Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra geoinformatiky

VYUŽITÍ SOFT COMPUTINGOVÝCH METOD PRO PROSTOROVÉ DOTAZY

Magisterská práce

Bc. Veronika NEVTÍPILOVÁ

Vedoucí práce: Doc. Mgr. Jiří DVORSKÝ, Ph. D.

Konzultant: Mgr. Jan CAHA, Ph. D.

Olomouc 2015
Geoinformatika

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá představením soft computingových metod pro prostorové dotazování. Těmito metodami jsou fuzzy dotazování a dotazování pomocí teorie možnosti. Cílem práce je na dvou případových studiích ukázat výsledky dotazování pomocí těchto metod, porovnat je s výsledky klasických dotazů a poukázat na přínosy, které tyto metody mají. Případové studie se zabývají výběrem vhodného místa pro skládku odpadu a hledáním vhodného místa pro založení švestkového sadu. V obou ukázkových studiích jsou provedeny tři dílčí dotazy a jejich výsledky jsou pomocí dvou agregačních operátorů spojeny do konečných výsledků. Využitými operátory jsou Hamacher produkt a metoda pořadově vážených průměrů (OWA). Na rozdíl od klasického dotazování přináší výsledky dotazů pomocí soft computingových metod uživateli více informací a to tím, že kromě výběru oblastí splňujících podmínky dotazu dodávají také informaci o míře vhodnosti dané oblasti. Jako dobré řešení se jeví kombinace klasických dotazů s fuzzy či posibilistickými dotazy. Využití soft computingových metod pro dotazování brání nedostatečná implementace v GIS software.

KLÍČOVÁ SLOVA

prostorové dotazy, fuzzy, teorie možnosti

Počet stran práce: 51
Počet příloh: 4

ANOTATION

This diploma thesis deals with the introduction of soft computing methods for spatial querying. These methods are fuzzy querying and possibility theory querying. The aim of this thesis is to show the results of querying with these methods, compare them with the results of classical queries and point out the benefits of these methods. This is done on two case studies. The first one of them is about selecting a suitable place for a waste disposal site and the second one is about finding a suitable place for a plum orchard. In both case studies three sub-queries are done and their results are combined into the final results using two aggregation operators. Operators used are Hamacher product and ordered weighted averaging (OWA). Unlike the traditional crisp query, the results from soft computing methods provide more information to the user. This additional information is about the measure of suitability of the selected areas which satisfy the condition of the query. Combination of crisp queries with fuzzy or possibilistic queries seems like a suitable solution. The use of soft computing methods for querying is limited by a poor implementation of these methods in GIS software.

KEYWORDS

spatial queries, fuzzy, possibility theory

Number of pages: 51
Number of appendixes: 4

PROHLAŠUJI, ŽE

- diplomovou práci včetně příloh jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu,
- jsem si vědoma, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb.
- autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),
- souhlasím, aby jeden výtisk diplomové práce byl uložen v Knihovně UP k prezenčnímu nahlédnutí,
- souhlasím, že údaje o mé diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,
- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Olomouci dne Veronika NEVTÍPILOVÁ

Děkuji vedoucímu práce Jiřímu Dvorskému za dobré vedení při vypracování práce. Velké díky patří Janu Cahovi za podporu, připomínky, rady a odborné konzultace, bez nichž by tato práce nebyla dokončena. Dále děkuji Michalu Mrnuštíkovi za neustálou podporu, rady a za to, že to se mnou vydržel.

Obsah

ÚVOD **9**

1 CÍLE PRÁCE **10**

2 POUŽITÁ DATA A PROGRAMY **11**
2.1 Data . . . 11
2.2 Programy . . . 11

3 METODY PROSTOROVÉHO DOTAZOVÁNÍ **12**
3.1 Klasické dotazy . . . 13
3.2 Fuzzy dotazování . . . 14
3.2.1 Fuzzy množiny . . . 14
3.2.2 Fuzzy čísla . . . 15
3.2.3 Fuzzy dotazy . . . 15
3.3 Dotazování pomocí teorie možnosti . . . 17
3.3.1 Teorie možnosti . . . 17
3.3.2 Dotazy pomocí teorie možnosti . . . 17
3.3.3 Alternativní stanovení possibility a necessity . . . 19
3.4 Agregační operátory . . . 20

4 PŘÍPADOVÁ STUDIE 1 **23**
4.1 Stanovení prahových hodnot . . . 23
4.2 Dílčí dotazy . . . 25
4.2.1 Ostrý dotaz . . . 25
4.2.2 Fuzzy dotaz . . . 26
4.2.3 Posibilistický dotaz . . . 27
4.3 Výsledky . . . 27
4.3.1 Výsledky dotazů - agregační operátor Hamacher . . . 27
4.3.2 Výsledky dotazů - agregační operátor OWA . . . 29
4.3.3 Porovnání pomocí histogramů . . . 30
4.3.4 Srovnání s klasickým dotazem . . . 33

5 PŘÍPADOVÁ STUDIE 2 **35**
5.1 Stanovení prahových hodnot . . . 35
5.2 Dílčí dotazy . . . 36
5.2.1 Ostrý dotaz . . . 37
5.2.2 Fuzzy dotaz . . . 38
5.2.3 Posibilistický dotaz . . . 39
5.3 Výsledky . . . 39
5.3.1 Výsledky dotazů - agregační operátor Hamacher . . . 39
5.3.2 Výsledky dotazů - agregační operátor OWA . . . 41
5.3.3 Porovnání pomocí histogramů . . . 42

5.3.4 Srovnání s klasickým dotazem 45
5.3.5 Spojení possibility a necessity 47

6 DISKUZE **49**

7 ZÁVĚR **50**

LITERATURA **52**

ÚVOD

Prostorové dotazy jsou jednou ze základních analytických operací v oblasti GIS. Představují rychlý a snadný způsob, jak zjistit například polohu zájmových objektů, jejich vlastnosti, prostorové vztahy mezi těmito objekty a další informace. Většina GIS software obsahuje různé nástroje, pomocí kterých je možno dotazy provádět. V naprosté většině případů tyto nástroje využívají k dotazování tzv. ostré prahy - objekt je buď vybrán nebo ne. Skutečnost však nemusí být tak jednoznačná.

Už v roce 1965 přišel Lofti A. Zadeh s teorií fuzzy množin, jejichž hranice nejsou ostře definované a lépe odpovídají lidskému chápání a způsobu, jakým se lidé vyjadřují. Pokud mají něco popsat, raději se vyjadřují pomocí slov než čísel. Dobrým příkladem může být definice stáří - všeobecně se ví, co to znamená být starý, ale přesná definice v jakém věku stáří nastává není (Dubois a Prade, 1998). Totéž platí v případě prostorových definic - je daleko, je vysoko atd. Fuzzy množiny mohou pracovat s takovými nepřesnými definicemi. A byl to opět L. A. Zadeh, kdo jako jeden z prvních zmínil a navrhl teorii možnosti jako nový způsob chápání a práce s fuzzy množinami (Zadeh, 1978).

Ačkoliv mají teorie fuzzy množin i teorie možnosti potenciál obohatit a rozvíjet prostorové dotazy, nejsou v této oblasti příliš využívány. Fuzzy množiny a fuzzy logika jsou přece jen známější a některý GIS software s nimi dokáže pracovat. Teorie možnosti je však opomíjená a studií na její využití pro geoinformatiku a prostorové dotazy existuje velmi málo. V České republice se tomuto věnoval Jan Caha v sérii tří článků (Caha a Dvorský, 2013; Caha et al., 2014a,b).

V kapitole 1 jsou stanoveny cíle diplomové práce. Kapitola 2 shrnuje použitá data a jejich zdroje a využívaný software. V kapitole 3 jsou popsány teoretické základy klasických dotazů a dotazů založených na fuzzy logice a teorii možnosti a jsou zde zařazeny ukázky výsledků těchto dotazů. Z důvodů značné obsáhlosti a složitosti teorie možnosti a fuzzy množin tato rešeršní část práce uvádí jen takové informace, které jsou nezbytné pro pochopení a provádění prostorových dotazů pomocí těchto metod. Prostor je věnován také výběru agregačních operátorů. Kapitoly 4 a 5 představují hlavní část práce: Jsou v nich popsány obě případové studie, u každé z nich je pomocí tabulek a obrázků uveden postup zpracování, použitá data, zadávané parametry. Výsledky práce jsou zahrnuty opět v kapitolách 4 a 5. Jsou v nich hodnoceny výsledky dotazů z obou případových studií. Dále jsou zde znázorněny odlišnosti metod a vlivy agregačního operátoru na výsledek a hodnoceny výhody a nevýhody použití jednotlivých typů dotazů.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem této diplomové práce je prezentace možností vybraných soft computingových metod při provádění prostorových dotazů. Tyto alternativní metody prostorového dotazování budou představeny pomocí dvou případových studií. V teoretické části práce budou nastíněny hlavní teoretické principy vybraných druhů dotazů v rozsahu nutném pro pochopení a zpracování praktické části práce. V té budou podrobně představeny obě případové studie, jejich výsledky a následné hodnocení metod.

V obou studiích budou použity klasické dotazy a poté dotazy založené na fuzzy logice a teorii možnosti. V obou případech se bude jednat o kombinovaný dotaz (složený z několika jednoduchých dotazů). Výsledky dotazů poslouží jako hlavní kritérium pro hodnocení a srovnání metod. U obou soft computingových metod bude sledována odlišnost od klasických dotazů a budou naznačeny jejich přínosy i nevýhody. Výsledky dotazů budou také hodnoceny s ohledem na vybrané agregační operátory.

2 POUŽITÁ DATA A PROGRAMY

2.1 Data

Původní data pro první případovou studii tvoří Digitální model reliéfu z datové sady ArcČR 500 poskytované zdarma společností ArcDATA Praha s.r.o. [1] a vrstvy vztahující se k využití půdy CORINE Land Cover poskytované zdarma Evropskou agenturou pro životní prostředí (European Environment Agency, 2014)[2]. Z digitálního modelu reliéfu byl odvozen sklon svahu. Z vrstev využití půdy byly v první případové studii vzhledem k zájmovému území vybrány vodní plochy, orná půda, zatravněné oblasti, lesní oblasti křovinaté a lesní oblasti se stromy. S využitím vrstvy vodních ploch byla vytvořena vrstva vzdálenosti od vody.

Pro druhou případovou studii byla vybrána stejná základní vrstva - tedy digitální model reliéfu. K vlastnímu dotazu byl poté použit rastr orientace svahů a rastr míry oslunění, odvozené z DMR a také samotný digitální model reliéfu. Orientace svahů byla vyjádřena ve stupních (na kružnici). Míra oslunění byla spočítána podle tabulky 5.3 a poté převedena na spojitou stupnici.

2.2 Programy

K provedení klasických a fuzzy dotazů a k úpravám dat byl použit program ArcGIS od společnosti ESRI. Tento program je dobře vybaven spíše pro klasické dotazy, ale nabízí také dva nástroje pro práci s fuzzy množinami. Jsou to *Fuzzy Membership* a *Fuzzy Overlay* z toolboxu *Overlay* extenze *Spatial Analyst Tools*. Nástroj *Fuzzy Membership* převádí hodnoty pixelů v rastru na hodnoty v intervalu $0 - 1$ pomocí různých fuzzy algoritmů, kde uživatel může sám zadat parametry těchto algoritmů. Nástroj *Fuzzy Overlay* slouží ke kombinování fuzzy rastrů a opět nabízí několik možností kombinací, např. AND nebo OR.

Na dotazy pomocí teorie možnosti byl využit skript vytvořený Janem Cahou v rámci jeho disertační práce *Propagace nejistoty v analýzách fuzzy povrchů* (Caha, 2014). Část skriptu, poskytnutá pro účely této práce, slouží jednak k provádění posibilistických dotazů na jednotlivých datových vrstvách a také ke kombinaci výsledných vrstev podle vybraných agregačních operátorů. Skript pracuje s daty ve formátu ASCII.

Pro tvorbu grafů a testování chování agregačních operátorů byl použit software R.

[1] `http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500/`

[2] `http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data-version-3`

3 METODY PROSTOROVÉHO DOTAZOVÁNÍ

Obecně dotazy slouží k výběru požadovaných údajů podle zadaných kritérií. Dotaz se skládá ze tří částí: nejprve se specifikují údaje, ze kterých má být výběr prováděn, poté jsou formulovány podmínky (kritéria) dotazu a jako poslední je zadáno, jaká operace má být nad vybranými daty provedena - tato poslední část není podmínkou provedení dotazu, lze ji vynechat. Dotazy se v geoinformatice dělí na atributové a prostorové. V případě složitějších analýz je pouze jeden typ dotazů nedostačující a proto se kombinují. Takovéto dotazy slouží k dotazování nad více vrstvami současně (Jedlička, 2006). Kombinované dotazy jsou využívány v případových studiích této práce.

Atributové dotazy se dotazují na vlastnosti objektů. Dotazem může být buď identifikace jednoho objektu na základě jeho jména nebo unikátního záznamu a výpis všech jeho vlastností, nebo vyhledání všech objektů na základě hodnoty jednoho či více jejich atributů. Tato druhá varianta je využívána častěji. Typickým příkladem atributového dotazu může být: *Vyber všechna města ČR, která mají více než 10 000 obyvatel.* Pro vytvoření podmínek dotazu - kombinace více podmínek se používají logické operátory (Jedlička, 2006).

Prostorové dotazy se dotazují na prostorové vlastnosti a vztahy objektů. Dají se uskutečnit buď ručním výběrem pomocí souřadnic konkrétního objektu, nebo tak, že je prohledáván prostor podle zadaných podmínek a jsou kontrolovány prostorové vztahy mezi objekty. Příkladem prostorového dotazu může být: *Vyber všechna města, která leží v Olomouckém kraji.* Častými podmínkami prostorových dotazů jsou např.: leží uvnitř, dotýkají se, protíná, je ve určité vzdálenosti atd. (Jedlička, 2006).

Kombinované dotazy slučují atributové a prostorové dotazy a další topologické operace a umožňují vytvářet dotazy složitější. Příkladem je: *Vyber všechna města, která mají více než 10 000 obyvatel a leží v Olomouckém kraji* (Jedlička, 2006).

Podmínky dotazů jsou obvykle zadány jako hodnoty menší nebo větší než určený práh - jedna konkrétní prahová hodnota. Ale dotaz může být také zadán způsobem: *Vyber všechna větší města blízko Olomouce.* V tomto dotaze jako prahy slouží slova "větší" a "blízko". Zatímco uživatel takto zadaný dotaz dobře chápe, pro zpracování v GIS je třeba převést "větší" a "blízko" na konkrétní hodnoty. Avšak takovéto ostré striktní hodnoty se pro mnoho prostorových dotazů nehodí - jsou příliš omezující. Je zde tedy snaha vytváře jemnější prahy, protože většinou bývají hranice mezi různými kategoriemi neostré a nelze je přesně určit, nebo existuje více definic prahové hodnoty (Caha et al., 2014b).

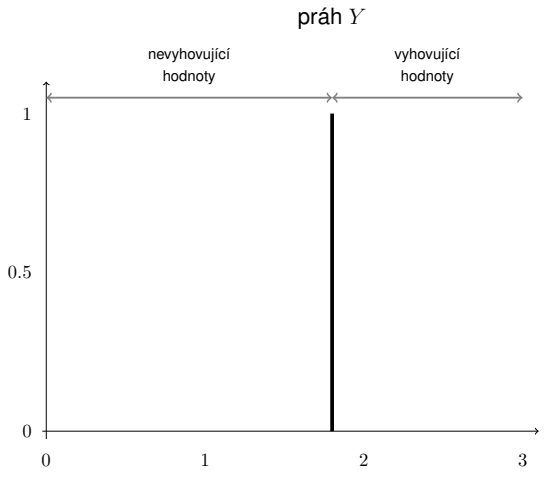
Dotazování probíhá rozdílně pro rastrová a vektorová data. V případě vektorových dat, která ukládají celé objekty a k nim jejich vlastnosti v podobě atributové tabulky, jsou při dotazování vždy vybírány celé objekty, které splňují zadané podmínky buď hodnotami svých vlastností (atributový dotaz), nebo svou geometrií a polohou v prostoru (prostorový dotaz).

U rastrových dat, která ukládají hodnoty jako vlastnosti jednotlivý buněk (a jeden

objekt se může skládat z více než jedné buňky), nelze uvažovat o prostorových dotazech tak, jak jsou chápány u vektorových dat. Při dotazování jsou většinou vybírány buňky na základě v nich uložených hodnot (vlastností) a jedná se tedy spíše o atributový dotaz (Jedlička, 2006). Za prostorový dotaz nad rastrovými daty lze označit analýzu, kdy je hledána určitá lokalita - místo v prostoru, které splňuje několik různých podmínek stanovených předchozími atributovými dotazy. Takovéto prostorové dotazy jsou předmětem případových studií této práce.

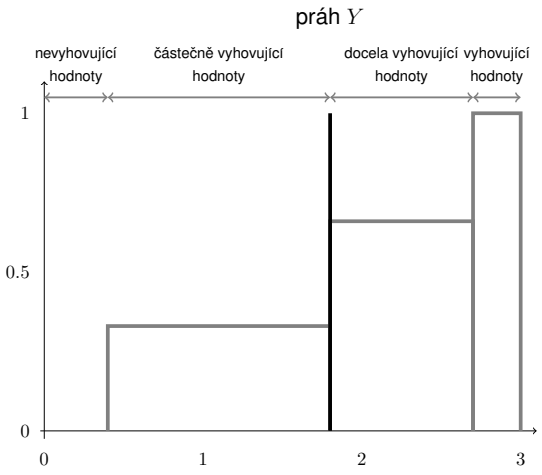
3.1 Klasické dotazy

Tento typ dotazů pracuje s ostrými prahovými hodnotami a obvykle je ve tvaru: je hodnota proměnné X vyšší nebo nižší než práh Y? Tyto hodnoty jsou porovnány a už nezáleží na tom, jaký je mezi nimi rozdíl. Pokud jsou dvě hodnoty $X_1 = 0.1$ a $X_2 = 1.799$ a obě jsou porovnány s prahem $Y = 1.8$ je jasné, že X_1 je výrazně menší než Y a rozhodně tedy nebude zařazeno do množiny čísel větších než Y. Ale rozdíl mezi X_2 a Y je tak malý, že už nelze s jistotou tvrdit, že X_2 nepatří do množiny čísel větších než Y. Klasický dotaz tedy dělí data striktně do dvou skupin patří/nepatří do množiny. Někdy je použito více prahů, které dělí data do několika intervalů, které mají různé stupně vhodnosti a ty ukazují, do jaké míry patří nebo nepatří proměnné do množiny Y. Nicméně tímto přístupem stále není odstraněna ostrost prahů (Caha et al., 2014b). Obrázek 3.1 znázorňuje princip ostrého prahu klasického dotazu a obrázek 3.2 ukazuje variantu několika ostrých prahů.



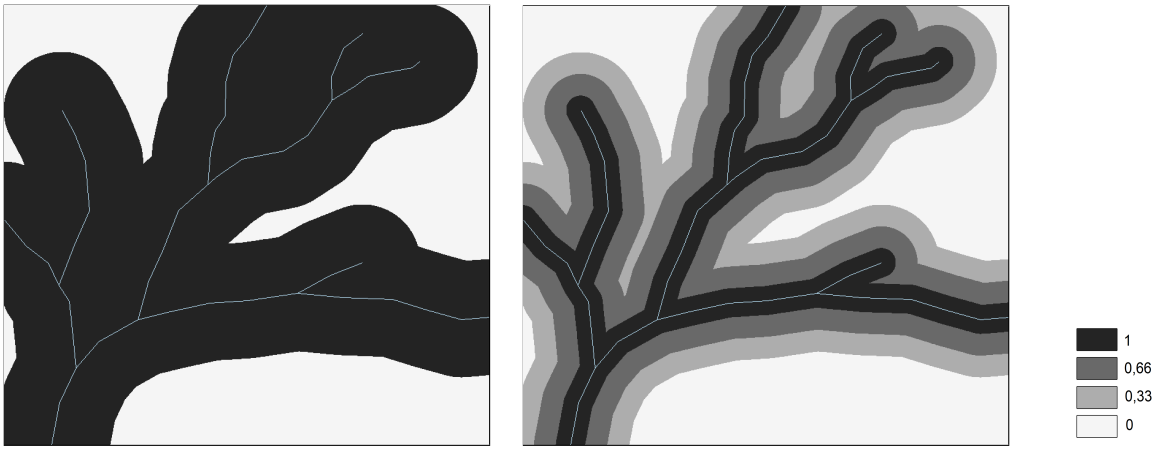
Obrázek 3.1: Ostrý práh klasického dotazu (Zdroj: Caha et al. (2014b))

Na obrázku 3.3 vlevo je vidět výsledek dotazu s ostrým prahem. Dotaz byl proveden na vrstvě vzdálenosti od vodního toku a byly hledány plochy blízké vodnímu toku - tedy hodnoty menší než zadaný práh. Prahová hodnota byla stanovena na vzdálenost 2000 m. Podmínku splnily pixely s tmavou barvou - mají tedy hodnotu 1, zbytek má hodnotu 0.



