Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní

Modelování udržitelného rozvoje v mikroregionu pomocí fuzzy množin – environmentální oblast

Bc. Luboš Nejtek

Diplomová práce

2009

PROHLAŠUJI:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Všechny literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedené v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva i povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Zb., autorský zákon, především se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o využití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona a s tím, že pokud dojde k využití této práce mnou, případně bude poskytnuta licence o využití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněná ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 24. 08. 2009

Bc. Luboš Nejtek

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat především vedoucímu diplomové práce, panu prof. Ing. Vladimíru Olejovi, CSc. za odbornou pomoc, připomínky k obsahové i formální stránce diplomové práce a za vedení při vypracovávání a podporu při řešení praktické části.

SOUHRN

Diplomová práce se zabývá modelováním trvale udržitelného rozvoje v mikroregionu Pardubického kraje pomocí intuitionistic fuzzy množin. Práce je konkrétně zaměřena na environmentální oblast. Součástí je i stručné porovnání environmentálních parametrů Pardubického kraje a ostatních krajů ČR.

Dále jsou postupně popsány všechny parametry environmentální oblasti a zdůvodněn výběr parametrů pro tuto práci. S návrhem modelu souvisí také výběr a zpracování dat. Data, která budou použita pro modelování, jsou získána z Českého statistického úřadu a popisují environmentální parametry obcí Pardubického kraje.

V další části je popsán model na klasifikaci obcí Pardubického kraje do tříd, který je navržen s intuitionistic fuzzy množinami, které lze zobrazit dvěmi intuitionistic fuzzy relacemi $R(P \to \Omega)$ a $Q(O \to P)$, a dále kompozicí těchto dvou relací $T = R \circ Q$. V závěru diplomové práce je provedena analýza navrženého modelu a výsledků dosažených po dosazení vstupních dat do modelu.

KLÍČOVÁ SLOVA

udržitelný rozvoj, environmentální oblast, relace fuzzy množin, intuitionistic fuzzy množiny, kompozice relací

TITLE

Modelling of the sustainable development in microregion by the fuzzy sets - environmental area

ABSTARCT

The subject of my thesis is scaling of permanent sustainable development in micro-region of Pardubice region by intuitionistic fuzzy sets. To be specific, the thesis is focused on environmental area. There is a brief comparison of environmental parameters among Pardubice region and the other regions of the Czech Republic.

There are also described all parameters of environmental area and there are given reasons for choice of parameters for this thesis. The choice and data processing is connected with the model design. The data used for modelling are extracted from the Czech Statistical Office and they describe the environmental parameters of Pardubice region municipalities.

There is described the classification model of Pardubice region municipalities into classes in the next part. This model is designed by intuitionistic fuzzy sets, which could be displayed using two fuzzy relations $R(P \rightarrow \Omega)$ and $Q(O \rightarrow P)$, and composition of these two relations $T = R \circ Q$. There is analysis of the designed model and of the results obtained after putting the enter data into the model in the conclusion.

KEYWORDS

sustainable development, environmental area, fuzzy sets relation, intuitionistic fuzzy sets, composition of relations

OBSAH

ÚVOD

Principy trvale udržitelného rozvoje poprvé formulovala ministerská předsedkyně Norska G. H. Brundtlandová v roce 1987:

„Udržitelný rozvoj je takový rozvoj, který uspokojuje potřeby současnosti bez ohrožování možností budoucích generací uspokojovat své vlastní potřeby. Je v podstatě procesem změn, ve kterém jsou využívání zdrojů, orientace vývoje technologií a transformace institucí zaměřeny na harmonické zvyšování současného i budoucího potenciálu uspokojování lidských potřeb a aspirací.“

V českém právním řádu je trvale udržitelný rozvoj definován v zákonu č. 17/1992 Sb., o životním prostředí: „Trvale udržitelný rozvoj společnosti je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní životní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost a zachovává přirozené funkce ekosystémů.“ (zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí, § 6) [1].

Cílem diplomové práce je klasifikovat obce Pardubického kraje (Pk) do tří tříd na základě zvolených parametrů. Obecně lze cíle definovat následovně:

- charakteristika parametrů environmentální oblasti,
- návrh a analýza parametrů, které budou použity pro modelování udržitelného rozvoje v pardubickém kraji,
- charakteristika fuzzy množin a intuitionistic fuzzy množin,
- příprava dat a návrh relací pro modelování udržitelného rozvoje,
- analýza výsledků.

V první kapitole jsou nejdříve stručně popsány parametry udržitelného rozvoje a porovnány parametry environmentální oblasti v Pardubickém kraji s ostatními kraji v ČR. Jako zdroj porovnání bude použita zpráva z Českého statistického úřadu (ČSÚ) v Pardubicích ze dne 21. prosince 2007. Ve druhé kapitole jsou popsány parametry environmentální oblasti udržitelného rozvoje a dále jsou navrženy takové parametry, které budou použity pro samotné modelování. Třetí kapitola je zaměřena na definování základních pojmů fuzzy množin a intuitionistic fuzzy množin. Ve čtvrté kapitole je uveden postup návrhu fuzzy relací a algoritmus kompozice fuzzy relací. Dále je v této kapitole uveden postup při předzpracování dat. V poslední kapitole je zhodnocen výsledek modelování a jsou stanoveny závěry.

1 Udržitelný rozvoj v Pardubickém kraji – environmentální oblast

Cílem této kapitoly je stručně popsat oblasti udržitelného rozvoje. Dále je provedeno srovnání environmentálních parametrů Pk a ostatních krajů, resp. srovnání environmentálních parametrů Pk a průměrné hodnoty environmentálních parametrů v ČR. Srovnání je provedeno za roky 2000, 2004 a 2006.

1.1 Oblasti udržitelného rozvoje

Podle [2] vychází oblasti udržitelného rozvoje (UR) ze sad použitých v národní Strategii udržitelného rozvoje (SUR) z roku 2004, v situačních zprávách k SUR z roku 2005 a 2006. Opomenut nezůstal ani návrh obnovené SUR z května 2007. Je třeba vzít v úvahu, že ne všechny parametry jsou dostupné na krajské úrovni. V tomto případě byly vybrány náhradní parametry blízké původním. Několik parametrů vhodnou náhradu však nemá, a proto příslušná oblast není řešena (např. index vnímáni korupce, spotřeba primárních energetických zdrojů, index běžných druhů volně žijících ptáků, index zavlečených druhů rostlin, spotřeba pesticidů). Vždy však byla dodržována zásada, aby data pro výpočet parametrů byla získána z pravidelných statistických zjišťování či jiných zdrojů, poskytujících pravidelně hodnověrné údaje v časové řadě. Vybrané parametry v této kapitole tvoří vyvážený soubor, který charakterizuje úroveň udržitelnosti v jednotlivých krajích. Uvedené tabulky slouží k srovnání mezi kraji a postavení Pk v rámci ČR. Může být tedy vodítkem, na kterou oblast by se Pardubický kraj, resp. všechny kraje měl zaměřit. Tabulky ukazují, jakým směrem se ubírá vývoj jednotlivých indikátorů, zda se stav zlepšuje či zhoršuje, nebo zda se kraj přibližuje či vzdaluje od celostátní úrovně.

1.2 Přehled oblastí pro udržitelný rozvoj

V roce 2006 byla ke Strategii udržitelného rozvoje sepsána situační zpráva, která má za cíl podle zvolených parametrů monitorovat vývoj v České republice s ohledem na vytyčené cíle [2]. Na základě sady 34 parametrů popisuje vývoj ve třech oblastech udržitelného rozvoje.

1.2.1 Ekonomická oblast

V ekonomické oblasti jsou na základě parametrů jako nejdůležitější okruhy vybrány:

- makroekonomická a fiskální oblast,
- energetika,
- surovinová a zemědělská politika,
- regionální rozvoj,
- optimální zaměstnanost,
- flexibilní ekonomika založena na znalostech.

1.2.2 Environmentální oblast

V environmentální oblasti (EO) se jedná především o:

- nejlepší kvalitu všech složek životního prostředí,
- minimalizaci střetů mezi ekonomickými aktivitami a ochranou životního prostředí,
- příspěvek České republiky k řešení globálních environmentálních problémů.

1.2.3 Sociální oblast

V popředí zájmu v případě sociální oblasti je:

- sociální soudržnost,
- nízká nezaměstnanost.

1.3 Porovnání environmentálních parametrů

Parametry, které ovlivňují EO a zároveň byly použity pro modelování, jsou podrobněji popsány v kapitole 2. V této subkapitole je pomocí tabulek znázorněno, jak si pardubický kraj vede v environmentální oblasti v porovnání s ostatními kraji ČR resp. oproti průměru ČR. Tabulky jsou seřazeny do dvou kategorií:

- porovnání se všemi kraji,
- porovnání s průměrnými hodnotami ČR.

Parametry vyjadřující poměr rozlohy zahrad na jednoho obyvatele a rozlohy ovocných sadů na jednoho obyvatele nejsou v práci porovnány, protože nebyly k dispozici relevantní kompletní data, která by zachytila vývoj v krajích.

První kategorii popisují tři následující parametry resp. tabulky. Prvním parametrem je podíl zornění zemědělské půdy, který se v posledních letech v celé České republice, zejména vlivem zatravňováním, snižoval. V letech 1993 až 2006 klesl podíl v pardubickém kraji ze 74,2% na 73,2%. Oproti průměrným hodnotám ČR klesal podíl zornění zemědělské půdy v Pk pomaleji. V ČR klesl podíl ve stejném období ze 74,1% na 71,4%. V následující tab. 1 jsou uvedeny ze sledovaného období hodnoty z let 2000, 2004 a 2006.

Tab. 1 - Zornění zemědělské půdy v % [2]

Kraj	2000			2004			2006		
	%	Pořadí	Změna	%	Pořadí	Změna	%	Pořadí	Změna
Praha	73,6	10	0	73,5	10	0	73,5	10	0
Středočeský	83,5	13	0	83,2	13	0	83,2	13	0
Jihočeský	64,8	4	0	64,6	5	↓	64,5	5	0
Plzeňský	69,2	7	0	68,9	7	0	68,8	7	0
Karlovarský	46,6	1	0	45,6	1	0	45,1	1	0
Ústecký	67,5	6	0	67	6	0	66,6	6	0
Liberecký	50,5	2	0	49,3	2	0	48,7	2	0
Královéhradecký	69,4	8	0	69,2	8	0	69,1	8	0
Pardubický	73,5	9	0	73,4	9	0	73,2	9	0
Vysočina	77,7	12	0	77,4	12	0	77,4	12	0
Jihomoravský	84,2	14	0	83,6	14	0	83,2	14	0
Olomoucký	76,3	11	0	75,4	11	0	74,5	11	0
Zlínský	64,8	5	0	64,4	4	↑	64,3	4	0
Moravskoslezský	63,2	3	0	62,7	3	0	62,9	3	0

Druhým parametrem z této kategorie je hodnota koeficientu ekologické stability (KES). Vývoj tohoto parametru v letech 2000 – 2006 ve všech krajích, s výjimkou hl. m. Prahy má pozitivní růst, a to zejména vlivem úbytku výměry orné půdy, zatravňování a zalesňování. Ekologicky nejstabilnější území má dle tohoto parametru kraj Liberecký, Karlovarský a Jihočeský, nejmenší ekologickou stabilitu území vykazuje Praha, kde je vysoký podíl zastavěné plochy. Nízká ekologická stabilita je i ve středočeském a jihomoravském kraji. V těchto krajích je způsobena vysokým stupněm zornění zemědělské půdy. Mezi kraje s relativně vysokým podílem orné půdy patří i Pardubický kraj a tím se tedy řadí k regionům s méně příznivým koeficientem ekologické stability. A mezi kraji byl v roce 2006 až na desáté pozici. Vývoj tohoto parametru je zobrazen v tab. 2.

Tab. 2 – Koeficient ekologické stability [2]

Kraj	2000			2004			2006		
	%	Pořadí	Změna	%	Pořadí	Změna	%	Pořadí	Změna
Praha	0,3	14	0	0,3	14	0	0,3	14	0
Středočeský	0,65	12	0	0,66	12	0	0,66	13	↓
Jihočeský	1,43	3	0	1,45	3	0	1,45	3	0
Plzeňský	1,3	5	0	1,31	5	0	1,31	5	0
Karlovarský	1,9	2	0	1,92	2	0	1,92	2	0
Ústecký	0,94	8	0	0,95	9	↓	0,95	9	0
Liberecký	2,1	1	0	2,15	1	0	2,15	1	0
Královéhradecký	1,02	7	0	1,02	7	0	1,02	7	0
Pardubický	0,88	10	0	0,88	10	0	0,88	10	0
Vysočina	0,84	11	0	0,85	11	0	0,85	11	0
Jihomoravský	0,65	13	0	0,66	13	0	0,66	12	↑
Olomoucký	0,93	9	0	0,96	8	↑	0,96	8	0
Zlínský	1,4	4	0	1,41	4	0	1,41	4	0
Moravskoslezský	1,29	6	0	1,31	6	0	1,31	6	0

Posledním parametrem z této kategorie je podíl obyvatel bydlících v domech napojených na veřejnou kanalizaci. V této práci je tento parametr navíc rozdělen na dva parametry. A to na obce napojené na kanalizaci s čistírnou odpadních vod a na obce napojené na kanalizaci bez čistírny odpadních vod. Hodnota tohoto parametru se v České republice v letech 2000 – 2006 pozvolna zvyšovala a to ze 74,8 % na 80,0 %. V roce 2006 žilo v Pardubickém kraji 68,7 % obyvatel v domech napojených na veřejnou kanalizaci (o 4,7 procentního bodu více než v r. 2000), z toho 63,0 % na kanalizaci s koncovou čistírnou odpadních vod (ČOV). Z hlediska vybavenosti kanalizací je nejpříznivější situace v Praze a Karlovarskem kraji. Dostupnost veřejných kanalizací v obcích pardubického kraje se řadí až na poslední místa ve srovnání s ostatními kraji České republiky.

Tab. 3 – Kanalizace [2]

	Podíl obyvatel bydlících v domech napojených na veřejnou kanalizaci v (%)			Z toho na kanalizaci s koncovou ČOV v (%)		Vypouštěné odpadní vody do veřejné kanalizace v (m3 / ob.)		Podíl čištěných odpadních vod v (%)	
	2000	2004	2006	2004	2006	2000	2006	2000	2006
ČR	74,8	77,9	80	71,1	73,6	56,1	52,8	94,8	94,2
Praha	99,3	99,5	99	99,5	99	91	70,2	100	100
Středočeský	51,2	61	66	60,3	65,5	37,8	46	97,1	99,6
Jihočeský	84	87,3	83,6	73,8	73,9	64,1	58,8	94,1	95
Plzeňský	70,8	75,1	78,1	68,7	70,8	56,8	62,2	98,9	89,1
Karlovarský	95,4	91,4	91,6	90,5	90,7	69,4	51,4	98,2	99,4
Ústecký	80,2	81	81,9	75,9	77,8	55,5	47,9	81,3	92
Liberecký	64,2	68,1	68,8	61,8	62,8	43,5	43,1	93,7	99,3
Královéhradecký	71,9	73,8	73,1	64,3	65,6	50,6	49,1	92,4	93,7
Pardubický	64,1	66,2	68,7	61,3	63	47,9	43,4	95,7	95
Vysočina	63,3	80,3	85,2	61,1	68	34,7	48	94,5	73,2
Jihomoravský	75	79,7	84,1	73	77,1	46,3	47,8	98,8	95,7
Olomoucký	63	72,6	74,3	64,9	66,9	51,2	46,3	89,6	94,5
Zlínský	75,7	78,5	81,4	67,3	69,6	54,7	45,7	96,2	87,6
Moravskoslezský	80,5	73,7	77,9	63,4	67,6	62,8	60,9	92,1	92,4

V druhé kategorii jsou uvedeny parametry popisující strukturu půdního fondu Pardubického kraje, které mají vliv na udržitelný rozvoj obcí v environmentální oblasti. Hodnoty uvedených parametrů jsou porovnány s průměrnými hodnotami v České republice za sledované období od roku 1993 do roku 2006. Vývoj těchto parametrů je uveden v tab. 4.

Tab. 4 – Parametry – struktura půdního fondu [2]

		Výměra půdy celkem(ha)	v tom (%)					
			Zemědělská půda	z toho: Trvalé travní porosty	lesní pozemky	vodní plochy	zastavěné plochy	ostatní plochy
2006	ČR	7 886 702	53,94%	12,38%	33,59%	2,05%	1,65%	8,77%
	Pk	451 859	60,48%	13,32%	29,48%	1,38%	1,59%	7,07%
1993	ČR	7 886 433	54,30%	11,07%	33,33%	2,01%	1,62%	8,74%
	Pk	451 831	60,83%	12,76%	29,25%	1,33%	1,57%	7,02%
rozdíl	ČR	269	-0,36%	1,31%	0,26%	0,04%	0,03%	0,03%
	Pk	28	-0,35%	0,56%	0,23%	0,05%	0,02%	0,05%

Z tab. 4 je vidět, že území pardubického kraje disponuje vyšším podílem zemědělské půdy oproti průměru v ČR. Rozdíl oproti průměru ČR činí cca. 6%. Přesto za sledované období došlo k nepatrnému poklesu plochy zemědělské půdy, což koresponduje s trendem v celé ČR. Dále lze říci, že v Pk je podíl lesních pozemků a vodních ploch nižší.

