



# Kartografické modelování

## II – Mapová algebra – obecné základy a lokální funkce

jaro 2017

**Petr Kubíček**

**kubicek@geogr.muni.cz**

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

# Kartografické modelování – historie

- Tomlin (1983) – Map Algebra
- Berry (1987) – Map-ematics
- 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**

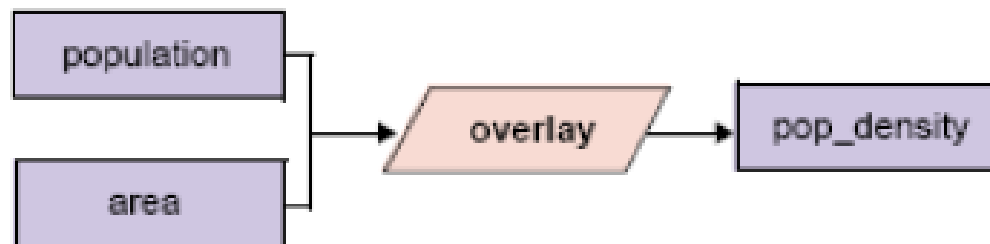
# Přirozený jazyk

*"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**

# Příklady použití

- **Termíny nejsou obecně akceptovány – závisí na konkrétní implementaci v GIS balíku.**

Table 1. Examples of natural language verbs.

Operation	Verb	Description
Make a corridor from a linear data set	SPREAD	Renumber all loci with a value reflecting their distance from a given starting point or line
Intersect two polygon networks	OVERLAY	Lay two polygon networks over each other and produce new polygon net
Select according to a condition	EXTRACT	Select specified values and / or ranges of values from one layer to make a new layer



# 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:**

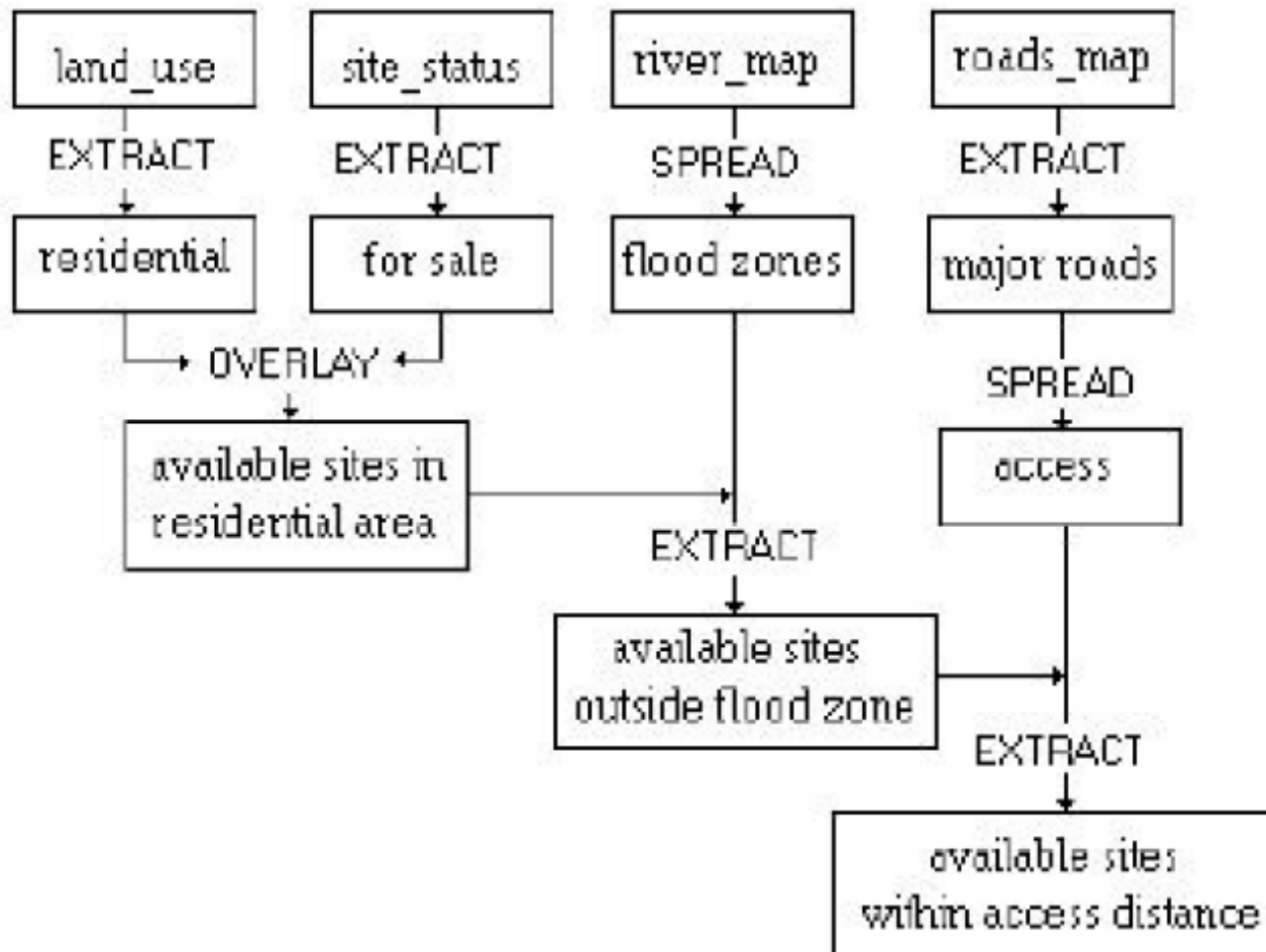
- V obydlené oblasti (intravilán)
- Je na prodej
- Neleží v záplavové zóně
- Je v dosahu 200 m od hlavní silnice