Obrázek 3.2: Několik ostrých prahů klasického dotazu (Zdroj: Caha et al. (2014b))

Obrázek 3.3 vpravo ukazuje výsledek dotazu, kde bylo nastaveno několik ostrých prahů pro vzdálenost, konkrétně 500, 1250 a 2000 m. Protože jsou vybírány plochy bližší vodnímu toku, se zvyšující se vzdáleností klesá vhodnost intervalů. Hodnotu vhodnosti 1 má tedy interval v rozsahu $0 - 500$ m a hodnotu 0 má interval od 2000 m a více.



Obrázek 3.3: Výsledek dotazu s jedním (vlevo) a několika (vpravo) ostrými prahy

3.2 Fuzzy dotazování

3.2.1 Fuzzy množiny

Fuzzy množina je speciální případ množiny, u které nejsou přesně definovaná kritéria příslušnosti k dané množině. U množin jako "vzdálený" nebo "strmý" nejsou hranice definovány ostře, ale pomocí přechodového intervalu kdy objekty mají větší či menší hodnotu příslušnosti k těmto množinám. Fuzzy množina je tedy určena funkcí příslušnosti, která se definuje jako

$$\mu_{\tilde{A}} : U \longrightarrow [0, 1] \tag{1}$$

To značí, že prvek x z prostoru U má hodnotu příslušnosti $\mu_{\tilde{A}}(x)$ v intervalu $[0, 1]$ (Zadeh, 2008). Pak prvky, které mají hodnotu $\mu_{\tilde{A}}(x) = 0$, nepatří do množiny $\tilde{A}$ a prvky s hodnotou $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ do množiny úplně patří. Prvky s jinými hodnotami příslušnosti do dané množiny patří částečně. Fuzzy množiny mohou být také vyjádřeny jako dvojice prvků a jejich hodnot příslušnosti do množiny

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in U, \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]\}. \tag{2}$$

a nebo pomocí přesné definice funkce příslušnosti (Hanss, 2005).

3.2.2 Fuzzy čísla

Fuzzy číslo je speciální druh fuzzy množiny, která vyjadřuje neurčitou nebo ne zcela známou hodnotu (Dubois a Prade, 1983). Aby množina byla fuzzy číslem, musí splňovat několik podmínek:

- universum, na kterém je množina definovaná by měla být reálná čísla $\mathbb{R}$,
- výška množiny podle vzorce

$$\mathrm{hgt}(\tilde{A}) = \sup \{\mu_{\tilde{A}}(x) \mid x \in U\} \tag{3}$$

  se musí rovnat 1, tzn. alespoň jedno x musí úplně patřit do množiny,

- množina musí být konvexní podle podmínky

$$\mu_{\tilde{A}}(\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2) \geq \min((\mu_A(x_1), \mu_A(x_2)) \quad \forall \lambda \in [0, 1], \forall x_1, x_2 \in U \tag{4}$$

- funkce příslušnosti $\mu_{\tilde{A}}(x)$ musí být alespoň po částech spojitá (Hanss, 2005).

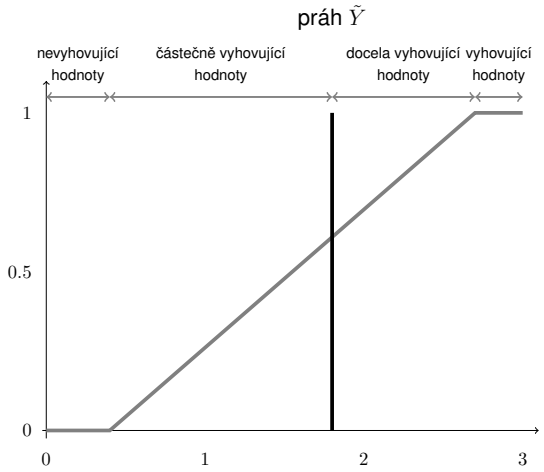
Fuzzy čísla jsou dána třemi hodnotami: minimální, maximální a středovou (Caha a Dvorský, 2013).

3.2.3 Fuzzy dotazy

Fuzzy dotazy jsou založeny na fuzzy logice a rozšiřují možnosti klasických dotazů (Zadeh, 1978). Fuzzy množina s funkcí příslušnosti definovanou jako

$$\mu_{\tilde{Y}}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < 0.4 \\ \dfrac{x - 0.4}{2.7 - 0.4} & \text{if } 0.4 \leq x \leq 2.7 \\ 1 & \text{if } 2.7 < x. \end{cases} \tag{5}$$

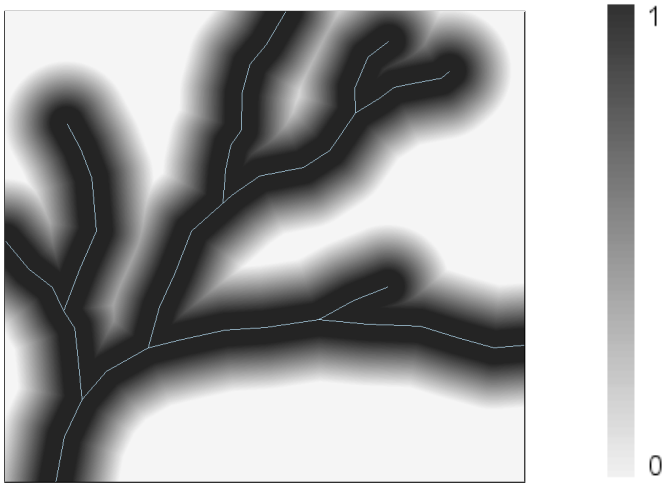
nahrazuje ostrý práh klasického dotazu. Rozhodnutí, zda x je menší nebo větší než takový práh, je dáno výpočtem hodnoty funkce příslušnosti daného x do množiny $\tilde{Y}$. Tento přístup k dotazování přirozeně rozšiřuje klasické dotazování s několika intervaly - odstraňuje ostré hranice a vytváří jednu plynulou, která je přirozenější (Caha et al., 2014b). Obrázek 3.4 ukazuje práh fuzzy dotazu.



Obrázek 3.4: Práh fuzzy dotazu (Zdroj: Caha et al. (2014b))

Na obrázku 3.5 je ukázán výsledek fuzzy dotazování. Stejně jako v ukázce klasického dotazu se jedná o dotaz nad vrstvou vzdálenosti od vodního toku. Hranice fuzzy prahu byly nastaveny na hodnoty 500 a 2000 m. Ve výsledku pak mají všechny pixely bližší než 500 m stupeň příslušnosti 1 a všechny pixely vzdálenější než 2000 m stupeň příslušnosti 0. S klesající vzdáleností klesá i stupeň příslušnosti.

Další příklady využití teorie fuzzy množin v GIS uvádí například Bordogna et al. (2009), v jejichž práci využívají fuzzy množiny pro určování polohy pomocí LBS (Location based services). Další, kdo zmiňuje využití fuzzy množin, jsou Hong (2000), kteří uvádí příklady využití ve vícekriteriálním hodnocení a rozhodování a využívají k tomu data o vzdálenosti a sklonech svahů. Vhodným příkladem může být také článek, který publikoval De Bruin (2000) a ve kterém provádí srovnání klasických a fuzzy dotazů.



Obrázek 3.5: Výsledek fuzzy dotazu

3.3 Dotazování pomocí teorie možnosti

Teorie možnosti přináší nové způsoby zacházení s fuzzy množinami. Jako první s teorií možnosti v souvislosti s fuzzy množinami přestavil L. A. Zadeh (1978) a dále ji pak rozvíjeli Dubois a Prade (1986).

3.3.1 Teorie možnosti

V souvislosti s prostorovými dotazy přináší teorie možnosti především dvě míry vhodnosti: tzv. *possibility* a *necessity* (česky možnost a nezbytnost - dále v textu jako possibility a necessity).

Je dáno $\tilde{F}$ jako normalizovaná fuzzy podmnožina univerza U, charakterizovaná funkcí příslušnosti $\mu_{\tilde{F}}$. Tato množina funguje jako fuzzy omezení (restriction) (Dubois a Prade, 1983). X je proměnná z U. Pak je *míra possibility* odvozena z funkce příslušnosti $\mu_{\tilde{F}}$ vzorcem

$$\Pi_{\tilde{F}}(X) = \sup_{x \in X} \mu_{\tilde{F}}(x) \qquad \forall X \subseteq U \tag{6}$$

a $\mu_{\tilde{F}}$ tvoří základní rozložení possibility $\Pi_{\tilde{F}}$. Pokud je $\overline{X}$ doplněk X a Π *míra possibility*, potom je *míra necessity* $\mathcal{N}$ určena jako

$$\mathcal{N}_{\tilde{F}}(X) = 1 - \Pi(\overline{X}) \qquad \forall X \subseteq U \tag{7}$$

a někde označována jako míra určitosti. Existuje zde omezení, které říká že $\mathcal{N}_{\tilde{F}}(X) \leq \Pi_{\tilde{F}}(X)$ (Dubois a Prade, 1986).

3.3.2 Dotazy pomocí teorie možnosti

Tento typ dotazování odstraňuje nevýhody klasických dotazů, které bývají pro geografická data omezující. Dotazy jsou často zadávány neurčitě: odborník na dané

téma určí, které hodnoty jsou nepřijatelné, které jsou ucházející a které představují nejlepší možné řešení. Příkladem může být výběr pozemků pro stavbu domů podle sklonu terénu. Odborník určí, že pozemky se sklonem nad 20° nemohou být použity kvůli vysokým nákladům na úpravu před stavbou. Dále řekne, že sklony nad 10° také nejsou úplně vhodné a naopak cokoliv pod 5° je vyhovující, protože náklady na úpravu jsou minimální (Caha et al., 2014a). Práh takto zadaného dotazu je poté modelován jako fuzzy číslo $\tilde{Y}$. K určení *míry possibility* a *necessity* zda je hodnota x vyšší nebo rovna prahu $\tilde{Y}$ je tato hodnota porovnána s prahem pomocí vzorců

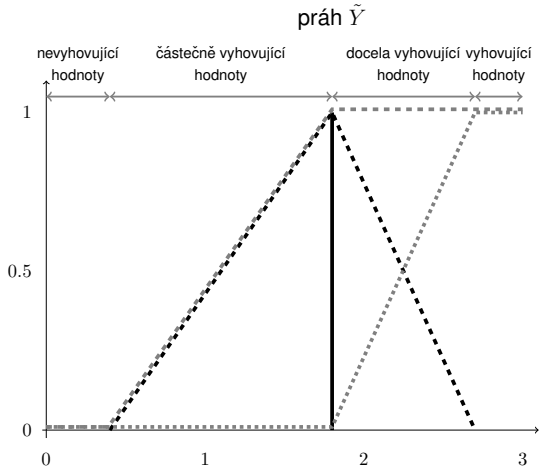
$$\mu_{[\tilde{Y},\infty)}(x) = \Pi_x((-\infty, \tilde{Y}]) = \sup_{y \leq x} \mu_{\tilde{Y}}(y) \tag{8}$$

$$\mu_{]\tilde{Y},\infty)}(x) = \mathcal{N}_x((-\infty, \tilde{Y}[) = \inf_{y \geq x} (1 - \mu_{\tilde{Y}}(y)) \tag{9}$$

Výsledek tohoto porovnání je následující:

- když je $\Pi_{\tilde{Y}}(x)) = 0$ a $\mathcal{N}_{\tilde{Y}}(x) = 0$ potom je x rozhodně nižší než zadaný práh a je tedy nevhodné,
- pokud je $\Pi_{\tilde{Y}}(x)) > 0$ a $\mathcal{N}_{\tilde{Y}}(x) = 0$ pak je x částečně vyhovující,
- pokud je $\mathcal{N}_{\tilde{Y}}(x) > 0$ tak je x více vyhovující ,
- a pokud $\mathcal{N}_{\tilde{Y}}(x) = 1$ je možné prohlásit, že x je větší než práh $\tilde{Y}$ a je tedy nejvhodnějším řešením.

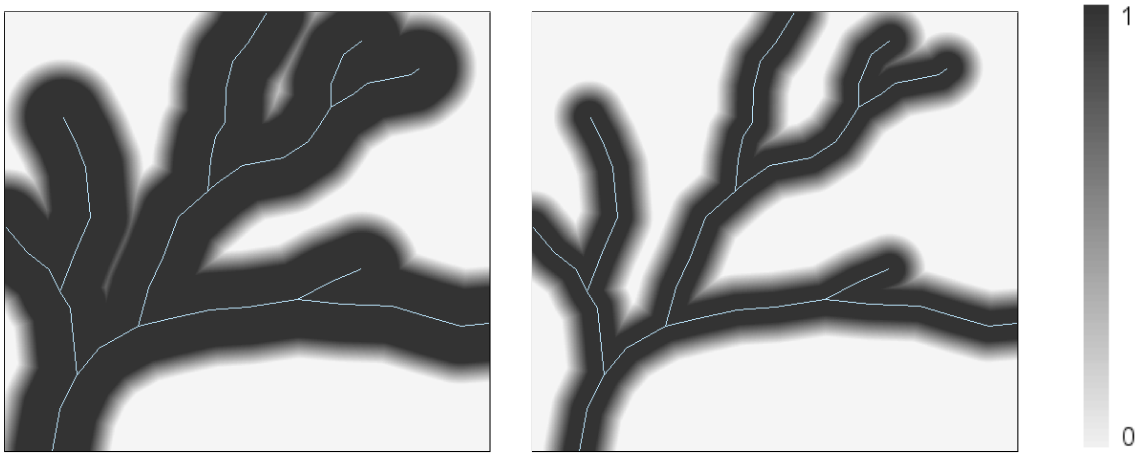
Obrázek 3.6 ukazuje posibilistický práh a hodnoty possibility a necessity.



Obrázek 3.6: Práh teorie možnosti (čárkovaný) a míry možnosti (šedě čárkovaná) a nezbytnosti (šedě tečkovaná) (Zdroj: Caha et al. (2014b))

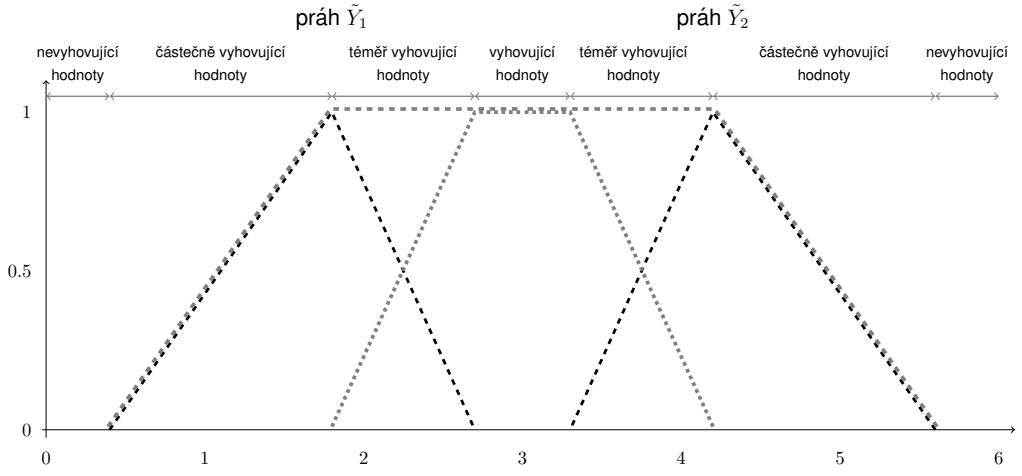
Výsledky posibilistického dotazu se nachází na obrázku 3.7. Míra possibility vyjadřuje omezení - ukazuje hodnoty, které je už možné vzít v úvahu, ale nepředstavují nejlepší řešení. Míra necessity naopak vyjadřuje preference - ukazuje hodnoty, které

jsou velmi vhodné. Possibility tedy nejprve stanoví oblasti, které splňují alespoň minimální požadavky, přičemž čím vyšší je míra possibility, tím vhodnější je daná oblast až do hodnoty possibility 1. V oblastech, kde possibility dosáhne této hodnoty, je následně pomocí míry necessity upřesňována míra vhodnosti a oblasti, kde necessity dosáhne hodnoty 1, představují nejlepší řešení.



Obrázek 3.7: Výsledek posibilistického dotazu, vlevo - possibility, vpravo - necessity

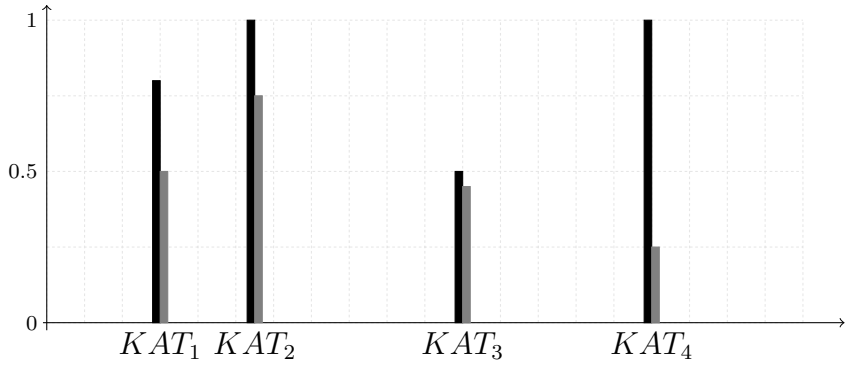
Posibilistický práh z obrázku 3.6 je používán v případech, kdy jsou hledány hodnoty na začátku nebo na konci rozsahu hodnot dat, nad nimiž je prováděn dotaz. Pokud jsou ale hledány hodnoty vyskytující se uprostřed rozsahu hodnot - dotaz je omezen ze dvou stran, je třeba zadat dva prahy a provést dva dotazy, přičemž jsou vybírány hodnoty vyšší než práh $\tilde{Y}_1$ a nižší než práh $\tilde{Y}_2$. Na obrázku 3.8 jsou tyto dva prahy zobrazeny.



Obrázek 3.8: Dva prahy teorie možnosti (čárkované) a possibility (šedě čárkovaná) a necessity (šedě tečkovaná)

3.3.3 Alternativní stanovení possibility a necessity

Pro některé typy dat není vhodné stanovit possibility a necessity pomocí prahu jako fuzzy čísla (viz 3.3.2), a tak je třeba využít jiný způsob. Např. pro kategorická data mohou být stanoveny hodnoty possibility a necessity přímo zadáním konkrétní hodnoty pro každou kategorii, jak je vidět na obrázku 3.9. Dalším způsobem může být stanovení hodnot přímo pomocí funkce. V obou případech musí platit, že possibility je větší než necessity. Na rozdíl od stanovení v 3.3.2 mohou v tomto případě být definovány hodnoty necessity, aniž by possibility dosáhla hodnoty 1 (Caha et al., 2014a). Toto stanovení possibility a necessity je použito v první případové studii této práce na datech využití půdy.



Obrázek 3.9: Hodnoty possibility (černá) a necessity (šedá) pro kategorická data (Zdroj: Caha et al. (2014a))

3.4 Agregační operátory

Agregace má za úkol shromáždit a sloučit informace z různých zdrojů do jednoho uceleného výsledku. Agregační operátory mají místo v mnoha různých metodách a teoriích: využívají je neuronové sítě, nástroje na podporu rozhodování, teorie pravděpodobnosti a v neposlední řadě i teorie fuzzy množin a teorie možnosti. Každá z těchto metod tedy v určité své fázi využívá nějaký druh agregačního operátoru. Obecně lze říci, že agregační operátory jsou matematické objekty s funkcí redukovat množinu čísel na jedno, které pak podává nějakou informaci (Detyniecki, 2001).

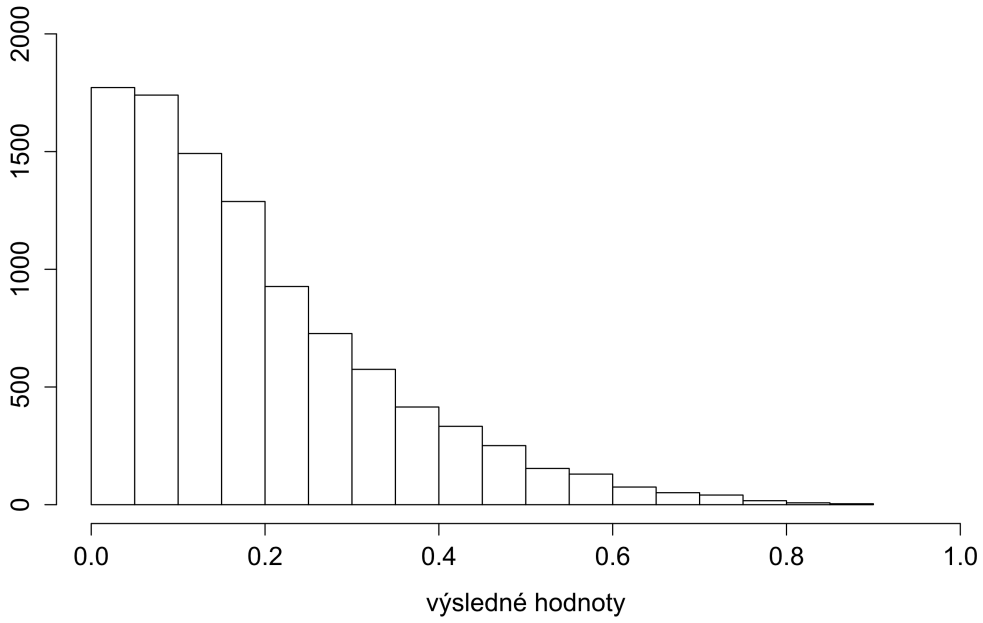
Existuje velké množství různých operátorů. Detyniecki (2001) uvádí jako základní, nejjednodušší a často používané např. aritmetický nebo vážený průměr, medián a maximum/minimum. Další skupinu autor popisuje jako kvazi-aritmetické operátory a řadí mezi ně geometrický a harmonický průměr. Často používaným operátorem je také metoda pořadově vážených průměrů (OWA). Dále existují operátory jako Choquet & Sugeno integrály a tzv. spojovací (fusion) operátory. Výše uvedené druhy operátorů nejsou v této práci využívány a jsou zmíněny pouze pro přehled.