Rozdíl oproti průměru ČR činí v případě lesních ploch cca. 4% a cca. 0,7% u vodních ploch.

Stručně lze shrnout, že v posledních letech dochází na území celé ČR k úbytku orné půdy a naopak dochází k rozšiřování trvalých travních ploch a lesních pozemků, což má příznivý dopad na trvale udržitelný rozvoj obcí, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní životní potřeby a přitom nesnižuje rozmanitost a zachovává přirozené funkce ekosystémů [2].

1.4 Závěr kapitoly

Problematika UR na regionální úrovni se dostává do širšího povědomí až v posledních letech. Regionální strategie udržitelného rozvoje musí mít na rozdíl od národní strategie konkrétnější obsah a oproti místní úrovni musí indikovat širší souvislosti. Pro plánování udržitelného rozvoje v Pk záleží na tvůrcích strategie, jaké oblasti UR a jejich parametry zvolí do své sady, kterou je možné využít pro strategické plánování a monitoring vývoje. Z uvedených tabulek lze vypozorovat, že obce již začínají aplikovat strategie a rozhodnutí, která vedou ke zlepšení situace v environmentální oblasti.

2 Vlastnosti vybraných parametrů pro klasifikaci

V této kapitole jsou popsány parametry, které jsou použity pro modelování udržitelného rozvoje pro obce pardubického kraje. Jedná se o jedenáct vybraných parametrů, které přímo ovlivňují životní prostředí v obcích. Popis parametrů je převzat převážně z publikací [2,4]. Jak byly tyto parametry zvoleny, je uvedeno v kapitole 4. Tyto parametry lze rozdělit do dvou základních skupin. Do první skupiny patří parametry, které s nižší hodnotou působí pozitivně na životní prostředí. Do této skupiny jsou zařazeny tyto parametry:

- zemědělská půda na obyvatele (ha/1ob.),
- podíl orné půdy ze zemědělské půdy (%),
- podíl zastavěných a ostatních ploch z celkové výměry (%),
- koeficient ekologické stability.

Do druhé skupiny patří parametry, které s nižší hodnotou působí na životní prostředí negativně. Do této skupiny jsou zařazeny tyto parametry:

- podíl vodních ploch z celkové výměry (%),
- zahrady na obyvatele (ha/1ob.),
- ovocné sady na obyvatele (ha/1ob.),
- trvalé travní porosty (ha/1ob.),
- lesní půda na obyvatele (ha/1ob.),
- kanalizace s ČOV,
- kanalizace bez ČOV.

2.1 Zemědělská půda na obyvatele

Zemědělská půda je součtový ukazatel, který udává souhrn výměr druhů pozemků (kultur) sloužících bezprostředně zemědělskému výrobnímu procesu jako základní prostředek, z něhož se získává rostlinná produkce.

Parametr je dán podílem:

- výměry těchto druhů pozemků - orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady a trvalé travní porosty (v čitateli)

- a celkovým počtem obyvatel v daném území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v hektarech na obyvatele [3].

2.2 Podíl orné půdy ze zemědělské půdy

Orná půda jsou pozemky, na nichž se pravidelně pěstují obiloviny, okopaniny, pícniny, technické plodiny, zelenina a jiné zahradní plodiny, nebo které jsou dočasně zatravňovány (víceleté plodiny na orné půdě, ev. dočasné louky). Patří sem i pařeniště, skleníky apod. pokud jsou zřízeny na orné půdě.

Parametr je dán podílem:

- výměry orné půdy (v čitateli)
- a celkovou výměrou zemědělské půdy (ve jmenovateli) v daném území.

Parametr je udáván v procentech.

2.3 Podíl zastavěných a ostatních ploch z celkové výměry

Mezi zastavěné plochy patří pozemky, na kterých jsou postaveny budovy (kromě skleníků apod.) a nádvoří náležející k obytným, hospodářským nebo průmyslovým budovám jako jejich příslušenství.

Mezi ostatní plochy patří všechny ostatní pozemky, určené jako skladištní a dílenské prostory, dále stavební místa, pokud slouží v současné době k jiným účelům a nedají se zemědělsky využít, pozemky určené k dopravě nebo k telekomunikaci, určené pro zdravotnictví, tělesnou výchovu a rekreaci pracujících, rekreační plochy u chat (nikoli soukromých) a hotelů, pozemky určené jako státní přírodní rezervace nebo jiná chráněná území, areály kulturních památek, pokud na nich není plánována zemědělská výroba nebo nejde o lesní půdu, parky, veřejné nebo soukromé okrasné zahrady, pozemky určené k dobývání nerostů a jiných surovin a k ukládání vedlejších produktů při těžbě nerostů a jiných surovin a jako stálé manipulační prostory apod. (haldy u šachet, silážní jámy, trvalé polní mlaty, tvrdé výběhy pro drůbež, skot a vepřový dobytek, mrchoviště). Dále jsou to hřbitovy a pozemky, které nejde zemědělsky obdělávat (rokle, výmoly, ochranné hráze atd.) a pozemky, které neposkytují trvalý užitek z jiných důvodů, jako jsou zejména plochy zarostlé křovinami nebo zanesené štěrkem či kamením nebo slatiny, tj. půdy zamokřené.

Parametr je dán podílem:

- součtem výměry zastavěných ploch a ostatních ploch v daném území (v čitateli)

- a celkové výměry daného území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v procentech

2.4 Koeficient ekologické stability

Koeficient ekologické stability stanovuje poměr ploch tzv. stabilních a nestabilních krajinotvorných prvků v daném území. Mezi stabilní prvky patří lesy, trvalé travní porosty, sady, zahrady, vinice, chmelnice a vodní plochy, mezi nestabilní prvky patří orná půda, zastavěné plochy a ostatní plochy. Území s určitým koeficientem ekologické stability (KES) je podle jeho dosažené hodnoty hodnoceno jako:

- KES $\leq$ 0,1 - Území maximálně narušené, ekologické funkce jsou trvale nahrazovány technickými zásahy;
- 0,1 < KES $\leq$ 0,3 - území nadprůměrně využívané, přírodní struktury zřetelně narušené, ekologické funkce zpravidla nahrazovány technickými zásahy;
- 0,3 < KES $\leq$ 1,0 - území intenzívně využívané (zejména zemědělskou velkovýrobou), s labilními agroekosystémy, s vysokými vklady dodatkové energie;
- 1,0 < KES $\leq$ 3,0 - vcelku vyvážená krajina, technické objekty v relativním souladu s přírodními strukturami, s nižší potřebou energomateriálních vkladů;
- KES > 3,0 - přírodní a přírodě blízká krajina s výraznou převahou ekologicky stabilních struktur a nízkou intenzitou využívání krajiny člověkem.

Koeficient ekologické stability se počítá jako podíl výměr druhů pozemků v daném území. Parametr je dán podílem:

- součtu výměr chmelnic, vinic, zahrad, ovocných sadů, trvalých travních porostů, lesní půdy a vodních ploch (v čitateli)
- a součtu výměru orné půdy, zastavěných ploch a ostatních ploch (ve jmenovateli).

Parametr je udáván jako bezrozměrné číslo.

2.5 Podíl vodních ploch z celkové výměry

Patří sem plocha rybníků s chovem ryb, pozemky rybníků, které jsou letněny, potoky vyhrazené pro chov pstruhů, močály, jezera, rybníky a potoky, které neslouží nebo nejsou určeny pro chov ryb, řeky, náhony, přehrady a jiné nádrže (umělé i přirozené), průplavy, odvodňovací a zavodňovací kanály, vodoteče a otevřené splaškové kanály.

Parametr je dán podílem:

- výměry vodních ploch v daném území (v čitateli)
- a celkovou výměrou daného území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v procentech.

2.6 Zahrady na obyvatele

Zahrady jsou zpravidla oplocené pozemky, na kterých se trvale a převážně pěstuje zelenina, květiny a jiné zahradní plodiny, nejčastěji pro vlastní spotřebu, souvislé pozemky osázené ovocnými stromy nebo keři až do výměry 0,25 ha, které zpravidla tvoří souvislý celek s obytnými a hospodářskými budovami, školky ovocných nebo okrasných stromů, viniční školky a školky pro chmelovou saď, pařeniště, skleníky, atd. pokud nejsou na orné půdě.

Parametr je dán podílem:

- výměry celkové plochy zahrad v daném území (v čitateli)
- a celkovým počtem obyvatel v daném území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v hektarech na obyvatele.

2.7 Ovocné sady na obyvatele

Ovocné sady jsou souvislé pozemky o výměře nad 0,25 ha osázené ovocnými stromy v hustotě na 1 ha nejméně 90 stromů u vysokokmenů a polokmenů jádrovin a třešní, 150 stromů u vysoko - a polokmenů švestek, slív a višní, 200 stromů u vysoko - a polokmenů meruněk, broskví a čtvrtkmenů jádrovin a 400 stromů u čtvrtkmenů meruněk, broskví a višní. Patří sem též pozemky, kde se pěstují výhradně zákrsky ovocných stromů v hustotě nejméně 500 zákrsků na 1 ha a pozemky kde se pěstuje výhradně černý rybíz v hustotě 1000 keřů na 1 ha nebo ostatní druhy rybízu nebo angreštu a hustotě nejméně 2000 keřů na 1 ha.

Patří sem půda vlastní i pronajatá, na které v daném roce podnik (majitel, nájemce) hospodaří, včetně pozemků dočasně odňatých a dočasně neobdělávaných dle kategorizace katastrálního úřadu.

Parametr je dán podílem:

- výměry celkové plochy ovocných sadů v daném území (v čitateli)
- a celkovým počtem obyvatel v daném území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v hektarech na obyvatele.

2.8 Trvalé travní porosty

Trvalé travní porosty představují pozemky porostlé travinami, u nichž hlavním výtěžkem je seno (tráva), i když se nahodile spásají a dále z pozemků porostlých travinami, které jsou určeny k trvalému spásání, i když se nahodile sečou. Patří sem též pastevní výběhy pro skot, vepřový dobytek a drůbež.

Patří sem půda vlastní i pronajatá, na které v daném roce podnik (majitel, nájemce) hospodaří, včetně pozemků dočasně odňatých a dočasně neobdělávaných dle kategorizace katastrálního úřadu.

Parametr je dán podílem:

- výměry celkové plochy trvalých travních porostů v daném území (v čitateli)
- a celkovým počtem obyvatel v daném území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v hektarech na obyvatele.

2.9 Lesní půda na obyvatele

Do lesní půdy je zahrnuta: porostní půda, tj. půda využívaná přímo k lesní produkci, skutečně zalesněná nebo dočasně odlesněná s úmyslem opětovné obnovy lesního porostu, bezlesí, tj. dočasně odlesněná část lesní půdy, sloužící provozu lesního hospodářství nepřímo (plocha lesních školek, lesních skladů, měkké lesní cesty, průseky všech druhů, přesahují-li šířku 4 m, apod.), odňaté pozemky zemědělskému půdnímu fondu přidělené lesnímu hospodářství k zalesnění, ale dosud nezalesněné, pozemky nad horní hranicí stromové vegetace s výjimkou zastavěných pozemků (vysokohorské chaty, lyžařské vleky a jiná účelová zařízení).

Patří sem půda vlastní i pronajatá, na které v daném roce podnik (majitel, nájemce) hospodaří, včetně pozemků dočasně odňatých a dočasně neobdělávaných dle kategorizace katastrálního úřadu.

Parametr je dán podílem:

- výměry celkové plochy lesní půdy v daném území (v čitateli)
- a celkovým počtem obyvatel v daném území (ve jmenovateli).

Parametr je udáván v hektarech na obyvatele.

2.10 Kanalizace

Tento parametr se dělí na dva hlavní body:

- kanalizace bez čistírny odpadních vod (ČOV) popisuje, zda na daném území jsou odpadní vody domácností, komerčních, průmyslových nebo veřejných objektů sbírány do splaškových kanalizací
- a kanalizace s ČOV popisuje, zda na daném území jsou odpadní vody domácností, komerčních, průmyslových nebo veřejných objektů sbírány do splaškových kanalizací a dopraveny na místo, kde jsou dostatečně čištěny tak, aby mohly být vypuštěny zpět do prostředí, aniž by nepříznivě působily na lidské zdraví či ekosystémy.

Parametr nabývá hodnot 1 v případě, že daná oblast disponuje kanalizací bez ČOV resp. kanalizací s ČOV nebo 0 v případě, že daná oblast disponuje kanalizací bez ČOV resp. kanalizací s ČOV.

2.11 Parametry použité pro výpočty

Tyto parametry nebyly použity pro modelování udržitelného rozvoje, ale je na ně odkazováno v definicích parametrů použitých pro modelování. Proto jsou zde uvedeny jejich stručné charakteristiky.

2.11.1 Celková výměra

Celková výměra je součtový ukazatel, který uvádí celkovou plochu území. Ta je tvořena součtem výměr zemědělské půdy, nezemědělské půdy a vodních ploch na území. Ukazatel je udáván v hektarech.

2.11.2 Celkový počet obyvatel na daném území

Udává počet obyvatel území k určitému okamžiku. Do počtu obyvatel jsou zahrnuty všechny osoby s trvalým i dlouhodobým pobytem v daném území a to bez ohledu na státní občanství. Do počtu obyvatel jsou tak podle zákona o pobytu cizinců (č. 326/1999 Sb.) zahrnuti cizinci s trvalým pobytem, cizinci s přechodným pobytem na základě víza nad 90 dnů a cizinci, kterým byl přiznán azyl.

2.12 Závěr kapitoly

V environmentální oblasti jde především o co nejlepší kvalitu životního prostředí, minimalizaci střetů mezi ekonomickými aktivitami a ochranou životního prostředí. Pomocí uvedených parametrů lze na základě jejich porovnání sledovat, jak si která obec Pardubického kraje vede v konkurenci s ostatními obcemi v oblasti životního prostředí.

3 Fuzzy logika, fuzzy množiny, intuitionistic fuzzy množiny a intuitionistic fuzzy relace

V této kapitole jsou popsány základní pojmy z oblasti fuzzy logiky, fuzzy množin, fuzzy relací a základní operace nad fuzzy množinami. Dále je v této kapitole věnována pozornost problematice intuitionistic fuzzy množinám (dále jen IFM), funkci příslušnosti $\mu_A(x)$ a funkci nepříslušnosti $\nu_A(x)$. Závěr kapitoly je věnován intuitionistic fuzzy relacím (dále jen IFR).

3.1 Fuzzy množiny

Ve skutečném světě se velmi často setkáváme s objekty, které mají přívlastky např. pomalá, středně rychlá, velmi rychlá, atd. U takovýchto objektů nelze přesně definovat kritéria příslušnosti, a proto je neřadíme mezi klasické množiny, ale řadíme je k tzv. fuzzy množinám, které právě připouští různé stupně příslušnosti. První publikaci, ve které byl zaveden pojem fuzzy množina jako zobecnění klasického pojmu množiny, zveřejnil v roce 1965 Lofti A. Zadeh. Fuzzy množinu si lze představit jako soubor prvků, přičemž každý prvek množiny je charakterizován stupněm příslušnosti z intervalu $\langle 0,1 \rangle$ k této množině.

Stupeň příslušnosti je třeba odlišit od pravděpodobnosti. Pravděpodobnost představuje nejistotu, zda určitý jev nastane nebo nenastane. V případě že daný jev nastal, lze ho zařadit do množiny, která je ohraničená ostrými hranicemi. V případě stupně příslušnosti se jedná o nejistotu spojenou s příslušností prvku do souboru s neostrými hranicemi [5].

