



**MUNI**

# **Kartografické modelování**

## **III. Fokální a zonální funkce**

**jaro 2023**

**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



# Struktura jazyka MA

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

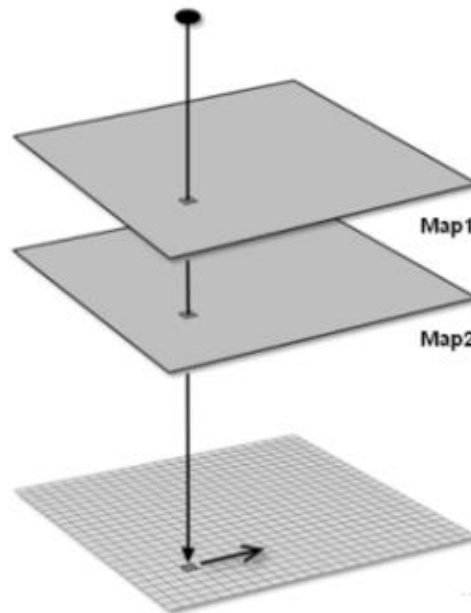
- **Objekty** slouží k uložení informací, nebo jsou to vstupní hodnoty. Jako objekty se používají rastry, tabulky, konstanty, ...
- **Činnosti** jsou příkazy jazyka (**operátory a funkce**) - vykonávají operace na objektech:
  - **Operátory** jsou obvyklé matematické, statistické, relační a logické operátory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

# Dělení funkcí mapové algebry

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

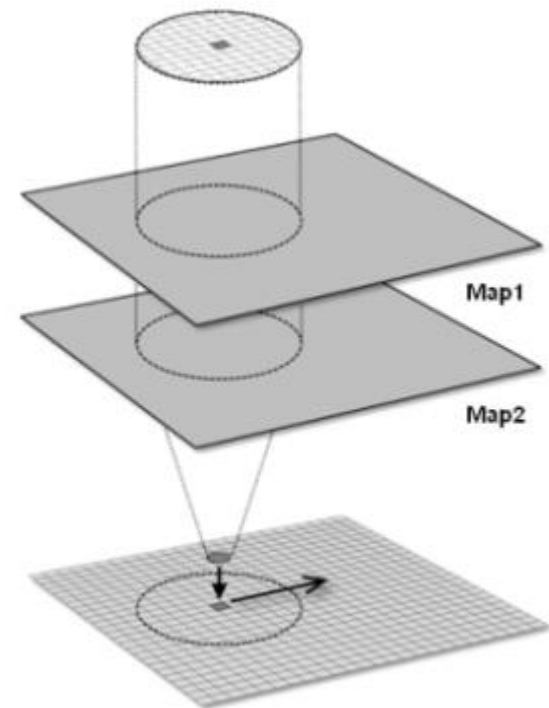
1. **Lokální** - na individuální buňce, nová hodnota vzniká z individuální buňky jedné nebo více vrstev.
2. **Fokální** - v definovaném okolí, nová hodnota vzniká z definovaného okolí buňky.

Kartografické modelování



... collects data on a cell-by-cell basis and reports a single value on a cell-by-cell basis

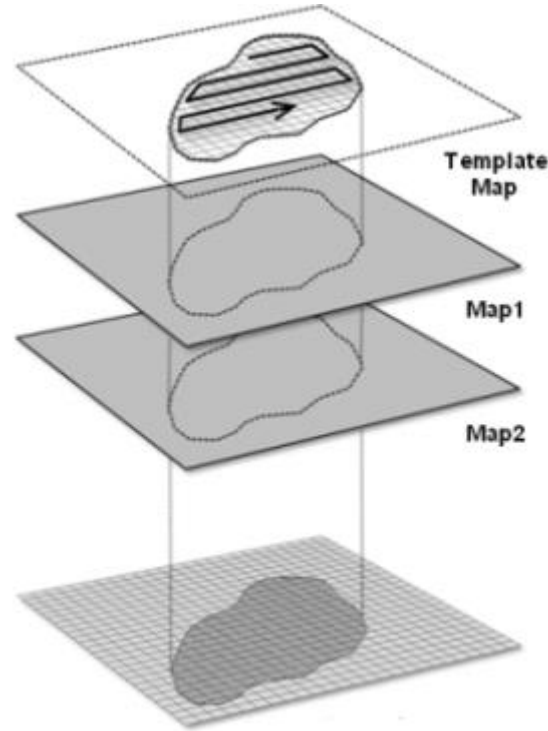
... collects data on a neighborhood basis and reports a single value on a cell-by-cell basis