Další skupinou operátorů jsou t-normy a t-konormy, které splňují podmínky asociativity, komutativity a monotonie (Zimmermann, 1991). Často jsou používány min a max t-normy, které však mají určité problémy. Ty lze dobře ilustrovat na následujících příkladech. První případ je ten, kdy více vysokých hodnot nedokáže kompenzovat jednu nízkou - $\min(0.8, 0.6, 0.1) < \min(0.2, 0.2, 0.2)$ a další je takový, kdy jediná nízká hodnota sníží všechny ostatní - $\min(0.5, 0.7, 0.1) = \min(0.1, 0.1, 0.1)$ (Dubois, 2011). T-normy a t-konormy využívá ve své práci i Hong (2000) viz sekce 3.2.3.

Zimmermann (1991) ve své knize zmiňuje kritéria pro výběr vhodného agregačního operátoru. Těmi jsou např. agregační chování - výsledek agregace závisí na množství agregovaných proměnných, kompenzace - zda je výsledek agregace ovlivněn extrémními hodnotami (kompenzační operátory tyto extrémní hodnoty potlačují), dále rozsah kompenzace, adaptabilita atd. Při výběru operátoru pro tuto práci bylo zkoumáno agregační chování a kompenzace tak, aby vybrané operátory vykazovaly co největší rozdíly.

První operátor, který byl vybrán pro případové studie této práce je Hamacher produkt, který patří do skupiny t-norem. Tento operátor ovlivňuje konečné výsledky především tím, že tam, kde je v dílčím výsledku hodnota 0, spočítá do konečného výsledku také 0. Dále stačí, aby se v jednom z dílčích výsledků vyskytla nízká hodnota a konečná míra vhodnosti je pak touto hodnotou výrazně snížena, a to i v případě, že jsou další dvě hodnoty dílčích dotazů vysoké. Jak je vidět ze vzorce 10, tento agregační operátor pracuje naráz pouze se dvěma proměnnými.

$$t(a,b) = \begin{cases} 0 & \text{jestliže } a = b = 0 \\ \frac{ab}{a+b-ab} & \text{v jiném případě} \end{cases} \tag{10}$$



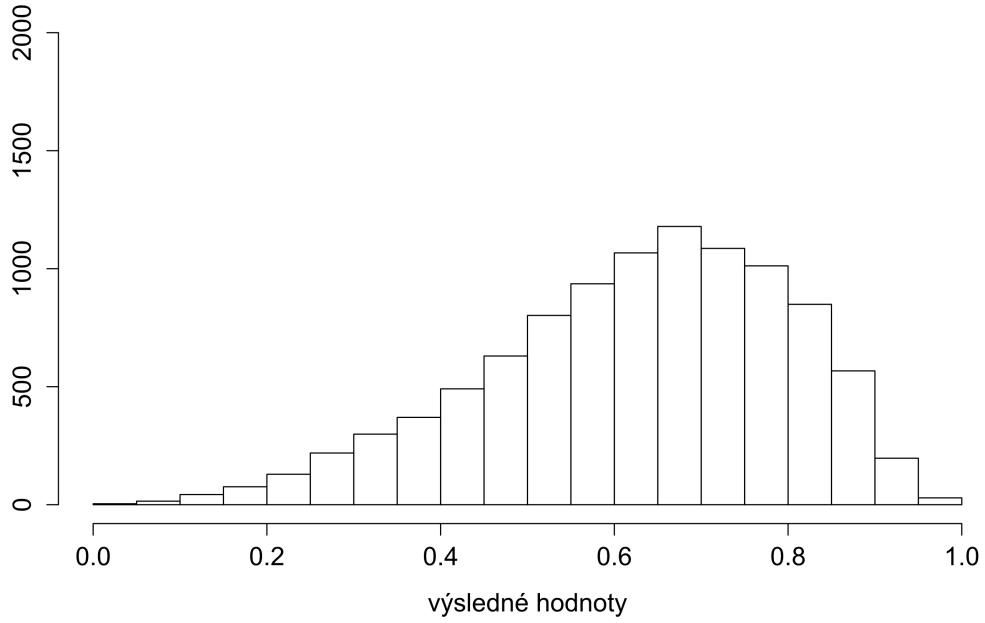
Obrázek 3.10: Výsledné hodnoty z agregačního operátoru Hamacher

Obrázek 3.10 ukazuje chování operátoru Hamacher, které bylo popsáno výše. Tento obrázek je výsledkem testování operátorů, které probíhalo v programu R. Operátor byl aplikován na tři proměnné obsahující náhodná čísla v rozsahu $0-1$ s rovnoměrným rozložením hodnot a každá proměnná obsahovala 10 000 čísel.

Druhým vybraným byl agregační operátor OWA - Ordered weighted averaging (neboli metoda pořadově vážených průměrů - v textu dále jako OWA). Tento operátor přiřazuje vstupním hodnotám váhy podle jejich pořadí - každé pořadové místo má přidělenou určitou váhu, jejichž součet dává dohromady hodnotu 1, vstupní hodnoty jsou seřazeny podle jejich velikosti a obsluha operátoru se poté rozhoduje, jestli vyšší váhu přiřadí nízkým, středním nebo vysokým hodnotám. Tento operátor může pracovat s libovolným počtem proměnných.

$$t(x_1, x_2, ..., x_n) = \sum_{j=1}^{n} w_j x_j \tag{11}$$

Obrázek 3.11 znázorňuje chování operátoru OWA. Tento výsledek opět vznikl aplikací operátoru na tři proměnné s rovnoměrným rozložením hodnot v intervalu $0-1$, tak jako v případě agregačního operátoru Hamacher. V tomto případě byla větší váha přiřazena vyšším hodnotám - takto je chování tohoto operátoru opačné než u operátoru Hamacher. Při aplikaci na případové studie této práce byla zadána podmínka, která zajišťuje, že je výstupní hodnota z operátoru 0, pokud je jedna ze vstupních hodnot nulová a větší váha byla přiřazena vyšším hodnotám.



Obrázek 3.11: Výsledné hodnoty z agregačního operátoru OWA

4 PŘÍPADOVÁ STUDIE 1

Tato případová studie byla jako první publikována ve sborníku konference HAIS 2014 (viz Caha et al. (2014a)). V této práci je rozšířena o fuzzy dotazy a porovnání výsledků dotazů je popsáno podrobněji. Ke tvorbě výsledků jsou použit další druh agregačního operátoru.

Cílem studie bylo ve vymezené zájmové oblasti nalézt nejvhodnější místo pro založení skládky odpadu. Ke stanovení výsledku byl použit kombinovaný dotaz složený ze třech dílčích dotazů. Jako nejdůležitější parametry pro tento problém byly vybrány *sklon povrchu*, *vzdálenost od vody* a *využití půdy*. Výběr byl proveden podle kritérií, které zmiňují ve svém článku Korucu a Erdagi (2012) a s ohledem na názornost ukázkové studie. Jejím cílem není podrobně popsat problematiku výběru místa pro skládku odpadu, ale předvést postup a výsledky dotazování na jednoduchém, ale zároveň reálném příkladu.

Tato data byla vybrána také proto, že reprezentují typy dat nejčastěji používané v podobných prostorových analýzách. Sklon a vzdálenost představují spojitý typ dat, zatímco využití půdy je bráno jako diskrétní typ dat.

4.1 Stanovení prahových hodnot

Zadání studie bylo následující: Sklon terénu by měl být co nejmenší, aby byly sníženy náklady na úpravu terénu (skládka odpadu by se měla nacházet na rovných plochách) - při dotazování jsou tedy hledány hodnoty nižší než zadaný práh T, naopak je žádoucí, aby vzdálenost od vody byla větší, kvůli možným negativním ekologickým dopadům - jsou tedy hledány hodnoty vyšší než stanovený práh.

Jak bylo uvedeno v kapitole 3, prahové hodnoty pro dotazy pomocí teorie možnosti jsou zadávány jako fuzzy číslo. Konkrétní hodnoty těchto čísel, které byly zadány v této studii ukazuje tabulka 4.1. Z těchto hodnot vycházely prahové hodnoty pro další dva typy dotazů. U fuzzy dotazů byly zadány hodnoty fuzzy prahu uvedené v tabulce 4.2. Pro prahy klasických ostrých dotazů byly nakonec použity tři hodnoty vycházející z tabulky 4.1 a byly tedy provedeny tři klasické dotazy nad vrstvami sklonu a vzdálenosti tak, aby bylo možno dobře porovnat rozdíly mezi ostrými dotazy a dalšími dvěma typy dotazů. Fuzzy a posibilistický dotaz byly provedeny pro obě vrstvy pouze jednou. Postupy provedení dotazů jsou uvedeny v následující sekci 4.2.

Tabulka 4.1: Hodnoty fuzzy čísel pro posibilistické prahy

	minimum	střední hodnota	maximum
vzdálenost od vody	150 m	500 m	750 m
sklon terénu	3°	2°	1°

Tabulka 4.2: Hodnoty fuzzy prahu

	nejlepší řešení	nejméně vhodné řešení
vzdálenost od vody	>750 m	<150 m
sklon terénu	<1°	>3°

K zadání podmínek pro vrstvu využití půdy se muselo přistoupit odlišně, neboť, jak bylo zmíněno výše, představuje odlišný typ dat. Pro tuto vrstvu tedy nebyly zadávány prahové hodnoty, ale pro jednotlivé kategorie využití půdy byly stanoveny výsledné hodnoty míry vhodnosti přímo. Tabulka 4.3 znázorňuje tyto hodnoty pro všechny kategorie využití půdy zastoupené v zájmovém území.

Tabulka 4.3: Hodnoty míry vhodnosti kategorií využití půdy

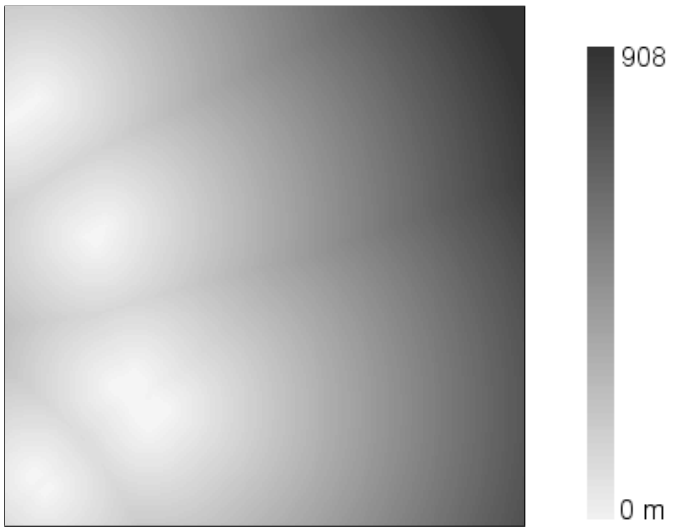
kategorie využití půdy	ostrý dotaz	fuzzy	possibility	necessity
vodní plochy	0	0	0	0
zatravněné plochy	1	1	1	1
orná půda	1	1	0.75	0.25
křovinaté lesní oblasti	0	0.66	0.85	0.5
lesní oblasti se stromy	0	0.33	0.4	0.1

Míra vhodnosti dané kategorie byla přiřazena podle nákladů spojených s úpravou terénu (např. kácení stromů) a také z hlediska ekologického. Za nejvhodnější byla považována kategorie zatravněných ploch. Nejméně vhodné byly lesní oblasti se stromy, vodní plochy byly logicky označeny jako absolutně nevhodné ve všech typech dotazů. Spornou kategorií byla orná půda - zatímco náklady spojené s úpravou terénu jsou v jejím případě nízké, z hlediska ekologické i ekonomického není vhodné přetvářet ornou půdu na skládku odpadu. Tento rozpor lze dobře vyjádřit v posibilistickém dotazu nastavením vysoké hodnoty possibility a nízké hodnoty necessity.

Míry vhodnosti kategorií využití půdy pro fuzzy dotaz byly stanoveny pomocí lineární fuzzy funkce v programu ArcGIS pomocí nástroje *Fuzzy Membership*. Podrobnější postup je uveden v sekci 4.2.

4.2 Dílčí dotazy

Tato sekce se zabývá vlastním dotazováním pomocí zvolených metod s prahovými hodnotami zadanými v sekci 4.1. Před vlastním dotazováním bylo třeba z původních dat vytvořit odvozené vrstvy, nad kterými pak dotazy probíhaly. Tyto úpravy probíhaly v programu ArcGIS (viz kapitola 2) pomocí nástrojů z extenze *Spatial Analyst Tools*. Z digitálního modelu reliéfu byla odvozena vrstva sklonu terénu nástrojem *Surface→Slope*. Z vrstev CLC byly vybrány vodní plochy a pomocí nástroje *Distance→Euclidean Distance* byla spočítána vzdálenost od těchto ploch. Nakonec byly vybrané vrstvy z CLC převedeny z vektorové podoby na rastr nástrojem *To Raster→Polygon to Raster* z toolboxu *Conversion Tools*. Obrázek 4.1 ukazuje originální rastr vzdálenosti od vody. Zbývající původní rastry lze nalézt v příloze 1. Následuje popis vlastního dotazování. Z výsledků dotazování je vždy uveden pouze jeden, a to vzdálenost od vody. Všechny ostatní dílčí výsledky lze nalézt v elektronické podobě v příloze 4.



Obrázek 4.1: Vzdálenost od vody - původní data

4.2.1 Ostrý dotaz

Jak bylo zmíněno v sekci 4.1, ostrý dotaz byl na datech sklonu a vzdálenosti proveden třikrát pro každou vrstvu. Dotazy označené číslem 1 mají nejstriktnější prahy (tedy sklon terénu $<1°$ a vzdálenost od vody >750 m), dotazy s číslem 2 mají středně omezující prahy (sklon terénu $<2°$ a vzdálenost od vody >500 m) a dotazy číslo 3 mají nejmírnější prahy (sklon terénu $<3°$ a vzdálenost od vody >150 m). Podmínky pro vrstvu využití půdy byly stanoveny pouze jednou.

Výběr ploch, které splňují uvedené podmínky, byl proveden nástrojem *Reclass→Reclassify*, kde byla pixelům splňujícím podmínky přiřazena hodnota 1 a ostatním pixelů hodnota 0. Tento postup byl zopakován pro všechny rastry. Obrázek 4.2 ukazuje výsledek dotazu na vzdálenost od vody ve variantě 2.

Obrázek 4.2: Vzdálenost od vody varianta 2

4.2.2 Fuzzy dotaz

Dotazy na datech sklonu terénu a vzdálenosti od vody byly provedeny nástrojem *Overlay→Fuzzy Membership*. V nastavení tohoto nástroje bylo třeba nastavit vstupní rastr (sklon a vzdálenost), dále algoritmus, který vstupní data převede, a poté tzv. minimum a maximum - těm se přiřadily hodnoty z původního rastru. Minimum představuje hodnotu, které nástroj přidělí stupeň příslušnosti 0 a maximum je hodnota, které je přiřazen stupeň příslušnosti 1. Hodnoty zadané jako minimum a maximum ukazuje tabulka 4.2 v sekci 4.1.

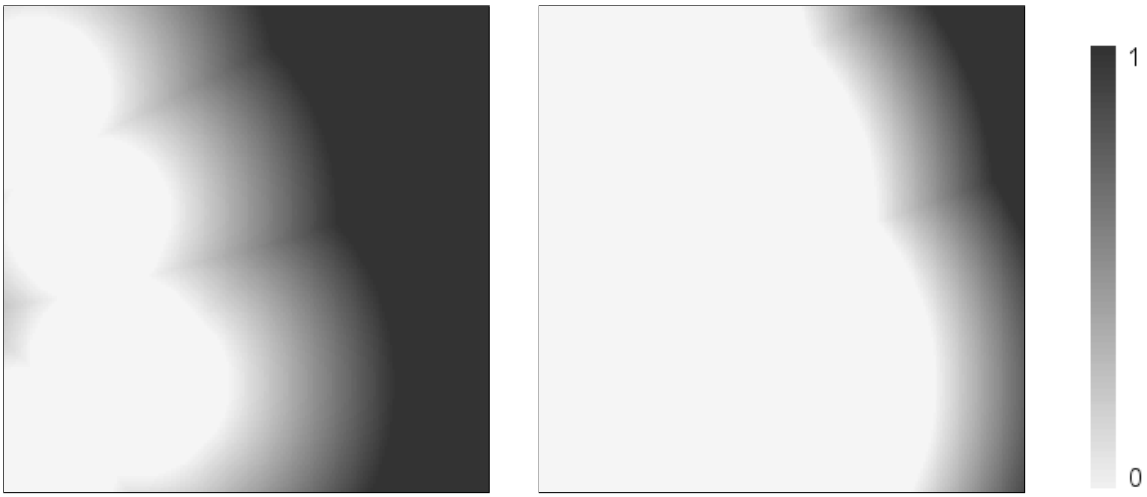
Dotaz na datech využití půdy probíhal obdobným způsobem. Nejprve byl však rastr převzorkován a jednotlivým kategoriím byly přiřazeny hodnoty $0-3$ podle jejich vhodnosti. Poté proběhlo nastavení hodnot popsané výše - minimum bylo nastaveno jako 0 a maximum jako 3. Výsledné hodnoty lze nalézt v tabulce 4.3. Obrázek 4.3 ukazuje výslednou míru vhodnosti vzdálenosti od vody.

Obrázek 4.3: Vzdálenost od vody (fuzzy)

4.2.3 Posibilistický dotaz

K dotazům tohoto typu byl použit skript vytvořený Janem Cahou (viz kapitola 2). Nejprve bylo nutné exportovat rastry vzdálenosti a sklonu z programu ArcGIS a uložit je ve formátu ASCII. K tomuto byl použit nástroj *From Raster→Raster to ASCII* z toolboxu *Conversion Tools*. Tyto ASCII soubory sloužily jako vstupní data skriptu a bylo u nich třeba zkontrolovat, zda mají jako oddělovač desetinných čísel tečku.

Po zadání prahových hodnot jako fuzzy čísel z tabulky 4.1 a nastavení, zda mají být hodnoty vyšší či nižší než zadaný práh, byl skript spuštěn a poskytl výsledky. Zatímco při předchozích dotazech byl výsledkem vždy jeden rastr s určitou mírou vhodnosti pro každý pixel, při posibilistickém dotazu vznikly rastry dva s hodnotou possibility a necessity, jejichž hodnoty představují míru vhodnosti daného pixelu. Obrázek 4.4 a ukazuje výslednou míru vhodnosti vzdálenosti od vody.



Obrázek 4.4: Vzdálenost od vody (vlevo - possibility, vpravo - necessity)

4.3 Výsledky

Hlavní výsledky vznikly kombinací dílčích dotazů popsaných výše. Ke kombinaci těchto dotazů byly použity dva agregační operátory Hamacher a OWA (popsané v kapitole 3, sekce 3.4). Výsledky představují míru vhodnosti pixelů pro založení skládky odpadu.

4.3.1 Výsledky dotazů - agregační operátor Hamacher

Výsledky spočítané pomocí tohoto operátoru jsou na obrázcích 4.6, 4.7. Výsledek na obrázku 4.5 byl získán násobením dílčích výsledků v nástroji *Rastr Calculator*.

Na výsledek tohoto dotazu měla vliv především vzdálenost od vody a poté využití půdy. Podmínku sklonu svahu ve variantě 2 splňovalo poměrně dost pixelů (viz příloha 4), jako nejvíce omezující se ukázala vzdálenost od vody. Podmínky pro variantu 1

byly natolik striktní, že se v zájmovém území nenašla žádná plocha, která by splňovala všechny tři podmínky dílčích dotazů. Variantu 3 tohoto dotazu lze nalézt v příloze 1.