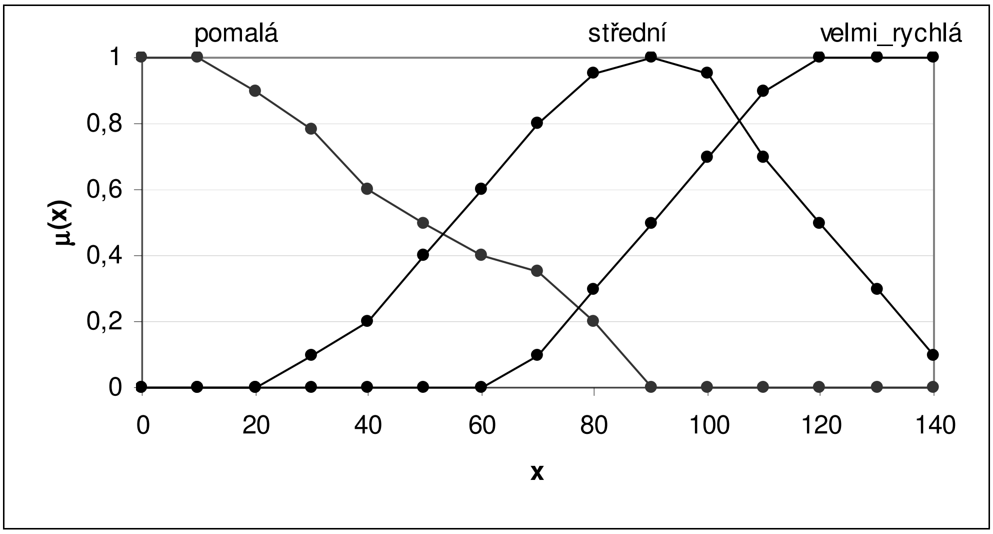
Nechť je definovaná fuzzy množina $A = \{(x, \mu_A(x)); x \in U\}$, kde U je univerzum a $\mu_A(x)$ je funkce příslušnosti (stupeň příslušnosti x do A). Pojem fuzzy množiny A odpovídá pojmu její funkce příslušnosti $\mu_A(x)$, která fuzzy množinu spolu s univerzem U jednoznačně určuje. Zápis $x \in A$ se v teorii fuzzy množin interpretuje pomocí funkce příslušnosti $\mu_A(x)$ tak, že stupeň příslušnosti prvku x do fuzzy množiny A, je určený hodnotou $\mu_A(x)$.

Pomocí fuzzy množin lze formulovat pojem např. rychlost auta na silnici první třídy. Máme danou jazykovou proměnnou [12] Rychlost_auta s hodnotami jazykové proměnné pomalá, normální, velmi_rychlá. Jazyková proměnná Rychlost_auta je univerzum U a reprezentuje osu x funkce příslušnosti. Hodnoty jazykové proměnné lez vidět v tab. 5.

Tab. 5 – Hodnoty funkce příslušnosti

Jazyková proměnná	Hodnoty jazykové proměnné		
Rychlost_auta [km/h]	pomalá	normální	velmi_rychlá
0	1	0	0
10	1	0	0
20	0,9	0	0
30	0,78	0,1	0
40	0,6	0,2	0
50	0,5	0,4	0
60	0,4	0,6	0
70	0,35	0,8	0,1
80	0,2	0,95	0,3
90	0	1	0,5
100	0	0,95	0,7
110	0	0,7	0,9
120	0	0,5	1
130	0	0,3	1
140	0	0,1	1

Funkce příslušnosti je znázorněna na obr. 1.



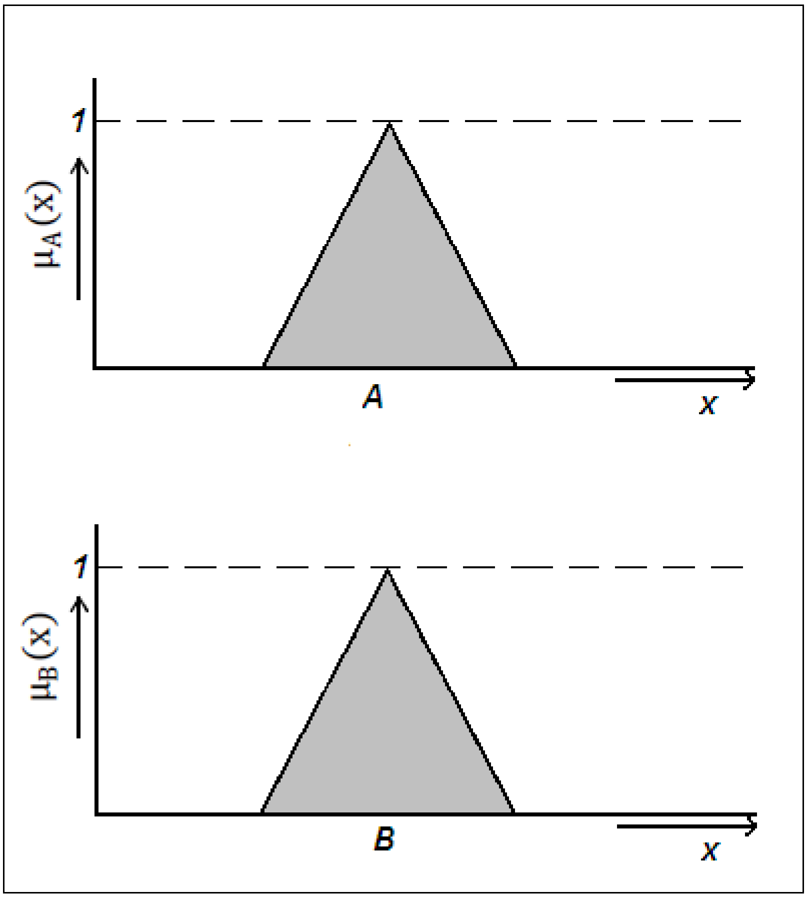
Obr. 1 – Funkce příslušnosti $\mu_A(x)$

3.2 Operace s fuzzy množinami

Pro operace s fuzzy množinami definujeme množiny A a B, které lze zapsat v tomto tvaru

$$A = \{(x, \mu_A(x)); x \in U\},\ B = \{(x, \mu_B(x)); x \in U\}. \qquad (3.1)$$

Funkce příslušnosti těchto množin lze znázornit na obr. 2.



Obr. 2 – Funkce příslušnosti fuzzy množina A a B

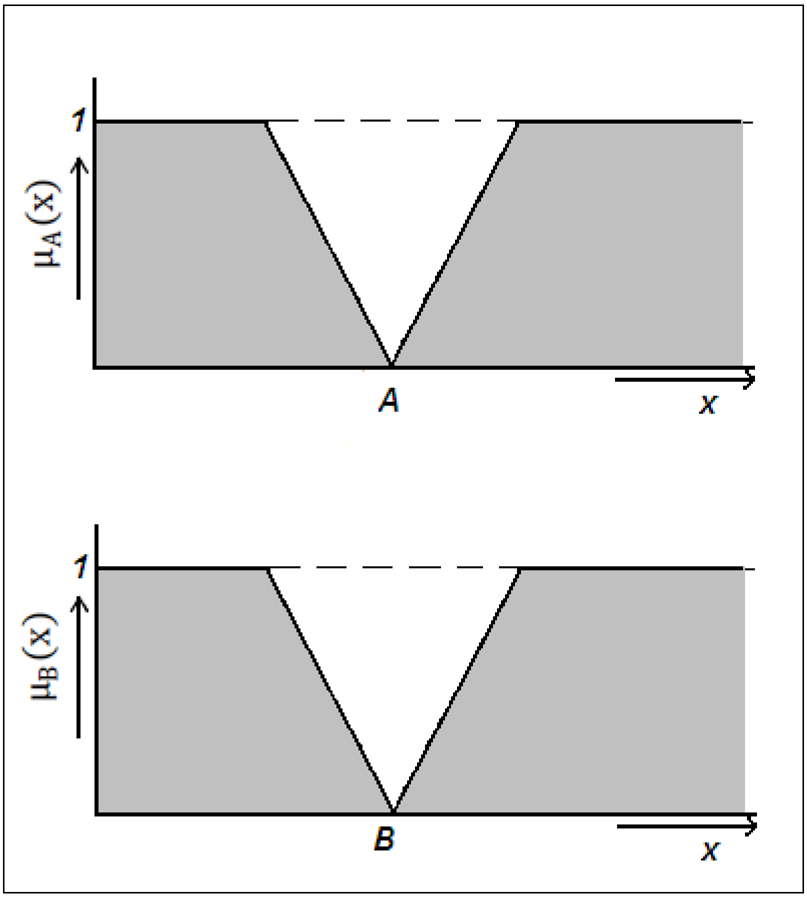
Výsledkem operací s fuzzy množinami je opět fuzzy množina. Nyní budou uvedeny tři nejzákladnější operace s fuzzy množinami a jejich vlastnosti v univerzu U:

- Doplněk fuzzy množin A a B ve tvaru

$$\overline{A} = \{(x, \mu_{\overline{A}}(x)), x \in U\},\ \overline{B} = \{(x, \mu_{\overline{B}}(x)), x \in U\},$$

$$\mu_{\overline{A}}(x) = 1 - \mu_A(x),\ \mu_{\overline{B}}(x) = 1 - \mu_B(x). \qquad (3.2)$$

Funkce příslušností doplňků A a B jsou znázorněny na obr. 3.



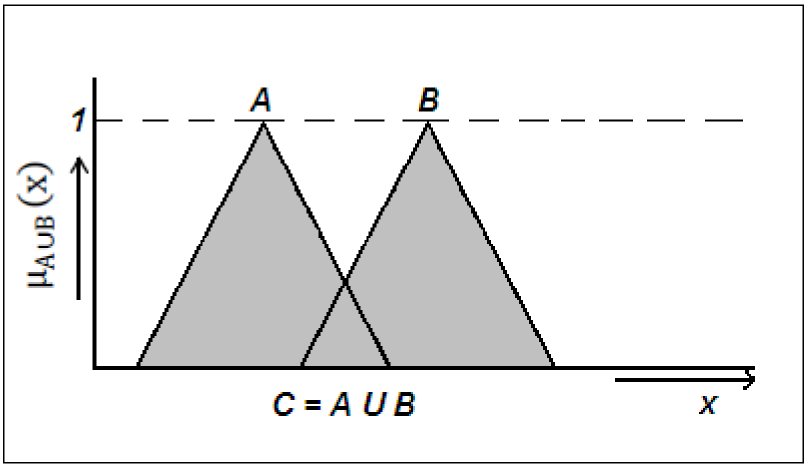
Obr. 3 - Funkce příslušnosti doplňků A a B

- Sjednocení fuzzy množin A a B ve tvaru

$$A \cup B = \{(x, \mu_{A \cup B}(x)); x \in U\},$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{(\mu_A(x), \mu_B(x))\}. \tag{3.3}$$

Funkce příslušnosti sjednocení množina A a B je znázorněna na obr. 4.



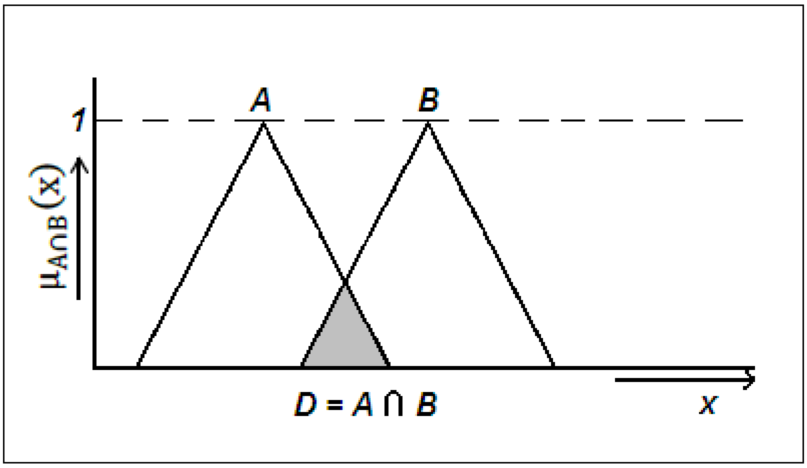
Obr. 4 - Funkce příslušnosti sjednocení fuzzy množin A a B

- Průnik fuzzy množin A a B ve tvaru

$$A \cap B = \{(x, \mu_{A \cap B}(x)); x \in U\},$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{(\mu_A(x), \mu_B(x))\}. \tag{3.4}$$

Funkce příslušnosti průniku množina A a B je znázorněna na obr. 5.



Obr. 5 - Funkce příslušnosti průniku množin A a B

Vlastnosti uvedených operací jsou následující: Nechť A, B a C jsou fuzzy množiny v univerzu U, pak platí [5]:

- idempotence - $A \cup A = A$, $A \cap A = A$,
- komutativní zákony - $A \cup B = B \cup A$, $A \cap B = B \cap A$,
- asociativní zákony - $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$, $(A \cap B) \cap C = A \cap (B \cap C)$,

- distributivní zákony - $(A \cup B) \cap C = (A \cup B) \cap (A \cup C)$, $(A \cap B) \cup C = (A \cap B) \cup (A \cap C)$,
- zákony absorpce - $A \cup (A \cap B) = A$, $A \cap (A \cup B) = A$,
- operace s univerzem - $A \cup U = U$, $A \cap U = A$,
- operace s prázdnou množinou - $A \cup \emptyset = A$, $A \cap \emptyset = \emptyset$,
- involuce - $(A')' = A$,
- de Morganova pravidla - $(A \cup B)' = A' \cap B'$, $(A \cap B)' = A' \cup B'$.

Těchto devět uvedených vlastností platí i pro klasické množiny, které jsou zvláštním případem fuzzy množin. Jedinou odlišností je poslední vlastnost fuzzy množin:

- $A \cup A' \neq U$, $A \cap A' \neq \emptyset$.

3.3 Fuzzy relace

V oblasti fuzzy množin je nutné pracovat s pojmem fuzzy relace, který rozšiřuje pojem relace na případy, kdy nelze jednoznačně rozhodnout, zda mezi dvěma či více objekty vztah existuje nebo naopak vztah neexistuje. Například často používaná relace „mnohem menší než“ [5] je ve skutečnosti fuzzy relace, neboť 5<<50 je zřejmě slabší vztah než 5<<1000.

Dříve než bude popsána binární fuzzy relace, je potřeba nadefinovat kartézský součin fuzzy množin $A \times B$ pro A v U_A a B v U_B. Kartézský součin je také fuzzy množina v univerzu $U_A \times U_B = \{(x_A, x_B) : x_A \in U_A, x_B \in U_B\}$ jejíž funkce příslušnosti je

$$(A \times B)(x_A, x_B) = \min[A(x_A), B(x_B)], \ \forall (x_A, x_B) \in U_A \times U_B \tag{3.5}$$

Binární fuzzy relace R reprezentující vztah mezi fuzzy množinami A, B je zobrazení $R(x, y) : U_A \times U_B \to \langle 0,1 \rangle$, $(x, y) \in U_A \times U_B$.

Fuzzy relace je fuzzy množina R v $U_A \times U_B$. Jestliže $U_A = U_B = U$, pak mluvíme o binární fuzzy relaci na množině U, která vyjadřuje subjektivní podobnost A s B. Jsou-li A, B fuzzy množiny v U_A, U_B, pak dvojice (x, y), kde $x \in U_A$, $y \in U_B$, by intuitivně neměla mít větší stupeň příslušnosti k $A \times B$ než $\min[A(x), B(y)]$. Fuzzy relace může být vytvořena jako kartézský součin (3.6) fuzzy množin $A \times B$ s funkcí příslušnosti

$$(A \times B)(x,y) = A(x) \wedge B(y)\ ,\ \forall x \in U_A\ ,\ \forall y \in U_B\ . \tag{3.6}$$

Důležitou operací je kompozice fuzzy relací $R(A,C) = P(A,B) \circ Q(B,C)$, kde:

- $R(A,C)$ je relace mezi A a C definovaná v $U_A \times U_C$,
- $Q(A,B)$ je relace mezi A a B definovaná v $U_A \times U_B$,
- $P(B,C)$ je relace mezi B a C definovaná v $U_B \times U_C$,

kde A, B, C jsou fuzzy množiny v U_A, U_B, U_C.

Potom pro $a \in U_A$, $b \in U_B$, $c \in U_C$, budeme vztah

$$R(a,c) = \max\left[\min_{b \in U_B}(Q(a,b), P(b,c))\right] \tag{3.7}$$

nazývat kompozicí relací, která také bývá označována jako maticový součin typu max-min. Pro názornost je uveden jednoduchý příklad. Předpokládejme $U_A = \{a_1, a_2\}$, $U_B = \{b_1, b_2\}$, $U_C = \{c_1, c_2\}$ a fuzzy relace reprezentované maticemi stupňů příslušnosti jednotlivých dvojic k těmto relacím

$$Q = \begin{bmatrix} 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}3 & 0{,}4 \end{bmatrix},\ P = \begin{bmatrix} 0{,}1 & 0{,}3 & 0{,}5 \\ 0{,}2 & 0{,}0 & 0{,}4 \end{bmatrix}.$$

Pak

$$R = Q \circ P = \begin{bmatrix} \max(0{,}1;0{,}2) & \max(0{,}1;0{,}0) & \max(0{,}1;0{,}2) \\ \max(0{,}1;0{,}2) & \max(0{,}3;0{,}0) & \max(0{,}3;0{,}4) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0{,}2 & 0{,}1 & 0{,}2 \\ 0{,}2 & 0{,}3 & 0{,}4 \end{bmatrix}.$$

Kompozice relací se používá především při přibližném usuzování, které se využívá v oblasti Soft computing, což je zastřešující název (který nemá český překlad) pro netradiční technologie, resp. přístupy k řešení obtížných problémů jako jsou např. tolerance pro nepřesnost a neurčitost, neuronové sítě, fuzzy logika, genetické algoritmy, atd.

