

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta Stavební

Obor geoinformatika

Katedra mapování a kartografie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Mapová algebra v GIS

Map algebra in GIS

Anna MACUROVÁ

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
Praha, červen 2009



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

studijní program: Geodézie a kartografie
studijní obor: Geoinformatika
akademický rok: 2008/2009

Jméno a příjmení diplomanta: Bc. Anna Macurová
Zadávající katedra: katedra mapování a kartografie
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
Název diplomové práce: Mapová algebra v GIS
Název diplomové práce
v anglickém jazyce: Map algebra in GIS

Rámcový obsah diplomové práce: Popište základní principy mapové algebry a podívejte se na možnosti modelování různých jevů pomocí rastrových dat. Popište možnosti využití mapové algebry. Teoreticky popište základní úlohy mapové algebry (fokální, zonální, globální funkce). Každou funkci demonstруйте příkladem. Diskutujte jejich využití pro multikriteriální analýzu. Prozkoumejte možnosti nadstavby ArcGIS Spatial Analyst ve vztahu k mapové algebře.

Datum zadání diplomové práce: 24.2.2009 Termín odevzdání: 22.5.2009

Diplomovou práci lze zapsat, kromě oboru A, v letním i zimním semestru.

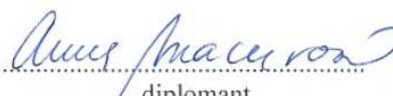
Pokud student neodevzdal diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat diplomovou práci podruhé. Studentovi, který při opakovaném zápisu diplomovou práci neodevzdal v určeném termínu a tuto skutečnost řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, se ukončuje studium podle § 56 zákona o VŠ č.111/1998 (SZŘ ČVUT čl 21, odst. 4).

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.


vedoucí diplomové práce


vedoucí katedry

Zadání diplomové práce převzal dne: 24.2.2009


diplomant

Formulář nutno vyhotovit ve 3 výtiscích – 1x katedra, 1x diplomant, 1x studijní odd. (zašle katedra)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a informačních zdrojů uvedených v seznamu, jenž je součástí této diplomové práce.

Anna MACUROVÁ

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Cajthamlovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a vedení při zpracování diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině, zejména manželovi, za podporu nejenom během psaní diplomové práce, ale během celého studia. Mé díky patří i Lucce a Agnieszce, které provedly nezbytné korektury textu.

V neposlední řadě chci poděkovat společnosti ARCDATA PRAHA s.r.o. za zapůjčení šedesátidenní licence programu ArcGIS 9.2.

Abstrakt

Tato práce popisuje základní principy mapové algebry a teoreticky popisuje úlohy mapové algebry (lokální, fokální, zonální a globální funkce). Funkce jsou demonstrovány příklady řešenými v programu ArcGIS s použitím nadstavby Spatial Analyst. Mapová algebra je zde prezentována jako nástroj pro analýzu rastrových dat. Jsou uvedeny možnosti modelování různých jevů pomocí mapové algebry. V závěru práce je diskutováno využití mapové algebry ve vztahu k prostorové vícekritériální rozhodovací analýze.

Klíčová slova

Mapová algebra, ArcGIS Spatial Analyst, Prostorová vícekritériální rozhodovací analýza.

Abstract

This thesis describes basic principles of map algebra and theoretically describes functions of map algebra (local, focal, zonal and incremental functions). Functions are demonstrated by examples resolved in software ArcGIS using a Spatial Analyst extension. Here, map algebra is presented as a tool for analysis of raster data. In the thesis is also introduced how to model different kinds of phenomena by using map algebra. At the end of this project the usage of map algebra in context of spatial multicriteria decision analysis is discussed.

Keywords

Map Algebra, ArgGIS Spatiala Analyst, Spatial Multikriteria Decision Analysis

Obsah

1	Úvod	10
2	Konvence kartografického modelování	12
2.1	Data	12
2.2	Řízení zpracování dat	21
2.2.1	Mapová algebra jako součást nadstavby ArcGIS Spatial Analyst.	21
2.2.2	Konstrukční prvky mapové algebry	21
2.2.3	Pravidla mapové algebry	23
3	Lokální funkce	26
3.1	Lokální funkce	26
3.2	Lokální funkce v Spatial Analyst	29
3.3	Příklady aplikací	35
4	Fokální a inkrementální (globální) funkce	38
4.1	Funkce nejbližšího okolí	38
4.2	Funkce rozšířeného okolí	42
4.3	Fokální a inkrementální funkce v Spatial Analyst	45
4.4	Příklady aplikací	63
4.5	Aplikační funkce	66
5	Zonální funkce	68
5.1	Funkce celých zón	68
5.2	Funkce částečných zón	68
5.3	Zonální funkce v Spatial Analyst	69
6	Prostorová vícekritériální rozhodovací analýza	73
6.1	GIS a podpora rozhodování	74
6.2	Prvky vícekritériální rozhodovací analýzy	75
6.3	Rámec prostorové vícekritériální rozhodovací analýzy	76
6.4	Aplikační příklad	78
7	Závěr	81
8	Použitá literatura	82

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Liniové jevy	19
Obrázek 2.2 Plošné jevy	20
Obrázek 3.1 Vstupní rastrové vrstvy (vstup1, vstup2, vstup3)	31
Obrázek 3.2 Funkce <i>Majority</i>	32
Obrázek 3.3 Funkce <i>Minimum</i>	32
Obrázek 3.4 Funkce <i>Mean</i>	33
Obrázek 3.5 Funkce <i>Range</i>	33
Obrázek 3.6 Funkce <i>Rank</i>	34
Obrázek 3.7 Funkce <i>Popularity</i>	34
Obrázek 3.8 Funkce <i>HighestPosition</i>	35
Obrázek 3.9 Území erozní ohroženosti	36
Obrázek 3.10 Sklon svahu	36
Obrázek 3.11 Erozní ohroženost	37
Obrázek 4.1 <i>IncrementalDrainage</i>	42
Obrázek 4.2 Vstupní rastrová vrstva (vstup1)	47
Obrázek 4.3 Funkce <i>FocalMajority</i> a <i>MajorityFilter</i>	48
Obrázek 4.4 Funkce <i>RegionGroup</i>	49
Obrázek 4.5 Funkce <i>LineDensity</i>	50
Obrázek 4.6 Funkce <i>PointDensity</i>	52
Obrázek 4.7 Vstupní výškový rastr (vstup2)	53
Obrázek 4.8 Funkce <i>Slope</i>	53
Obrázek 4.9 Funkce <i>Aspect</i>	54
Obrázek 4.10 Funkce <i>HillShade</i>	55
Obrázek 4.11 Funkce <i>FocalFlow</i>	56
Obrázek 4.12 Funkce <i>Visibility</i>	57
Obrázek 4.13 Funkce <i>EucDistance</i>	59
Obrázek 4.14 Funkce <i>EucDirection</i>	59
Obrázek 4.15 Funkce <i>CostDistance</i>	61
Obrázek 4.16 Funkce <i>CostBackLink</i>	61
Obrázek 4.17 Funkce <i>CostAllocation</i>	61
Obrázek 4.18 Vstupní rastrová vrstva (výškový model) a funkce <i>FocalMean</i>	64
Obrázek 4.19 Frikční povrch	65
Obrázek 4.20 Nákladové vzdálenosti	65
Obrázek 4.21 BackLink rastr	66
Obrázek 5.1 Vstupní rastrové vrstvy pro zonální funkce (vstup1, zony)	70
Obrázek 5.2 Funkce <i>ZonalMean</i>	70

Obrázek 5.3 Funkce <i>ZonalArea</i>	71
Obrázek 5.4 Funkce <i>ZonalThickness</i>	72
Obrázek 6.1 Sklon svahu (v závorce standardizovaná hodnota zón)	79
Obrázek 6.2 Vegetace (v závorce standardizovaná hodnota zón)	80
Obrázek 6.3 Výsledná rastrová vrstva získána pomocí metody SAW	80

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Operátory mapové algebry	25
Tabulka 3.1 Parametry funkce <i>Reclass</i>	30
Tabulka 3.2 Parametry funkce <i>Pick</i>	31
Tabulka 4.1 Parametry statistických fokálních funkcí	46
Tabulka 4.2 Parametry funkce <i>MajorityFilter</i>	47
Tabulka 4.3 Parametry funkce <i>RegionGroup</i>	48
Tabulka 4.4 Parametry funkce <i>LineDensity</i>	49
Tabulka 4.5 Parametry funkce <i>LineStats</i>	51
Tabulka 4.6 Parametry funkce <i>Slope</i>	53
Tabulka 4.7 Parametry funkce <i>HillShade</i>	55
Tabulka 4.8 Parametry funkce <i>FocalFlow</i>	56
Tabulka 4.9 Parametry funkce <i>Visibility</i>	57
Tabulka 4.10 Parametry funkce eukleidovských vzdáleností	58
Tabulka 4.11 Parametry nákladových funkcí	60
Tabulka 4.12 Parametry funkce <i>CostPath</i>	62
Tabulka 4.13 Parametry funkce nákladových funkcí <i>Path</i>	63
Tabulka 5.1 Parametry zonálních funkcí	69
Tabulka 5.2 Parametry funkce <i>ZonalFill</i>	71
Tabulka 5.3 Parametry funkce <i>ZonalThickness</i>	72
Tabulka 6.1 Hodnotící kritéria a jejich váhy	79

1 Úvod

Vezměme mapu vodstva, přes ni položíme pauzovací papír a nakreslíme na něj kruhy okolo všech jezer a pramenů ve vzdálenosti 200 metrů. Pak vystínujeme všechny oblasti, které pokrývají tyto kruhy. Podobnou kresbu vytvoříme např. pomocí mapy zobrazující sklon svahu, kde šrafy budou zakrývat oblasti s nepřijatelným sklonem pro výstavbu. Můžeme pokračovat s mapou osvětlení svahu, cenou pozemků atd. Nakonec položíme tyto všechny pauzovací papíry na sebe a podívejme se na ně proti slunci. Nejsvětlejší oblasti mohou být navrženy jako nejvhodnější pro rozvoj území. [1] Tímto krátkým úvodním citátem se dá jednoduše popsat hlavní funkce mapové algebry.

Klíčovou částí GIS technologií je provádění prostorových analýz. Analýzou zde míníme odvozování nových skutečností z již existujících dat. Prostorové analýzy můžeme definovat takto: Prostorové analýzy jsou souborem technik pro analýzu a modelování lokalizovaných objektů, kde výsledky analýz závisí na prostorovém uspořádání těchto objektů a jejich vlastností. Jednou z prostorových analýz je právě mapová algebra. [3]

Mapová algebra zpracovává rastrové mapy. Je obdobou topologického překrytí u dat vektorových. Můžeme ji také hledat pod anglickým pojmem OVERLAY. Mapová algebra je všeobecný soubor konvencí, schopností a technik, které byly obecně přijaty pro použití s geografickými informačními systémy. Mapová algebra v sobě zahrnuje matematické operace s rastry. Pomocí mapové algebry dochází matematickými, ale i jinými operacemi ke kombinaci mezi více rastrovými vrstvami a těmito operacemi k výpočtu hodnot rastru v podobě nové vrstvy. Rastrové mapy známe jako matice čísel s prostorovým umístěním. Veškeré početní operace nad touto maticí čísel spolu s vyhledáváním a selekcí spadají do této kategorie analýz. Nástrojem mapové algebry je jazyk mapové algebry, který je s drobnými odlišnostmi v syntaxi definovaný v každém významném GIS softwaru. Jedná se o jednoduchý programovací jazyk navržený speciálně pro popis analýz prostorového modelování nad rastrovou reprezentací. Jako definici mapové algebry můžeme uvést: „Mapová algebra je nástroj, který dovoluje zpracovávat rastrové reprezentace reality s použitím jazyka mapové algebry“. [6]

Použití mapové algebry je velice jednoduché. Uživatel pouze nadefinuje prostorové operace, které se mají použít, jména vstupních rastrů a jméno výstupního rastru. Program, který umožňuje práci s mapovou algebrou, pak aplikuje požadovanou operaci na všechny buňky rastru. Tímto způsobem se dají zapsat výpočetní modely jako sekvence výpočtů. Výsledkem mapové algebry je vždy nová vrstva, která se dá využít k dalším výpočtům nebo je výsledkem sama o sobě. [5]

Za zakladatele mapové algebry se všeobecně pokládá C. Dana Tomlin, který v roce 1990 publikoval svojí disertační práci s názvem *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling* (Geografické informační systémy a kartografické modelování). Tato publikace podrobně popisuje základní funkce mapové algebry. Navzdory dnešnímu technologickému pokroku je tato kniha pořád stěžejním textem týkajícím se mapové algebry.

Cílem mé diplomové práce je poukázat na důležitost a široké možnosti využití mapové algebry. V neposlední řadě bych ráda přiblížila tuto problematiku studentům naší katedry a všem dalším možným zájemcům. Teoretická část této práce je založena právě na publikaci Tomlina a snaží se českému čtenáři podrobně popsat funkčnost dnes již tak rozšířené mapové algebry. Pro maximální přiblížení problematiky doprovázejí teoretickou část četné příklady z prostředí ArcGIS Spatial Analyst, který umožňuje práci s mapovou algebrou. V závěru práce je přiblížena problematika Vícekriteriální rozhodovací analýzy v souvislosti s GIS a prostorovými analýzami.

2 Konvence kartografického modelování

Tato kapitola se zaměřuje na přiblížení problematiky reprezentace prostoru. Prostor se v prostředí geografických informačních systémů dá reprezentovat dvěma způsoby. Konkrétně se jedná o vektorovou a rastrovou reprezentaci. Mapová algebra pracuje s rastrovou reprezentací prostoru, tudíž je nutné si představit základní rysy a charakteristiky rastrových dat. Kapitola byla pojmenována konvence kartografického modelování, protože popisuje už dávno přijaté a používané zvyklosti v kartografickém modelování.

2.1 Data

Data jsou zaznamenaná fakta. V případě geografických dat jsou to fakta týkající se určitého umístění na povrchu zeměkoule. Existuje mnoho způsobů, jakými mohou být geografická data ukládána pro pozdější digitální zpracování v závislosti na typu geografického informačního systému (GIS). Obecný způsob, a tím i vysoce generalizovaný, nepopisuje, jak jsou data ukládána, ale jak jsou organizována z perspektivy průměrného uživatele. Mezi hlavní definované součásti patří [1]:

- kartografické modely,
- mapové vrstvy,
- rozlišení,
- orientace,
- zóny,
- hodnoty,
- buňky,
- souřadnice.

Kartografický model

Na vrcholu hierarchického modelu je kartografický model. Může být prezentován jako sbírka map. Mapy, které jsou součástí této sbírky, se týkají pouze jednoho zájmového území. Kartografický model přináší informace o zájmovém území jak v explicitní, tak implicitní formě. Každá z vrstev (map) nese explicitní informaci. Kromě toho, závislosti mezi

zaznamenanými daty přinášejí implicitní informaci o zájmovém území v kartografickém modelu.

Mapová vrstva

Mapová vrstva je určitým druhem mapy. Je to dvourozměrná kresba zaznamenávající určitou skutečnost, její formu, relativní polohu a velikost na geografickém území. Klasický kartografický model v sobě může zahrnovat i několik tuctů vrstev. Každá popisuje zájmové území, ale zároveň každá vrstva zachycuje odlišné charakteristiky. Jako příklad může sloužit vrstva kartografického modelu popisující topografický sklon, přičemž jiná bude popisovat například administrativní hranice nebo vodstvo, atd. Jako vrstvy mohou být prezentovány i abstraktní charakteristiky, jako třeba vzdálenosti k nejbližší pozemní komunikaci. Součástí mapové vrstvy jsou název, rozlišení, orientace a zóny.

Rozlišení (měřítko)

Rozlišení vrstvy je číslo popisující vztah mezi vzdáleností naměřenou v realitě a vzdáleností naměřenou na mapě. Na rozdíl od konvenčního kartografického měřítka toto číslo není vztaženo k fyzickému rozměru grafického obrázku, ale blíže určuje rozměry standardní jednotky prostorové observace. V případě rastrového obrázku je za standardní jednotku považován pixel, což je zároveň nejmenší element obrázku.

Zvolená velikost buňky (pixelu) rastru záleží na požadovaném rozlišení. Pro provádění analýz musí být buňka dostatečně malá na to, aby zachycovala požadovaný detail a zároveň dostatečně velká, aby svým objemem nezatěžovala výkonnost počítače a softwaru. Čím víc je území homogenní, tím větší může být velikost buňky, aniž by to jakkoli zásadně ovlivnilo přesnost výpočtu.

Před nadefinováním velikosti buňky by měly být zváženy následující faktory:

- rozlišení vstupních dat,
- velikost výsledné databáze a kapacita disku,
- požadovaná časová odezva,
- aplikace a analýzy, které mají být provedeny.

V každém případě nedosáhneme lepší přesnosti tím, že nadefinovaná velikost buňky bude menší, než je rozlišení vstupních dat. Je obecně známo, že rozlišení výsledného rastru by mělo být stejné nebo menší, než je rozlišení vstupních dat.

Spatial Analyst dovoluje pro rastrová data ukládání v různých rozlišeních a také provádění analýz v rámci jedné databáze. Hlavní nevýhodou rastrových reprezentací je ztráta rozlišení, která doprovází změnu struktury dat. Důvodem jsou pevně dané hranice buněk. Rozlišení roste se zmenšující se velikostí buňky, zároveň ale stoupají požadavky na kapacitu disku a rychlost zpracování. Nicméně, pro většinu uživatelů kompenzuje ztrátu rozlišení efektivita rastrových analýz. [7]

Orientace

Orientace mapové vrstvy popisuje vztah mezi geografickým a kartografickým severem.

Zóny

Poslední z hlavních součástí mapové vrstvy je soubor jedné nebo více zón. Zóna může být definována jako geografická oblast zaznamenávající určitou vlastnost, která ji odlišuje od ostatních geografických oblastí. Kartografická forma zóny může zahrnovat velkou nebo malou oblast v jednom kuse nebo rozdělenou na menší části. V mapové vrstvě neexistuje žádná oblast, která nepatří do žádné zóny a zároveň žádná oblast nenáleží do více než jedné zóny. Mapová vrstva může obsahovat mnoho zón, to však záleží na tématu vrstvy. Například vrstva obsahující výsledky prezidentských voleb (v USA) bude obsahovat pouze dvě zóny na rozdíl od vrstvy zobrazující průměrné roční srážky, která bude zobrazovat více zón podle velikosti srážky. Tak jako vrstva, i zóna může být zaznamenána s upřesňujícími informacemi jako například obvod oblasti zóny, poloha centroidu atd. Mimo tyto údaje je zóna definována třemi hlavními součástmi: označením zóny, hodnotou a buňkami.

Hodnota

V kartografické koncepci, hodnota reprezentuje zónu v podobě barev, symbolů nebo grafické šablony. V našem případě se nejedná ani o verbální či slovní prezentaci, ale o prezentaci čistě numerickou.

Prázdná hodnota (NoData)

Pokud je hodnota buňky definována jako prázdná (NoData), znamená to, že tato buňka nenese žádnou informaci o prostoru, který reprezentuje. Zacházení s tímto druhem hodnot se podstatně liší. Buňky s prázdnou hodnotou mohou být zpracovány dvojím způsobem.

Přiřazením prázdné hodnoty buňce výstupního rastru, pokud existuje prázdná hodnota této polohy v jakémkoli vstupním rastru. V tomto případě se to týká vstupních rastrů zpracovaných lokálními funkcemi (viz 3. kapitola). V případě fokálních (viz 4. kapitola) funkcí se prázdná hodnota objeví v místech, kde se v okolí zpracovávané buňky vyskytuje prázdná hodnota. V případě zonálních funkcí by se jednalo o zónu (viz 5. kapitola).

Druhou možností je ignorování prázdné hodnoty a provedení výpočtu pouze s existujícími hodnotami. Tato možnost nese určité riziko, protože výstupní hodnoty nesou určitou nepřesnost plynoucí z toho faktu, že nemáme žádné informace o buňce nesoucí prázdnou hodnotu.

Velikostní stupnice (types of measurement)

V souvislosti s hodnotami je velice přínosné zmínit se o velikostních stupnicích (Levels/Scales of measurement). Používáme-li tyto hodnoty k reprezentaci různých jevů na mapě, je potřeba rozlišovat čtyři základní typy numerických velikostí/stupnic (typů domén [3])

Poměrová stupnice (ratio scale) odpovídá hodnotě na kalibrované, lineární škále ve vztahu k pevnému bodu. Takové hodnoty lze libovolně zpracovávat matematickými funkcemi. Patří sem věk, četnost, vzdálenost, cena apod. Z hlediska způsobu uložení dat jde pouze o číselnou doménu.

Intervalová stupnice (interval scale) používá hodnoty s pozicí na kalibrované, lineární škále, která však nemá vztah k fixnímu bodu. Takové hodnoty lze porovnávat, ale ne např. násobit nebo poměřovat. Typickým příkladem je teplota: -5 stupňů C je o 10 stupňů méně než +5 stupňů C, ale nemá smysl vyjadřovat jejich poměr (podobně i stupnice F versus C). Často charakterizují relativní pozici v prostoru, čase, nebo velikost - zeměpisná šířka, nadmořská výška (problém různé srovnávací hladiny), délka, směr kompasu, čas během dne, normalizované skóre apod. Z hlediska způsobu uložení dat jde pouze o číselnou doménu.

Pořadová stupnice (ordinal scale) vyjadřuje hodnotu na nekalibrované, lineární škále. Lze získat pouze kvalitativní rozdíl, ne kvantitativní. Hodnoty se tedy dají rozlišovat pořadím, ale ne velikostí. Např. 1., 2. a 3. místo na závodech nebo hodnoty „tmavě šedá“, „šedá“, „světle šedá“, „šedobílá“.

Kategoriální stupnice (nominal scale) Zde hodnoty nemají vztah k lineární škále. Nelze je řadit, lze je pouze porovnat na rovnost či nerovnost. Reprezentují kvalitativní

hodnoty. Typickým příkladem může být doména: {jehličnatý, smíšený, listnatý}. Nejsou kvantifikovatelné, ale pouze klasifikovatelné. [3]

Podstatné rozdíly mezi poměrovou, intervalovou, pořadovou a kategoriální stupnicí se začínají projevovat v momentě, kdy chceme hodnoty zpracovat matematicky. Smysluplné výsledky dává funkce dělení pouze v případě dat poměrové stupnice. Funkce odečítání může být bez problému použita i v případě dat intervalové stupnice. Funkce výběr maxima nebo minima může být použita v souvislosti s daty poměrové, intervalové i pořadové stupnice. Funkce ověřující rovnost může být dokonce použita v případě dat všech stupnic.

