



Kartografické modelování

I – Metody kartografického modelování

jaro 2016

Petr Kubíček

kubicek@geogr.muni.cz

**Laboratory on Geoinformatics and Cartography (LGC)
Institute of Geography
Masaryk University
Czech Republic**



Prerekvizity – na co navazujeme?

- **Z0262 Geoinformatika** – základní technologické znalosti a dovednosti.
- **Z2062 Geografická kartografie** – základní znalosti o tvorbě a podstatě map.
- **Z0135 Úvod do studia geografie** – základní oborové znalosti.
- ...

Základní teoretické okruhy + cvičení v ArcGIS

- 1. Metody kartografického modelování**
- 2. Mapová algebra – historie, obecné základy**
- 3. Třídy funkcí mapové algebry – lokální, fokální, zonální a globální.**
- 4. Overlay algebra – typy překryvných funkcí, pravidla pro atributy.**
- 5. Hydrologické modelování – D8, definice povodí, vodních toků.**
- 6. Modelování terénu – základní topografické funkce, analýzy viditelnosti.**
- 7. Modelování vzdálenosti – eukleidovské a frikční povrchy.**
- 8. Síťová analýza – základní typy, Dijkstrův algoritmus.**
- 9. Prediktivní modelování – případové studie**
- 10. Multikriteriální analýza – základní přístupy a příklady.**

Literatura - knihy

- **SKIDMORE, A. (ed).** *Environmental modelling with GIS and remote sensing..* 1st publ. London: Taylor & Francis, 2002. xvi, 268 s. ISBN 0-415-24170-7.
- **DEMERS, Michael N.** *GIS modeling in raster.* New York: John Wiley & Sons, 2002. xi, 203 s. ISBN 0-471-31965-1.
- **Vybrané doporučené články - viz přednášky.**

Organizace a ukončení

- **Zkouška – ústní zkouška – pozor změna oproti IS!**
- **Cvičení tvoří nedílnou část známky z předmětu.**
- **Cvičení – viz podmínky Mgr. Adam Mertel**



Modelování, model

- **Modelování = prostředek poznávacího procesu**
- **Model = zjednodušené zobrazení skutečnosti, části objektivní reality či jevu.**
- **Model zobrazuje pouze vybrané znaky předlohy, které nás zajímají v konkrétním případě zkoumání, od ostatních vlastností se upouští.**
- **Účel modelu – rozhoduje o zobrazovaných vlastnostech**
- **Různé typy modelů – mapa, databáze, datový model, GIS model.**

Datové modely v GIS (?)

OPAKOVÁNÍ:

- Základní typy datových modelů
- Geometrická primitiva
- Topologie v jednotlivých datových modelech.
- Výhody a nevýhody



Datové modelování – vektorová reprezentace

Základní geometrické objekty

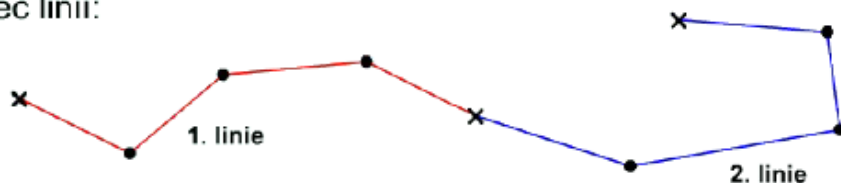
Bod:

x
[x,y]

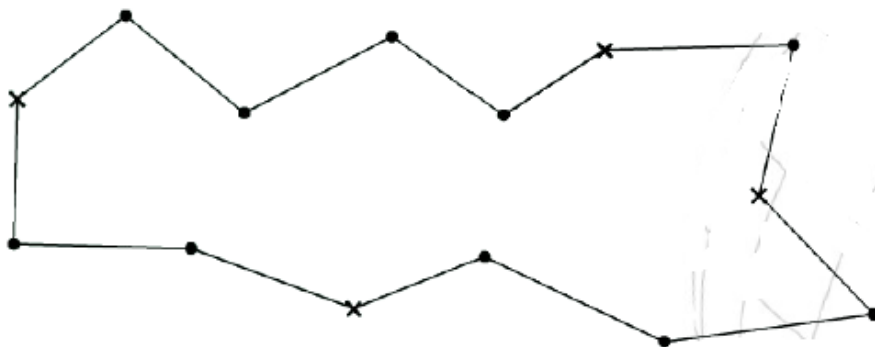
Linie:



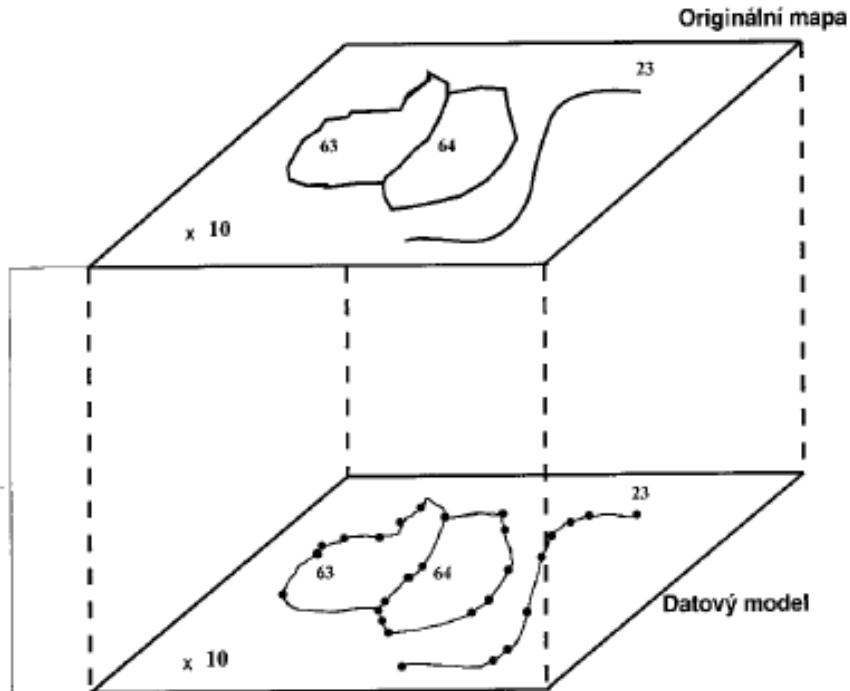
Řetězec linií:



Plocha - uzavřený řetězec linií:



Špagetový datový model



- Nejjednodušší
- Objekt na mapě se reprezentuje jedním logickým záznamem v souboru a je definovaný jako řetězec x,y souřadnic.
- Nevýhody - ačkoli jsou všechny objekty v prostoru definovány, struktura neposkytuje informace o vztazích mezi objekty.
- Společná linie je pro každý polygon ukládána dvakrát.
- Pro většinu prostorových analýz je tento model nevhodný, protože veškeré potřebné prostorové vztahy musí být spočítány před každou analýzou