3.4 Intuitionistic fuzzy množiny

V současnosti existují další teorie, které se zabývají využitím teorie fuzzy množin pro další použití v praktických úlohách. Mezi tyto zevšeobecňující teorie patří i teorie Intuitionistic fuzzy množin (IFM), kterou jako první zavedl K. Atanasov. Příklady použití IFM v praxi jsou např. oblasti zabývající se logickým programováním, mnohokriteriálními rozhodovacími procesy, usuzováním nebo v lékařské diagnostice. IFM jsou vhodné i pro modelování udržitelného rozvoje obcí, protože poskytují dobrý popis parametrů objektů (obcí) pomocí funkce příslušnosti resp. funkce nepříslušnosti. V teorii fuzzy množin existují tři základní možnosti [6] jak určit funkce příslušnosti a to:

- na základě statistických metod,
- na základě analýzy (analýza rozdělení pravděpodobnosti),
- na základě znalostí experta.

V prvních dvou případech jsou výsledky zpracování velmi podobné, stejně jako ve fuzzy množinách. Při určování funkce příslušnosti musí však všechny tři uvedené metody respektovat nerovnost $0 \leq \mu_A(x) + \upsilon_A(x) \leq 1$. Složitější případ nastává v případě, že jsou funkční hodnoty vypočítány na základě vědomostí experta, kde vznikají problémy především v souvislosti se správným znaleckým odhadem. Všechny tři uvedené možnosti se používají pro výpočet stupně příslušnosti i pro výpočet stupně nepříslušnosti.

3.4.1 Definice IFM

Teorie IFM je založena na:

- Rozsahu odpovídajících definicí fuzzy množin objektů,
- Definici nových objektů a jejich vlastností.

Způsob pojetí IFM je charakteristický zevšeobecněním soustavy názorů na fuzzy množiny, které zavedl L. A. Zadeh. Teorie IFM se dobře hodí k řešení neurčitosti. Právě IFM jsou použité pro intuitionistic klasifikaci modelů, které mohou poskytovat nepřesné informace. Zakladatelem fuzzy relací byl L. A. Zadeh, od kterého na kterou navázal E. Sanchez max-min kompozici relací [6].

3.4.2 Definice konceptu IFM

Nechť X je množina všech krajin s volenými vládami. Je známé pro každou krajinu $x \in X$ procento voličů, kteří volili svoji příslušnou vládu. Toto procento je označeno jako $M(x)$ a nechť $\mu(x) = \frac{M(x)}{100}$. Potom $\nu(x)$ nechť se rovná $\nu(x) = 1 - \mu(x)$. Toto číslo koresponduje s tou částí voličů, kteří nehlasovali pro vládu. Podle teorie fuzzy množin se nemůže dále uvažovat o tomto čísle podrobněji. Když se však nadefinuje číslo $\nu(x)$, jako číslo hlasů stranám a jednotlivcům, kteří nejsou ve vládě, je možné zjistit, jaká část voličů vůbec nevolila, přičemž toto číslo bude $1 - \mu(x) - \nu(x)$. Potom lze zkonstruovat množinu $A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X\}$, v které samozřejmě musí platit $0 \le \mu_A(x) + \nu_A(x) \le 1$. Nechť množina X je neprázdná pevná množina. Potom IFM A v X je objekt s formou [6]

$$A = \{\langle x, \mu_A(x), \nu_A(x) \rangle | x \in X\}, \tag{3.8}$$

kde funkce $\mu_A : X \to [0,1]$ určuje stupeň funkce příslušnosti a funkce $\nu_A : X \to [0,1]$ stupeň funkce nepříslušnosti, resp. tohoto prvku $x \in X$ do množiny A, která je podmnožinou X a $A \subset X$, a navíc musí platit pro každé $x \in X$, $0 \le \mu_A(x) + \nu_A(x) \le 1$, $\forall x \in X$. Položka

$$\pi_A(x) = 1 - (\mu_A(x) + \nu_A(x)) \tag{3.9}$$

se nazývá stupeň neurčitosti, resp. část nejistoty, která se může zaměřit buď na členstvo v hodnotě, anebo nečlenstvo hodnoty, případně na oboje předcházející. Pro každou IFM v X, existuje číslo $\pi_A(x)$ - tzv. Intuitionistic index prvku x v množině A ve tvaru $\pi_A(x) = 1 - (\mu_A(x) + \nu_A(x))$. Jde o stupeň neurčitosti prvku x do množiny A. Je zřejmé, že $0 \le \pi_A(x) \le 1$ pro každé $x \in X$. Když A a B jsou dvě IFM množiny X, potom

$$A \cap B = \{\langle x, \min(\mu_A(x), \mu_B(x)), \max(\nu_A(x), \nu_B(x)) \rangle | x \in X\},$$

$$A \cup B = \{\langle x, \max(\mu_A(x), \mu_B(x)), \min(\nu_A(x), \nu_B(x)) \rangle | x \in X\},$$

$A \subset B = iff \quad \forall x \in X, (\mu_A(x) \leq \mu_B(x)) and (\nu_A(x) \geq \nu_B(x))$,

$A \supset B = iff \; if \; B \subset A$,

$A = B \; iff \; \forall x \in X, (\mu_A(x) = \mu_B(x)) \; and \; (\nu_A(x) = \nu_B(x)))$,

$$\overline{A} = \{\langle x, \nu_A(x), \mu_A(x) \rangle | x \in X\} \text{ [6].} \tag{3.10}$$

Nechť X a Y jsou dvě množiny. Potom Intuitionistic fuzzy relace (IFR) R z množiny X do Y, $R = (X \to Y)$, je IFM z $(X \times Y)$ charakterizovaná funkcí příslušnosti $\mu_R(x)$ a funkcí nepříslušnosti $\nu_R(x)$. V případě, že A je libovolná IFM z X, potom max-min kompozice z IFR $R = (X \to Y)$ z A je určitá IFM B z Y, $B = R \circ A$ a je definovaná [6] funkcí příslušnosti

$$\mu_{R \circ A}(y) = \vee_x [\mu_A(x) \wedge \mu_R(x, y)] \tag{3.11}$$

a funkcí nepříslušnosti

$$\nu_{R \circ A}(y) = \wedge_x \nu_A(x) \wedge \nu_R(x, y), \tag{3.12}$$

$\forall y \in Y$, kde $\wedge =$ min, $\vee =$ max.

Nechť $Q = (X \to Y)$ a $R = (Y \to Z)$ jsou dvě IFR. Potom max-min kompozice $T = R \circ Q$ je IFR z $T = (X \to Z)$, definovaná funkcí příslušnosti [6]

$$\mu_{R \circ Q}(x, z) = \vee_x \mu_Q(x, y) \wedge \mu_R(y, z) \tag{3.13}$$

a funkcí nepříslušnosti

$$\nu_{R \circ Q}(x, z) = \wedge_x \nu_R(x, y) \wedge \nu_Q(y, z), \tag{3.14}$$

$\forall (x, z) \in (X \circ Z)$ a $\forall y \in Y$.

Když $Q = (X \to Y)$ a $R = (Y \to Z)$ jsou dvě IFR na $(X \times Y)$ a $(Y \times Z)$, potom

$$\left(R^{-1}\right)^{-1} = R \text{ a } (Q \circ R)^{-1} = R^{-1} \circ Q^{-1}. \tag{3.15}$$

3.5 Závěr kapitoly

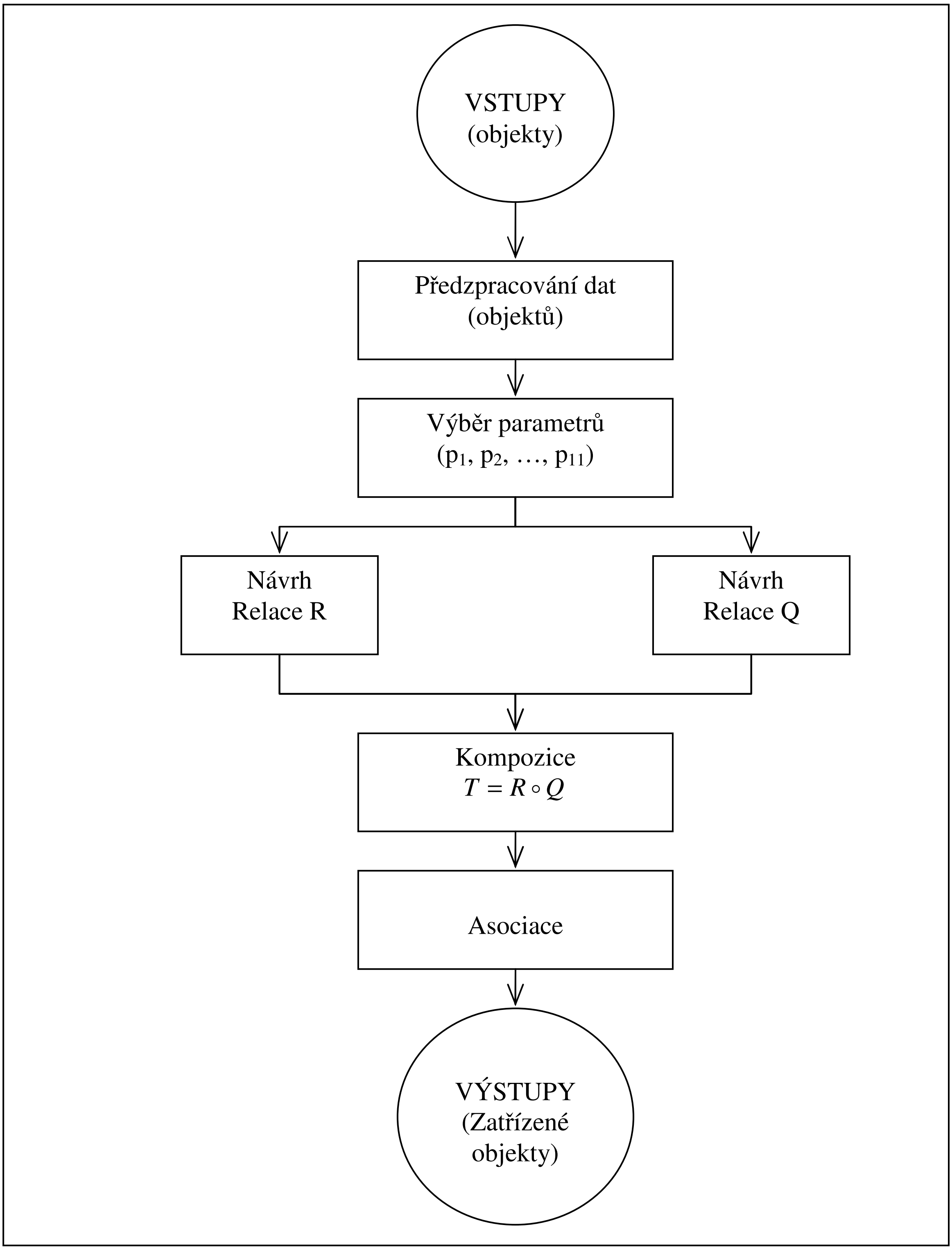
Tato kapitola obsahuje základní pojmy z oblasti fuzzy množin a základní operace, které lze nad fuzzy množinami provádět. Dále jsou uvedeny pojmy, vzorce a některé definice z oblasti fuzzy relací, IFM a IFR. Pro lepší názornost jsou tyto pojmy doprovázeny grafickými obrázky a jsou zde uvedeny i dva příklady z oblasti fuzzy množin a fuzzy relací.

4 Návrh modelu na klasifikaci obcí

V první části této kapitole je uveden postup – algoritmus, který představuje dílčí kroky k navržení modelu na klasifikaci obcí Pk do tříd pomocí IFR. Vstupní data modelu tvoří obce Pk, kterých je celkem 452. Tyto obce představují objekty modelu. Parametry modelu tvoří parametry určující úroveň obce – objektu v environmentální oblasti. Těchto parametrů je pro klasifikaci použito 11. V druhé časti této kapitoly je popsán postup předzpracování dostupných dat a postup při vybírání parametrů vhodných do modelu na klasifikaci. Tyto parametry jsou v modelu využity pro návrh dvou IFR R a Q. IFR $R(P \rightarrow \Omega)$ popisuje rozdělení parametrů do třech tříd a vyjadřuje tak příslušnost μ, resp. nepříslušnost ν do definovaných tříd. Druhá IFR $Q(O \rightarrow P)$ popisuje zatřídění objektů podle jednotlivých parametrů, tzn. tato relace určuje, jak přispívá objekt o_n, kde n = 1,2,…452 k parametru p_m, kde m = 1,2,…11. Postup návrhu těchto dvou IFR je popsán v třetí části kapitoly. V závěru této kapitoly je uvedena kompozice relací R a Q a výsledná asociace relace $T = R \circ Q$.

4.1 Algoritmus pro návrh modelu na klasifikaci

Nyní budou stručně popsány kroky, které algoritmus obsahuje. Prvním krokem v modelu na klasifikaci je provedení předzpracování dat, které spočívá v provedení standardizace, normalizace a korelace na vstupních datech. Po provedení tohoto kroku lze přistoupit k výběru parametrů pro návrh modelu. Výběr parametrů zaleží na výsledku předzpracování. Jsou-li vybrány parametry, bude jako další krok algoritmu následovat vytvoření dvou IFR a to R a Q. S navrženými IFR R a Q v dalším kroku provedeme kompozici relací, která je popsána v kapitole 3.3. Posledním krokem algoritmu návrhu modelu je provedení asociace na výslednou relaci $T = R \circ Q$. Algoritmus navrženého modelu je zachycen na obr. 6.



Obr. 6 – Algoritmus návrhu modelu na klasifikaci obcí do tříd

4.2 Charakteristika vstupních dat

Jako vstupní data je v této práci použita matice, která obsahuje hodnoty environmentálních parametrů pro sledované obce Pk. Celkem je v Pk 452 obcí a počet sledovaných environmentálních parametrů pro tyto obce je 19. V tab. 6 a tab. 7 lze vidět ukázku sledovaných parametrů u obcí v Pk. Data jsou získána z ročenek dostupných na portálu českého statistického úřadu. Předzpracování těchto dat bylo provedeno pomocí statistických funkcí v MS Office Excel 2003. Podobněji jsou tyto postupy popsány v následující kapitole.

Tab. 6 -Ukázka vstupní data (část 1)

Obec	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}
	Podíl zemědělské půdy z celkové výměry (%)	Podíl orné půdy ze zemědělské půdy (%)	Podíl trvalých travních porostů ze zemědělské půdy (%)	Podíl zastavěných a ostatních ploch z celkové výměry (%)	Podíl vodních ploch z celkové výměry (%)	Podíl lesů z celkové výměry (%)	Koeficient ekologické stability	Orná půda (ha)	Chmelnice (ha)	Vinice
O1	37	53,9	40,2	5,8	0,7	56,6	2,89	201	0	0
O2	54,5	59,4	36,7	4,6	0,1	41	1,71	256	0	0
O3	61,4	88,9	9,8	6,7	0,2	31,7	0,63	706	0	0
O4	91,4	91,1	5,7	5,9	0,7	2	0,12	368	0	0
O5	71,1	80,2	16,1	6,1	0,2	22,7	0,58	659	0	0
O6	52	52,1	43,2	6,7	0,4	40,9	1,96	263	0	0
O7	87,7	87,4	9	8,8	0,6	2,9	0,17	367	0	0
O8	80,9	68,4	27,7	14,1	1,9	3,1	0,44	232	0	0
O9	63	82,5	12,6	7,2	3,3	26,5	0,69	731	0	0
O10	60,6	84,2	12,3	5,9	0,9	32,7	0,76	357	0	0
O11	62,6	93,6	3	4,7	0,4	32,4	0,58	309	0	0
O12	87,6	85,4	8,8	4,7	1,5	6,2	0,26	205	0	0
O13	36,6	71,4	22,4	5,1	0,7	57,6	2,2	290	0	0
O14	81,9	85,7	6,6	10	4,3	4	0,25	245	0	0
O15	62,6	40,9	53,6	12,1	1	23,9	1,63	74	0	0

Tab. 7 – Ukázka vstupních dat (část 2)

Obec	p_{11} Zahrady	p_{12} Ovocné sady	P_{13} Trvalé travní porosty	P_{14} Lesní půda	P_{15} Vodní plochy	P_{16} Zastavěné plochy	P_{17} Ostatní plochy	P_{18} Zemědělská půda	P_{19} Celková výměra
O1	22	0	150	570	7	8	50	373	1007
O2	13	4	158	324	1	5	31	431	791
O3	10	0	78	410	3	9	78	794	1294
O4	12	1	23	9	3	8	18	404	442
O5	29	1	132	262	2	9	61	822	1156
O6	18	6	218	397	4	8	57	505	971
O7	15	1	38	14	3	6	36	420	479
O8	13	0	94	13	8	10	49	339	419
O9	35	9	112	373	46	19	82	886	1407
O10	10	6	52	229	6	7	34	424	700
O11	10	1	10	171	2	8	17	330	527
O12	6	8	21	17	4	4	9	240	274
O13	20	6	91	639	8	10	47	406	1110
O14	17	5	19	14	15	10	25	286	349
O15	8	1	97	69	3	4	31	181	289

4.3 Předzpracování dat

V této kapitole jsou popsány tři základní postupy, které se používají pro úpravu vstupních dat. Jedná se o standardizaci, normalizaci a korelační analýzu. Tyto postupy se používají za účelem odstranění defektu na datech a po aplikaci těchto metod lze tedy očekávat zvýšení kvality dat.