**Čtyři datové vrstvy**

- **Land\_use**
- **Site\_status**
- **River\_map**
- **Roads\_map**

# Popis procesu přirozeným jazykem

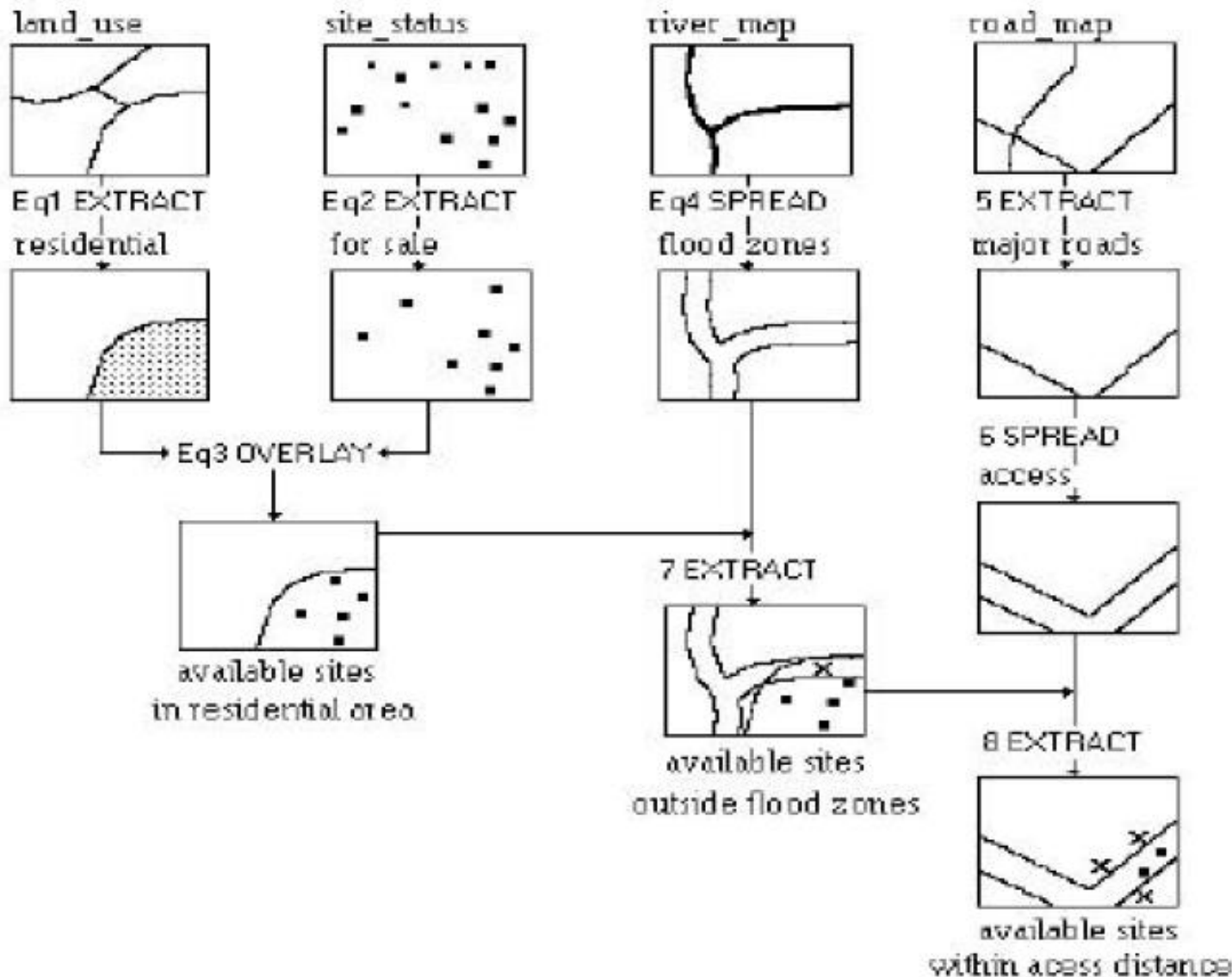
Table 2 presents four of the equations it would be necessary to solve as part of the process of finding a suitable site for the supermarket.