Diskrétní a spojitá data

Hodnoty můžeme posuzovat ve smyslu diskrétních nebo spojitých dat. Diskrétní data nazýváme také nespojitá data, v drtivé většině reprezentují objekty jak ve vektorovém, tak i v rastrovém systému. Diskrétní objekt má známé a vymezené hranice. Je jednoduché určit, kde objekt začíná a kde končí. Příkladem diskrétního objektu může být jezero v krajině, kde břeh jezera jednoznačně určuje jeho hranici.

Spojitý povrch reprezentuje jevy, kde každá buňka povrchu vyjadřuje její vztah k určitému pevnému bodu v prostoru. Spojitá data jsou často spojována s povrchovými daty. Příkladem může být topografický výškový model, kde pevným bodem v prostoru je hladina moře. Dalším příkladem může být expozice svahu, kde pevným bodem bude geografický směr. Další typ spojitých dat zahrnuje jevy, které se mění v závislosti jejich pohybu po povrchu. V tomto případě příkladem bude pohyb tekutin (odtok vody z povrchu) nebo pohyb vzduchu. [7]

Buňka

Poslední a hlavní součástí zóny je buňka ve smyslu elementární jednotky kartografického prostoru, pro kterou je zaznamenáno označení zóny a její hodnota. Definice buňky je do určité míry totožná s definicí kartografického bodu: část povrchu, který je jednoznačně určen uspořádanou dvojicí rovinných souřadnic. Pokud jsou tyto souřadnice určeny s nekonečnou přesností, tak je potom tato část povrchu nekonečně malá a beztvářá. Pokud tyto souřadnice jsou definovány v rozmezí diskrétních intervalů, pak každý bod bude představovat určitou omezenou část povrchu. Velikost a tvar této části bude závislý na souřadnicovém systému.

Pro naše účely (rastrová data) jsou všechny buňky definovány v závislosti na systému souřadnic rovných přírůstků podél dvou na sebe kolmých os. Tato definice přináší jednotnou pravoúhlou síť. Každá buňka je pak spojována s jedním čtvercem mřížky. Všechny čtverce mají stejnou velikost, tvar a orientaci, ale každý zaujímá unikátní polohu. Takto definovaný geografický prostor tvořený pravoúhlou sítí (mřížkou) je nazýván rastrem. Jeho nejmenším elementem je pixel (odvozeno od picture element). Pro jednotnost s dalšími studijními materiály budu dál v textu používat pro pixel pojem buňka.

Tak jako prostorové entity, i buňky ve vrstvě jsou na sobě závislé nejen ve smyslu přidružení k zónám, ale rovněž ve smyslu vlastní polohy. Tyto polohové vztahy jsou zřídka explicitně zaznamenány. Implicitně jsou definovány skrze jejich relativní uspořádání v kartografické síti. Pro lepší rozlišení těchto prostorových vztahů uveďme základní typ polohových seskupení, jedná se o sousedství neboli okolí buňky.

Sousedství je soubor buněk, které jsou v přesně určených kartografických vzdálenostech nebo směrech od určité buňky. Tato buňka se pak nazývá centrální buňkou (neighbourhood focus). Poznamenejme, že sousedství se značně liší od zóny. Buňka ve vrstvě může být součástí pouze jedné zóny, ale zároveň může být součástí nekonečně mnoha sousedství.

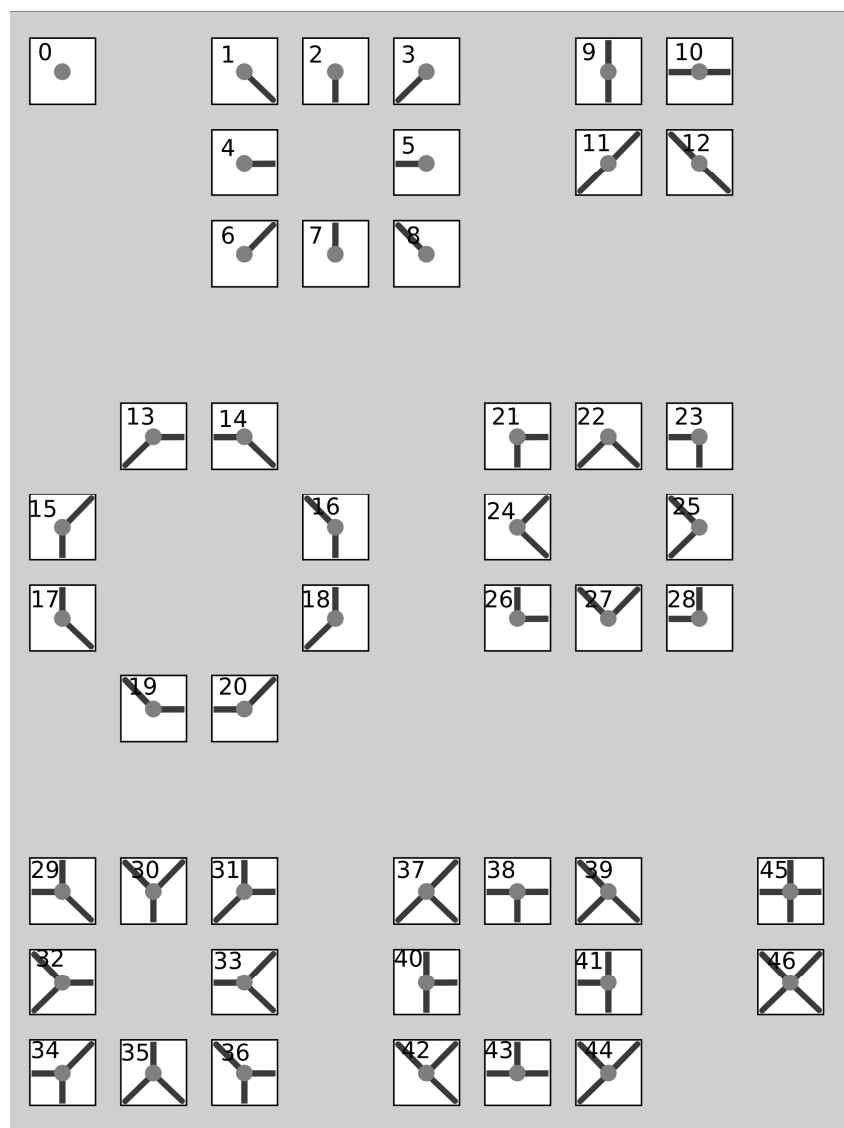
V přírodě se zřídka setkáme s tím, že určitý zobrazovaný fenomén přesně sleduje hranice čtvercové sítě. Pravděpodobněji fenomén v hraničních oblastech zóny bude zaujímat pouze část čtverce – buňky.

Pro poskytnutí konzistentního základu pro měření vztahující se k buňce a formě geografického jevu reprezentované buňkou – čtvercem sítě, je užitečné zmínit se o určitých domněnkách týkajících se prostorového uspořádání uvnitř čtverce sítě. Tyto domněnky mohou být často ilustrovány na modelech uspořádání hodnot spojených se sousedícími polohami. Zmíněné domněnky se různí podle bodové, liniové, plošné nebo povrchové povahy zobrazeného jevu.

Bodový jev nemá žádný geografický rozměr. Pokud je buňka použita k zobrazení bodového jevu znamená to, že jev se vyskytuje někde v rámci čtverce sítě. Pro výpočet vzdáleností a směrů je užitečné stanovit, že se jev nachází uprostřed čtverce.

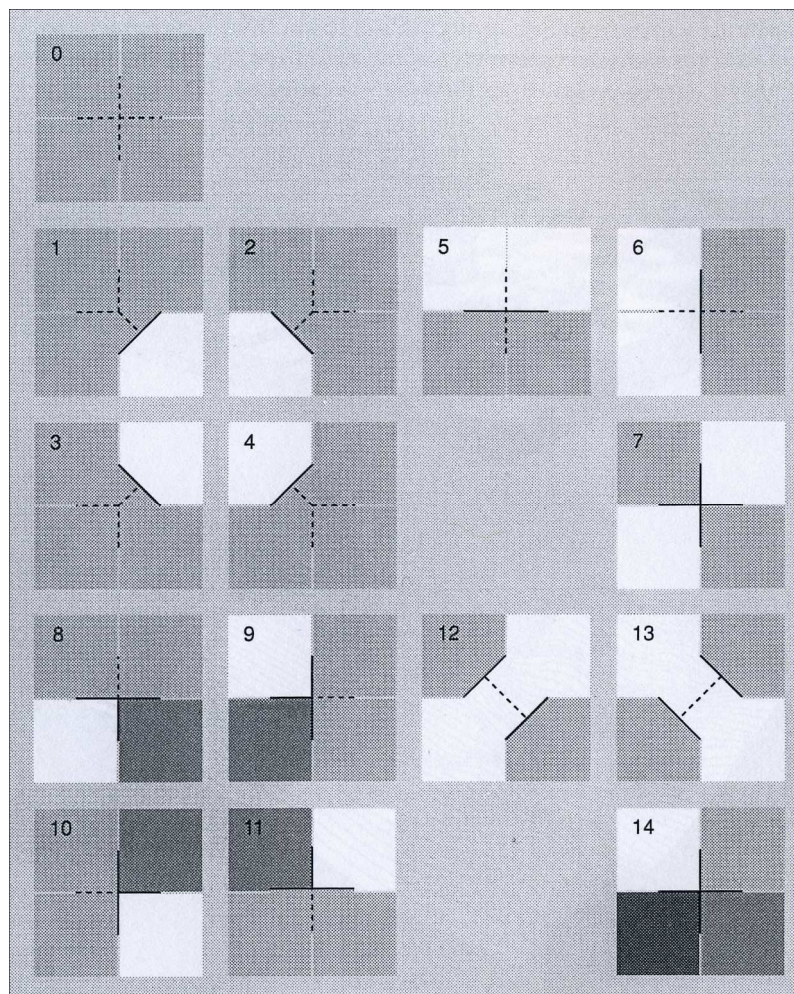
Liniový jev má jeden rozměr. Tím rozměrem je délka. Lineárním jevem může být například hranice pozemku nebo potok, jehož šířka je dostatečně malá. Pokud je lineární jev

reprezentován buňkou, pak může být odvozeno, že zabírá pouze část čtverce. Ze stejného důvodu jako u bodových jevů, je užitečné stanovit, že liniový jev vždy prochází středem čtverce. Prostorový tvar liniového jevu může být vyjádřen ve smyslu dvou základních vlastností: jeho tvaru a jeho velikosti. Jedna možnost jak vhodně reprezentovat tvar liniového jevu pomocí buněk – čtverců sítě, je spojovat navazující po sobě jdoucí buňky, resp. středy buněk přímkou úsečkou. Vzniklé úsečky budou celkově tvořit liniovou charakteristiku a tím i reprezentovat jev. Takto vytvořené liniové tvary přináší 28 nebo 256 různých tvarů úsečky. Pro zmenšení tohoto čísla vytvoříme diagonální úsečku mezi buňkami pouze v případě, neexistuje-li sousedství s buňkou postranní (boční). Takto formulovaná podmínka zmenší počet tvarů na pouhých 47. Tyto tvary jsou načrtnuty v následujícím obrázku (Obrázek 2.1). Běžné měření velikosti liniového jevu se provádí změřením a následným sečtením úseček spojujících buňky.



Obrázek 2.1 Liniové jevy

Plošný jev má dva rozměry. Jedna z možností jak tento jev reprezentovat je předpoklad, že každá buňka odpovídá geografickému čtverci, tj. čtverci na reálném povrchu. Pak bude hranice jevu tvořena hranicí čtverců. Tato představa může přinášet nesrovnalosti při výpočtu plochy objektu a zejména jeho obvodu. Druhou, přesnější možností je zaoblit rohy čtverců dle toho jak jev probíhá. Tato představa je částečně totožná s koncepcí liniových jevů v tom smyslu, že jev prochází pouze částí buňky. Mezi čtyřmi sousedícími buňkami může vzniknout pouze 15 různých konfigurací rohů čtverců, jak je načrtnuto na následujícím obrázku (Obrázek 2.2).



Obrázek 2.2 Plošné jevy

Povrchový jev je takový, který mimo plošnou složku obsahuje i složku vertikální – třetí rozměr. Vertikální rozměr může odpovídat prostorovým měřením jako například nadmořská výška nebo hloubka půdy, stejně tak může odpovídat i neprostorovým měřením jako například barometrický tlak nebo hustota zalidnění.

Souřadnice

Jedinou hlavní součástí buňky jsou dvě souřadnice. Obě souřadnice jsou celá čísla, které identifikují polohu buňky ve dvou dimenzích. Jedna dimenze je zaznamenána ve formě sloupců, druhá ve formě řádků.

2.2 Řízení zpracování dat (Data – processing control)

V první části této kapitoly byly popsány obecné charakteristiky a struktura rastrových dat. Následující podkapitola se bude věnovat řízení zpracování dat pomocí mapové algebry. Je to záležitost specifikování operací určujících data, na kterých se mají operace provádět a zároveň navržení pořadí, ve kterém mají být operace provedeny. Řízení zpracování se samozřejmě liší v závislosti na GIS systému, nicméně společné vlastnosti těchto konvencí pro řízení zpracování dat mohou být vyjádřeny pomocí jednotného formátu záznamu. Jedná se o formy záznamu nebo jazyka, který se podobá jak algebře, tak i použitému jazyku. Pod pojmem použitého jazyka je míněn jazyk anglický, a to z toho důvodu, aby nedocházelo ke zbytečným chybám a nepřesnostem během překladu z originálu. Následující řádky budou blíže popisovat konvence nejrozšířenějšího komerčního GIS softwaru ArcGIS.

V následujících částech práce pak budu popisovat mapovou algebru nejen z obecného pohledu a z pohledu tvůrce mapové algebry Tomlina, ale rovněž z pohledu softwaru ArcGIS. V tomto programu je mapová algebra zařazena do jednoho z balíčků nadstaveb, jmenovitě ArcGIS Spatial Analyst.

2.2.1 *Mapová algebra jako součást nadstavby ArcGIS Spatial Analyst.*

Spatial Analyst je nástavbou umožňující různé prostorové analýzy založené na rastrové reprezentaci prostoru. Většina těchto analýz je založena právě na základě mapové algebry.

Mapová algebra je analytický jazyk pro Spatial Analyst. Je to soubor jednoduchých syntaxí, které se podobají klasické algebře. Výstupní data jsou výsledkem manipulace se vstupními daty. Vstupní data mohou být rastrové vrstvy nebo vektorové vrstvy. Manipulace s jednoduchými daty může být například výpočet sinu každé hodnoty buňky. Vstupem mohou být rovněž série rastrových datasetů nebo rastrových vrstev, na nich se pak provádí operace jako například složení vstupních vrstev do jedné výsledné vrstvy. Mapová algebra nejen umožňuje přístup k dodatečným funkcím, které nejsou dostupné z uživatelského rozhraní, ale rovněž dovoluje vytváření složitých operací a jejich zpracování do podoby jednoho příkazu.

2.2.2 *Konstrukční prvky mapové algebry*

Hlavní předností Spatial Analyst je jeho analytická způsobilost. Spatial Analyst poskytuje skrze mapovou algebru nástroje pro provádění operací jako lokální, fokální, zonální, inkrementální (globální) a aplikační funkce.

Jazyk mapové algebry umožňuje sestavování bloků, které mohou být použité jednotlivě nebo ve spojení. V případě, že se bloky kombinují, musí být tato kombinace provedena v závislosti na pravidlech Spatial Analyst. Pravidla jazyka mapové algebry ukazují na význam konstrukčních bloků podle pozice bloku ve výrazu. Pokud jsou narušena pravidla syntaxe, objeví se chybová zpráva a nebudou vytvořeny žádné výsledky.

Konstrukčními bloky pro jazyk mapové algebry jsou objekty, akce a kvalifikátory akcí. Tyto prvky můžeme přirovnat k podstatným jménům, slovesům a příslovcím. [8]

Objekty

Objekty ukládají informace nebo to jsou vstupní hodnoty. Objekty mohou být vstupními daty, na kterých se mají provádět výpočty nebo mohou být i místem pro ukládání výstupních dat. Mezi objekty mapové algebry řadíme: rastrové vrstvy, tabulky, konstanty a čísla. Každé slovo použité ve výrazu, které není operátor, funkce nebo konstanta je považované jako jméno existující nebo nové rastrové vrstvy nebo tabulky. Funkce nebo operátor určují kontext, podle kterého je určen typ objektu.

Činnosti

Činnosti, které mohou být prováděny na vstupních objektech, jsou reprezentovány operátory a funkcemi. Operátory Spatial Analystu umožňují matematické výpočty uvnitř a mezi rastrovými vrstvami, tabulkami a čísly a rovněž mezi platnými kombinacemi těchto všech. Soubory operátorů jsou složeny z aritmetických, relačních, booleovských, bitových a logických operátorů. Operátory podporují celočíselné hodnoty a hodnoty s desetinnou čárkou (reálná čísla).

Funkce Spatial Analyst jsou nástroje kartografického prostorového modelování, které analyzují data uložená v buňkách rastru. Funkce jsou rozdělené do pěti hlavních kategorií: lokální, fokální, zonální, inkrementální (globální) a aplikační. Lokální funkce zahrnují trigonometrické, exponenciální, reklasifikační, výběrové a statistické funkce. Fokální funkce poskytují sadu nástrojů pro analýzu okolí centrální buňky (neighbourhood). Zonální funkce povolují zonální analýzy a výpočty zonální statistiky. Globální funkce poskytují nástroje pro plnou analýzu rastrové vrstvy, takové jako generování eukleidovských vzdáleností, nebo nákladových vzdáleností. Tomlin tyto funkce nazývá Inkrementálními funkcemi. Aplikační funkce poskytují nástroje, které je možno aplikovat k specifickým úkolům jako například hydrologie, čištění dat a geometrické transformace.

Kvalifikátory

Kvalifikátory jsou parametry, které kontrolují, jak a kde se vykonávají aplikace. Ačkoli operátory a funkce provádějí akce, tak se druh a chování akcí různí. Akce povolují nebo vyžadují klasifikaci parametrů pro identifikaci v jakém rozsahu a se kterými hodnotami se vykonávají akce.

Konstanty a čísla jsou jednotlivé objekty, obvykle numerické, které mohou být použity ve spojení s operátory a funkcemi. Některé z vestavěných konstant dostupných v syntaxích jazyka mapové algebry jsou $\text{PI}(3,14)$, $\text{e}(2,718)$ a $\text{deg}(57,296)$ – stupeň/radián. Všechny hodnoty buněk rastrové vrstvy mohou být násobeny nebo děleny jakýmkoli číslem nebo jakékoli číslo může být přičteno nebo odečteno od každé hodnoty buňky rastrové vrstvy. Čísla mohou být použita ve většině operací na rastrové vrstvě nebo na konstantě. Je-li číslo použito ve funkci, může být rovněž nastaveno jako parametr, např. šířka sousedství, maximální vzdálenost nebo test uvedené podmínky.

Spatial Analyst podporuje práci jak s celočíselnými hodnotami, tak s hodnotami náležejícími do reálných čísel, tj. s hodnotami obsahujícími desetinnou čárku. Výstupem mnoha funkcí jsou právě hodnoty z oboru reálných čísel, navzdory tomu, že vstupní hodnoty tvořily pouze celočíselné hodnoty. Mapová algebra si hravě poradí s převodem celočíselných hodnot na hodnoty s desetinnou čárkou i naopak.

2.2.3 Pravidla mapové algebry

Pokud v příkazu používáme operátory, musí být od objektů odděleny mezerou z obou stran. Pořadí provádění operací definovanými operátory je určeno pomocí tzv. hodnoty nadřazenosti (precedence value), která je přiřazena každému operátoru (viz tabulka níže). Čím vyšší hodnota nadřazenosti, tím má operátor vyšší prioritu. Pokud operátory použité v příkazu mají stejnou hodnotu nadřazenosti, pak se operace vykonává „zleva doprava“. Nejdřív se vykoná operace daná operátorem, který se nachází víc nalevo od operátoru se stejnou hodnotou nadřazenosti. Pokud si chceme stanovit vlastní pořadí provádění operací, jednoduše použijeme kulaté závorky (tak jak se tomu běžně děje v klasické algebře). Pracujeme-li s funkcemi, všechny mají stejnou hodnotu nadřazenosti. Není-li pořadí určeno závorkami, vykonávají se operace postupně zleva doprava.

Následující tabulka popisuje existující operátory a jejich hodnoty nadřazenosti.

Operátor	Popis	Nadřazenost
Aritmetické:		
-	mění znaménko hodnoty (násobí -1)	12
mod	zbytek po celočíselném dělení (modulo)	11
*	Násobení	11
/	Dělení	11
div	Dělení	11
+	Sčítání	10
-	Odečítání	10
Booleovské:		
^, not	vylučovací součet	12
&, and	A	3
!, xor	vylučovací NEBO	2
l, or	NEBO	2
Relační:		
<, lt	menší než	6
<=, le	menší nebo rovno	6
>, gt	větší než	6
>=, ge	větší nebo rovno	6
==, eq	rovnost	6
^=, <>, ne	nerovnost	6
Bitové:		
^^	bitový vylučovací součet	12
>>	bitový posun doprava	7
<<	bitový posun doleva	7
&&	bitové A	5
!!	bitové vylučovací NEBO	4
ll	bitové NEBO	4
Kombinatorické:		
cand	A	9
cor	NEBO	8
cxor	vylučovací NEBO	8

Logické:		
diff	logický rozdíl	8
in	obsaženy v	8
over	Vrací hodnoty, které v prvním vstupním rastru nejsou nulové. V místech, kde se nulové hodnoty objevují, přejímá hodnoty z druhého vstupního rastru.	8

Tabulka 2.1 Operátory mapové algebry

3 Lokální funkce

V předcházejících kapitolách byla nastíněna struktura jazyka kartografického modelování ve smyslu konvencí. Podstata tohoto jazyka může být v tomto okamžiku definována i ve smyslu jeho funkcí.