4.3.1 Standardizace

Úvodní datová matice obsahuje znaky, které mají při porovnání s jinými znaky souboru odlišnou váhu. Úkolem standardizace je provést ve vstupním souboru dat takové úpravy, které zajistí stejnou váhu na celém souboru vstupních dat. Nejpoužívanější metodou standardizace je tzv. normovací Z-funkce [7].

Nechť je daná matice dat $Z = (Z_{ij})$, typu $n \times p$, kde řádky jsou p-rozměrné vektory určené ke klasifikaci. Pro každý sloupec se provedou tyto úpravy.

- Vypočítá se střední hodnota znaku $\overline{Z}$ j-tého znaku Z_j a směrodatná odchylka S_j pro j =1,2,…,p podle vztahů

$$\overline{z_j} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} z_{ij} \, , \tag{4.1}$$

$$s_j = \sqrt{\left[\frac{1}{n}\left(z_{ij} - \overline{z_j}\right)\right]} \, , \tag{4.2}$$

- Potom se výsledné standardizované hodnoty vypočítají dosazením do vztahu

$$x_{ij} = \frac{z_{ij} - \overline{z_j}}{s_j} \, . \tag{4.3}$$

Touto úpravou dosáhneme požadované standardizace dat, které mají $\overline{x_j} = 0$ a směrodatnou odchylku $\overline{s_j} = 1$.

4.3.2 Normalizace

Normalizace se používá na již standardizovaná data. Pod pojmem normalizace se rozumí transformace hodnot dané spojité proměnné tak, aby distribuční funkce spojité proměnné přiblížila k normálnímu rozdělení pravděpodobnosti. K tomu se využívají různé transformační funkce, mezi které patří např. mocninná a logaritmická inverzní funkce.

4.3.3 Korelační analýza

Korelační analýza nám umožňuje sledovat na vstupních datech to, jak jsou uvedené parametry si navzájem blízké a zda nedochází k jejich vzájemnému ovlivňování. V případě, že se některé parametry ovlivňují, je vhodné je ze vstupních dat vyloučit.

Předpokládejme, že máme dvě náhodné veličiny X a Y s konečnými nenulovými rozptyly DX, DY. Jsou-li tyto náhodné veličiny závislé, lze v případě lineárního typu závislosti tuto míru závislosti kvantitativně vyjádřit pomocí korelačního koeficientu, který má tvar

$$\rho_{X,Y} = \frac{\operatorname{cov}(X,Y)}{\sqrt{DX} \cdot \sqrt{DY}}. \tag{4.4}$$

Jestliže $\rho_{X,Y} = 0$, říkáme, že náhodné veličiny X a Y jsou nekorelované. V opačném případě říkáme, že mezi náhodnými veličinami existuje korelační vztah. Připomeňme ještě, že když dvě náhodné veličiny jsou nekorelované, nemusí být nezávislé [8].

4.4 Výběr parametrů pro model na klasifikaci

Pro výběr parametrů bylo na původních vstupních datech, které jsou ukázány v tab.6 a tab.7, provedeno předzpracování uvedené v kapitole 4.3. Po aplikaci standardizace, normalizace a korelační analýzy na původní vstupní data, došlo ke snížení počtu parametrů z 19 na konečných 11 a to tak že:

- p_1 - kanalizace s ČOV,
- p_2 - kanalizace bez ČOV,
- p_3 - podíl orné půdy ze zemědělské půdy (%),
- p_4 - podíl zastavěných a ostatních ploch z celkové výměry (%),
- p_5 - podíl vodních ploch z celkové výměry (%),
- p_6 - koeficient ekologické stability,
- p_7 - zahrady na obyvatele (ha/ob.),
- p_8 - ovocné sady na obyvatele (ha/ob.),
- p_9 - trvalé travní porosty (ha/ob.),
- p_{10} - lesní půda na obyvatele (ha/ob.),
- p_{11} - zemědělská půda na obyvatele (ha/ob.).

Vlastnosti těchto parametrů jsou popsány podrobně v kapitole 2. Pro názornost jsou uvedena takto předzpracovaná data v tab. 8.

Tab. 8 - Předzpracované data

Obec	p_1 kanalizace s ČOV	p_2 kanalizace bez ČOV	p_3 Podíl orné půdy ze zemědělské půdy (%)	p_4 Podíl zastavěných a ostatních ploch z celkové výměry (%)	p_5 Podíl vodních ploch z celkové výměry (%)	p_6 Koeficient ekologické stability	p_7 Zahrady na obyvatele (ha/ob.)	p_8 Ovocné sady na obyvatele (ha/1 ob.)	p_9 Trvalé travní porosty (ha/ob.)	p_{10} Lesní půda na obyvatele (ha/ob.)	p_{11} Zemědělská půda na obyvatele (ha/ ob.)
O1	0,00	1,00	53,90	5,80	0,70	2,89	0,05	0,00	0,31	1,19	0,78
O2	0,00	1,00	59,40	4,60	0,10	1,71	0,07	0,02	0,83	1,70	2,26
O3	1,00	0,00	88,90	6,70	0,20	0,63	0,03	0,00	0,26	1,35	2,62
O4	0,00	0,00	91,10	5,90	0,70	0,12	0,07	0,01	0,13	0,05	2,36
O5	0,00	0,00	80,20	6,10	0,20	0,58	0,06	0,00	0,28	0,56	1,75
O6	0,00	1,00	52,10	6,70	0,40	1,96	0,05	0,02	0,61	1,12	1,42
O7	0,00	0,00	87,40	8,80	0,60	0,17	0,04	0,00	0,11	0,04	1,23
O8	0,00	0,00	68,40	14,10	1,90	0,44	0,03	0,00	0,22	0,03	0,81
O9	0,00	0,00	82,50	7,20	3,30	0,69	0,07	0,02	0,22	0,75	1,78
O10	0,00	1,00	84,20	5,90	0,90	0,76	0,05	0,03	0,24	1,04	1,92
O11	0,00	1,00	93,60	4,70	0,40	0,58	0,04	0,00	0,04	0,65	1,25
O12	0,00	1,00	71,40	5,10	0,70	2,20	0,04	0,01	0,20	1,42	0,90
O13	0,00	1,00	85,40	4,70	1,50	0,26	0,15	0,21	0,54	0,44	6,15
O14	0,00	0,00	85,70	10,00	4,30	0,25	0,04	0,01	0,05	0,03	0,70
O15	0,00	1,00	40,90	12,10	1,00	1,63	0,04	0,01	0,54	0,39	1,02

4.5 Návrh relace R

Relace $R(P \rightarrow \Omega)$ popisuje klasifikaci parametrů $p = (p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11})$ do tří tříd $(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$. ω_1 definuje třídu s nejlepšími vlastnostmi v environmentální oblasti. ω_2 definuje třídu se středními vlastnostmi a ω_3 analogicky definuje třídu s nejhoršími vlastnostmi. V této diplomové práci je pro zatřízení parametrů do tříd využito statistických vlastností vstupního souboru dat.

4.5.1 Postup navržení relace R

Relace R je navržena pomocí statistických funkcí, které jsou k dispozici v MS Office Excel 2003. Mezi použité statistické funkce patří především rozptyl, medián, kvartil a průměr. Postup navržení relace R se skládá ze tří kroků.

V prvním kroku návrhu relace R byly použity hodnoty všech 11 parametrů všech obcí Pardubického kraje. Předpokládáme, že hodnoty vstupního souboru jsou standardizované a normalizované a mají tedy stejnou váhu. Pro každý parametr byla z hodnot, kterých nabývají obce Pk, spočítána statistická funkce kvartil(0,25) a kvartil(0,75). Kvartil(0,25) budeme dále nazývat dolní kvartil (DK) a kvartil(0,75) budeme nazývat horní kvartil (HK). Z těchto výpočtů vznikly dva pomocné vektory Q_1 a Q_2, které lze vidět v tab.9.

V druhém kroku návrhu relace R je potřeba vypočítat průměr hodnot HK a DK, který je nutný pro další výpočty. Průměrné hodnota HK (pHK) stanoví hranici mezi třídami ω_2 a ω_3. Průměrná hodnota DK (pDK) tvoří hranici mezi třídami ω_1 a ω_2. S těmito hodnotami jsou porovnány postupně všechny naměřené hodnoty parametrů $p_1, p_2, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}$. Tyto parametry jsou do příslušných tříd zařazeny dle následujících pravidel:

- $p_{i,j} \leq pDK$ – pak parametr $p_{i,j}$ patří do třídy ω_3,
- $pDK < p_{i,j} \leq hDK$ - pak parametr $p_{i,j}$ patří do třídy ω_2,
- $p_{i,j} > hDK$ - pak parametr $p_{i,j}$ patří do třídy ω_1.

U těchto uvedených parametrů platí, že parametr s vyšší nabytou hodnotou je zařazen do lepší třídy. U parametrů p_3, p_4, p_{11} naopak platí, že čím má parametr nižší hodnotu, tím více náleží k horší třídě. A pro zatřízení těchto parametrů platí tedy tyto pravidla:

- $p_{i,j} \leq pDK$ – pak parametr $p_{i,j}$ patří do třídy ω_1,
- $pDK < p_{i,j} \leq hDK$ - pak parametr $p_{i,j}$ patří do třídy ω_2,
- $p_{i,j} > hDK$ - pak parametr $p_{i,j}$ patří do třídy ω_3.

Jak byly naměřené hodnoty u obcí zatřízeny je vidět v tab.10.

Třetí a poslední krok stanoví výslednou relaci $R(P \to \Omega)$ tak, že pro každý parametr určí četnost výskytů v každé ze tří tříd $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ a následně je postupně každá četnost procentuálně vyjádřena ke všem vypočítaným četnostem každého parametru každé třídy. Pro výpočet míry příslušnosti μ, resp. míry nepříslušnosti ν byly použity tyto vzorce:

- Pro výpočet četností $(c_{i,j})$ zařazení parametrů do tříd byla použita funkce $\mathit{CountIf}\,(\mathit{oblast}, \mathit{kriterium})$ v MS Office Excel 2003
- Pro třídu ω_1 je pak pro výpočet míry příslušnosti použit vzorec $$\omega(\mu)^1_{i,j} = \frac{c_{i,j}}{\max(c_i)} \cdot \frac{c_{i,j}}{\max(c_j)} \cdot (1 - \pi)$$
- Pro třídu ω_1 je pak pro výpočet míry nepříslušnosti použit vzorec $\omega(\nu)^1_{i,j} = 1 - \pi - \omega(\mu)^1_{i,j}$,

kde π představuje intuitionistic index. Jeho hodnota je stanovena na $\pi = 0{,}12$. Analogicky se vypočítají míry příslušnosti pro zbylé dvě třídy ω_2, ω_3. Vypočítané hodnoty míry příslušnosti pro danou třídu $\omega(\mu)_i$ lze vidět v tab. 11.

Tab. 9 – Výpočet DK a HK pro relaci R

Obec/ parametry	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
O1	-0,60	1,26	-1,11	-0,44	-0,37	1,08	-0,01	-0,39	0,08	0,41	-0,70
O2	-0,60	1,26	-0,80	-0,65	-0,68	0,33	0,91	0,66	1,78	0,88	1,16
O3	1,67	-0,79	0,91	-0,29	-0,63	-0,36	-0,54	-0,39	-0,11	0,56	1,62
O4	-0,60	-0,79	1,04	-0,43	-0,37	-0,68	1,00	-0,10	-0,51	-0,63	1,29
O5	-0,60	-0,79	0,41	-0,39	-0,63	-0,39	0,64	-0,28	-0,03	-0,16	0,52
O6	-0,60	1,26	-1,22	-0,29	-0,52	0,49	0,19	0,46	1,08	0,35	0,11
O7	-0,60	-0,79	0,82	0,07	-0,42	-0,65	-0,09	-0,24	-0,59	-0,64	-0,13
O8	-0,60	-0,79	-0,28	0,99	0,25	-0,48	-0,62	-0,39	-0,22	-0,65	-0,66
O9	-0,60	-0,79	0,54	-0,20	0,97	-0,32	1,00	0,52	-0,21	0,01	0,56
O10	-0,60	1,26	0,64	-0,43	-0,27	-0,27	-0,04	0,97	-0,18	0,27	0,73
O11	-0,60	1,26	1,18	-0,63	-0,52	-0,39	-0,33	-0,20	-0,83	-0,08	-0,10
O12	-0,60	1,26	-0,10	-0,57	-0,37	0,64	-0,06	0,28	-0,29	0,63	-0,54
O13	-0,60	1,26	0,71	-0,63	0,04	-0,59	4,46	9,90	0,83	-0,28	6,06
O14	-0,60	-0,79	0,72	0,28	1,48	-0,60	-0,20	0,22	-0,81	-0,64	-0,80
O15	-0,60	1,26	-1,87	0,64	-0,21	0,28	-0,05	-0,11	0,85	-0,32	-0,40
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
O452	-0,60	-0,79	-0,81	0,28	0,35	-0,06	0,38	1,74	0,47	-0,22	-0,04
Q_1	**-0,60**	**-0,79**	**-0,62**	**-0,50**	**-0,57**	**-0,55**	**-0,63**	**-0,39**	**-0,67**	**-0,57**	**-0,64**
Q_2	**1,67**	**1,26**	**0,73**	**0,11**	**0,12**	**0,12**	**0,44**	**0,04**	**0,35**	**0,12**	**0,45**

Tab. 10 - Výpočet četnosti výskytu tříd pro každý parametr

Obec/ parametry	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
O1	1	3	1	2	2	1	2	2	2	2	1
O2	1	3	1	1	3	2	1	1	1	1	3
O3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	1	3
O4	1	2	3	2	2	3	1	2	2	3	3
O5	1	2	2	2	3	2	1	2	2	2	3
O6	1	3	1	2	2	2	2	2	1	2	2
O7	1	2	3	2	2	3	2	2	2	3	2
O8	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	1
O9	1	2	3	2	1	2	1	1	2	2	3
O10	1	3	3	2	2	2	2	1	2	2	3
O11	1	3	3	1	2	2	2	2	3	2	2
O12	1	3	2	2	2	1	2	2	2	1	2
O13	1	3	3	1	2	2	1	1	1	2	3
O14	1	2	3	2	1	3	2	2	3	3	1
O15	1	3	1	3	2	2	2	2	1	2	2
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
O452	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2
C_1	**332**	**0**	**117**	**62**	**75**	**68**	**107**	**54**	**89**	**75**	**123**
C_2	**119**	**277**	**155**	**326**	**290**	**300**	**221**	**397**	**228**	**277**	**222**
C_3	**0**	**174**	**179**	**63**	**86**	**83**	**123**	**0**	**134**	**99**	**106**

Tab. 11 - Výpočet míry příslušnosti

Obec/ parametry	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
$\omega_1(\mu)$	0,88	0,00	0,20	0,03	0,05	0,04	0,14	0,02	0,09	0,05	0,18
$\omega_2(\mu)$	0,09	0,61	0,30	0,72	0,64	0,66	0,49	0,88	0,51	0,61	0,49
$\omega_3(\mu)$	0,00	0,54	0,88	0,06	0,13	0,11	0,34	0,00	0,39	0,17	0,25

Z tab. 11 lze vyčíst, že např. parametr p_1 náleží do nejlepší třídy $\omega_1(\mu)$ s mírou příslušnosti 0,88, do střední třídy $\omega_2(\mu)$ patří s mírou příslušnosti 0,09 a do poslední nejhorší třídy $\omega_3(\mu)$ nepatří, protože míra příslušnosti je rovna nule.

Pro výpočet konečné relace je nutné ještě dopočítat hodnoty míry nepříslušnosti ν podle vztahu $\nu = 1 - \omega - \pi$. Dále je ještě pro další výpočty nutné výslednou tabulku transformovat do tvaru, který je uveden v tab. 12 a která již představuje výslednou relaci $R(P \to \Omega)$.

