

Palackého Univerzita v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

Lenka PAČLÍKOVÁ

**EVAULACE VÝSLEDKŮ VYBRANÝCH
PROSTOROVÝCH ANALÝZ PŘI
VYUŽITÍ FUZZY TEORIE MNOŽIN
A FUZZY LOGIKY**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Pavel TUČEK, Ph.D.

Olomouc 2012

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci bakalářského studia oboru Geoinformatika a geografie vypracovala samostatně pod vedením Mgr. Pavla Tučka, Ph.D.. Všechny použité materiály a zdroje jsou citovány s ohledem na vědeckou etiku, autorská práva a zákony na ochranu duševního vlastnictví. Všechna poskytnutá i vytvořená digitální data nebudu bez souhlasu školy poskytovat.

V Olomouci 17. května 2012

.....

Děkuji vedoucímu práce Mgr. Pavlu Tučkovi za podněty a připomínky při vypracování práce. Dále děkuji konzultantu Mgr. Janu Čahovi za cenné rady.

Obsah

Úvod	1
1 Cíle práce	2
2 Použité metody a postupy zpracování	3
2.1 Použitá data	3
2.2 Použité programy	3
2.3 Postup zpracování	3
3 Fuzzy	6
3.1 Teorie fuzzy množin	6
3.1.1 Vlastnosti fuzzy množiny a základní pojmy fuzzy teorie množin	6
3.1.2 Základní operace s fuzzy množinami	8
3.1.3 Princip rozšíření	9
3.2 Fuzzy číslo	9
3.2.1 Aritmetické operace	10
3.3 Fuzzy logika	11
3.3.1 Jazyková proměnná	12
3.3.2 Báze fuzzy pravidel	12
3.3.3 Fuzzifikace, inference, defuzzifikace	12
3.3.4 Fuzzy regulátory	13
4 Využití fuzzy teorie množin v geovědách	15
5 Případové studie	20
5.1 Míra oslunění georeliéfu	20
5.1.1 Provedení analýzy	21
5.1.2 Porovnání výsledků	24
5.2 Hledání vhodné oblasti pro novou školu	27
5.2.1 Provedení analýzy	27

5.2.2	Porovnání výsledků	29
5.3	Alokační analýza	33
5.3.1	Provedení analýzy	33
5.3.2	Porovnání výsledků	36
6	Diskuze	39
7	Závěr	41
	Literatura	42
	Summary	44

Úvod

Reálný svět je nestálý, postupně se mění nebo je měněn. Každý den příroda i člověk ovlivňují svět kolem nás. Neustále se lidé ve světě setkávají se záplavami, rozšiřují se pouště, dochází k malým i větším zemětřesení, která mají různé dopady na krajinu i města. Neustále se mění počasí, kácení se lesy, zvětšují a zmenšují se areály pro mnoho druhů živočichů, města i vesnice se rozvíjejí. Vše je stále v pohybu. V tomto světě je možné setkat se s mnoha termíny, které není možné jednoduše přiřadit. Tyto jevy totiž nejsou jasně definované, jsou nejasné, nejisté, vágní jinými slovy jsou fuzzy (McNeill a Thro, 1994).

Proč zrovna fuzzy? Lotfi A. Zadeh, otec fuzzy logiky, vycházel z faktu, že lidé nepotřebují číselné vstupy aby mohli činit různá rozhodnutí, proč by je tedy měly potřebovat počítače? Zadeh řekl, že „fuzzy“ nebylo dobré slovo, ale dodnes této volby nikdy nelitoval. Lotfi A. Zadeh poprvé popsal fuzzy logiku a fuzzy množinu ve svém článku Fuzzy množiny v roce 1965. Přes počáteční odmítání, kdy problémem byl pravděpodobně název, začala být teorie v 70. letech akceptována a fuzzy logika se objevovala v mnoha produktech především v Japonsku. Dnes fuzzy logiku v různých formách obsahuje většina produktů, se kterými člověk denně pracuje.

Fuzzy teorie množin nabízí možnost pracovat s atributy, které nejsou exaktně definovány a vlastně s termíny, kterými lidé v běžném životě denně operují a které jsou jim blízké. Tyto slovní proměnné jsou na zpracování poměrně náročné. I když by použití fuzzy množin nabízelo řešení, bylo by takové výstupy složité reprezentovat. Některé geoinformatické programy nabízejí práci s nástroji, pomocí kterých je možné provést některé jednoduché fuzzy operace, přesto se pro jednoduchost používá především klasická teorie množin, která vyžaduje přesná data.

1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je provedení rešerše, dle nastudované literatury a článků věnujících se dané problematice. Nejprve bude zpracována matematická teorie fuzzy množin a fuzzy logiky a budou vysvětleny základní pojmy. Teoretická část bude rozšířena o rešerši věnující se využití fuzzy teorie množin a fuzzy logiky v geovědách.

V praktické části budou provedeny některé základní prostorové analýzy, jak za využití klasického, tak i fuzzy přístupu. Výsledky prostorových analýz budou vhodnou metodou porovnány a tyto výsledky popsány. Na základě výsledků srovnání a nastudované literatury bude vyvozeno doporučení pro využití fuzzy logiky a fuzzy teorie množin při řešení prostorových analýz.

Práce se bude skládat z teoretické části a z případových studií, které budou doplněny o zhodnocení přínosu fuzzy teorie množin a fuzzy logiky a doporučení využití fuzzy přístupu. O bakalářské práci bude vytvořena webová stránka a práce bude zpracována podle zásad dle šablony dostupné na webových stránkách katedry v typografickém programu Tex. Na závěr bakalářské práce bude připojeno jednostránkové resumé v anglickém jazyce.

2 Použité metody a postupy zpracování

2.1 Použitá data

K vytvoření první prostorové analýzy jsou použita data dostupná na katedře geoinformatiky a jedná se o vrstvu vrstevnic o rozměrech 4×4 km. V druhé analýze jsou použita data a výukový manuál dostupný v tutoriálu pro ArcGIS 9.3. Tato data jsou určena pro seznámení se s nástrojem Spatial Analysis. Pro poslední úlohu byla použita fiktivní data, pro jednoduché znázornění dané analýzy.

2.2 Použité programy

Pro tvorbu prostorových analýz je použit především software ArcGIS 10.0. Tento program je pro část analýz, které jsou vytvářeny běžným způsobem, dostačující. Nabídka toolboxu poskytuje i několik nástrojů pro řešení prostorových analýz fuzzy přístupem, avšak není dostatečně široká. Z toho důvodu bylo nutné dvě analýzy provést odlišným způsobem pomocí programu jFuzzyLogic (Cingolani, 2012).

2.3 Postup zpracování

Nejprve bylo nutné nastudovat problematiku fuzzy teorie množin a fuzzy logiky v literatuře a pochopit základní pojmy a principy. Dále na základě seznámení se se základy byla vytvářena rešerše, která vysvětluje základní pojmy teorie fuzzy množin, zahrnuje vysvětlení základních vlastností, operací a další termíny podstatné pro vysvětlení problematiky. Rešerše dále pokračuje popisem fuzzy logiky a vysvětlením podstaty zpracování prostorových analýz. Na základě této části bylo možné následně případové studie vytvořit. Byl zde vysvětlen princip fuzzifikace, který je využívá v analýzách vytvářených pomocí fuzzy logiky a fuzzy teorie množin. V této kapitole byla vysvětlena matematická podstata věci.

Následující kapitola se zabývá využitím fuzzy teorie množin v geovědách. Je zde popsán jednoduchý příklad, který vysvětluje princip fuzzy množin v praxi. Tento příklad byl objasněn na rozdíl mezi klasickou množinou a fuzzy množinou. Dalším ilustračním příkladem bylo zjednodušení fuzzy teorie množin v praxi. To bylo vysvětleno na modelovém případě ohroženosti vesnic podle poměru ohrožených a neohrožených domů při záplavách. Jelikož se fuzzy logika zabývá lingvistickými proměnnými byl popsán a zobrazen příklad hledání dostupnosti míst k cestám a byla zde uvedena i možnost vizualizace termínu „blízko“ (Yanar a Akyurek, 2006). Dalším příkladem je vymezení ekotonů

(Morris a Kokhan, 2007). Hranice mezi polem a loukou nebo loukou a lesem nebývají často zcela ostře vymezeny. Dochází mezi nimi k přechodům, to popisuje i tento příklad. Poslední v této kapitole je ukázka možnosti fuzzy vymezení města Buffalo (Hwang a Thill, 2005).

Další část bakalářské práce se zabývá případovými studii, které rozebírají vybrané tři prostorové analýzy, které jsou provedeny klasickým či fuzzy způsobem a vzájemně jsou porovnány. Jako první byla vytvořena analýza míry oslunění georeliéfu, která vycházela z praktické úlohy, která je zadávána na cvičení z fyzické geografie. K provedení analýzy klasickým způsobem postačovaly nástroje dostupné v nabídce ArcMAP 10. Zde byly použity nástroje Aspect, Slope a Raster Calculator. Pro zpracování této analýzy fuzzy přístupem už dostupné nástroje nestačily a proto byl vytvořen Fuzzy Control Language (dále jen FCL) soubor a zde byly jednotlivé fuzzifikace rozepsány. Nejprve byl nadefinovaný **FUNCTION_BLOCK** (v jednom souboru může být více než jeden) a následně byly nadefinovány vstupní a výstupní proměnné, kde jediný možný typ proměnné je pouze REAL:

VAR_INPUT

```
    sklon : REAL;  
    orientace : REAL;
```

END_VAR

VAR_OUTPUT

```
    osluneni : REAL;
```

END_VAR.

Dalšími kroky je fuzzifikace vstupů a defuzzifikace výstupu. Je zde možné definovat i další parametry, jako je metoda defuzzifikace, nebo definování pravidel, které se provádí pomocí **RULEBLOCK**. Tento FCL soubor je prakticky fuzzy regulátor, jehož funkce je dále podrobně popsána v teoretické části v kapitole 3.3. Vytvořený FCL soubor byl vstupem do prostředí programu jFuzzyLogic, ve kterém byl sepsán kód, který pracoval s nadefinovanými podmínkami a nastavenými pravidly, které čerpal z FCL souboru. Program jFuzzyLogic je package napsaný v jazyce Java. Jedná se o open source program. Výstupy, vytvořené jak klasickým, tak fuzzy přístupem byly vizualizovány a vzájemně porovnány, a to graficky, tabulkou a podrobným popisem.

Další provedenou analýzou bylo hledání vhodné oblasti pro novou školu. Tato analýza byla vytvořena podle tutoriálu pro extenzi Spatial Analyst ArcGIS 9.3 (McCoy, 2005). Jednotlivé vrstvy byly reklasifikovány do 10-ti kategorií a následně byl použit nástroj Weighted Overlay, kterému byly výchozí reklasifikované vrstvy vstupem a bylo

provedeno vážení. V tomto kroku bylo možné zamítnout, vyřadit nevhodné hodnoty (nastavením hodnoty Restricted). Na závěr bylo každé vrstvě nastaveno procento vlivu na výsledný výstup. Aby byl splněn požadavek na prostor pro daný objekt, byla na výsledné vrstvě provedena fokální analýza, kde byly nastaveny rozměry kernelu 7×7 buněk gridu. S ohledem na funkci daného nástroje byla vytvořena další vrstva, maskovací plocha, která obsahovala veškeré plochy, které měli v okolí (7×7) hodnotu, která byla v jednom z předchozích kroků zamítnuta. Vrstva upravená fokální analýzou byla vynásobena maskou a tím vznikl výsledek. Analýza provedená fuzzy přístupem mohla vzniknout v prostředí ArcMAP 10 a nevyžadovala žádné jiné programy. Pro její řešení byl použit nástroj Fuzzy Membership z extenze Spatial Analyst ArcMap 10. Místo nástroje Weighted Overlay byl použit Raster Calculator. Výsledná vrstva vznikla stejně za použití fokální analýzy a masky, jako bylo popsáno výše. Na závěr analýzy bylo provedeno porovnání, jak grafické, tak textové.

Při tvorbě poslední analýzy byla práce založena na zcela fiktivních datech a byla zaměřena na porovnání jednoduchých Thiessenových polygonů a analýzy, která bude zkoumat spádovost k nadefinovaným bodům s ohledem na vzdálenost a kvalitu, která byla bodům nastavena. Bylo provedeno a popsáno vizuální srovnání, kde byly odhaleny zajímavé skutečnosti. Především neodpovídal počet spádových oblastí vytvořených nástrojem Thiessen Polygon počtu spádových oblastí, které byly řešeny fuzzy přístupem. K vytvoření této analýzy bylo potřeba opět nadefinovat pravidla a fuzzifikovat vstupy v FCL souboru.

K závěru bakalářské práce bylo vyvozeno možné využití fuzzy teorie množin a fuzzy logiky v praxi, konkrétně pak v geoinformatice. Diskuze se zabývá náročností provedení úloh zvolenými způsoby a možnostmi dané úlohy s dostupnými nástroji sestavit. Nakonec je zařazen závěr a resumé v anglickém jazyce.

3 Fuzzy

3.1 Teorie fuzzy množin

Teorie fuzzy množin a vícekritériálního hodnocení je popsána rovnicemi a několika pojmy. V úvodu této kapitoly je potřeba objasnit alespoň několik základních pojmů týkajících se fuzzy teorie. Podklady jsou převzaty z práce Fuzzy metody vícekritériálního hodnocení a rozhodování (Talašová, 2003) a jsou doplněny o poznatky z bakalářské práce Hodnotící funkce popsané bázemi fuzzy pravidel (Stolaříková, 2008).

Většinou je možné setkat se s klasickou teorií množin. Základem teorie množin je skutečnost, že ke každé množině A existuje množina všech jejích podmnožin $P(A)$ (Navara a Olšák, 2002). Fuzzy množina je zobrazením klasické množiny. Definice fuzzy množiny podle Zadeha zní: Necht U je neprázdná množina. Potom fuzzy množina A na U , $A \subseteq U$ je dána zobrazením $\mu_A : U \rightarrow \langle 0; 1 \rangle$.

$$A = (x \mid \mu_A(x)) : x \in U \quad (1)$$

Funkce μ_A je nazývána funkcí příslušnosti fuzzy množiny A . Funkce příslušnosti může být podle odvození lineární, kvadratická, gaussovská, sigmoidální, atd. Pro každé $x \in U$ se nazývá hodnota $\mu_A(x)$ stupněm příslušnosti prvku x k fuzzy množině A (Zadeh, 1965). Stupeň příslušnosti ke každému prvku z množiny U přiřadí číslo z intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Stupeň příslušnosti 0 říká, že prvek do množiny nepatří, stupeň příslušnosti 1 naopak říká, že prvek do množiny zcela patří. Stejně by to bylo i v ostré množině, ale fuzzy množina ještě nabízí možnost částečné příslušnosti, takže může prvek do množiny patřit i se stupněm příslušnosti 0,66. Každé x může zároveň náležet do n množin s různými stupni příslušnosti. Na obrázku 1 je vidět porovnání mezi klasickou ostrou množinou a fuzzy množinou. Ostrá množina přesně určuje zda prvek do množiny patří či nepatří a nenabízí jinou možnost. Ve fuzzy množině je možné částečné členství, takže prvek 4 do množiny patří se stupněm příslušnosti 0,8.