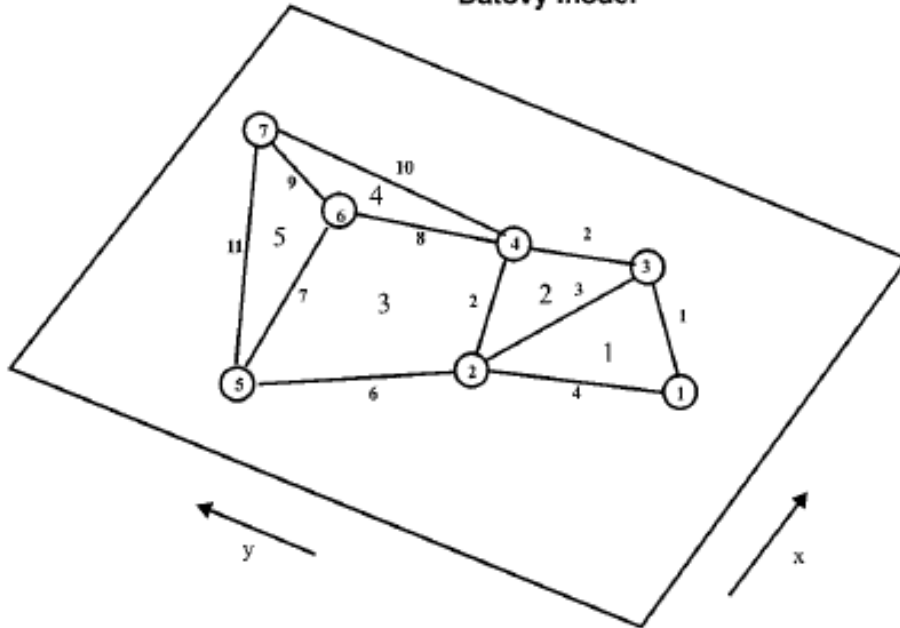
Datová struktura

Objekt	Číslo	Poloha
Bod	10	X, Y Jednotlivý bod
Čára	23	$X_1 Y_1, X_2 Y_2, \dots, X_n Y_n$ Řetězec
Polygon	63	$X_1 Y_1, X_2 Y_2, \dots, X_1 Y_1$ Uzavřená smyčka
	64	$X_1 Y_1, X_2 Y_2, \dots, X_1 Y_1$



Topologický datový model

Datový model



Soubor topologických vztahů

Hrana	Pravý Polygon	Levý Polygon	Počátek v bodě	Konec v bodě
1	1	0	3	1
2	2	0	4	3
3	2	1	3	2
4	1	0	1	2
5	3	2	4	2
6	3	0	2	5
7	3	5	5	6
8	3	4	5	4
9	4	5	7	8
10	0	4	7	4
11	5	0	5	7

Datová struktura

Soubor souřadnic bodů

Uzel	X souřadnice	Y souřadnice
1	23	8
2	17	17
3	29	15
4	28	21
5	8	25
6	22	30
7	24	36

- V tomto modelu každá linie začíná a končí v bodě nazývaném **uzel - node**.

- Dvě linie se mohou protínat** opět jenom v uzlu. Každá část linie je uložena s odkazem na uzly a ty jsou uloženy jako soubor souřadnic x,y. Ve struktuře jsou ještě **uloženy identifikátory označující pravý a levý polygon vzhledem k linii**. Tímto způsobem jsou zachovány základní prostorové vztahy

- Použitelné pro analýzy**. Navíc tato topologická informace umožňuje body, linie a polygony uložit v neredundantní podobě.



Vektorová reprezentace - topologie

- **Topologie je matematický způsob, jak explicitně vyjádřit prostorové vztahy mezi jednotlivými geometrickými objekty.**
- **Proč vůbec topologie? Má jisté výhody, například:**
 - Umožní ukládat data efektivněji.
 - Mnoho analýz v GIS využívá pouze topologické a nikoli geometrické vztahy.
- **Tři základní topologické koncepty:**
 - **Konektivita** – dvě linie se na sebe napojují v uzlech.
 - **Definice plochy** – linie, které uzavírají nějakou plochu, definují polygon.
 - **Sousednost** - linie mají směr a nesou informaci o objektech nalevo a napravo od nich.



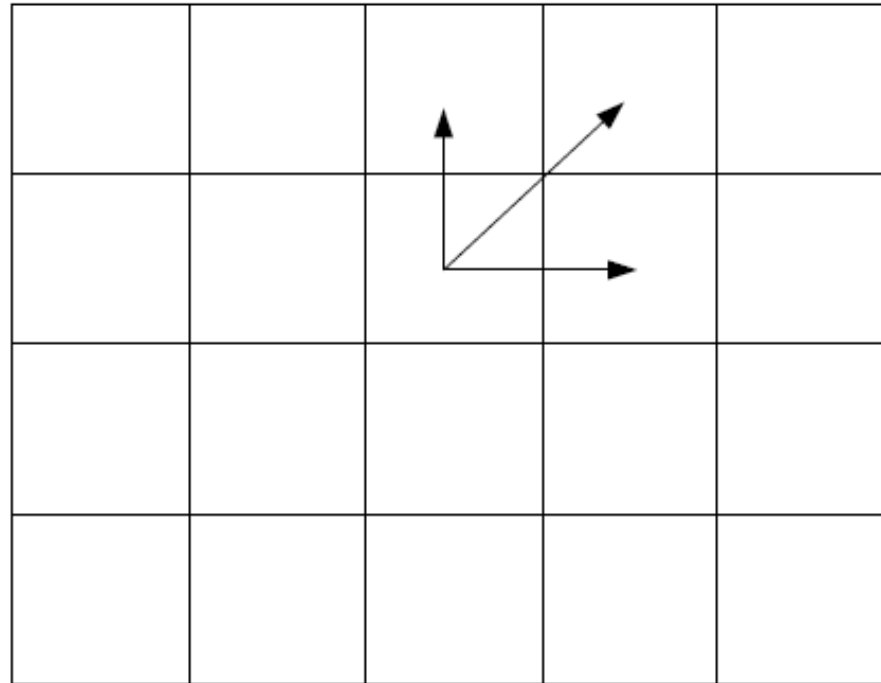
Rastrová reprezentace

- **Základním stavebním prvkem je u rastrové struktury tzv. buňka (cell, pixel).**
- **Buňky jsou organizovány do mozaiky.**
- **Jednotlivé buňky obsahují hodnoty (values).**
- **Typy tvarů buněk:**
 - **čtvercová** buňka,
 - trojúhelníková buňka,
 - hexagonální buňka.



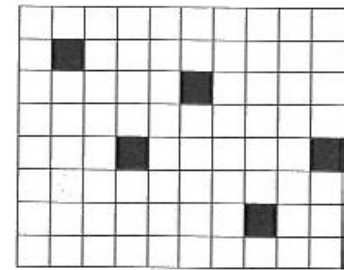
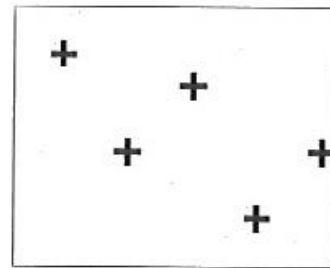
Rastrová reprezentace

Topologie je v rastrovém modelu definována implicitně (je jasné kdo je čí soused), tudíž není nutné ji explicitně ukládat jako pro vektorový model!

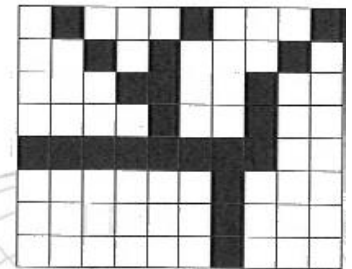
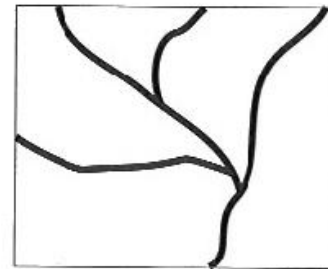


Rastrová reprezentace

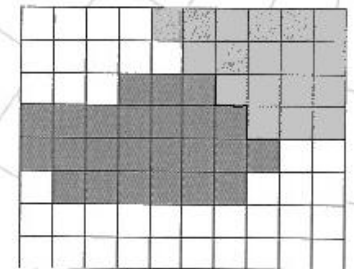
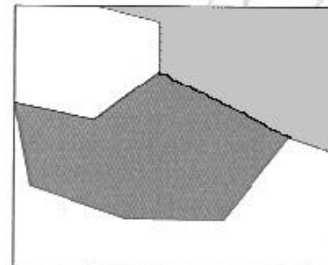
Stejně jako vektorový model, rastrová datová struktura může nést informace o bodech, liniích a plochách.