Následující kapitoly popisují základní funkce kartografického modelování (mapové algebry) pomocí operací interpretujících data, které charakterizují:

- jednotlivé buňky – lokální funkce,
- buňky uvnitř sousedství – fokální a inkrementální (globální) funkce,
- buňky uvnitř zón – zonální funkce.

Z hlediska terminologie mapové algebry rozlišujeme lokální, fokální, inkrementální (globální) a zonální funkce. Lokální funkce jsou funkce typu OVERLAY. Výpočet probíhá vždy na odpovídajících si buňkách dvou nebo více rastrových vrstev ve vertikálním směru. V případě fokálních funkcí je hodnota výsledné buňky určovaná na základě vztahu k buňkám v jejím okolí, které je definované směrem a vzdáleností. Vzhledem k charakteru funkcí se označují jako horizontální. Inkrementální (globální) funkce určují hodnotu výsledné buňky obdobně jako fokální funkce, na základě jejího vztahu k okolním hodnotám. Toto okolí však může, v závislosti na použité funkci, představovat různé lineární, plošné nebo povrchové formy. Výpočet probíhá inkrementálním způsobem, prohledáváním celé rastrové struktury a napočítávání hodnot buněk splňujících dané kritérium. Typickým příkladem výpočtu je určení optimální cesty. V případě zonálních funkcí probíhají výpočty v rámci zón definovaných tzv. zonálním rastrem. Pro zóny určené zonálním rastrem jsou získávané sumarizované statistické charakteristiky na základě vstupního rastru. [4]

3.1 Lokální funkce

První hlavní skupina funkcí analyzujících data zahrnuje ty funkce, které vypočítávají novou hodnotu pro každou buňku v rastrové vrstvě jako funkci existujících hodnot buněk stejné polohy. Funkce mohou pracovat pouze s jednou rastrovou vrstvou nebo i s více rastrovými vrstvami najednou. V případě, kdy do výpočtu vstupuje jenom jedna vrstva tak se nová hodnota pro každou buňku vypočte jako funkce jedné proměnné (hodnoty buňky) na vstupní vrstvě. V případě, že do výpočtu vstupuje více vrstev, lokální funkce pracují pouze

s jednou hodnotou odpovídající si polohy na každé vrstvě. Novou hodnotu pro každou buňku vypočítají jako funkci více proměnných nacházejících se v rastrových vrstvách, které vstupují do výpočtu. Pro přiblížení problematiky si můžeme představit, že vstupními daty budou dvě nebo více rastrových vrstev a výsledkem bude pouze jedna rastrová vrstva s novými hodnotami buněk. Nové hodnoty jsou vypočítány z hodnot původních pomocí předem definovaných operací. Mezi tyto operace patří:

- *LocalRating*,
- *LocalSum*, *LocalDifference*, *LocalProduct*, *LocalRatio*, *LocalRoot* a *LocalMean*,
- *LocalSine*, *LocalCosine*, *LocalTangent*, *LocalArcSine*, *LocalArcCosine* a *LocalArcTangent*,
- *LocalCombination*,
- *LocalVariety*,
- *LocalMajority* a *LocalMinority*,
- *LocalMaximum* a *LocalMinimum*.

Operace *LocalRating*

Tato operace může být rovněž uvedena jako reklasifikace. Operace umožňuje hodnotám (příp. rozsahu hodnot) vstupní rastrové struktury přiřadit nové hodnoty vytvořením nové vrstvy, ve které každá buňka bude mít novou hodnotu. V případě, kdy do výpočtu vstupuje více vrstev, má tato operace rozšířenou funkčnost. Nejenom, že umožňuje nastavit nové hodnoty pouhým přiřazením numerické hodnoty, ale zároveň umožňuje převzetí hodnot ze stávajících vrstev. Operace rovněž umožňuje nastavení nové hodnoty v místech, kde vstupní vrstvy koincidují. Tento případ operace *LocalRating* je zvláště důležitý v případech, kde kombinace vrstev nemůže být vyjádřena v obecné podobě matematické funkce. Je to častý případ, kdy se kombinované hodnoty vztahují pouze k nominální poměrové stupnici.

Operace *LocalSum*, *LocalDifference*, *LocalProduct*, *LocalRatio*, *LocalRoot*, a *LocalMean*

Tyto operace vypočítají novou hodnotu zóny pomocí matematické funkce.

LocalSum – součet

LocalRatio – dělení

LocalProduct – násobení

LocalDifference – odčítání

LocalRoot – odmocnina

LocalMean – průměr

Na tomto místě je třeba zmínit, že tyto operace najdou uplatnění pouze pro data s vhodnou velikostní stupnicí. *LocalProduct*, *LocalRatio*, a *LocalRoot* dávají smysluplné výsledky pouze tehdy, když hodnoty mají poměrovou stupnici. Operace jako *LocalSum*, *LocalDifference* mohou pracovat s hodnotami jak poměrové tak intervalové stupnice.

Operace LocalSine, LocalCosine, LocalTangent, LocalArcSine, LocalArcCosine, a LocalArcTangent

Tyto operace jsou v podstatě totožné s předchozími operacemi s tím rozdílem, že při výpočtu používají funkce trigonometrické. Příkaz je totožný s předchozím příkazem. Funkce jsou aplikovatelné pouze na jednu proměnnou a tudíž i na jednu vrstvu.

Operace LocalCombination

Pro ušetření času je někdy lepší místo operace *LocalRating* použít operaci *LocalCombination*. V případě, že máme dvě vrstvy a každá z nich obsahuje 5 zón, je to 5×5 možných kombinací. Použijeme-li operaci *LocalRating* musíme do příkazu explicitně zadat 25 specifických kombinací. V tomto případě je lepší použít operaci *LocalCombination*, která automaticky vytvoří unikátní novou hodnotu pro každou kombinaci vyskytující se v rámci zúčastněných vrstev. Zřídka se na reálných vrstvách budou vyskytovat všechny možné kombinace a tak se počet nových hodnot značně zmenší.

Tato funkce může být použita pro všechny případy poměrových stupnic. Nevyžaduje žádné subjektivní posouzení dat. Operace se hodí k aplikacím, které mají za úkol prozkoumat určitou oblast.

Operace LocalVariety

Další operaci, která může být použita ve všech případech poměrových stupnic je operace *LocalVariety*. Tato operace vytvoří novou hodnotu pro každou buňku ukazující kolik různých hodnot buněk odpovídající si polohy je na vstupních rastrových vrstvách. Například, pokud máme šest rastrových vrstev a hodnoty buněk odpovídající si polohy budou 3, 5, 8, 3, 5 a 2, pak nová hodnota vytvořená operací *LocalVariety* bude 4.

Operace *LocalMajority* a *LocalMinority*

Operace *LocalMajority* přiřadí každé buňce novou hodnotu, která se rovná hodnotě nejčastěji se vyskytující v souboru existujících hodnot buněk odpovídající si polohy. Funkce *LocalMinority* je obdobná, s tím rozdílem, že každé buňce přiřadí hodnotu, která se nejmíň často vyskytuje v souboru existujících hodnot. Pokud majorita nebo minorita není jednoznačná, tzn., pokud se vyskytne stejný počet buněk mající stejnou hodnotu, pak operace *LocalMajority* a *LocalMinority* přiřadí nové buňce prázdnou hodnotu (NoData).

Operace *LocalMaximum* a *LocalMinimum*

Tyto operace přiřadí každé buňce rastru novou hodnotu, která se rovná největší resp. nejmenší hodnotě buňky stejné polohy. Operace *LocalMaximum* a *LocalMinimum* se odlišují od předchozích tím, že jsou více citlivé na velikost hodnot a ne pouze na to zda hodnota existuje nebo neexistuje nebo na četnost jejího opakování.

Operace mohou být rovněž použité v souvislosti s booleovskou algebrou. K tomu je pouze potřeba, aby odpovídající si hodnoty reprezentovaly svou velikostí pravdivou a nepravdivou podmínku. Pokud podmínka pravdivosti je reprezentována větší hodnotou, pak operace *LocalMaximum* a *LocalMinimum* mohou být použité pro výpočet počtu kartografických průsečíků a sloučení. Průsečík se objeví tehdy, pokud všechny hodnoty splňují pravdivou podmínku. Sloučení nastává tehdy, pokud žádná z hodnot nesplňuje podmínku pravdivosti.

3.2 Lokální funkce v Spatial Analyst

Nadcházející podkapitola se bude zabývat tím, jak mapová algebra prezentuje lokální funkce v rámci aplikace ArcGIS Spatial Analyst s důrazem na předvedení funkcí na příkladech a konkrétních aplikacích.

Lokální funkce mapové algebry Spatial Analystu jsou rozšířené zejména o řadu matematických funkcí. Funkce pracující pouze s jednou vrstvou jsou rozšířeny o specifické goniometrické funkce jako například hyperbolický sinus, kosinus, tangens a jejich inverze. K těmto funkcím přibýly rovněž logaritmické a exponenciální funkce.

K funkcím pracujícím s několika rastrovými vrstvami přibýly funkce jako směrodatná odchylka hodnot (STD), rozptyl hodnot (Range). Novinkou je i funkce *Rank*, která seřadí hodnoty stejné polohy podle velikosti a ve výstupním rastru zaznamená hodnotu nacházející

se v požadovaném pořadí. Obdobnou funkcí je funkce *Popularity*, která ve výsledném rastru zobrazí počet výskytů hodnoty, která se nachází v požadovaném pořadí. Funkce *HighestPosition* a *LowestPosition* přiřadí každé buňce výstupní rastrové vrstvy hodnotu, která identifikuje tu vstupní vrstvu, kde se objevila nejvyšší/nejnižší hodnota.

Operace *LocalRating* z předchozího oddílu odpovídá funkci *Reclass*. Funkci *Reclass* najdeme v nabídce předdefinovaných funkcí Spatial Analystu, kde jednoduše zadáme vstupní vrstvu. Automaticky se nám objeví všechny hodnoty, které se vyskytují v rastru. Pokud reklasifikace není rozsáhlá, manuálně přiřadíme nové hodnoty, které se mají nastavit na místo původních hodnot. Pokud by se jednalo o rozsáhlejší reklasifikaci, doporučuji použít příkaz mapové algebry, kde údaje o reklasifikaci budou zapsané v textovém souboru (podporované formáty jsou ASCII nebo INFO). Bohužel funkce *Reclass* postrádá vlastnost převzetí hodnot jednoho rastru a nahrazení jimi předem určené hodnoty rastru druhého. Provedení této operace můžeme vyřešit pomocí funkce *Pick* (viz níže). Příkaz pro operaci *Reclass* má tyto atributy:

`Reclass(<grid>, <remap_table>, {DATA | NODATA}, {in_item}, {out_item})`, kde

<code><grid></code>	Vstupní rastr.
<code><remap_table></code>	Odkaz na soubor obsahující údaje o reklasifikaci (ASCII nebo INFO tabulka)
<code>{DATA NODATA}</code>	Určuje jak zacházet s hodnotami v tabulkách. DATA – Pokud se vyskytne hodnota ve vstupním rastru, která není definována v tabulce, původní hodnota ze vstupní rastrové vrstvy se beze změny objeví ve výstupní vrstvě. NODATA – Pokud se vyskytne hodnota ve vstupní rastrové vrstvě, která není definována v tabulce, hodnota buňky ve výstupní vrstvě bude prázdná (NoData).
<code>{in_item}, {out_item}</code>	Blíže určuje jednotlivé prvky v INFO tabulce.

Tabulka 3.1 Parametry funkce *Reclass*

Operace *Pick*

Výstupní hodnoty jsou určeny pomocí funkcí, které jsou definovány v příkazu. Funkce, která má být aplikována na určitou hodnotu, je definována vstupním rastrem. Například

pokud se ve vstupním rastru objeví hodnota 1, tak tato hodnota bude zpracována funkcí, která se nachází na první pozici v příkazu. Příkaz je definován takto:

Pick(<grid>, <expression, ..., expression>), kde

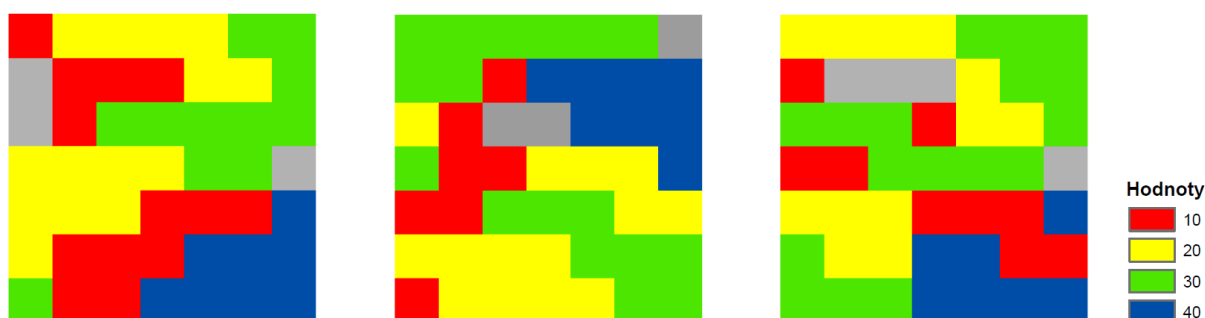
<grid>	Vstupní rastr nebo výraz, jehož výsledkem je rastr.
<expression, ..., expression>	Jakékoliv výrazy platné v jazyku mapové algebry, rastry nebo čísla. Pokud se ve vstupním rastru objeví hodnota 1, použije se první výraz, atd.

Tabulka 3.2 Parametry funkce *Pick*

Následující příklady představují základní lokální funkce. Obecný příkaz pro lokální funkce mapové algebry zní (pozn. lokální funkce v prostředí ArcGIS neobsahují na začátku názvu slovo Local):

Funkce(<grid, ..., grid>),

kde výraz funkce označuje jméno dané funkce a výrazy <grid> určují vstupní rastrové vrstvy.



Obrázek 3.1 Vstupní rastrové vrstvy (vstup1, vstup2, vstup3)

Obrázek 3.1 zobrazuje tři vstupní rastry, které vstupují do výpočtu uvedených níže. Šedé buňky, které nejsou zachyceny v legendě, zobrazují buňky s prázdnou hodnotou (NoData).

Výpočet majoritní hodnoty. Majoritní hodnota je ta hodnota, která se vyskytuje nejčastěji v rámci buněk stejné pozice. Hodnota NoData se přiřadí buňkám, kde neexistuje žádná majorita a také všem buňkám, kde se vyskytla hodnota NoData ve vstupních souborech.

Příkaz: Majority(vstup1, vstup2, vstup3)



Obrázek 3.2 Funkce *Majority*

Zobrazení minimální hodnoty v rámci buněk stejné polohy.

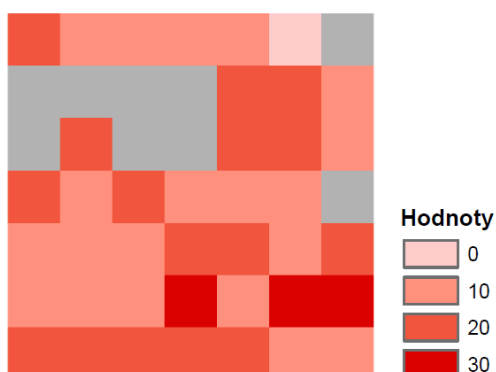
Příkaz: Min(vstup1, vstup2, vstup3)



Obrázek 3.3 Funkce *Minimum*

Výpočet průměrné hodnoty z hodnot buněk stejné polohy.

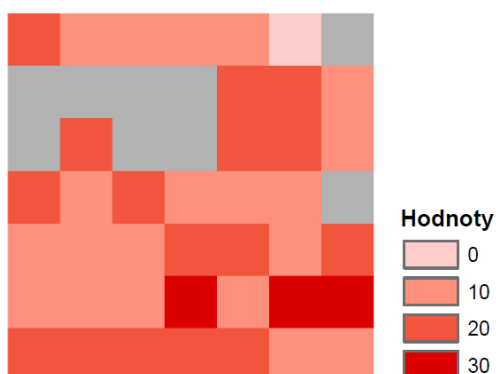
Příkaz: `Mean(vstup1, vstup2, vstup3)`



Obrázek 3.4 Funkce *Mean*

Funkce *Range* určí rozptyl hodnot buněk v rámci stejné polohy.

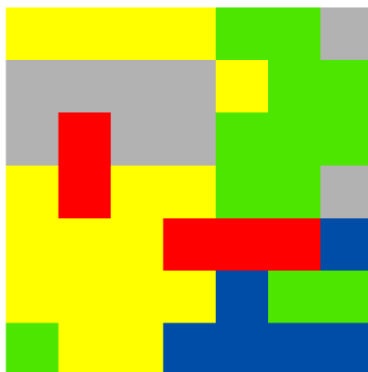
Příkaz: `Range(vstup1, vstup2, vstup3)`



Obrázek 3.5 Funkce *Range*

Funkce *Rank* seřadí hodnoty od nejvyšší po nejnižší v rámci stejné polohy a buňce ve výstupním rastru přiřadí hodnotu, která je v požadovaném pořadí. Pořadí je definováno prvním rastrem/numerickou hodnotou v příkazu. Na obrázku jsou zobrazeny buňky, které jsou druhé v pořadí v rámci stejné polohy.

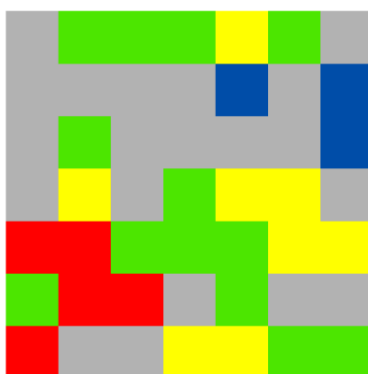
Příkaz: Rank(2, vstup1, vstup2, vstup3)



Obrázek 3.6 Funkce *Rank*

Funkce Popularity, tak jako předchozí funkce, seřadí hodnoty, ale od nejčastěji se vyskytující po nejméně často se vyskytující a ve výstupní vrstvě se zobrazí ta hodnota, která je v požadovaném pořadí.

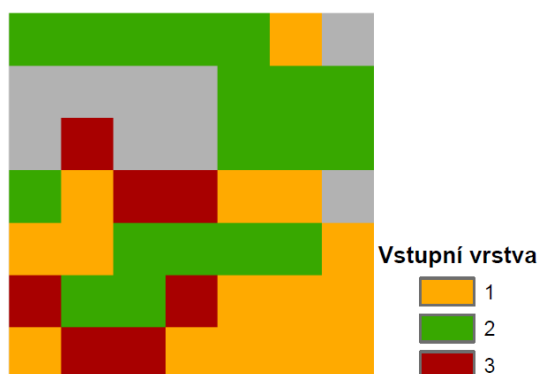
Příkaz: Popularity(2, vstup1, vstup2, vstup3)



Obrázek 3.7 Funkce *Popularity*

Funkce *HighestPosition* přiřadí každé buňce výstupního rastru hodnotu, která ukazuje, ve kterém ze vstupních rastrových vrstev se nachází nejvyšší hodnota.

Příkaz: `Upos(vstup1, vstup2, vstup3)`

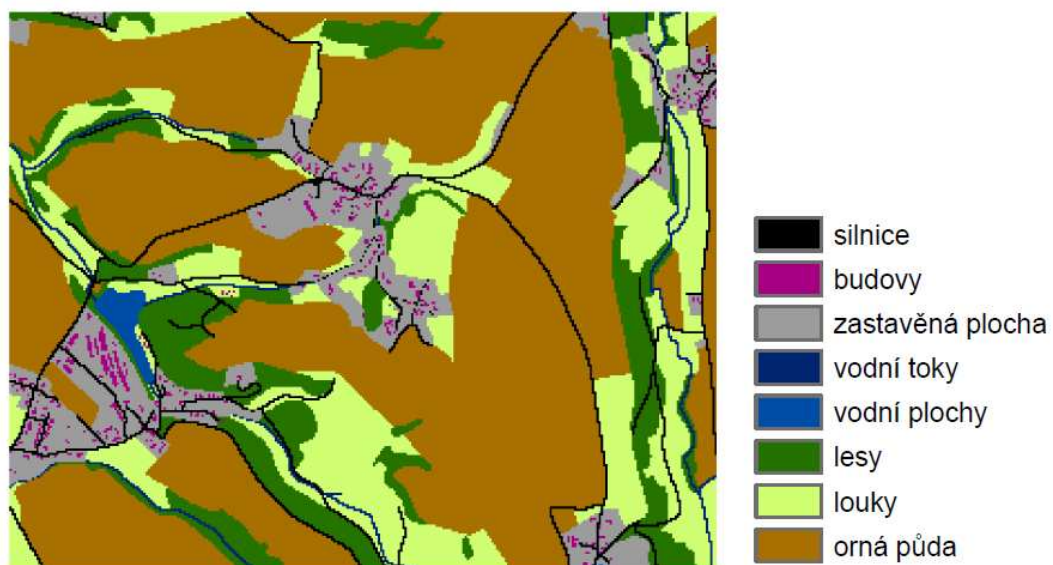


Obrázek 3.8 Funkce *HighestPosition*

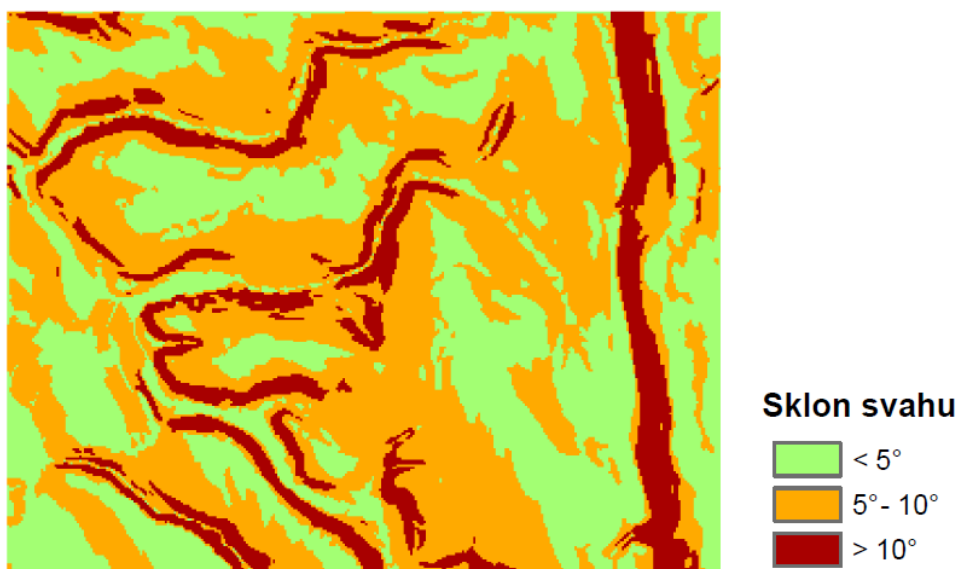
3.3 Příklady aplikací

Následující aplikace lokálních funkcí hodnotí erozní ohroženost orní půdy. Erozní ohroženost se hodnotila na základě svažitosti terénu. Čím větší svah tím dochází k většímu smyvu půdy při srážkách. Eroze nehrozí v místech trvalého porostu, jako jsou oblasti lesů a luk a v zastavěných oblastech. Do výpočtu vstupovaly dvě rastrové vrstvy. Vrstva zobrazující ornou půdu (Obrázek 3.9) a ostatní plochy a vrstva zobrazující svažitost terénu (Obrázek 3.10). Svažitost terénu byla vytvořena z rastru topografických výšek pomocí funkce *Slope* (viz následující kapitola). Sklon svahu je rozděleno do tří kategorií. Tyto vrstvy byly vstupem pro funkci *LocalCombination*. Výsledná erozní ohroženost půdy je zobrazena pomocí čtyř kategorií (Obrázek 3.11).