Tab. 12 - Výsledná Relace R

R	ω_1		ω_2		ω_3	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν
p_1	0,88	0,00	0,09	0,79	0,00	0,88
p_2	0,00	0,88	0,61	0,27	0,54	0,34
p_3	0,20	0,70	0,30	0,60	0,88	0,02
p_4	0,03	0,87	0,72	0,18	0,06	0,84
p_5	0,05	0,85	0,64	0,26	0,13	0,77
p_6	0,04	0,86	0,66	0,24	0,11	0,79
p_7	0,14	0,76	0,49	0,41	0,34	0,56
p_8	0,02	0,88	0,88	0,02	0,00	0,90
p_9	0,09	0,81	0,51	0,39	0,39	0,51
p_{10}	0,05	0,85	0,61	0,29	0,17	0,73
p_{11}	0,18	0,72	0,49	0,41	0,25	0,65

4.6 Návrh relace Q

Relace $Q(O \to P)$ popisuje jak obce – objekty o_n, kde n = 1,2,…,452 přispívají k parametru p_m, kde m = 1,2,…11. Obec, která má vysoké hodnoty sledovaných parametrů, má v této relaci vysokou hodnotu funkce příslušnosti Q_μ a naopak funkce nepříslušnosti Q_ν má nízkou hodnotu v případě, že parametry obce jsou nízké. Tato relace je také navržena v MS Office Excel 2003 a to pomocí statistických funkcí, které byly použity při návrhu relace R a použití jednoduchého makra pro výpočet funkce příslušnosti.

4.6.1 Postup navržení relace Q

Pro určení Relace Q je nutné nejprve provést výpočet základních statistických charakteristik vstupního souboru dat. Jedná se o výpočet minima, maxima, dolního kvartilu, horního kvartilu a mediánu. K tomu jsou využity funkce z MS Office Excel 2003. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 13 - Vypočítané statistické hodnoty vstupního souboru dat

Obec/ parametry	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
Min	0,00	0,00	2,10	2,50	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
DK	0,25	0,25	62,40	5,50	0,30	0,34	0,03	0,00	0,09	0,11	0,83
Medián	0,00	0,00	77,50	6,90	0,70	0,74	0,04	0,00	0,21	0,39	1,18
HK	0,75	0,75	85,80	9,00	1,65	1,39	0,06	0,01	0,39	0,87	1,69
Max	1,00	1,00	97,60	55,10	14,60	13,78	0,16	0,27	2,21	8,78	6,15

Dále je na obr. 7 uveden algoritmus pro výpočet stupně příslušnosti, resp. funkce nepříslušnosti pro konkrétní obec za každý parametr. Algoritmus porovnává postupně pro každý parametr hodnotu, kterou nabývá konkrétní obec a vypočte funkci příslušnosti, resp. funkci nepříslušnosti na základě tří podmínek:

- je-li porovnávaná hodnota $a_{i,j}$ menší nebo rovna DK pak je $Q(\mu)$ konkrétní obce pro daný parametr roven $Q(\mu) = (1-\pi)\cdot\left(\frac{a_{i,j}-\min}{DK-\min}\cdot 0{,}25+0\right)$,
- je-li porovnávaná hodnota $a_{i,j}$ větší než HK pak je $Q(\mu)$ konkrétní obce pro daný parametr roven $Q(\mu) = (1-\pi)\cdot\left(\frac{a_{i,j}-HK}{\max-HK}\cdot 0{,}25+0{,}75\right)$,
- v ostatních případech platí $Q(\mu) = (1-\pi)\cdot\left(\frac{a_{i,j}-DK}{HK-DK}\cdot 0{,}5+0{,}25\right)$,

kde π představuje intuitionistic index. Jeho hodnota je stanovena na $\pi = 0{,}12$. Funkce nepříslušnosti ν pro konkrétní obec za daný parametr, se vždy dopočítá jako doplněk podle vztahu $\nu = 1-\omega-\pi$. Výslednou relaci $Q(\mu,\nu)$ si lze prohlédnou v tab.14 a tab. 15, která je vzhledem k velkému počtu obcí zkrácena na prvních 15 obcí.

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Const_pi = 0.1
 For j = 2 To 12
  For i = 1 To 452

     Min = List1.Cells(3, j)
     DK = List1.Cells(4, j)
     Median = List1.Cells(5, j)
     HK = List1.Cells(7, j)
     Max = List1.Cells(8, j)

     hodnota = List1.Cells(i + 9, j)

      If hodnota <= DK Then
       my = (1 - Const_pi) * ((hodnota - Min) / (DK - Min) * 0.25 + 0)
       ny = 1 - Const_pi - my
      ElseIf hodnota > HK Then
       my = (1 - Const_pi) * ((hodnota - HK) / (Max - HK) * 0.25 + 0.75)
       ny = 1 - Const_pi - my
      Else
       my = (1 - Const_pi) * ((hodnota - DK) / (HK - DK) * 0.5 + 0.25)
       ny = 1 - Const_pi - my
      End If

     List3.Cells(i + 2, j) = my
     List3.Cells(i + 2, j + 13) = ny

  Next i
 Next j
```

Obr. 7 – algoritmus pro výpočet relace Q

Tab. 14 – Relace $Q(\mu)$

$Q(\mu)$	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
O_1	0,90	0,00	0,74	0,68	0,49	0,07	0,22	0,00	0,03	0,00	0,10
O_2	0,90	0,00	0,66	0,64	0,75	0,39	0,18	0,00	0,10	0,27	0,11
O_3	0,90	0,00	0,73	0,74	0,81	0,15	0,13	0,31	0,02	0,01	0,06
O_4	0,90	0,00	0,77	0,68	0,69	0,24	0,15	0,38	0,04	0,23	0,12
O_5	0,00	0,90	0,71	0,76	0,66	0,07	0,38	0,64	0,20	0,02	0,34
O_6	0,00	0,90	0,19	0,26	0,36	0,70	0,49	0,00	0,56	0,68	0,21
O_7	0,00	0,90	0,21	0,16	0,08	0,68	0,70	0,69	0,73	0,70	0,70
O_8	0,90	0,00	0,73	0,38	0,15	0,35	0,26	0,00	0,47	0,69	0,72
O_9	0,00	0,00	0,78	0,28	0,36	0,07	0,70	0,53	0,29	0,10	0,71
O_{10}	0,00	0,00	0,57	0,30	0,15	0,33	0,69	0,34	0,51	0,49	0,68
O_{11}	0,00	0,90	0,19	0,38	0,26	0,69	0,57	0,68	0,70	0,68	0,54
O_{12}	0,00	0,00	0,71	0,65	0,33	0,10	0,45	0,38	0,26	0,08	0,44
O_{13}	0,00	0,00	0,34	0,70	0,68	0,27	0,23	0,00	0,43	0,06	0,22
O_{14}	0,00	0,00	0,61	0,44	0,70	0,38	0,70	0,68	0,43	0,61	0,68
O_{15}	0,00	0,90	0,64	0,28	0,43	0,41	0,48	0,69	0,44	0,68	0,69

Tab. 15 – Relace $Q(\upsilon)$

$Q(\upsilon)$	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
O_1	0,00	0,90	0,16	0,22	0,41	0,83	0,68	0,90	0,87	0,90	0,80
O_2	0,00	0,90	0,24	0,26	0,15	0,51	0,72	0,90	0,80	0,63	0,79
O_3	0,00	0,90	0,17	0,16	0,09	0,75	0,77	0,59	0,88	0,89	0,84
O_4	0,00	0,90	0,13	0,23	0,21	0,66	0,75	0,52	0,86	0,67	0,78
O_5	0,90	0,00	0,19	0,14	0,24	0,83	0,52	0,26	0,70	0,88	0,56
O_6	0,90	0,00	0,71	0,64	0,54	0,20	0,41	0,90	0,34	0,22	0,69
O_7	0,90	0,00	0,69	0,74	0,83	0,22	0,20	0,21	0,17	0,20	0,20
O_8	0,00	0,90	0,17	0,52	0,75	0,55	0,64	0,90	0,43	0,21	0,18
O_9	0,90	0,90	0,12	0,62	0,54	0,83	0,20	0,37	0,61	0,80	0,19
O_{10}	0,90	0,90	0,33	0,60	0,75	0,57	0,21	0,56	0,39	0,41	0,22
O_{11}	0,90	0,00	0,71	0,52	0,64	0,21	0,33	0,22	0,20	0,22	0,36
O_{12}	0,90	0,90	0,19	0,25	0,58	0,80	0,45	0,52	0,64	0,82	0,46
O_{13}	0,90	0,90	0,56	0,20	0,22	0,63	0,67	0,90	0,47	0,84	0,68
O_{14}	0,90	0,90	0,29	0,46	0,20	0,52	0,20	0,22	0,47	0,29	0,22
O_{15}	0,90	0,00	0,26	0,62	0,48	0,49	0,42	0,21	0,46	0,22	0,21

4.7 Kompozice relací

Podstata kompozice relací R a Q vychází z teorie intuitionistic fuzzy množin definované v literatuře [9], [10]. Klasifikace obcí může být definovaná následovně:

Nechť $o_i^t \in O$ je i-tý objekt, P jsou parametry $P = \{p_1^t, p_2^t, ..., p_k^t, ..., p_m^t\}$ a $\omega_{i,j}^t \in \Omega$ je j-tá třída zařazená do i-tého objektu $o_i^t \in O$. Na základě těchto poznatků lze definovat intuitionistic bázi znalostí environmentálních parametrů obcí pro klasifikaci jako intuitionistic fuzzy relaci [11].

Nechť A je IFM parametrů P a R je IFR. Potom max-min-max kompozice B a A je definována vztahem $B = A \circ R$ a definuje vztah objektu ve vztahu k třídě jako IFM B $\omega_{i,j}^t \in \Omega$ s funkcí příslušnosti, která je definovaná následujícím vztahem

$$\mu_B(\omega_{i,j}^t) = \bigvee_{p_k^t \in P} [\mu_A(p_k^t) \wedge \mu_R(p_k^t, \omega_{i,j}^t)], \tag{4.5}$$

a funkcí nepříslušnosti definované vztahem

$$\nu_B(\omega_{i,j}^t) = \bigwedge_{p_k^t \in P} [\nu_A(p_k^t) \vee \nu_R(p_k^t, \omega_{i,j}^t)], \ \forall \omega_{i,j}^t \in \Omega . \tag{4.6}$$

Daný objekt $o_i^t \in O$ je definován jako IFM A parametrů $P = \{p_1^t, p_2^t, ..., p_k^t, ..., p_m^t\}$, potom existuje teorie, že objekt $o_i^t \in O$ je zařazen do tříd $\omega_{i,j}^t \in \Omega$ na základě intuitionistic fuzzy relace R a intuitionistic báze modelování obcí z P do Ω, $R(P \to \Omega)$. Nechť je dán známý počet n objektů $o_i^t \in O$, i= 1,2,…,n a dále nechť je dána IFR R, $R(P \to \Omega)$. Potom IFR Q je vytvořená z množiny objektů $o_i^t \in O$ na množinu parametrů P, $Q(O \to P)$. Kompozice T z IFR R a Q, $T = R \circ Q$ popisuje situaci v oblasti $o_i^t \in O$ z hlediska tříd $\omega_{i,j}^t \in \Omega$ jako IFR z O do Ω, $T(O \to \Omega)$, která je dána funkcí příslušnosti

$$\mu_T\left(o_j^t\right) = \bigvee_{p_k^t \in P} \left[\mu_Q\left(o_i^t, p_k^t\right) \wedge \mu_R\left(p_k^t, \omega_{i,j}^t\right)\right], \tag{4.7}$$

a funkcí nepříslušnosti, definovanou vztahem

$$\mu_T\left(o_j^t\right) = \bigvee_{p_k^t \in P} \left[\mu_Q\left(o_i^t, p_k^t\right) \wedge \mu_R\left(p_k^t, \omega_{i,j}^t\right)\right], \forall o_i^t \in O \text{ a } \forall \omega_{i,j}^t \in \Omega . \tag{4.8}$$

4.7.1 Algoritmus kompozice relací pro model na klasifikaci obcí

Kompozice relací R a Q je vytvořena pomocí maker v MS Office Excel 2003. Algoritmus vychází z obecného algoritmu, který se používá při násobení matic, ale je upraven pro daný problém. Úpravy algoritmu spočívali v nahrazení součtů a součinů použitý při násobení matic novými funkcemi max-min-max. Zdrojový kód je ukázán na následujícím obr. 8 a obr. 9.

Tento algoritmus je navržen tak, že vypočítá hodnoty μ a ν kompozice relací R a Q samostatně. Pro výpočet hodnot μ se použije kompozice relací typu min-max a pro výpočet hodnot ν se použije kompozice relací typu max-min. Dále musí být nadefinovány buňky, kde se příslušné hodnoty relací nacházejí. Tyto buňky jsou u obou relací nadefinovány v úvodní části zdrojového kódu.

```
' ************************************************************************************
' nastavení správných souřadnic všech relací (tabulek) pro výpočet kompozice relací pro "mý"

Minimum = 0
Maximum = 0

 For i = 1 To 3 ' počet tříd (omega)
  For j = 1 To pocet_obci ' počet obcí
   For k = 1 To 11 ' počet parametrů p ( environmentální parametry)

    Radek_R = k + 2
    Radek_Q = j + 23
    Radek_T = j + 23
    Sloupec_R = i + 1
    Sloupec_Q = k + 2
    Sloupec_T = i + 45


     If List4.Cells(Radek_R, Sloupec_R) <= List4.Cells(Radek_Q, Sloupec_Q) Then
      Minimum = List4.Cells(Radek_R, Sloupec_R)
     Else
      Minimum = List4.Cells(Radek_Q, Sloupec_Q)
     End If
      List4.Cells(1, k + 6).Value = Minimum
   Next k

    Module1.Max ' vypočte z řádku minimum maximální hodnotu
    Maximum = List4.Range("R1").Value
    Module1.Vycisti1

    List4.Cells(Radek_T, Sloupec_T) = Maximum

  Next j
 Next i
```

Obr. 8 – Zdrojový kód pro výpočet hodnot μ

```
' ************************************************************************************
' nastavení správných souřadnic (sloupců) všech relací (tabulek) pro výpočet kompozice relací pro "ný"

Minimum = 0
Maximum = 0

For i = 1 To 3 ' počet tříd (omega)
 For j = 1 To pocet_obci ' počet obcí
  For k = 1 To 11 ' počet parametrů p ( environmentální parametry)

  Radek_R = k + 2
  Radek_Q = j + 23
  Radek_T = j + 23
  Sloupec_R = i + 23 ' je potřeba posunout pouze sloupce
  Sloupec_Q = k + 24
  Sloupec_T = i + 48

   If List4.Cells(Radek_R, Sloupec_R) >= List4.Cells(Radek_Q, Sloupec_Q) Then
    Maximum = List4.Cells(Radek_R, Sloupec_R)
   Else
    Maximum = List4.Cells(Radek_Q, Sloupec_Q)
   End If
    List4.Cells(1, k + 6).Value = Maximum
   Next k

    Module1.Min ' vypočte z řádku maximum minimální hodnotu
    Minimum = List4.Range("R1").Value
    Module1.Vycisti1