Point features represented in a grid.



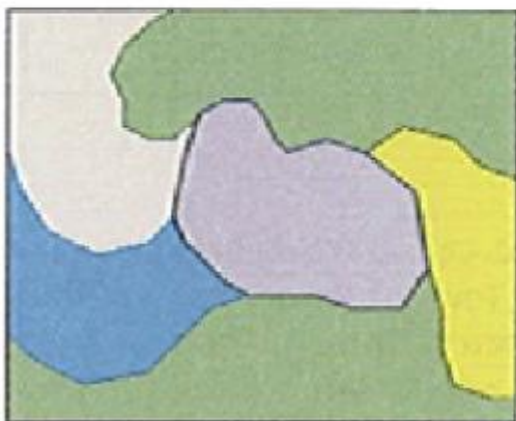
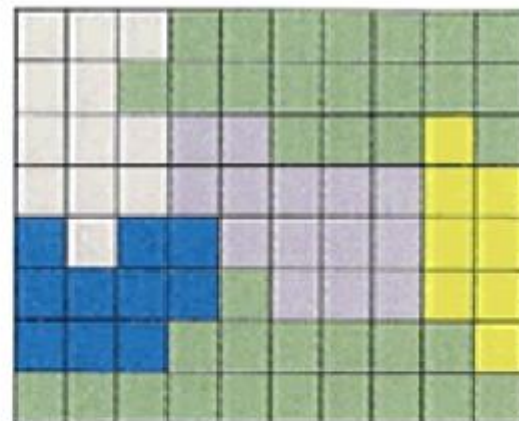
Linear features represented in a grid.



Discrete area features represented in a grid.

Rastrová reprezentace

Vliv velikosti buňky (\sim rozlišení) na tvar objektů



Rastrová reprezentace

+

- dobře definovatelná matematickým aparátem,
- jednoduše implementovatelná jako základní datový typ většinou programovacích jazyků (2D pole),
- obecně použitelná, jelikož na každý pixel může být použita jakákoli definovaná operace.

-

- detail - celý obraz je reprezentován stejným způsobem, tudíž uložení velké oblasti, skládající se z pixelů stejného typu, není nijak optimalizováno,
- abstrakce - k získání méně detailního obrazu je nutné použít všechna data,
- náročnost na úložný prostor
- plýtvání pamětí - celý datový soubor musí být v paměti, což může být rozhodující u velkých obrazů.



Základní typy modelů v geoinformatice

- Různé přístupy ke klasifikaci (DeMers 2002)
- Uvedeme kategorie podle kterých se modely mohou odlišovat:
 - **Deskriptivní** – popisuje existující geografická data a prostředí (mapa současné vegetace)
 - **Prediktivní** – nabízí předpověď (predikci) vývoje geografických dat (what if ..., mapa potenciální vegetaci v případě klimatické změny).
 - **Preskriptivní** – ukazuje následky predikce (co, kde a PROČ), je schopni využít i nová data (BIG DATA), hodnotit rozhodnutí.
 - **Statické** – vztahy mezi daty v daném časovém okamžiku
 - **Dynamické** – zdůrazňuje změny geografických dat a vztahy mezi proměnnými (simulace odtoku, povodňové vlny...).



Základní typy modelů v geoinformatice

Matematické modely vyjádřené pomocí rovnic s parametry a proměnnými:

- **Deterministické** – pracuje pouze se zadanými hodnotami bez efektu náhody.
- **Stochastické** – bere do úvahy náhodné jevy a proměnné. Jeho výsledky mohou obsahovat míry chyb nebo nejistoty, které jsou obvykle vyjádřeny pravděpodobností (%) – pravděpodobnostní, statistické modely. Kriging.

Základní typy modelů v geoinformatice

- **Deduktivní** – závěry jsou podloženy řadou předpokladů – například založených na vědeckých teoriích a fyzikálních zákonech.
- **Induktivní** – závěr podloženy empirickým pozorováním a měřením.
 - Model sesuvů může být vytvořen například oběma způsoby podle toho, o co se opírá (fyzikální zákony x naměřená data).



Proces modelování

Postup tvorby modelu zahrnuje následující kroky:

- Definování **cílů modelu** v souladu s výzkumem (na konceptuální úrovni – co, kde, kdy, jak).
- **Rozložení** modelu **na** jednotlivé **komponenty**, definování jejich vlastností a vztahu mezi nimi.
- **Návrh** použitých **algoritmů** (matematické vztahy) a analogie GIS příkazů.
- **Implementace** a **kalibrace** modelu za využití reálných dat v konkrétním GIS prostředí. Cílem kalibrace je co nejvíce přiblížit výsledky modelu reálným měřením, aby mohly sloužit k předpovědi.
- **Validace** modelu na nezávislých datech před akceptací a nasazením do praxe. Validace – ohodnocení modelu v jiných podmínkách (=na jiných datech, než jak byl model vytvořen). Často rozdělení naměřených dat pro účel kalibrace a validace.

Kartografické modelování

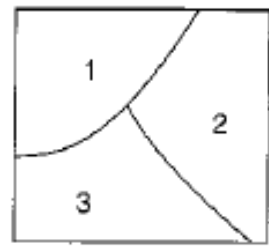
Role GIS v modelování

- Nástroj pro zpracování, zobrazení a integraci různých zdrojů dat – mapy, DMT, GPS, tabulky..
- Datové modelování – vektor, rastr, hybrid. Výhody použití pro specifické jevy (vektor pro dobře ohraničené jevy s jasným tvarem).
- Možnost převodu formátu vektor – rastr (RAVE, VERA), oba datové typy mohou vstupovat do modelů. Lze s úspěchem využít oba a převádět je mezi sebou.
- Možnost propojení GIS na statistické programy (Matlab).
- **Typy propojení** - **volné** (loose coupling - import - export), **pevné** (tight coupling – společný interface, SAGA GIS), **vložené** (embedded) systémy (Geostatistical analyst ArcGIS statistické funkce v GIS a naopak).

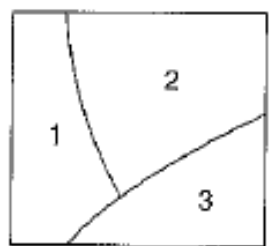
Binární modely

- **Využívají logické výrazy** pro výběr mapových prvků. Výstupem je binární formám nabývajících hodnot 1 (pro prvky splňující kritérium = true) a 0 pro prvky nesplňující hodnocení (=false).

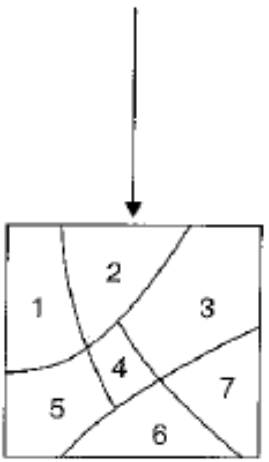
Binární model vektor a rastr



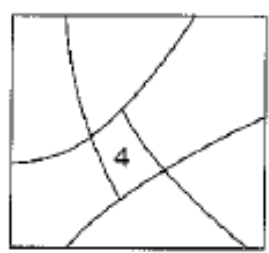
ID	Suit
1	3
2	1
3	2



ID	Type
1	21
2	18
3	6



ID	Suit	Type
1	3	21
2	3	18
3	1	18
4	2	18
5	2	21
6	2	6
7	1	6



Suit = 2 AND Type = 18

1	1	1	4
3	2	4	4
3	3	3	4
4	4	4	4

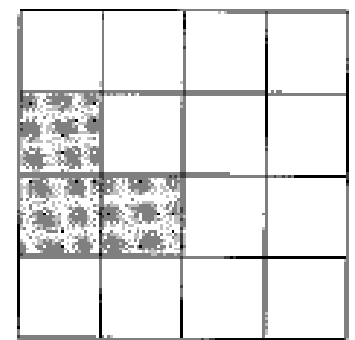
Grid 1

1	1	1	3
3	2	2	3
3	3	4	4
3	3	4	4

Grid 2

([Grid1] = 3)
 AND
 ([Grid2] = 3)