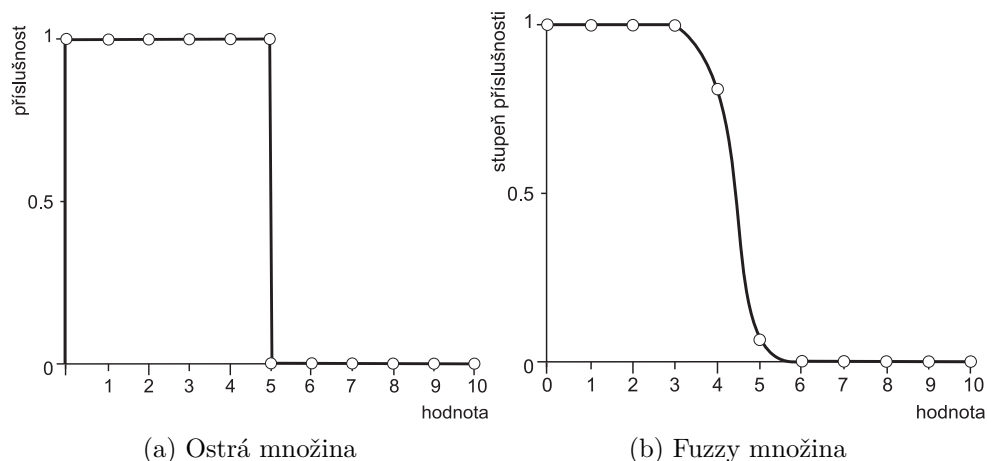
3.1.1 Vlastnosti fuzzy množiny a základní pojmy fuzzy teorie množin

Nosič (angl. support) fuzzy množiny A je ostrá množina A , kdy všechny prvky univerza U mají nenulový stupeň příslušnosti do A , tedy

$$Supp A = \{x \in U \mid A(x) > 0\}. \quad (2)$$

Jádro (angl. core) fuzzy množiny A je ostrá množina všech prvků univerza U , které mají stupeň příslušnosti roven číslu jedna, tedy

$$Ker A = \{x \in U \mid A(x) = 1\}. \quad (3)$$



Obrázek 1: Porovnání ostré množiny a fuzzy množiny (upraveno dle: Dragičević (2005))

α -řez fuzzy množiny A je ostrá množina všech prvků univerza U , jejichž stupeň příslušnosti je roven nebo větší zadanému α , tedy

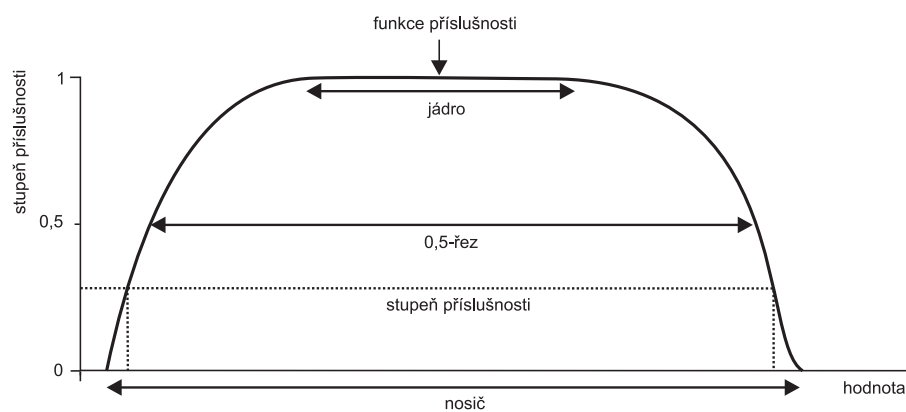
$$A_\alpha = \{x \in U \mid A(x) \geq \alpha\}, \alpha \in \langle 0, 1 \rangle. \quad (4)$$

Výška fuzzy množiny $hgt(A)$ je dána vztahem

$$hgt(A) = \sup A(x), x \in U. \quad (5)$$

Množina je normální, jestliže dosahuje výšky 1 (obr. 6), v jiném případě se množina nazývá subnormální,

$$Ker A \neq \emptyset; hgt(A) = 1. \quad (6)$$



Obrázek 2: Části fuzzy množiny

Dále je možné fuzzy množiny dělit podle α -řezu na konvexní a nekonvexní. Definice podle (Talašová, 2003) říká, že fuzzy množina A definovaná na lineárním prostoru U se nazývá konvexní, jestliže pro každé $\alpha \in (0, 1)$ je příslušný α -řez A_α konvexní množinou; tj jestliže pro (ostrou) množinu platí

$$\forall x, y \in A_\alpha, \forall \lambda \in \langle 0, 1 \rangle : \lambda x + (1 - \lambda)y \in A_\alpha. \quad (7)$$

3.1.2 Základní operace s fuzzy množinami

Stejně jako jsou známy základní operace sjednocení, průnik a doplněk u klasických množin, tak jsou obdobně tyto operace zavedeny i u fuzzy množin (Zadeh, 1965). Sjednocení fuzzy množin A a B na univerzu U je fuzzy množina $(A \cup B) \subseteq U$, pro kterou platí

$$(A \cup B)(x) = \max\{A(x), B(x)\}. \quad (8)$$

Průnik fuzzy množin A a B na univerzu U je fuzzy množina $(A \cap B) \subseteq U$, pro kterou platí

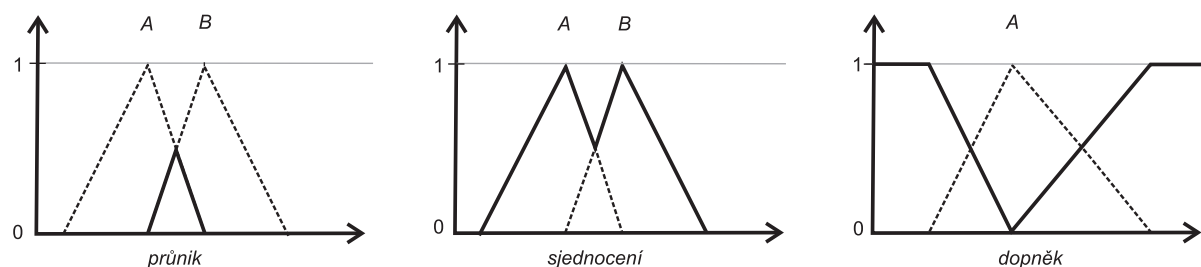
$$(A \cap B)(x) = \min\{A(x), B(x)\}. \quad (9)$$

Tímto způsobem jsou definované základní operace průniku a sjednocení, které jsou obecně definovány pomocí t-norem a t-konorem.

Doplněk fuzzy množin A a B na univerzu U je fuzzy množina $\bar{A} \subseteq U$, pro kterou platí:

$$\bar{A} = 1 - A(x). \quad (10)$$

T-normy a t-konormy jsou binární funkce, které jsou nepostradatelné při modelování



Obrázek 3: Základní operace s fuzzy množinami(převzato z Stolaříková (2008))

výše uvedených operací, pokud splňují podmínky komutativity, asociativity, monotonie a okrajové podmínky (Čermáková, 2011). Průnik je definovaný t-normami (T) a sjednocení je definováno t-konormami (S). Tyto binární operace obvykle vytvářejí dvojice, které lze označit jako t-normu a t-konormu pokud platí pro všechna $\alpha, \beta \in \langle 0, 1 \rangle$:

$$\alpha S \beta = 1 - [(1 - \alpha)T(1 - \beta)]. \quad (11)$$

Mezi nejvíce používané dvojice operací patří minimum (12) a maximum (13), součin (14) a pravděpodobnostní součin (15), a Łukasiewiczova t-norma (16), a ohraničený součet (17) (Talašová, 2003)

$$T_{min}(a, b) = \min\{a, b\}, \quad (12)$$

$$S_{max}(a, b) = \max\{a, b\}, \quad (13)$$

$$T_{prod}(a, b) = a \times b, \quad (14)$$

$$S_{sum}(a, b) = a + b - a \times b, \quad (15)$$

$$T_{Luk}(a, b) = \max\{0, a + b - 1\}, \quad (16)$$

$$S_{Luk}(a, b) = \min\{a + b, 1\}. \quad (17)$$

3.1.3 Princip rozšíření

Princip rozšíření vychází z myšlenky, kdy body univerza U se ve fuzzifikovaném zobrazení zobrazují f_F spolu se svými stupni příslušnosti k uvažované fuzzy množině A . Pokud má bod z univerza V více vzorů, pak rozhoduje největší ze stupňů příslušnosti. Fuzzifikací zobrazení $f : U \rightarrow V$ se rozumí zobrazení, které každé fuzzy množině $A \in F(U) \rightarrow F(V)$. Toto zobrazení je podle Zdeha (Zadeh, 1965) definováno takto:

$$f_F(A)(y) = \begin{cases} \sup\{A(x) | f(x) = y, x \in U\}, \\ 0, \text{ neexistuje-li žádné } x \in U \text{ takové, že } f(x) = y. \end{cases} \quad (18)$$

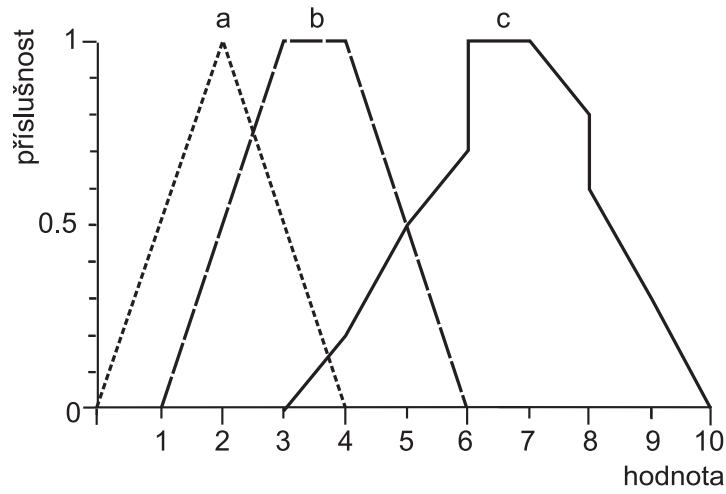
3.2 Fuzzy číslo

Fuzzy číslo představuje hodnotu, která je nepřesná, nejasná, neurčitá, vágní. Slovně by se taková hodnota dala charakterizovat jako "asi", "přibližně" a podobně. Jinak řečeno se používá k vyjádření neurčitého množství, nepřesných výsledků měření, nebo matematických významů jazykově zadaných dat (Talašová, 2003). Z matematického pohledu je fuzzy číslo konvexní normální množina se spojitou funkcí příslušnosti, vyjadřující neurčitě zadané hodnoty (Stolaříková, 2008). Fuzzy číslo by mělo nabývat $\mu_{\bar{A}}(x) = 1$ právě pro jedno x , není to ale absolutní podmínkou. Fuzzy čísla se nejčastěji dělí na lineární, kvadratická, gaussovská a po částech lineární. V softwarech je nejvíce využívána funkce příslušnosti po částech lineární (Caha, 2010). Výpočetní algoritmy pracují s obecnějšími po částech lineárními fuzzy čísly (s pevně zadaným n). Ta jsou vhodná pro provádění aritmetických operací a při řešení úloh vícekritériálního hodnocení. Výstupní fuzzy číslo nemusí náležet téže jednoduché třídě fuzzy čísel jako zadaný vstup. Běžně se vstupní

veličiny se zadávají pomocí nejjednodušších fuzzy čísel popsaných čtveřicemi bodů (Talašová, 2003). Po částech lineárním fuzzy číslem třídy n , $n \in \{0, 1, 2, \dots\}$, definovaným na intervalu $\langle A, B \rangle$ rozumíme fuzzy číslo, jehož funkce příslušnosti je po částech lineární a je určena následující posloupností bodů délky $2n + 4$

$$\left\{ (x_1, 0), (x_2, \frac{1}{n+1}), \dots, (x_{n+1}, \frac{n}{n+1}), (x_{n+2}, 1), \right. \\ \left. (x_{n+3}, 1), (x_{n+4}, \frac{n}{n+1}), \dots, (x_{2n+3}, \frac{1}{n+1}), (x_{2n+4}, 0) \right\}, \quad (19)$$

kde $A \leq x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_{n+1} \leq x_{n+2} \leq x_{n+3} \leq x_{n+4} \leq \dots \leq x_{2n+3} \leq x_{2n+4} \leq B$.



Obrázek 4: Tvary fuzzy množin: a - trojúhelníková; b - trapezoidální, c - po částech lineární

3.2.1 Aritmetické operace

Aritmetické operace jsou definovány přes princip rozšíření

$$C = \tilde{A} \odot \tilde{B} = \sum_{(x_1, x_2) \in X \times X} (\min(\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{B}}(x_2)) / x_1 \odot x_2), \quad (20)$$

nebo jako součet (21), rozdíl (22), součin (23) a podíl (22) za pomoci intervalové aritmetiky definované na α -řezech fuzzy čísel:

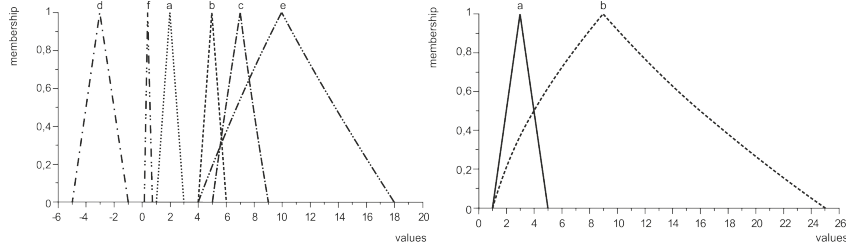
$$[x_1, x_2] + [y_1, y_2] = [x_1 + y_1, x_2 + y_2], \quad (21)$$

$$[x_1, x_2] - [y_1, y_2] = [x_1 - y_2, x_2 - y_1], \quad (22)$$

$$[x_1, x_2] \cdot [y_1, y_2] = [\min(x_1 y_1, x_1 y_2, x_2 y_1, x_2 y_2), \max(x_1 y_1, x_1 y_2, x_2 y_1, x_2 y_2)], \quad (23)$$

$$\frac{[x_1, x_2]}{[y_1, y_2]} = [x_1, x_2] \cdot \frac{1}{[y_1, y_2]}, \quad (24)$$

kde $\frac{1}{[y_1, y_2]} = [\frac{1}{y_2}, \frac{1}{y_1}]$ a $0 \notin [y_1, y_2]$,
kde $[x_1, x_2] = \tilde{A}_\alpha$ a $[y_1, y_2] = \tilde{B}_\alpha$.



(a) aritmetické operace s fuzzy čísly $a = \{1, 2, 3\}$; $b = \{4, 5, 6\}$ (b) aritmetická operace s fuzzy číslem $a = \{1, 3, 5\}$
číslem $a = \{1, 3, 5\}$

Obrázek 5: Aritmetické operace s fuzzy čísly jsou znázorněny následovně:
(a) součet $c = (a + b)$, rozdíl $d = (a - b)$; součin $e = (a/b)$; podíl $f = (a/b)$
b) druhá mocnina $b = (a^2)$

3.3 Fuzzy logika

Běžně je známa klasická logika, ve které se pracuje s pravdivostními hodnotami $\{0, 1\}$. V následující kapitole budou představeny vlastnosti fuzzy logiky. Níže budou nastíněny logiky, které mají více než dvě pravdivostní hodnoty. První je tříhodnotová logika, která vznikla v 30. letech 20. století. Byly zde zavedeny hodnoty 1(pravda), 0 (nepravda) a $\frac{1}{2}$ (nevím). Další je logika s n pravdivostními hodnotami. Množina pravdivostních hodnot má takovýto tvar:

$$T_n = \{0; \frac{1}{n-1}; \dots; \frac{n-1}{n-1} - 1\}. \quad (25)$$

Třetí možností je logika s nekonečně mnoha hodnotami, standardní Łukasiewiczova logika L_1 , ta je izomorfní klasické (Zadehově) teorii fuzzy množin $(-, \cap, \cup)$.

3.3.1 Jazyková proměnná

Jak už bylo i výše zmíněno, hodnoty jazykové proměnné jsou tvořeny slovy nebo výrazy jazyka. Takové termy, jak se jinak hodnotám jazykové proměnné říká, jsou modelované fuzzy množinou na \mathbb{R} vyjadřují vágně stanovenou míru dané vlastnosti, jsou nejčastěji interpretované jako fuzzy čísla. Jazykovou proměnnou se rozumí pětice

$$(\nu, \tau(\nu), X, G, M), \quad (26)$$

kde ν je označení jazykové proměnné, $\tau(\nu)$ je množina jazykových hodnot proměnné ν , $X \subseteq \mathbb{R}$ je univerzum, na kterém jsou definovány fuzzy množiny představující významy jazykových hodnot, G je syntaktické pravidlo (gramatika) pro generování jazykových hodnot z $\tau(\nu)$ a M je sémantické pravidlo, které každé jazykové hodnotě $C \in \tau(\nu)$ přiřadí její význam, $C = M(C)$, který je fuzzy množinou na X (Talašová, 2003). Jazyková proměnná je tvořena konečně mnoha hodnotami a nabízí zjednodušení vyjádření hodnot reálné proměnné, kdy obor hodnot je totožný s univerzem, na kterém jsou dané jazykové proměnné definovány významy hodnot. Nejčastěji se používají tři až pět proměnných pro jednu jazykovou hodnotu. Soubor souvisejících fuzzy proměnných, jakýkoliv popis čehokoliv ve fuzzy je označován jako jazyková škála.