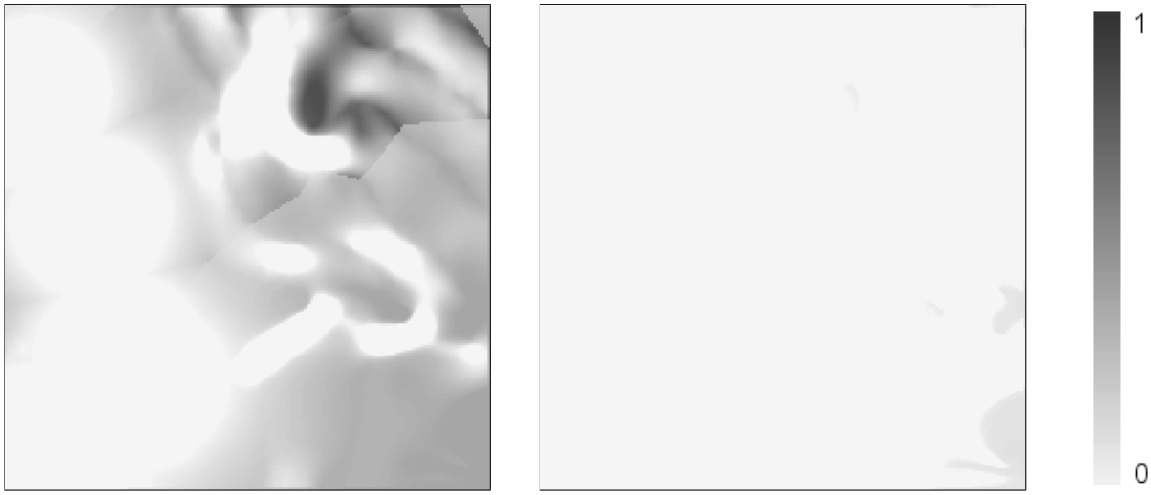
Obrázek 4.5: Výsledek - klasický dotaz (varianta 2)

Na rozdíl od předchozího dotazu neměla na výsledek fuzzy dotazu největší vliv vzdálenost od vody, ale spíše využití půdy, jak je vidět z poměrně ostrých přechodů hodnot na obrázku 4.6 - to je dáno povahou vstupních dat. Poněkud více ovlivnil výslednou míru vhodnosti i sklon svahu. Z výsledku fuzzy dotazu je také znát vliv použitého agregačního operátoru.

Obrázek 4.6: Výsledek - fuzzy dotaz

Výsledné hodnoty possibility z dotazu pomocí teorie možnosti (obrázek 4.7) se svým rozložením podobají výsledkům fuzzy dotazu. Toto je dáno podstatou použitých prahů v těchto dotazovacích metodách. Hodnoty míry vhodnosti u posibilistického dotazu (possibility) jsou v celém zájmovém území vyšší, než u fuzzy dotazu. Velmi odlišný je výsledek posibilistického dotazu - necessity. Zatím co possibility představuje možné řešení, necessity znamená velmi dobré, preferované řešení a jak je

vidět z obrázku 4.7 vlevo, preferované parametry (tj. prahové hodnoty) se ukázaly být příliš striktní a v daném zájmovém území se nenachází žádné vysoce preferované plochy. Ale z hodnot possibility a fuzzy je vidět, že se v lokalitě nachází plochy, které představují možné řešení, i když ne zcela ideální.



Obrázek 4.7: Výsledek - posibilistický dotaz (vlevo - possibility, vpravo - necessity)

4.3.2 Výsledky dotazů - agregační operátor OWA

Obrázky 4.8 a 4.9 ukazují výsledky vytvořené pomocí agregačního operátoru OWA. Při použití tohoto operátoru měla největší vliv na výsledek vrstva využití půdy, a to u fuzzy dotazu a u possibility a výrazněji se na výsledku podepsal také sklon svahu. Vzdálenost od vody velký vliv neměla, neboť její hodnoty byly ve většině území nižší a byla jim tedy přiřazena nižší váha.

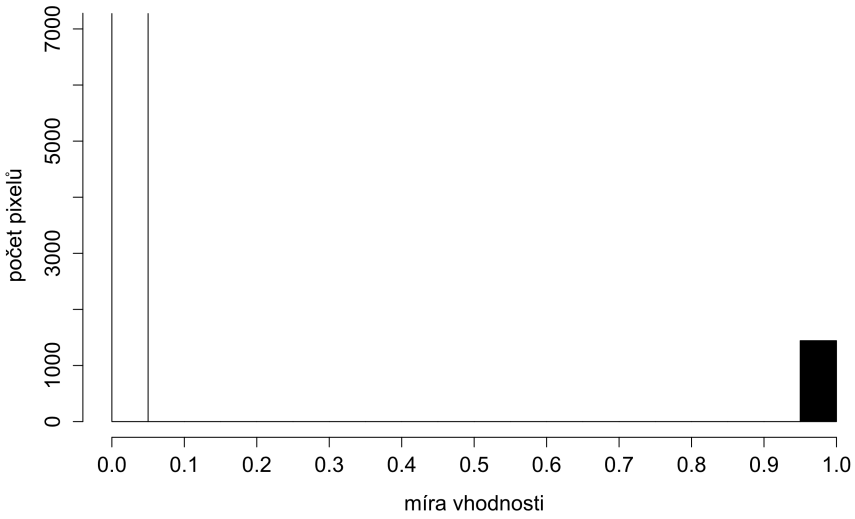
Na výsledek s hodnotou necessity (obrázek 4.9 vpravo) měly vliv přísně zadané parametry prahů - na většině území nebyly podmínky splněny, tudíž ve výsledku má většina pixelů hodnotu 0. Využití půdy zde nehrálo větší roli, více se zde uplatnil vliv sklonu svahu a vzdálenosti od vody.

Obrázek 4.8: Výsledek - fuzzy dotaz

Obrázek 4.9: Výsledek - posibilistický dotaz (vlevo - possibility, vpravo - necessity)

4.3.3 Porovnání pomocí histogramů

Výsledné rastry měly rozměry 200x200 pixelů. Ve všech výsledcích mělo mnoho pixelů hodnotu 0. Jelikož hodnota 0 představovala nevhodné řešení a při srovnávání šlo především o zjištění rozložení hodnot větších než 0 - tedy představujících možné řešení, byla tomuto přizpůsobena tvorba histogramů. Počet zobrazovaných pixelů byl shora omezen, aby vynikly rozdíly mezi počtem pixelů s hodnotami vyššími než 0. Obrázek 4.10 ukazuje rozložení hodnot výsledku klasického ostrého dotazu se středně omezujícími prahovými hodnotami. Ve výsledku tohoto dotazu se objevují pouze hodnoty 0 a 1. Tento histogram se vztahuje k obrázku 4.5. Histogramy dalších variant dotazu lze nalézt v příloze 1.

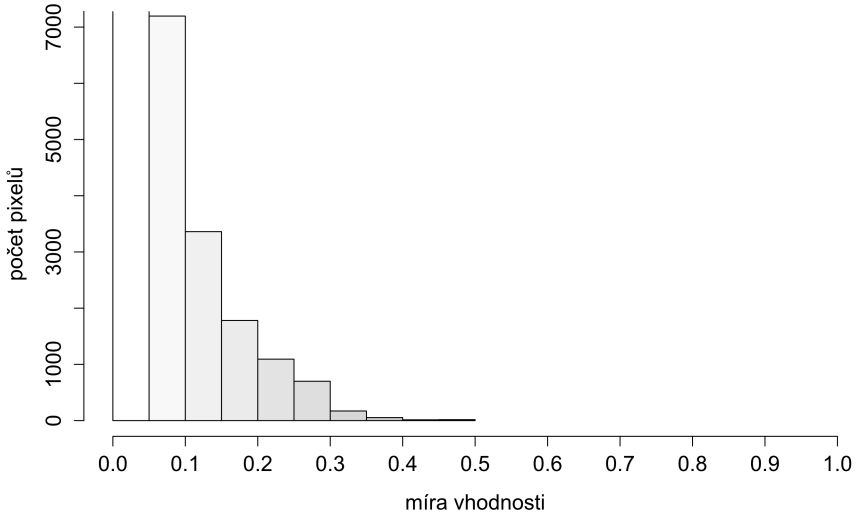


Obrázek 4.10: Histogram výsledku (ostrý dotaz - varianta 2)

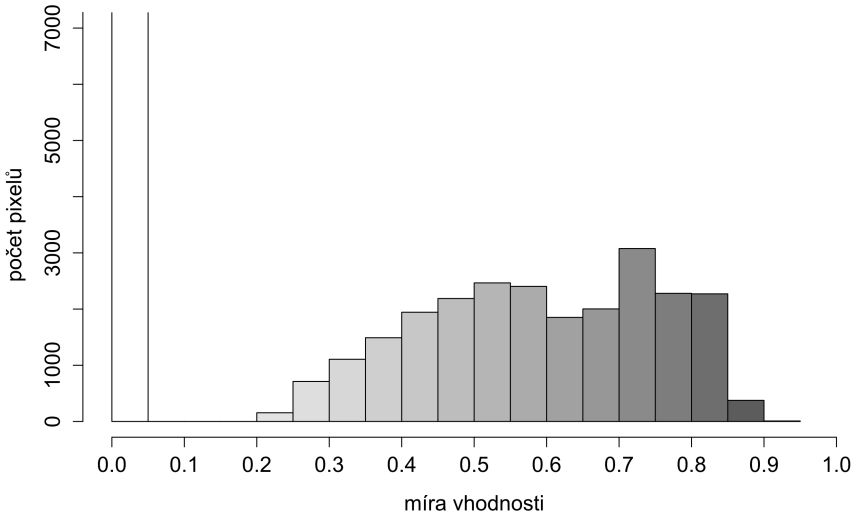
Obrázky 4.11 a 4.12 ukazují rozložení hodnot ve výsledcích fuzzy dotazu. Toto rozložení odpovídá chování agregačních operátorů. Výsledek sestavený pomocí ope-

rátoru Hamacher (obrázek 4.11) obsahuje vetší množství nízkých hodnot, neboť se v zájmovém území nachází jen málo pixelů, které by měly vysokou míru vhodnosti ve výsledcích všech třech dílčích dotazů. Tento výsledek fuzzy dotazu je "pesimistický", protože jedna nízká hodnota pixelu v dílčím výsledku podstatně sníží hodnotu pixelu v celkovém výsledku. Nejvyšší dosažená míra vhodnosti u tohoto výsledku byla 0.48. Histogram z obrázku 4.11 se vztahuje k výsledku na obrázku 4.6.

Výsledek sestavený pomocí OWA operátoru (obrázek 4.12) představuje "optimistický" výsledek. Tento operátor přiřadil větší váhy vyšším hodnotám míry vhodnosti v dílčích výsledcích - pokud tedy byla alespoň jedna vstupní hodnota vysoká, měla na výslednou hodnotu velký vliv a naopak nízká hodnota výsledek příliš nesnížila. Do tohoto operátoru byla také zařazena podmínka zachování hodnoty 0 (viz. sekce 3.4). Nejvyšší dosažená míra vhodnosti u tohoto výsledku byla 0.91. Histogram z obrázku 4.12 se vztahu je k výsledku na obrázku 4.8.

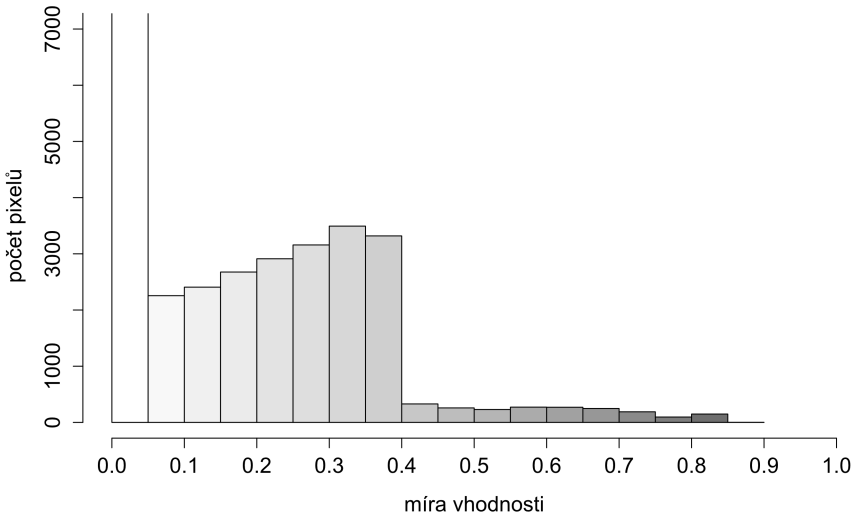


Obrázek 4.11: Histogram výsledku (fuzzy - Hamacher)

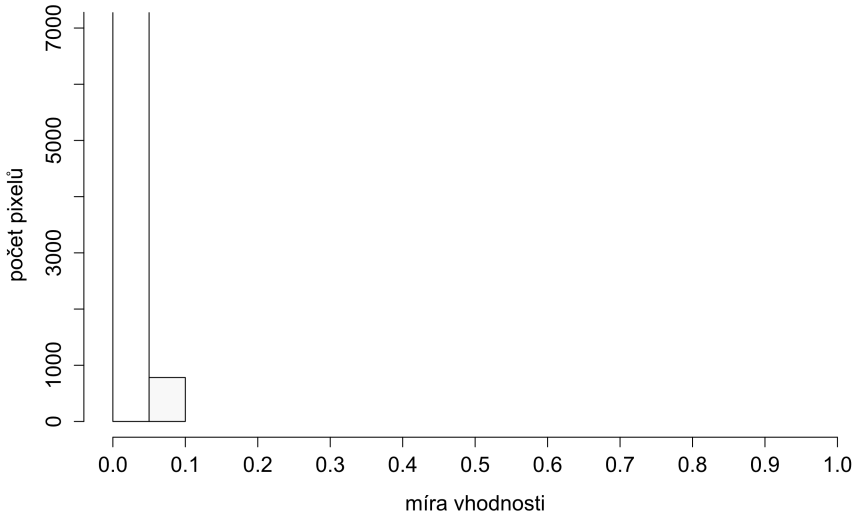


Obrázek 4.12: Histogram výsledku (fuzzy - OWA)

Pro výsledky posibilistického dotazu sestaveného pomocí agregačního operátoru Hamacher (obrázky 4.13 a 4.14) platí stejné chování tohoto operátoru, které bylo popsáno výše. V případě necessity (obrázek 4.14) je výsledná míra vhodnosti velmi nízká, za což mohou kromě vybraného operátoru také prahové hodnoty nastavené u dílčích dotazů. Nejvyšší dosažené míry vhodnosti byly 0.86 u possibility a jen 0.01 u necessity.



Obrázek 4.13: Histogram výsledku (possibility - Hamacher)

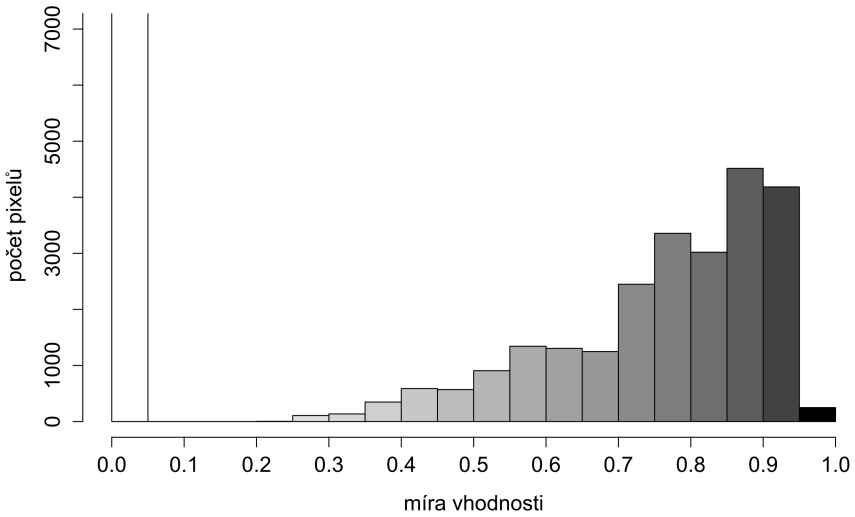


Obrázek 4.14: Histogram výsledku (necessity - Hamacher)

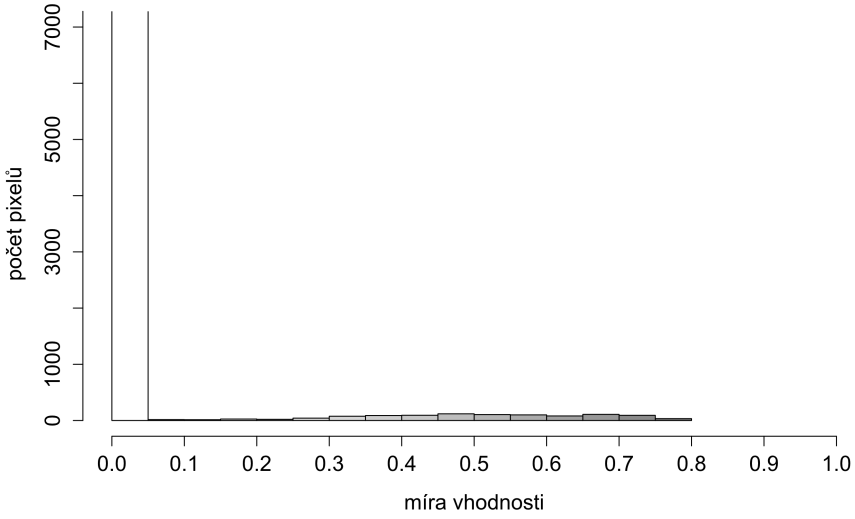
Obrázky 4.15 a 4.16 ukazují rozložení hodnot výsledků posibilistického dotazu sestavených operátorem OWA. Rozložení hodnot výsledku possibility (4.15) je podobné rozložení hodnot fuzzy výsledku (obrázek 4.12) ale je zde více pixelů s mírou vhodnosti vyšší než 0.7. V tomto výsledku také dosáhla míra vhodnosti possibility hodnoty 1 na rozdíl od výsledku possibility sestaveného operátorem Hamacher (obrázek 4.13).

Rozložení hodnot výsledku necessity (obrázek 4.16) ukazuje, že použitím operátoru OWA bylo dosaženo vyšších hodnot míry vhodnosti než při použití operátoru

Hamacher, nicméně počet pixelů s těmito hodnotami je stále velmi nízký. Nejvyšší dosažená míra vhodnosti byla u výsledku necessity 0.79.



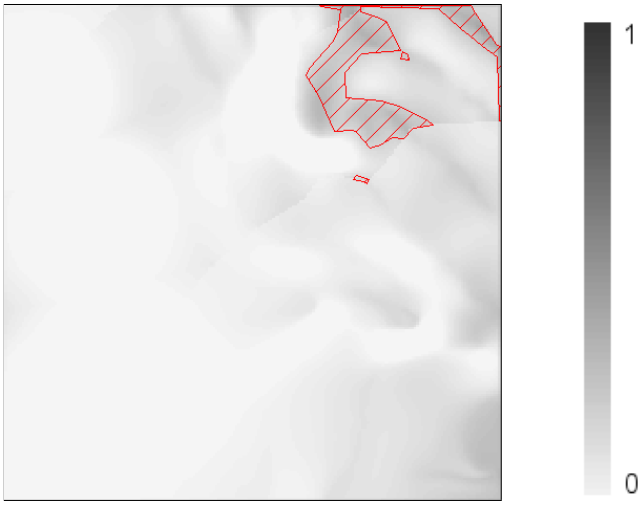
Obrázek 4.15: Histogram výsledku (possibility - OWA)



Obrázek 4.16: Histogram výsledku (necessity - OWA)

4.3.4 Srovnání s klasickým dotazem

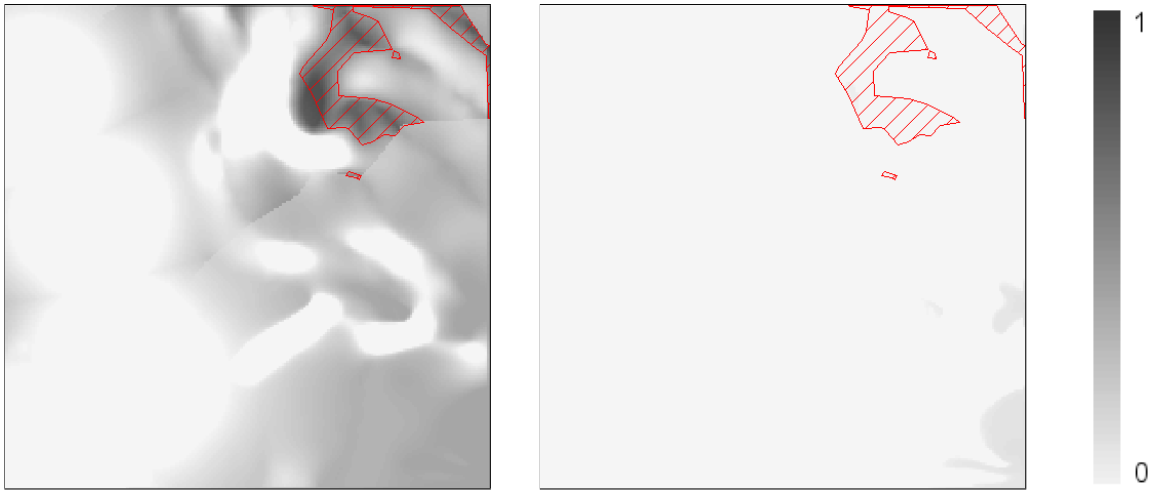
Obrázek 4.17 porovnává výsledek fuzzy a klasického ostrého dotazu. Podklad tvoří výsledek fuzzy dotazu a červeně šrafované oblasti představují výsledek ostrého dotazu - pixely, které měly hodnotu 1. Výsledek ostrého dotazu ukazuje souvislou oblast, v níž mají všechny pixely stejnou míru vhodnosti, avšak výsledek fuzzy dotazu pixelům ve stejné oblasti přiřadil rozdílnou míru vhodnosti. Míra vhodnosti ve výsledku fuzzy dotazu v červeně šrafované oblasti dosáhla hodnot okolo $0.4 - 0.5$, což je výsledek odpovídající zadaným prahovým hodnotám fuzzy dotazu a klasického dotazu varianty 2 (viz sekce 4.1).