# Grafická reprezentace vhodného místa





# 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.

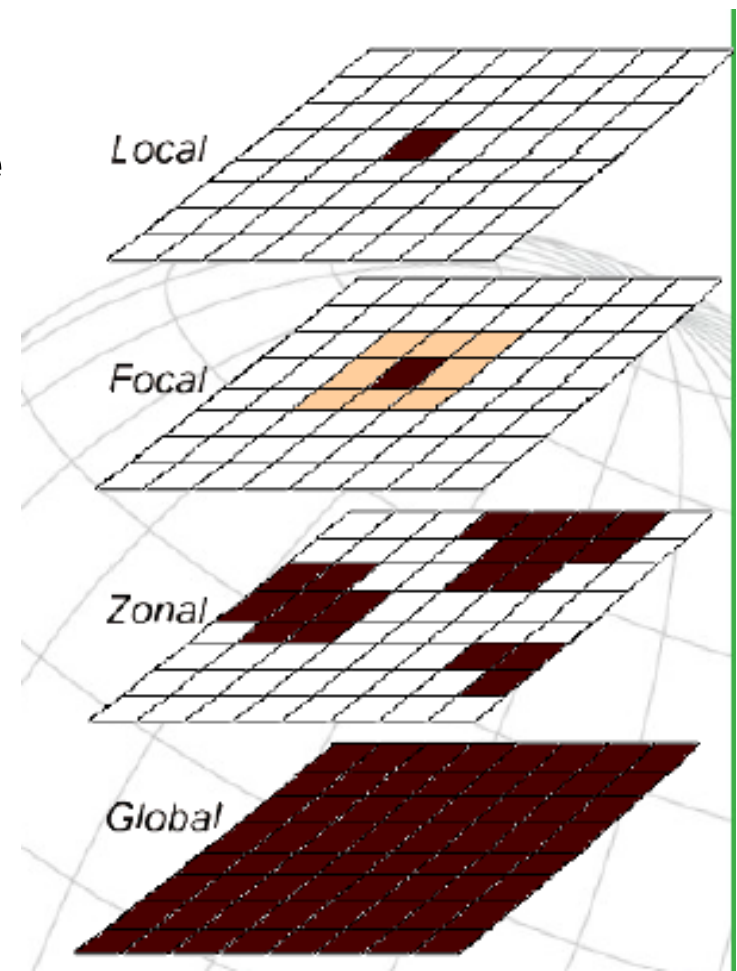


# Dělení funkcí mapové algebry

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);**
- **statistické;**
- **selekční (výběrové).**

# Reklasifikační funkce

- Mění hodnotu jednotlivých buněk na alternativní hodnoty pomocí různých metod.
  - Look up table.
  - Reklasifikace pomocí individuálních hodnot.
  - Reklasifikace pomocí tříd.
  - Shlukování do intervalů či ploch.



# Look up table

- Vytváří nový rastr pomocí vyhledávání hodnot v pomocné tabulce a definovaném sloupci.
  - $OutRas = Lookup(InRas1, "Category")$

0	1	1	0
3	3	1	2
■	0	0	2
3	2	1	0

InRas1

=

1	2	2	1
3	3	2	1
■	1	1	1
3	1	2	1

OutRas

■ Value = NoData

Value	Count	Code	Type	Category
0	5	10	PAX	Public
1	4	22	HAR	Private
2	3	14	WIN	Public
3	3	7	SAN	Federal

Value	Count	Category
1	8	Public
2	4	Private
3	3	Federal

# Reklasifikace pomocí individuálních hodnot

- Mění hodnoty v poměru jedna k jedné na základě definovaných pravidel.

## Reclassification

3	3	19	1	6	6
20	3	19	17	1	5
20	15	15	6	11	14
12	7	15	8	8	10
13	4	18	18		10
16	4	18	7		9

Base Raster



Old Values	New Values
1-1	5
2-2	5
3-3	7
4-4	8
5-5	10
6-6	12
7-7	3
8-8	20
9-9	11