# Dělení funkcí mapové algebry

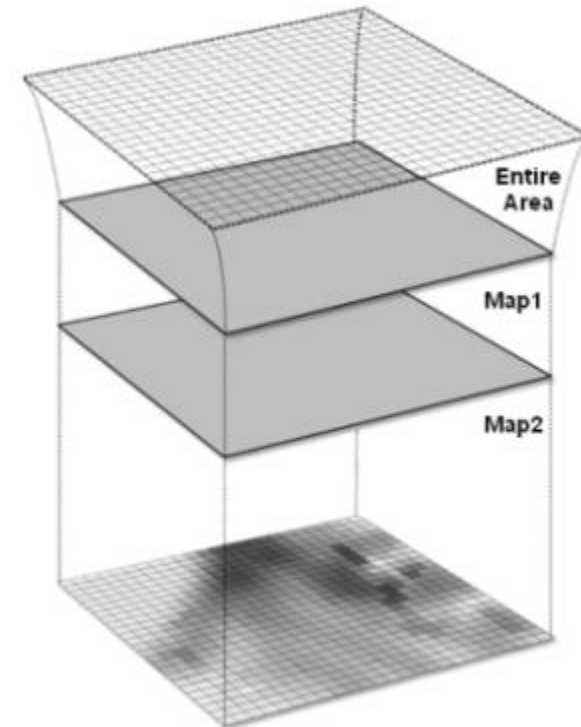
Z hlediska oblasti ze které je počítána hodnota výsledné buňky dělíme funkce mapové algebry na :

3. **Zonální** - na specifické oblasti, nová hodnota vzniká ze zóny definované v jiné vrstvě.
4. **Globální (Tomlin – Inkrementální)** - používají se všechny buňky informační vrstvy.



... collects data on a region-wide basis and reports summary on a region-wide basis

... collects data on a map-wide basis and reports results on a map-wide or cell-by-cell basis



# Lokální funkce ArcGIS

- 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 - ***Con, Pick***.

- $OutRas = Pick(InRas1, [InRas2, InRas3])$
- **Jaké hodnoty budou uvedeny v buňkách s otazníky??**

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

InRas1

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

InRas2


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

InRas3

=

?	?	?	?

OutRas



- **K ČEMU JE TO DOBRÉ??**





# Užití funkce PICK

- **Randomizace, celulární automaty,**

2	2	2		3	NoData	NoData		2	2	2		3	2	2
2	NoData	NoData	+	NoData	3	NoData	=	2	3	NoData	or	2	3	NoData
2	NoData	NoData		NoData	NoData	3		2	NoData	3		2	NoData	3

- kombinace s dalším local toolset nástroji (není to funkce, kterou se začíná analýza).
- *Highest position (jako vstupní poziční rastr)*