=



Indexové modely

- Počítají **hodnotu indexu** pro každou prostorovou jednotku a vytváří **ohodnocenou mapu** založenou na hodnotách indexu.
- Stejně jako binární model zahrnuje hodnocení a překryvné operace (overlay, algebra).
- Výsledkem jsou **prostorové jednotky ohodnocené** pomocí zvoleného indexu a ne pouze 0,1.
- Jak pro vektorový, tak pro rastrový model zahrnuje **normalizaci hodnot** v rozmezí $\langle 0,1 \rangle$.

$$S_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

Indexový model - vektor

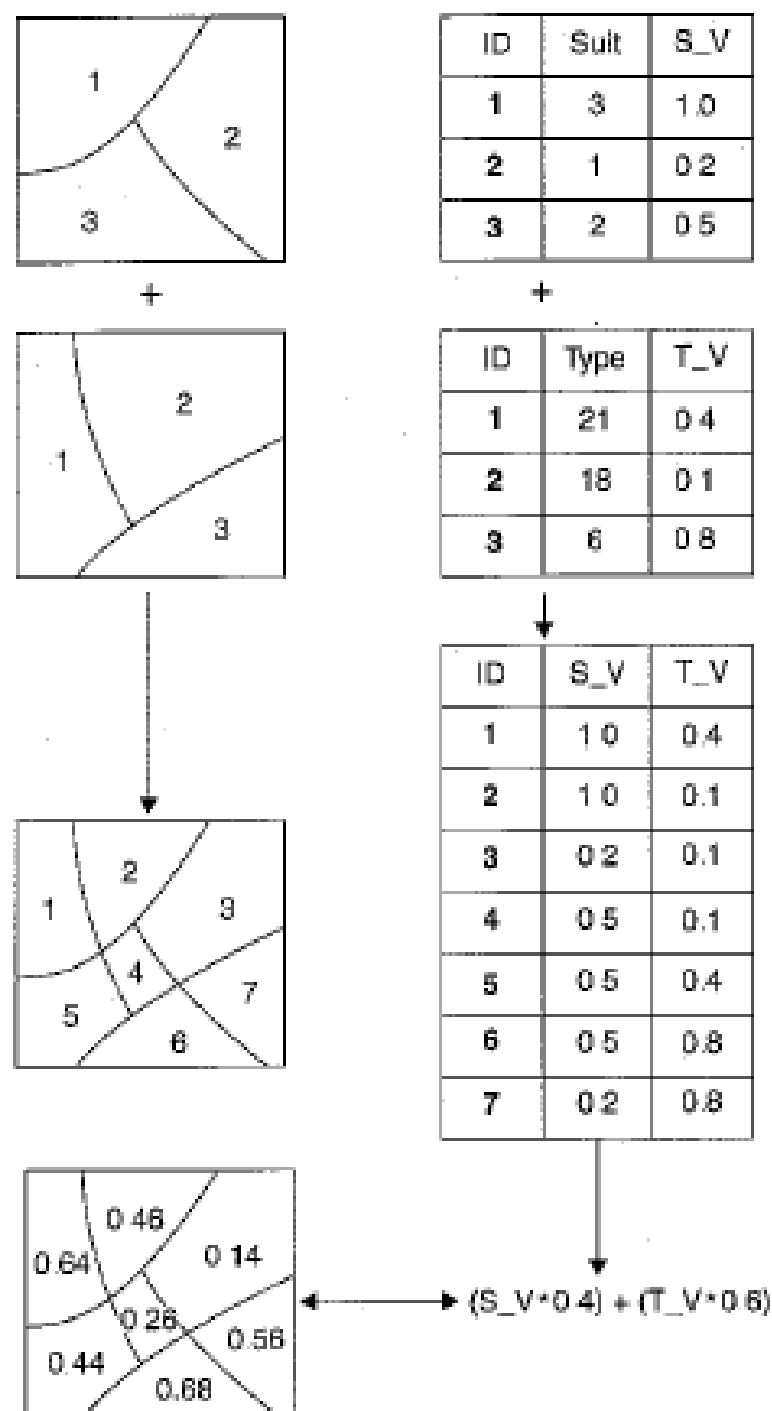
This diagram illustrates a vector-based index model. First, standardize the Suit and Type values of the two input maps into a scale of 0.0 to 1.0. Second, overlay the two maps. Third, assign a weight of 0.4 to the map with Suit and a weight of 0.6 to the map with Type. Finally, calculate the index value for each polygon in the output by summing the weighted criterion values. For example, Polygon 4 has an index value of 0.26 ($0.5 \times 0.4 + 0.1 \times 0.6$).

Normalizace hodnoty (expertní)