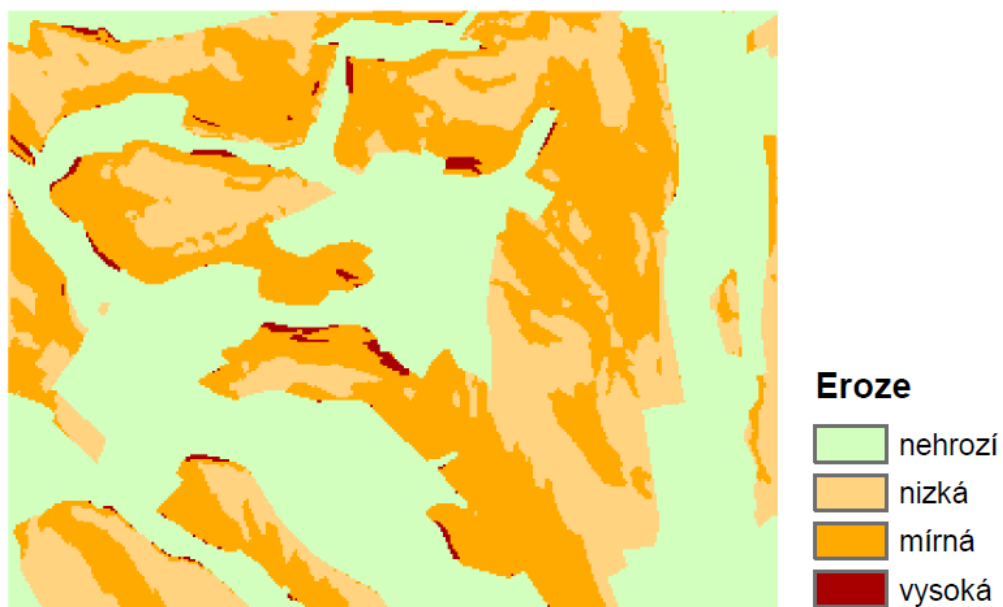
Příkaz: `Combine(vstup_uzemi, sklon_svahu)`



Obrázek 3.9 Území erozní ohroženosti



Obrázek 3.10 Sklon svahu



Obrázek 3.11 Erozní ohroženost

4 Fokální a inkrementální (globální) funkce

Všechny doposud představené funkce pracují s jednotlivými buňkami, tudíž se nezajímají o vztahy mezi buňkami. Můžeme je označit za neprostorové operace. Druhou skupinou operací, které se na rozdíl od první skupiny zabývají vztahy mezi buňkami, jsou fokální a inkrementální funkce. Každou novou hodnotu buňky spočítají jako funkci hodnot jejího sousedství. Sousedství je soubor jedné nebo více buněk, které se nacházejí ve specifické vzdálenosti a/nebo směru. Centrální buňkou pak nazýváme buňku, pro kterou se počítá nová hodnota. Samotný výpočet probíhá způsobem, kde matice o velikosti $n \times m$ prochází vstupní rastrovou strukturou ze shora dolů ve směru řádků. Při většině operací jsou n a m lichá čísla. V rámci matice (sousedství) je určena charakteristika hodnot (např. minimum, maximum, průměr) a je přiřazena centrální buňce ve výsledné vrstvě. V dalším kroku se matice přesune o jeden sloupec doprava a výpočet proběhne obdobným způsobem. [4]

Tyto operace můžeme rozdělit do dvou skupin podle toho, jak definujeme zmíněné sousedství:

- operace, které vytvářejí nové hodnoty na základě existujících hodnot nejbližšího okolí centrální buňky,
- operace, které vytvářejí nové hodnoty na základě existujících hodnot rozšířeného okolí centrální buňky.

4.1 Funkce nejbližšího okolí

Jak už bylo zmíněno výše, tato skupina funkcí zahrnuje, ty operace, kde sousedství je limitováno na buňky, které jsou bezprostředně přilehlé k centrální buňce. Z toho vyplývá, že každá buňka nemá více než osm bezprostředně přilehlých sousedů.

Mezi operace náležící k této skupině řadíme:

- *FocalRating, FocalCombination, FocalVariety, FocalMajority, FocalMinority, FocalMaximum, FocalMinimum, FocalSum, FocalProduct, a FocalMean,*
- *FocalPercentage, FocalPercentile, a FocalRanking,*
- *FocalInsularity,*
- *IncrementalLinkage a IncrementalLength,*

- *IncrementalPartition, IncrementalFrontage* a *IncrementalArea*,
- *IncrementalVolume, IncrementalGradient, IncrementalAspect* a *IncrementalDrainage*.

Operace *FocalRating, FocalCombination, FocalVariety, FocalMajority, FocalMinority, FocalMaximum, FocalMinimum, FocalSum, FocalProduct* a *FocalMean*

Základní operace pracující s nejbližším okolím se podstatně neliší od lokálních funkcí. Rozdílem je, že tyto operace nezahrnují do výpočtu hodnoty buněk odpovídající si polohy ležících ve více rastrových vrstvách, ale soustředí se na hodnoty nejbližšího okolí centrální buňky jedné vrstvy. Operace *FocalRating, FocalCombination, FocalVariety, FocalMajority* a *FocalMinority* pracují s hodnotami všech velikostních stupnic. Pokud jsou hodnoty definovány alespoň pro pořadovou velikostní stupnici, mohou být rovněž zpracovány operacemi *FocalMaximum* a *FocalMinimum*. Tyto operace přiřadí centrální buňce nejvyšší (nebo nejnižší) z hodnot nejbližšího okolí ve vrstvě.

Některé operace jako odečítání, dělení, odmocňování a arcus tangens se nedají provést adekvátně, aniž by bylo stanovené pořadí hodnot, v jakém se má daná operace provádět. V případě lokálních funkcí se definování pořadí jednoduše stanoví příkazem, ve kterém je uvedeno pořadí vrstev. V případě nejbližšího okolí buňky neexistuje žádné pořadí provádění těchto operací. Tento fakt předem zamezuje použití těchto funkcí pro sousedství. Stanovené pořadí hodnot při provádění operace se nevztahuje na operace *FocalSum, FocalProduct* a *FocalMean*. Ty pracují na stejném principu jako lokální funkce.

Operace *FocalPercentage, FocalPercentile, a FocalRanking*

FocalPercentage určuje poměr sousedících buněk, které sdílejí stejnou hodnotu jako centrální buňka. Hodnota je vyjádřena ve formě procenta. Operace může být aplikována na všechny velikostní stupnice. Pro hodnoty, které náleží alespoň k pořadové velikostní stupnici, existuje užitečná obměna této funkce. Jedná se o operaci *FocalPercentile*, která určí procento sousedních buněk, které mají nižší hodnotu, než je hodnota centrální buňky. Operace *FocalRanking* je obdobná operace s tím rozdílem, že zaznamenává počet zón s hodnotami nižšími než hodnota centrální buňky.

Operace *FocalInsularity*

Insularity překladu znamená ostrovní poloha. Tato funkce přiřadí nové hodnoty buňkám tak, že všechny buňky sousedství mající stejnou hodnotu jako centrální buňka, obdrží stejnou novou hodnotu. Nová hodnota se rozšiřuje od jednoho sousedícího páru buněk stejné

hodnoty k dalšímu, dokud nezahrne všechny buňky mající stejnou hodnotu ohraničené společnou hranicí. Nová hodnota pak jednoznačně označuje tuto skupinu buněk. Výsledkem je rastrová vrstva, která obsahuje tzv. ostrovní skupiny buněk stejné hodnoty. Každá ostrovní skupina buněk má unikátní hodnotu v rámci vrstvy. Některé z těchto skupin mohou zahrnovat pouze jedinou buňku, některé naopak celou zónu.

Operace IncrementalLinkage a IncrementalLength

Inkrementální a fokální funkce patří k tzv. operátorům sousedství. V případě fokálních funkcí jsou jako sousedící buňky, na základě kterých je určována výsledná hodnota aktivní buňky, použité buňky v bezprostředním okolí definovaným směrem a vzdáleností. V případě inkrementálních funkcí je tento koncept rozšířený na sousedství v podobě rozličných lineárních, plošných a objemových forem.

Pro vyznačení liniového tvaru a velikosti uvnitř nejbližšího sousedství slouží funkce *IncrementalLinkage* a *IncrementalLength*. Obě operace akceptují vstup ve formě existující vrstvy, kde všechny buňky mající hodnotu jinou než prázdnou, jsou pokládány za liniové tvary.

IncrementalLinkage vytvoří novou mapovou vrstvu, kde každé buňce je přiřazena hodnota udávající jednu ze 47 liniových forem zobrazených na Obrázku 2.1. *IncrementalLength* informuje o délce této formy v každé buňce.

Operace IncrementalPartition, IncrementalFrontage a IncrementalArea

Tyto operace slouží pro určení plošných tvarů a jejich velikosti. Tyto operace předpokládají, že všechny buňky, mající odlišnou hodnotu než prázdnou jsou plošné jevy.

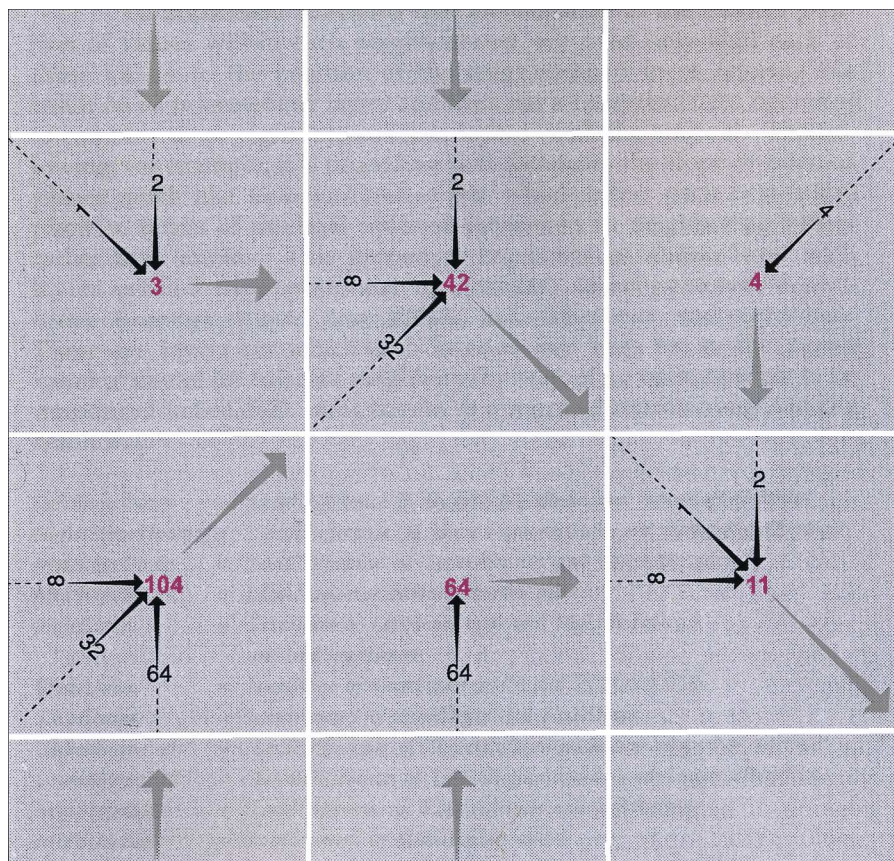
IncrementalPartition přiřadí každé buňce jeden z 15 typů plošných forem zobrazených na Obrázku 2.2, které mohou být odvozeny od pravého horního rohu každé buňky. Operace *IncrementalFrontage* měří celkovou délku hrany mezi každou buňkou a přiléhajícím sousedem, který má odlišnou hodnotu. *IncrementalArea* pak měří povrchový obsah každé buňky. *IncrementalFrontage* a *IncrementalArea* mohou být rovněž blíže specifikovány povrchovou vrstvou obsahující výšky.

Operace IncrementalVolume, IncrementalGradient, IncrementalAspect a IncrementalDrainage

Pomocí těchto funkcí můžeme charakterizovat tvar a velikost povrchových jevů ve smyslu přírůstků.

Operace *IncrementalVolume* spočítá novou hodnotu pro každou buňku udávající povrchový objem. Objem se vypočítá jako obsah mnohostěnu, který se nachází mezi kartografickou vodorovnou plochou a reálným povrchem. Operace *IncrementalGradient* a *IncrementalAspect* charakterizují povrch v bezprostřední blízkosti každé buňky ve smyslu orientace. *IncrementalGradient* měří naklonění svahu. Jedná se o úhel, který svírá povrch a vodorovná rovina. Tento úhel je vyjádřen ve stupních. Vodorovný svah nese hodnotu 0° a skoro svislé svahy se blíží k hodnotě 90° naklonění. Operace *IncrementalAspect* určí, na kterou světovou stranu je orientován povrch, který v rámci buňky nejvíce klesá. Tyto směry jsou vyjádřeny pomocí pravotočivých horizontálních úhlů počínaje od severu. Pak hodnoty jako 90, 180, 270 a 360 odpovídají svahu, který je natočen na východ, jih, západ a sever. Polohám nemajícím žádné naklonění je přiřazena 0.

Užitečnou variantou *IncrementalAspect* je operace *IncrementalDrainage*, která taky indikuje směr, ve kterém svah klesá. V tomto případě operace spočítá směr přítoku vody do každé buňky z okolních buněk. Tyto směry indikují prameny, ve kterých by tekla voda. Přítok vody je jednoznačně zaznamenán v každé buňce, jako součet čísel, kterými jsou označeny okolní sousedící buňky. Každé sousedící buňce je přiřazeno jednoznačné číslo určující její polohu vůči centrální buňce, kde chceme zaznamenat přítok. Buňky jsou číslovány, počínaje buňkou sousedící s horním levým rohem centrální buňky. Číslování probíhá v kladném směru čísla 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 a 128. Sečteme-li jakoukoliv kombinaci těchto čísel, vždy dostaneme jednoznačnou hodnotu, která charakterizuje, ze kterých buněk do středové buňky přítok přitéká, viz Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1 *IncrementalDrainage*

4.2 Funkce rozšířeného okolí

Druhou skupinou funkcí pracujících s okolím buňky je skupina funkcí, která zahrnuje do výpočtu všechny buňky ve specifické vzdálenosti a/nebo směru. Mezi tyto operace patří:

- *FocalFUNCTION at DISTANCE a by DIRECTION,*
- *FocalProximity, FocalBearing a FocalNeighbor,*
- *FocalGravitation,*
- *FocalFUNCTION radiating,*
- *FocalFUNCTION spreading,*
- *FocalFUNCTION spreading in,*
- *FocalFUNCTION spreading on,*
- *FocalFUNCTION spreading through.*

Operace *FocalFUNCTION* at *DISTANCE* a by *DIRECTION*

Operace jako *FocalCombination*, *FocalInsularity*, *FocalMajority*, *FocalMinority*, *FocalMaximum*, *FocalMinimum*, *FocalMean*, *FocalPercentage*, *FocalPercentile*, *FocalProduct*, *FocalRanking*, *FocalRating*, *FocalSum* a *FocalVariety* mohou být generalizovány pomocí této operace, kde bylo rozšířeno sousedství, které vstupuje do výpočtu. Výraz *DISTANCE* specifikuje poloměr zahrnutého sousedství. Sousedství je pak definováno jako soubor všech buněk nacházejících se v menší nebo stejné vzdálenosti od centrální buňky. Pomocí výrazu *DIRECTION* fokální funkce mohou být rovněž generalizovány omezením sousedství na buňky, které se nacházejí pouze v určitém směru.

Operace *FocalProximity*, *FocalBearing* a *FocalNeighbor*

Operace *FocalProximity* počítá vzdálenost mezi buňkou s určitou předem definovanou hodnotou a nejbližší buňkou nacházející se v rámci poloměru sousedství s hodnotou odlišnou od prázdné hodnoty. Jedná se o nejznámější funkci zpracovávající okolí buňky. Ve vektorovém GIS se tato funkce jmenuje buffer.

Operace *FocalBearing* na rozdíl od předchozí funkce neměří vzdálenosti, ale směry. Každé buňce výstupní rastrové vrstvy je přiřazena hodnota úhlu odklonu od nejbližší buňky s hodnotou odlišnou od prázdné hodnoty. Operace *FocalNeighbor* pracuje na podobném principu jako předchozí dvě funkce, s tím rozdílem, že v nové vrstvě každé buňce s odlišnou hodnotou než prázdná hodnota přiřadí hodnotu, která jednoznačně určuje, ke které předem definované buňce má nejbližší. Výsledek této funkce má mnoho společného s Voronoi diagramy nebo Theissen polygony.

Operace *FocalGravitation*

Tato funkce náleží k interpolačním funkcím. Pro každou buňku nemající hodnotu spočte novou hodnotu pomocí hodnot okolních buněk. Výpočet probíhá na základě metody inverzních vzdáleností. Nejdříve se každá známá hodnota vynásobí převrácenou hodnotou (inverzní) vzdálenosti k buňce o neznámé hodnotě. Tato vzdálenost je ještě umocněná na druhou. Pak se tyto výsledky sečtou a vydělí sumou převrácených hodnot vzdáleností umocněných na druhou.

Operace FocalFUNCTION radiation

Tato operace přináší další užitečnou obměnu pro fokální funkce. Nejenom, že specifikuje okolí centrální buňky v určité vzdálenosti a/nebo směru, ale navíc přidává prvek vizuálního kontaktu. Pro definování vizuálního kontaktu potřebujeme, aby se centrální buňka nacházela v takové poloze, kde existuje volná linie pohledu mezi žádanou pozicí spojenou s buňkou v okolí a pozicí spojenou s centrální buňkou. Tato funkce může být blíže specifikována několika podmínkami, pokud do výpočtu vstoupí další vrstvy. *SURFACELAYER* odkazuje na existující vrstvu obsahující topografické výšky. Vrstva *TRANSMISSIONLAYER* specifikuje vrstvu, kde hodnoty jsou přičteny k hodnotám *SURFACELAYER*, aby byly určeny vertikální výšky každé centrální buňky (např. výška lidského oka). Vrstva *OBSTRUCTIONLAYER* specifikuje vrstvu, kde hodnoty jsou rovněž přičteny k hodnotám *SURFACELAYER*. Pomocí ní jsou definovány pozice, pod nimiž už není žádná viditelnost. Typicky se jedná o vrstvu budov nebo vegetace. Poslední vrstva *RECEPTIONLAYER* představuje vrstvu, která se také přičítá k *SURFACELAYER*. Tato vrstva indikuje úroveň, na, nebo pod, kterou je bod ve středu každé buňky schopen přijmout vyzařované záření z centrální buňky.

Operace FocalFUNCTION spreading

Tato operace vychází z myšlenky, že na okolí může být pohlíženo s ohledem na vzdálenost, která je důsledkem pohybu. Simulace toho pohybu je prostředek pro výpočet vzdálenosti. Na začátku se musíme oprostít od předpokladu, že vzdálenost je reprezentována přímkou čarou mezi dvěma body. Na tomto místě je vzdálenost mezi body měřena ve smyslu pohybu jako nejkratší čas nebo jako vzdálenost nejnižších nákladů. Jinak řečeno, liniová dráha mezi body se počítá na základě přírůstků a nikoli přímé spojnice.

Operace FocalFUNCTION spreading in

Vzdálenosti mezi buňkami jsou v případě této funkce váženy ne v závislosti ke geometrické délce jako v předchozím případě, ale v závislosti k přírůstkům cestovních nákladů (travel costs). Do výpočtu nutně vstupuje vrstva *FRICTIONLAYER*, která určuje náklady na cestování skrze každou buňku.

Operace FocalFUNCTION spreading on

Tato operace je rovněž obměnou *FocalFUNCTION spreading* měřící vážené vzdálenosti. Použité váhy odpovídají vzdálenostem mezi středem buňky a určitou vertikální polohou určenou vrstvou obsahující topografické výšky.

Operace FocalFUNCTION spreading through

V tomto případě funkce *FocalFUNCTION spreading* mají přírůstky vzdálenosti z jakékoliv buňky přikázaný směr šíření. Směr šíření je dán jednou ze vstupních vrstev, kde hodnota každé buňky určuje, jakým směrem se budou přírůstky měřit. Tato vrstva je často vytvořena pomocí operace *IncrementalDrainage*. Příkladem pro tuto operaci může být výpočet odtoku vody v době srážek, kde každá buňka bude ukazovat pravděpodobné množství vody, které přes buňku protéká.

4.3 Fokální a inkrementální funkce v Spatial Analyst

Předchozí podkapitola popsala fokální funkce v obecné rovině. Následující řádky se budou zabývat problematikou fokálních funkcí v programu ArcGIS Spatial Analyst, jak tomu bylo i v předchozí kapitole.