Obrázek 4.17: Srovnání - výsledek ostrého (varianta 2) a fuzzy dotazu

Výsledky ostrého a posibilistického dotazu srovnává obrázek 4.18. Výsledek ostrého dotazu je opět znázorněn červeným šrafováním. Porovnání výsledku ostrého dotazu a possibility přináší podobné závěry jako porovnání s výsledkem fuzzy dotazu. Míra vhodnosti výsledku possibility ve šrafované oblasti je však vyšší a to mezi $0.7 - 0.8$

Míra vhodnosti výsledku necessity má ve všech pixelech ve šrafované oblasti hodnotu 0. Výsledek ostrého dotazu varianty 2 představuje středně vhodné řešení, jak vyplývá ze zadaných prahových hodnot, zatímco výsledek posibilistického dotazu necessity by měl představovat nejideálnější řešení. Výsledek necessity v tomto případě ukazuje vhodnou oblast úplně jinde než výsledek ostrého dotazu, nicméně vhledem k hodnotám míry vhodnosti dosahujícím maximálně 0.1, není tato oblast o mnoho vhodnější než oblast vybraná ostrým dotazem.



Obrázek 4.18: Srovnání - výsledek ostrého dotazu a possibility - vlevo, necessity - vpravo

Porovnání výsledků fuzzy a posibilistických dotazů s výsledky ostrého dotazu varianty 3 lze nalézt v příloze 1. Varianta 3 představuje ostrý dotaz s nejmírnějšími podmínkami.

5 PŘÍPADOVÁ STUDIE 2

Tato případová studie prezentuje různé metody dotazování na příkladu jednoduché analýzy - předmětem je hledání vhodného místa pro švestkový sad. Datové vrstvy vybrané pro tuto studii byly *nadmořská výška*, *orientace svahu ke světovým stranám* a *míra oslunění*. Opět se jedná o kombinovaný dotaz složený ze třech dílčích dotazů, avšak na rozdíl od předchozí studie zde nejsou využita kategorická data, ale pouze data spojitá. Dále se studie mírně liší v definici prahových hodnot a samotném způsobu dotazování, více o tomto v sekcích 5.1 a 5.2.

Výše zmíněné datové vrstvy představují pouze část podmínek, které jsou reálně zkoumány a hodnoceny při zakládání sadů. Kvůli lepší názornosti ukázkové studie byly také upraveny mezní hodnoty udávané jako hraniční pro pěstování švestek. Tato úprava se týká především nadmořské výšky a částečně i orientace svahu.

5.1 Stanovení prahových hodnot

Jak bylo naznačeno výše, v této případové studii bylo nutné zadat prahové hodnoty odlišným způsobem než v první případové studii. Důvodem byly podmínky pro pěstování švestek, kdy nadmořská výška nesmí být příliš velká, zároveň však nesmí být ani příliš nízká. Na rozdíl od první případové studie jsou zde požadované hodnoty někde uprostřed všech možných hodnot, zatímco v předchozím případě byly zájmové hodnoty vždy na začátku či na konci. Totéž platí i pro vrstvu orientace ke světovým stranám, která je vyjádřena ve stupních na kružnici, kde 0° znamená sever, 90° východ, 180° jih a 270° západ. Pro pěstování švestek byly označeny jako nejvhodnější svahy jižní, jihovýchodní a jihozápadní, tedy opět uprostřed stupnice hodnot.

Pro zpracování počítačem bylo nutné pro vrstvy nadmořské výšky a orientace svahů ke světovým stranám definovat dva prahy pro každou vrstvu a to u fuzzy dotazů i dotazů pomocí teorie možnosti. Použití těchto prahů v dotazech shrnuje sekce 5.2. Pro vrstvu míry oslunění byl zadán pouze jeden práh, neboť nejvhodnější hodnoty se nacházejí na konci stupnice. Tabulky 5.1 a 5.2 ukazují hodnoty posibilistických a fuzzy prahů.

Tabulka 5.1: Hodnoty fuzzy čísel pro posibilistické prahy

	minimum	střední hodnota	maximum
míra oslunění	2.5	3.0	3.75
nadmořská výška 1	200 m	275 m	350 m
nadmořská výška 2	650 m	575 m	500 m
orientace svahu 1	115°	155°	170°
orientace svahu 2	245°	215°	190°

Tabulka 5.2: Hodnoty fuzzy prahu

	nejlepší řešení	nejméně vhodné řešení
míra oslunění	> 3.75	< 2.5
nadmořská výška 1	> 350 m	< 200 m
nadmořská výška 2	< 500 m	> 650 m
orientace svahu 1	$> 170°$	$< 115°$
orientace svahu 2	$< 190°$	$> 245°$

Pro ostré dotazy byly v této případové studii opět definovány tři prahy pro každý dílčí dotaz s hodnotami vycházejícími z tabulky 5.1. Prahové hodnoty pro nadmořskou výšku a orientaci svahu vychází z reálných klimatických podmínek, které jsou příznivé pro pěstování švestek. Tyto hodnoty byly mimo jiné získány také z učebních textů Mendelovy univerzity (Nečas et al., 2004).

5.2 Dílčí dotazy

Před samotným dotazováním opět proběhla příprava datových vrstev. Z digitálního modelu reliéfu byly odvozeny vrstvy sklonu terénu a orientace svahu pomocí nástrojů *Surface* → *Slope* (sklon) a *Surface* → *Aspect* (orientace) z extenze *Spatial Analyst Tools*. Tyto dvě vrstvy byly použity pro výpočet míry oslunění podle tabulky 5.3.

Tabulka 5.3: Míra oslunění georeliéfu (Zdroj:Vysoudil (2007))

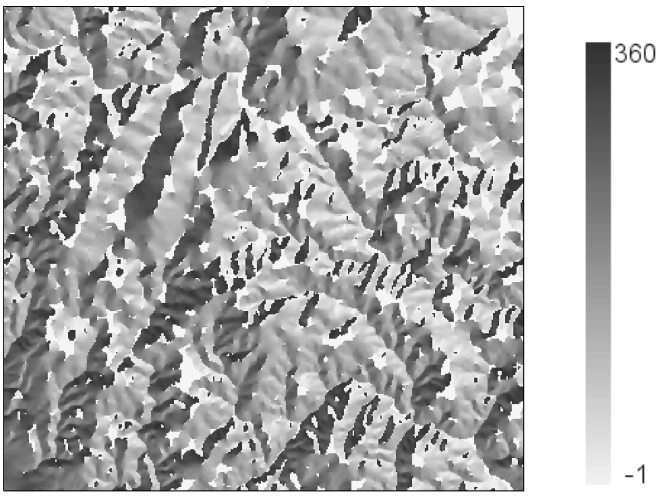
	Orientace svahů			
sklon svahu	sever	východ	jih	západ
$< 5°$	3	3	3	3
$5.1 - 10°$	2	3	4	3
$10.1 - 15°$	2	3	4	3
$15.1 - 20°$	1	3	5	3
$> 20°$	1	4	5	4

K tomuto výpočtu byly použity nástroje *Reclass* → *Reclassify* a *Map Algebra* → *Raster Calculator*. Pomocí *Reclassify* byla vstupní vrstva sklon převedena do pěti intervalů s hodnotami $1 - 5$ a vrstva orientace do čtyř intervalů s hodnotami

$10, 20, 30, 40$. Takto upravené vrstvy byly sečteny v nástroji *Raster Calculator* a výsledek byl znovu reklasifikován do 5 tříd podle tabulky 5.3. Nakonec byla vrstva převedena z kategorické stupnice na spojitou postupem, který používá ve své bakalářské práci Lenka Paclíková (Paclíková, 2012).

Obrázek 5.1 zobrazuje původní rastr orientace svahu. Ostatní zobrazení originálních vrstev je umístěno v příloze 2. Další části této sekce se věnují jednotlivým druhům dotazů a na ukázku je vždy zobrazen pouze jeden výsledek dílčího dotazu, zbývající jsou umístěny v digitální podobě v příloze 4.

Všechny dotazy proběhly nad původními vrstvami v celém jejich rozsahu, a až poté byla vybrána menší zájmová oblast, na které jsou představovány rozdíly v chování dotazovacích metod. Tato oblast byla vybírána tak, aby byly zdůrazněny rozdíly ve výsledcích dotazů a zároveň tak, aby byly výsledky pozitivní a dosáhly nejvyšší míry vhodnosti.

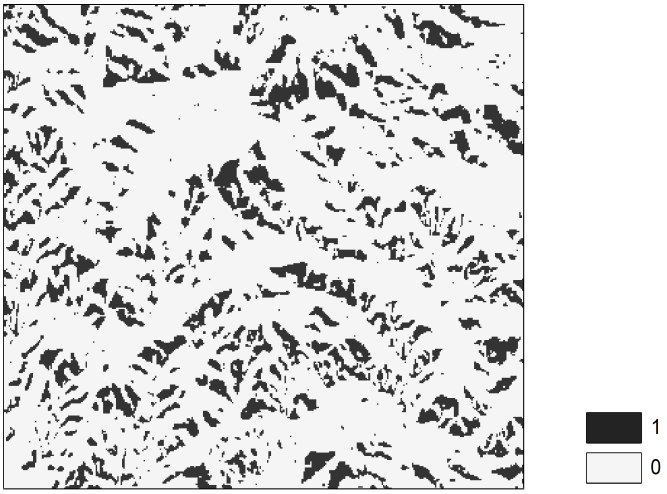


Obrázek 5.1: Orientace ke svahu ke světovým stranám - původní data

5.2.1 Ostrý dotaz

Klasický dotaz byl proveden ve třech variantách, kde varianta 1 představuje dotaz s nejpřísnějšími prahovými hodnotami (nadmořská výška $350 - 500$ m, míra oslunění > 3.75 a orientace svahu mezi $170 - 190°$), varianta 2 je dotaz se středními hodnotami prahů (nadmořská výška $275 - 575$ m, míra oslunění > 3.0, orientace svahu $155 - 215°$) a varianta 3 má nejmírnější prahové hodnoty (nadmořská výška $200 - 650$ m, míra oslunění > 2.5 a orientace svahu s hodnotami $115 - 245°$).

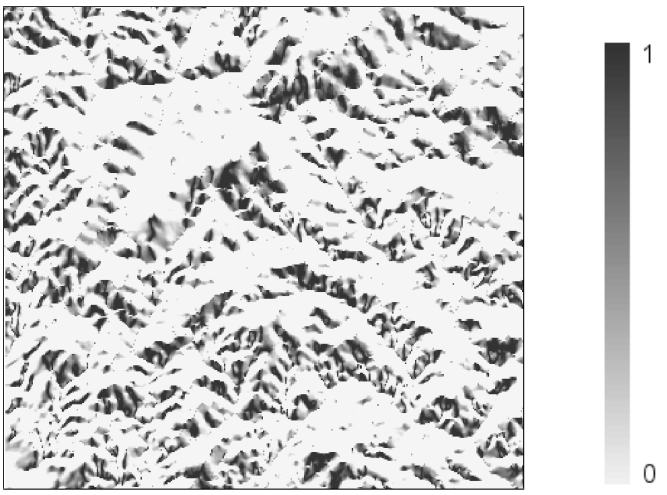
Tak jako v první případové studii i zde byl použit nástroj *Reclassify* k dosažení výsledku a hodnota 1 byla přiřazena pixelům splňujícím zadané podmínky, všem ostatním byla přiřazena 0. Zatímco v prvním případě bylo použito při reklasifikaci dělení jen na dvě kategorie, v této případové studii byla původní data orientace a nadmořské výšky rozdělena do třech kategorií, kdy první a třetí byla přiřazena hodnota 0 a prostřední kategorii hodnota 1. Obrázek 5.2 ukazuje výsledek dílčího dotazu nad vrstvou orientace svahů.



Obrázek 5.2: Orientace svahu varianta 2

5.2.2 Fuzzy dotaz

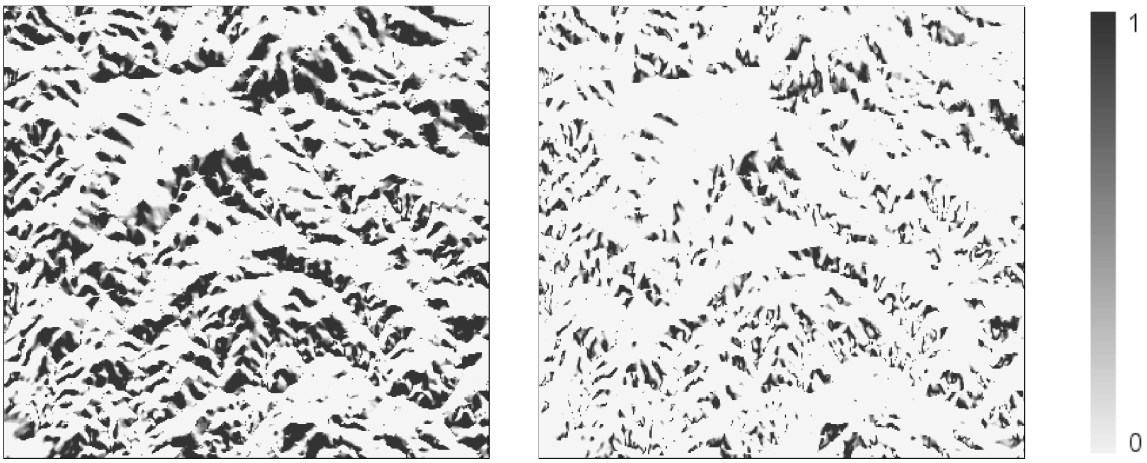
Jak bylo zmíněno výše, k dotazování v této případové studii bylo nutné přistoupit odlišně. Protože bylo nutné zadat u orientace svahu a nadmořské výšky dva prahy, bylo také nutné provést dva dotazy pro obě tyto vrstvy. Dotazy byly provedeny pomocí nástroje *Fuzzy Membership*, jež byl popsán už v předchozí případové studii v sekci 4.2. Hodnoty z tabulky 5.2 označené jako nejlepší řešení byly nastaveny jako maximum a hodnoty označené jako nejméně vhodné řešení byly nastaveny jako minimum. Takto tedy vznikly vždy dva výsledky pro orientaci svahu i nadmořskou výšku a do výsledného dílčího dotazu byly spojeny násobením v nástroji *Raster Calculator*. Dotazování nad vrstvou oslunění proběhlo pouze jednou. Na obrázku 5.3 je znázorněn výsledek fuzzy dotazu nad vrstvou orientace svahů.



Obrázek 5.3: Orientace svahu (fuzzy)

5.2.3 Posibilistický dotaz

K dotazování pomocí teorie možnosti byl opět použit skript Jana Cahy. Tento skript řešil jak výpočet possibility a necessity v případě, kdy byl zadán jeden práh (míra oslunění), tak i v případě, kdy byly zadány prahy dva (orientace svahu a nadmořská výška). V této případové studii byly hodnoty possibility a necessity u všech dílčích dotazů zjišťovány porovnáním konkrétní hodnoty pixelu v původních datech s posibilistickým prahem (více viz kapitola 3) a výsledné hodnoty tak splňují podmínku, kdy hodnota necessity je větší než 0 až v případě, že hodnota possibility dosáhla v konkrétním pixelu hodnoty 1. Splnění této podmínky dokládá obrázek 5.4, který zobrazuje výsledky dotazu pomocí teorie možnosti nad vrstvou orientace svahů.



Obrázek 5.4: Orientace svahu (vlevo - possibility, vpravo - necessity)

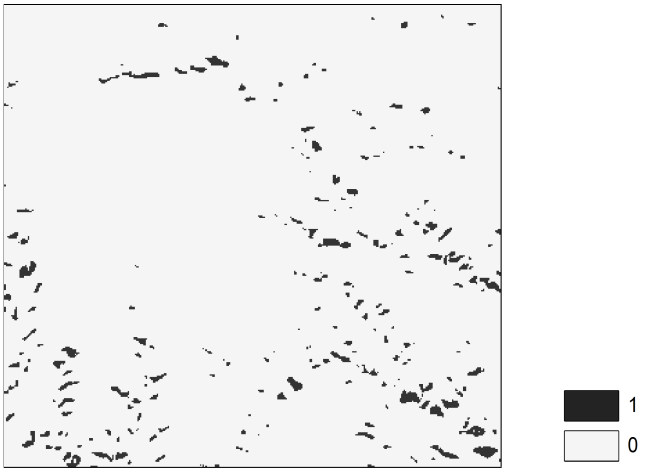
5.3 Výsledky

V této případové studii byly ke kombinaci dílčích dotazů použity stejné agregační operátory jako v první - tedy Hamacher a OWA (viz kapitola 3, sekce 3.4).

5.3.1 Výsledky dotazů - agregační operátor Hamacher

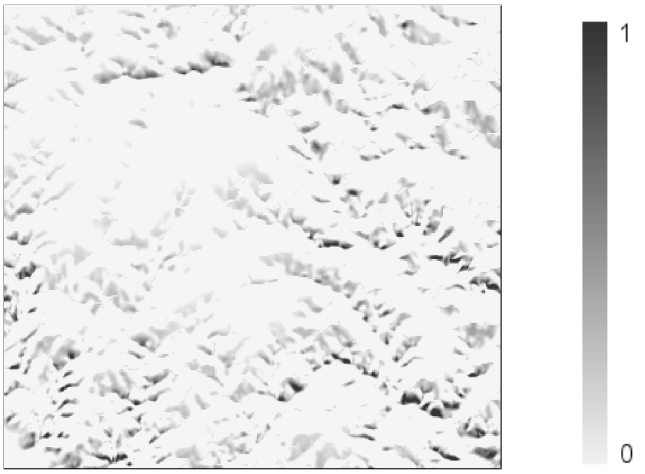
Obrázky 5.6 a 5.7 ukazují výsledky dotazů vzniklé použitím operátoru Hamacher. Obrázek 5.5 ukazuje výsledek ostrého dotazu (varianta 2), který byl získán násobením dílčích výsledků v nástroji *Rastr Calculator*.

Na výsledek klasického (ostrého) dotazu měly vliv především vrstvy orientace svahu a míry oslunění, které vlivem zadaných prahových hodnot způsobily roztroušení ploch splňujících podmínky dotazu tak, jak je vidět z obrázku 5.5. Nadmořská výška měla vliv spíše umístění těchto ploch v zájmovém území, neboť ve variantě dva dílčího dotazu zabírala plocha s vhodnou nadmořskou výškou souvisle větší část území. Výsledky variant 1 a 3 lze nalézt v příloze 2.



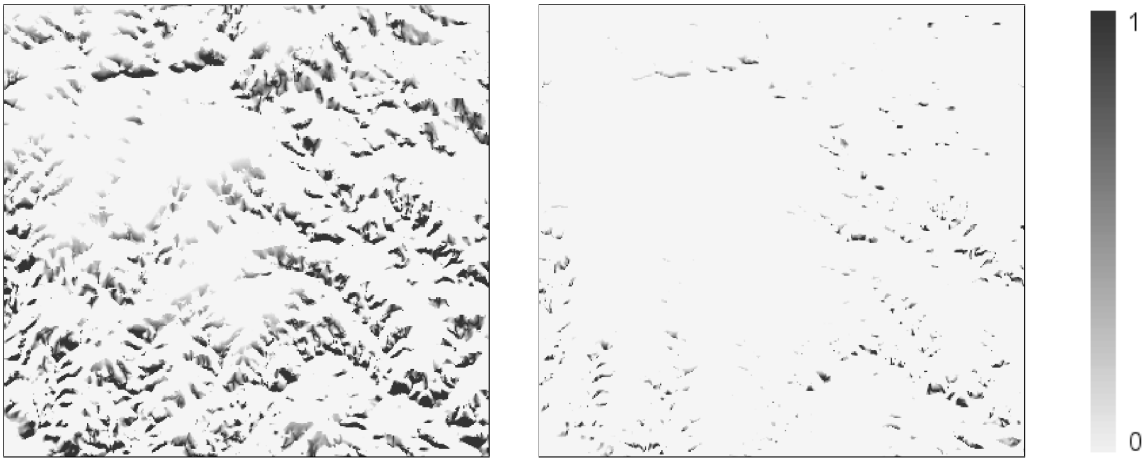
Obrázek 5.5: Výsledek - klasický dotaz (varianta 2)

Vliv původních vrstev a prahů zadaných při dotazech nad těmito vrstvami byl u fuzzy dotazu obdobný jako v případě ostrého dotazu. Z obrázku 5.6 je patrné, že v případě fuzzy dotazu vzniklo méně ploch s mírou vhodnosti 1, avšak nachází se zde více pixelů, jejichž míra vhodnosti je vyšší než 0 a tudíž představují částečně vhodné řešení, a to v místech, kde v klasickém dotazu byla hodnota 0 - tedy nevhodné řešení.