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

InRas1

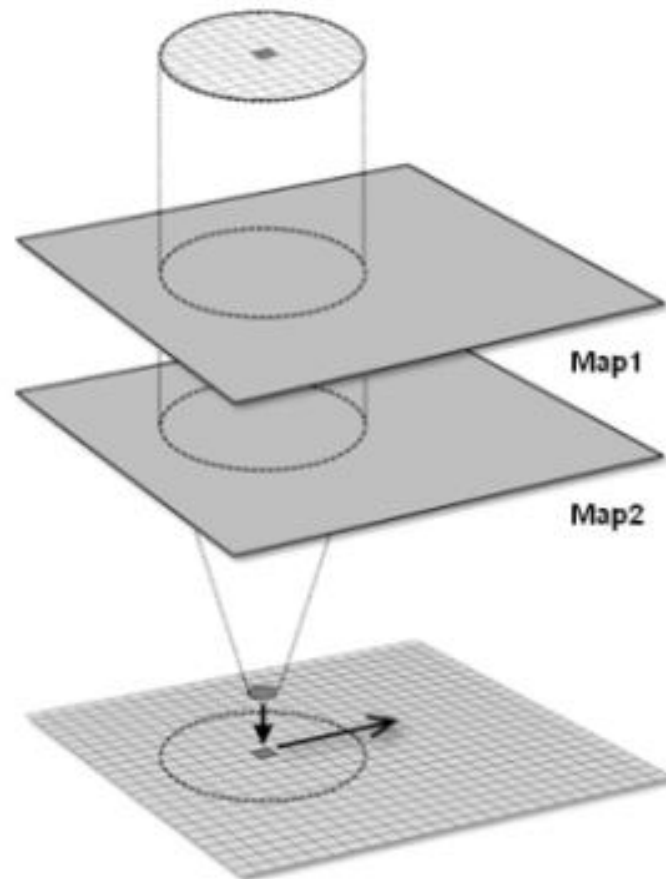
InRas2

InRas3

OutRas



# FOKÁLNÍ FUNKCE





# Fokální funkce

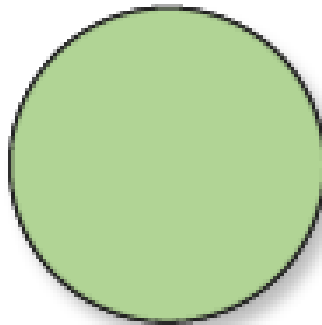
- **Fokální** - v definovaném okolí, nová hodnota vzniká z definovaného okolí buňky.
- Většinou se provádějí na **okolí 3x3** sousedních buněk, ale systémy často umožňují definovat sousedské okolí podle uživatele.
- **Fokální funkce** se dělí na **statistické funkce** a na **analýzy proudění**.
- Ze **statistických funkcí** stanovení např. aritmetického průměru v okolí, sumy, odchylky, min, max, rozpětí a další.
- – U **analýz proudění** se počítá směr proudění (maximální gradient z hodnot dané buňky do okolních), rychlost proudění a další. Základ pro pokročilé analýzy (hydrologické analýzy, modelování eroze).

# Vyhledávací oblast

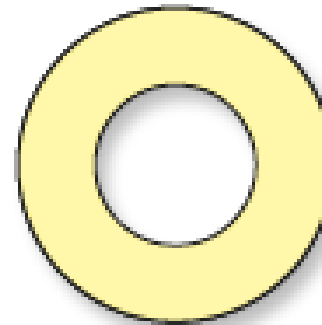
- **Různé tvary oblasti (inspirace přírodou)**