Tato skupina funkcí je reprezentována poměrně velkým souborem funkcí. Objevují se zde funkce, které mají zcela nové analytické schopnosti. Naopak řada funkcí představených v předchozím oddíle není vůbec zastoupená. Mezi ně patří operace *FocalPercentage*, *FocalPercentile*, *FocalRanking*, *IncrementalPartition*, *IncrementalFrontage*, *IncrementalArea*, *IncrementalVolume*, *FocalProximity* a *FocalBearing*.

Statistické a matematické funkce

První skupina operací zpracovává okolí buňky ve smyslu statistických a matematických funkcí. Řadíme sem *FocalRating*, *FocalCombination*, *FocalVariety*, *FocalMajority*, *FocalMinority*, *FocalMaximum*, *FocalMinimum*, *FocalSum*, *FocalProduct* a *FocalMean* najdeme pod stejným názvem. Funkce jsou rozšířené o možnost specifikovat nejbližší okolí, tudíž zahrnují zároveň funkce nejbližšího okolí i rozšířeného okolí. Okolí se specifikuje v příkazu, který může vypadat takto:

```
FocalFunction(<grid>, {DATA | NODATA}),
```

```
FocalFunction(<grid>, <RECTANGLE>, <width>, <height>, {DATA | NODATA})
```

FocalFunction(<grid>, <CIRCLE>, <radius>, {DATA | NODATA})

FocalFunction(<grid>, <ANNULUS>, <inner_radius>, <outer_radius>, {DATA | NODATA})

FocalFunction(<grid>, <WEDGE>, <radius>, <start_angle>, <end_angle>, {DATA | NODATA})

FocalFunction(<grid>, <IRREGULAR>, <kernel_file>, {DATA | NODATA}),

Každý z těchto příkazů definuje, jak má vypadat nejbližší okolí centrální buňky, pro kterou se počítá nová hodnota. Mezi možné tvary okolí patří pravoúhlé, kruhové, prstencové tvary, tvar kruhové výseče a nepravidelné tvary. V následující tabulce jsou popsány možné tvary a jejich parametry.

<grid>	Vstupní rastr. Pokud není specifikováno, jak má vypadat okolí pro danou funkci, pak je jako výchozí použité okolí 3x3 buněk.
{DATA NODATA}	Určení způsobu, jakým se má zacházet s prázdnou hodnotou. DATA – Prázdná hodnota (NoData) bude ignorována v procesu výpočtu. NODATA- Pokud jakákoliv buňka v okolí centrální buňky má prázdnou hodnotu (NoData), pak centrální buňka přijme tuto hodnotu.
<RECTANGLE>	Určuje, že tvar okolí bude pravoúhlý. Pomocí <width> a <height> je blíže specifikován tvar pravoúhelníku.
<CIRCLE>	Určuje, že tvar okolí bude kruhový. Velikost kružnice je definována pomocí poloměru <radius>.
<ANNULUS>	Určuje, že tvar okolí bude ve tvaru prstence. Pomocí <inner_radius> a <outer_radius> je definován vnitřní a vnější průměr.
<WEDGE>	Určuje, že tvar okolí bude ve tvaru kruhové výseče. Hodnoty <radius>, <start_angle> a <end_angle> definují tvar výseče.
<IRREGULAR>	Umožňuje definování nepravidelného tvaru okolí. Pomocí souboru <kernel_file> ve formátu ASCII se definuje přesný tvar okolí. Soubor obsahuje pouze 0 a 1, 1 určuje okolí, které vstupuje do výpočtu.

Tabulka 4.1 Parametry statistických fokálních funkcí

Základní funkce jsou rozšířeny o operaci *MajorityFilter*. Funkce se velice podobá operaci *FocalMajority* s tím rozdílem, že poskytuje jiné možnosti pro výběr okolí buňky a posuzování většiny (majoritní hodnoty v okolí buňky) . Příkaz je definován takto:

MajorityFilter(<in_grid>, {FOUR | EIGHT}, {MAJORITY | HALF}), kde

<in_grid>	Vstupní rastr.
{FOUR EIGHT}	Počet buněk vstupujících do výpočtu. FOUR – Do výpočtu vstupují pouze čtyři buňky, které bezprostředně hraničí s hranou buňky (buňky nacházející se napravo, nalevo, nad a pod centrální buňkou). EIGHT – Do výpočtu vstupuje všech osm sousedících buněk.
{MAJORITY HALF}	Tímto výrazem specifikujeme podmínky pro přijetí majoritní hodnoty. MAJORITY – Většina z celkového počtu sousedících buněk musí mít stejnou hodnotu. HALF – Pouze polovina z celkového počtu sousedících buněk musí mít stejnou hodnotu.

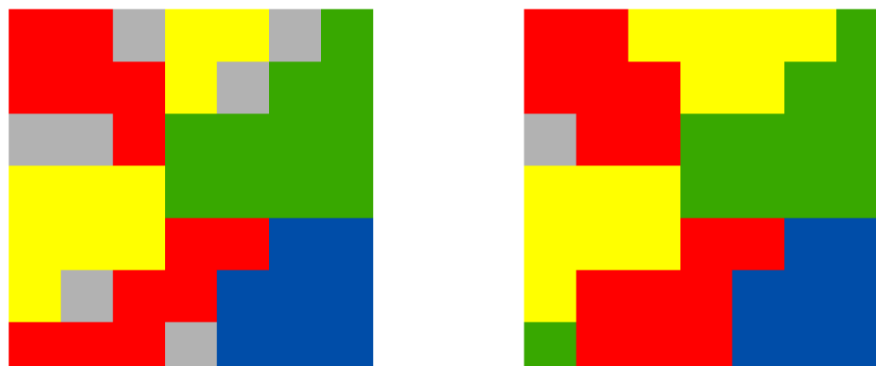
Tabulka 4.2 Parametry funkce *MajorityFilter*



Obrázek 4.2 Vstupní rastrová vrstva (vstup1)

Příkaz: `FocalMajority(vstup1, <RECTANGLE>, 3, 3)`

Příkaz: `MajorityFilter (vstup1, EIGHT, HALF)`



Obrázek 4.3 Funkce *FocalMajority* a *MajorityFilter*

Operaci *FocalInsularity* najdeme pod názvem *RegionGroup*, která každé buňce přiřadí hodnotu souvislého regionu, ke kterému náleží. Každému regionu je přiřazeno unikátní číslo v rámci zpracovávané rastrové vrstvy. Příkaz má tyto parametry:

`RegionGroup(<grid>, {o_remap_table}, {FOUR | EIGHT}, {WITHIN | CROSS}, {excluded_value}, {LINK | NOLINK})`

<grid>	Vstupní rastr.
{o_remap_table}	Tabulka ve formátu INFO uchováající původní hodnoty regionů.
{FOUR EIGHT}	Způsob jakým bude posuzováno spojení mezi sousedními buňkami. FOUR – Přípustné spojení mezi buňkami stejné hodnoty je pouze ve čtyřech hlavních směrech, vpravo, vlevo, na horu nebo dolů od centrální buňky. EIGHT – Přípustné spojení je ve všech osmi možných směrech.
{WITHIN CROSS}	WITHIN – Buňky, které budou spojené do jednoho regionu, musí být ve stejné zóně, tzn., že musí mít stejnou hodnotu. CROSS – Spojení bude posuzováno mezi všemi buňkami bez ohledu na příslušnost k vrstvě. Ve výpočtu budou vyloučeny buňky specifikované výrazem {excluded_value}.
{excluded_value}	Hodnoty, které mají být považovány za prázdné hodnoty.
{LINK NOLINK}	Specifikuje, které hodnoty mají být zapsány do výstupní tabulky.

Tabulka 4.3 Parametry funkce *RegionGroup*

Příkaz: RegionGroup(vstup1, EIGHT, WITHIN)



Obrázek 4.4 Funkce *RegionGroup*

Hustota objektů

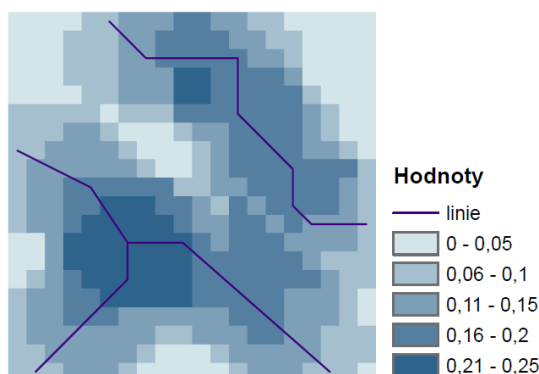
Inkrementální funkce analyzující liniové tvary se nazývají *LineDensity* a *LineStats*. Funkce *LineDensity* počítá hustotu liniových tvarů v sousedství každé buňky. Hustota je počítána v jednotkách délky na jednotku plochy. Příkaz má tyto možnosti:

```
LINEDENSITY (<lines>, {item}, {cellsize}, <SIMPLE | KERNEL>,
{unit_scale_factor}, {radius})
```

<lines>	Soubor obsahující liniové objekty. Soubor může být v podobě vektorové vrstvy nebo ve formátu ASCII.
{item}	Jméno liniových objektů ve vstupním souboru.
{cellsize}	Velikost buňky výstupního souboru.
<SIMPLE KERNEL>	Druh interpolace pro výpočet hustoty. SIMPLE – Velikost hustoty bude spočítána pomocí délky linií, které se nacházejí v okolí buňky. KERNEL – Tato funkce nejdřív vytvoří okolo každé linie okolí specifikované hodnotou {radius} a nová hodnota buňky je vypočítána v závislosti na tom, kolik okolí ji zahrnuje.
{unit_scale_factor}	Vztah mezi jednotkami vstupního a výstupního souboru.
{radius}	Poloměr kruhového okolí každé buňky vyjádřen v jednotkách vstupní vrstvy.

Tabulka 4.4 Parametry funkce *LineDensity*

Příkaz: `LineDensity(linie, ID, SIMPLE, 5)`



Obrázek 4.5 Funkce *LineDensity*

Možné použití této funkce zahrnuje hledání hustoty silniční sítě s dopadem na přírodu a zvířata volně žijící nebo hustotu elektrického vedení ve městech. Do výpočtu mohou být zahrnuty váhy, které budou definovat více zatížené trasy, například dálnice, která je v přírodě mnohem závažnější liniovou překážkou než úzká polní cesta, která v podstatě neovlivňuje život divokých zvířat.

Operace *LineStats* počítá statistické veličiny na základě hodnot určité vlastnosti všech linií v okolí každé buňky výstupního rastru. Statistické veličiny jako majorita (MAJORITY), minorita (MINORITY), průměr (MEAN) a medián (MEDIAN) jsou váženy podle délky linie. Příkaz je definován takto:

`LineStats(<lines>, {item}, {cellsize}, {statistic}, {radius}), kde`

<code><lines></code>	Soubor obsahující liniové objekty. Soubor může být v podobě vektorové vrstvy nebo ve formátu ASCII.
<code>{item}</code>	Jméno liniových objektů ve vstupním souboru.
<code>{cellsize}</code>	Velikost buňky výstupního souboru.
<code>{statistic}</code>	Výraz označující druh statistického výpočtu. Mezi dostupné výpočtu patří: MIN – minimální hodnota MAX – maximální hodnota MEAN – průměrná hodnota RANGE – rozsah hodnot MIDRANGE – hodnota, která se nachází ve středu rozsahu hodnot

	MEDIAN – medián MAJORITY – hodnota, která se nejčastěji opakuje MINORITY – hodnota, která se nejméně často opakuje VARIETY – počet různých hodnot LENGTH – celková délka linií v okolí buňky
{radius}	Poloměr kruhového okolí každé buňky vyjádřen v jednotkách vstupní vrstvy.

Tabulka 4.5 Parametry funkce *LineStats*

Funkce zkoumající okolí byly rozšířené o funkce zaměřující se na bodové objekty v rámci okolí. Mezi ně patří dvě funkce *PointDensity* a *PointStats*. Operace *PointDensity* je obdobná jako operace *LineDensity* s tím rozdílem, že zkoumá výskyt bodových objektů v okolí buňky. Možnosti využití zahrnují hledání hustoty domů, výskyt divoké zvěře nebo kriminálních případů. Tak jako v případě liniových objektů je možno některým bodům přiřadit větší váhu. Zvětšení poloměru oblasti výzkumu neovlivní ve velké míře výslednou hustotu připadající na buňku, protože počet (byť vyšší) bude vynásoben větší plochou. Příkaz zní obdobně, jako tomu bylo u *LineDensity*:

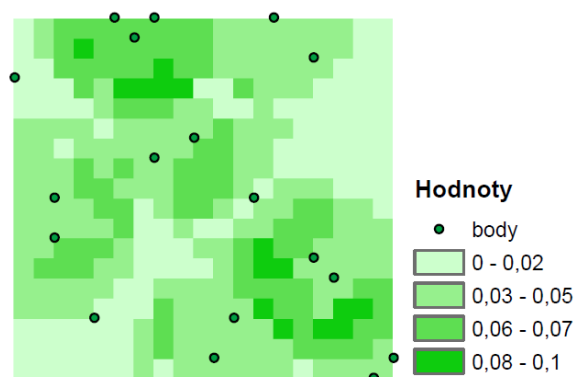
```
POINTDENSITY (<points>, {item}, {cellsize}, SIMPLE, {unit_scale_factor},
{neighborhood}),
```

kde položka {neighborhood} definuje tvar oblasti. Oblast může mít tvar kruhu, pravoúhelníku, elipsy, prstence, kruhové výseče a polygonu.

```
POINTDENSITY (<points>, {item}, {cellsize}, KERNEL, {unit_scale_factor},
{radius})
```

Na následujícím obrázku je zobrazen výsledek funkce *PointDensity*.

Příkaz: `PointDensity(body, ID, SIMPLE, 5)`



Obrázek 4.6 Funkce *PointDensity*

Funkce *PointStats* se podobá funkci *LineStats* s tím rozdílem, že statistické veličiny počítá pro výskyt bodových objektů v určité oblasti okolo buňky. Příkaz zní obdobně:

`PointStats(<points>, {item}, {cellsize}, {statistic}, {neighborhood})`,

kde je oproti funkci *LineStats* rozšířena možnost volby statistických veličin o následující funkce jako směrodatná odchylka z-hodnot (STD), součet z-hodnot (SUM), stanovení mediánu i v případě, že je sudý počet pozorování (výsledkem bude průměrná hodnota dvou prostředních hodnot - MEDIAN2) a počet bodů (NPOINTS).

Povrchové analýzy

Poslední skupinou inkrementálních funkcí je skupina, kde se nacházejí funkce řazené k povrchovým analýzám. *IncrementalGradient* a *IncrementalAspect* jsou nahrazeny funkcemi *Slope*, *Aspect*. Funkce *IncrementalDrainage* je zde reprezentována celou řadou *Flow* funkcí.

Operace *Slope* pro každou buňku zaznamenává poměr maximální změny v z-hodnotě v porovnání s hodnotami sousedících buněk. V podstatě se jedná o hodnotu, která charakterizuje maximální změnu ve výškách mezi centrální buňkou a jejím nejbližším okolím, nejstrmější klesající svah. Čím nižší hodnota, tím je terén rovinatější, a naopak, čím je hodnota vyšší, tím je terén více svažité. Hodnoty mohou být uvedeny dvojím způsobem, v podobě stupňů (kde hodnota 90° reprezentuje kolmý svah) nebo v podobě procent (kde hodnota 100% reprezentuje 45° stoupání svahu). Příkaz je definován takto:

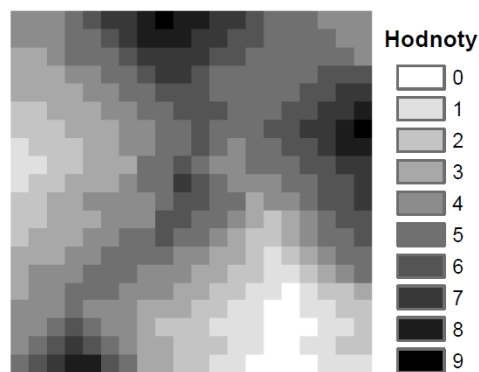
`Slope(<grid>, {DEGREE | PERCENTRISE}),`

`Slope(<grid>, <z_factor>, {DEGREE | PERCENTRISE}),` kde

<code><grid></code>	Vstupní soubor.
<code>{DEGREE PERCENTRISE}</code>	Výrazy určující jednotky výstupních hodnot (stupně nebo procenta).
<code><z_factor></code>	Popisuje vztah mezi rovinnými jednotkami x, y os a jednotkami vertikální osy z.

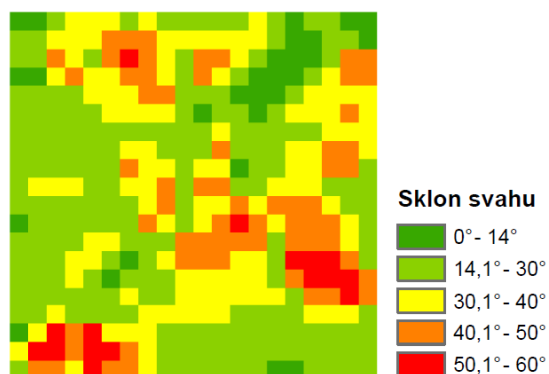
Tabulka 4.6 Parametry funkce *Slope*

Následující obrázky prezentují jednotlivé funkce. Vstupem je vždy rastrová vrstva, která zaznamenává výšky v jednotlivých buňkách.



Obrázek 4.7 Vstupní výškový rastr (vstup2)

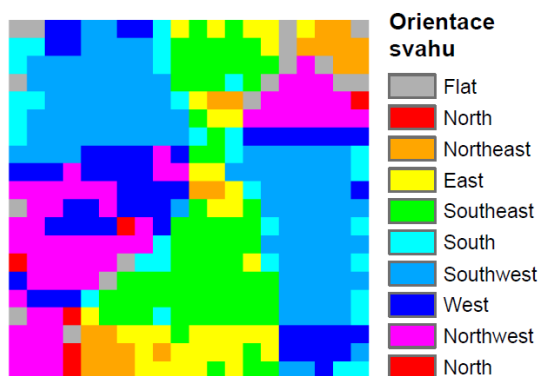
Příkaz: `Slope(vstup2, DEGREE)`



Obrázek 4.8 Funkce *Slope*

Funkce *Aspect* určí pro každou buňku směr největšího spádu svahu. Výsledkem je rastr obsahující pro každou buňku směr vyjádřený ve stupních, kde 0 reprezentuje sever. V místech, kde není žádný svah tj., v plochých místech, hodnota bude rovna -1. Příkaz je velice jednoduchý, definuje pouze vstupní rastr.

Příkaz: `Aspect(vstup2)`



Obrázek 4.9 Funkce *Aspect*

Operace *HillShade* vypočítává hodnoty nasvětlení svahu pomocí rastru obsahujícího topografické výšky, úhlů nasvětlení a stínů. Získané hodnoty jsou pouze hypotetické. Před zahájením výpočtu je nastavená pozice hypotetického světelného zdroje. Nasvětlení každé buňky je vypočítáno s přihlédnutím na sousedící buňky. Tato operace může sloužit pro lepší znázornění povrchu pro analýzy.

Pro výpočet je nejdříve potřeba získat hodnoty výšky a azimutu světelného zdroje. Tyto hodnoty budou zahrnuty do výpočtu spolu s výpočty svahu a aspektu. Příkaz vypadá takto:

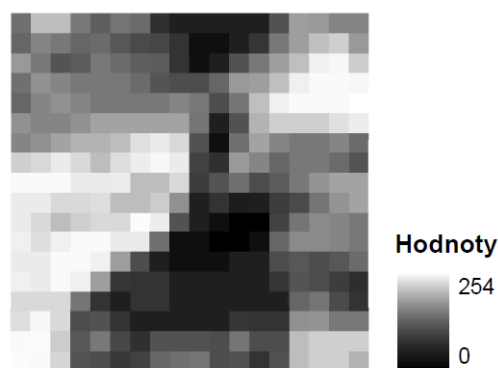
`HillShade(<grid>, {azimuth}, {altitude}, {ALL | SHADE | SHADOW}, {z_factor})`, kde

<code><grid></code>	Vstupní rastr.
<code>{azimuth}</code>	Azimut světelného zdroje, vyjádřen v úhlech od 0 do 360, měřený pravotočivě od severu.
<code>{altitude}</code>	Naklonění světelného zdroje nad horizontem. Vyjádřen ve stupních, kde 0 je úroveň horizontu a 90 stupňů je svisle nahoru.

{ALL SHADE SHADOW}	Tyto výrazy určují druh stínování. ALL – Výstupní stínovaný reliéf bere v úvahu lokální úhly nasvětlení i stíny. Výstupní hodnoty se pohybují od 0 do 255, kde 0 je stín a 255 reprezentují nejsvětlejší území. SHADE – Výstupní stínovaný reliéf bere v úvahu pouze lokální úhly nasvětlení. Účinek stínu není zohledněn. V tomto případě 0 reprezentuje nejtmavší území a 255 nejsvětlejší. SHADOW – Výstupní soubor má binární podobu, kde 0 reprezentuje oblasti ve stínu a 1 oblasti beze stínu.
{z_factor}	Popisuje vztah mezi rovinnými jednotkami x, y os a jednotkami vertikální osy z.

Tabulka 4.7 Parametry funkce *HillShade*

Příkaz: `HillShade(315, 45, ALL)`



Obrázek 4.10 Funkce *HillShade*

Flow Funkce

Operace *FocalFlow* odpovídá svojí funkčností operaci *IncrementalDrainage*. Určuje tok v rámci okolí centrální buňky. Základním předpokladem je, že pokud hodnota buňky v okolí centrální buňky je větší než hodnota centrální buňky, pak tato sousedící buňka „vteče“ do centrální buňky. Toto pojetí odpovídá pohybu vody po zemském povrchu. Voda vždy vtéká z výše položených do níže položených oblastí. Také to může odpovídat pohybu znečišťujících látek do oblasti s nižším znečištěním.