10-10	2
11-11	19
12-12	1
13-13	9
14-14	9
15-15	4
16-16	13
17-17	6
18-18	14
19-19	13
20-20	14



7	7	13	5	12	12
14	7	13	6	5	10
14	4	4	12	19	9
1	3	4	20	20	2
9	8	14	14		2
13	8	14	3		11

Output Raster

■ Value = NoData





# Reklasifikace pomocí tříd (range of values)

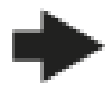
- Změna počtu či hodnoty tříd.
- Příklad:  $0 - 9 = 1$ ;  $20 - 30 = 5$ ;  $10 - 19 = 10$
- Pro **souvislá data** – není nutné definovat všechny hodnoty!
- Nástroj požaduje pouze určení spodní a horní hranice hodnot. Všechny hodnoty v rozmezí jsou reklasifikovány.
- Pozor na **mezní hodnoty** – potřeba se seznámit s pravidly konkrétního SW.



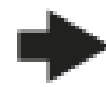
## Reclassification

3	3	19	1	6	6
20	3	19	17	1	5
20	15	15	6	11	14
12	7	15	8	8	10
13	4	18	18		10
16	4	18	7		9

Base Raster



Old Values	New Values
1-3	5
3-7	3
7-8	1
8-12	5
12-15	2
15-16	4
16-19	5
19-20	4
ND =	1



5	5	5	5	3	3
4	5	5	5	5	3
4	2	2	3	5	2
5	3	2	1	1	5
2	3	5	5	1	5
4	3	5	3	1	5

Output Raster

■ Value = NoData

# Shlukování do intervalů či ploch

- Rozmezí hodnot je reklasifikováno do:
  - stejných hodnotových intervalů,
  - stejných výsledných ploch
  - pomocí přirozených hranic (natural breaks).
- Nástroj ***Slice*** v ArcGIS.
- „Tematické mapování v rastru“.