3.3.2 Báze fuzzy pravidel

Jazykově definovaná fuzzy funkce využívá jazykových proměnných a přidává odborné znalosti o vztahu mezi jednotlivými charakteristikami variant a celkovým hodnocením. Báze fuzzy pravidel je možné definovat několika způsoby, a to expertně nedefinováním reálné proměnné x_1, \dots, x_n a bazickou proměnnou y následně je definována jazyková proměnná a pravidlo. Je nutné aby pro všechny možné kombinace nezávisle proměnných x_1, \dots, x_m byla určena hodnota závisle proměnné y . Další možností definování báze pravidel je odvození z dat za použití neuronových sítí nebo třeba shlukové analýzy.

3.3.3 Fuzzifikace, inference, defuzzifikace

Fuzzifikace je základní postup, při kterém se z ostrých vstupů stávají fuzzy vstupy. Tedy jinak řečeno, přiřazování vstupních hodnot do fuzzy množin pomocí funkce příslušnosti. Inference spočívá v hodnocení výroků na základě posouzení fuzzifikovaných vstupních hodnot. Užívá se tři logických operací, a to OR znamenající sjednocení, které nalézá maxima z hodnot obou funkcí. Další je logická operace AND, která jako průnik vyhledává z hodnot obou funkcí minima. Poslední je NEGACE, která je doplňkem (10). Defuzzifikací se potom rozumí převod fuzzy výstupů, tedy jazykových proměnných,

na ostré hodnoty v přípustném rozsahu, či-li se přiřadí výsledku předchozích postupů hodnota akční veličiny. Defuzzifikaci je možné provést několika přístupy. Jako příklad necht' jsou uvedena následující: levé maximum, pravé maximum, průměr maxim, těžiště či gravitační střed. Pro představu lze rozvést jednu z metod, a to metodu těžiště. Výsledná hodnota se tedy určí z celkové plochy, která vznikla sjednocením ploch, ty byly určeny ohraničením funkcí výstupních termů.

3.3.4 Fuzzy regulátory

Pokud se předpokládá, že existují fuzzy vstupy a fuzzy výstupy, pak se dá říct, že fuzzy pravidla, jazykové proměnné a přibližná dedukce tvoří základ fuzzy regulátorů (Zadeh, 1975). Princip fuzzy regulátorů má podstatu v několika následujících krocích: v měření vstupních hodnot; následně dojde k fuzzifikaci, kdy tyto fuzzy hodnoty jsou zpřesňovány jazykově orientovaným fuzzy expertním systémem, jinak jádrem fuzzy regulátoru. Tento fuzzy regulátor pracuje s bází pravidel a informačním mechanismem. Dalším pojmem je inference, kdy se vyhodnocují výroky na základě posouzení fuzzifikovaných vstupních informací. Konečnou operací je defuzzifikace, v této fázi dojde k přiřazení hodnoty akční veličiny k výsledku inference a poslední je výstup ostrých hodnot.

Fuzzy regulace má několik předností. Je koncepčně jednoduchá, díky flexibilitě je možné přidat další pravidla, je robustní, tedy málo citlivá na chyby vstupních dat, pravidla stanovená expertem jsou jednoduše přepsatelné do počítačového algoritmu, předností je i fakt, že fuzzy logika se zakládá na přirozené logice. Existuje několik regulátorů a mezi nejznámější patří Mamdaniho a Sugeno regulátor (Talašová, 2003).

Na příkladu bude uveden princip práce fuzzy regulátoru. Vstupem do regulátoru jsou obecně ostré hodnoty, necht' jsou uvedena konkrétní čísla a a b . Fuzzifikace je ukázána na proměnné a . Fuzzifikace zkoumá příslušnost proměnné do množin na univerzu U . Z každé množiny definované na univerzu se následně určí stupeň příslušnosti zkoumaného a jako je uvedeno níže.

$$\mu_a \tilde{A}1 = 0,3$$

$$\mu_a \tilde{A}2 = 0$$

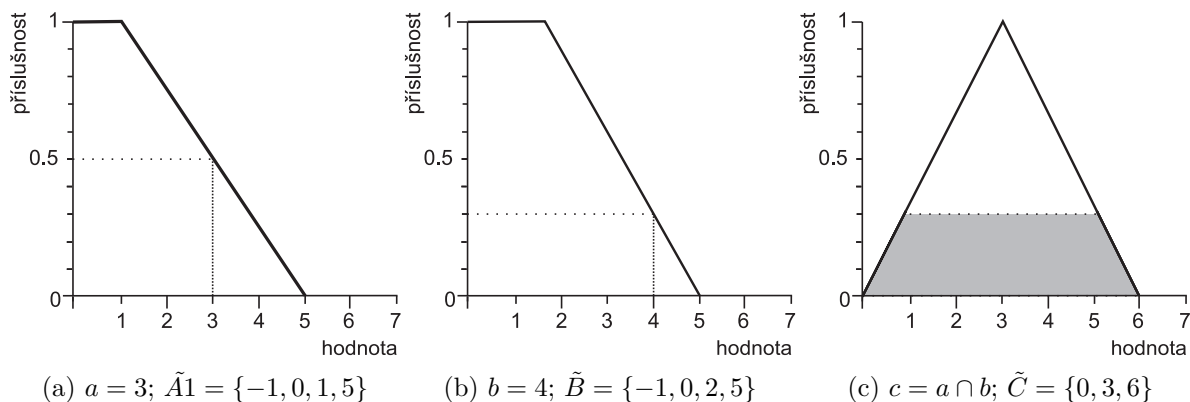
$$\mu_a \tilde{A}3 = 0$$

$$\mu_a \tilde{A}4 = 0$$

Pokud je dáno pravidlo:

IF a **IS** A **AND** b **IS** B **THEN** c **IS** C ,

tak bude zkoumán stupeň příslušnosti každého prvku do konkrétní fuzzy množiny na jemu příslušném univerzu. Tedy stupeň příslušnosti prvku a i b . AND ve výroku udává, že bude hledáno minimum. Takovýchto pravidel může být najednou definováno velké množství. Soubor těchto pravidel tvoří bázi pravidel. Každé další pravidlo je ve stejném tvaru, tedy začíná podmínkou IF, obvykle se totiž používá v dalších případech podmínky ELSE. Báze pravidel udává jak se váže výstup na vstupy. Inference prakticky zpracovává všechny výroky, tedy bázi pravidel. Výsledkem inference je c na množině \tilde{C} , jehož příslušnost je 0,3, která odpovídá minimum ze stupně příslušnosti μ_a a μ_b . Proces inference je znázorněn na obrázku 6c. Dalším krokem je defuzzifikace, která plochu vzniklou inferencí

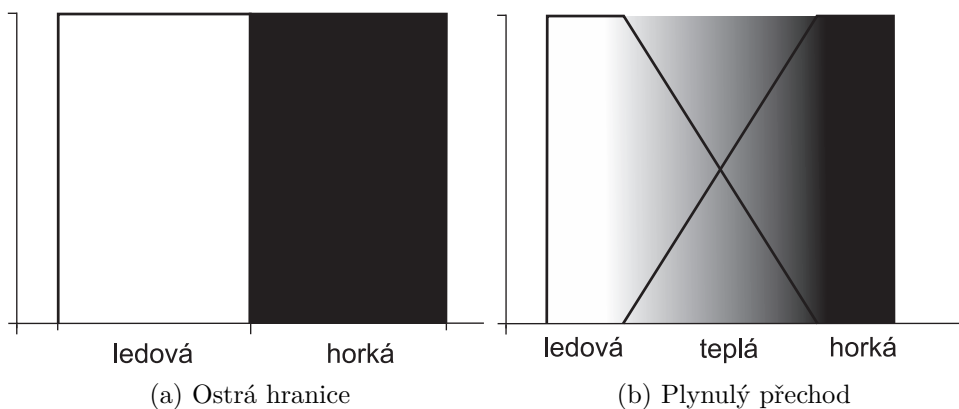


Obrázek 6: Ukázka regulace

zpracuje a výsledkem defuzzifikace bude opět reálné číslo. Defuzzifikaci lze provést několika způsoby a nejčastěji se používá způsob, kdy se z tvaru, který vznikl v předchozím kroku, vypočítá těžiště. Toto číslo se vypočítává integrálem z plochy pod křivkou.

4 Využití fuzzy teorie množin v geovědách

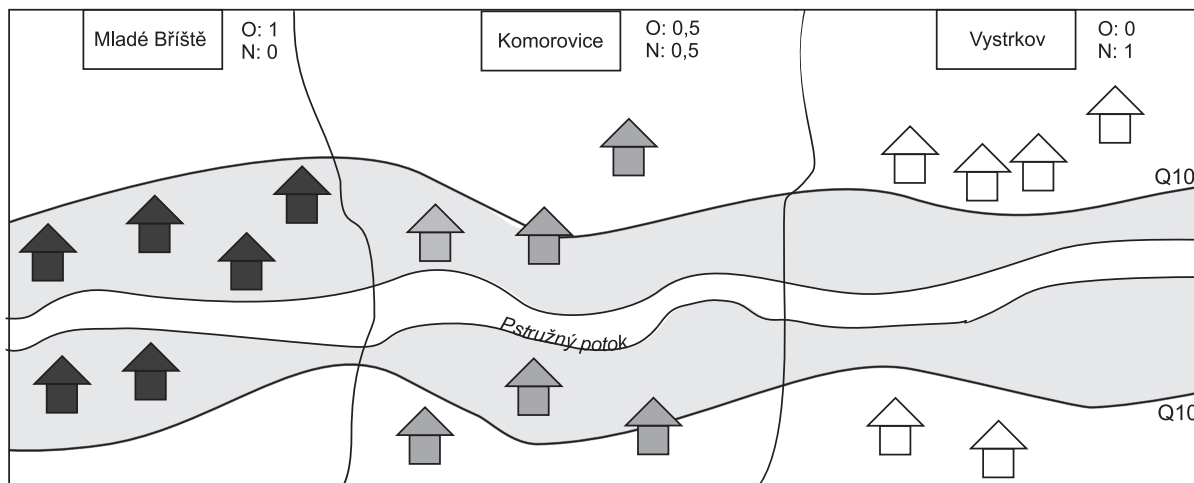
Jak bylo uvedeno výše, tak klasická teorie množin je založena na faktu, kdy prvek do množiny patří nebo nepatří, je pravdivý, či nepravdivý (obr. 1a). Je to možné uvést na jednoduchém příkladu teploty vody, na kterém bude možné porovnat zařazení do klasické množiny a do fuzzy množiny. Pokud se uvedou dvě teploty vody, tedy například ledová a horká voda, tak v klasické množině vzniknou dvě ostře oddělené množiny, voda ledová a voda horká (obr. 7a). Ve fuzzy množině jsou přechody mezi jednotlivými entitami rozostřeny, to znamená, že v určité hodnotě přechází ledová voda do horké vody a opačně. Pokud přibude další hodnota k zařazení do množiny, například voda teplá, tak v klasické množině vyvstává problém kam ji zařadit. Teplá voda totiž není ani horká ani ledová. Taková hodnota lze do fuzzy množiny jednoduše zařadit, jelikož zde neexistuje ostrá hranice mezi definovanými dvěma entitami (obr. 7b). Klasická teorie množin je



Obrázek 7: Porovnání normálního přístupu a fuzzy přístupu

využívána ve většině geoinformatických produktech. Je patrné, že se v různých analýzách podobné problémy musí vyskytovat. Například geografické vědy pracují velmi často s jevy, které se spojitě mění. Je možné zmínit třeba teplotu vzduchu, sklon reliéfu nebo nadmořskou výšku. Uvede-li se příklad na předpovědi počasí, která zní, že sněhové srážky se budou vyskytovat v nadmořských výškách nad 600 m.n.m., mělo by to znamenat, že v nadmořské výšce 599 m.n.m. již sněhové srážky očekávány nejsou. Podobných příkladů by se dala najít celá spousta. Atributy jsou kategorizovány do ostrých intervalů a tím vzniká velká míra nepřesnosti. K vyřešení takového problému je potřeba ostrou hranici generalizovat, rozostřit.

Níže bude rozebrán případ ohroženosti vesnic podle poměru ohrožených a neohrožených domů při záplavách, v tomto případě při desetileté vodě (Q10), jak je znázorněno na obrázku (obr. 8). Jedná se pouze o jednoduchý názorný příklad, kde je znázorněna



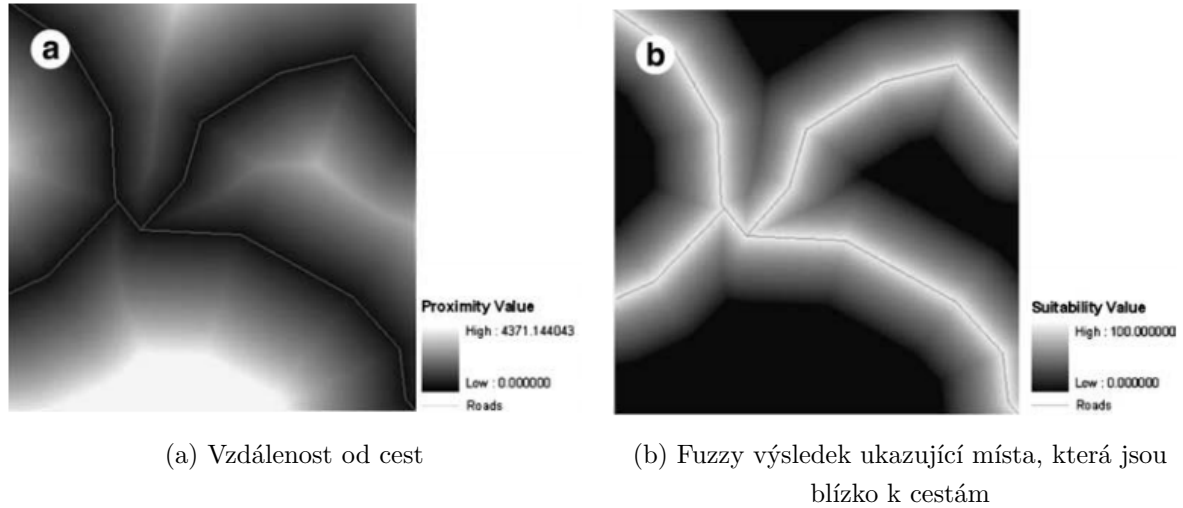
Obrázek 8: Modelový případ ohroženosti vesnic podle poměru ohrožených a neohrožených domů při záplavách

i částečná příslušnost. Jsou tedy dány tři vesnice, které leží při obou stranách Pstružného potoka v různých vzdálenostech od břehu. V běžné praxi by bylo uvedeno že obce buď jsou ohroženy záplavami nebo nejsou ohroženy. Opět by se uvažovalo ve dvou rovinách, zda do množiny ohrožených obcí patří, či nepatří. V tomto případě, kdy se použije fuzzy logika, je možné pracovat s částečně ohroženou vesnicí. V obci Mladé Bříště jsou všechny budovy zcela uvnitř oblasti, kam dosahuje hranice desetileté vody. Proto je vesnice ohrožená desetiletou vodou se stupněm příslušnosti 1 a jelikož nejsou žádné domy mimo tuto oblast, takže není žádný dům, který by nebyl ohrožený, tak je vesnice neohrožená se stupněm příslušnosti 0 (je nutné zapsat příslušnost do každé definované množiny). V obci Vystrkov je přesně opačný případ, tudíž je obec zcela neohrožená, proto je stupeň příslušnosti neohroženosti 1. Na takový případ by stačila obyčejná logika, ale zde se vyskytuje ještě obec, v které se v zóně ohrožené povodněmi vyskytuje jen několik domů. Pár domů v obci je částečně ohroženo a některé jsou zcela neohrožené. V tomto případě je tedy ves ohrožená i neohrožená na stupni příslušnosti 0,5. V tomto jednoduchém modelovém případě je možné vidět využití fuzzy množin v praxi.