Obrázek 5.6: Výsledek - fuzzy dotaz

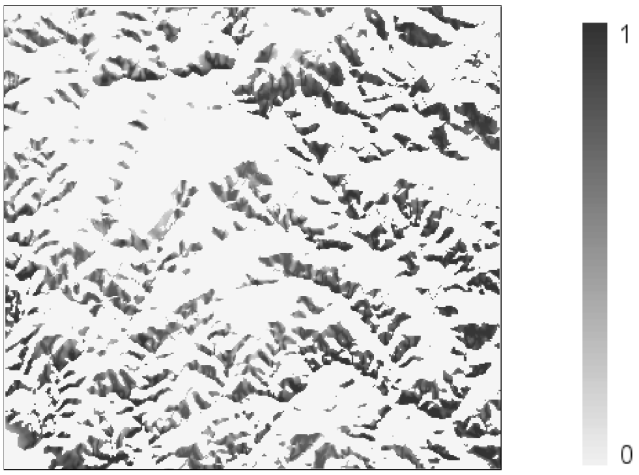
Hodnoty possibility a necessity výsledného dotazu odpovídají způsobu jejich zadání a získání, které bylo popsáno v sekci 3.3.2. Hodnoty výsledku tedy odpovídají podmínce, že necessity je větší než 0 až v případě, že se hodnota possibility rovná 1. Na rozdíl od předchozí případové studie byly podmínky (prahy) dotazů v této nastaveny tak, že byly v daném zájmovém území splněny a necessity dosáhla hodnoty 1. Výsledek necessity (obrázek 5.7 vpravo) představuje nejlepší řešení - nejvhodnější plochy pro švestkový sad a obrázek 5.7 vlevo ukazuje na další možná umístění sadu, kde pixely s nízkou hodnotou possibility představují už krajně nevhodné řešení, ale stále ještě možné.



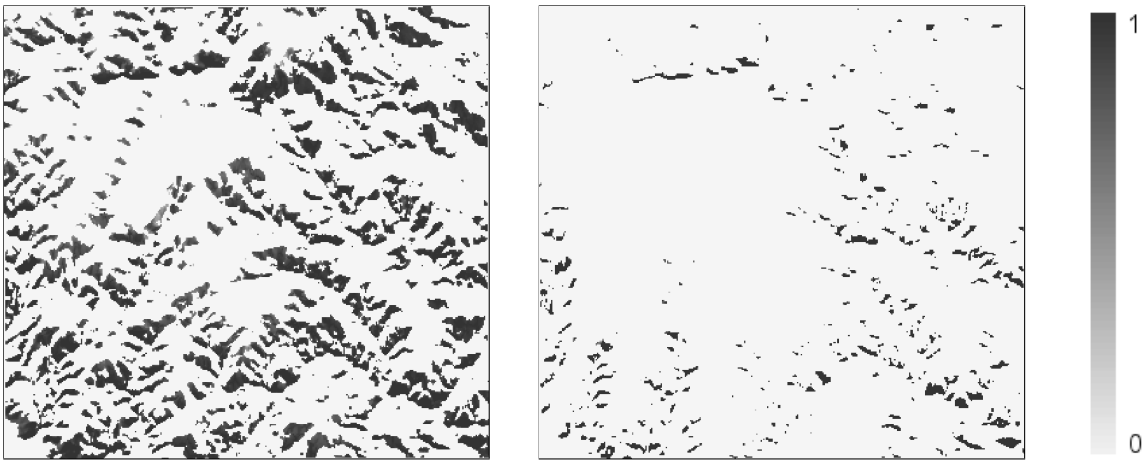
Obrázek 5.7: Výsledek - posibilistický dotaz (vlevo - possibility, vpravo - necessity)

5.3.2 Výsledky dotazů - agregační operátor OWA

Obrázky 5.8 a 5.9 ukazují výsledky vytvořené pomocí agregačního operátoru OWA. Vliv původních vrstev na výsledný dotaz (na rozložení nevhodných ploch s hodnotou 0 a vhodných ploch s hodnotou vyšší než 0) byl u tohoto operátoru podobný jako u výsledků z operátoru Hamacher. Hodnoty ve výsledných rastrech odpovídají chování operátoru OWA tak, jak byl zadán v kapitole 3. S tímto zadáním stačilo, aby jedna ze vstupních hodnot byla vysoká a výsledek byl označen jako příznivý a byla mu přiřazena vyšší míra vhodnosti.



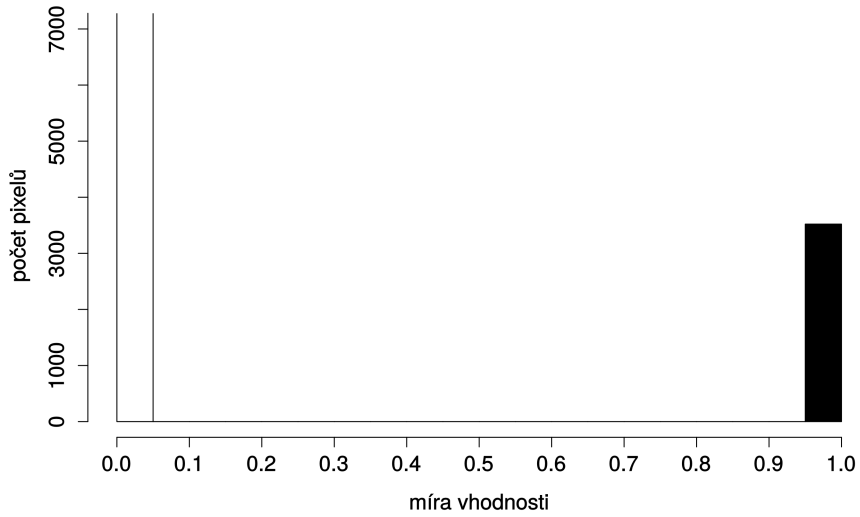
Obrázek 5.8: Výsledek - fuzzy dotaz



Obrázek 5.9: Výsledek - posibilistický dotaz (vlevo - possibility, vpravo - necessity)

5.3.3 Porovnání pomocí histogramů

Výsledné rastry měly rozměry 336x360 pixelů. Stejně jako v první případové studii i v této bylo žádoucí zjistit rozložení hodnot vyšších než 0. A protože pixelů s hodnotou 0 bylo ve všech výsledných rastrech výrazně více než ostatních pixelů, byly při tvorbě histogramů pixely s hodnotou 0 ignorovány a histogramy byly sestaveny tak, aby lépe zobrazovaly rozdíly mezi počty pixelů s hodnotami vyššími než 0. Obrázek 5.10 ukazuje rozložení hodnot výsledku klasického ostrého dotazu ve variantě 2. Jak vyplývá z povahy ostrého dotazu, výsledný rastr obsahoval pouze pixely s hodnotou 0 nebo 1. Histogram z obrázku 5.10 se vztahuje k výsledku z obrázku 5.5.

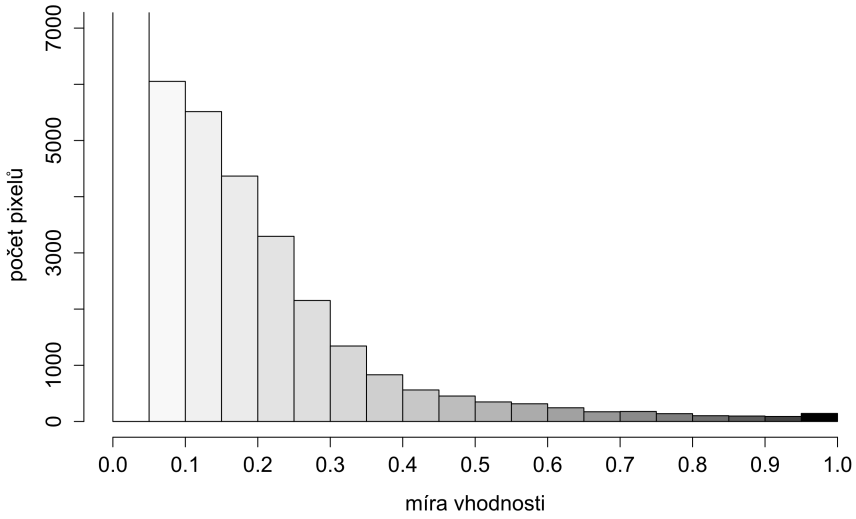


Obrázek 5.10: Histogram výsledku (ostrý dotaz - varianta 2)

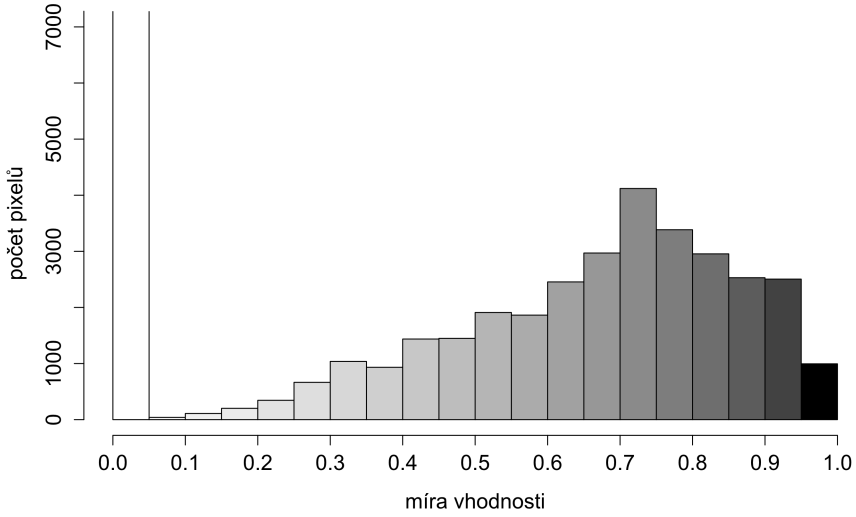
Obrázky 5.11 a 5.12 srovnávají výsledky fuzzy dotazu vytvořené agregačním operátorem Hamacher 5.11) a operátorem OWA (5.12). Rozložení hodnot v těchto výsledcích odpovídá nastavenému chování obou operátorů.

V porovnání s první případovou studií je rozložení hodnot rovnoměrnější. Tento rozdíl je důsledkem odlišných způsobů, kterými byly získány výsledky dílčích dotazů

v jednotlivých případových studiích. V první případové studii ovlivnil výsledky dílčí dotaz nad vrstvou kategorických dat (více viz kapitoly 3 a 4). V druhé případové studii se kategorická data nevyskytovala, všechny dílčí výsledky byly získány stejným způsobem, který pak v celkových výsledcích přispěl k rovnoměrnějšímu rozložení hodnot nezávisle na použitém agregačním operátoru. Histogram z obrázku 5.11 se vztahuje k výsledku na obrázku 5.6 a histogram z obrázku 5.12 se vztahuje k výsledku na obrázku 5.8.



Obrázek 5.11: Histogram výsledku (fuzzy - Hamacher)

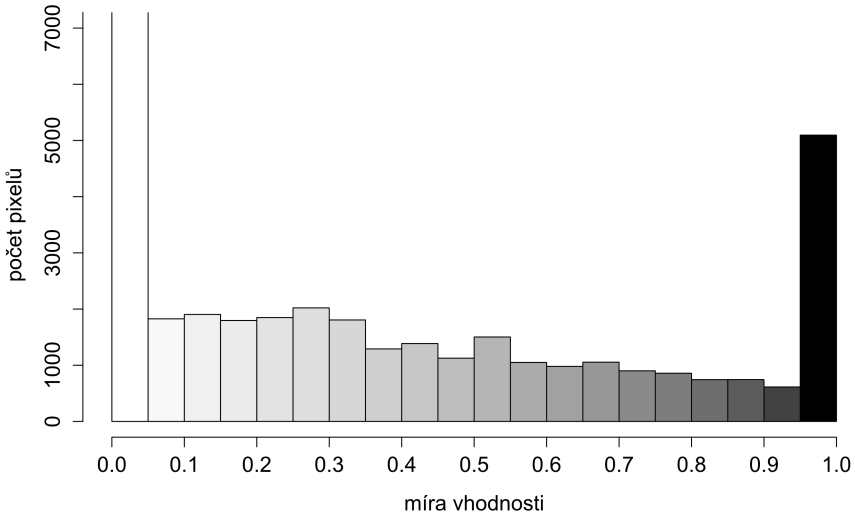


Obrázek 5.12: Histogram výsledku (fuzzy - OWA)

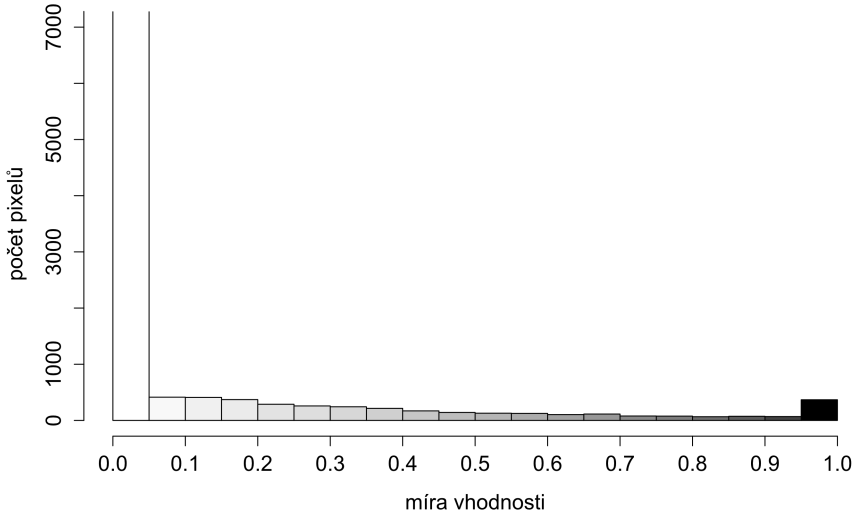
Výsledky posibilistického dotazu srovnávají obrázky 5.13 a 5.14 sestavené operátorem Hamacher a 5.15 a 5.16 vytvořené operátorem OWA. I zde je dobře vidět vliv obou operátorů na výsledky. Rozložení hodnot míry vhodnosti z operátoru Hamacher ukazuje převahu spíše nižších hodnot, ale na rozdíl od první případové studie zde byla dosaženo míry vhodnosti 1 u possibility i necessity.

V rozložení hodnot míry vhodnosti z operátoru OWA (obrázky 5.15 a 5.16) jsou výrazněji zastoupeny pixely s vysokou mírou vhodnosti, zatímco pixely s nízkou hodnotou se téměř nevyskytují. Tyto výsledky jsou velmi optimistické, neboť ukazují, že většina pixelů označených jako možné řešení (tedy majících hodnotu possibility větší než 0) je pro hledané řešení velmi vhodná.

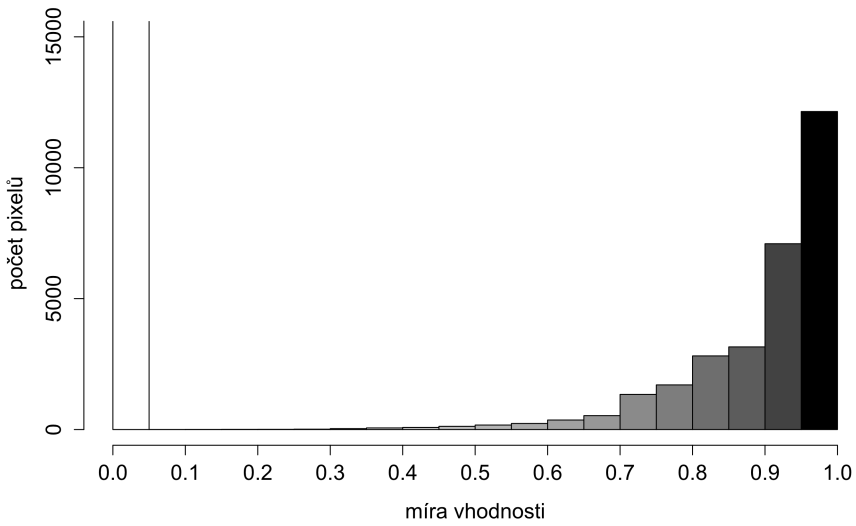
Velký rozdíl ve výsledcích obou operátorů je v poměru počtu pixelů s hodnotami possibility a necessity 1. Operátor OWA označil za velmi dobré řešení (tedy pixely s possibility 1) dvakrát více pixelů než operátor Hamacher a počet pixelů vybraných oběma operátory jako nejlepší řešení (pixely s hodnotou necessity 1) byl také dvojnásobný v případě operátoru OWA. V případě výsledku z operátoru OWA bylo sice jako velmi dobré řešení označeno velké množství pixelů, nicméně poměr těch, které nakonec dosáhly hodnoty necessity 1 byl mnohem menší, než ve výsledku operátoru Hamacher.



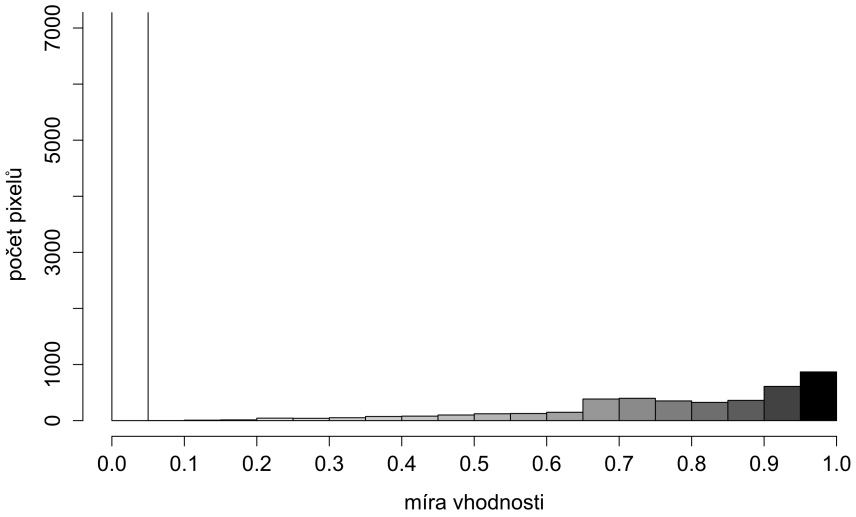
Obrázek 5.13: Histogram výsledku (possibility - Hamacher)



Obrázek 5.14: Histogram výsledku (necessity - Hamacher)



Obrázek 5.15: Histogram výsledku (possibility - OWA)



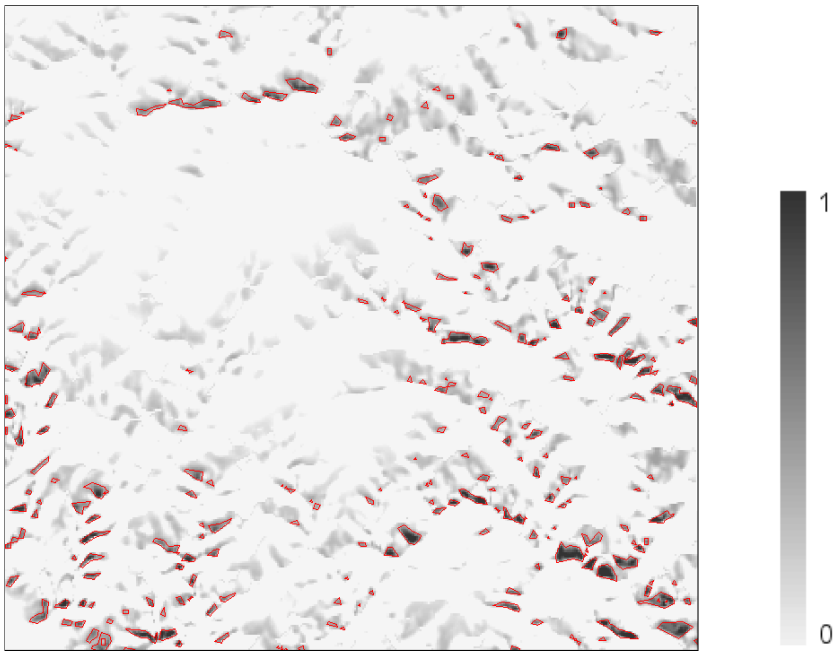
Obrázek 5.16: Histogram výsledku (necessity - OWA)

5.3.4 Srovnání s klasickým dotazem

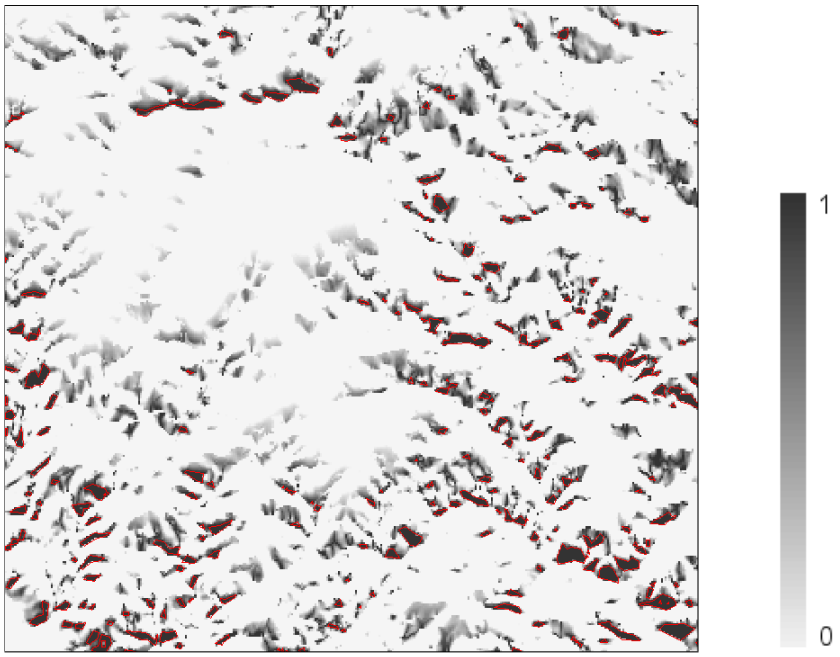
Stejně jako v první případové studii i zde probíhalo srovnání výsledků s ostrým dotazem varianty 2. Jak už bylo několikrát zdůrazněno, případová studie 2 neobsahovala kategorická data, a proto její výsledky trochu lépe ilustrují chování dotazovacích metod a rozdíly mezi nimi.