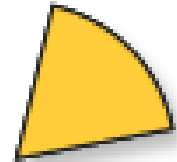
Rectangle



Circle



Annulus



Wedge

- **Možnost využití masky/kernelu a případných vah**

5	4			
1	1	1	0	0
0	0	1	1	1
0	0	1	1	1
1	1	1	0	0

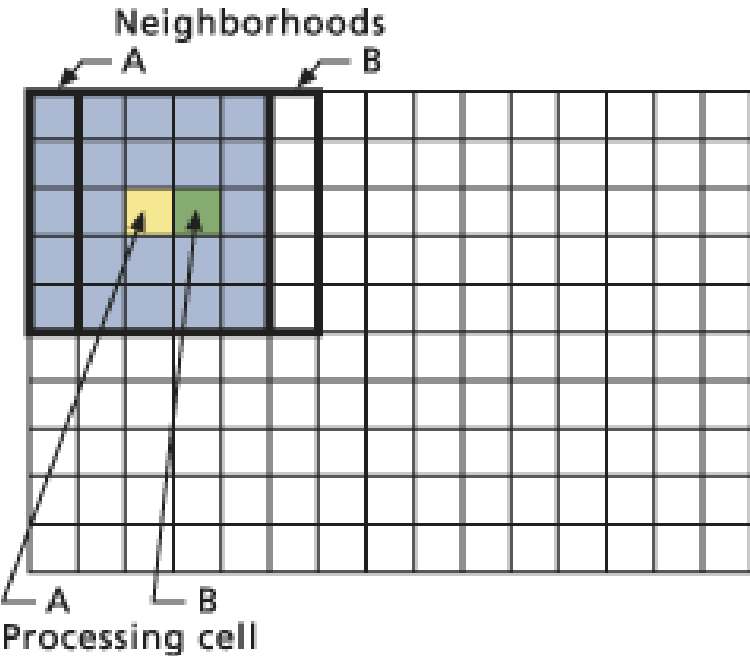
Irregular kernel

3	3
0	-1
-1	4
0	-1

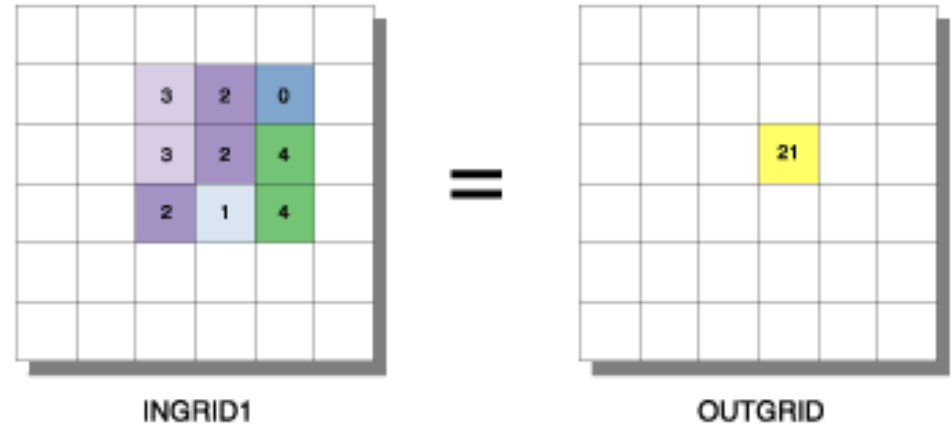
Weighted kernel



# Statistické funkce - zpracování



The Neighborhood Function on an Individual Neighborhood

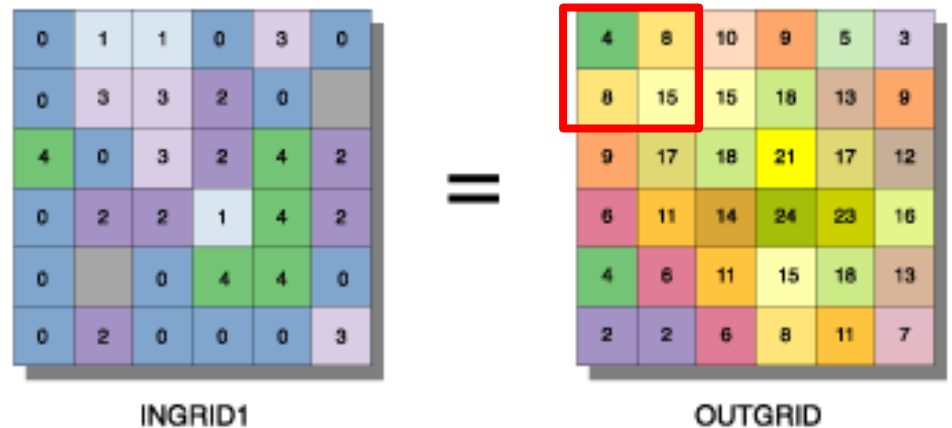


VALUE=NODATA

- focalSum (3x3)
- NoData ignorováno (pokud není všude).

Kartografické modelování

The Neighborhood Function on a Grid





# Pohyblivé okno a hranice rastru

Nedostatek dat pro výpočet hodnot na hranici rastru

- řešení: (a) **rozšíření studijní oblasti** 😊
- (b) **Pohyblivé okno a modifikace výpočetního algoritmu (kernel) v rozích (2x2; 1/4) a hranách (2x3; 1/6)**