Fuzzy logika se snaží pokrýt nepřesnosti a neurčitosti reality. Klasická matematika je založena na teorii množin. V případě výskytu problému, kdy není jasné zda prvek do množiny patří, či nikoli přichází fuzzy logika s dalšími možnostmi. Ve fuzzy logice je přípustné i částečné členství v množině (obr. 1b).

Tak jako ostrá množina pracuje s pojmy ano/ne, patří/nepatří, fuzzy operuje s pojmy jako je trochu, téměř, většinou, skoro, nedaleko (McNeill a Thro, 1994). Jsou to slovy vyjádřené termíny, ne číselně. Jako příklad lze uvést vysoká hora, dlouhá řeka, velká

plocha. Teorie fuzzy množin je založena na klasické teorii množin a jistým způsobem ji rozšiřuje. Ve *Fuzzy Regions: Theory and Applications* se uvádí, že při klasické logice jsou regiony definovány jejich hranicemi, takže se jedná o uzavřený polygon. S tím se ale v reálném světě není možné setkat. Jako příklad lze uvést změna půdního typu, který se v určitém prostoru postupně mění (Verstraete et al., 2006).



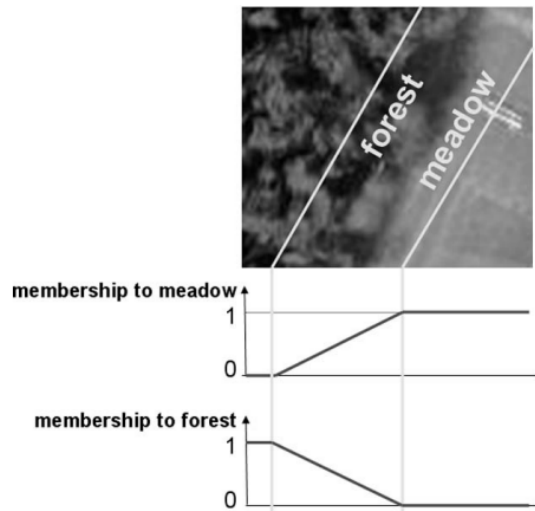
Obrázek 9: Hledání míst dostupnosti k cestám a vizualizace termínu „blízko“ (převzato z: Yanar a Akyurek (2006))

Zde uvedený příklad zkoumá častý problém vymezení území, která jsou blízko k cestám (obr. 12). Klasicky se tato problematika řeší tak, že se stanoví horní hranice pro pojem „blízko“ a vytvoří se buffer zóna. Klasifikace slov „blízko“ a „dostupné“ je založena na pravidle:

IF vzdálenost k ceste **IS** blízko **THEN** místo **IS** dostupne .

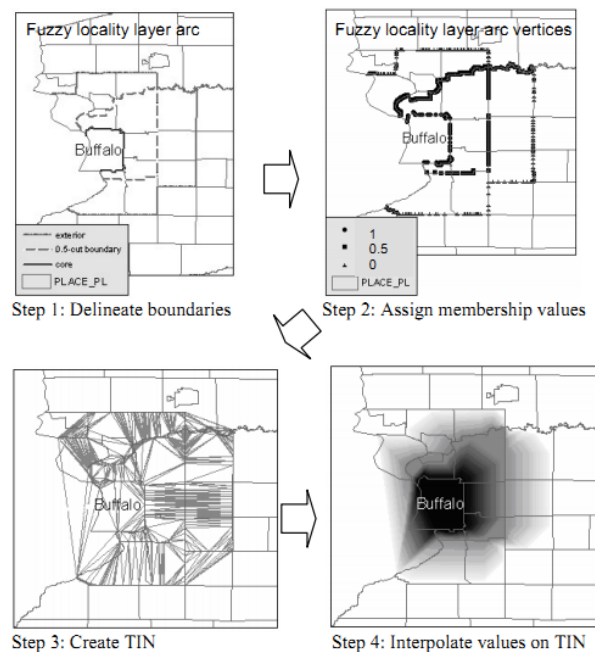
Pokud by byl u takovéto analýzy použit buffer, vypadal by výsledek tak, že by byla oblast, značící pojem blízko, znázorněna jednou kompaktní barvou. Na obrázku 9b je vidět plynulý přechod od světlé k tmavé barvě. Čím je barva tmavší, tím je místo od cesty vzdálenější a tím méně je dostupná. Dostupnost cesty plynule klesá s tím, jak se zvětšuje vzdálenost od cesty.

Fuzzy teorie množin nachází své uplatnění i při vymezení ekotonů (Morris a Ko-khan, 2007). Pokud se proloží linie mezi dvěma kraji lesa, nebo dvěma stromy, jako hranice mezi lesem a polem, pak je velmi pravděpodobné, že se za danou hranicí bude nacházet řídce rozmístěných stromů a nebo naopak se bude nacházet část louky i na druhé straně hranice. Fuzzy vymezení ekotonů by bylo tedy provedeno např. tím způsobem, že by byly zvoleny hranice dvě. Jedna hranice by byla položena v lese, v místě,



Obrázek 10: Hranice mezi lesem a loukou (převzato z: Morris a Kokhan (2007))

kde je jasně vidět, že jsou v dané oblasti pouze stromy. Druhá hranice by byla proložena loukou v místě, kde se již nenachází žádný strom, který by mohl být zařazen jako strom z lesa. Prostor mezi těmito dvěma hranicemi by se následně fuzzifikoval tak, jak je uvedeno na obrázku 10. Zde je znázorněna hranice, přecházející do grafů pod obrázek, která názorně ukazuje nulovou příslušnost jedné entity a příslušnost jedna druhé. Přechod mezi těmito dvěma entitami je lineární, takže čím vyšší je příslušnost louky, tím nižší je příslušnost lesa v ekotonu.



Obrázek 11: Reprezentace fuzzy prostoru. (převzato z: Hwang a Thill (2005))

Na fuzzy teorii množin je založen i koncept fuzzy regionů. Toto pojetí fuzzy regionů odstraňuje hranice a považuje region za fuzzy množinu bodů. Zde každý bod má určitý stupeň příslušnosti (Verstraete et al., 2006). I v geografii se vyskytují nepřesně definované regiony, které nemají ostře značené hranice. Na obrázku 11 je znázorněna další možnost využití fuzzy teorie v praxi. V tomto případě byla vymezena hranice města jako jádro, vše po tuto hranici má tedy příslušnost 1, 0,5 - řez vymezuje hranice sousedních okresů a vnější hranice má stupeň příslušnosti 0. Podle uvedených kroků na obrázku by mělo být výsledkem fuzzy vymezení města Buffalo. Podobným způsobem by bylo možné zadefinovat lingvistické proměnné: okolí města, blízko města, nedaleko města. Lidé často sdělují přibližné údaje místo toho, aby uvedli přesnou číselnou hodnotu. Fuzzy logika by pak nabízela možnost takové údaje reprezentovat.

5 Případové studie

Praktická část bakalářské práce se ponese v duchu porovnávání a srovnávání klasického způsobu vytváření analýz s použitím ArcMap 10 a fuzzy způsobu vytváření analýz, které budou také tvořeny v prostředí ArcMap 10. Pokud danou analýzu nebude možné vytvořit, bude její úprava provedena pomocí programovacího jazyka Java a knihovny jFuzzyLogic. Cílem této části je zhotovení analýz klasickým přístupem a analýz, na jejichž vytváření byla použita fuzzy logika. Analýzy provedené fuzzy přístupem budou založeny na několika metodách: metoda mapové algebry, lokalizační a alokační metody (Horák, 2011). Jednotlivé analýzy budou popsány v následujících podkapitolách, kde každá podkapitola se věnuje jedné analýze. V praktické části budou celkově rozebrány tři prostorové analýzy. Jako první bude popsána a zobrazena běžná analýza a následně i analýza za použití fuzzy teorie množin. Na závěr podkapitoly dojde k porovnání obou výsledků prováděné analýzy z několika pohledů.

5.1 Míra oslunění georeliéfu

Hlavním úkolem je provedení analýzy míry oslunění georeliéfu klasickým způsobem a provedení analýzy tak, že v některém kroku bude provedena fuzzifikace dat a oba výstupy budou porovnány a bude zjištěno, který ze způsobů nadhodnocuje hodnoty jednotlivých buněk gridu. Georeliéf byl vybrán zcela náhodně. Podstatou úlohy není hodnocení míry oslunění daného území, ale porovnání dvou různých způsobů provedení této analýzy. Na míru oslunění svahů má vliv několik faktorů. V této úloze se počítá s průměrným ročním osluněním. Hodnocení míry oslunění vychází ze sklonů a orientace svahů. Je nutné zohledňovat zeměpisnou šířku. Na rovníku dochází v době jarní a podzimní rovnodennosti k úplnému oslunění všech svahů, jelikož zde sluneční paprsky v tuto dobu dopadají po úhlem 90° . Se zvyšující se zeměpisnou šířkou dochází k tomu, že jsou výrazně lépe osluněny jižní svahy s větším sklonem svahu na rozdíl od severních svahů. Míra oslunění je rozdílná vzhledem k orientaci na světové strany i ke stupni sklonu svahů. Čím je větší sklon na jižní straně svahu, tím je lépe osluněn. Naopak u severního svahu míra oslunění se zvětšujícím se sklonem svahu klesá. U východního i západního svahu je míra oslunění velmi podobná a se zvětšujícím se sklonem roste. Výše byla rozepsána charakteristika míry oslunění pouze pro severní polokouli, je patrné, že na jižní polokouli by byl nejlépe osluněn naopak severní svah. Výchozí hodnoty pro tuto analýzu jsou uvedeny v tabulce 1 a jsou utvořeny pro Českou Republiku.

Tabulka 1: Určení míry oslunění georeliéfu

Sklon svahů (°)	Orientace svahů			
	Sever	Východ	Jih	Západ
<5	3	3	3	3
5,1 - 10	2	3	4	3
10,1 - 15	2	3	4	3
15,1 - 20	1	3	5	3
>20	1	4	5	4

5.1.1 Provedení analýzy

Vstupem pro tuto analýzu byla vrstva vrstevnic, která byla z které se vytvořil digitální model reliéfu, ten byl důležitý pro další kroky. Pro provedení analýzy bylo potřeba vytvořit dvě výchozí vrstvy. Nejprve byla tedy vytvořena vrstva orientace svahů (obr. 12a) pomocí nástroje Aspect ze sady nástrojů Spatial Analyst a byla provedena reklasifikace. Vrstva sklonu svahu (obr. 12b) byla vytvořena použitím nástroje Slope. Následně byla provedena reklasifikace podle uvedené tabulky (tab. 1). Jelikož se na tomto území nenachází svah se sklonem větším než 20°, byla provedena reklasifikace sklonů pouze do čtyř tříd. Pro vytvoření výsledné vrstvy oslunění georeliéfu byl použit nástroj Raster Calculator. Výstup bylo potřeba znovu reklasifikovat do pěti tříd podle míry oslunění georeliéfu (velmi málo - 1, málo - 2, normálně - 3, dobře - 4 a velmi dobře - 5) tak, aby byly splněny podmínky nadefinované v tabulce. Výsledná vrstva byla zvizualizována (obr. 13a). Na výstupu jsou vidět ostře vymezené hranice jednotlivých území.

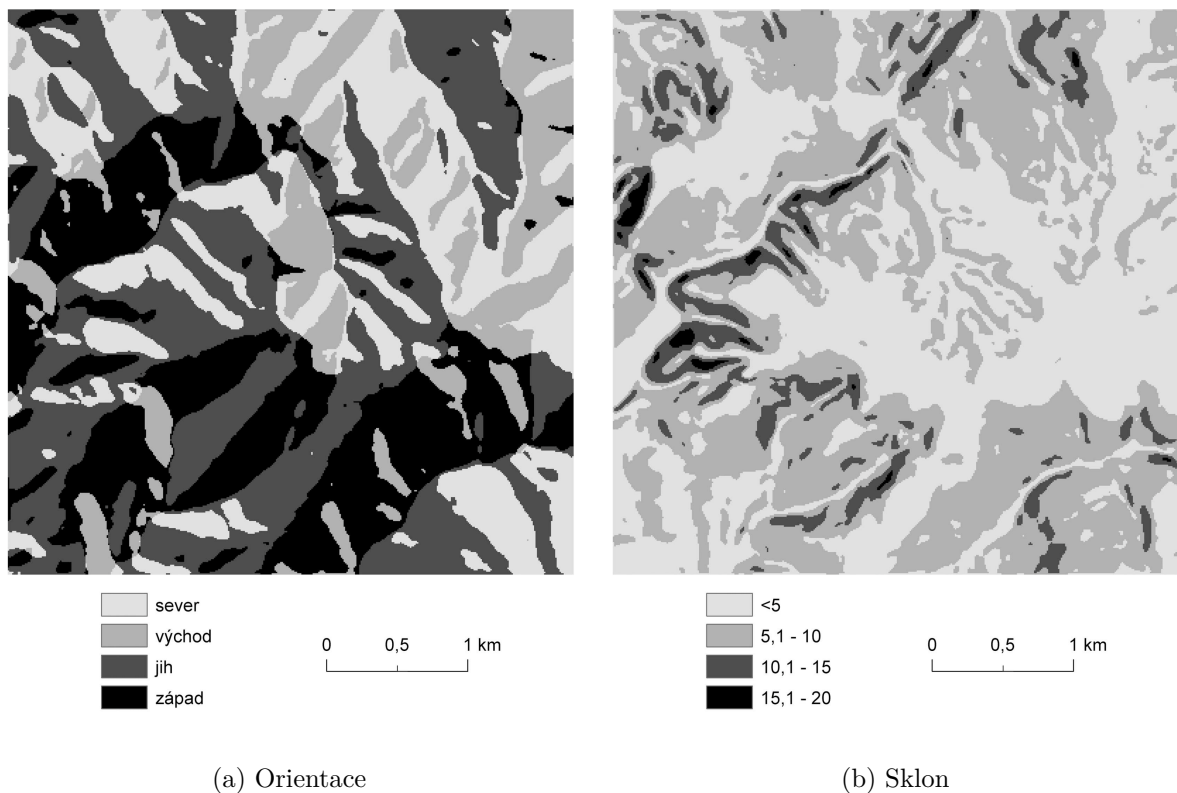
Druhý způsob analýzy vyžaduje fuzzifikaci vrstev orientace a sklonu svahu a výstupní vrstvy míry oslunění. V tomto případě byl vytvořen FCL soubor, ve kterém byly fuzzifikovány obě vstupní vrstvy. Nejprve byl zadefinován vstup a výstup a následně byly zadefinovány kategorie a k nim zvolené intervaly tak, aby došlo k mírnému překryvu mezi sousedními kategoriemi. U vrstvy sklonu svahu byl nadefinovaný lichoběžníkový tvar množiny a překryv byl nastaven o dva stupně.

FUZZIFY sklon

```

TERM s1 := trape -1 0 4 6;
TERM s2 := trape 4 6 9 11;
TERM s3 := trape 9 11 14 16;
TERM s4 := trape 14 16 19 21;
TERM s5 := trape 19 21 90 91;

```



Obrázek 12: Vizualizace reklasifikovaných vstupních vrstev

END_FUZZIFY

U vrstvy orientace byl nadefinovaný trojúhelníkový tvar se stupněm příslušnosti jedna právě v úhlu orientace dané strany. Přechod byl nastaven na 90° , to znamená, že v hodnotě, kde byla příslušnost jedné strany nula, tam byla příslušnost sousední strany jedna. U orientace jsou zadefinovány dva severy z důvodu nespojitosti řady, to znamená, že sever je od 0° do 90° a potom od 270° do 360° , takže rozsah je stejně jako u ostatních stran 180° .