Na obrázku 5.17 je srovnáván výsledek ostrého dotazu s výsledkem fuzzy dotazu. Výsledky ostrého dotazu (pixely s hodnotou 1) jsou ohraničeny červenou čarou. Zobrazené výsledky vychází ze zadaných prahových hodnot dílčích dotazů. U ostrého dotazu byly jako prahy nastaveny hodnoty, které se u fuzzy prahu nachází zhruba v jeho polovině. Toto je zřejmé z obrázku 5.17, kde jsou pixely s hodnotami míry vhodnosti v intervalu okolo $0 - 0.5$ ve výsledku fuzzy dotazu mimo oblasti vybrané

ostrým dotazem. Naopak pixely s hodnotami okolo $0.5 - 1$ se nachází v oblastech, které byly ostrým dotazem vybrány.



Obrázek 5.17: Srovnání - výsledek ostrého a fuzzy dotazu

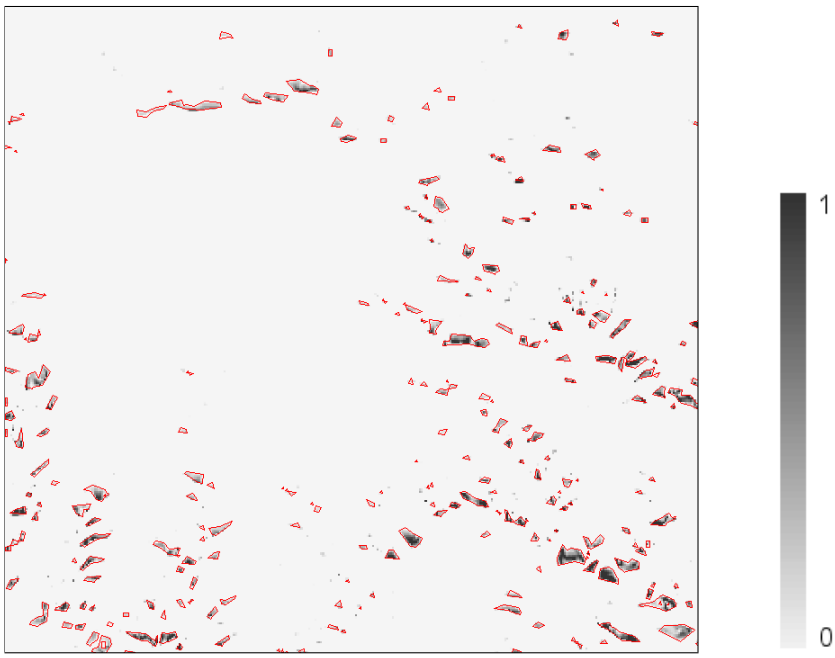


Obrázek 5.18: Srovnání - výsledek ostrého a posibilistického dotazu (possibility)

Obrázky 5.18 a 5.19 ukazují srovnání výsledků ostrého a posibilistického dotazu. V případě výsledku possibility má míra vhodnosti pixelů v oblastech shodných s výsledkem ostrého dotazu hodnotu 1. Tyto pixely představují docela vhodné řešení, stejně jako pixely s hodnotou 1 ve výsledku ostrého dotazu. Výsledek possibility (ob-

rázek 5.18) však ukazuje částečně vhodná řešení i za hranicemi oblastí vybraných ostrým dotazem.

Výsledek necessity (obrázek 5.19) ukazuje míru vhodnosti pixelů, které představují to nejlepší řešení. Tytéž pixely ukazuje i ostrý dotaz varianty 2, ale zatímco ve výsledku ostrého dotazu jsou všechny pixely považovány za stejně vhodné, ve výsledku posibilistického dotazu necessity mají pixely ve stejných oblastech různou hodnotu míry vhodnosti. Pixelům s mírou vhodnosti necessity 1 odpovídají oblasti vybrané ostrým dotazem varianty 1 (viz příloha 4).



Obrázek 5.19: Srovnání - výsledek ostrého a posibilistického dotazu (necessity)

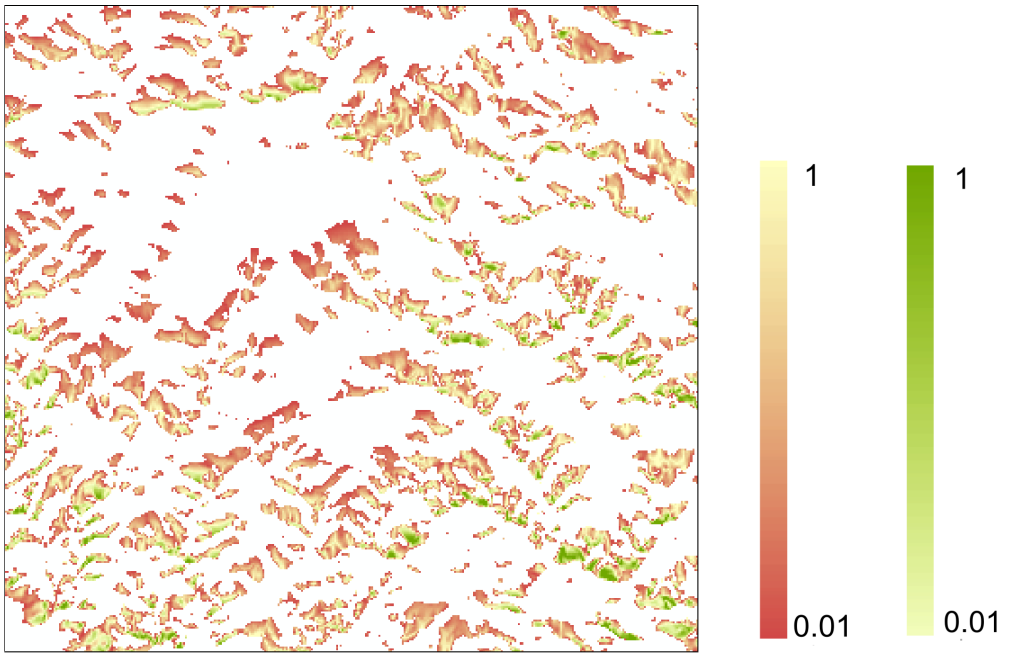
Srovnání výsledků fuzzy a posibilistických dotazů s ostrým dotazem varianty 3 je zahrnuto v příloze 2.

5.3.5 Spojení possibility a necessity

V této případové studii bylo možné spojit výsledky posibilistického dotazu possibility a necessity do jednoho rastru tak, jak je vidět na obrázku 5.20. Červenožlutá stupnice znázorňuje hodnoty possibility a žlutozelená hodnoty necessity. Pixelům s hodnotami possibility i necessity 0 nebyla zadána žádná barva.

Z tohoto spojení lze získat jasnější představu, jaké oblasti představují možné řešení a také vhodnost takového řešení. Červené oblasti (pixely s nízkou hodnotou possibility) představují hraniční řešení - v rámci této případové studie je tedy lze považovat za oblasti, ve kterých už je možné uvažovat o založení švestkového sadu, nicméně umístění sadu v těchto oblastech by bylo velmi nevýhodné. Se zvyšující se hodnotou possibility stoupá vhodnost oblastí pro založení sadu až do hodnoty possibility 1. Pixely s touto hodnotou značí oblasti, které jsou velmi vhodné pro založení švestkového sadu.

Tyto oblasti (s hodnotou possibility 1) se překrývají s pixely, které mají hodnotu necessity větší než 0. Hodnota necessity tedy udává a zpřesňuje míru vhodnosti pixelů označených hodnotou possibility 1 za výhodné pro založení sadu. Nejlepšími oblastmi pro založení švestkového sadu jsou tedy oblasti obsahující pixely s hodnotou necessity 1 (sytě zelené pixely).



Obrázek 5.20: Spojení výsledků posibilistického dotazu (stupnice vlevo - possibility, vpravo - necessity)

6 DISKUZE

Případové studie této práce byly sestaveny tak, aby simulovaly reálnou analýzu. Zároveň však byly oproti reálným studiím podobného typy zjednodušeny, neboť nebylo cílem této práce skutečně vyřešit konkrétní úlohy, kterými se studie zabývaly, ale poukázat na možnosti řešení pomocí soft computingových metod prostorového dotazování (tj. pomocí fuzzy dotazování a dotazování pomocí teorie možnosti). Z tohoto důvodu byla také pro dotazování vybrána volně dostupná data ArcČR 500 a data Corine Land Cover. Pro účely této práce byla tato data dostačující, ačkoliv existují podrobnější a přesnější datové sady. Všechny dotazy byly prováděny nad rastrovými daty, protože tato data jsou vhodnější pro způsob prostorového dotazování využívaný v této práci (viz kap. 3).

Prahové hodnoty jednotlivých dotazů byly zadávány s ohledem na reálnost a uvěřitelnost případových studií, nicméně ve skutečnosti se mohou od reálných hodnot lišit (platí hlavně pro případovou studii 2 - viz kap.5). Cílem bylo zadat prahy dotazů tak, aby vynikly odlišnosti jednotlivých dotazovacích metod.

Na celkové výsledky případových studií měly velký vliv zvolené agregační operátory. Cílem této práce nebylo najít nejvhodnější agregační operátor pro konkrétní případovou studii, ale zdůraznit, jakým způsobem může volba agregačního operátoru ovlivnit výsledek takového typu dotazování, které bylo prováděno v této práci. Z tohoto důvodu byly zvoleny agregační operátory Hamacher produkt a metoda pořadově vážených průměrů (OWA) a upraveny tak, aby bylo jejich chování a vliv na výsledek co nejvíce odlišné. Podmínkou však bylo, aby oba zachovávaly ve výsledku hodnotu 0, pokud jedna ze vstupních vrstev obsahovala hodnotu 0 (viz kap. 3).

Hodnocení výsledků metod bylo nutné provádět slovním popisem a vizuálním znázorněním. Porovnání pomocí nějaké objektivní metody nebylo možné uskutečnit, neboť podstata vzniku výsledků je rozdílná - u klasických dotazů je práh zadáván jako jedna ostrá hodnota, u fuzzy dotazů je to interval a u posibilistických dotazů je práh zadáván jako fuzzy číslo. Samotné dotazování (porovnání vstupní hodnoty s prahem) se liší podle použitého prahu a vzniklé výsledky mají rozdílnou informační hodnotu. Objektivní porovnání by v tomto případě nemělo smysl. K porovnání klasického dotazování a soft computingových metod byl použit pouze klasický dotaz s jedním prahem. Klasický dotaz s více prahy byl zmíněn v teoretické části práce, nicméně k dostatečnému porovnání metod jej nebylo třeba použít.

Tato diplomová práce byla zaměřena na představení alternativních metod dotazování nad ostrými daty. Ostrá data stále tvoří větší část dostupných dat a proto probíhalo dotazování právě nad takovými daty. Využitím soft computingových metod pro práci s fuzzy daty se zabýval Jan Caha v článku *Querying on fuzzy surfaces with vague queries* (Caha a Dvorský, 2013).

Námětem pro další práci v budoucnu může být implementace teorie možnosti pro některý GIS software, nebo úprava metod pro práci s vektorovými daty.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo představit alternativní metody pro prostorové dotazování a porovnat je s klasickými ostrými dotazy. Těmito metodami bylo fuzzy dotazování a dotazování pomocí teorie možnosti. Dalším cílem bylo také porovnat a zhodnotit výsledky vytvořené těmito metodami.

Za tímto účelem byly vytvořeny dvě případové studie. Nejprve byly vybrány datové vrstvy pro obě studie. První případová studie se zabývala místem pro zřízení skládky odpadu a vybranými vrstvami byly sklon svahů, vzdálenost od vody a využití půdy. Ve druhá případová studii bylo hledáno optimální místo pro založení švestkového sadu a vybrány byly vrstvy nadmořské výšky, orientace svahu a míry oslunění. Těmto vrstvám byly zadány prahové hodnoty a poté nad nimi byly provedeny dotazy pomocí zvolených metod. V obou případových studií tedy vznikly tři dílčí výsledky.

Tyto dílčí výsledky byly poté v každé studii spojeny do jediného výsledku pomocí agregačních operátorů Hamacher produkt a metody pořadově vážených průměrů. Výsledky jednotlivých metod byly mezi sebou porovnány vizuálně a pomocí histogramů.

Hlavní rozdíl mezi klasickým dotazováním a soft computingovými metodami spočívá ve způsobu zadání prahové hodnoty dotazu. Práh klasického dotazu je zadáván ostře - jako jediné číslo, zatímco práh fuzzy dotazu je zadáván jako spojitý interval a práh posibilistického dotazu je zadán jako fuzzy číslo. Z takto zadaných prahů pak vycházely výsledky dotazů. Klasický dotaz dával výsledek s hodnotami 1 (splnil podmínku) a 0 (nesplnil podmínku), výsledkem fuzzy dotazu byl rastr s hodnotami v intervalu $0 - 1$ a výsledkem posibilistického dotazu byl dva rastry possibility a necessity oba s hodnotami v intervalu $0 - 1$. Pixely vybrané klasickým dotazem jako vhodné (splňující podmínku dotazu) prezentují všechny oblasti jako stejně vhodné. Ve skutečnosti jsou však ve vhodnosti pixelů rozdíly a tuto rozdílnou míru vhodnosti ukazují výsledky fuzzy a posibilistických dotazů.

Fuzzy dotazování a dotazování pomocí teorie možnosti nabízí na první pohled velmi podobné výsledky. Výhodou fuzzy dotazu je relativně jednoduše interpretovatelný výsledek v podobě jediného rastru, který ukazuje míru vhodnosti daného pixelu. Výhodou posibilistického dotazu je to, že vytváří dva rastry, z nichž jeden ukazuje možná řešení a jejich vhodnost (possibility) a druhý ukazuje preferovaná řešení a jejich vhodnost (necessity), ačkoliv takovýmto výsledkům může být pro uživatele obtížnější porozumět.

Velkým přínosem alternativních dotazovacích metod je jejich schopnost vybrat a ukázat nejen ta nejlepší řešení, ale i další možné varianty, které sice nejsou tak vhodné, ale stále přichází v úvahu. Dobře to lze ilustrovat na příkladu druhé případové studie: V zájmovém území je provedena analýza výběru místa pro švestkový sad. Po dokončení analýzy je zjištěno, že na místech, která byla vybrána jako vhodná, už švestkové sady stojí. Pokud je tato analýza provedena pomocí klasických dotazů a je zjištěn takový závěr, celé dotazování bude muset proběhnout znovu se změněnými parametry. Pokud jsou však použity soft computingové metody, není třeba dotazo-

vání opakovat, jenom se pro švestkový sad vybere místo s mírou vhodnosti např 0.9 - nebude to sice naprosto ideální řešení, ale bude se mu blížit. Použití fuzzy či posibilistického dotazu tedy může zrychlit práci tím, že odstraní nutnost několikrát opakovat dotazování s různými prahovými hodnotami.

Úskalím sestavení výsledku pomocí jedné ze soft computingových metod je výběr vhodného agregačního operátoru. Operátor musí být vybírán s ohledem na řešený problém. Vliv agregačního operátoru na výsledek je nesporný, jak bylo ukázáno v případových studiích této práce, pro které byly záměrně vybrány operátory s velkými rozdíly v chování. Zatímco Hamacher produkt přiřazoval vysokou míru vhodnosti jen tam, kde byla vysoká míra vhodnosti ve všech třech dílčích výsledcích, OWA operátor přiřadil vysokou míru vhodnosti i tam, kde byla v dílčích výsledcích vysoká jen jedna hodnota. Rozdíly ve výsledcích byly obrovské.

Jak bylo popsáno výše, soft computingové metody dotazování mají oproti klasickým ostrým dotazům řadu výhod. Nicméně jejich výsledky může být obtížné interpretovat a při rozhodování se pro nějakou možnost (umístit skládku odpadu tady a ne tam) je třeba si stanovit nějakou ostrou hranici - např. že v úvahu přicházejí místa v mírou vhodnosti vyšší než 0.8. Pro dosažení optimálního řešení se jako ideální jeví možnost kombinovat ostré dotazy s těmi soft computingovými. Tomuto však brání nedostatečná podpora a implementace potřebných nástrojů v GIS software. Zatímco fuzzy nástroje začínají být relativně dostupné, nástroje pro práci s teorií možnosti chybí.

LITERATURA

ARCDATA PRAHA, ZÚ, ČSÚ. ArcČr 500, verze 3.2. http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500/, 2014.

BORDOGNA, G., PAGANI, M., PASI, G., PSAILA, G. Managing uncertainty in location-based queries. *Fuzzy sets and systems*, 160, 15, s. 2241–2252, 2009. ISSN 0165-0114.

CAHA, J., DVORSKÝ, J. Querying on fuzzy surfaces with vague queries. In PAN, J., POLYCARPOU, M., WOŹNIAK, M., CARVALHO, A., QUINTIÁN, H., CORCHADO, E. (Ed.) *Hybrid Artificial Intelligent Systems SE - 55*, s. 548–557. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2013. ISBN 978-3-642-40846-5.

CAHA, J., NEVTÍPILOVÁ, V., DVORSKÝ, J. Constraint and preference modelling for spatial decision making with use of possibility theory. In POLYCARPOU, M., DE CARVALHO, A., PAN, J., WOŹNIAK, M., QUINTIAN, H., CORCHADO, E. (Ed.) *Hybrid Artificial Intelligence Systems SE - 13*, s. 145–155. Springer International Publishing, 2014a. ISBN 978-3-319-07616-4.

CAHA, J., VONDRÁKOVÁ, A., DVORSKÝ, J. Comparison of crisp, fuzzy and possibilistic threshold in spatial queries. In ABRAHAM, A., KRÖMER, P., SNÁŠEL, V. (Ed.) *Innovations in Bio-inspired Computing and Applications SE - 22*, s. 239–248. Berlin: Springer International Publishing, 2014b. ISBN 978-3-319-01781-5.

CAHA, J. *Propagace nejistoty v analýzách fuzzy povrchů*. Disertační práce, Uiverzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, 2014.

DE BRUIN, S. Querying probabilistic land cover data using fuzzy set theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 4, s. 359–372, 2000. ISSN 1365-8824.

DETYNIECKI, M. Fundamentals on aggregation operators. http://www-poleia.lip6.fr/~marcin/web/wp-content/papercite-data/pdf/Detyniecki_AGOP_2001.pdf, citováno 2015-03-19, 2001.

DUBOIS, D. The role of fuzzy sets in decision sciences: Old techniques and new directions. *Fuzzy sets and systems*, 184, 1, s. 3–28, 2011. ISSN 0165-0114.

DUBOIS, D., PRADE, H. Ranking fuzzy numbers in the setting of possibility theory. *Information sicence*, 30, 3, s. 183–224, 1983. ISSN 0020-0255.

DUBOIS, D., PRADE, H. Introduction to fuzzy systems. *Clinica Chimica Acta*, 270 , 1, s. 3–29, 1998. ISSN 0009-8981.

DUBOIS, D., PRADE, H. *Possibility Theory: An approach to Computerized Processing of Uncertainty*. New York : Plenum Press, 1986. ISBN 0-306-42520-3.

EUROEPAN ENVIRONMNET AGENCY. Corine land cover 2006 seamless vector data, version 3. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-vector-data-version-3, 2014.

HANSS, M. *Applied fuzzy arithmetic : an introduction with engineering applications*. Berlin : Springer International Publishing, 2005. ISBN 978-3-540-27317-2.

HONG, R. J. J. E. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in gis. *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 2, s. 173–184, 2000. ISSN 1362-3087.

JEDLIČKA, K. *Úvod do geografických informačních systémů*, chapter 3. Jednotlivé činnosti v GIS. 2006.

KORUCU, K. M., ERDAGI, B. A criticism of applications with multi-criteria decision analysis that are used for the site selection for the disposal of municipal solid wastes. *Information and Control*, 32, 12, s. 2315–2323, 2012. ISSN 0956-053X.

NEČAS, T., KRŠKA, B., ONDRÁŠEK, I. Multimediální učební skriptum ovocnictví. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2004. http://tilia.zf.mendelu.cz/ustavy/551/ustav_551/eltronic_ovoc/_private/ovoc_2/ovoc_2.htm, citováno 2015-03-26.

PACLÍKOVÁ, L. *Evaulace výsledků vybraných prostorových analýz při využití fuzzy teorie množin a fuzzy logiky*. Bakalářská práce, Uiverzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, 2012.

VYSOUDIL, M. Meteorologie a klimatologie. (přednáška) Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. http://geography.upol.cz/soubory/lide/vysoudil/KLIM/KLIM_pokyny_2007.pdf, citováno 2015-03-26.

ZADEH, L. A. Is there a need for fuzzy logic? *Information sicence*, 178, 13, s. 2751–2779, 2008. ISSN 0020-0255.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets and systems*, 1, 1, s. 3–28, 1978. ISSN 0165-0114.

