ostrava, Dizertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra elektroenergetiky, 2002. 50 s.
- [24] LIU, S. et al.: New approach to MCDM under interval-valued intuitionistic fuzzy environment. *Int. J. Mach. Learn. & Cyber*. Springer. 2012. Volume 4, Issue 6, pp. 671-678. ISSN: 1868-808X.
- [25] SAATY, L., T.: Decision making with the analytic hierarchy process. *Int. J. Services Sciences*, Vol. 1, No. 1, 2008, 83-98.
- [26] KLIMÁNEK, M. GIS - integrované využití (5). Brno, Prednášky, Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Ústav geoinformačních technologií, 2011.
- [27] BOROUSHAKI, S., MALCZEWSKI, J.: Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers and Geosciences* 34, 2007, 399-410.

- [28] FIALA P., JABLOŇSKÝ J., MAŇAS M.: Vícekriteriální rozhodování. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, 1994.
- [29] BRADÁČ, A.; KLIKA, P.; BRADÁČOVÁ, L.; BRUMOVSKÝ, M.; BURDA, A.; CUPAL, M.; INTROVIČOVÁ, S.; KLIŠOVÁ, J.; MELEN, V.; NIČ, M.; NYKODÝMOVÁ, V.; PERTL, M.; LORENCOVÁ, M.; SUPERATOVÁ, A.; ZUZAŇÁKOVÁ, P.; UHERKOVÁ, E.; ULRICH, J. Teorie a praxe oceňování nemovitých věcí. první. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2016. 790 s. ISBN: 978-80-7204-930- 1.
- [30] DERMEKOVÁ S., ŠKURLA J.: MCA – Multi-Criteria Analysis. Uživatelská příručka. Brno 2016. Centrum kompetence TE02000077.
- [31] HÍREŠOVÁ T.: Aplikácie teorie multikriteriálního rozhodování v GIS v lokalitě Nový Lískovec. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2016.

PUBLIKÁCIE SÚVISIACE S DIZERTAČNOU PRÁCOU

Publikácie v impaktovaných časopisoch

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. Comparison with the Reference Value on the Example of Geographic Information System- Based Applications. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2016, vol. 13, no. 11, p. 8008-8014. ISSN: 1546-1955, DOI: 10.1166/jctn.2016.6046.

HIRŠ, J.; DERMEKOVÁ, S.; WAWERKA, R.; VOLAŘÍK, T.; MOHELNÍKOVÁ, J. Information Modelling Process Based on Integrated Data Acquisition. *ENERGY AND BUILDINGS*, 2016, vol. 130, no. October 2016, p. 122-130. ISSN: 0378-7788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.08.029.

Kapitola v knihe

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. Method of real estate evaluation for recreational purposes. In *The Role of Service in the Tourism & Hospitality Industry*. CRC Press 2015. London, UK: CRC Press, Taylor & Francis, 2015. p. 101-106. ISBN: 978-1-315-68852- 7, DOI: 10.1201/b18238-18.

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. Spatial Analysis in GIS to Estimate the Price of Geographic Objects for Recreational Purposes. In *Social Interactions and Networking in Cyber Society*. Social Sciences. Singapore: Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. p. 185-197. ISBN: 978-981-10-4189- 1, DOI: 10.1007/978-981-10-4190-7_15.

Konferenčné články vedené v databázy Conference Proceedings Citation Index

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. Multi- Criterial Analysis Based on Comparison with Etalon. *ADV SCI LETT*, 2014, vol. 2014 (20), no. 10- 11, p. 2111-2114. ISSN: 1936-6612, DOI: 10.1166/asl.2014.5665.

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. The Use of Decision Theory in the Business Geography. *ADV SCI LETT*, 2015, vol. 21, no. 1, p. 88-92. ISSN: 1936-6612, DOI: 10.1166/asl.2015.5746.

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. The Permanent Residential Housing: Geographic Information System- Based Evaluation Considering the Legislation. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2017, vol. 14, no. 1, p. 284-290. ISSN: 1546-1955.

Publikácie vedené v databázy recenzovaných neimpaktovaných periodík

DERMEKOVÁ, S. Hodnotenie kritérií v realitnom inžinierstve s podporou GIS. *GEODETICKÝ A KARTOGRAFICKÝ OBZOR*, 2013, roč. 9/ 2013, č. 101, s. 235-244. ISSN: 1805-7446.

Publikácie v neimpaktovaných časopisoch vo svetových databázach

BARTONĚK, D.; DERMEKOVÁ, S. Principles of territorial development: Using spatial tools based on GIS. *AWERProcedia Information Technology and Computer, Science*, 2015, vol. 2015, no. 8, p. 97-108. ISSN: 2147-5369.

Články v zbornících mezinárodních konferencí

DERMEKOVÁ, S.; BARTONEK, D. Multi-Criteria Decision Making: The Used Oriented Application for the Real Estate Market. In *5th International Conference on Cartography and GIS. International Conference on Cartography and GIS*. Proceedings. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, 2014. p. 583-590. ISBN: 0-470-85151- 1. ISSN: 1314-0604.

VOLAŘÍK, T.; DERMEKOVÁ, S.; WAWERKA, R.; SUKUP, J. Smart housing estate: multidisciplinary data for environmental modelling. In *SGEM 2014. International multidisciplinary geoconference SGEM*. 1. Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 2014. p. 777-784. ISBN: 978-619-7105-12- 4. ISSN: 1314-2704.

WAWERKA, R.; VOLAŘÍK, T.; DERMEKOVÁ, S. Smart housing estate: implementation of ICT user friendly application to raise inhabitant' s sustainability awareness. In *15th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2015*. Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference proceedings, Volume I. Sofia, Bulgaria, ISSN: 1314-2704.

DERMEKOVÁ, S. Multi- Criteria analysis for municipal engineering and their applications in the GIS. In *16th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2016*. Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference proceedings, Volume II. Sofia, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd., 51 "Alexander Malinov" Blvd., 1712 Sofia, Bulgaria, 2016. p. 1-8. ISBN: 978-619-7105-34- 6.