Mean function kernels

corner

$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

margin

1/6	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$
1/6	1/6	1/6

corner

$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

margin

1/6	1/6
$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6}$
1/6	1/6

main

1/9	1/9	1/9
1/9	$\frac{1}{9}$	1/9
1/9	1/9	1/9

margin

1/6	1/6
1/6	1/6
1/6	1/6

corner

$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

margin

1/6	1/6	1/6
1/6	$\frac{1}{6}$	1/6

corner

$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

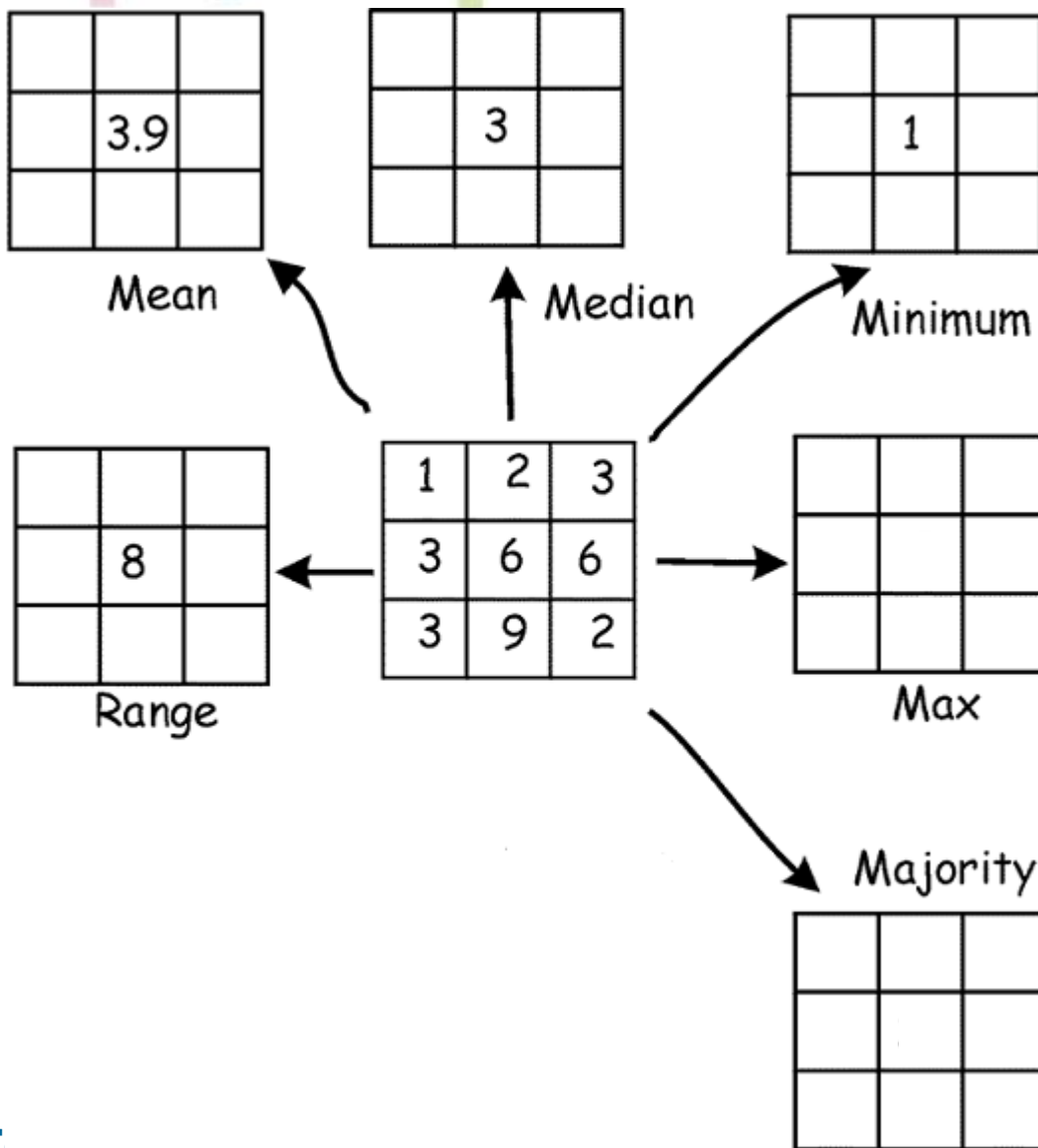
example application, lower right corner

10	12	13	12	11
8	11	12	12	10
7	9	10	11	9
8	9	9	11	8
9	10	12	10	$8$

		$9\frac{1}{4}$

$$\frac{1}{4} \cdot 11 + \frac{1}{4} \cdot 8 + \frac{1}{4} \cdot 10 + \frac{1}{4} \cdot 8 = 9\frac{1}{4}$$

# Příklad fokálních statistických funkcí



Statistika	Popis	ArcGIS
Majority	Určuje hodnotu, která se v sousedství vyskytuje nejčastěji	
Maximum	Určuje maximální hodnotu vyskytující se v sousedství	
Mean	Vypočítává průměrnou hodnotu v sousedství	
Median	Vypočítává medián hodnot v sousedství	
Minimum	Určuje minimální hodnotu vyskytující se v sousedství	
Minority	Určuje hodnotu, která se v sousedství vyskytuje nejméně často	

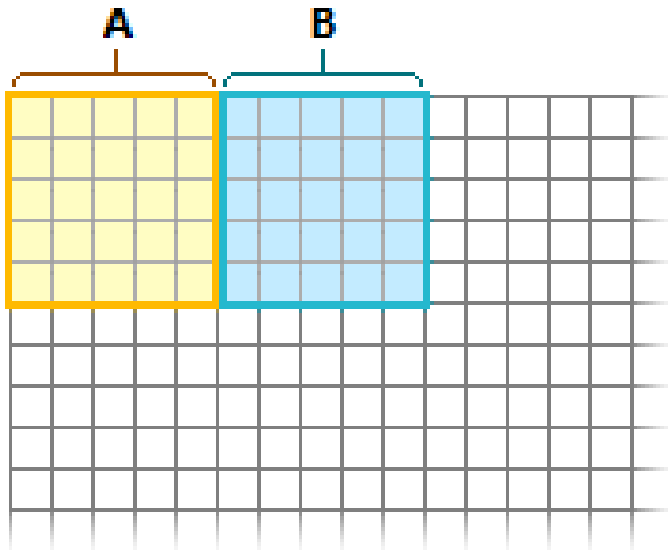
	Statistika	Popis	SAGA GIS
Range			
	Mean Value	Vypočítává průměrnou hodnotu v sousedství	
Standart Deviat	Difference from Mean Value	Vypočítává rozdíl od průměrné hodnoty	
Sum	Standard Deviation	Vypočítává směrodatnou odchylku v sousedství	
Variety	Value Range	Určuje rozsah hodnot v sousedství	
	Minimum Value	Určuje minimální hodnotu vyskytující se v sousedství	
	Maximum Value	Určuje maximální hodnotu vyskytující se v sousedství	
	Deviation from Mean Value	Vypočítává odchylku od průměrné hodnoty	
	Percentile	Vypočítává procento buněk s nižší hodnotou než centrální buňka v sousedství	