    List4.Cells(Radek_T, Sloupec_T) = Minimum

 Next j
Next i
```

Obr. 9 – Zdrojový kód pro výpočet hodnot ν

Vstupní hodnoty relací jsou uloženy v samostatném listě v sešitě MS Excel. Z těchto listů jsou potřebné hodnoty iteračně zdrojovým kódem načítány a dále se provádí kompozice těchto dvou relací. Sešit MS Excel se skládá ze čtyř listů:

- list Relace „R“ obsahuje vstupní hodnoty relace R,
- list Relace „Q“ obsahuje analogicky vypočítané hodnoty pro relaci Q,
- list Kompozice obsahuje výslednou klasifikaci a asociaci provedené kompozice relací R a T a grafické vyjádření výsledku,
- list Výpočet obsahuje duplicitně hodnoty z listů Relace „R“ a Relace „Q“, které jsou uspořádány pro zdrojový kód výpočtu kompozice.

Jednotlivé listy sešitu jsou vidět na následujících obrázcích obr. 10 až obr. 13.

R	ω1		ω2		ω3	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν
p_1	0,88	0,00	0,09	0,79	0	0,88
p_2	0	0,88	0,61	0,27	0,54	0,34
p_3	0,2	0,70	0,3	0,60	0,88	0,02
p_4	0,03	0,87	0,72	0,18	0,06	0,84
p_5	0,05	0,85	0,64	0,26	0,13	0,77
p_6	0,04	0,86	0,66	0,24	0,11	0,79
p_7	0,14	0,76	0,49	0,41	0,34	0,56
p_8	0,02	0,88	0,88	0,02	0	0,90
p_9	0,09	0,81	0,51	0,39	0,39	0,51
p_{10}	0,05	0,85	0,61	0,29	0,17	0,73
p_{11}	0,18	0,72	0,49	0,41	0,25	0,65

Relace "R" / Relace "Q" / Kompozice / Výpočet

Obr. 10 – list Relace „R“

Název obce	p_1 μ	p_1 ν	p_2 μ	p_2 ν	p_3 μ	p_3 ν	p_4 μ	p_4 ν	p_5 μ	p_5 ν	p_6 μ	p_6 ν	p_7 μ	p_7 ν	p_8 μ	p_8 ν	p_9 μ	p_9 ν	p_{10} μ	p_{10} ν	p_{11} μ	p_{11} ν
1	0,00	0,90	0,00	0,90	0,72	0,18	0,50	0,41	0,53	0,38	0,19	0,71	0,68	0,22	0,00	0,90	0,28	0,62	0,31	0,59	0,66	0,24
2	0,00	0,90	0,90	0,00	0,40	0,50	0,08	0,82	0,23	0,68	0,72	0,18	0,62	0,28	0,41	0,49	0,47	0,43	0,74	0,16	0,38	0,52
3	0,00	0,90	0,00	0,90	0,62	0,28	0,20	0,71	0,15	0,75	0,19	0,71	0,72	0,18	0,69	0,21	0,56	0,34	0,29	0,61	0,71	0,19
4	0,90	0,00	0,00	0,90	0,74	0,16	0,72	0,18	0,23	0,67	0,07	0,83	0,20	0,70	0,40	0,50	0,00	0,90	0,02	0,88	0,07	0,83
5	0,90	0,00	0,00	0,90	0,52	0,38	0,73	0,17	0,75	0,15	0,21	0,69	0,11	0,79	0,25	0,65	0,16	0,74	0,02	0,88	0,09	0,81
6	0,90	0,00	0,00	0,90	0,59	0,31	0,80	0,10	0,70	0,20	0,23	0,67	0,00	0,90	0,24	0,66	0,01	0,89	0,02	0,88	0,00	0,90
7	0,90	0,00	0,00	0,90	0,30	0,60	0,68	0,22	0,68	0,22	0,43	0,47	0,22	0,68	0,70	0,20	0,05	0,85	0,16	0,74	0,06	0,84
8	0,90	0,00	0,00	0,90	0,71	0,19	0,90	0,00	0,73	0,17	0,15	0,75	0,03	0,87	0,26	0,64	0,01	0,89	0,08	0,82	0,02	0,88
9	0,90	0,00	0,00	0,90	0,69	0,21	0,56	0,34	0,71	0,19	0,20	0,70	0,13	0,77	0,36	0,54	0,11	0,79	0,12	0,78	0,13	0,77
10	0,90	0,00	0,00	0,90	0,74	0,16	0,68	0,22	0,49	0,41	0,07	0,83	0,22	0,68	0,00	0,90	0,03	0,87	0,00	0,90	0,10	0,80
11	0,90	0,00	0,00	0,90	0,66	0,24	0,64	0,26	0,75	0,15	0,39	0,51	0,18	0,72	0,00	0,90	0,10	0,80	0,27	0,63	0,11	0,79
12	0,90	0,00	0,00	0,90	0,73	0,17	0,74	0,16	0,81	0,09	0,15	0,75	0,13	0,77	0,31	0,59	0,02	0,88	0,01	0,89	0,06	0,84
13	0,90	0,00	0,00	0,90	0,77	0,13	0,68	0,23	0,69	0,21	0,24	0,66	0,15	0,75	0,38	0,52	0,04	0,86	0,23	0,67	0,12	0,78
14	0,00	0,90	0,90	0,00	0,71	0,19	0,76	0,14	0,66	0,24	0,07	0,83	0,38	0,52	0,64	0,26	0,20	0,70	0,02	0,88	0,34	0,56
15	0,00	0,90	0,90	0,00	0,19	0,71	0,26	0,64	0,36	0,54	0,70	0,20	0,49	0,41	0,00	0,90	0,56	0,34	0,68	0,22	0,21	0,69
16	0,00	0,90	0,90	0,00	0,21	0,69	0,16	0,74	0,08	0,83	0,68	0,22	0,70	0,20	0,69	0,21	0,73	0,17	0,70	0,20	0,70	0,20
17	0,90	0,00	0,00	0,90	0,73	0,17	0,38	0,52	0,15	0,75	0,35	0,55	0,26	0,64	0,00	0,90	0,47	0,43	0,69	0,21	0,72	0,18
18	0,00	0,90	0,00	0,90	0,78	0,12	0,28	0,62	0,36	0,54	0,07	0,83	0,70	0,20	0,53	0,37	0,29	0,61	0,10	0,80	0,71	0,19
19	0,00	0,90	0,00	0,90	0,57	0,33	0,30	0,60	0,15	0,75	0,33	0,57	0,69	0,21	0,34	0,56	0,51	0,39	0,49	0,41	0,68	0,22
20	0,00	0,90	0,90	0,00	0,19	0,71	0,38	0,52	0,26	0,64	0,69	0,21	0,57	0,33	0,68	0,22	0,70	0,20	0,68	0,22	0,54	0,36
21	0,00	0,90	0,00	0,90	0,71	0,19	0,65	0,25	0,33	0,58	0,10	0,80	0,45	0,45	0,38	0,52	0,26	0,64	0,08	0,82	0,44	0,46
22	0,00	0,90	0,00	0,90	0,34	0,56	0,70	0,20	0,68	0,22	0,27	0,63	0,23	0,67	0,00	0,90	0,43	0,47	0,06	0,84	0,22	0,68

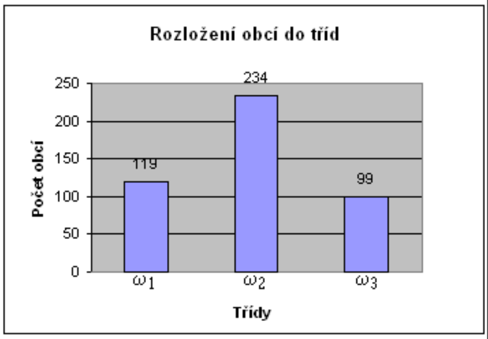
Relace "R" | Relace "Q" | Kompozice | Výpočet

Obr. 11 - list Relace "Q"

T Id	T Název	$\omega_{i,1}$ μ	$\omega_{i,1}$ ν	$\omega_{i,2}$ μ	$\omega_{i,2}$ ν	$\omega_{i,3}$ μ	$\omega_{i,3}$ ν
1	**1**	**0,20**	**0,70**	**0,53**	**0,38**	**0,72**	**0,18**
2	**2**	**0,20**	**0,70**	**0,66**	**0,24**	**0,54**	**0,34**
3	**3**	**0,20**	**0,70**	**0,69**	**0,21**	**0,62**	**0,28**
4	4	0,88	0,00	0,72	0,18	0,74	0,16
5	5	0,88	0,00	0,72	0,18	0,52	0,38
6	6	0,88	0,00	0,72	0,18	0,59	0,31
7	7	0,88	0,00	0,70	0,20	0,30	0,60
8	8	0,88	0,00	0,72	0,18	0,71	0,19
9	9	0,88	0,00	0,64	0,26	0,69	0,21
10	10	0,88	0,00	0,68	0,22	0,74	0,16
11	11	0,88	0,00	0,64	0,26	0,66	0,24
12	12	0,88	0,00	0,72	0,18	0,73	0,17
13	13	0,88	0,00	0,68	0,23	0,77	0,13
14	14	0,20	0,70	0,72	0,18	0,71	0,19
15	15	0,19	0,71	0,66	0,24	0,54	0,34
16	16	0,20	0,70	0,69	0,21	0,54	0,34
17	17	0,88	0,00	0,61	0,29	0,73	0,17
18	18	0,20	0,70	0,53	0,37	0,78	0,12
19	19	0,20	0,70	0,51	0,39	0,57	0,33
20	20	0,19	0,71	0,68	0,22	0,54	0,34
21	21	0,20	0,70	0,65	0,25	0,71	0,19
22	22	0,20	0,70	0,70	0,20	0,39	0,51
23	23	0,20	0,70	0,68	0,22	0,61	0,29
24	24	0,20	0,70	0,69	0,21	0,64	0,26

Vypocti

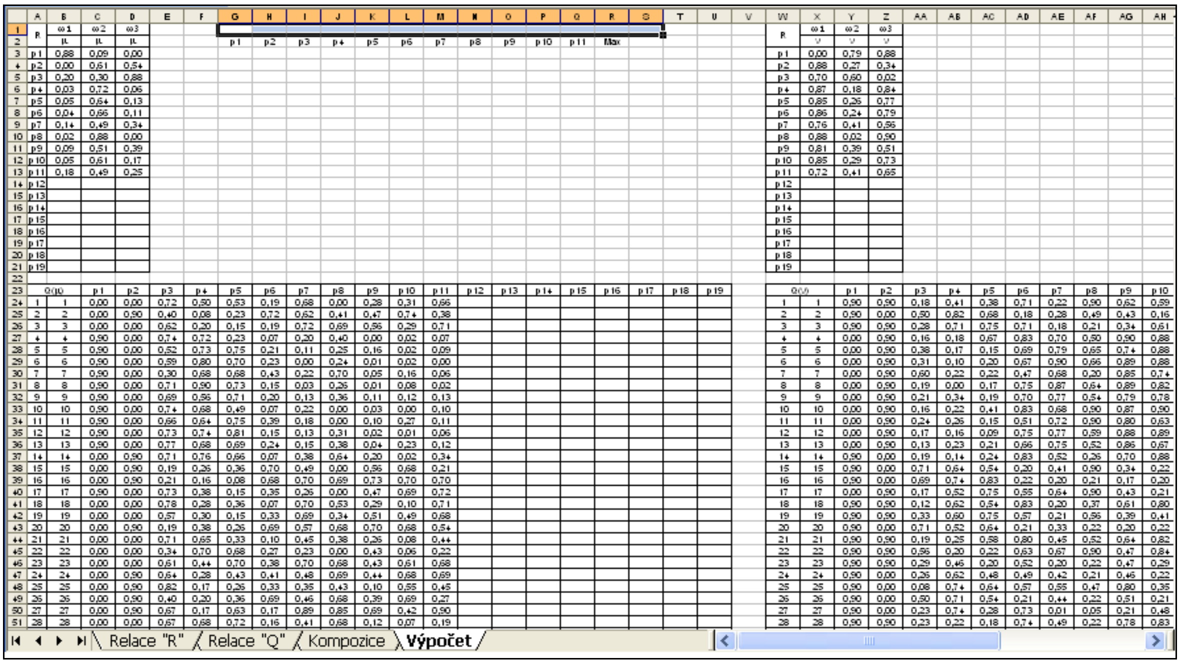
Vymaž



0,1	ω1	ω2	ω3
O1	**0,13**	**0,49**	**0,70**
O2	**0,13**	**0,64**	**0,50**
O3	**0,13**	**0,67**	**0,59**
O4	0,88	0,70	0,73
O5	0,88	0,70	0,48
O6	0,88	0,70	0,56
O7	0,88	0,68	0,24
O8	0,88	0,70	0,69
O9	0,88	0,62	0,67
O10	0,88	0,65	0,72
O11	0,88	0,62	0,63
O12	0,88	0,70	0,71
O13	0,88	0,65	0,76
O14	0,13	0,70	0,69
O15	0,12	0,64	0,50
O16	0,13	0,66	0,50
O17	0,88	0,59	0,72
O18	0,13	0,50	0,76
O19	0,13	0,47	0,53
O20	0,12	0,66	0,50
O21	0,13	0,62	0,69
O22	0,13	0,68	0,34
O23	0,13	0,66	0,58
O24	0,13	0,67	0,62
O25	0,13	0,59	0,82

Relace "R" | Relace "Q" | Kompozice | Výpočet

Obr. 12 - list Kompozice



Obr. 13 - list Výpočet

V tab. 16 je uvedena ukázka výsledné kompozice relaci R a Q, která je navíc rozšířena o asociační index, který ve výsledné kompozici zvýrazní vysoké hodnoty a naopak nízké hodnoty potlačí. Tento asociační index lze vypočítat podle vztahu [11]

$$\xi_T = \mu_T\left(o_i^t, \omega_{i,jt}^t\right) - \nu_T\left(o_i^t, \omega_{i,jt}^t\right) \times \pi_T\left(o_i^t, \omega_{i,jt}^t\right) \tag{4.9}$$

pro každou obec Pk. Kompozice relací R a Q je proveden vícekrát, přičemž při každém pokusu byl sledován asociační index a podle nabytých hodnot je stanoven závěr, zda model na klasifikaci obcí dokáže zatřídit tyto obce Pk do třech tříd. Z výsledných hodnot kompozice a asociace uvedených v tab. 16 lze vyčíst, že navržený model dokáže roztřídit všechny obce Pk do třech tříd podle hodnot parametrů, kterých obce Pk nabývají.

Tab. 16 - Výsledná kompozice a asociace

T	ω_1		ω_2		ω_3		ξ_T		
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	ω_1	ω_2	ω_3
O_1	0,55	0,35	0,72	0,18	0,81	0,09	0,51	0,70	0,80
O_2	0,49	0,41	0,64	0,26	0,43	0,47	0,45	0,61	0,39
O_3	0,88	0,06	0,80	0,02	0,39	0,51	0,87	0,80	0,34
O_4	0,88	0,06	0,72	0,18	0,74	0,16	0,87	0,70	0,73
O_5	0,88	0,06	0,72	0,18	0,52	0,38	0,87	0,70	0,48
O_6	0,88	0,06	0,72	0,18	0,59	0,31	0,87	0,70	0,56
O_7	0,88	0,06	0,70	0,20	0,30	0,60	0,87	0,68	0,24
O_8	0,88	0,06	0,72	0,18	0,71	0,19	0,87	0,70	0,69
O_9	0,88	0,06	0,64	0,26	0,69	0,21	0,87	0,62	0,67
O_{10}	0,88	0,06	0,68	0,22	0,74	0,16	0,87	0,65	0,72
O_{11}	0,88	0,06	0,64	0,26	0,66	0,24	0,87	0,62	0,63
O_{12}	0,88	0,06	0,72	0,18	0,73	0,17	0,87	0,70	0,71
O_{13}	0,88	0,06	0,68	0,23	0,77	0,13	0,87	0,65	0,76
O_{14}	0,55	0,35	0,72	0,18	0,71	0,19	0,51	0,70	0,69
O_{15}	0,37	0,53	0,66	0,24	0,39	0,51	0,32	0,64	0,34

4.8 Závěr kapitoly

Tato kapitola popisuje návrh modelu na klasifikaci obcí Pk do tří tříd. Pokud obec patří na základě klasifikace do nejlepší třídy, pak můžeme o této obci říci, že z environmentálního hlediska je daná obec na dobré úrovni. Analogicky tento postup platí i pro střední třídu a nejhorší třídu. Model na klasifikaci obcí do tříd je založen na teorii fuzzy množin, konkrétně na teorii intuitionistic fuzzy množin. Základem tohoto modelu je navržení dvou relací R a Q a provedení kompozice těchto dvou relací. Výsledné hodnoty kompozice jsou ještě zvýrazněny pomocí asociačního indexu. Dále jsou v této kapitole popsány algoritmy návrhu obou relací R a Q a algoritmus kompozice relací. Nejlepší dosažené výsledky jsou uvedeny v tabulkách.

5 Analýza výsledků klasifikace obcí

V této poslední kapitole je provedena analýza dosažených výsledků klasifikace v průběhu návrhu modelu na klasifikaci obcí. Pro návrh modelu je provedeno několik klasifikací, přičemž ty nejdůležitější, které potvrzují správný návrh modelu a jeho klasifikaci jsou uvedeny v další části kapitoly. Výsledné tabulky a grafy těchto dílčích kroků jsou uvedeny níže. Na konci kapitoly je uvedena tabulka výsledného modelu, která je pro přehlednost doplněna grafem.

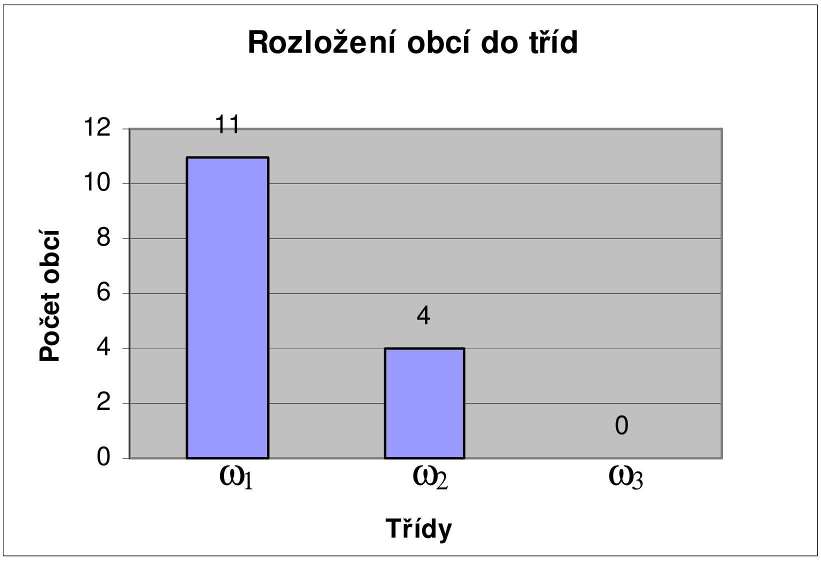
5.1 Klasifikace vybraných obcí

Pro první ověření navrženého modelu na klasifikaci obcí jsou vybrány obce z blízkého okolí města Pardubic. Tyto obce byly vybrány proto, že je známa přibližná situace těchto obcí v environmentální oblasti. Vybrané obce posloužily k odhadu, zda navržený model dokáže dané obce zaklasifikovat a zda provedená klasifikace zhruba odpovídá skutečné situaci.

Jak model provedl klasifikaci vybraných obcí je vidět v tab. 17 a v Grafu1. Na základě této tabulky lze říci, že např. obec O_1 patří podle tohoto modelu do nejlepší třídy, kdežto např. obec O_3 patří do střední třídy. Z vybraných obcí nepatří podle této klasifikace, žádná obec do nejhorší třídy.