FUZZIFY orientace

```

TERM sever1 := trian -1 0 90;
TERM vychod := trian 0 90 180;
TERM jih := trian 90 180 270;
TERM zapad := trian 180 270 360;
TERM sever2 := trian 270 360 361;

```

END_FUZZIFY

Bylo nutné kromě fuzzifikace provést také defuzzifikaci. Podle zadání (tab. 1) bylo zadefinováno pět kategorií míry oslunění. V tomto kroku byl použit opět trojúhelníkový

tvar množiny a navolen plynulý přechod z jedné kategorie do druhé, tak jak je zřejmé z ukázky. Výše byly rozepsány způsoby defuzzifikace, v tomto případě byla použita metoda gravitačního středu.

```

DEFUZZIFY osluneni
    TERM o1 := trian 0 1 2;
    TERM o2 := trian 1 2 3;
    TERM o3 := trian 2 3 4;
    TERM o4 := trian 3 4 5;
    TERM o5 := trian 4 5 6;
METHOD : COG;
DEFAULT : = 0;
END_DEFUZZIFY

```

U klasického způsobu byl použit Raster Calculator a následně byly výsledky reklasifikovány podle nadefinovaných kategorií míry oslunění. V FCL souboru byly tyto kroky nahrazeny pravidly, kde byly vypsány podmínky, za kterých dojde k přiřazení k jednotlivým kategoriím míry oslunění. Těchto pravidel bylo celkem 25 a tvoří bázi pravidel. Byla zde použita logická operace AND, která jako průnik vyhledala z hodnot obou funkcí minima. Níže je vidět jen malá ukázka ze zápisu pravidel.

```

RULEBLOCK No1
AND : MIN;           // AND je nejcasteji norma minimum
ACT : MIN;          // Use 'min' activation method
ACCU : MAX;         // Use 'max' accumulation method

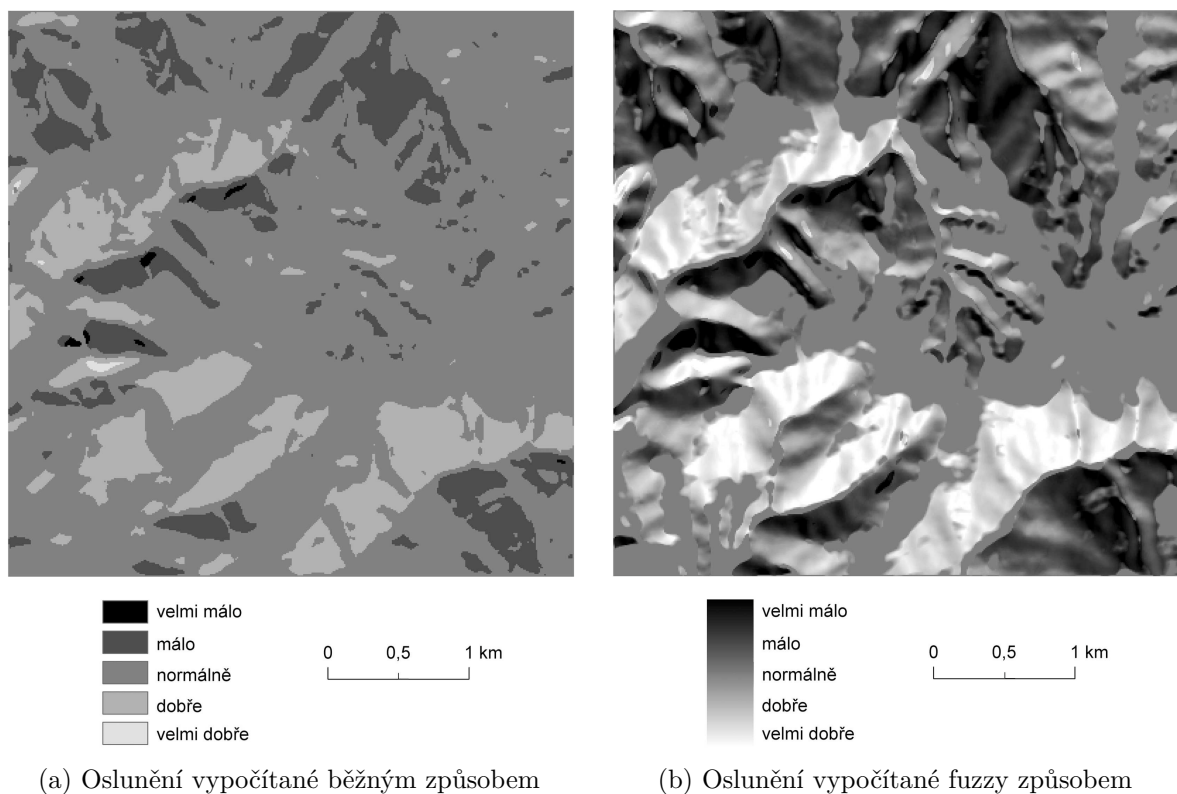
RULE 1 : IF orientace IS sever1 AND sklon IS s1 THEN osluneni IS o3;
...
RULE 9 : IF orientace IS vychod AND sklon IS s4 THEN osluneni IS o3;
...
RULE 15 : IF orientace IS jih AND sklon IS s5 THEN osluneni IS o5;
RULE 16 : IF orientace IS zapad AND sklon IS s1 THEN osluneni IS o3;
...
END_RULEBLOCK

```

Následovalo provedení samotné analýzy. Vstupní vrstvy orientace a sklon již byly vytvořeny při provádění analýzy klasickým způsobem. V FCL souboru bylo rozepsáno, jakým způsobem se vstupní vrstvy budou fuzzifikovat a byla zde nadefinována báze pravidel. Pro zpracování těchto vstupů byl použit program jFuzzyLogic. Výsledná vrstva byla zvizualizována v ArcMap 10.

5.1.2 Porovnání výsledků

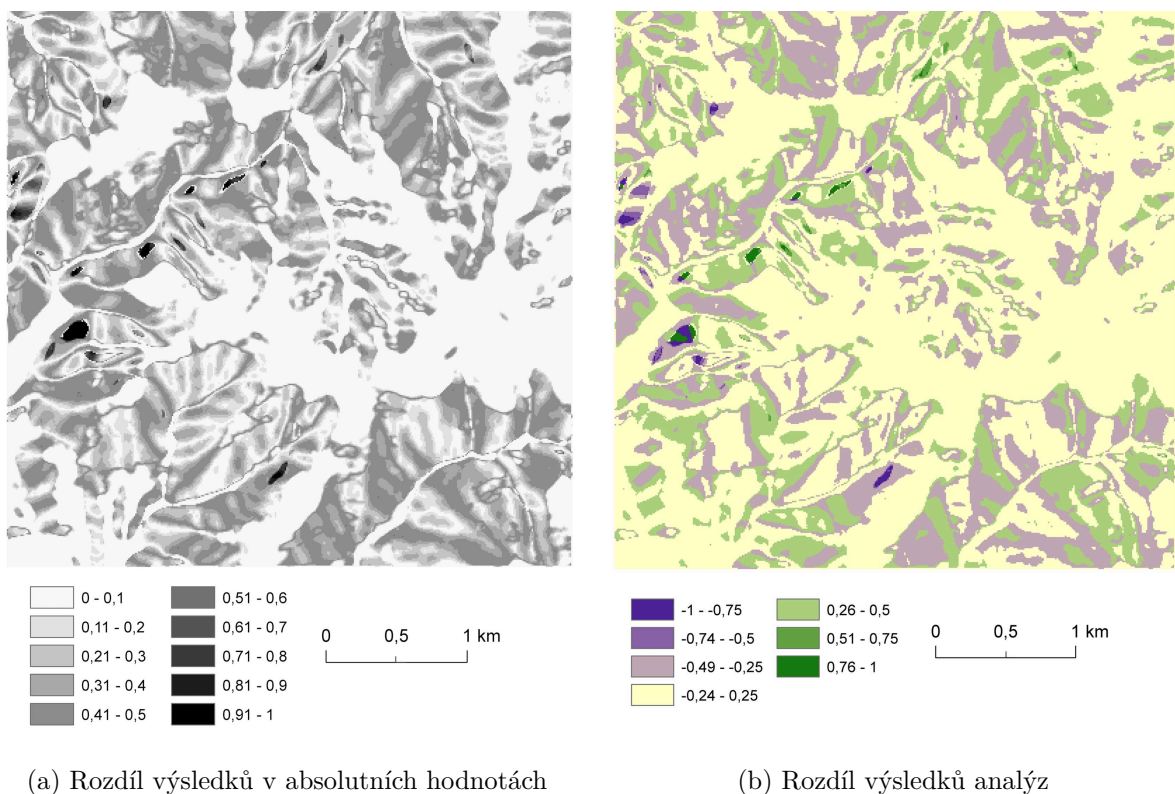
V následující podkapitole bude provedeno několik porovnání míry oslunění georeliéfu mezi výstupy, které byly provedeny běžným postupem a výstupy, u jejichž vzniku došlo v některém z kroků k fuzzifikaci dat. První vizuální srovnání je mezi výstupy prováděné analýzy, které jsou vidět na obrázku (obr. 13). Na obrázku (obr. 13a) je patrný malý



Obrázek 13: Výstupní gridy míry oslunění georeliéfu provedené dvěma způsoby

výskyt ploch s velmi málo a velmi dobře osluněnými plochami. V obou případech došlo k tomu, že do dané kategorie spadal pouze jeden interval sklonu svahů a jedna orientace svahů, oproti normálně osluněným svahům, do jejichž kategorie spadalo větší množství kombinací orientace a intervalů sklonu svahů, ostatně to je možné vyčíst z tabulky 1, v té je jasně vidět, že převažuje ve větší míře 3. kategorie normálně osluněných svahů. Dalším důvodem je i převažující množství svahů se sklonem do 5° , které bez ohledu na orientaci spadají do 3. kategorie. Také je potřeba zmínit, že všechny svahy orientované na východ i na západ jsou osluněny normálně (vyskytují se pouze sklony do 20°). Ploch orientovaných na tyto dvě strany je větší množství než ploch orientovaných na sever, či na jih. Velký výskyt normálně osluněných svahů je možné pozorovat na obou výstupech. Na výstupu oslunění, které bylo vypočítané běžným způsobem, se projevil

všechny výše uvedené jevy a tudíž je normálně osluněných ploch viditelně více než na výstupu vypočítaném fuzzy způsobem. Na tomto výstupu (obr. 14b) se díky fuzzifikaci vstupu i výstupu rozostřila velká, normálně osluněná plocha a došlo k většímu rozšíření i ostatních kategorií oslunění. Díky tomu se ve výstupu více projevily i velmi dobře a velmi málo osluněné plochy, kterých bylo na prvním výstupu minimum. Pro viditelné porovnání obou výstupů byl proveden rozdíl mezi oběma reklasifikovanými výsledky. Operace byla provedena nástrojem Raster Calculator a bylo odečítáno oslunění vypočítané běžným způsobem od oslunění vypočítaného fuzzy způsobem. Výsledkem provedení této operace mělo být zjištění zda je nadhodnocován jeden či druhý přístup a do jaké míry k nadhodnocování dochází. Tedy která z metod přiřazovala buňkám gridů častěji vyšší kategorii míry oslunění. Byly provedeny dvě srovnání. První obrázek (obr. 14a) názorně ukazuje,



Obrázek 14: Vizualizace výsledků provedené operace

kde došlo k nejvýraznějším rozdílům. Hodnoty tohoto srovnání byly převedeny na absolutní hodnotu. Vynikla tak místa, kde došlo k rozdílům až o jednu celou kategorii. To znamená, že místo, kterému jedna metoda přiřadila například kategorii málo osluněný svah, druhá metoda tomu místu přiřadila kategorii normálně osluněný svah. Srovnání, které je vidět na druhém obrázku (obr. 14) bylo vypočítáno stejným způsobem, ale aby se zvýraznilo nadhodnocování jedné a nadhodnocování druhé metody, byl zvizualizován

Tabulka 2: Rozdíl mezi fuzzy a klasickou metodou

Interval	Počet buněk gridu
-1 - -0,75	320
-0,74 - -0,5	343
-0,49 - -0,25	35 519
-0,24 - 0,25	93 903
0,26 - 0,5	30 249
0,51 - 0,75	203
0,76 - 1	264

tak, že žlutě jsou vizualizována místa, kde byly rozdíly pohybující se kolem nuly, tomto případě byl nastaven větší krok mezi jednotlivými hodnotami, jelikož maximální možný rozdíl je právě jedna kategorie, a záměrem bylo zvýraznit hodnoty pohybující se kolem hodnoty jedna a minus jedna. Fialově jsou vizualizovány plochy, kde byla přiřazena buňce gridu vyšší hodnota klasickou metodou, zeleně jsou pak zvýrazněny hodnoty, kde byla přiřazena vyšší hodnota fuzzy metodou. Tím že se přiřadila vyšší hodnota, tím byla podle dané metody plocha lépe osluněna. Podle tabulky (tab. 2) lze říct, že celkově přiřazovala vyšší kategorie klasická metoda oproti fuzzy metodě. Celkový počet buněk gridu, které nadhodnocovaly klasický přístup zpracování analýzy, bylo 36 182 a počet buněk, které nadhodnocovaly fuzzy přístup bylo 30 716.

5.2 Hledání vhodné oblasti pro novou školu

Tato úloha vychází z tutorialu pro ArcGIS 9.3 (McCoy, 2005). Jedná se o analýzu provedenou lokalizační metodou (Horák, 2011). Původní znění se zaměřovalo na nalezení konkrétního místa pro stavbu školy. V tomto případě byla úloha zjednodušena na nalezení optimálního území o rozloze 10 arů. Analýza byla provedena podle tutorialu. Při řešení této úlohy nebyla potřeba provádět fuzzifikaci v jiném souboru a stačily k tomu nástroje dostupné v sadě nástrojů v ArcMap 10. Jedná se o klasickou multikriteriální analýzu, kde data určují míru vhodnosti dané lokality, nebo fungují jako omezení a danou lokalitu vylučují.