ZIMMERMANN, H. J. *Fuzzy Set Theory—and Its Applications*, chapter 3. Extensions, s. 23–44. Kluwer Academic Publishers, 1991. ISBN 978-94-015-7951-3.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

Vázané přílohy

Příloha 1 Případová studie 1

Příloha 2 Případová studie 2

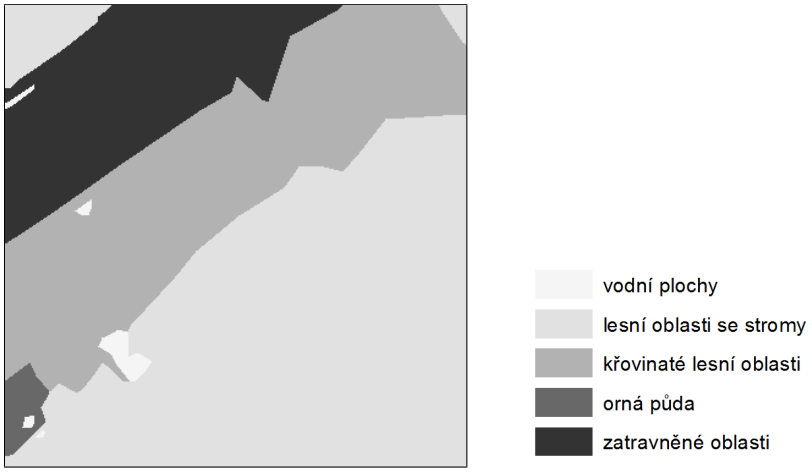
Volné přílohy

Příloha 3 DVD

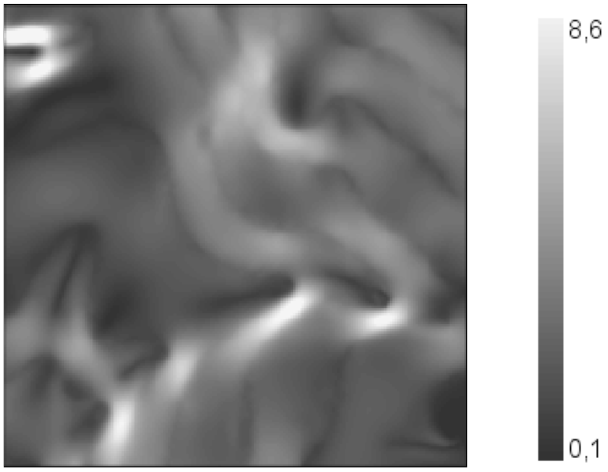
Netištěné přílohy

Příloha 4 ve složce vystupni_ data na DVD

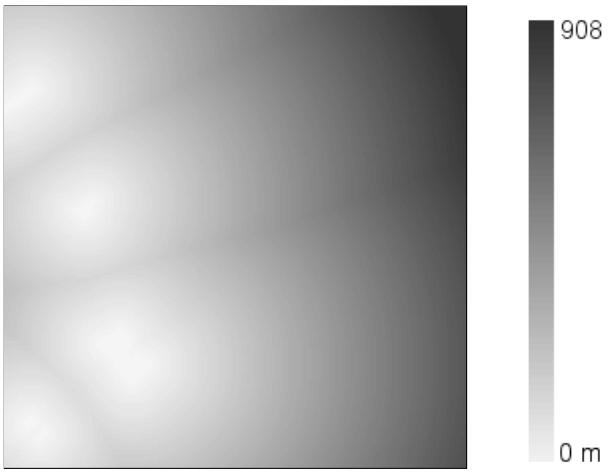
Příloha 1



využití půdy



sklon svahu



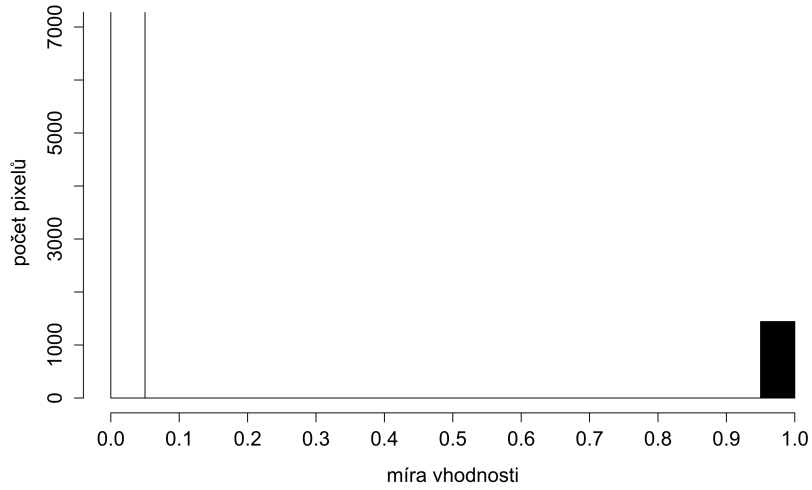
vzdálenost od vody

Obrázek 1: Původní data

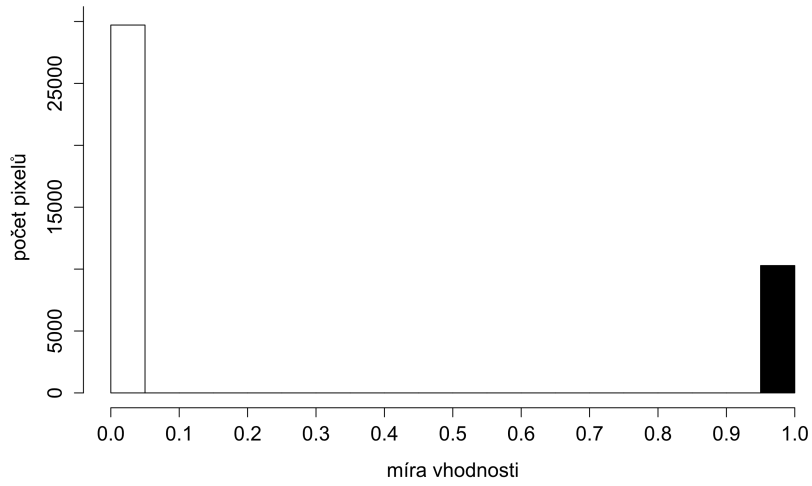
ostrý dotaz - varianta 2

ostrý dotaz - varianta 3

Obrázek 2: Výsledky klasického ostrého dotazu

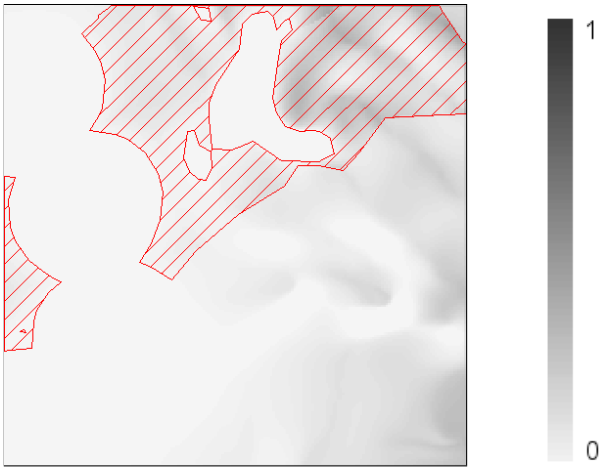


Histogram výsledku - varianta 2

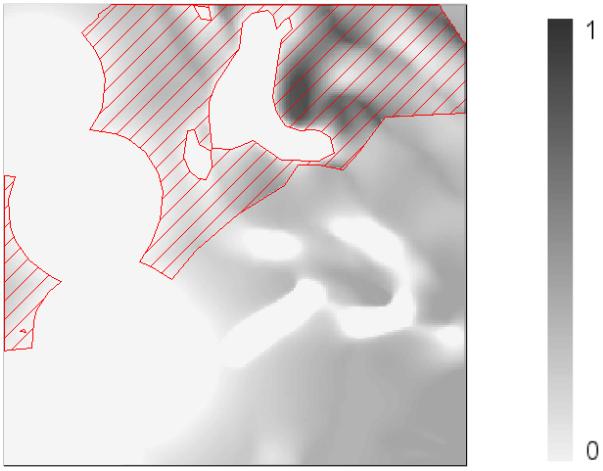


Histogram výsledku - varianta 3

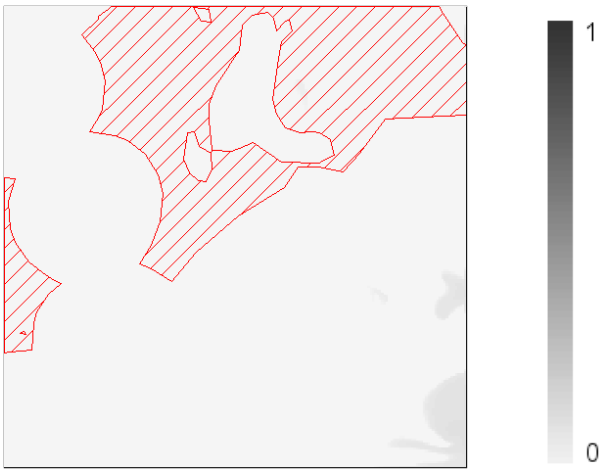
Obrázek 3: Rozložení hodnot výsledků ostrého dotazu



výsledek ostrý dotaz - fuzzy



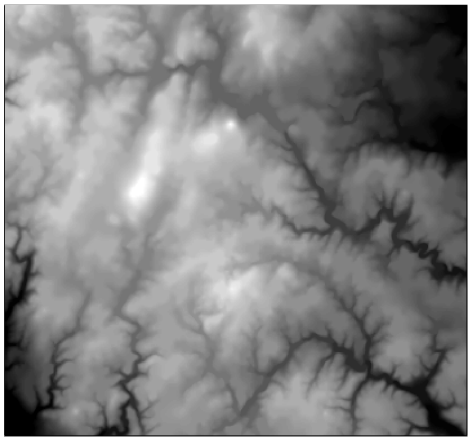
výsledek ostrý dotaz - possibility



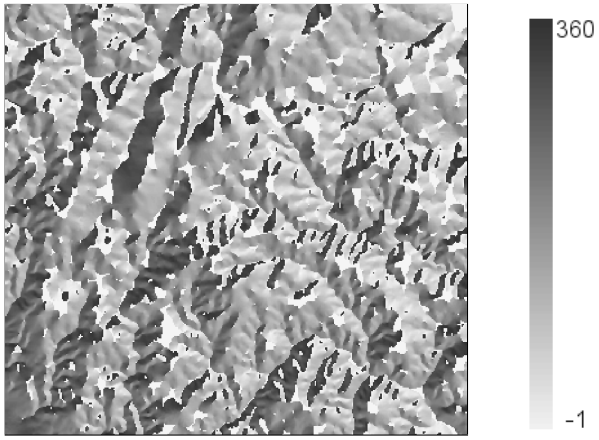
výsledek ostrý dotaz - necessity

Obrázek 4: Srovnání výsledků ostrých dotazů (varianta 3) s výsledky fuzzy a posibilistických dotazů

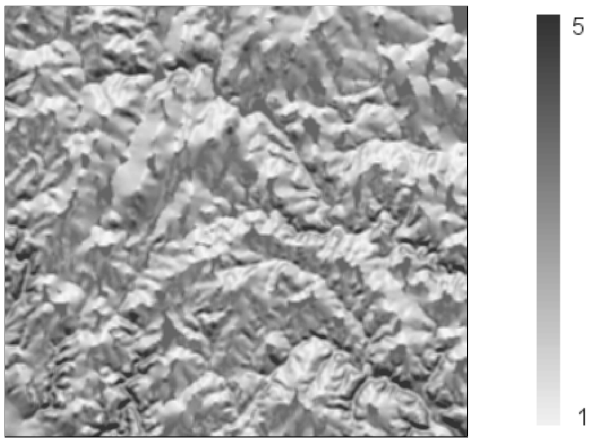
Příloha 2



nadmořská výška

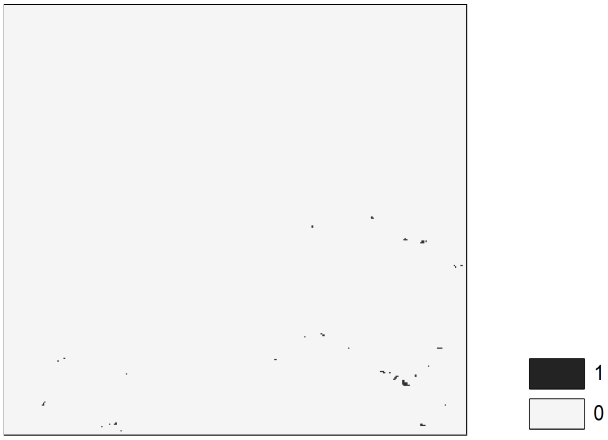


orientace svahu

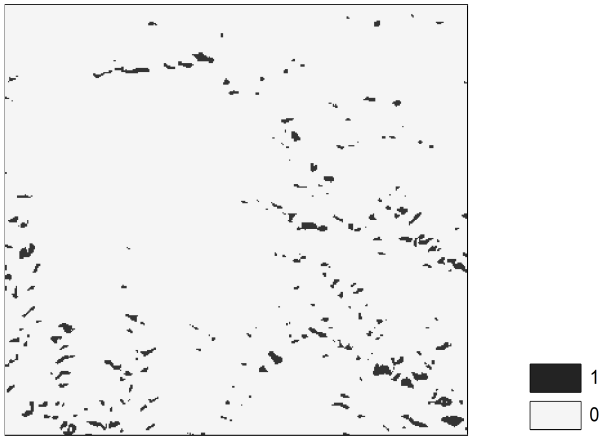


oslunění svahu

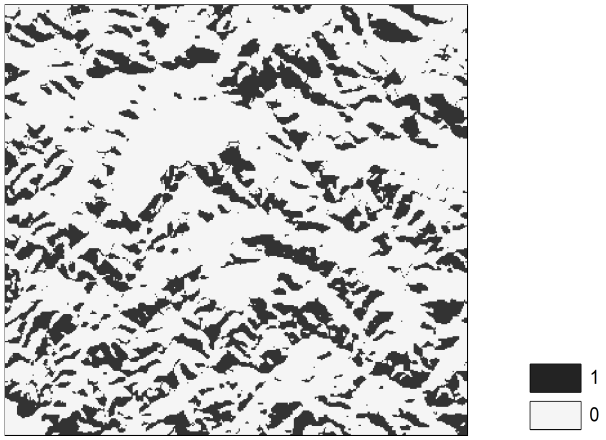
Obrázek 5: Původní data



ostrý dotaz - varianta 1

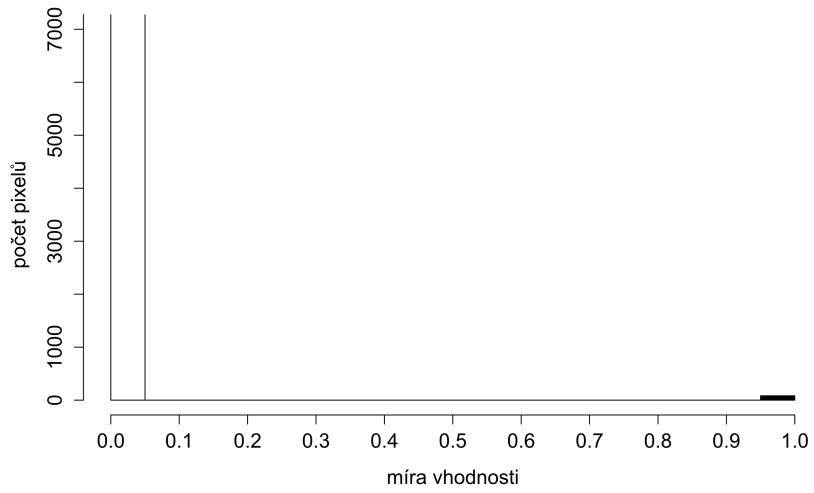


ostrý dotaz - varianta 2

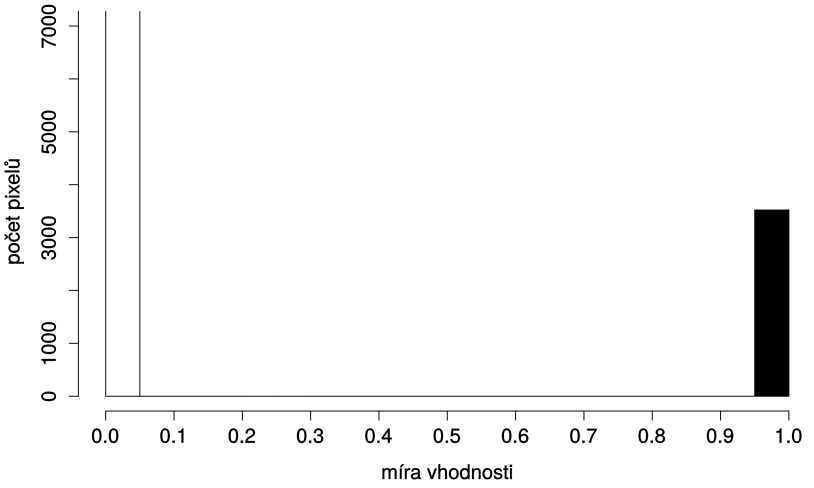


ostrý dotaz - varianta 3

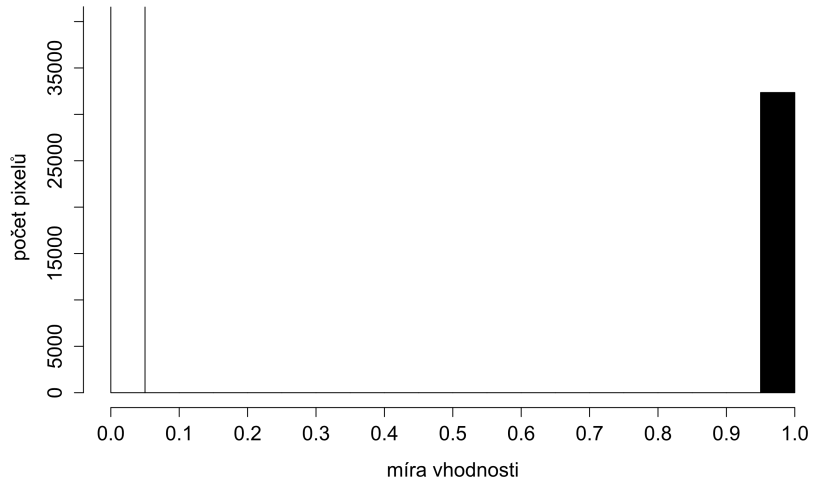
Obrázek 6: Výsledky klasického ostrého dotazu



Histogram výsledku - varianta 1

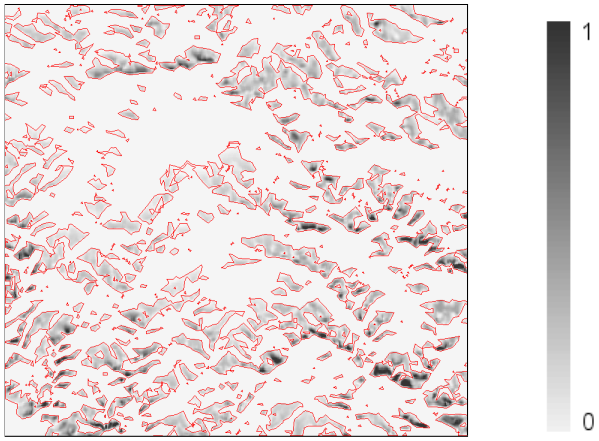


Histogram výsledku - varianta 2

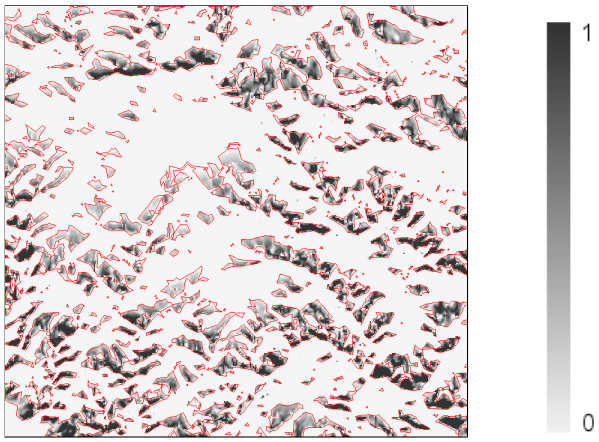


Histogram výsledku - varianta 3

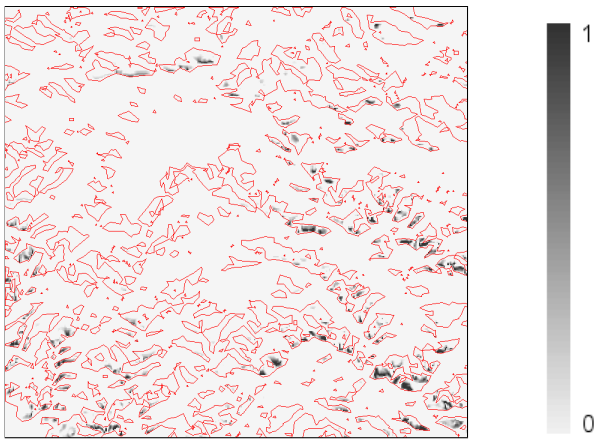
Obrázek 7: Rozložení hodnot ve výsledcích ostrého dotazu



výsledek ostrý dotaz - fuzzy



výsledek ostrý dotaz - possibility



výsledek ostrý dotaz - necessity

Obrázek 8: Srovnání výsledků ostrých dotazů (varianta 3) s výsledky fuzzy a posibilistických dotazů