3	3	19	1	6	6
20	3	19	17	1	5
20	15	15	6	11	14
12	7	15	8	8	10
13	4	18	18		10
16	4	18	7		9

Base Raster



Slice  
10  
Interval



2	2	10	1	3	3
10	2	10	9	1	3
10	8	8	3	6	7
6	4	8	4	4	5
7	2	9	9		5
8	2	9	4		5

Output Raster

Value = NoData

3	3	19	1	6	6
20	3	19	17	1	5
20	15	15	6	11	14
12	7	15	8	8	10
13	4	18	18		10
16	4	18	7		9

Base Raster



Slice  
5 Equal  
Areas



1	1	5	1	2	2
5	1	5	4	1	2
5	4	4	2	3	4
3	2	4	2	2	3
3	1	4	4		3
4	1	4	2		3

Output Raster

Value = NoData



# Lokální funkce ArcGIS - statistické

- Lokální *statistické* funkce.
- Kombinace více vstupních rastrů (Combine)
- **Nalezení počtu výskytů** splňujících určitá kritéria - *Equal To Frequency, Greater Than Frequency a Less Than Frequency*.
- **Nalezení hodnoty** splňující určitá kritéria - *Popularity a Rank*.
- **Nalezení polohy** splňující určitá kritéria.



# Lokální statistické funkce

- Vypočítá pro jednotlivé buňky **statistiku z daného počtu rastrů**.
- Majority, Maximum, Mean, Median, Minimum, Minority, Range, Standard Deviation, Sum a Variety.
- **Mean - průměr**
- Vypočítá průměr z jednotlivých buněk vstupních rastrů.
- Výsledek má vždy hodnotu „floating point.“
- `OutRas = CellStatistics(["InRas1", "InRas2", "InRas3"], "Mean")`

1	1	0	0
	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1		0

InRas3

=

	1.0	0.33	0.0
	1.3	2.0	2.3
	0.0	1.0	2.0
2.7	1.0		0.3

OutRas

# Lokální statistické funkce

- **Majority** – nejčastěji se vyskytující hodnota v jednotlivých buňkách.
- **Integer, floating point.**
- **Pokud je více možných výsledků, pak NoData.**
- *OutRas = CellStatistics([InRas1, InRas2, InRas3], "Majority")*

1	1	0	0
	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1		0

InRas3

=

	1	0	0
			2
	0	0	2
			0

OutRas



# Lokální statistické funkce

- **Maximum (median, minimum, minority, range, standard deviation, sum)**
- Nejvyšší hodnota (stejně tak pro ostatní statistické funkce)
- Integer, floating point – input=output
- `OutRas = CellStatistics(["InRas1", "InRas2", "InRas3"], "Maximum")`

1	1	0	0
	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1		0

InRas3

=

	1	1	0
	3	3	3
	0	3	2
4	2		1

OutRas





# Lokální statistické funkce

- **Variety – variabilita**
- Určí počet unikátních hodnot v jednotlivých vstupech a buňkách.
- Výstupní rastr je vždy integer.
- $OutRas = CellStatistics([InRas1, InRas2, InRas3], "Variety")$

1	1	0	0
0	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
0	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

0	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1	0	0

InRas3

=

0	1	2	1
0	3	3	2
0	1	2	1
3	3	0	2

OutRas

# Kombinace více rastrů

- Funkce **Combine** kombinuje několik vstupních rastrů a přiřadí novou hodnotu všem unikátním kombinacím jednotlivých buněk. Původní hodnoty jednotlivých rastrů jsou zapsány do atributové tabulky výstupního rastru.
- Každá unikátní kombinace je označena novou hodnotou.
- Názvy vstupních rastrů jsou užity jako označení sloupců nové atributové tabulky a označují rodičovství nově vzniklých atributů.