5.2.1 Provedení analýzy

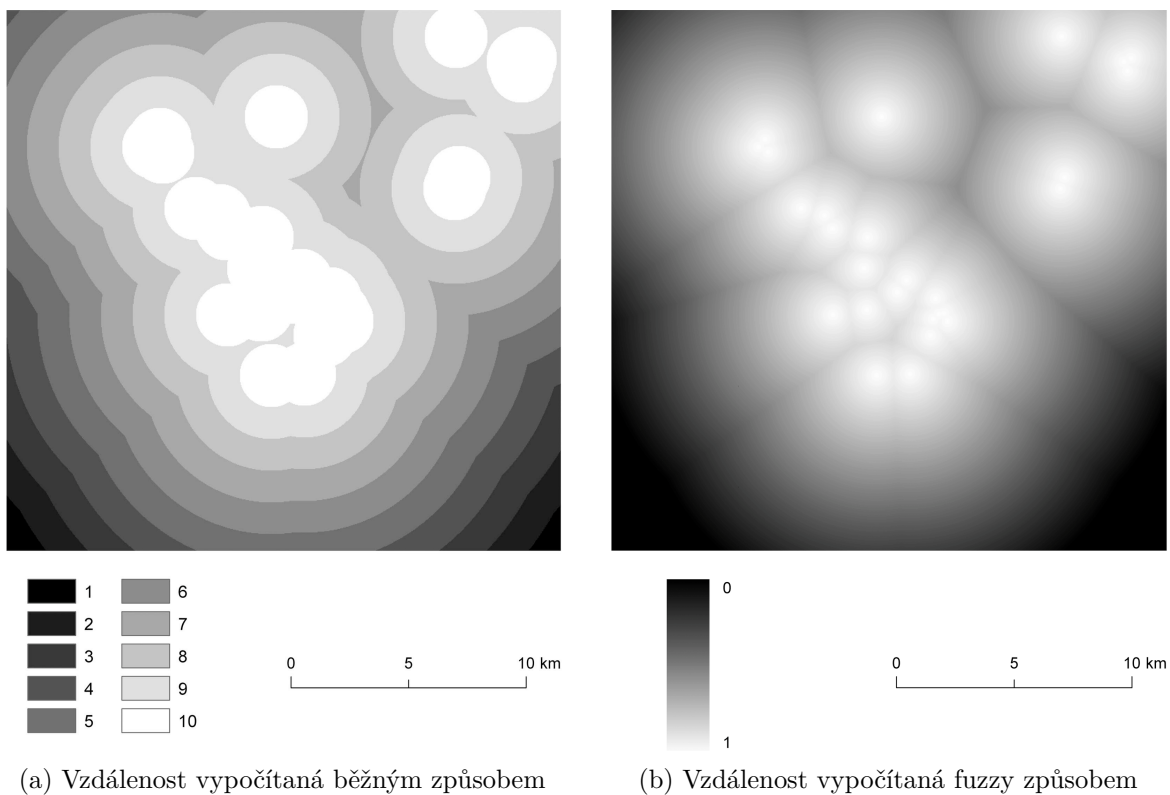
Vstupem pro tuto analýzu byla data dostupná v tutorialu pro extenzi Spatial Analyst ArcGIS 9.3. Byla použita vrstva elevation, ze které se vytvořila vrstva sklonu svahů. Hodnoty byly reklasifikovány do 10-ti kategorií, a to tak, že čím nižší byl sklon, tím se zvyšovala kategorie, do které byla hodnota přiřazena. Další úprava se týkala vrstvy rekreačních míst, kdy byla vypočtena vrstva vzdáleností (pomocí nástroje Distance) a výstup byl opět reklasifikován do 10-ti kategorií tak, aby nejmenším vzdálenostem byla přiřazena kategorie s nejvyšší hodnotou, jelikož čím bude škola rekreačním místům blíže, tím bude lépe splněno zadání. Stejná operace byla provedena i s vrstvou škol a provedla se reklasifikace, ale v tomto případě nebyla obrácena posloupnost klasifikačních hodnot, jelikož čím dál bude hledané území od již existující školy, tím lépe. Dále je potřeba vytvořené vrstvy zkombinovat s vrstvou landuse. K tomu se použil nástroj Weighted Overlay. Tento nástroj nejen že dokáže přidělit k jednotlivým vrstvám požadovanou váhu, ale přidá kategorii ke každé reklasifikované hodnotě, podle počtu hodnot, takže pokud je reklasifikovaná vzdálenost od rekreačních míst od 1 do 10, tak těmto hodnotám budou přiřazena posloupně čísla 1 až 10. Tyto přiřazené hodnoty lze měnit a navíc umožňuje vyřadit některé reklasifikované hodnoty, a to tak, že se místo přiřazení číselné hodnoty přiřadí hodnota Restricted a daný konkrétní číselný interval nebo kategorie bude z výsledného vážení zcela vyjmuta (např. vrstva landuse). Tato hodnota byla nastavena pro tři kategorie sklonů svahů s nejvyššími hodnotami (nad 37°), všem zbylým menším sklonům zůstaly původně přiřazené hodnoty. Stejný krok následoval i u vrstvy landuse, kde byly z výběru zcela vyřazeny mokřiny a vodní plochy. Pro zbylé kategorie byly přiřazeny hodnoty podle tutoriálu, tudíž pro nevyužitá neúrodná plocha byla přiřazena hodnota 10, zemědělským plochám byla přiřazena hodnota 9, křoviny a přechodné plochy získaly hodnotu 5, les hodnota 4 a zastavěné plochy hodnotu 3. Na závěr byla každé vrstvě přiřazena hodnota v procentech, podle toho, jaký bude mít která vrstva vliv na provedení

analýzy. Nejmenší vliv byl zvolen pro vrstvu landuse 12%, reklasifikovaná vrstva sklonu svahů měla výstup ovlivnit z 13%, vrstva vzdálenosti od škol ovlivňovala výstup 25% a největší vliv na výstup měla vrstva vzdáleností od rekreačních míst, a to 50%. Jelikož se hledala plocha o rozloze 10 arů, byla provedena fokální analýza na vypočítání sumy vhodnosti, kde kernel měl rozměr 7×7 buněk gridu. Před použitím fokální analýzy byly hodnoty výsledné vrstvy v intervalu 0 – 10, kde 0 určovala zamítnuté plochy. Fokální analýza však počítala i s těmito plochami, takže byla určitá vhodnost přiřazena i nevhodným plochám. Tento problém se vyřešil vytvořením maskovací vrstvy, která obsahovala všechny plochy, v jejichž okolí (7×7) se vyskytovala hodnota 0. Výsledná vrstva vznikla vynásobením vrstvy po výpočtu fokální analýzy maskou.

Fuzzy přístup používal totožné vstupní vrstvy. ArcMap 10 nabízí nástroj Fuzzy Membership, díky kterému bylo možné analýzu provést. Popis bude kopírovat kroky, které byly provedeny pro vytvoření analýzy klasickým způsobem. Do nástroje byla nahrána vrstva sklonů svahů, ale byla upravena tak, že hranice, která byla v klasickém přístupu nastavována prakticky až v posledním z kroků, tudíž ve Weighted Overlay, je zde nastavena na začátku. Nastavili se tedy hodnoty v nástroji tak, aby nejvyšší příslušnost měly hodnoty sklonu svahů, které jsou nejmenší a nejmenší stupeň příslušnosti byl nastaven na sklon svahu 37° . Tímto se docílilo toho, že svahy s větším sklonem budou mít nulovou příslušnost. Další vrstvou, která byla upravena byla vrstva rekreačních míst, zde byla nastavena stupnice obdobně jako u klasického přístupu. Čím byla vzdálenost k rekreačním sídlům menší, tím víc se blížil stupeň příslušnosti k jedničce a naopak, čím byla vzdálenost větší, tím byl stupeň příslušnosti menší. U vrstvy škol byla nastavena stupnice opačně, čím byla vzdálenost větší, tím byl stupeň příslušnosti vyšší. U tohoto provedení analýzy již bylo vymezeno rozpětí sklonu svahů, ale v klasickém přístupu byly zamítnuty vodní plochy a mokřiny, a to v nástroji Weighted Overlay. V tomto případě nelze tento nástroj použít, jelikož nepočítá s desetinnými čísly. Jeho funkce je možné zcela nahradit použitím nástroje Raster Calculator a zde se vynásobí vrstva zadanou vahou. V této analýze se provedl mezikrok na vymezení mokřin a vodních ploch tak, že se vrstva landuse reklasifikovala a těmito dvěma entitám byla přiřazena nula a všem ostatním byla přiřazena jednička. Následně byl vypočítán vážený výstup výše popsaným způsobem v nástroji Raster Calculator. Při tomto výpočtu bylo nutné vynásobit vrstvu landuse reklasifikovanou vrstvou, která zamítne mokřiny a vodní plochy. Stejně kroky bylo nutné provést i s vrstvou sklonu, kdy se při reklasifikaci přiřadila nula sklonům vyšším než 37° . A stejně jako u klasického přístupu i zde byla provedena fokální analýza na vypočítání sumy vhodnosti, kde kernel byl 7×7 . Jelikož i v tomto případě provedla fokální analýza rozostření nevhodných ploch, byla opět vynásobena vytvořenou maskou.

5.2.2 Porovnání výsledků

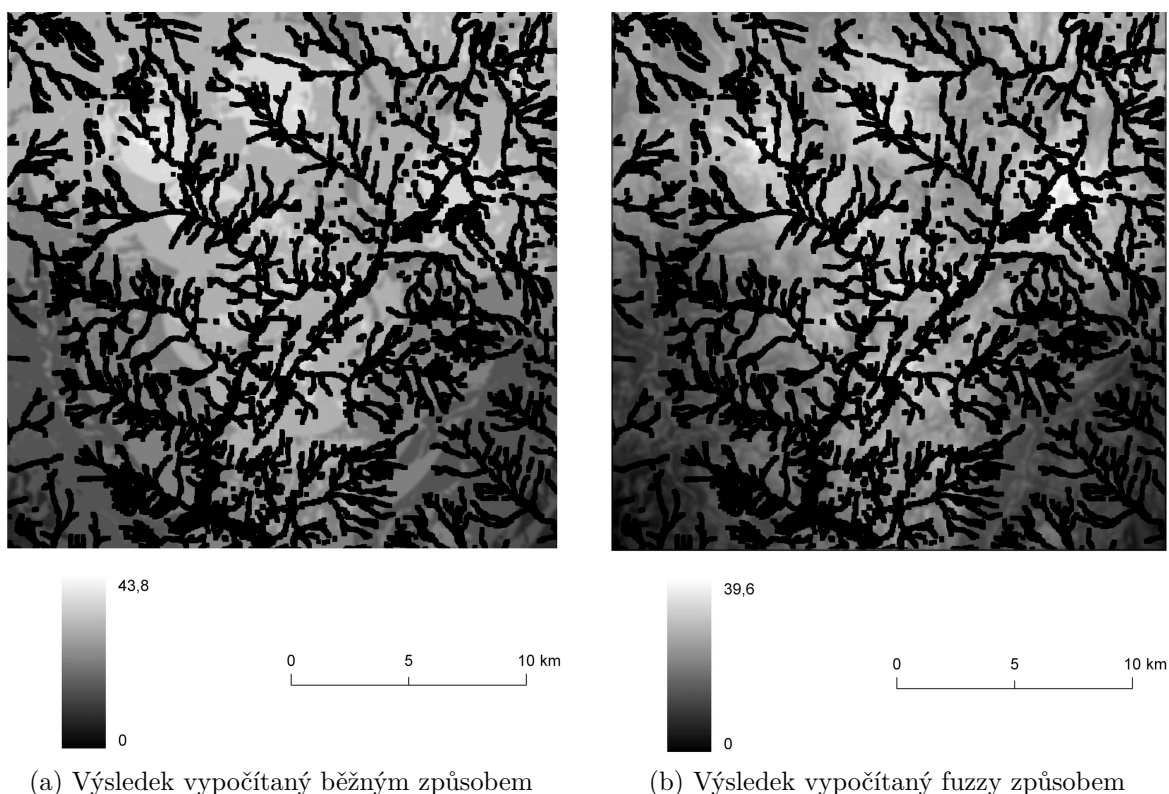
Oproti předchozí analýze, kde byl každý z přístupů proveden v jiném prostředí, i když byl výsledek vizualizován v ArcMap 10, v tomto případě bylo možné provést oba přístupy k provedení analýzy pomocí dostupných nástrojů v ArcMap 10. Rozdíly mezi klasickou a fuzzy metodou byly patrné již při úpravách vstupních vrstev, kdy se vytvářely vrstvy vzdálenosti od výchozích míst. Jelikož v úloze bylo zadáno reklasifikovat výstup do deseti kategorií, tak vzniklo deset ostře ohraničených zón. Na obrázku 15 lze vidět porovnání upravené vrstvy, kde se vypočítávala vzdálenost od rekreačních míst. Je zde tedy zobrazen výstup (obr. 15a), který byl vypočítán klasickým způsobem, pomocí nástroje Distance. Na tomto výstupu je vidět již výše zmiňované zónování a ostře vymezené hranice. Výstup provedený fuzzy způsobem (obr. 15b) naopak ukazuje plynulý přechod. Podobně vypadají ve srovnání i vrstvy, které znázorňují vzdálenost od škol. Při srovnávání výsledných



Obrázek 15: Porovnání vrstev s vypočítanými vzdálenostmi od rekreačních míst

gridů (obr. 17) nejsou na první pohled vidět výrazné rozdíly, ale přesto se zde vyskytují. Na obou obrázcích jsou totožné černé plochy, to se jedná o zamítnuté vodní plochy a mokřiny a o sklony svahů větší než 37° . Stupnice byla nastavena tak, že čím je výsledek vhodnější, tím je barva světlejší. Ve výsledku jsou tedy důležité světlejší plochy, které

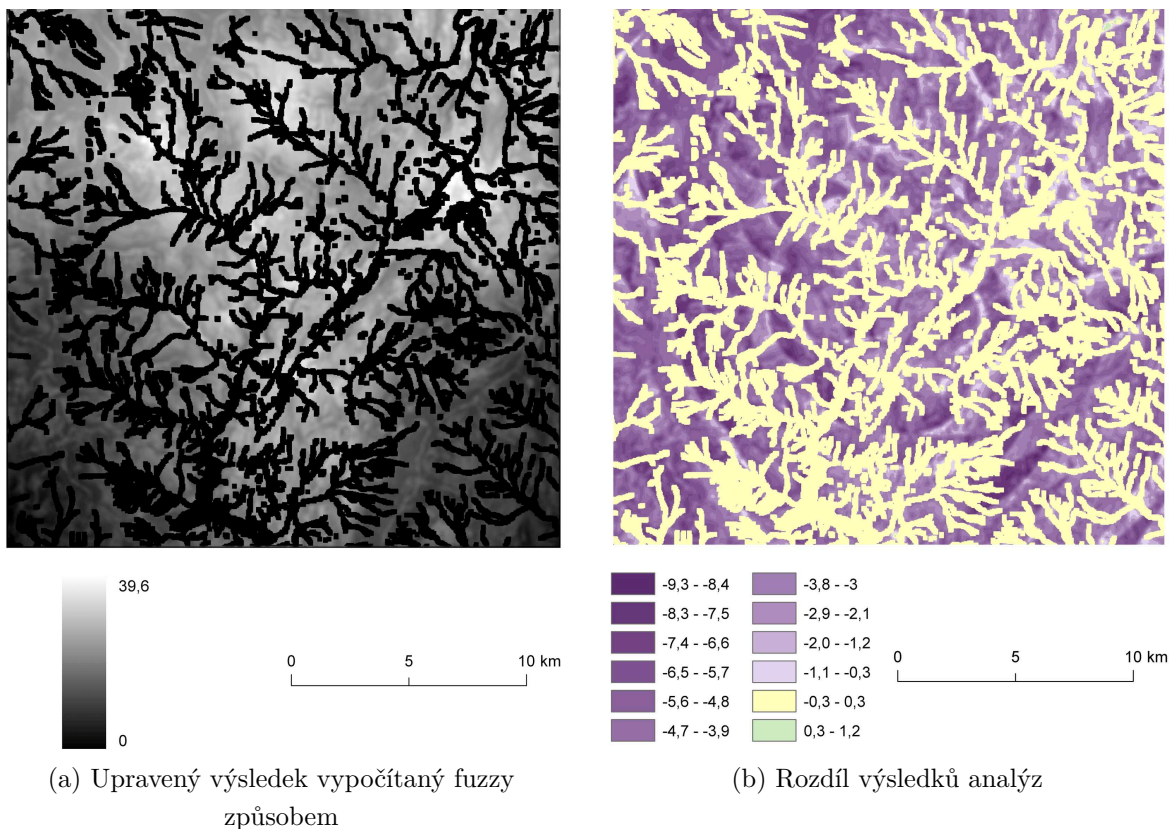
znázorňují území, které je vhodné pro výstavbu školy. U fuzzy přístupu (obr. 16b) byla provedena operace váženého výstupu s již fuzzifikovanými vstupními vrstvami a jsou zde vidět detailněji přechody mezi jednotlivými hodnotami. V pravé části obrázku je vidět v tmavém území světlejší linie. V tomto místě je úzký pás s malým sklonem svahu, který však již není vidět na výsledku, který byl vypočítán klasickým způsobem. V tomto místě již byl sklon svahu převážen vzdáleností od rekreačních míst. Ostatně na tomto výsledku (obr. 16a) jsou patrné zóny, jak vycházely při úpravě vstupních vrstev, tak se promítly i do výsledného výstupu. Proto je zřejmé, že se tyto zóny projeví i při provedení operace,



Obrázek 16: Výsledné gridy hledaného území pro novou školu dvěma způsoby

kde je zkoumán rozdíl mezi oběma způsoby.