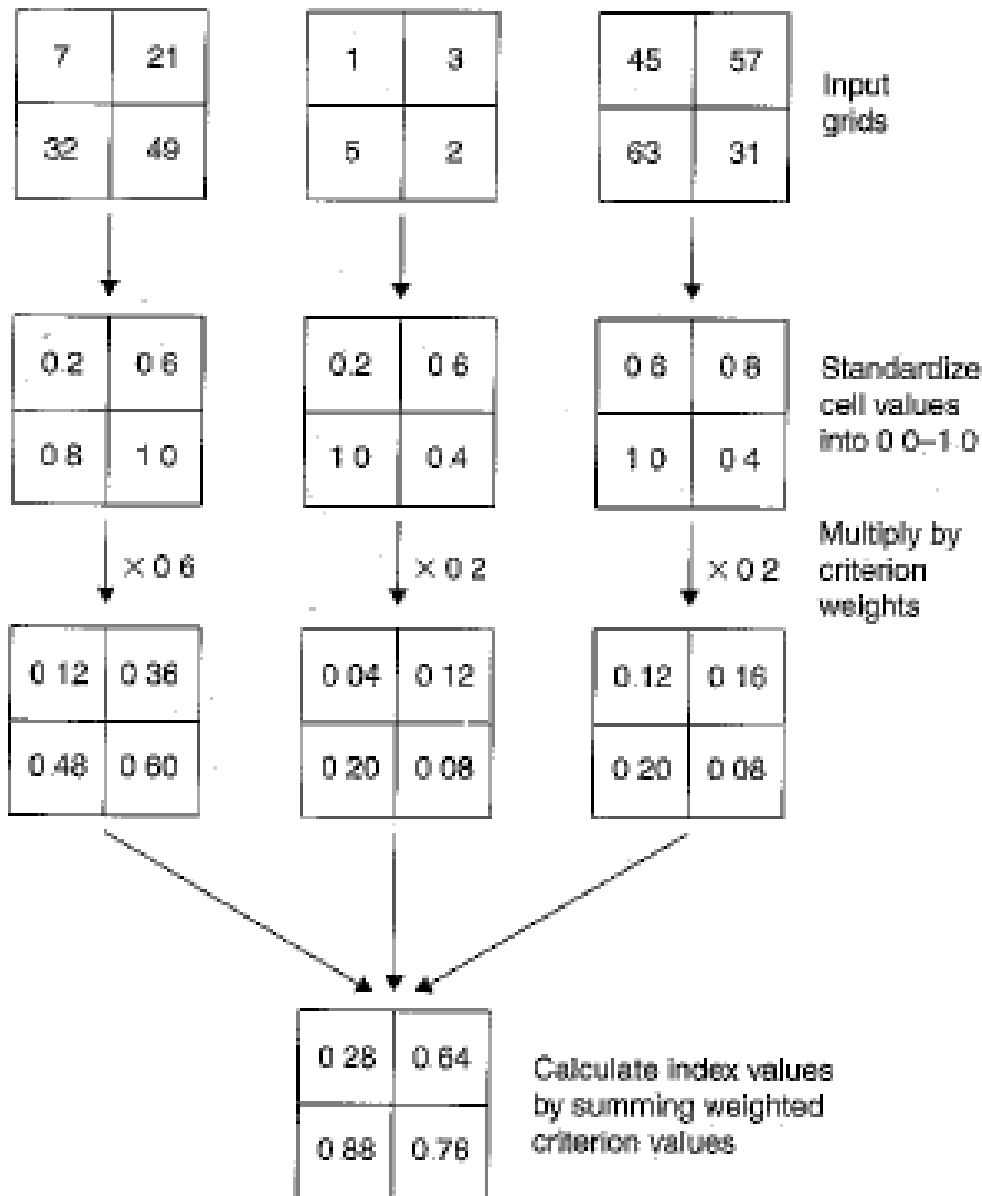
Overlay

Určení váhy

Sečtení indexů



Indexový model - rastr



- **Normalizace hodnot**
- **Vynásobení vahou**
- **Součet vážených hodnot**

This diagram illustrates a raster-based index model. First, standardize the cell values of each input grid into a scale of 0.0 to 1.0. Second, multiply each input grid by its criterion weight. Finally, calculate the index values in the output grid by summing the weighted cell values. For example, the index value of 0.28 is calculated by: $0.12 + 0.04 + 0.12$, or $0.2 \times 0.6 + 0.2 \times 0.2 + 0.6 \times 0.2$.

Procesní modely

- Integrují existující **znalosti o procesech reálného světa** do sady vztahů a rovnic pro možnost kvantitativní vyjádření přírodního procesu.
- Často dále děleny na **moduly**, které kombinují induktivní a deduktivní přístupy.
- Přírodní modely jsou obvykle **komplexní**, zahrnují řadu proměnných a nejistotu.
- Příklad – model půdní eroze RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation.

Kartografické modelování – historie

- Tomlin (1983) – Map Algebra
- Berry (1987) – Map-matics
- Ustanovili kartografické modelování jako přijatou metodiku pro zpracování geografických dat.



Dana Tomlin



Joseph Berry



Kartografické modelování – základní pojmy

Kartografické modelování je základní způsob vyjádření a organizace metod, jejichž způsobem jsou prostorové proměnné (data) a prostorové operace (funkce) vybírány a používány v GIS.

KM založeno na konceptech datových **vrstev, operací a postupů.**

Nová vrstva je vytvořena ze stávajících vrstev pomocí operací mezi nimi, které jsou spojovány do postupů.

Tomlin (1991) states:

"The fundamental conventions of cartographic modelling are not those of any particular GIS. On the contrary, they are generalized conventions intended to relate to as many systems as possible"

- **KM je implementováno v řadě GIS SW balíčků – ArcGIS, ERDAS, GeoMedia GRID, GRASS, Idrisi.**

Kartografické modelování

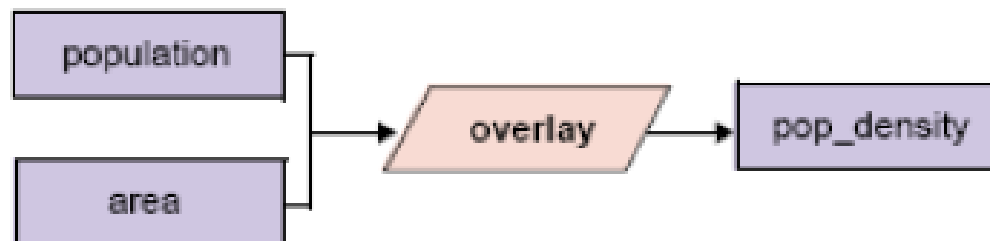
Přirozený jazyk

"If a user can express in words the actions that he wishes to perform on the geographical data, why should s/he not be able to express that action in similar terms to the computer?"

Burrough (1986)

Tomlin – rozpoznal roli přirozeného jazyka pro vyjádření logiky v prostorové analýze. Každá prostorová operace je sloveso, název (jméno) reprezentuje mapovou vrstvou.

Př. Mapa obyvatelstva (jméno 1) je překryta (overlay – sloveso) mapou administrativních jednotek (jméno 2) a vzniká mapa hustoty obyvatelstva (jméno 3 – výsledek).



Kartografické modelování

Implementace kartografického modelu v GIS

- **Identifikace požadované mapové vrstvy nebo datové sady.**
- **Použijte logický nebo přirozený jazyk a popište proces vytvoření výsledného modelu (data – výsledek).**
- **Reprezentujte postup graficky, aby zahrnoval navrhované operace a postupy.**
- **Popište grafický postup případnými příkazy, které používá příslušný GIS balík.**

Umístění supermarketu

Vyber místo vhodné pro umístění supermarketu, které leží:

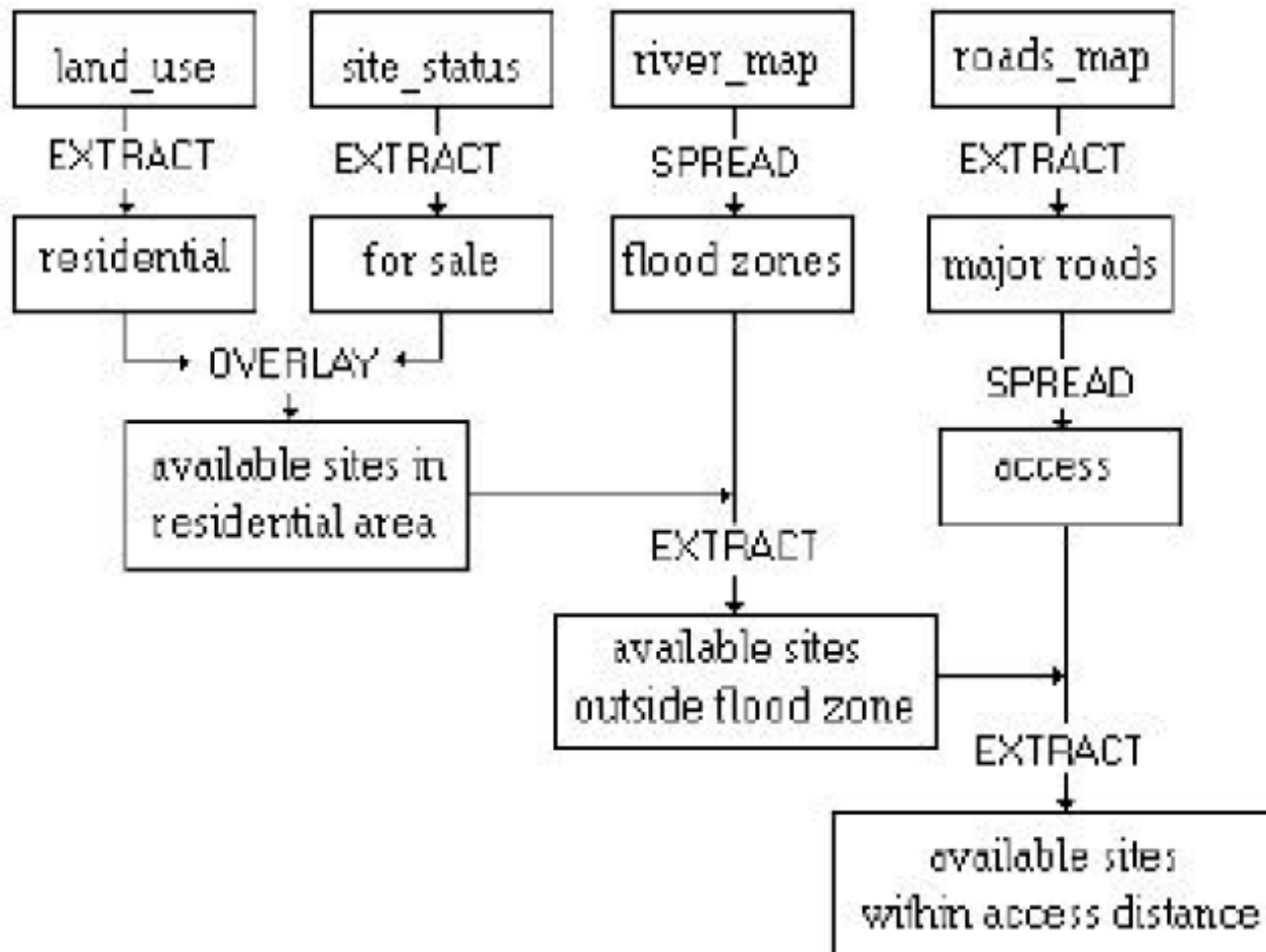
- V obydlené oblasti (intravilán)
- Je na prodej
- Neleží v záplavové zóně
- Je v dosahu 200 m od hlavní silnice