Směr přítoku se zachycuje pomocí binárních reprezentací sousedících buněk. Buňku přímo sousedící s pravou hranou reprezentuje 1, buňku sousedící s pravým dolním rohem reprezentuje 2. Toto číslování pokračuje až do čísla 128 (mocniny čísla 2), které nese soused

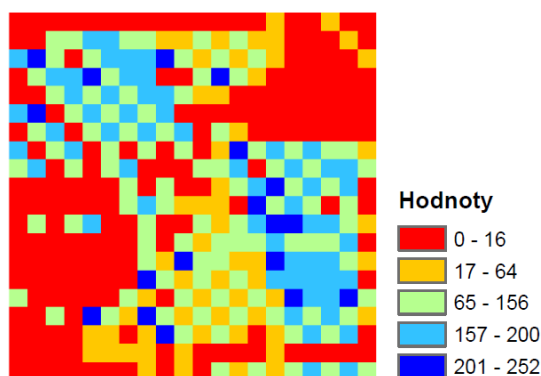
v pravém horním rohu. Pokud do buňky přitéká z více buněk najednou, pak centrální buňka dostane novou hodnotu, která se rovná součtu binárních reprezentací vtékajících buněk. Tyto binární reprezentace nám zaručují pro každou kombinaci vtékajících buněk jednoznačnou hodnotu. Pokud do centrální buňky nic nepřitéká, buňka obdrží hodnotu 0. Příkaz pro tuto operaci zní takto:

`FocalFlow(<grid>, {thresh_value})`, kde

<code><grid></code>	Vstupní rastr.
<code>{thresh_value}</code>	Určuje prahovou hodnotu, která musí být dosažena, pokud se má nějaký tok objevit. Hodnota se týká rozdílu mezi hodnotou centrální buňky a hodnotami buněk nejbližšího okolí.

Tabulka 4.8 Parametry funkce *FocalFlow*

Příkaz: `FocalFlow(vstup2)`



Obrázek 4.11 Funkce *FocalFlow*

Funkce *FocalGravitation* je zastoupena řadou interpolačních funkcí. Program umožňuje pár druhů interpolací, kde se mezi jinými nachází i metoda inverzních vzdáleností (více viz podkapitola 4.5)

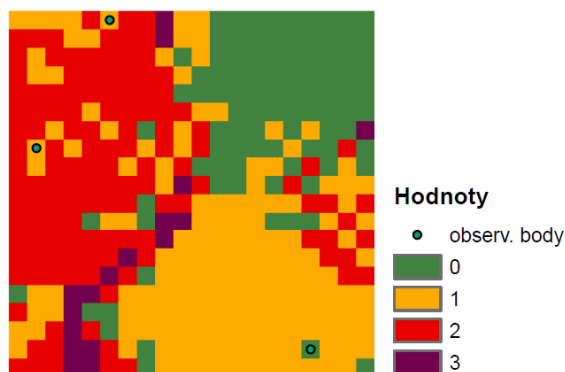
Funkce *FocalFUNCTION radiating* je zastoupena operací *Visibility*. Její možnosti se však o něco liší. Operace *Visibility* provádí analýzu viditelnosti na rastru určením, kolik observačních bodů je viditelných z jednotlivých buněk, neboli kolik buněk je možno zahlédnout z určitého observačního bodu. Příkaz je definován takto:

Visibility(<grid>, <feature>, {POINT | LINE}, {FREQUENCY | OBSERVERS}), kde

<grid>	Vstupní rastr definující výšky, výškový model.
<feature>	Vstupní soubor obsahující údaje o pokryvu povrchu nebo vektorová vrstva obsahující observační body nebo linie.
{POINT LINE}	Typ observačního bodu. POINT – Bodový prvek reprezentující observační bod. LINE – Observačními body jsou uzly a vrcholy linie.
{FREQUENCY OBSERVERS}	Blíže určuje, jak se má analýza provádět. FREQUENCY – Je dostupná pouze v případě bodových observačních bodů. Na výstupu bude zaznamenán pouze počet viditelných observačních bodů z jednotlivé buňky. OBSERVERS – Výstupní hodnota pro každou buňku bude obsahovat binárně zakódovanou hodnotu, která popisuje údaje observačních bodů. Mimo tyto možnosti nastavení je ještě možné specifikovat blíže observační body, včetně jejich výšky nad terénem, úhlu pohledu, atd.

Tabulka 4.9 Parametry funkce *Visibility*

Příkaz: Visibility(vstup2, observacni_body, POINT, FREQUENCY)



Obrázek 4.12 Funkce *Visibility*

Vzdálenostní funkce (Distance)

Funkce FocalFUNCTION *spreading* jsou zastoupené celou řadou Distance funkcí, jinak řečeno vzdálenostních funkcí. Funkce s přívlastkem *Allocation* se pojí s funkcí

FocalNeighbor, avšak na tomto místě jsou rozšířeny o funkce počítající nákladovou vzdálenost.

Mezi první nejjednodušší funkce patří funkce počítající vzdálenost ve smyslu eukleidovské vzdálenosti. Eukleidovská vzdálenost je počítána ze středu zdrojové buňky do středu všech okolních buněk. Eukleidovský algoritmus pracuje takto: pro každou buňku je spočtena vzdálenost ke každé zdrojové buňce pomocí vypočtení přepony pravoúhlého trojúhelníka, ramena jsou hodnoty x a y . Pomocí těchto výpočtů získáme pravou eukleidovskou vzdálenost a tím i nejkratší vzdálenost ke zdroji. Pokud se v analyzovaném rastru nachází více zdrojů, buňkám bude přiřazena pouze jedna hodnota a to vzdálenost k nejbližšímu zdroji.

Funkce *EuclideanAllocation* odpovídá funkci *FocalNeighbor*. Výstupem je rastrová vrstva, kde je každé buňce přiřazena hodnota zóny podle toho, k jakému zdroji má daná buňka nejblíže. Rastr vytvořený pomocí *EuclideanDistance* zobrazuje vzdálenost každé buňky k nejbližšímu zdroji. Funkce *EuclideanDirection* určuje pro každou buňku směr k nejbližšímu zdroji. Příkaz pro jednotlivé funkce zní:

```
EucAllocation(<source_grid>, {o_distance_grid}, {o_direction_grid},
{max_distance}, {value_grid}),
```

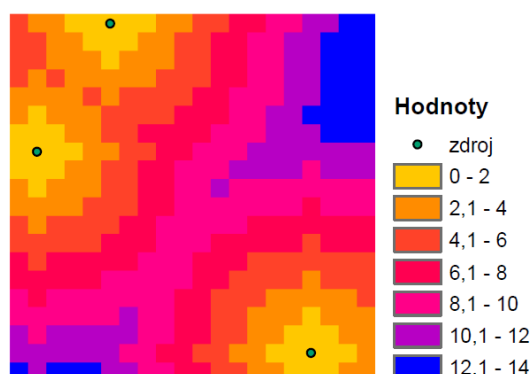
```
EucDistance(<source_grid>, {o_direction_grid}, {o_allocate_grid},
{max_distance}, {value_grid}),
```

```
EucDirection(<source_grid>, {o_distance_grid}, {o_allocate_grid},
{max_distance}, {value_grid}), kde
```

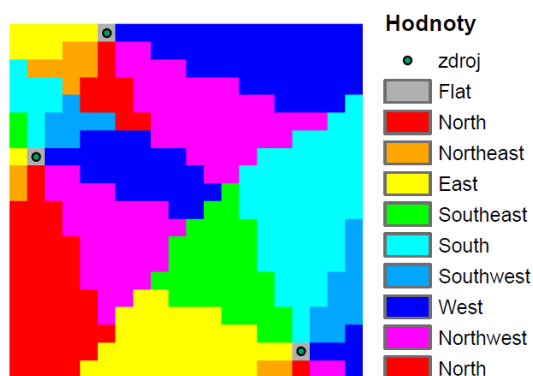
<source_grid>	Vstupní rastr, který určuje zdrojové buňky. K těmto buňkám se pak vztahují prováděné výpočty. Jinak řečeno se jedná o zdroje.
{o_distance_grid}	Název výstupní vzdálenostní (EuclideanDistance) rastrové vrstvy.
{o_allocate_grid}	Název výstupní EuclideanAllocation rastrové vrstvy.
{o_direction_grid}	Název výstupní směrové (EuclideanDirection) rastrové vrstvy.
{max_distance}	Prahová hodnota pro vzdálenosti. Pokud je překročena, buňka obdrží prázdnou hodnotu (NoData).
{value_grid}	Volitelný vstupní rastr určující hodnoty, které mají být použité pro každou buňku <source_grid> rastru (pro zdroje).

Tabulka 4.10 Parametry funkce eukleidovských vzdáleností

Příkaz: `EucDistance(zdroje, euc_direction)`



Obrázek 4.13 Funkce *EucDistance*



Obrázek 4.14 Funkce *EucDirection*

Nákladové funkce (Cost)

Nákladové funkce hledají nejméně nákladnou cestu ke zdroji z každé buňky ve vstupní rastrové vrstvě. Funkce *CostDistance* interpretuje vzdálenost ve smyslu jednotek nákladů, nikoliv ve smyslu geografických jednotek. Všechny nákladové funkce vyžadují vstupní vrstvu obsahující zdroj nebo zdroje a nákladový rastr (frikční povrch). Nákladový rastr je obecně složením několika rastrů. Jednotky nákladového rastru mohou být jakéhokoliv nákladového typu: fiskální, časové, energetické nebo bezrozměrné. Hodnoty nákladového rastru mohou být celočíselné nebo s desetinnou čárkou, ale každopádně nemohou být záporné – záporné náklady neexistují. *CostDistance* rastr ukazuje, kolik bude „stát“ každou buňku návrat ke zdroji podél nejméně nákladné cesty. *CostAllocation* rastr určuje pro každou buňku zdroj, ke kterému se dostane s nejmenšími náklady.

Nákladová cesta (*CostPath*) se skládá z po sobě následujících spojení, které označují cestu ke zdroji pro každou buňku. Nákladová vzdálenost z každé buňky ke zdroji je součtem všech dílčích nákladů podél nákladové cesty. Existuje mnoho cest ke zdroji, ale pouze jedna má nejnižší náklady. Nejnižší nákladová vzdálenost z buňky ke zdroji je nejnižší nákladovou vzdáleností mezi všemi nákladovými vzdálenostmi z buňky ke zdroji.

Jedním z výstupů nákladových funkcí je takzvaný *BackLink* rastr, který pro každou buňku určuje směr (následující buňku), kterým se má pohybovat podél nejnižší nákladové cesty ke zdroji. Každé buňce jsou přiřazeny hodnoty 0 až 8. Zdrojová buňka má hodnotu 0. Ostatní čísla 1 až 8 označují směr pohybu. Pokud nejméně nákladná cesta pokračuje směrem k buňce, která sousedí s pravou hranou dané buňky, bude buňce přiřazena hodnota 1. Pokud by cesta pokračovala směrem k sousedící buňce, která hraničí s dolní hranou, obdrží buňka hodnotu 3, atd. *BackLink* funkce je využívána k rekonstrukci nejméně nákladné cesty z každé buňky rastru ke zdroji. Příkazy mapové algebry pro funkce *CostDistance*, *CostAllocation* a *CostBackLink* zní:

```
CostDistance(<source_grid>, <cost_grid>, {o_backlink_grid},
{o_allocate_grid}, {max_distance}, {value_grid})
```

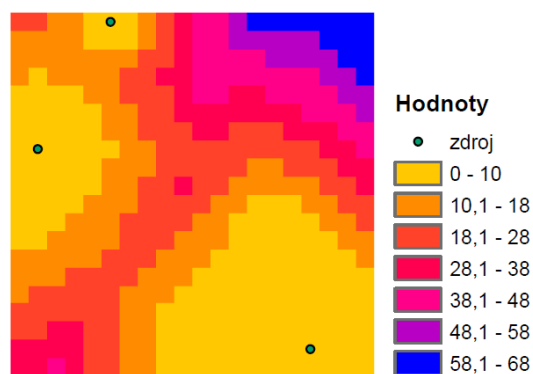
```
CostAllocation(<source_grid>, <cost_grid>, {o_accumcost_grid},
{o_backlink_grid}, {max_distance}, {value_grid})
```

```
CostBackLink(<source_grid>, <cost_grid>, {o_accumcost_grid},
{o_allocate_grid}, {max_distance}, {value_grid}), kde
```

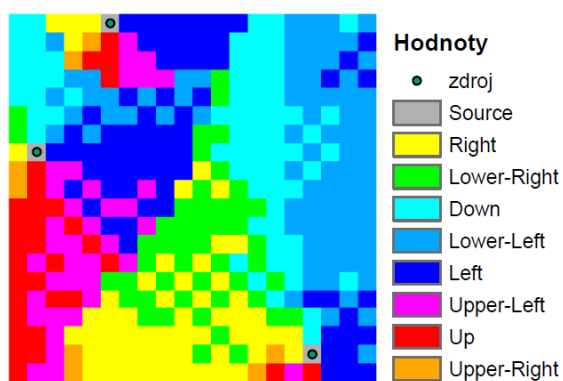
<source_grid>	Vrstva, která určuje buňky, pro které je počítána nejnižší nákladová vzdálenost – zdroje.
<cost_grid>	Nákladový rastr (frikční povrch), kde každá buňka vyjadřuje náklady na průchod buňkou.

Tabulka 4.11 Parametry nákladových funkcí

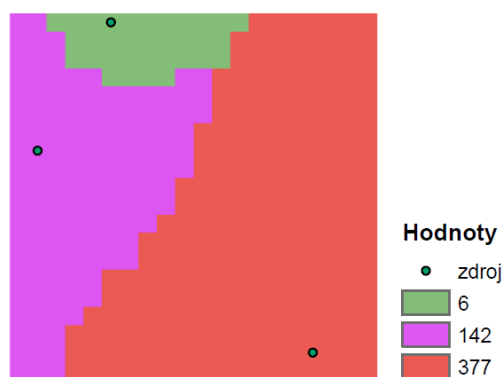
Příkaz: `CostDistance(zdroje, vstup2, back_link, allocation)`



Obrázek 4.15 Funkce *CostDistance*



Obrázek 4.16 Funkce *CostBackLink*



Obrázek 4.17 Funkce *CostAllocation*

Operace *CostPath* počítá cesty nejmenších nákladů ze zdroje do cílové destinace. Před výpočtem musí být vytvořeny vrstvy *CostDistance* a *BackLink*. Příkaz pro operaci zní:

CostPath(<fromcell_grid>, <accumcost_grid>, <backlink_grid>, {BYCELL | BYZONE | BYLAYER}), kde

<fromcell_grid>	Vrstva určující cílové destinace.
<accumcost_grid>	Název <i>CostDistance</i> rastru, který byl vytvořen pomocí funkce <i>CostDistance</i> nebo <i>CostAllocation</i> nebo <i>CostBackLink</i> .
<backlink_grid>	Název <i>BackLink</i> rastru vytvořeného pomocí <i>CostDistance</i> nebo <i>CostAllocation</i> nebo <i>CostBackLink</i> funkce.
{BYCELL BYZONE BYLAYER}	Výrazy specifikující jakým způsobem se budou interpretovat hodnoty a zóny z rastru <fromcell_grid>. BYCELL – S každou buňkou z <fromcell_grid> je zacházeno zvlášť a cesta nejnižších nákladů je určena pro každou buňku. BYZONE – Pro každou zónu v <fromcell_grid>. Cesta nejnižších nákladů začíná v buňce, která má nejnižší nákladovou vzdálenost. BYLAYER – Pro všechny buňky v <fromcell_grid>. Cesta nejnižších nákladů je odvozena od buňky s minimální cestou nejmenších nákladů ke zdroji.

Tabulka 4.12 Parametry funkce *CostPath*

Operace *Corridor* vytvoří novou rastrovou vrstvu, kde jsou spočteny sumy nákladových vzdáleností pro každou buňku dvou vstupních nákladových rastrů. Tento součet nákladů určuje pro každou buňku cestu nejnižších nákladů z jednoho zdroje ke druhému, která prochází buňkou. Výstupní rastr neurčuje jednotlivé cesty nejnižších nákladů mezi dvěma zdroji, ale určuje rozsah nákladů mezi zdroji.

Nákladové funkce (Path)

Tyto funkce pracují na stejném principu jako *Cost* funkce. Také se jedná o nákladové funkce počítající nejméně nákladnou cestu ke zdroji. Na rozdíl od *Cost* funkcí, které zahrnují do výpočtu pouze nákladový (frikční) povrch, *Path* funkce zahrnují do výpočtu rovněž povrch definující topografické výšky a jeho horizontální a vertikální faktory.

Horizontální faktory určují obtížnost pohybu z jedné buňky do druhé, přičemž berou v potaz i horizontální elementy, které právě tento pohyb mohou ovlivnit. Čím vyšší horizontální faktor, tím obtížnější pohyb. Vertikální faktory určují obtížnost pohybu z jedné buňky do druhé s ohledem na vertikální složky, jež můžou ovlivnit pohyb. Také platí, že čím větší vertikální faktor, tím obtížnější pohyb.

Výsledkem jsou tři výstupní soubory *PathDistance*, *PathBackLink* a *PathAllocation*. V rastru *PathDistance* jsou zaznamenány nákladové vzdálenosti k dosažení jednotlivých buněk z nejlevnějšího zdroje s ohledem na všechny faktory. *PathBackLink* zobrazuje pro každou buňku, kterým směrem se pohybovat a kudy vede nejmíň nákladná cesta ke zdroji. *PathAllocation* vytvoří zóny, které každé buňce přiřadí zdroj, ke kterému vede cesta nejnižších nákladů. Příkaz je definován takto:

```
PathDistance(<source_grid>, {cost_grid}, {surface_grid},
{horiz_factor_grid}, {horiz_factor_parm}, {vert_factor_grid},
{vert_factor_parm}, {o_backlink_grid}, {o_allocate_grid}, {max_distance},
{value_grid}), kde
```

<source_grid>	Vrstva určující buňky, pro které je počítána nejnižší nákladová vzdálenost – zdroje.
{cost_grid}	Nákladový rastr – frikční povrch, kde každá buňka vyjadřuje náklady na průchod buňkou.
{surface_grid}	Vrstva obsahující topografické výšky.
{horiz_factor_grid}, {horiz_factor_parm}	Horizontální faktory
{vert_factor_grid}, {vert_factor_parm}	Vertikální faktory

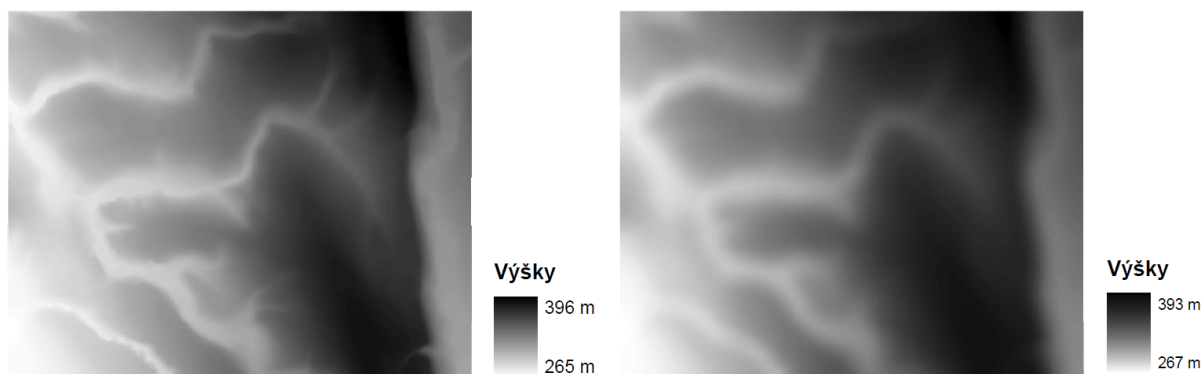
Tabulka 4.13 Parametry funkce nákladových funkcí *Path*

4.4 Příklady aplikací

FocalMean

První aplikace pracuje s funkcí *FocalMean*, kde byla použita jako filtr vyhlazující území. Vstupní rastrovou vrstvou byl výškový model. Na obrázku 4.17 je viditelné vyhlazení povrchu. Příkaz byl zadán takto:

```
FocalMean(vstup_DMT, RECTANGLE, 15, 15)
```



Obrázek 4.18 Vstupní rastrová vrstva (výškový model) a funkce *FocalMean*

Nákladové funkce

Pro ilustraci toho, jak pracují nákladové funkce, byla vybrána úloha, která má za cíl nalézt cesty nejnižších nákladů z destinací ke zdrojům. V úloze pracujeme s *Path* funkcemi, to znamená, že pro vstupní vrstvy potřebujeme jak frikční povrch, tak výškový model. V prvním kroku byl vyhotoven frikční povrch. Byl vytvořen pomocí reklasifikace stávajícího rastru zobrazujícího území. Podmínka obtížnosti průchodu terénem byla stanovena tak, že nejjednodušší je pohybovat se po silnicích; obtížnost se zvyšuje, pokud procházíme loukou, ornou půdou nebo lesem. Za neprůchozí byly označeny oblasti vodních ploch, vodních toků a zastavěného území (budovy, zahrady).