Tato operace byla provedena tak, že od sebe odečetly vážené hodnoty obou přístupů. Předtím bylo nutné upravit hodnoty váženého výstupu provedeného klasickým způsobem, jelikož se tyto hodnoty pohybovaly v řádech stovek. Úprava byla provedena v Raster Calculatoru, kde byla vrstva vydělena deseti. V tomto nástroji byl vypočítán i rozdíl, kdy se odečítaly hodnoty výstupu, vypočítaného klasickým způsobem od hodnot výstupu, který byl vypočítán z fuzzifikovaných vstupních vrstev. Zónování, které je zde vidět má původ ve vstupní vrstvě, kde byla vypočítána vzdálenost od rekreačních míst a byla reklasifikována do 10 kategorií. Důvodem, proč se zrovna tato vstupní vrstva tak projevila,



Obrázek 17: Vizualizace dalších výsledků provedené analýzy

je skutečnost, že při váženém výpočtu byla této vrstvě nastavena váha 50%. Dále jsou zde patrné žluté žilky vodních ploch a mokřin a místa s větším sklonem svahů, které byly při vytváření analýzy zamítnuty. Tyto plochy se shodovaly jak ve výsledku provedeném fuzzy způsobem, tak i klasickým způsobem, a proto při odečtení hodnot vyšel nulový rozdíl. Z velké části ve srovnání převažuje fialová barva, což znamená, že v daném místě byla hodnota klasického přístupu vyšší než hodnota vypočítaná fuzzy způsobem v tom samém místě. Ve srovnávacím výstupu (obr. 17b) se vyskytuje velmi malé množství buněk gridu, kde by se nacházela vyšší hodnota, která by byla vypočítána fuzzy přístupem. Tyto buňky jsou znázorněny světle zeleně a jak je možné vidět i v tabulce 3, tak jich je ve srovnání s ostatními intervaly velmi malé množství. Tento jev se vyskytl v místě, kde bylo v jedné oblasti zároveň několik rekreačních míst a škola. Vznikly tu v téměř totožném prostoru dvě buffer zóny, kdy jedna byla záporné kategorie, ale s nízkou váhou a druhá byla kladné kategorie s vysokou váhou. Při výpočtu fuzzy přístupu byly v tomtéž místě plynulé přechody, ale přisuzovaly danému místu větší vhodnost oproti klasickému přístupu. Výsledek rozdílu však není tak velký a počet buněk gridu v tomto výsledném intervalu je velmi málo. Celkově tedy lze usoudit, že ve většině případů byla fuzzy me-

Tabulka 3: Rozdíl mezi fuzzy a klasickou metodou

Interval	Počet buněk gridu
-9,3 - -8,4	342
-8,3 - -7,5	4 427
-7,4 - -6,6	14 492
-6,5 - -5,7	36 295
-5,6 - -4,8	65 152
-4,7 - -3,9	76 115
-3,8 - -3,0	63 483
-2,9 - -2,1	37 836
-2,0 - -1,2	17 768
-1,1 - -0,3	5 626
-0,2 - 0,2	271 925
0,3 - 1,2	119

touto jednotlivým buňkám přiřazena nižší hodnota a menší vhodnost, než tomu bylo u klasické metody. Je to dáno tím, že fuzzy metoda má ve výstupu postupné přechody, kdežto klasická metoda má i ve váženém výstupu zóny, v kterých se vyskytují ve větším množství buňky gridu se stejnými hodnotami.

5.3 Alokační analýza

5.3.1 Provedení analýzy

Poslední analýza zkoumala obchodní domy podle jejich kvality a spádovosti k nim. Tento modelový příklad by mohl posloužit lidem, kteří bydlí v určité oblasti a žádají si kvalitních potravin a spotřebního zboží a ve svém městě mají několik obchodních řetězců s různou kvalitou a nabídkou zboží. Analýza bude provedena na podobném principu jak popisují Ishibuchi a Nii (2001), jimi řešená analýza pracuje s přesně danými daty, stejně jako zde budou spočítány vzdálenosti mezi body, a dále pracují s expertně ohodnocenými daty, jako je tomu i v této analýze, kde byl přiřazen ke každému bodu atribut, hodnotící kvalitu daného zařízení. Pro řešení této úlohy byla vytvořena fiktivní data, která slouží pouze k vysvětlení problému a vyzdvižení možnosti používání fuzzy nástrojů. Byla vytvořena vrstva 10-ti bodů, náhodně rozmístěných na náhodně zvoleném prostoru. Každý bod představoval nákupní středisko, kterému byla přiřazena hodnota od 0 do 1 pro ohodnocení kvality poskytovaných služeb. Takto vytvořené body byly upraveny nástrojem Euclidean Distance, kde se nastavil v záložce Enviroments - Processing Extent požadavek, aby výsledné výstupy zaujímaly stejnou plochu jako vstupní vrstva bodů. Takto vytvořené vrstvy byly převedeny do ascii kódu nástrojem Raster to ASCII. V tomto místě končí práce ArcMap 10 a přichází na řadu opět jFuzzyLogic, v první řadě bylo vytvoření FCL souboru. Nejdříve se zadefinovaly vstupní vrstvy (vzdálenost, kvalita) a výstupní vrstva (spádovost) jako typ proměnné REAL. Podobně jako v první analýze 5.1 i zde byly fuzzifikovány vstupní vrstvy a byla nastavena i fuzzifikace pro hodnoty výstupní, ale fuzzifikace nebyla tak složitá a rozsáhlá jako ve zmiňované první analýze. U fuzzifikované vzdálenosti byla nastavena příslušnost jedna, jakožto nejvyšší, nejlepší, nejvýhodnější, pro interval 0 – 200 metrů. Stupeň příslušnosti dále klesal od vzdálenosti 200m ke vzdálenosti 2000m. Tyto hodnoty byly zvoleny subjektivně, jako vzdálenosti, které je člověk schopen ujít pěšky, kvůli nákupu zboží.

```
FUZZIFY vzdálenost
      TERM v1 := trape -1 0 200 2000;
END_FUZZIFY
```

Další byla nadefinována fuzzifikace pro kvalitu. Jelikož hodnoty kvality nepřesahují hodnotu jedna, je zde nastaven takový přechod, že stupeň příslušnosti bude od nuly k jedničce vzrůstat. Číslo dva je zde zadefinováno ze stejného důvodu jako u předchozího zápisu je zapsána hodnota minus jedna. Tento krok byl proveden z toho důvodu, aby se dodržel tvar, který je nadefinován a zároveň aby byl zápis logicky správně.

```

FUZZIFY kvalita
    TERM k1 := trian 0 1 2;
END_FUZZIFY

```

V neposlední řadě bylo nutné zadefinovat defuzzifikaci výstupní vrstvy, i když prakticky v této analýze není defuzzifikovaný výstup zcela využit. Každopádně jak je vidět v zápise, tak pro defuzzifikaci je použita metoda těžiště. Nicméně v této analýze není žádané defuzzifikaci použít, avšak bez ní by FCL soubor nebyl validní a nebylo by možné provést další kroky.

```

DEFUZZIFY spadovost
    TERM s1 := trian 0 1 2;

    METHOD : COG;
    DEFAULT := 0;
END_DEFUZZIFY

```

Při pohledu, na zde umístěné zápisy, je patrné, že jsou podstatně jednodušší než tomu bylo u první analýzy. Proto je zde uvedeno pouze jedno pravidlo, podle kterého se bude fuzzy regulátor řídit.

```

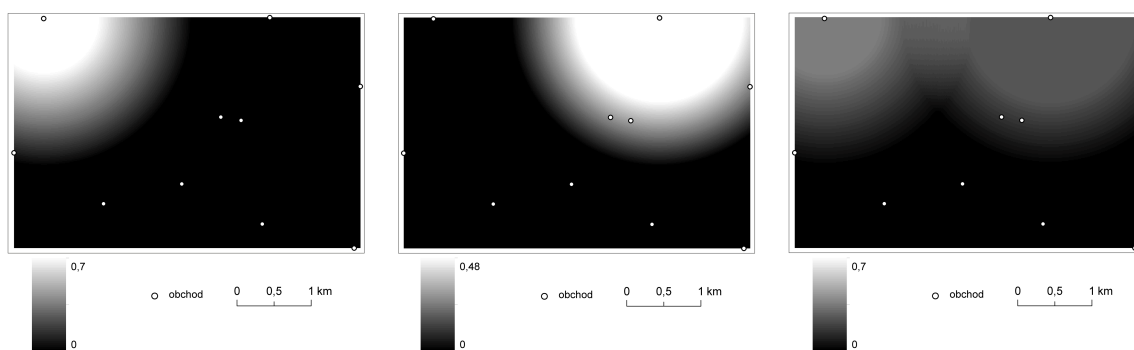
RULEBLOCK No1
    AND : MIN;
    ACT : MIN;
    ACCU : MAX;

    RULE 1 : IF kvalita IS k1 AND vzdalenost IS v1 THEN
        spadovost IS s1;
END_RULEBLOCK

```

Takto nastavený FCL soubor je vstupem nadefinovaných pravidel, pro samotné provedení operace v programu jFuzzyLogic. Výše je již zmíněno, že byla pro každý bod vytvořena nová vrstva euklidovských vzdáleností od daného konkrétního bodu a takto vzniklá vrstva každého bodu byla převedena na ASCII grid. Díky nastavenému pravidlu byla vytvořena nová vrstva pro každý bod, která byla zkombinována s atributem kvality obchodu, který byl na začátku připsán ke každému obchodu. Tímto byla vypočítána spádovost k obchodům pro každý bod zvlášť. Svým způsobem byly vrstvy s vypočítanými vzdálenostmi k obchodům převáženy kvalitou obchodu, nabízených služeb. Pro ilustraci byly vybrány dvě vrstvy, které byly tímto způsobem vytvořeny a jsou znázorněny na obrázcích 18a a 18b. Pod obrázky je na škále vidět, že každý bod má rozdílné ohodnocení. Je to dáno tím, že byla nadefinována fuzzifikace vzdálenosti, která se kombinovala

s hodnotou kvality, která se nikterak nemění. Směrem od bodu ven tedy klesá stupeň příslušnosti vzdálenosti od jedničky k nule. V tomto příkladě byla nadefinována kvalita obchodů od nuly do jedničky. Zde vybírá operace AND nejmenší hodnotu z fuzzifikované vzdálenosti a pevně dané kvality v každé buňce rastru. Uvede-li se příklad na obrázku 18b, tak kvalita obchodu byla nastavena na 0,48 z 1, tudíž, dokud nabývala, s rostoucí vzdáleností a tím klesajícím stupněm příslušnosti, nižší hodnoty kvality, do té doby byla daným buňkám gridu přiřazena hodnota 0,48. Proto na obrázcích vznikla větší bílá kola. Dál již byla hodnota fuzzifikované vzdálenosti postupně nižší a nižší, až dosáhla hodnoty nula. A jelikož zde se již vyskytovaly hodnoty nižší než 0,48, byla vybírána hodnota stupně příslušnosti vzdálenosti od bodu. Na obrázku 18 došlo k překryvu dvou výše popisovaných obrázků. Obrázku 18c byla importována stupnice obrázku 18a, a tím se docílilo toho, že odstíny šedé odpovídaly stejným hodnotám v obou obrázcích, to ovšem není podstatné pro následující vysvětlení. Jak je vidět od bodů směrem ven vznikaly



(a) Spádovost k obchodu A

(b) Spádovost k obchodu B

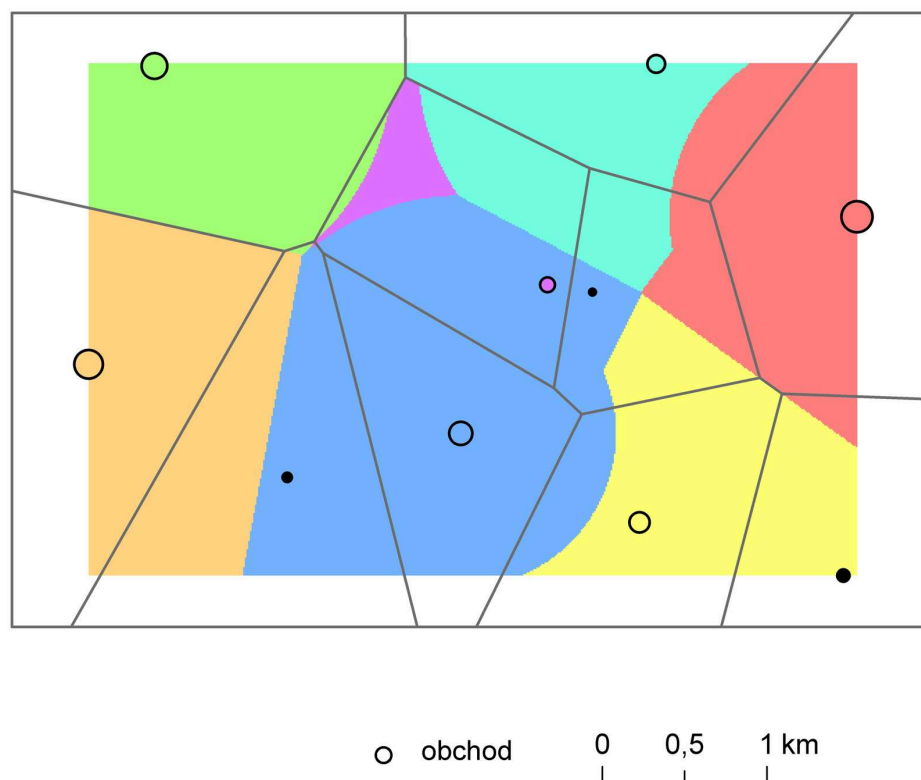
(c) Překryt spádovosti A a B

Obrázek 18: Vizualizace spádovosti dvou bodů a jejich vzájemného překryvu

soustředné kružnice, které se zde na uvedeném obrázku 18 protly v jednom bodě. Pokud by se dorýsovaly obě kružnice, alespoň pomyslně, protínaly by se ve dvou bodech a spojením těchto dvou průsečíků by vznikla podobná hranice, která by vznikla pokud by se aplikovaly Thiessenovy polygony. Avšak zde hranice mezi oběma spádovostmi záleží na maximální hodnotě na buňce gridu, a ta je rozhodující. Čím více se bude překrývat vrstev přes sebe, tím více bude hodnot, mezi kterými bude rozhodováno, ale vždy bude vybrána ta s nejvyšší hodnotou a tím dojde k určení oblasti, do které daná buňka gridu spadá.

5.3.2 Porovnání výsledků

Na základě tohoto pravidla byla vytvořena výsledná vrstva spádovosti, která je vidět na grafickém náhledu 19. Kromě spádovosti je zde vizualizována vrstva Thiessenových polygonů, která byla vytvořena nad již několikrát zmiňovanými body. Nástroj Thiessen polygon vytváří oblasti spádovosti pro každý obchod, bez ohledu na kvalitu nabízeného zboží. Vytváří hranice, které vznikají určením středu vzdálenosti mezi dvěma sousedními body. Tento postup by bylo možné považovat za jednoduchý klasický přístup k dané věci. Na grafickém náhledu jsou barevně zvýrazněny jednotlivé oblasti, které spadají ke stejné



Obrázek 19: Vizualizace spádovosti a Thiessenových polygonů

barevnému bodu. Vrstva bodů je vizualizována podle kvality, čím vyšší kvalita, tím větší znak. Vyskytují se zde i tři černé body, které označují obchody, jejichž kvalita nabízeného zboží nebyla dostatečně dobrá a hodnoty, kterých nabývaly, byly v porovnání s jinými převáženy. Přes zmíněné vrstvy je vizualizována vrstva vytvořená nástrojem Thiessen Polygon, který znázorňuje hranice mezi jednotlivými polygony šedými liniemi. V levé horní části obrázku je vidět, že nástroj Thiessen polygon vytvořil velmi podobné hranice těm, které byly vytvořeny fuzzy přístupem. Ostré hranice mezi jednotlivými polygony spádovosti jsou dány tím, že princip Thiessenových polygonů začíná platit ve chvíli,

kdy se vrstvy překrývají na základě vzdálenosti, takže již na tyto buňky gridu nemá vliv kvalita (v těchto místech je stupeň příslušnosti vzdálenosti nižší než byla před tím navolená kvalita a při operaci AND je upřednostňována nejnižší hodnota). Tento jev je možné vidět například mezi zelenou a tyrkysovou, kde se potkala hranice fuzzy přístupu s hranicí Thiessenova polygonu. Oba přístupy v tomto místě již počítaly pouze se středy mezi dvěma body. V několika dalších místech kopírují hranice Thiessenových polygonů hranice, které jsou vypočítané fuzzy přístupem. Například mezi zeleným a oranžovým obchodem, kdy je na první pohled patrné, že jejich kvalita je podobná, jelikož body jsou si velikostně blízko. Dále se vyskytují případy, kdy se sešly body poměrně blízko vedle sebe. V takových případech jednoznačně rozhodovala především kvalita obchodu. Tento případ se vyskytl např. mezi červenou a tyrkysovou oblastí a mezi modrou a žlutou oblastí. Vyskytuje se zde jeden velmi výjimečný případ a to fialová oblast. Její specifčnost spočívá v tom, že spádový bod neleží přímo ve spádové oblasti. Ta je již příliš daleko od všech kvalitnějších obchodů a tudíž spádovým bodem je bod s nižší kvalitou ale výrazně blíže než ostatní byť kvalitnější body.