Čtyři datové vrstvy

- **Land_use**
- **Site_status**
- **River_map**
- **Roads_map**

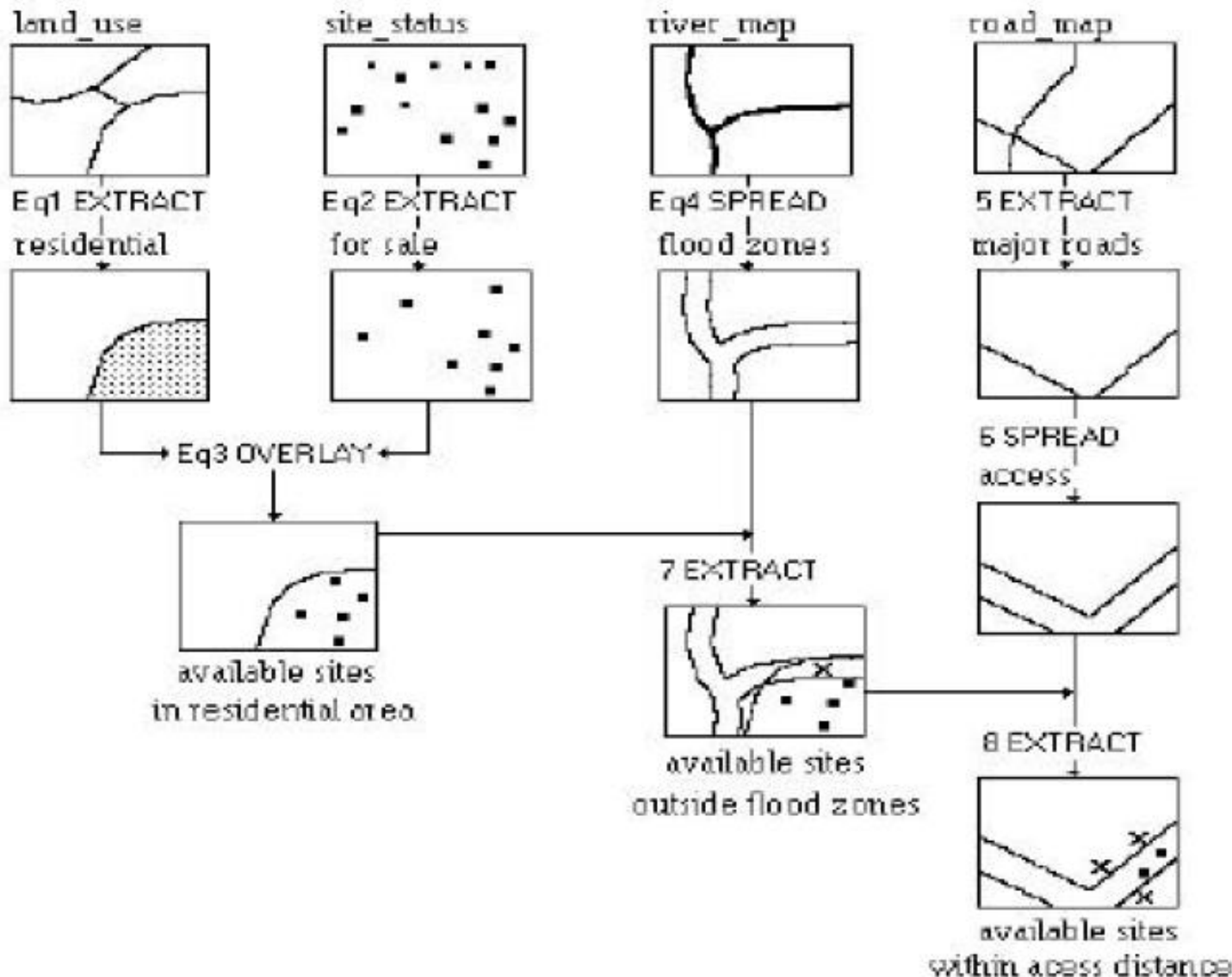
Popis procesu přirozeným jazykem

Table 2 presents four of the equations it would be necessary to solve as part of the process of finding a suitable site for the supermarket.





Grafická reprezentace vhodného místa



Algebraické operace pro GIS

Table 2. Algebraic equations from Figure 5.

From LAND_USE 'extract' RESIDENTIAL

Eq 1 $a - b = c$

where:

a = land_use map

b = non residential zone

c = residential

From SITE_STATUS 'extract' FOR_SALE

Eq 2 $d - e = f$

where:

d = site_status map

e = sites not for sale

f = sites for sale

'Overlay' RESIDENTIAL and FOR_SALE

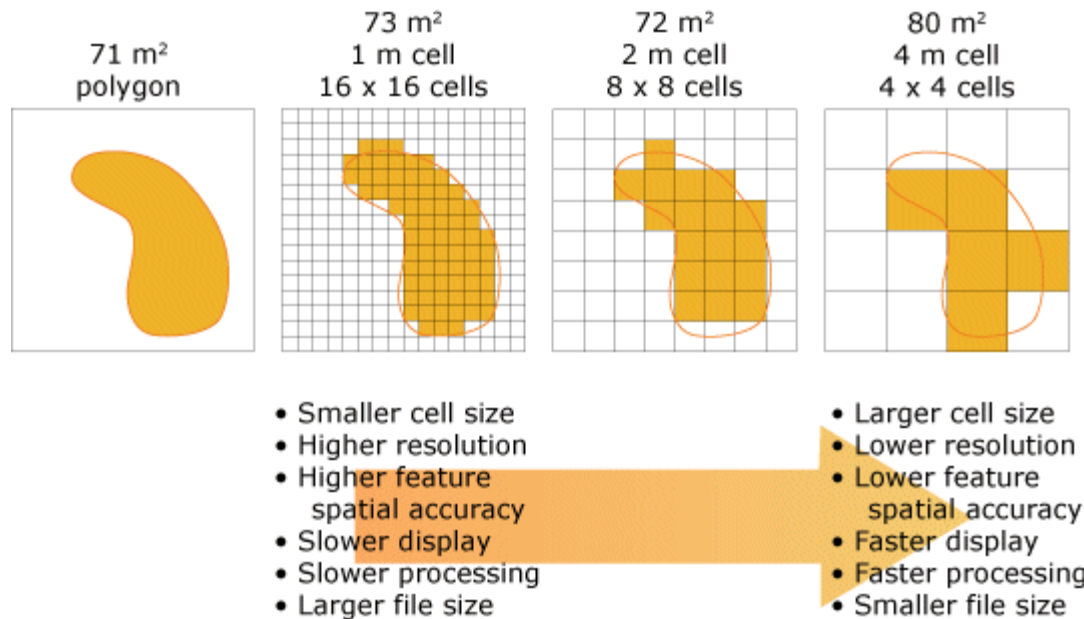
Eq 3 $c * f = g$

where:

g = residential sites for sale

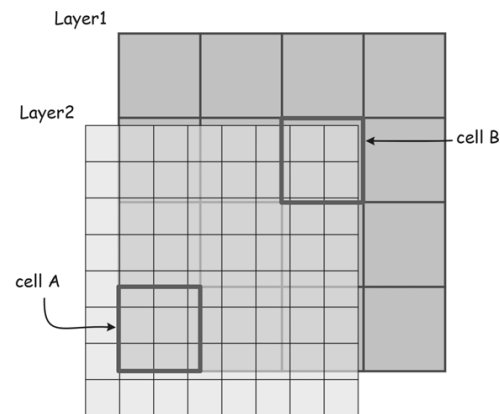
Předpoklady – podmínky užití

- Pravoúhlá soustava čtvercových buněk
- Kategorie, bool, celá čísla, reálná, vektory
- No data



Změna velikosti buňky - resampling

- **Resamplování – harmonizace buněk (velikost, poloha)**
 - Nejbližší soused (nearest 1) – ztráta, diskrétní
 - Převládající (majority 1) – zhlazení, diskrétní
 - Bilineární (4) – zhlazení, souvislá
 - Kubická konvoluce (16) – zhlazení, souvislá.



Spojení gridů

- **Spojení gridů - merge, mosaic**

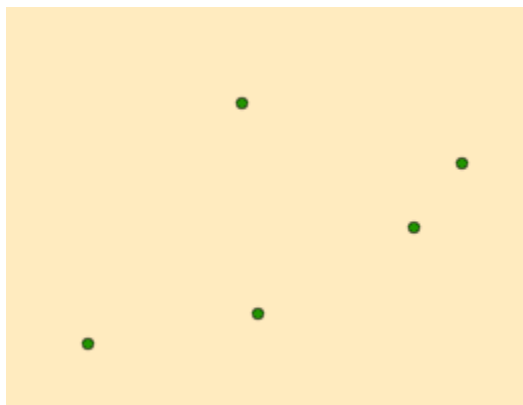


ASCII to Grid

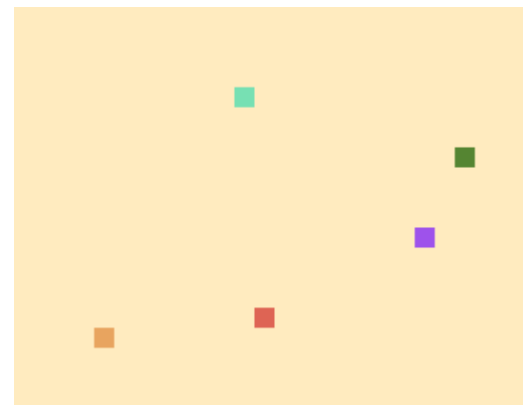
- NCOLS xxx
- NROWS xxx
- XLLCORNER xxx
- YLLCORNER xxx
- CELLSIZE xxx
- NODATA_VALUE xxx
- row 1
- row 2
- .
- .
- row n

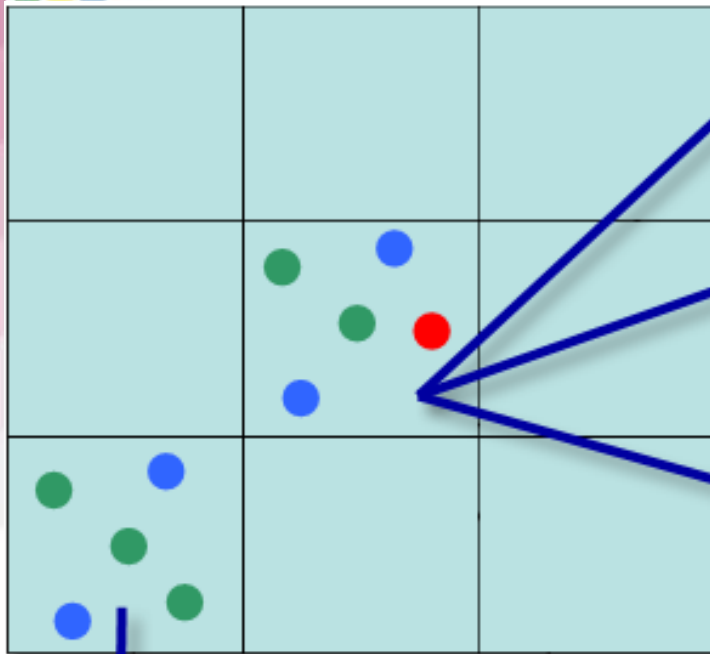


Vstup (vektor)



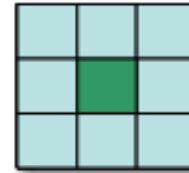
výstup (rastr)





FID | Attribute

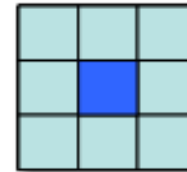
1	Green
2	Red
3	Blue
4	Blue
5	Green



Field = Attribute
 Method = MOST_FREQUENT
 Priority = NONE
 Outcome = Green
 Reason = Lowest FID

FID | Attribute | PriorityFID

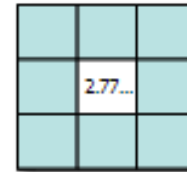
1	Green	1
2	Red	1
3	Blue	1
4	Blue	3
5	Green	2



Field = Attribute
 Method = MOST_FREQUENT
 Priority = PriorityFID
 Outcome = Blue
 Reason = Highest priority

FID | ValueFID

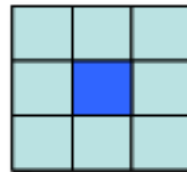
1	1
2	8
3	5
4	3
5	2



Field = ValueFID
 Method = STANDARD_DEVIATION
 Priority = Ignored
 Outcome = 2.774887323379517
 Reason = Priority field is only used with MOST_FREQUENT

FID | Attribute | PriorityFID

1	Green	1
2	Blue	2
3	Blue	2
4	Green	1
5	Green	2



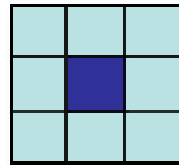
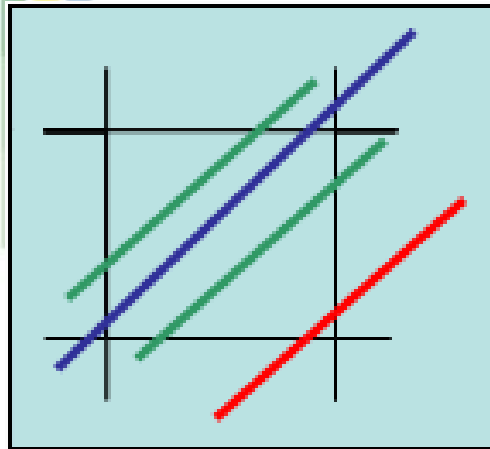
Field = Attribute
 Method = MOST_FREQUENT
 Priority = PriorityFID
 Outcome = Blue
 Reason = Highest priority

Kartografické modelování

Nástroj Polyline to Rastr

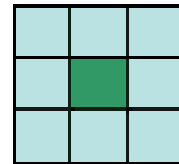
Metody:

- MAXIMUM_LENGTH
- MAXIMUM_COMBINED_LENGTH
- **Priority**



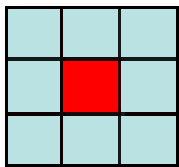
<u>FID</u>	<u>Attribute</u>
1	Green
2	Blue
3	Green
4	Red