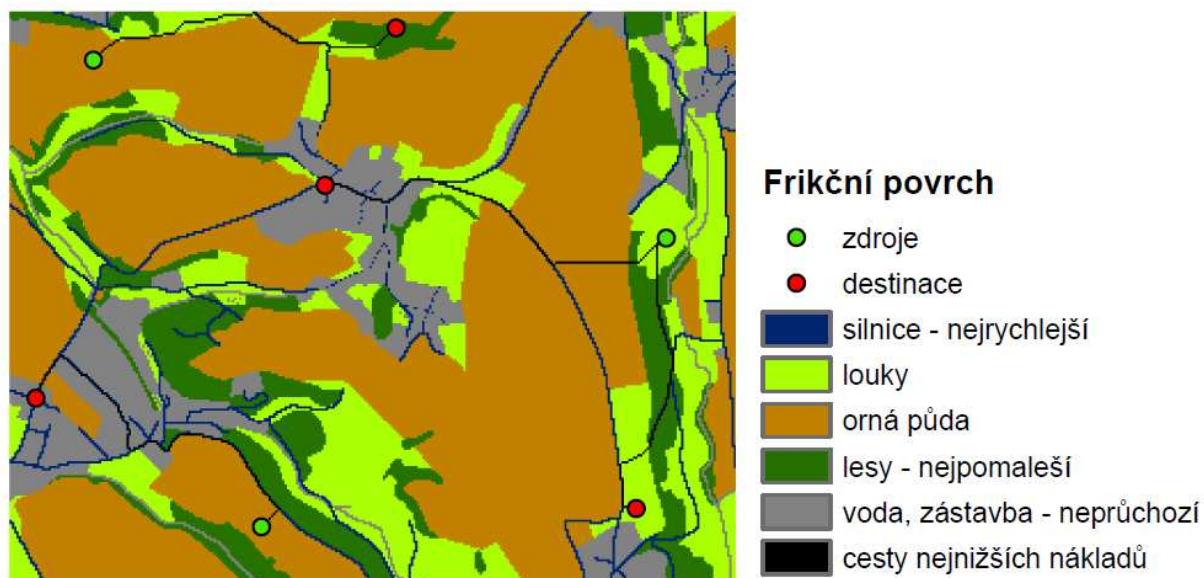
V následujícím kroku se provedla funkce *Path*, která vytvořila rastr nákladových vzdáleností. Příkaz, který zněl:

```
PathDistance(zdroje, frikcní_povrch, vstup_DMT, vystup_backlink)
```

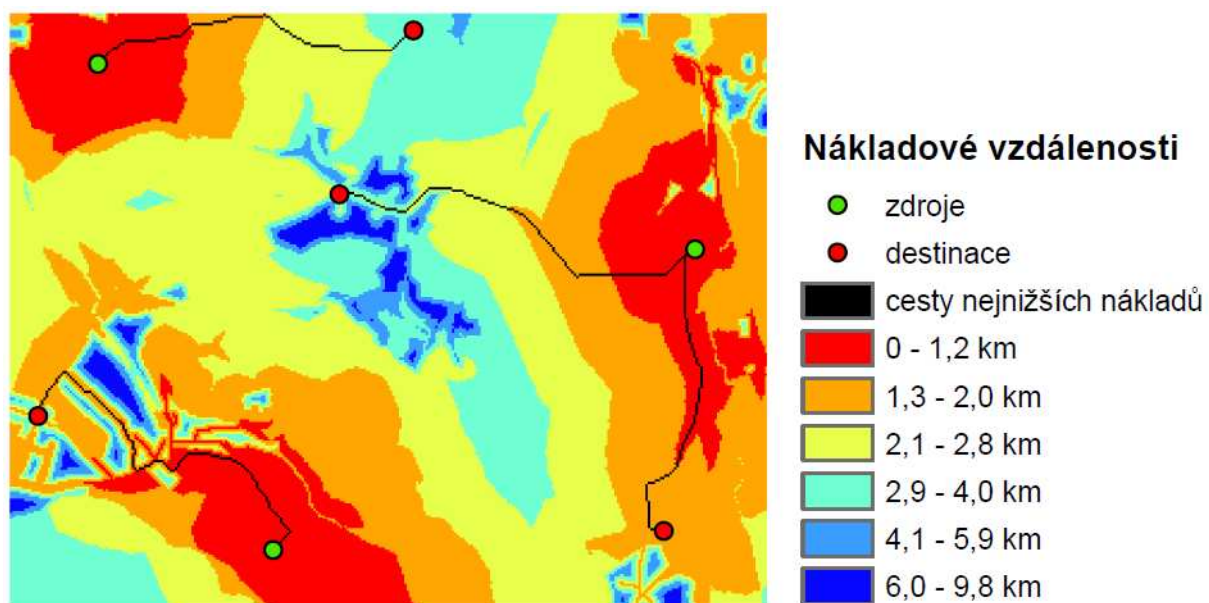
Posledním krokem bylo provedení funkce *CostPath* pro vyhledání cest nejnižších nákladů z destinací ke zdrojům. Zdroje i destinace jsou zaznamenány ve zvláštních souborech. Příkaz pro cesty nejnižších nákladů zněl:

```
CostPath(destinace, nakladove_vzdalenosti, vystup_backlink, BYCELL)
```

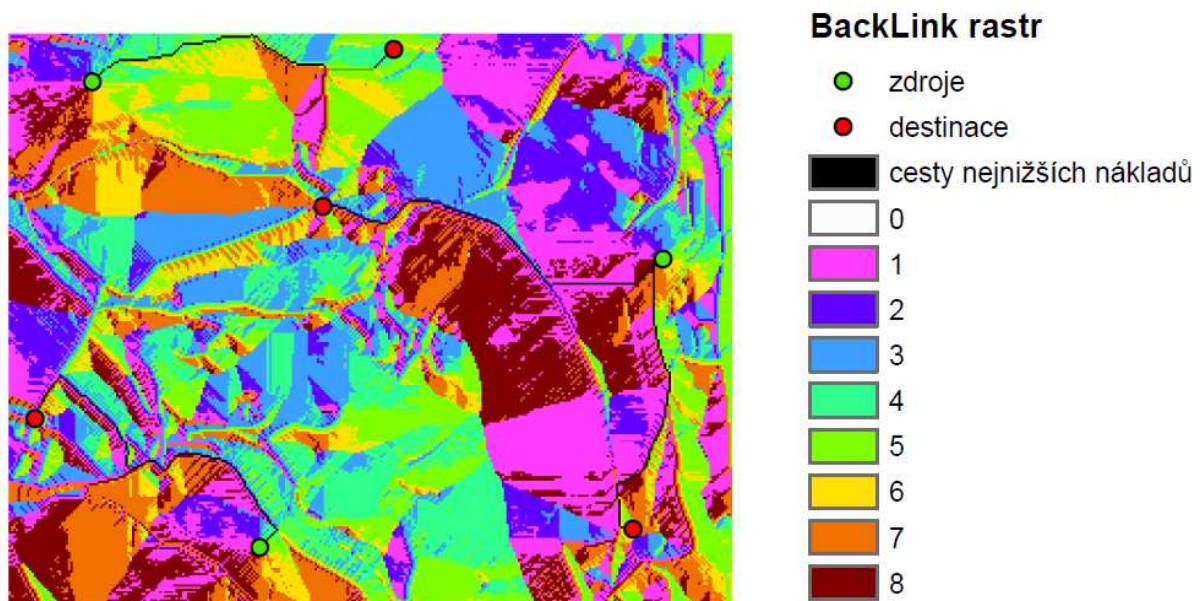
Frikční povrch znázorňuje obrázek 4.19. Nákladové vzdálenosti, zdroje, destinace i cesta nejnižších nákladů jsou zaznamenány na obrázku 4.20. *BackLink* rastr zobrazuje obrázek 4.21.



Obrázek 4.19 Frikční povrch



Obrázek 4.20 Nákladové vzdálenosti



Obrázek 4.21 BackLink rastr

4.5 Aplikační funkce

Program obsahuje množství aplikačních funkcí, které byly vytvořeny pro řešení specifických a často se opakujících úloh. Málo funkcí náležících k funkcím lokálním, fokálním, inkrementálním nebo zonálním je ve své podstatě určeno pro přímé řešení konkrétních úloh. Pro řešení komplexních úloh je vždy potřeba soubor funkcí. Vyskytuje se samozřejmě určitý druh překrytu, kde základní funkce jsou ve své podstatě i funkcemi aplikačními. Toto může být patrné u skupiny fokálních funkcí, kde funkce *Slope* je fokální funkcí a zároveň i aplikační funkcí. Některé z aplikačních funkcí jsou více obecné a některé jsou úzce zaměřené na řešení specifických úloh, např. funkce pro hydrologické analýzy nebo analýzy podzemní vody. Následující řádky částečně představí dostupné aplikační funkce. Všechny aplikační funkce jsou dostupné jak z uživatelského rozhraní, tak pomocí příkazů Mapové algebry.

Povrchové analýzy

Povrchové analýzy byly částečně zmíněny v předchozí podkapitole popisující fokální funkce. Mezi tyto funkce patří dříve popsaná funkce *Slope*, *Aspect*, *HillShade* a *Visibility*. Kromě těchto funkcí sem patří rovněž funkce *Contour*, která vytváří vrstevnice pomocí výškového modelu (pozn. výstupní vrstevnice jsou ukládány jako vektorová vrstva). Funkce *Curvature* měří sklon svahu v každé buňce. Nejedná se o klasický sklon svahu, jak tomu bylo

v případě funkce *Slope*, ale o druhou derivaci vstupního povrchového rastru. Funkce *Cut/Fill* počítá plochy a obsahy mezi dvěma povrchy stejného území, kde došlo k nějaké změně (např. erozní činnost – úbytky a nánosy půdy).

Hydrologické analýzy

Tato skupina aplikačních funkcí počítá odtok vody z povrchu, jeho množství a zároveň vytváří povodí. Základní rastrovou vrstvou, která vždy vstupuje do výpočtu, je vrstva vytvořená funkcí *FocalFlow* (viz předcházející podkapitola), která indikuje směr přítoku tekutiny do každé buňky. Funkce pronikají hlouběji do analýzy hydrologie území a počítají akumulovaný tok a vytváří území potencionálních vodních toků pomocí *FlowAccumulation*, směr toku pomocí *FlowDirection*, délku toku pomocí *FlowLength*, identifikují jednotlivá ramena vodního toku pomocí *SnapPour* a *StreamOrder* a vytváří hypotetické povodí pomocí *Basin* a *Watershed*.

Interpolace

Interpolační funkce poskytují řadu interpolačních metod. Mezi dostupné interpolační metody patří metoda inverzních vzdáleností, Kriging, Spline a metoda nejbližšího souseda (Natural Neighbor).

Generalizace rastru

Tyto funkce se zaměřují na zjednodušení rastrové struktury nebo prvku uvnitř rastrové vrstvy. Mezi funkce generalizující rastrovou vrstvu patří funkce *Aggregate*, která vytvoří rastr o menším rozlišení podle zadaných parametrů. Funkce *BoundaryClean* je používána k začištění nerovných hran mezi zónami. Funkce *Expand* rozšíří předem určenou zónu o určitý počet buněk. Funkce *Nibble* dovoluje vybraným oblastem rastru přiřadit hodnotu nejbližšího souseda. Funkce *Thin* zužuje rastrové liniové prvky pomocí snižování počtu buněk reprezentujících šířku liniového prvku. Mezi aplikační funkce, které se řadí mezi funkce generalizující vstupní rastr, patří již dříve zmíněné operace *MajorityFilter* a *RegionGroup*.

Za zmínku stojí i aplikační funkce týkající se analýzy podzemních vod a nástroje pro zpracování družicových snímků (multivariate tools). Tyto funkce jsou velice specifické pro svůj obor a z toho důvodu nejsou zařazeny v této práci.

5 Zonální funkce

Třetí a poslední skupinou operací jsou ty operace, které vypočítají novou hodnotu pro každou buňku jako funkci existujících hodnot spojených se zónou zahrnující danou buňku. Zóny, obdobně jako sousedství, reprezentují dvojrozměrný prostor. Na rozdíl od sousedství se zóny mohou lišit ve svém tvaru a velikosti. Zonální funkce můžou být rozděleny na dvě hlavní skupiny:

- operace, které pracují s celými zónami a
- operace, které pracují s částečnými zónami.

5.1 Funkce celých zón

Tyto funkce vypočítají pro každou buňku novou hodnotu, která sumarizuje soubor existujících hodnot zóny.

Operace ZonalCombination, ZonalMajority, ZonalMaximum, ZonalMean, ZonalMinimum, ZonalMinority, ZonalProduct, ZonalRating, ZonalSum a ZonalVariety

Hodnoty v rámci zón mohou být sumarizovány stejným způsobem, jak tomu bylo u lokálních a fokálních funkcí. Každá z těchto operací vytvoří novou rastrovou vrstvu, která každé buňce zóny přiřadí statistickou veličinu, vypočítanou pomocí hodnot všech buněk příslušné zóny.

5.2 Funkce částečných zón

Tato skupina zonálních funkcí porovnává existující hodnotu každé buňky se statistickými veličinami hodnot všech buněk v jedné zóně. Toto se provádí

- porovnáním dvou vrstev pro určení, ke které zóně buňka patří,
- sumarizací hodnot buněk náležícím jednotlivým zónám,
- porovnáním původní hodnoty každé buňky s výslednou sumou její zóny,
- zaznamenáním těchto rozdílů v podobě nové hodnoty buňky.

K této skupině operací řadíme operace *ZonalPercentage*, *ZonalPercentile* a *ZonalRanking*.

Operace *ZonalPercentage*, *ZonalPercentile* a *ZonalRanking*

Tyto operace porovnávají hodnoty jednotlivých buněk s hodnotami, které se vyskytují v zóně, ke které náleží. Způsob výpočtu je obdobný jako v případě fokálních funkcí.

ZonalPercentage přiřadí novou hodnotu každé buňce v rámci zóny, která určuje, jaké procento hodnot zóny má stejnou hodnotu, jako buňka ve vstupní vrstvě. *ZonalPercentile* určuje procento hodnot zóny, které mají nižší hodnotu než hodnota buněk ve vstupní vrstvě. Operace *ZonalRanking* popisuje každou buňku ve smyslu počtu zón majících nižší hodnotu než hodnoty vstupní vrstvy, které se vyskytují v rámci zóny, kde náleží daná buňka.

5.3 Zonální funkce v Spatial Analyst

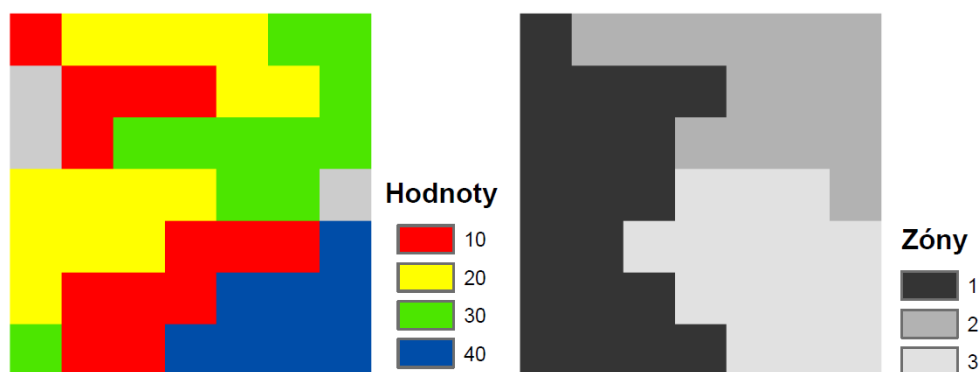
Následující podkapitola prezentuje zonální funkce dostupné v programu ArcGIS Spatial Analyst. Tato skupina funkcí je reprezentována funkcemi, které na rozdíl od předchozí definice zonálních funkcí neobsahují funkce částečných zón. Funkce celých zón, kromě funkcí počítajících statistické veličiny pro zóny, zahrnuje i funkce, které počítají určité souhrnné veličiny zón.

Operace *ZonalMajority*, *ZonalMinority*, *ZonalMax*, *ZonalMin*, *ZonalMedian*, *ZonalMean*, *ZonalSum*, *ZonalVariety*, *ZonalStd* a *ZonalRange* zaznamenají pro každou buňku statistickou veličinu určenou pomocí buněk náležících stejné zóně. Příkaz má tyto parametry:

`ZonalFunction(<zone_grid>, <value_grid>, {DATA | NODATA})`, kde

<code><zone_grid></code>	Rastrová vrstva indikující zóny.
<code><value_grid></code>	Rastrová vrstva hodnot, které mají být zpracovány.
<code>{DATA NODATA}</code>	Určení způsobu, jakým se má zacházet s prázdnou hodnotou (NoData). DATA – Prázdná hodnota (NoData) bude ignorována v procesu výpočtu. NODATA- Pokud jakákoliv buňka v zóně má prázdnou hodnotu (NoData), centrální buňka přijme tuto hodnotu.

Tabulka 5.1 Parametry zonálních funkcí



Obrázek 5.1 Vstupní rastrové vrstvy pro zonální funkce (vstup1, zony)

Příkaz: `ZonalMean(zony, vstup1)`

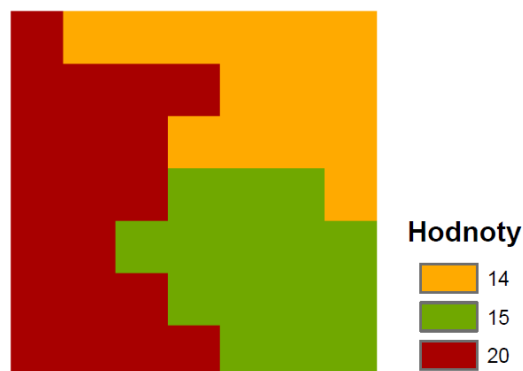


Obrázek 5.2 Funkce *ZonalMean*

ZonalStats je totožná s předchozími funkcemi, s tím rozdílem, že výstup není v podobě rastru, ale v podobě INFO tabulky.

ZonalArea počítá pro každou zónu její plochu. Plocha je vyjádřena jako součet buněk náležící zóně. Tato suma je pak vynásobena velikostí buňky, konkrétně jejím obsahem. Výsledná hodnota plochy je pak přiřazena všem buňkám dané zóny. Pokud jsou zóny rozděleny na menší regiony, plocha se přesto počítá pro zónu jako celek.

Příkaz: `ZonalArea(zony, vstup1)`



Obrázek 5.3 Funkce *ZonalArea*

ZonalCentroid vytvoří rastr, který lokalizuje těžiště každé zóny.

ZonalFill naplní zóny nejnižší hodnotou z váženého rastru. Funkce může být použita k vyplnění bezodtokových míst nejnižší hodnotou hranic jejich rozvodí. Je to krok k obdržení DMT neobsahujícího bezodtoková místa. Příkaz je definován takto:

`ZonalFill(<zona_grid>, <weight_grid>)`, kde

<zona_grid>	Vstupní rastrová vrstva obsahující zóny.
<weight_grid>	Rastrová vrstva určující hodnoty, které budou použity pro vyplnění zón.

Tabulka 5.2 Parametry funkce *ZonalFill*

ZonalPerimeter vypočítá obvod zón ve vstupním rastru. Obvod je počítán jako suma všech délek hraničních buněk. Obvod se vypočítá pro každý spojený region v zóně a pak se obvod regionu náležících stejné zóně sečte. Obvod zóny je pak přiřazen všem buňkám zóny.

ZonalThickness určí průměr největší kružnice, která může být vepsána uvnitř zóny. Funkce vypočítá pro každou buňku zóny vzdálenost k nejbližší hranici dané zóny. Největší z těch vzdáleností je výslednou hodnotou, která je přiřazena všem buňkám zóny. Příkaz je definován takto:

`ZonalThickness(<grid>, {max_thickness})`, kde

<code><grid></code>	Vstupní rastr určující zóny.
<code>{max_thickness}</code>	Definuje maximální hodnotu poloměru, která se bude hledat v rámci zóny.

Tabulka 5.3 Parametry funkce *ZonalThickness*

Příkaz: `ZonalThickness(zony, vstup1)`



Obrázek 5.4 Funkce *ZonalThickness*

6 Prostorová vícekriteriální rozhodovací analýza

Rozhodovací analýza je souborem systematicky prováděných procedur pro analýzu komplexních rozhodovacích úloh. Základní strategií řešení je rozdělení úlohy na menší srozumitelné části, pozdější analýza těchto částí a na závěr spojení těchto částí logickým způsobem tak, aby vzniklo smysluplné řešení. Vývoj rozhodovací analýzy se soustředil na oblasti operačního výzkumu a vědy spojené s řízením, kde je proces rozhodování klíčovou složkou pro úlohy jako investování, logistika a rozvržení zdrojů. Samotná rozhodovací analýza je široce definována, aby mohla být zahrnuta jakákoliv činnost. Z tohoto důvodu je rozhodování důležité v mnoha oborech jak společenských tak i přírodních věd včetně věd geograficko-informačních. Druhy rozhodovacích úloh, které zajímají geografy a „projektanty prostoru“ zahrnují soubor proveditelných alternativ a zároveň protichůdná a nesouměřitelná kritéria hodnocení. Alternativy jsou obvykle hodnoceny více než jedním člověkem. Hodnotitelé mají často různé priority, na základě kterých jsou hodnoceny veškeré možné alternativy rozhodnutí.

Konvenční techniky vícekriteriálního rozhodování jsou považovány za neprostorové v tom smyslu, že předpokládají prostorovou homogenitu v rámci studovaného území. Tento předpoklad je pro množství případů nereálný, protože hodnotící kritéria se mění v prostoru. Prostorová vícekriteriální rozhodovací analýza tak reprezentuje významné odchýlení od konvenční vícekriteriální rozhodovací analýzy, z důvodu přítomnosti prostorové složky. Prostorová vícekriteriální rozhodovací analýza vyžaduje jak data odpovídající hodnotícím kritériím, tak zároveň geografické umístění alternativ. Data jsou zpracována pomocí GIS a zároveň pomocí vícekriteriálního rozhodování. Prostorová vícekriteriální rozhodovací analýza může být považována za proces, který kombinuje a přetváří geografická data ve výsledné rozhodnutí. Rozhodovací pravidla definují vztah mezi vstupní a výstupní mapou.

Tyto dva rozdílné obory výzkumu, GIS a vícekriteriální rozhodovací analýza, mohou mít užitek ze sebe navzájem. Na jedné straně techniky a postupy v GIS hrají důležitou roli při analýze vícekriteriálního rozhodovacího problému. Poskytují jedinečné prostředky pro automatizaci, řízení a analýzu prostorových dat. Na druhé straně vícekriteriální rozhodování a široká škála souvisejících metodik nabízejí bohatou sbírku technik a postupů pro odhalení

priorit osoby, která je zúčastněná při rozhodování, a jejich zařazení k prostorové vícekritériální rozhodovací analýze.

Prostorová vícekritériální rozhodovací analýza může být definována jako soubor technik sloužících pro analýzu geografických jevů, kde výsledky analýzy jsou závislé na prostorovém uspořádání daných jevů. Prostorová vícekritériální rozhodovací analýza je součástí široce definované prostorové analýzy. Navzdory skutečnosti, že většina prostorových rozhodovacích problémů je ve své podstatě vícekritériální, proces vícekritériálního rozhodování není dobře ustanovený nebo efektivně integrovaný do prostorových analýz a GIS. [2]

6.1 GIS a podpora rozhodování

Jeden z cílů GIS je poskytování podpory při rozhodování. Schopnosti GIS při podpoře prostorového rozhodování mohou být analyzovány v kontextu postupu rozhodování. Nejrozšířenější akceptovaná generalizace postupu rozhodování se skládá ze tří základních částí. [2], [9]

Průzkum (Intelligence)

Problém je zkoumán, analyzován, popisován. Existuje nějaký problém nebo možnost změny?