# Combine

1	1	0	0
■	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
■	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

=

1	2	3	4
■	5	6	7
■	4	4	7
8	9	2	1

OutRas

■ Value = NoData

Value	Count	Code
0	5	002
1	5	004
2	3	005
4	2	008

Value	Count	Type
0	5	PAX
1	4	HAR
2	3	WIN
3	3	SAN

Value	Count	InRas1	InRas2
1	2	1	0
2	2	1	1
3	1	0	1
4	3	0	0
5	1	1	3
6	1	2	1
7	2	2	2
8	1	4	3
9	1	0	2

$OutRas = Combine([InRas1, InRas2])$

# Počet výskytů splňujících určitá kritéria

- Kolikrát jsou hodnoty jednotlivých rastrů „odlišné“ od vstupu (ValRas).
- **Less than Frequency**
- Nepovinný rastr může specifikovat počet výskytů.
- Výstupní rastr je vždy integer
- $OutRas = LessThanFrequency(ValRas, [InRas1, InRas2, InRas3])$

2	2	2	2
2	2	2	2
2	2	2	2
2	2	2	2

ValRas

1	1	0	0
1	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
0	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

1	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1	0	0

InRas3

=

3	3	3
2	1	0
3	2	0
1	2	3

OutRas



# Hodnoty splňující určitá kritéria

**Popularity** – pořadí n-tých výskytů – pozor na striktní pravidla počítání (NoData, všechny odlišné hodnoty, všechny stejné hodnoty).

Vstupní rastr určuje pořadí (popularitu) hodnot.

**OutRas = Popularity(ValRas, [InRas1, InRas2, InRas3])**

**Druhý nejčastější výskyt zapsán!**

2	2	2	2
2	2	2	2
2	2	2	2
2	2	2	2

ValRas

1	1	0	0
	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1		0

InRas3

=

	1	1	0
			3
	0	3	2
			1

OutRas



# Hodnoty splňující určitá kritéria

- Rank Hodnoty vstupních rastrů jsou seřazeny podle buněk, výstupní hodnota pořadí je určena pomocným rastrem.
- $OutRas = Rank(ConstRas, [InRas1, InRas2, InRas3])$