Tab. 17 - klasifikace vybraných obcí

T	ω_1		ω_2		ω_3		ξ_T		
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	ω_1	ω_2	ω_3
O_1	0,88	0,06	0,72	0,18	0,59	0,31	0,87	0,70	0,56
O_2	0,88	0,06	0,72	0,18	0,52	0,38	0,87	0,70	0,48
O_3	0,49	0,41	0,57	0,33	0,49	0,41	0,45	0,54	0,45
O_4	0,88	0,06	0,70	0,20	0,30	0,60	0,87	0,68	0,24
O_5	0,88	0,06	0,72	0,18	0,71	0,19	0,87	0,70	0,69
O_6	0,88	0,06	0,68	0,23	0,77	0,13	0,87	0,65	0,76
O_7	0,55	0,35	0,72	0,18	0,71	0,19	0,51	0,70	0,69
O_8	0,88	0,06	0,72	0,18	0,64	0,26	0,87	0,70	0,61
O_9	0,88	0,06	0,68	0,22	0,74	0,16	0,87	0,65	0,72
O_{10}	0,88	0,06	0,64	0,26	0,66	0,24	0,87	0,62	0,63
O_{11}	0,88	0,06	0,72	0,18	0,74	0,16	0,87	0,70	0,73
O_{12}	0,49	0,41	0,69	0,21	0,39	0,51	0,45	0,67	0,34
O_{13}	0,55	0,35	0,69	0,21	0,65	0,25	0,51	0,67	0,62
O_{14}	0,88	0,06	0,71	0,19	0,81	0,09	0,87	0,69	0,80
O_{15}	0,88	0,06	0,69	0,21	0,33	0,57	0,87	0,67	0,27



Graf 1 - Asociace vybraných 15 obcí Pk

Po této klasifikaci nelze jednoznačně říci, zda navržený model správně zatřídil vybrané obce a zda výsledky klasifikace odpovídají skutečnosti, ale můžeme říci, že výsledky modelu zhruba odpovídají realitě a že navržený model umí klasifikovat.

5.2 Klasifikace simulovaných obcí

Pro ověření, zda model dokáže obce správně zaklasifikovat do tříd, jsou v dalším kroku navrženy tři fiktivní obce, které simulují obce s nejlepšími, středními a nejhoršími vlastnostmi v environmentální oblasti. Tyto fiktivní obce nahradí tři obce z původního testovacího souboru, které byly modelem klasifikovány jako obce s nejlepšími hodnotami v environmentální oblasti. V tab. 18 a tab. 19 jsou vidět nahrazené obce s původními hodnotami a novými (fiktivními) hodnotami. Fiktivní hodnoty jsou uvedeny v modře podbarvených řádcích.

Tab. 18 – míra příslušnosti fiktivních obcí μ

$Q(\mu)$	p_1	P_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
O_1 (nejhorší)	0,90	0,00	0,59	0,80	0,70	0,23	0,00	0,24	0,01	0,02	0,00
	0,00	0,00	0,81	0,89	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88
O_2 (střední)	0,90	0,00	0,52	0,73	0,75	0,21	0,11	0,25	0,16	0,02	0,09
	0,00	0,90	0,43	0,59	0,60	0,59	0,49	0,64	0,52	0,60	0,49
O_4 (nejlepší)	0,90	0,00	0,30	0,68	0,68	0,43	0,22	0,70	0,05	0,16	0,06
	0,90	0,00	0,00	0,01	0,89	0,90	0,88	0,89	0,89	0,89	0,00

Tab. 19 - míra nepříslušnosti fiktivních obcí ν

$Q(\nu)$	p_1	P_2	p_3	p_4	p_5	p_6	p_7	p_8	p_9	p_{10}	p_{11}
O_1	0,90	0,00	0,59	0,80	0,70	0,23	0,00	0,24	0,01	0,02	0,00
	0,00	0,00	0,81	0,89	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88
O_2	0,90	0,00	0,52	0,73	0,75	0,21	0,11	0,25	0,16	0,02	0,09
	0,00	0,90	0,43	0,59	0,60	0,59	0,49	0,64	0,52	0,60	0,49
O_4	0,90	0,00	0,30	0,68	0,68	0,43	0,22	0,70	0,05	0,16	0,06
	0,90	0,00	0,00	0,01	0,89	0,90	0,88	0,89	0,89	0,89	0,00

Obec O_1 je navržena tak, aby byla zaklasifikována do nejhorší třídy ω_3, obec O_2 má být zaklasifikovaná do střední třídy ω_2 a obec O_4 má být zaklasifikována do nejlepší třídy ω_1. V tab. 20 je vidět, že navržený model správně zaklasifikoval fiktivní obce do příslušných tříd.

Tab. 20 - kompozice a asociace s fiktivními obcemi

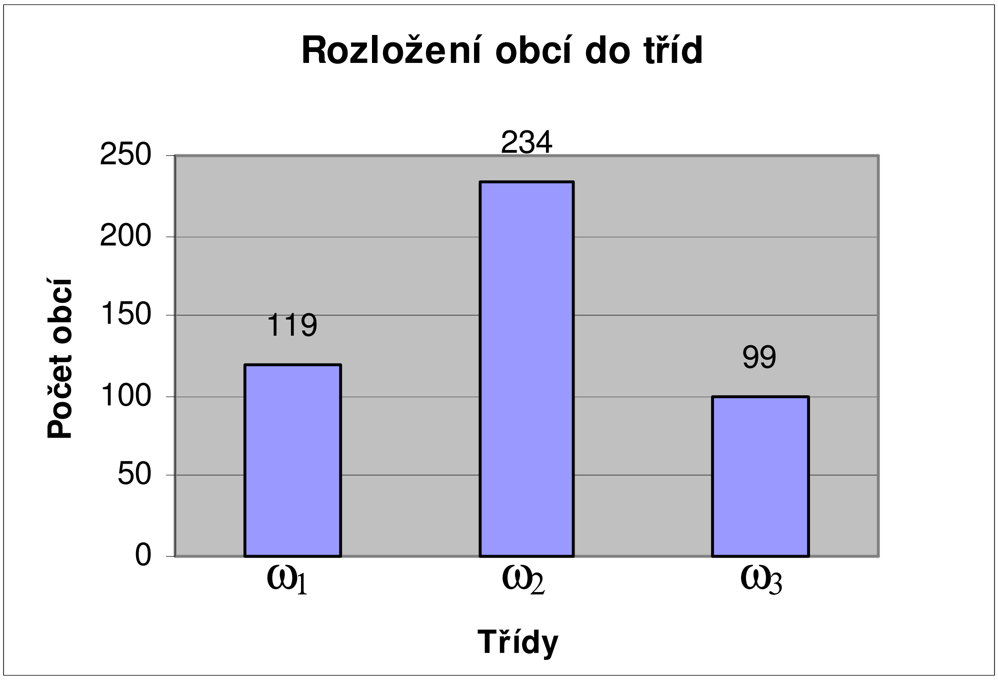
T	ω_1		ω_2		ω_3		ξ_T		
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	ω_1	ω_2	ω_3
O_1	0,55	0,35	0,72	0,18	0,81	0,09	0,51	0,70	0,80
O_2	0,49	0,41	0,64	0,26	0,43	0,47	0,45	0,61	0,39
O_3	0,49	0,41	0,57	0,33	0,49	0,41	0,45	0,54	0,45
O_4	0,88	0,06	0,80	0,02	0,39	0,51	0,87	0,80	0,34
O_5	0,88	0,06	0,72	0,18	0,71	0,19	0,87	0,70	0,69
O_6	0,88	0,06	0,68	0,23	0,77	0,13	0,87	0,65	0,76
O_7	0,55	0,35	0,72	0,18	0,71	0,19	0,51	0,70	0,69
O_8	0,88	0,06	0,72	0,18	0,64	0,26	0,87	0,70	0,61
O_9	0,88	0,06	0,68	0,22	0,74	0,16	0,87	0,65	0,72
O_{10}	0,88	0,06	0,64	0,26	0,66	0,24	0,87	0,62	0,63
O_{11}	0,88	0,06	0,72	0,18	0,74	0,16	0,87	0,70	0,73
O_{12}	0,49	0,41	0,69	0,21	0,39	0,51	0,45	0,67	0,34
O_{13}	0,55	0,35	0,69	0,21	0,65	0,25	0,51	0,67	0,62
O_{14}	0,88	0,06	0,71	0,19	0,81	0,09	0,87	0,69	0,80
O_{15}	0,88	0,06	0,69	0,21	0,33	0,57	0,87	0,67	0,27

5.3 Konečná klasifikace obcí

Na základě těchto poznatků lze říci, že navržený model dokáže z dostupných parametrů správně klasifikovat obce Pk do daných tříd. V tab. 21 a v Grafu 2 jsou vidět výsledky provedené klasifikace pomocí navrženého modelu. Z grafu je patrné, že klasifikace obcí do tříd má přibližně normální rozdělení pravděpodobnosti, což je i očekávaný výsledek. Pro výslednou klasifikaci jsou použity relace R a Q a kompozice těchto relací navržené v kapitole 4.

Tab. 21 - Výsledná kompozice s asociací

T	ω_1		ω_2		ω_3		ξ_T		
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	ω_1	ω_2	ω_3
O_1	0,20	0,70	0,53	0,38	0,72	0,18	0,13	0,49	0,70
O_2	0,20	0,70	0,66	0,24	0,54	0,34	0,13	0,64	0,50
O_3	0,20	0,70	0,69	0,21	0,62	0,28	0,13	0,67	0,59
O_4	0,88	0,00	0,72	0,18	0,74	0,16	0,88	0,70	0,73
O_5	0,88	0,00	0,72	0,18	0,52	0,38	0,88	0,70	0,48
O_6	0,88	0,00	0,72	0,18	0,59	0,31	0,88	0,70	0,56
O_7	0,88	0,00	0,70	0,20	0,30	0,60	0,88	0,68	0,24
O_8	0,88	0,00	0,72	0,18	0,71	0,19	0,88	0,70	0,69
O_9	0,88	0,00	0,64	0,26	0,69	0,21	0,88	0,62	0,67
O_{10}	0,88	0,00	0,68	0,22	0,74	0,16	0,88	0,65	0,72
O_{11}	0,88	0,00	0,64	0,26	0,66	0,24	0,88	0,62	0,63
O_{12}	0,88	0,00	0,72	0,18	0,73	0,17	0,88	0,70	0,71
O_{13}	0,88	0,00	0,68	0,23	0,77	0,13	0,88	0,65	0,76
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
O_{452}	0,20	0,70	0,70	0,20	0,39	0,51	0,13	0,68	0,34



Graf 2 – Rozložení obcí do tříd

5.4 Závěr kapitoly

Cílem této kapitoly je reprezentovat postup při ověřování kvality navrženého modelu na klasifikaci obcí a dále reprezentovat dosažené výsledky. Z dosažených výsledků vidíme, že navržené relace a kompozice relací v kapitole 4 jsou pro navržený klasifikační model správné a lze je pro danou klasifikaci využít. Konečný výsledek klasifikace obcí je znázorněn v tab. 21 a v Grafu 2.

6 Závěr

Tato diplomová práce řeší problematiku klasifikace obcí na základě parametrů environmentální oblasti, kterou lze dále využít při plánování udržitelného rozvoje obcí. Výsledné zatřízení obcí může pomoci v orientaci, jak je na tom konkrétní obec v environmentální oblasti v porovnání s ostatními obcemi Pardubického kraje.

Cílem práce bylo navrhnout takový model na klasifikaci obcí Pardubického kraje, který dokáže na základě vstupních parametrů provést zatřízení těchto obcí do tří tříd. Model využívá znalostí z oblasti fuzzy množin, konkrétně z oblasti intuitionistic fuzzy množin a intuitionistic fuzzy relací. Výsledkem je relace $T = R \circ Q$, jejíž výsledné hodnoty jsou ještě dodatečně zvýrazněny asociačním indexem. Návrh relací R a Q a kompozice relací je podrobně popsán v kapitole 4. Další kroky, které byly provedeny k ověření správného návrhu relací a kompozice jsou popsány v kapitole 5, ve které jsou i uvedeny výsledné hodnoty pro navržený model. Výsledné hodnoty jsou však z důvodu velkého množství obcí Pardubického kraje uvedeny pouze pro 15 vybraných obcí.

Výstupem modelu je tedy 452 klasifikovaných obcí do jedné ze tří tříd metodou, která pracuje s intuitionistic fuzzy množinami a s intuitionistic fuzzy relacemi. Diplomová práce ukazuje, že ke klasifikaci objektů do tříd lze využít metod z oblasti IFM a IFR.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

SUR	Strategie udržitelného rozvoje
UR	Udržitelný Rozvoj
ČSÚ	Český statistický úřad
EO	Environmentální oblast
Pk	Pardubický kraj
ČOV	Čistírna odpadních vod
IFM	Intuitionistic fuzzy množiny
IFR	Intuitionistic fuzzy relace
DK	Dolní kvartil
HK	Horní kvartil

SEZNAM OBRÁZKŮ

SEZNAM TABULEK

SEZNAM GRAFŮ

LITERATURA

[1] *Koncepce environmentálního vzdělávání, výchovy a osvěty Pardubického kraje*. [online]. 2007, [cit. 2009-08-10]. Dostupný z WWW: <http:// www.pardubickykraj.cz/document.asp?thema=3820&>.

[2] FIALOVÁ, H. a kol. 2007. *Vybrané oblasti udržitelného rozvoje v Pardubickém kraji.* Pardubice: Český statistický úřad, Oddělení regionálních analýz a informačních služeb.

[3] *Jevy_ukaz_uap* [online]. 2008, [cit. 2009-08-10]. Dostupný z WWW: <http://www.czso.cz/csu/redakce.nsf/i/sledovane_jevy_pouzite_ukazatele_a_jejich _metodika/$File/jevy_ukaz_uap.htm>.

[4] *K udržitelnému rozvoji České republiky: vytváření podmínek*. 2002. Praha: Univerzita Karlova.

[5] PROVAZNÍK, I. 1999. *Expertní systémy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

[6] ATANASSOV, K. T. 1999. *Intuitionistic fuzzy sets: Theory and Aplication.* Heidelberg: Springer Science, Business Media.

[7] *Kvalita dat* [online]. 2005, [cit 2009.08-10]. Dostupná z WWW: <http://www.systemonline.cz/clanky/proces-reseni-kvality-dat.htm>.

[8] KUBANOVÁ, J. 2008. *Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi*. Bratislava: Statis. ISBN 978-80-85659-47-4.

[9] SANCHEZ, E. 1997. *Resolution of Composition Fuzzy Relation Equation, Application to Medical Diagnosis in Brouwerian Logic*, M.M. Gupta, G.N. Saridis, B.R. Gaines (Eds.): Fuzzy Automata and Decision Process, Elsevier, North-Holland.

[10] SANCHEZ, E. 1976. Resolution of Composition Fuzzy Relation Equations, *Inform. Control*, 30, pp. 38-48.

[11] OLEJ, V., HÁJEK, P. 2008. *Air Quality Modelling by Kohonen's Self-organizing Feature Maps and Intuitionistic Fuzzy Sets*. Proc. of the 12th IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing, ASC 2008, September 1-3, 2008, Pobil, A.P., Eds., Palma de Mallorca, Spain, ACTA Press, Calgary, Alberta, Canada, pp. 22-27. ISBN 978-088986-7.

[12] OLEJ, V. , PETR, P. 2004. *Umělá a výpočetní inteligence : Fuzzy množiny*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-7194-670-2.