Každý rozhodovací proces začíná rozpoznáním úlohy. Rozhodnutí jsou potřebná v době, kdy se vyskytne nějaká příležitost změny nebo problém, kdy něco není v pořádku nebo by něco mohlo být lepší. Během tohoto kroku jsou získávána, zpracována a prozkoumána hrubá data. Zjišťuje se, zda-li neposkytují nějaké vodítko, které může napomoci při identifikování nových úloh nebo možností zlepšení.

Návrh (Design)

Návrh a analýza možných řešení. Jaké jsou alternativy (možnosti) pro rozhodnutí?

Návrh zahrnuje vývoj a analýzu souboru možných řešení. V tomto bodě je používán model, aby napomohl osobě provádějící analýzu při určování souboru možných alternativ řešení. Model je zjednodušená reprezentace reality. Reprezentuje rozhodovací situaci pomocí strukturování a formování dostupných dat a informací o úloze. Možné alternativy pro rozhodnutí jsou odvozeny pomocí manipulace a analyzování dat uložených v GIS.

Výběr (Choice)

Výběr nejvhodnějšího rozhodnutí. Která z alternativ je nejvhodnější?

Zatímco vytváření možných alternativ je záležitost čistě návrhového kroku, hodnocení alternativ je hlavní částí kroku výběru. Fáze výběru je to, co většina lidí považuje za rozhodování. Zahrnuje výběr určité alternativy ze souboru proveditelných alternativ. V této fázi je každá alternativa hodnocena a analyzována ve vztahu k ostatním alternativám v rámci specifického rozhodovacího pravidla. Pravidla slouží k seřazení alternativ přicházejících v úvahu.

Tyto tři kroky v procesu rozhodování nemusí vždy následovat po sobě. V každém bodě rozhodování může nastat nutnost vrátit se k předchozím krokům. Možný je případ, kdy už pracujeme na implementaci přijatého rozhodnutí a zároveň zjišťujeme, že tento postup není v realitě možný. V tomto případě se musíme vrátit v procesu rozhodování o pár kroků zpět. Každý stupeň procesu rozhodování vyžaduje různé druhy informací. V kontextu prostorové rozhodovací analýzy je zásadní otázkou jak a v jakém rozsahu může GIS poskytnout podporu během rozhodování.

6.2 Prvky vícekriteriální rozhodovací analýzy

Úlohy vícekriteriální rozhodovací analýzy se obecně skládají se šesti prvků:

- cíl nebo soubor cílů, které chceme dosáhnout
- osoba nebo skupina osob, která je zapojena do procesu rozhodování se svými prioritami během rozhodování, které se vztahují na hodnotící kritéria
- soubor hodnotících kritérií, na základě kterých osoba, která se rozhoduje, hodnotí alternativní směry postupu
- soubor alternativ rozhodnutí
- soubor nekontrolovatelných proměnných nebo stav okolí, ve kterém probíhá rozhodovací úloha
- soubor výsledků neboli následků spojených s každou alternativou rozhodnutí.

Všechna rozhodnutí jsou prováděna v nějakém okolním kontextu, a proto taky zahrnují mnoho faktorů, které jsou mimo dohled osoby, která provádí analýzu. Tyto faktory jsou uváděny jako stavy okolí. Stav okolí může být například stavem ekonomie (recese, inflace) nebo stavem povětrnostních podmínek.

6.3 Rámec prostorové vícekriteriální rozhodovací analýzy

Rozhodování je proces. Zahrnuje množství činností počínaje od rozpoznání úlohy a konče u doporučení. Prokazuje se, že kvalita rozhodování záleží na pořadí, v jakém jsou činnosti prováděny. [2]

Definování úlohy

Veškeré rozhodovací úlohy začínají rozpoznáním a definováním úlohy. Náplň úlohy by se dala pojmenovat jako rozdíl mezi stávajícím a požadovaným stavem věci. Definování úlohy překrývá fázi průzkumu (Intelligence) zmíněnou v předchozím textu.

Hodnotící kritéria (Evaluation Criteria)

Kritérium je úsudek nebo pravidlo, které slouží k testování vhodnosti alternativ rozhodnutí. V době, kdy už je úloha definována, následuje sestavování hodnotících kritérií. Tento krok zahrnuje nalezení všech cílů, které popisují všechny části související s rozhodovací úlohou a nalezení všech prostředků pro dosažení těchto cílů. Tyto prostředky jsou nazývány atributy. V tomto kroku by rovněž měly být stanoveny poměrové stupnice pro všechny atributy. Hodnotící kritéria jsou spojována s geografickými jednotkami a vztahy mezi nimi a proto mohou být zobrazena v podobě map. Existují dva druhy kriteriálních map. Mapa hodnotících kritérií a mapa omezení. Mapy hodnotících kritérií zobrazují určitý atribut, který může být použit pro hodnocení alternativy. Tyto mapy jsou rovněž uváděny jako mapy atributů (např. tematické mapy). Mapa omezení zobrazuje omezení hodnot atributů. Každé kritérium by mělo být komplexní, měřitelné, jednoznačné a srozumitelné.

Pro prostorovou vícekriteriální analýzu by mělo být každé kritérium zobrazeno pomocí mapových vrstev. Analýza vyžaduje, aby hodnoty obsažené v jednotlivých vrstvách byly převeditelné do jednotných jednotek. Příkladem nejjednoduššího převodu hrubých dat na standardizované jednotky je transformace lineární stupnice (linear scale transformation). Každá hodnota souboru hodnot je vydělena největší hodnotou souboru. Čím vyšší standardizovaná hodnota, tím pozitivnější hodnota kritéria.

Alternativy

Jak již bylo zmíněno dříve, průběh nalézání alternativ by měl souviset se souborem hodnotících kritérií. Základním pravidlem jak by měly být vytvářeny alternativy je, aby co nejlépe docílily hodnotících kritérií rozhodovací úlohy. V rastrovém GIS jsou alternativy

reprezentované jednotlivými rastrovými vrstvami a ve vektorovém GIS mohou atributy představovat body, linie nebo polygony.

V reálném světě existuje pouze několik rozhodovacích úloh, kde alternativy mohou být označené za neomezené. Pokud jsou stanovena omezení pro alternativy, pak alternativy, které splňují tyto omezení, jsou považovány za proveditelné. V případě GIS, jsou omezení použita pro vyloučení nevhodných bodů, linií, polygonů nebo rastrových vrstev charakterizována pomocí určeného nevyhovujícího atributu.

Váhy kritérií (Criterion Weights)

Priority osoby, která se rozhoduje, jsou většinou vyjádřeny pomocí vah, které popisují stupeň důležitosti pro kritéria. Jedna z metod jak přiřazovat váhy je seřazení kritérií podle důležitosti. Váhy musí být normalizovány tak, aby jejich součet dal 1. Váhy kritérií můžeme spočítat například pomocí seřazení nebo ohodnocení kritérií. Na tomto místě bude uvedena pouze jedna metoda patřící k nejjednodušším. Jedná se o metodu používající seřazení a sumu:

$$w_{i,j} = \frac{n - r_j + 1}{\sum (n - r_k + 1)}, \text{ kde}$$

w_j je normalizovaná váha,

n je počet kritérií ($k = 1, 2, \dots, n$) a

r_j je pozice seřazení.

Určování a přiřazování vah je hlavním krokem pro stanovení priorit. Z důvodu, že každá osoba nebo skupina osob zapojena v procesu rozhodování má specifické priority, je logické, že výsledky analýzy budou vždy unikátní.

Rozhodovací pravidla (Decision Rules)

Tento krok využívá a sleduje výsledky předchozích tří kroků. Jednorozměrné měření (geografická data) a posouzení (priority a nepřesnost) musí být sjednocené pro získání celkového hodnocení alternativ. Toto je provedené pomocí vhodného rozhodovacího pravidla nebo sjednocovací funkce. Rozhodovací pravidla nařizují jakým způsobem seřadit alternativy od nejvhodnější po nejméně vhodnou. Pro prostorovou vícekritériální analýzu patří mezi nejlepší a nejvíc používané metoda Simple Additive Weighting (SAW). Metoda je založena na konceptu váženého průměru. Váhy jsou přiřazeny ke každému kritériu a pak je kritérium

váhou vynásobeno. Pak jsou všechna kritéria sečtena dohromady a alternativa s nejvyšší hodnotou je označena za nejvhodnější. Jelikož kritérium je reprezentováno pomocí mapových vrstev, k sečtení se používá metoda překrytu (overlay), v jazyku mapové algebry se jedná o funkci lokální sumy (LocalSum).

Citlivostní analýza (Sensitivity Analysis)

Následujícím krokem v celém postupu je citlivostní analýza, která má za úkol určit robustnost celého projektu. Citlivostní analýza určuje, zda doporučovaná alternativa rozhodnutí je citlivá na změny ve vstupních datech. Má za cíl identifikovat účinek změny ve vstupních datech (geografická data nebo priority těch, kteří analýzu provádějí) a jaké vyvolají změny ve výsledku, v doporučeních a následcích. Pokud změny nemají značný vliv na výsledky analýzy, pak je seřazení alternativ považováno za robustní. Pokud tomu tak není, je možno využít nově získané informace a vrátit se o pár kroků zpět. Citlivostní analýza může napomoci řešiteli více porozumět úloze a jednotlivým složkám a tím přispět k výběru nejlepší alternativy rozhodnutí.

Doporučení

Posledním krokem analýzy je doporučení pro budoucí jednání, které by mělo být založeno na předchozích krocích. Doporučení je většinou doplněno i analýzou případných následků konkrétního rozhodnutí.

6.4 Aplikační příklad

Pro ilustrování, jak probíhá analýza pomocí prostorové vícekritériální rozhodovací analýzy, nám poslouží příklad, který je definován jako hledání vhodného místa pro novou zástavbu v daném území.

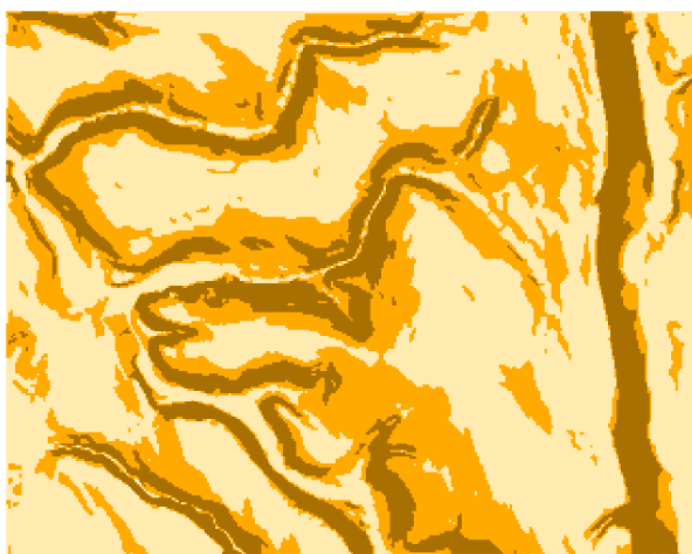
V prvním kroku byla nalezena potřebná data. Konkrétně se jedná o rastrové vrstvy území zobrazující danou charakteristiku. Za vstupní data byly zvoleny tyto rastrové vrstvy, které jsou zároveň atributy. V následující tabulce jsou popsány jednotlivé atributy, jejich hodnotící kritéria a váhy. Váhy byly stanoveny na základě subjektivního úsudku pomocí seřazení.

Atributy	Hodnotící kritéria	Váhy
Komunikace	V blízkosti komunikace (0-150 m).	0,26
svažitost terénu	Svažitost terénu do 10°.	0,09
orientace svahu	Orientace svahu na jih (přípustný je i východ a západ).	0,05
Vegetace	Lesy a orná půda pro novou zástavbu jsou nevhodné.	0,26
Zástavba	Místa stávajících budov jsou nevhodná.	0,17
Vodstvo	Oblasti v blízkosti vodních ploch a vodních toků jsou nevhodné (0 – 50 m).	0,17

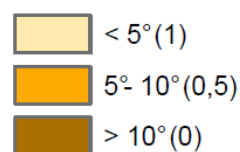
Tabulka 6.1 Hodnotící kritéria a jejich váhy

Před samotným výpočtem byly připraveny jednotlivé mapy hodnotících kritérií. Jednotlivá hodnotící kritéria byla zobrazena v mapách a každé kritérium bylo posuzováno zvlášť.

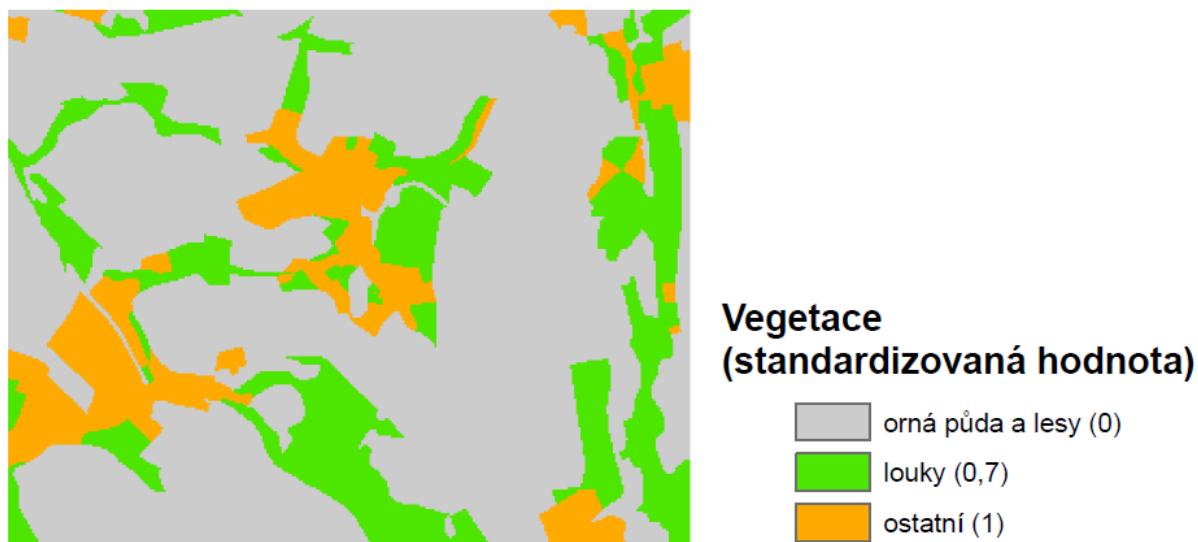
Vrstva zobrazující komunikace a jejich hodnotící kritérium obsahuje dvě zóny. Jedna zóna označuje oblasti vhodné k zástavbě a druhá oblasti nevhodné k zástavbě. Zóny byly vytvořené na základě hodnotícího kritéria, které požadovalo, aby zástavba byla v blízkosti komunikace. Pro svažitost terénu byly vytvořeny tři kategorie: svah 0°- 5°, 5°- 10° a větší než 10° (Obrázek 6.1). Obdobným způsobem byly vytvořené další mapy hodnotících kritérií (Obrázek 6.2).



**Sklon svahu
(standardizovaná hodnota)**

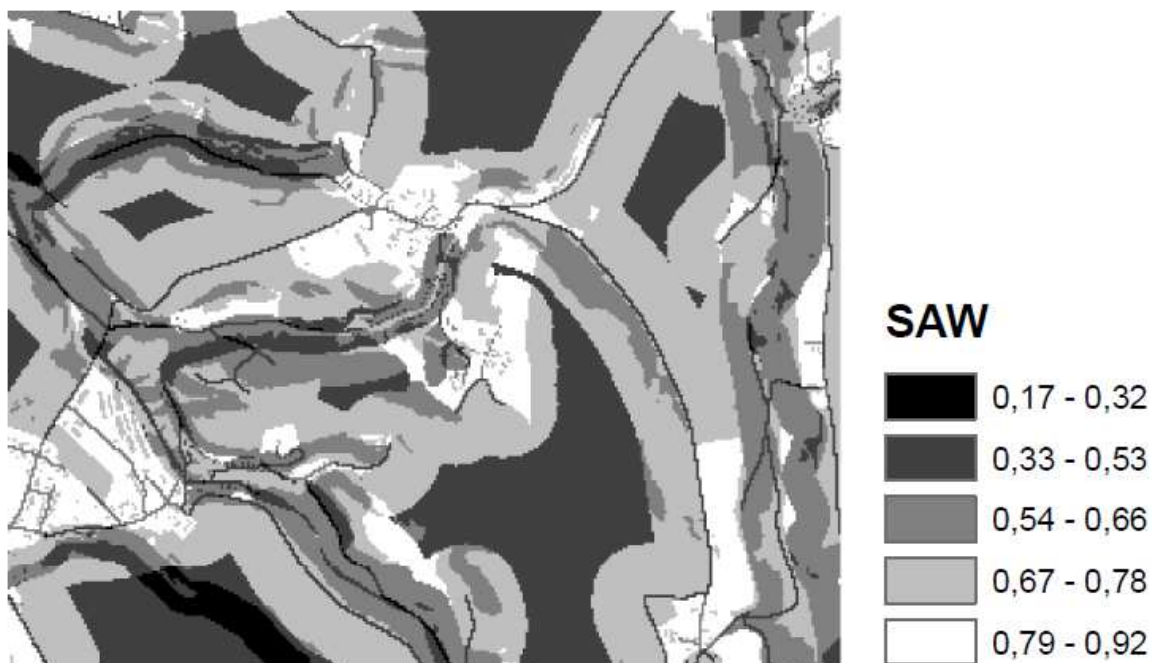


Obrázek 6.1 Sklon svahu (v závorce standardizovaná hodnota zón)



Obrázek 6.2 Vegetace (v závorce standardizovaná hodnota zón)

Vstupní rastrové vrstvy (mapy hodnotících kritérií) byly posléze vynásobeny váhou a v konečné fázi byly sečteny. Výsledná mapa území zobrazující oblasti vhodné k nové zástavbě je zobrazená na obrázku 6.3. Světlé oblasti zobrazují místa nejvhodnější k zástavbě, tmavé oblasti nejméně vhodná místa.



Obrázek 6.3 Výsledná rastrová vrstva získána pomocí metody SAW

7 Závěr

Tato práce popisuje funkce mapové algebry. Soustředí se jak na teoretický základ, který byl podrobně popsán C. Danem Tomlinem v jeho práci, tak na praktické řešení v prostředí největšího komerčního GIS softwaru ArcGIS. Celá sbírka funkcí mapové algebry je dostupná v nadstavbě Spatial Analyst. Pro názornou ilustraci funkcí je text doplněn mnoha příklady z prostředí ArcGIS. Využití mapové algebry je velice široké a proto bylo v diplomové práci představeno i několik aplikačních příkladů, které mají za cíl přiblížit mapovou algebru jako soubor funkcí sloužících k prostorovým analýzám. Za zmínku stojí i využití mapové algebry v oboru prostorové vícekriteriální analýzy, které je věnována poslední kapitola. Prostorová vícekriteriální rozhodovací analýza je v této práci pouze v rozsahu úvodu, kde je důraz kladen na jednotlivé kroky analýzy a jejich implementaci.

V dnešní době je budoucnost prostorových analýz vkládána na bedra vektorových GIS. Navzdory tomu, že celý soubor prostorových analýz (včetně mapové algebry) v rastrových GIS je víc než 20 let starý, má pořád široké využití. Během tvorby a rozvoje rastrových GIS byl vytvořen obsáhlý soubor funkcí poskytujících nástroje pro prostorovou analýzu. Výjimku netvoří funkce mapové algebry. Funkce byly dopodrobna popsány a jejich využití je patrné v každém, ať už rozsáhlém nebo jednoduchém GIS. Bohužel vektorové GIS nám zatím neposkytují tak bohatou nabídku již zpracovaných a časem ověřených funkcí pro prostorovou analýzu. A právě toto je jeden z nejdůležitějších důvodů neustávající obliby a vysokého využití rastrových GIS.

Během psaní diplomové práce byl největším problémem nedostatek zdrojové literatury, zejména v českém jazyce. Díky mému studijnímu pobytu a spolupráci s technickou univerzitou v Helsinkách se podařilo získat stěžejní literaturu týkající se mapové algebry a prostorové vícekriteriální rozhodovací analýzy, která u nás není běžně dostupná.

8 Použitá literatura

- [1] TOMLIN, C.Dana. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. New Jersey: Prentice Hall, 1990. ISBN 0-13-350927-3
- [2] MALCZEWSKI, Jacek. GIS and Multicriteria Decision Analysis. New York: John Wiley & Sons, INC., 1999. ISBN 0-471-32944-4
- [3] HORÁK, Jiří. Prostorová analýza dat. [on-line]. Poslední aktualizace: 03. 03. 2006. Dostupné z http://gis.vsb.cz/pad/Kap_2/kap__2_2.htm
- [4] HLÁSNÝ, Tomáš. Geografické informačné systémy - Priestorové analýzy. Zvolen: Národné lesnicke centrum – ZEPHYROS, 2007. ISBN 978-80-8093-029-5.
- [5] PACINA, Jan. Popis principu fungování vybraných prostorových analýz a jejich implementace v nekomerčním GIS GRASS pro názornou výuku. (Diplomová práce) Plzeň : ZČU, 2005.
- [6] ŘEHÁK, Tomáš. Analytické možnosti GIS nad rastrovými daty. (Diplomová práce) Plzeň : ZČU, 2008.
- [7] ESRI, C. ArcGIS 9: Using ArcGIS Spatial Analyst. Redlands: ESRI, 2001. ISBN 1-58948-105-4.
- [8] Jedlička, Karel. Úvod do Geografických Informačních Systému. [on-line]. Poslední aktualizace jaro 2007. Dostupné z <http://gis.zcu.cz/studium/ugi/elearning/index1.htm>
- [9] HOUŠKA, Milan. Vícekriteriální rozhodování. [on-line]. Dostupné z zip.czu.cz/_data_editor/File/Vicekriterialni_rozhodovani/2Vicekriterialni_rozhodovani.ppt
- [10] Nápověda pro ArcGIS 9.2