# Blokové operace

- **Nepřekrývající se okno**
- **Každá buňka ve vymezeném okolí dostane hodnotu získanou danou funkcí.**

Block neighborhoods



Block operation

# Příklad blokové operace

1	1	1	1	1	2	4	6	7
1	3	3	2	5	6	6	7	8
1	1	3	2	2	2	4	5	6
1	2	2	2	2	4	4	5	6
1	NoData	1	2	2	2	4	5	6
1	NoData	1	2	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1	2	3	4	5
0	0	1	1	1	2	4	4	5
0	1	1	1	1	2	3	4	4

InRas1

=

3	3	3	6	6	6	8	8	8
3	3	3	6	6	6	8	8	8
3	3	3	6	6	6	8	8	8
2	2	2	4	4	4	6	6	6
2	2	2	4	4	4	6	6	6
2	2	2	4	4	4	6	6	6
1	1	1	2	2	2	5	5	5
1	1	1	2	2	2	5	5	5
1	1	1	2	2	2	5	5	5

OutRas

Value = NoData

**NbrRectangle**({width}, {height}, {CELL | MAP}) jednotky vzdálenosti

*OutRas = BlockStatistics(InRas1,  
NbrRectangle(3,3,Cell), "MAXIMUM", "")*

Dostupné funkce: Mean, Maximum, Minimum, Range, STD, Sum.

**Kartografické modelování**

# Analýzy proudění – Focal Flow

- Využívá pohybuující se okno 3x3 k určení toho,  **které okolní buňky proudí do centrální buňky.**
- **Buňka** splňující tuto podmínku musí mít **vyšší hodnotu**, než centrální buňka.
- Pokud žádná buňka neproudí do středu =0

1	2	3
3	6	6
3	9	2

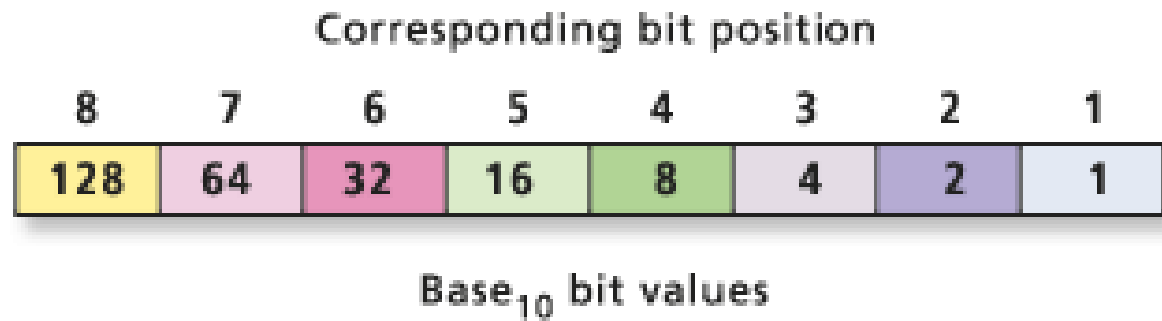
6	14	2
1	5	15
3	4	10

# Jak to funguje?

- **Hodnoty 1 – 128 (mocniny dvou).**

6	7	8
5		1
4	3	2

Neighborhood cell positions



# Příklad

- **Porovnání hodnoty okolních buněk.**
- **Určení směru proudění a označení buněk.**
- **Výpočet hodnoty podle pozice.**