Field = Value
 Method = MAXIMUM_LENGTH
 Priority = NONE
 Outcome = Blue
 Reason = Longest length



<u>FID</u>	<u>Attribute</u>
1	Green
2	Blue
3	Green
4	Red

Field = Value
 Method =
 MAXIMUM_COMBINED_LENGTH
 Priority = NONE
 Outcome = Green
 Reason = Length of two green



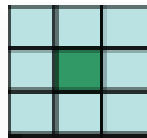
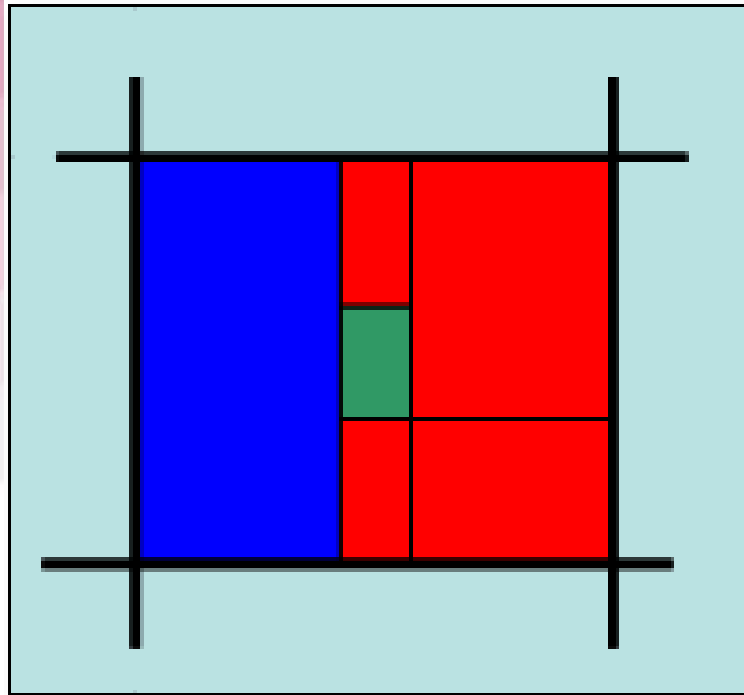
<u>FID</u>	<u>Attribute</u>	<u>PriorityFID</u>
1	Green	1
2	Blue	1
3	Green	2
4	Red	3

Field = Value
 Method = MAXIMUM_LENGTH
 Priority = PriorityFID
 Outcome = Red

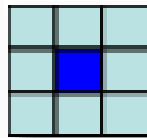
Kartografické modelování

Tři základní metody:

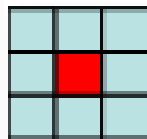
- **CELL_CENTER** - hodnota nacházející se ve středu buňky.
- **MAXIMUM_AREA** - největší souvislá plocha v buňce.
- **MAXIMUM_COMBINED_AREA** - největší sečtená plocha v buňce (i z více nesouvisejících ploch).
- Respektovány pravidla hranice (prvek=buňka)
- Priorita podle FID



CELL_CENTER



MAXIMUM_AREA



MAXIMUM_COMBINED_AREA

<u>FID</u>	<u>Attribute</u>
1	Blue
2	Red
3	Green
4	Red
5	Red
6	Red



Struktura jazyka MA

Mapová algebra používá **objekty**, **činnosti** a **kvalifikátory činnosti**. Ty mají obdobné funkce jako **podstatná jména**, **slovesa** a **příslovce**.

- **Objekty** slouží k uložení informací, nebo jsou to vstupní hodnoty. Jako objekty se používají rastry, tabulky, konstanty, ...
- **Činnosti** jsou příkazy jazyka (**operátory a funkce**) - vykonávají operace na objektech:
 - **Operátory** jsou obvyklé matematické, statistické, relační a logické operátory (+, -, *, /, >, <, >=, <=, <>, mod, div, and, or, not, ...).
 - **Funkce** mapové algebry se dělí na lokální, fokální, zonální a globální.

Operace na jedné a více vrstvách

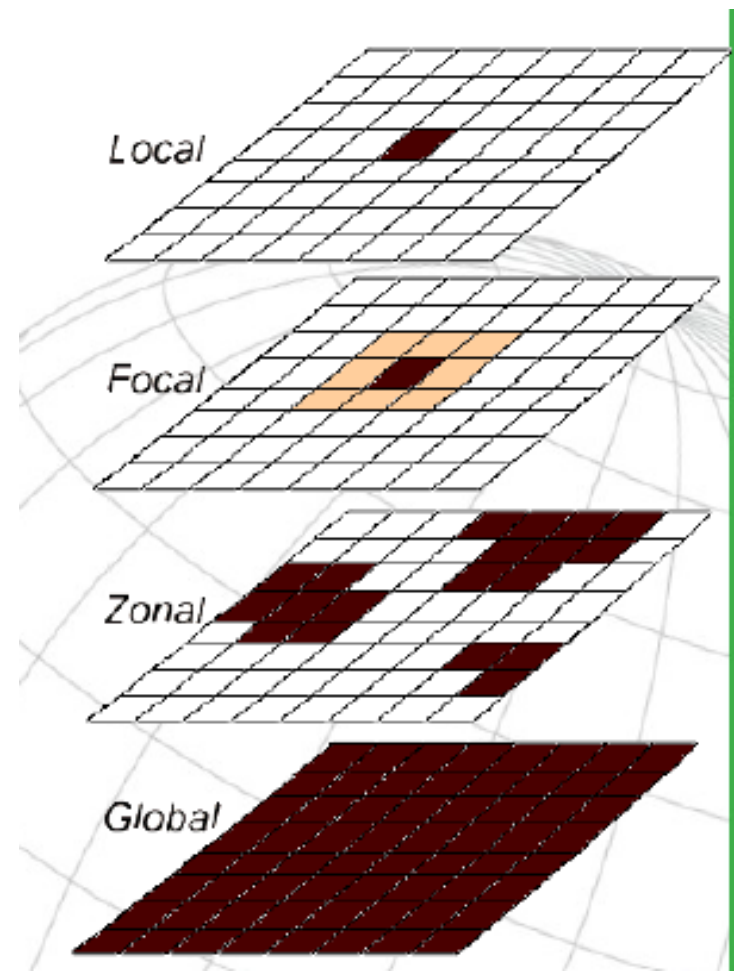
- **Z hlediska počtu zpracovávaných vrstev lze operace mapové algebry dělit na operace s jednou nebo více vrstvami.**
 - Na jedné vrstvě (unární) jsou to nejčastěji skalární operace jako je připočítávání konstanty, násobení, atp. Jako příklad může posloužit tvorba 2x převýšeného DMR pro vizualizaci ve 3D.
 - Na dvou vrstvách (binární) - porovnání
 - Na více vrstvách (n-ární) jsou to operace jako sčítání vrstev (min, max), které se vykonávají s prostorově odpovídajícími si buňkami.

Dělení funkcí mapové algebry

Z hlediska oblasti ze které je počítána hodnota výsledné buňky dělíme funkce mapové algebry na :

- **Lokální** - na individuální buňce, nová hodnota vzniká z individuální buňky jedné nebo více vrstev.
- **Fokální** - v definovaném okolí, nová hodnota vzniká z definovaného okolí buňky.
- **Zonální** - na specifické oblasti, nová hodnota vzniká ze zóny definované v jiné vrstvě.
- **Globální (Tomlin – Inkrementální)** - používají se všechny buňky informační vrstvy.

Kartografické modelování



Lokální funkce

Lokální funkce se obvykle dělí na:

- **matematické(trigonometrické, exponenciální, logaritmické);**
- **reklasifikační (viz cvičení);**
- **selekční (výběrové);**
- **statistické.**