Thiessenovy polygony jsou poměrně jednoduchá možnost na vymezení hranic mezi sousedními oblastmi. Zahnutí kvality obchodů do této analýzy a vymezení tak spádovosti oblastí by bylo náročné, rozhodně náročnější, než je tomu při užití fuzzy přístupu. Nutno podotknout, že při zpracovávání fuzzy přístupu nebyla provedena defuzzifikace výstupů. K fuzzifikaci došlo při úpravě vstupních dat a výstup se řídil podle nadefinovaného pravidla, které je uvedeno výše. Stupeň příslušnosti byl zde nahrazen mírou vhodnosti. Hranice mezi spádovými regiony jsou ostré vzhledem k vizualizaci a určení preference jednotlivých bodů.

Pro vzájemné porovnání ploch vzniklých fuzzy přístupem a ploch vymezených Thiessenovými polygony byla vytvořena tabulka. Jelikož tři body byly absolutně převáženy kvalitou sousedních bodů, není pro ně ve sloupci, který uvádí rozměry polygonů, které byly vytvořeny fuzzy přístupem, uvedena rozloha. Thiessenovy polygony vytvořili celkově větší plochu, než bylo zkoumané území, proto byla pro toto srovnání provedena úprava a tato vrstva byla oříznuta na velikost plochy. V tabulce jsou uvedeny sestupně seřazené hodnoty kvality, která byla přiřazena daným bodům. Fuzzy plocha a Thiessenova plocha uvádí rozlohu jednotlivých polygonů, které vznikly fuzzy a klasickým přístupem. Rozloha je uvedena v metrech čtverečních a hodnoty jsou zaokrouhlovány na celá čísla. Dále je rozdíl mezi vypočítanou spádovostí a rozlohou Thiessenových polygonů. Operace je provedena tak, že je od spádovosti, vypočítané fuzzy přístupem je odečítána rozloha Thiessenova polygonu. Jako poslední je uvedena barva polygonu odkazující na obrázek 19. Opět se zde u tří nejnižších hodnot neuvádí barva, jelikož ve fuzzy přístupu tyto hodnoty nedosáhly dostatečně velkých hodnot, aby mohli ovlivnit ostatní body a získaly

Tabulka 4: Rozdíl mezi spádovostí a Thiessen polygony

Kvalita	Fuzzy plocha (m^2)	Thiessen plocha (m^2)	Rozdíl (m^2)	Barva
0,91	2 092 800	1 352 017	740 783	červená
0,87	2 361 200	1 408 338	952 862	oranžová
0,70	1 777 700	1 743 148	34 552	zelená
0,66	4 272 500	1 627 590	2 644 910	modrá
0,59	2 026 100	1 413 471	612 629	žlutá
0,48	1 717 500	1 230 262	487 238	tyrkysová
0,31	275 900	1 803 893	- 1 527 993	fialová
0,26	0	669 580	669 580	
0,21	0	2 669 389	669 389	
0,12	0	1 290 839	1 290 839	

tak oblast, která by k nim spadala.

Níže budou popsány vybrané rozdíly, které je možné vyčíst v tabulce 4 a bude vysvětlen původ těchto vybraných rozdílů. K největším rozdílům došlo u modré a oranžové spádovosti, jelikož kvalita těchto bodů je poměrně vysoká (0,66 a 0,87) a zcela převážila kvalitu bodu (0,21), kterému Thiessen polygon vymezil poměrně velké území. Toto území bylo rozděleno právě mezi tyto dvě zmíněné spádovosti. Další významný rozdíl vznikl u fialového bodu. Tomu nástroj Thiessen polygon určil poměrně velké území. Přestože se bod vyskytoval v blízkosti bodů vysoké kvality, byla mu fuzzy přístupem vypočítána plocha spádovosti. Jak již bylo výše zmíněno, vznikla tím, že se v těchto místech již neobjevovaly hodnoty kvality a vyskytovaly se zde nízké hodnoty stupně příslušnosti vzdálenosti a směrem od kořenových bodů klesaly, a právě tyto hodnoty byly převáženy hodnotou 0,31. Poslední anomálií, která stojí za zmínku je bod kvality 0,12. Jedná se o nejmenší hodnotu, která byla bodu přiřazena. V okolí tohoto bodu se vyskytují čtyři poměrně vysoké hodnoty kvality, které si vzniklý Thiessen polygon pomyslně rozdělili. Neměla na to vliv kvalita, ale to, že se v tomto místě setkali pomyslné soustředné vzdálenostní kružnice, které v tomto místě nabývaly velmi podobných hodnot (kolem stupně příslušnosti 0,3 - zjištěno v ArcMap 10 pomocí nástroje Identify).

6 Diskuze

Bakalářská práce se věnuje tvorbě prostorových analýz, kdy je využito netradičních postupů a do procesu vzniku analýzy je vnášena jistá míra nejistoty. Ačkoliv je zmíněno slovo nejistota, není myšleno tak, že by výsledky měly být nesprávné, ale zanesením nejistoty do těchto analýz se usiluje o větší zpřesnění celkového výstupu. Jak bylo v práci několikrát zmíněno, klasický přístup nekompromisně stanoví ostrou hranici i mezi dvě velmi blízké si hodnoty, jelikož je tak nastavena škála. Vlivem nadefinování fuzzy množiny je v takovém případě přechod mezi blízkými hodnotami plynulý. Právě v definování fuzzy množiny se mohly v práci objevit subjektivně zvolené přechody, které mohly mít vliv na výsledky analýz.

V práci byla provedena fuzzifikace v tomto smyslu pouze při tvorbě první a poslední analýzy. Především v první analýze, kde byly definovány přechody mezi sklony svahů. Necht je uveden příklad na fuzzifikaci sklonu $< 5^\circ$ a sklonu svahů $5,1^\circ - 10^\circ$. V tomto případě byla nastavena příslušnost jedna hodnotám od nuly do čtyř stupňů a ke sklonu svahu šest stupňů příslušnost klesala k nule. Zde mohla být množina nastavena např. tak, že by stupně příslušnosti jedna nabývaly hodnoty od nuly do tří stupňů a dál by příslušnost klesala do hodnoty sedmi stupňů sklonu svahu. Avšak fuzzifikace v první úloze se zdá býti vhodně zvolenou, jelikož se docílí plynulého přechodu a hraniční hodnotě pěti stupňů sklonu svahů je přiřazena poloviční příslušnost jak do jednoho, tak do druhého intervalu. Při rozostřování hranic byl kladen důraz na zachování zadaných hodnot v zadání úlohy, tak aby se neztratila podstata úlohy.

U analýzy, která zkoumala vhodnost území pro založení nové školy byl použit nástroj Fuzzy membership, kde byly zachovány původní nastavení. Tato analýza by mohla být rozšířena o zdefinování dostupnosti škol od cest a zpřesnění této analýzy. Nebylo by možné určit pomocí fuzzy přístupu jeden konkrétní bod pro stavbu školy. V tutoriálu, který byl sepsán pro klasický způsob provedení, se dále pracovalo s výstupem, který je vidět v druhé analýze, ale byly prováděny takové kroky, které již hledaly konkrétní místo pro umístění školy. Cílem úlohy bylo srovnat vymezení vhodného území pro novou školu oběma přístupy.

Poslední analýza byla vytvořena, aby ukázala spádovost k bodu, na základě dostupnosti a s ohledem na zvolený atribut vhodnosti. V této úloze bylo použito fiktivních dat, jelikož se modelovala situace, která by mohla případně nastat. Běžně se v takových situacích použije distančního nástroje Thiessen Polygon, který již nezohledňuje spádovost podle určeného kritéria, ale vymezuje středy mezi sousedními body. Pokud by se do analýzy přidaly silniční a vodní síť a zastavěné oblasti, musela by být analýza upravena

a pravděpodobně by bylo nejvhodnější nastavení vhodnosti každé vstupující vrstvě podle nějakého kritéria.

Analýzy byly vytvářeny v prostředí ArcMap 10, pro provedení dvou ze tří analýz však nestačily fuzzy nástroje, které jsou zde dostupné. Bylo proto přikročeno k zadefinování podmínek fuzzifikace do FCL souboru a použití programovacího jazyka Java. Přehled stavu použití fuzzy teorie množin a fuzzy logiky v aktuálně dostupných geografických informačních systémech (dále GIS) je uveden v diplomové práci: Implementace fuzzy množin v běžně dostupných GIS produktech a jejich praktické využití (Caha, 2010).

Fuzzy teorie množin a fuzzy logika by si v geovědách a v jejich výuce jistě zasloužila větší pozornost než je jí dosud věnována. Při řešení prostorových analýz se často pracuje s ostře vymezenými kategoriemi, kde kategorizace ovlivňuje výsledek analýzy. Problémem je zde fakt, že hraniční hodnoty kategorií jsou si k sobě velmi blízké, a přesto jsou řazeny do různých kategorií. Tento problém může právě použití fuzzy teorie množin vyřešit, a to tak, že přechod mezi kategoriemi bude fuzzifikován a vytvoří se tím jedna širší kategorie, která bude postupně nabývat různých hodnot. Další možností použití fuzzy množiny je v případě klasifikace do většího počtu tříd. Při takové klasifikaci, kdy se použije deset nebo více tříd, se rozdíly mezi takovouto klasifikací a fuzzifikací téměř stírají a v takových případech je použití fuzzy množin mnohem vhodnější již z toho důvodu, že se zjednoduší popis klasifikace. Fuzzy logika nabízí i možnost spojení přesných dat a expertního ohodnocení. Takové ohodnocení má zásadní vliv na vyznění analýz.

7 Závěr

V první části bakalářské práce byla vypracována rešerše věnující se využití fuzzy teorie množin a fuzzy logiky v geovědách. Vzhledem k neznalosti tohoto tématu u některých potencionální čtenářů, byl v rámci rešerše vypracován i stručný přehled věnující se matematické podstatě fuzzy teorie množin a fuzzy logiky a byly vysvětleny klíčové pojmy, se kterými se dále v praktické části bakalářské práce pracuje.

Hlavním úkolem bakalářské práce bylo provést porovnání výsledků vybraných prostorových analýz při využití fuzzy teorie množin a fuzzy logiky ve srovnání s klasickým přístupem. Celkově byly vypracovány tři prostorové analýzy oběma způsoby. Analýzy byly vybrány tak, aby jejich podstata byla založena na různých metodách, které definoval Horák (2011). Byla vytvořena analýza míry oslunění georeliéfu založená na mapové algebře, analýza, která hledala vhodnou oblast pro školu, ve své podstatě založená na lokalizační metodě a alokační metoda zkoumající spádovost oblastí s ohledem na kombinaci vzdálenost a kvality. Byly zvizualizovány a popsány postupy řešení a vzájemné rozdíly mezi oběma přístupy.

Cíle práce byly dodrženy a byla naplněna očekávání z rozdílů mezi jednotlivými přístupy. Na uvedených analýzách byly rozdíly mezi přístupy patrné již při vizuálním srovnání. Tato srovnání byla doplněna o tabulky a slovní popis a lze říci, že fuzzy přístupem vytvořené analýzy vypadají vizuálně lépe a zdá se, že takto řešené úlohy mají v porovnání s klasickým přístupem správnější řešení s ohledem na absenci ostrých změn.

Literatura

- CAHA, J. Implementace fuzzy množin v běžně dostupných gis produktech a jejich praktické využití. Master's thesis, Univerzita Palackého, 2010.
- CINGOLANI, P. jfuzzylogic: Open source fuzzy logic library and fcl language implementation, 05 2012. Dostupné z: <http://jfuzzylogic.sourceforge.net/html/index.html>.
- DRAGIĆEVIĆ, S. Multi-dimensional interpolations with fuzzy sets. In PETRY, F. E., ROBINSON, V. B., COBB, M. A. (Ed.) *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*, s. 143–158. Springer, 2005.
- ČERMÁKOVÁ, M. Implementace fuzzy teorie pro stanovení funkčních ploch. Master's thesis, Univerzita Palackého, 2011.
- HORÁK, J. Prostorové analýzy dat, 2011. Dostupné z: http://gislinb.vsb.cz/~hor10/PAD/Skripta/PAD_skriptaF14.pdf.
- HWANG, S., THILL, J.-C. Modeling localities with fuzzy sets and gis. In PETRY, F. E., ROBINSON, V. B., COBB, M. A. (Ed.) *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*, s. 71–105. Springer, 2005.
- ISHIBUCHI, H., NII, M. Fuzzy regression using asymmetric fuzzy coefficients and fuzzified neural networks. *Fuzzy Sets and Systems*, 119, 2, s. 273–290, 2001.
- MCCOY, J. *ArcGIS 9 Using ArcGIS Spatial Analyst*. ESRI, New York Street, Redlands, CA, USA, 2005.
- MCNEILL, F. M., THRO, E. *Fuzzy Logic A Practical Approach*. Academic Press Limited, 1994.
- MORRIS, A., KOKHAN, S. *Geographic uncertainty in environmental security*. NATO science for peace and security series Series C, Environmental security,. Dordrecht, The Netherlands : Springer, 2007.
- NAVARA, M., OLŠÁK, P. Základy fuzzy množin, 2002. Dostupné z: <ftp://math.feld.cvut.cz/pub/olsak/fuzzy/>.
- STOLARŽÍKOVÁ, . Hodnotící funkce popsané bázemi fuzzy pravidel. Master's thesis, Univerzita Palackého, 2008.
- TALAŠOVÁ, J. *Fuzzy metody vícekritériálního hodnocení a rozhodování*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2003.

VERSTRAETE, J., HALLEZ, A., TRÉ, G. Fuzzy regions: Theory and applications. In MORRIS, A., KOKHAN, S. (Ed.) *Geographic Uncertainty in Environmental Security*, s. 1–19. Springer, 2006.

YANAR, T. A., AKYUREK, Z. The enhancement of the cell-based gis analyses with fuzzy processing capabilities. *Information Sciences*, 176, 8, s. 1067–1085, 2006.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, s. 338–353, 1965.

ZADEH, L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 8, s. 199–249, 1975.

Summary

The main aim of this bachelor thesis is to evaluate the results of selected spatial analyses with use fuzzy set theory and fuzzy logic in comparison with crisp set theory and boolean logic. In the theoretical part a brief description of fuzzy set theory and fuzzy logic is made. Further the description of practical use of fuzzy theory in geosciences is shown on several practical examples from the literature.

The practical part describes the solution of three different spatial analyses. Each of these analyses is created with boolean and fuzzy approaches for comparison. Detail description of the process of creating the analysis for both approaches is given. Differences between results are vizualized and described.

The three selected analyses are focused on use of map algebra, location and alocation analysis. The main part of the case studies is in identification of parts where use of fuzzy sets and fuzzy logic would be beneficial for the analysis. In all three cases some improvement can be seen in the results. The most noticeable difference is in the first analysis where the outcome is significantly more accurate that the original result.

In the final part of the thesis overview of the results is presented and few general re-comandations about use of fuzzy set theory and fuzzy logic in geoinformatics is provided.

Seznam příloh

Příloha 1 - CD s daty, webovými stránkami a textem práce