-5	11	3
6	9	15
10	8	8

- Processing cell
- Cells that flow into the processing cell

Evaluation for a single cell location

8	7	6	5	4	3	2	1
0	1	0	0	1	0	0	1

Bit positions mapped

8	7	6	5	4	3	2	1
128	64	32	16	8	4	2	1

	73	

Bit position	=	Base <sub>10</sub> value
7	=	64
4	=	8
1	=	1
		<hr/> 73

Base<sub>10</sub> bit values for the cell location = 73

# Užití FocalFlow

2	1	1
1	0	2
2	2	3

Input

	255	

Output for center processing cell

- $OutRas = FocalFlow(InRas1)$
- **Možnost užití prahové hodnoty (threshold)**

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

InRas1

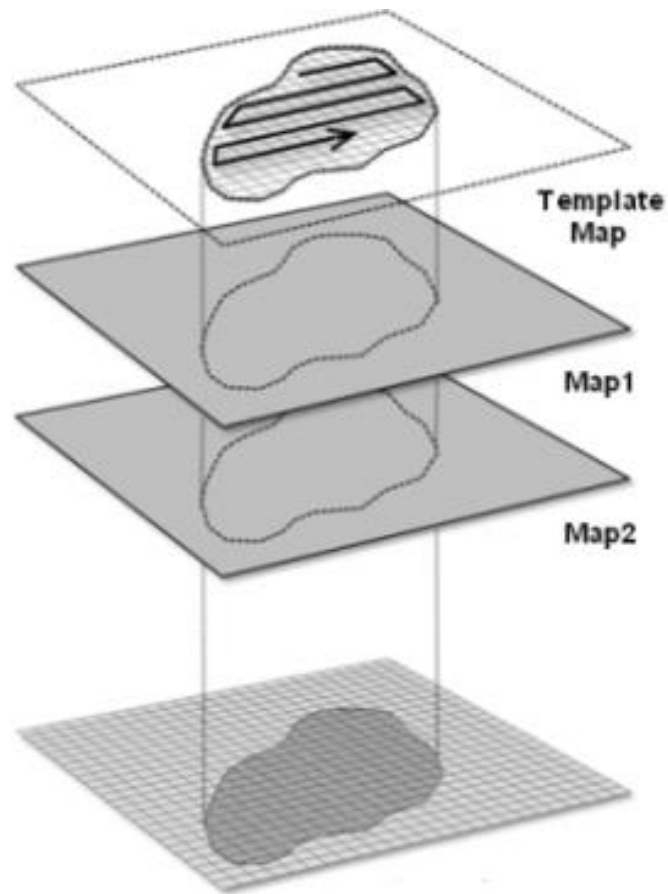
=

3	6	14	29	0	16
133	8	0	154	94	
0	215	0	51	0	24
65	160	66	247	0	56
130		233	0	0	116
1	0	144	192	97	32

OutRas

■ Value = NoData

# Zonální funkce



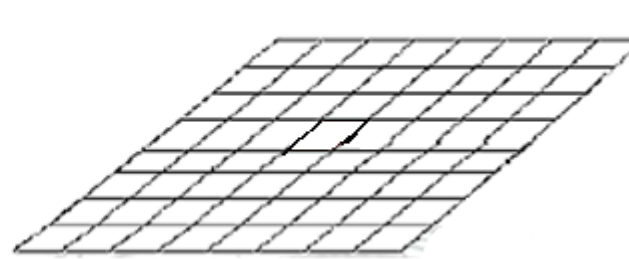
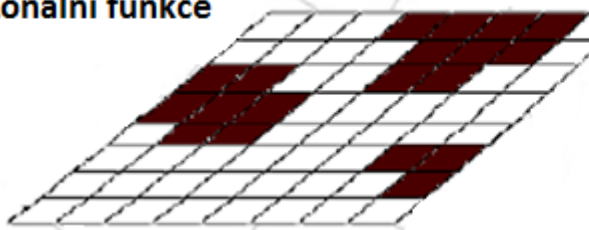




# Zonální funkce

**Zonální funkce** - na specifické oblasti, nová hodnota vzniká ze zóny definované v jiné vrstvě.

Zonální funkce



Možné rozdělit na **statistické** a **geometrické** (area).

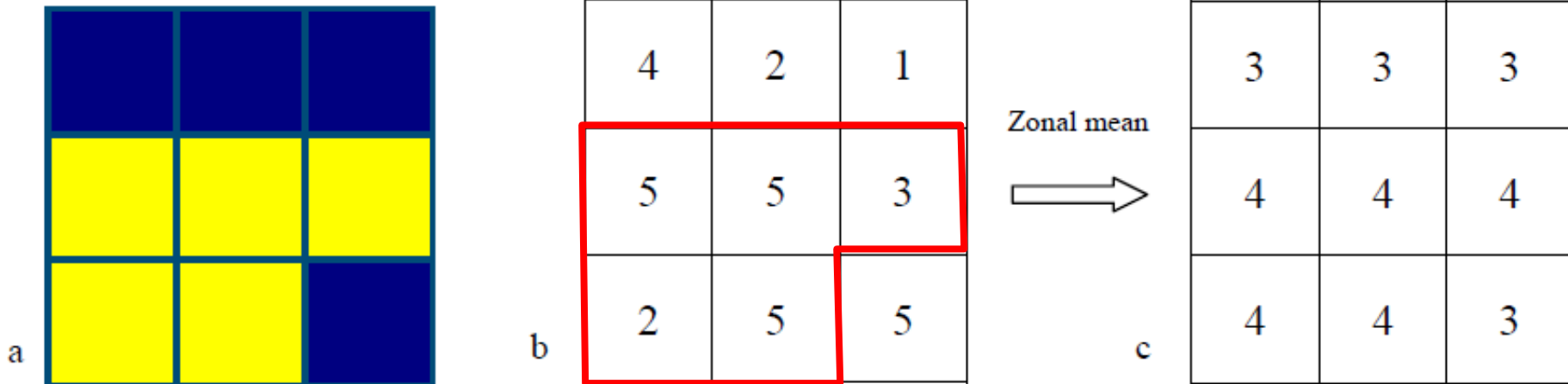
- U statistických funkcí jde o **statistické zpracování hodnot analyzované informační vrstvy, které patří do zóny** definované v druhé informační vrstvě. Statistické funkce mohou být opět průměry, sumy, min, max.
- Mezi **geometrické funkce** patří např. **stanovení plochy, obvodu a dalších charakteristik každé zóny.**