3	3	3	3
3	3	3	3
3	3	3	3
3	3	3	3

ConstRas

1	1	0	0
■	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

0	1	1	0
3	3	1	2
■	0	0	2
3	2	1	0

InRas2

■	1	0	0
2	0	3	3
0	0	3	2
1	1	■	0

InRas3

=

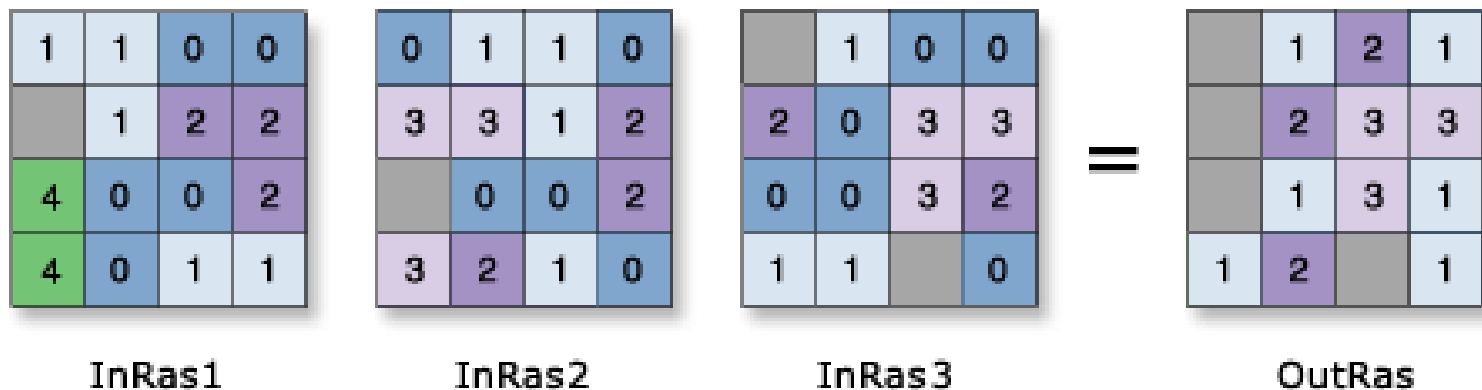
■	1	1	0
■	3	3	3
■	0	3	2
4	2	■	1

OutRas

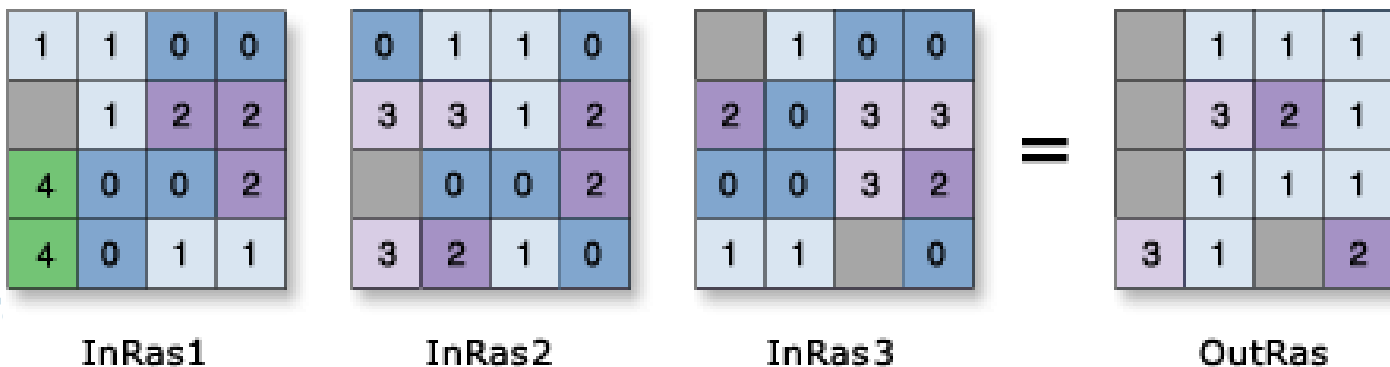


# Nalezení polohy splňující určitá kritéria.

- $OutRas = HighestPosition([InRas1, InRas2, InRas3])$



- $OutRas = LowestPosition([InRas1, InRas2, InRas3])$





# Výběr pomocí podmínky – conditional

- Kontroluje výsledné hodnoty na základě podmínek, které jsou aplikovány na vstupní hodnoty.
- **Podmínky lze uplatnit na atributy či polohu buněk.**
- Dotaz (podmínka) na atributy explicitně identifikuje všechny buňky, které jsou hodnoceny jako „True“.
- True buňkám jsou následně přiřazeny nové hodnoty (případně NoData).
- False buňkám jsou přiřazeny hodnoty podle podmínky.
- **Nástroje Con, Pick**



- **Provede podmíněčný výběr na základě požadavku a splnění podmínky.**
- $OutRas = Con(InRas1, 40, 30, "Value \geq 2")$


1	1	0	0
NoData	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

InRas1

=

30	30	30	30
NoData	30	40	40
40	30	30	40
40	30	30	30

InRas2

 Value = NoData

- **Hodnota z pozičního rastru je použita k určení toho, z jakého vstupního rastru má být použita hodnota pro výstupní rastr.**
- $OutRas = Pick(InRas1, [InRas2, InRas3])$