**Kartografické modelování**



# Statistické zonální funkce

- **Výstupy** mohou být **rastr** nebo **tabulka**
- Zóna může být definována tabulkou nebo rastrem
- Vstupní rastr je vždy jenom rastr.
- Fce - *area, minimum, maximum, range, mean, standard deviation, sum, variety, majority, minority a median.*





# Příklad – zonální směrodatná odchylka

*OutRas = ZonalStatistics (ZoneRas, "VALUE", ValRas, "STD")*

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

ZoneRas

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

ValRas

=

1.1	1.1	0.8	0.8
NoData	1.1	0.5	0.5
0.0	0.8	0.8	0.5
0.0	0.8	1.1	1.1

OutRas

Value = NoData



# Zonální statistika jako tabulka

- Výstup ve formě tabulky
- `ZonalStatisticsAsTable (ZoneRas, "Value", ValRas, OutTable, "ALL")`

1	1	0	0
Value = NoData	1	2	2
4	0	0	2
4	0		1

ZoneRas

0	1	1	0
3	3	1	2
Value = NoData	0	0	2
3	2	1	0

ValRas

Value = NoData

Rowid	VALUE	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
1	0	5	5	0	2	2	0.6	0.8	3	3	0	1	0
2	1	5	5	0	3	3	1	1.095	5	3	0	3	1
3	2	3	3	1	2	1	1.667	0.471	5	2	2	1	2
4	4	1	1	3	3	0	3	0	3	1	3	3	3

=  
K

# Určete maximální a průměrný erozní potenciál pro jednotlivé kategorie sklonu svahu

## INPUT layers

### Zone layer

(with integer slope values)

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

Slope (degrees)

### Value raster layer

(tonnes/ha/yr)

10	14	30	32
5	15	17	28
6	6	16	20
1	5	8	22

Erosion potential map

Cell size = 30m

## OUTPUT table

Rowid	VALUE	MAX	MEAN
1	0	1.00	1.00
2	1	8.00	6.00
3	2	22.00	16.29
4	3	32.00	30.00

- The "VALUE" column contains the integer slope values.
- The "MAX" and "MEAN" columns contain the maximum and mean erosion potential rates for each integer slope value, respectively.

Reference: ESRI



# Zonální geometrické funkce

- Pro jednotlivé zóny vypočítává geometrické charakteristiky - plocha, obvod, tloušťka (nejnižší bod v zóně), centroid...
- **Obvod** – jak vnitřní, tak vnější hranice (polygon s otvorem), sčítání všech hran.
- *OutRas = ZonalGeometry (InRas1, "VALUE", "PERIMETER")*

1	1	0	0
■	1	2	2
4	0	0	2
4	0	1	1

=

14.0	14.0	14.0	14.0
■	14.0	8.0	8.0
6.0	14.0	14.0	8.0
6.0	14.0	14.0	14.0

***Jak velká je buňka v uvedeném příkladu?***

■ Value = NoData

Ka

InRas1

OutRas



# Zonální geometrie jako tabulka

*ZonalGeometryAsTable(InRas1,"VALUE",Out\_Geom,1)*

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

InRas

---

VALUE	AREA	PERIMETER	THICKNESS	XCENTROID	YCENTROID	MAJORAXIS	MINORAXIS	ORIENTATION
0	5.0	14.0	0.5	2.300	2.100	2.338	0.681	60.714
1	5.0	14.0	0.5	1.900	2.100	2.668	0.596	126.061
2	8.0	8.0	0.5	3.167	2.167	1.286	0.743	135.000
4	2.0	6.0	0.5	0.500	1.000	1.128	0.564	90.000

**Kartografické modelování**



# Najděte PLOCHU zastavěného území pro jednotlivé kategorie sklonu svahu

## INPUT layers

### Zone layer

(with integer slope values)

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

Slope (degrees)

Cell size =

### Value raster layer

(1 = built-up/developed area)

	1	1	1
1	1	1	1
1	1	1	
1	1		

Built-up/developed area map

Value= No Data

## OUTPUT table

Rowid	VALUE	VALUE_1
1	0	900
2	1	3600
3	2	3600
4	3	2700

- The “VALUE” column contains the integer slope values.
- The “VALUE\_1” column contains the area (m<sup>2</sup>) of built-up/developed areas for each integer slope value.